

BASES DE LA FISIOLOGÍA PARA INGENIERÍA
Introducción a la ingeniería biomédica

PRÓLOGO

En esta época donde la tecnología evoluciona tan rápidamente, un ingeniero debe adquirir sólidas bases para diseñar y generar productos con importante valor agregado, para satisfacer demandas y aún superar expectativas, para desenvolverse en dominios que tal vez no existan al momento de recibir su diploma, como sucede habitualmente cuando la ingeniería es aplicada al cuidado de la salud. Esta sinergia entre medicina e ingeniería evoluciona al ritmo que le imprimen individualmente ambas disciplinas, a sabiendas que el cuerpo humano sigue siendo el desafío más difícil de abordar en un diseño de ingeniería. Valga recordar que promediando el siglo pasado nuestra especialidad ni por asomo era una disciplina reconocida, solamente estaba el empuje individual de médicos, ingenieros y físicos que inventaban, pensaban e improvisaban dispositivos que nunca habían existido antes. Recordemos que hasta 1950 se contaba con muy pocos dispositivos y herramientas de diagnóstico en el ámbito hospitalario microscopio, rayos X, esfigmanómetro, electrocardiograma e implementos para cirugía. Pioneros inventores que inquebrantablemente creían que el cuerpo humano podría ser arreglado por ingenieros, como Earl Bakken que construyó el primer marcapasos transistorizado alimentado a baterías, el holandés Willem Kolff quién inventó la primera máquina de diálisis o John Gibbon de Filadelfia quién hizo la primera máquina que pudo oxigenar la sangre de un paciente mientras su corazón se detenía para realizarle una cirugía cardiaca, fundaron las bases empresariales que arrastraría a la academia a generar instancias de grado y posgrado. Este nuevo escenario comenzó con la universidad de Pensilvania en 1961, esforzándose para que esas diversas áreas sean reconocidas como una disciplina unificada en la cual los métodos tradicionales de la ingeniería, matemática aplicada, modelización y el uso de teoría de sistemas, sean aplicados a la medicina para desmenuzar y resolver problemas. Conocimiento y entendimiento son los preciados valores de nuestro esfuerzo, entendiendo la ingeniería como el arte o la ciencia de concretar aplicaciones prácticas a partir de la formación en ciencias duras. Un ingeniero no es un científico, pero conoce de ciencia y la utiliza para resolver problemas de interés práctico donde se involucra fundamentalmente diseño creativo. Los ingenieros tratamos con aplicaciones tecnológicas de la Ciencia que de algún modo significa hacer más comfortable nuestra estadía en el mundo; al entender las fuerzas de la naturaleza compartimos esta comprensión a través de la generación de tecnología que provee la sensación de confort mundano que es un ingrediente básico en los avances tecnológicos de la ingeniería moderna. En el caso de la Ingeniería Biomédica uno de los pilares sobre el que reposa el paradigma anterior es la enseñanza de la fisiología, puesto que, para que el ingeniero pueda interpretar las necesidades del médico es necesario que posea sólidas bases en esta fascinante área del conocimiento. Para la innovación y el desarrollo tecnológico la

interacción médico ingeniero es tan trascendente como la interacción médico paciente en la asistencia clínica. La interfase donde se desarrolla eficazmente la interacción es la Fisiología Humana.

Ricardo L. Armentano

CAPÍTULO I

CONSTITUCIÓN ELEMENTAL DE LOS SERES VIVOS

*Biología. Las células. Membrana celular. El citoplasma. Núcleo celular y Ácidos nucleicos. Distintos tipos de células. Tejidos. Medio interno. Aspectos Médicos.*¹

Biología

La biología es el estudio de los seres vivientes. Los seres vivos comparten características tales como la de estar constituidos por unidades llamadas células, tienen la capacidad de crecer, se desarrollan, se reproducen y mueren; por otro lado cuentan con funciones elementales que les permiten responder al medio ambiente (sensibilidad) y regular su interior (homeostasis).

El estudio de la “Physis” o de “la naturaleza de las cosas vivientes” es llamado simplemente “fisiología” (Goodfield, 1987).

La fisiología es la rama de la biología que estudia los procesos, actividades y fenómenos de las células y tejidos de los organismos vivos, explicando los factores físicos y químicos causantes de las funciones vitales. Los tejidos son conjuntos de células.

La unidad de composición de un ser vivo, que puede cumplir con todas las funciones vitales se llama célula. Es llamada así en relación al término inglés para nombrar una celda (*cell*). Se originó cuando los primeros microscopistas enfocaron la corteza del alcornoco (corcho) y observaron espacios vacíos que posteriormente identificaron como los lugares en donde se localizaban las células.

La célula es la más pequeña estructura capaz de llevar adelante todas las funciones vitales: beber, comer, moverse, nacer, reproducirse, morir, entre otros. La teoría celular desarrollada en el siglo XIX establecía que:

- a) todo ser viviente estaba compuesto por una o más células,
- b) las células eran las unidades más pequeñas que podían mantener la vida y
- c) la continuidad de la vida tenía bases celulares.

Tal como suele ocurrir en la naturaleza, las definiciones dejan de lado algunos elementos. Es el caso de los virus que son elementos vivos y no están conformados como las células. Ocurre que están vivos pero no llegan a cumplir con todas las funciones vitales, por lo cual no pueden tener vida independiente. Ellos tienen que asociarse a otro ser vivo para poder completar las funciones que caracterizan a la vida. Existen múltiples clasificaciones de los elementos primordiales de los seres vivos, siendo los virus los más “incompletos”, y las diferencias entre las células van a determinar que sean de tipo vegetal o de tipo animal. Puede existir vida independiente con una sola célula, tal es el caso de las amebas. Pero los seres vivos con los que el humano tiene consciencia de estar relacionado son generalmente pluricelulares.

La cantidad de células que contiene un cuerpo humano es sumamente alta. Así una muestra de sangre de un mililitro contiene cinco millones de glóbulos rojos. Las células a su vez, tienen distintos tamaños, siendo en el caso de un espermatozoide de 2 micrómetros. Por el contrario una célula nerviosa emite prolongaciones que llegan a ser de 1 metro. En un organismo pluricelular, las células tienen características diferentes, llegando a faltar algunos de sus elementos, tal es el caso de los glóbulos rojos, que siendo elementos vivientes carecen del núcleo con el cual podrían

¹ Este capítulo fue corregido en su totalidad por Biólogos que son autores de textos de la especialidad y referentes académicos.

reproducirse. A pesar de ello, los glóbulos rojos van a cumplir sus funciones, que incluyen el transporte de oxígeno, sin tener la capacidad de reproducirse en su forma madura.

No obstante estas excepciones, en los seres vivos pluricelulares el límite del tamaño celular lo da la nutrición. Los animales más grandes no tienen células más grandes. La ley de Driesch dice que el tamaño de un organismo no está en relación con el tamaño de sus células, sino con la cantidad de ellas.

La vida tal como se la entiende, comprende el reino vegetal y el animal. No obstante en la naturaleza existen muchos más elementos que los seres vivos y el estudio de la interacción entre ellos hace que se la comprenda mejor. Podría decirse que la vida es posible, sólo si se trata de entes con capacidad de adaptación al medio ambiente. Dentro del reino animal se encuentra el hombre que luego de muchos cambios se presenta como un ser con una gran capacidad de adaptación, sin embargo ésta no es una cualidad privativa de los humanos.

El ingeniero tiene muy clara la relación entre estructura y función de no importa cual aparato se trate, mecánico o electrónico. En el estudio de la fisiología humana se pueden encontrar ejemplos de similitudes tanto con dispositivos mecánicos como electrónicos. Para comprender el funcionamiento del cuerpo humano es preciso saber que antes hay que tener los conocimientos mínimos de la estructura y de la forma. Así, es importante conocer la estructura microscópica y la química (bioquímica) que tienen ellos. También es importante el estudio de la biofísica, especialmente en lo relacionado al esqueleto, el cual actúa como órgano de sostén, sirve para desplazarse y da la forma del individuo. Dado que el ser humano debe moverse para que su vida sea posible, su esqueleto está ligado a un aparato locomotor, por lo que las articulaciones y los músculos tienen una función ligada a los desplazamientos del cuerpo humano.

La química de la vida incluye elementos atómicos, moleculares, celulares y de los tejidos (titulares). Los elementos atómicos incluyen el hidrógeno, oxígeno, el nitrógeno y distintos isótopos del carbono. Se dice que la química de los seres vivos es la química del carbono. A ello hay que sumar el hecho de que más de la mitad del peso del cuerpo humano es agua. Desde el punto de vista planteado, la estructura se presenta bastante simple y se podría decir que los humanos están constituidos mayormente de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno.

En el humano, a los elementos atómicos enumerados, es preciso sumarle otros que no por estar presentes en mínimas cantidades van a carecer de importancia: hierro, sodio, cloro, potasio, calcio, magnesio, azufre (sulfuro), fósforo, cobre, nitrógeno, zinc, molibdeno y yodo. Hay otros elementos que son tan poco frecuentes en la célula que se llaman vestigiales u oligoelementos: cobalto, manganeso, níquel, selenio y otros.

Las asociaciones atómicas derivan en elementos tan comunes como el agua (H_2O) y sales, tal es el caso del cloruro de sodio ($ClNa$). Ambas, agua y sal, biológicamente asociadas en el cuerpo humano.

Las células están constituidas por numerosos elementos fundamentales, como lo son: el agua, los minerales, proteínas, hidratos de carbono, lípidos. Pero el 40% de la célula es agua, un 2-3% son sales y el resto es materia orgánica. Hay elementos ionizados, o sea que tienen carga positiva o negativa: Sodio (Na^+), Magnesio (Mg^{++}), Potasio (K^+), Hidrógeno (H^+), Calcio (Ca^{++}) o negativa: Cloro (Cl^-), Hidroxilo (OH^-).

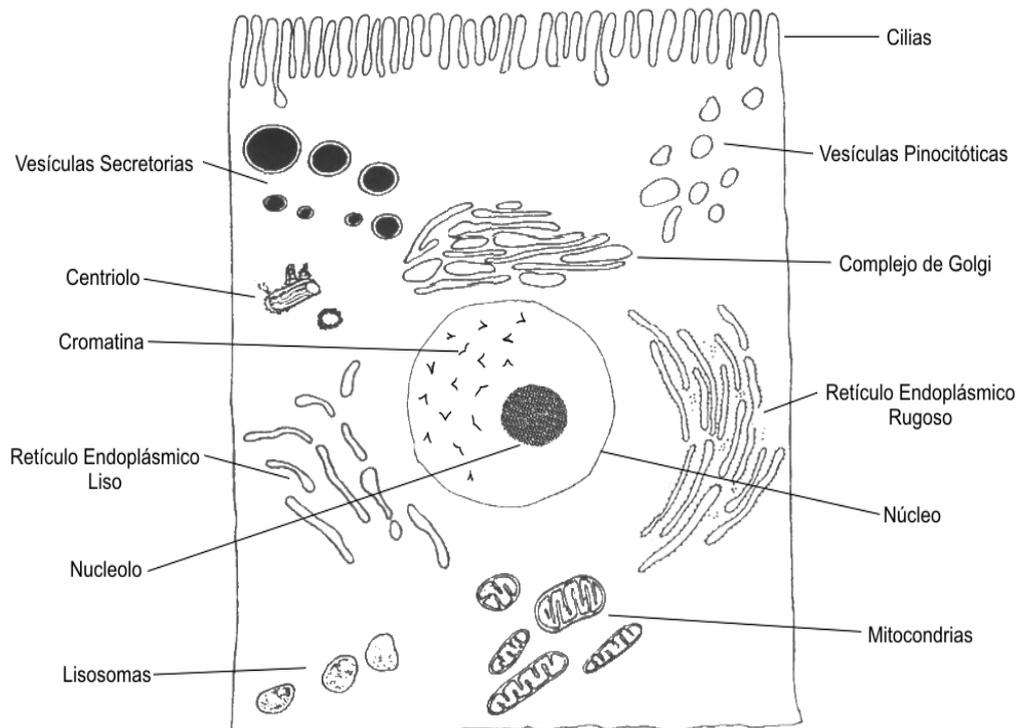
Las asociaciones atómicas dan lugar a elementos más complejos siendo los hidratos de carbono, las proteínas y los lípidos elementos muy frecuentes en el cuerpo humano. Los hidratos de carbono constituyen una fuente de energía fundamental del cuerpo humano, lo que no significa que no participen en ciertas estructuras corporales. Los lípidos a su vez constituyen la reserva de energía que tiene el humano, y también participan de ciertas estructuras en menor cuantía. Finalmente, las proteínas son las que van a formar parte fundamental de la estructura corporal humana.

Los hidratos de carbono o azúcares son elementos que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Son una importante fuente de energía de la célula además de formar parte de la estructura celular. Se los clasifica de acuerdo a las cadenas carbonadas que los conforman. Existen monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Así, el azúcar común, es el disacárido sacarosa que está formado por los monosacáridos glucosa y fructosa unidos entre sí. Los polisacáridos más importantes son el almidón y el glucógeno (polímeros de glucosa).

Los lípidos son moléculas insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos. Químicamente son sustancias variadas. Hay lípidos muy comunes como los triglicéridos, que están formados por ácidos grasos y glicerol. El colesterol, en cambio, tiene una molécula derivada del ciclopentanoperhidrofenantreno. Los esteroides derivados del colesterol forman parte de ciertas vitaminas y hormonas.

Las proteínas están formadas por aminoácidos encadenados entre sí. Los aminoácidos están formados por un ácido orgánico unido a una amina (alanina, valina, leucina, fenilalanina, prolina, etc.). Las uniones entre aminoácidos se llaman uniones peptídicas. Un polipéptido tiene muchos aminoácidos. Un ejemplo de una proteína muy común en el cuerpo humano es el colágeno. Otro ejemplo de proteínas son las enzimas o fermentos.

Que elementos como el hierro o el Yodo se encuentren en proporciones despreciables en el cuerpo humano, no los hace prescindibles: la falta de hierro es causa de anemia y la de Yodo de alteraciones de la glándula tiroidea.



Célula idealizada. El perímetro dibujado corresponde a la membrana celular, que en su parte superior tiene diferenciaciones llamadas cilios. El Núcleo contiene un Nucleolo y Cromatina. Entre la membrana celular y el Núcleo hay organelos: Microtúbulos, complejo de Golgi, Retículo Endoplásmico Rugoso, Retículo Endoplásmico Liso, Lisosomas, Mitocondrias, Vesículas Secretorias y Vesículas Pinocíticas.

Las células

En general las células tienen tamaños microscópicos y en el cuerpo humano hay unos 200 tipos diferentes de ellas. Están constituidas por una membrana que las recubre y en su interior hay un núcleo inmerso en un citoplasma. Dentro del citoplasma se encuentran pequeños organitos que

realizan funciones vitales. Estos organitos u organelas son de de diminuto tamaño. Las organelas son: el complejo de Golgi, las mitocondrias, los lisosomas, los centriolos y el retículo endoplásmico del cual existen dos variantes, el rugoso (con ribosomas), y el liso (sin ribosomas). El núcleo contiene material genético que se observa como cromatina. El peso de estos pequeñísimos elementos se expresa en Picogramos (10^{-12} gramos).

Las células tienen distintos grados de complejidad en su constitución, así una procariota es bastante simple, tanto que no tiene un núcleo constituido debidamente. En cambio en las llamadas eucariotas existe un núcleo y un citoplasma. En este último las membranas y otros componentes forman organoides más complicados.

Las formas que adquieren las células son variables. Estas variaciones se establecen entre células de un territorio y otro o inclusive pueden variar con el tiempo en un mismo lugar. Así, un glóbulo blanco o leucocito puede deformarse para cumplir su misión de defensa, por lo que su forma cambia de acuerdo a las circunstancias. Las células gástricas tienen formas definidas que generalmente se adaptan a su función secretoria.

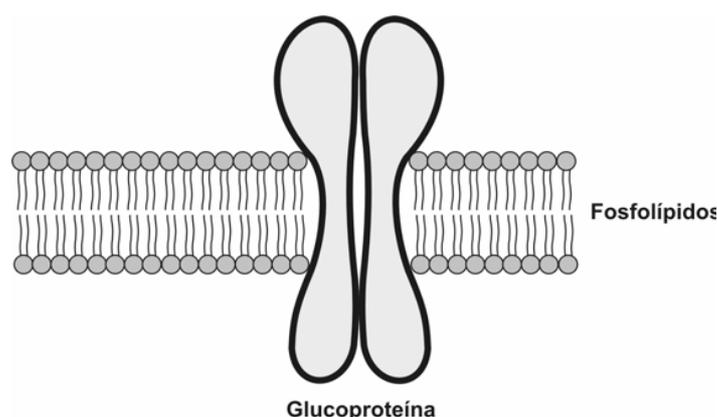
Membrana celular

Los elementos celulares antes mencionados conforman distintas organelas a semejanza de los órganos del cuerpo del humano adulto. Así, a modo de ejemplo, en lugar de piel habrá una membrana celular. Cada célula está contenida en una membrana celular que la separa del exterior y al mismo tiempo la relaciona con otras células y elementos extracelulares.

La membrana celular es muy fina, no obstante permite una permeabilidad selectiva a elementos que se encuentran de un lado y otro de ella, o sea los intracelulares y los extracelulares. La membrana celular tiene un grosor de siete a ocho nanómetros.

Las membranas también se encuentran en el interior de la célula y forman parte del citoesqueleto.

Desde el punto de vista molecular, la membrana celular consiste en una bicapa fosfolipídica que tiene propiedades hidrofóbicas e hidrofílicas. Tiene una estructura molecular compleja a la que se asocian proteínas e hidratos de carbono que desempeñan múltiples funciones. La función de la membrana celular es muy especializada y tiene la responsabilidad del intercambio de elementos nutrientes que ingresan y secreciones que egresan. Distintos estímulos producen efectos en la célula a través de los receptores de membrana.



Membrana plasmática. Usualmente rodea a la célula y está compuesta por proteínas y moléculas de fosfolípidos que contienen Fosfatos y Ácidos Grasos.

En la membrana también se encuentran proteínas unidas a carbohidratos que tienen varias funciones, entre las que se incluye la de actuar como receptores de distintos elementos. En la composición de la membrana celular intervienen fosfolípidos, colesterol, glucolípidos, glucoproteínas, las que le confieren distintas propiedades. La membrana, por su naturaleza

lipídica hace que sea impermeable al agua, iones, glucosa y urea; en cambio el oxígeno y el anhídrido carbónico la atraviesan sin dificultad.

La membrana celular tiene una importante función de vecindad, o sea de relacionarse con las células vecinas, por lo que posee diferenciaciones que toman el nombre de Gap Junctions, macula adherens, desmosomas, los que no son más que complejos de unión. O sea, formas de pegarse una célula con su vecina. Las invaginaciones de las membranas tienen que ver con el aumento de la capacidad de absorción mediante el aumento de la superficie de contacto.

Las células del cuerpo humano tienen identidad. Ello hace que se las reconozca como “amigas”, por lo que no son atacadas por el sistema inmune propio del individuo. Por el contrario, hay células extrañas al cuerpo humano, tal como una bacteria, que no se reconocen como propias y por lo tanto son “enemigas” y deben ser atacadas por el sistema inmune. Pero hay otros elementos que muestran la importancia de la identidad celular. Así, un espermatozoide no va a ir a cualquier célula, solo se unirá a un óvulo, por la simple razón de que lo reconoce a través de las glucoproteínas de membrana (glucocalix).

Los **desmosomas** pueden disponerse en cinturón o en spots. Son complejos de unión. Las tight junctions son impermeables y las gap junctions son permeables: comunican el interior de una célula con la vecina.

Las **gap junctions** son importantes en la comunicación calcio dependiente y en la estimulación nerviosa. Su tamaño es del orden de los nanómetros.

La membrana celular puede poseer diferenciaciones de acuerdo al lugar en que está y la función que cumple. Así los epitelios del aparato respiratorio de tráquea, bronquios y bronquiolos, tienen **diferenciaciones celulares** llamadas cilias. Las cilias tienen como función desplazar tangencialmente elementos cercanos al polo apical. Poseen actividad contráctil. Son abundantes en el tracto respiratorio, oviducto y útero. Otras células como los espermatozoides tienen flagelos que le sirven para desplazarse. En células como las de la superficie intestinal hay microvellosidades. Las microvellosidades de la membrana celular sirven para la absorción de líquidos y nutrientes. Las microvellosidades tienen un esqueleto fibroso que las mantiene en posición (filamentos de actina) porque están ancladas. Las microvellosidades multiplican la superficie por 25.

Así como las células se relacionan con otras, también lo hacen con elementos que ellas mismas generan. Son los elementos que conforman lo que se ha dado en llamar matriz extracelular. Por ejemplo en el caso del tejido óseo, la matriz extracelular está constituida fundamentalmente por calcio.

El citoplasma

La membrana celular rodea un espacio ocupado por el citoplasma, el cual contiene distintos elementos: una parte fluida que es el **Citosol**, las **Inclusiones** celulares y las **Organelas**.

La parte fluida del citoplasma, el Citosol, es rica en agua, nutrientes y enzimas que catalizan los procesos de transformación química.

Las inclusiones son elementos cuya presencia varía de una célula a otra y en una misma célula de un momento a otro. Son ejemplos de ellas los elementos que las células fabrican en su interior, como podría ser una molécula de insulina por ejemplo, o gotitas de grasa.

Las organelas son pequeños órganos con semejanza a los del cuerpo humano. Ellos son: Mitocondrias, Aparato de Golgi, Lisosomas, Peroxisomas, Citoesqueleto, Ribosomas, Centríolos Retículo Endoplásmico liso y rugoso.

Las células deben su forma a la presencia de un esqueleto. El **citoesqueleto** esta formado filamentos de proteínas que conforman una red dentro del citosol. Está formado por tres elementos: a) microtúbulos, b) filamentos de actina, c) filamentos intermedios.

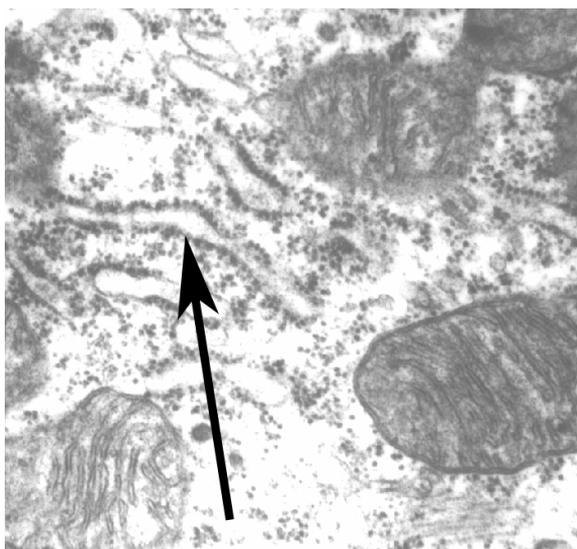
El citoesqueleto es el que forma los **Centríolos**, elementos fundamentales en la división celular. Estos filamentos huecos intervienen en la división celular y dan movimiento a elementos a través del plasma mediante moléculas motoras.

Como ya se vio anteriormente, en el citoplasma celular existen numerosos organelos. Uno de ellos es el **Retículo Endoplásmico**, el cual tiene múltiples funciones y está constituido por un sistema de membranas ubicadas en el citoplasma de la célula. Son canalículos que tienen un aspecto liso y en otros casos rugoso. Algunos de los cuales conectan el núcleo celular con organelos, haciendo las veces de un “aparato circulatorio”.

El retículo endoplásmico rugoso debe su nombre a las rugosidades, característica que le es conferida por la presencia de ribosomas. Los **ribosomas** son concentraciones de proteínas y ácido ribonucleico ribosómico, se encuentran en el citoplasma y su función es generar proteínas. El retículo endoplásmico liso, es una verdadera fábrica de lípidos e hidratos de carbono e interviene en algunos procesos de desintoxicación. En los casos de células musculares tiene relación con el almacenamiento de iones de calcio que intervienen en la contracción muscular.

El **complejo de Golgi** es otro organelo citoplasmático que tiene que ver con el destino final de lo sintetizado por el retículo endoplásmico. Es el empaquetador de lo sintetizado en otro lugar de la célula. Modifica ciertas moléculas para que sean funcionales.

A la observación microscópica, el aparato de Golgi tiene semejanza con un panqueque. Las enzimas son formadas en el retículo endoplásmico y se segregan con la ayuda del complejo de Golgi. El cual formaría parte de un sistema de transporte.



Célula real vista con microscopía electrónica. La flecha señala el retículo endoplásmico rugoso. Los puntos negros corresponden al Ácido Ribonucleico Ribosómico. Se observan mitocondrias en todo el preparado. Gentileza de la Lic. Patricia Meckert.

Los **lisosomas** son vesículas que tienen en su interior fermentos que van a producir la lisis o digestión de distintos elementos. Así las grasas son digeridas por las lipasas, el colágeno por la colagenasa.

Los lisosomas contienen diferentes enzimas capaces de digerir productos celulares de organelos dañados así como los componentes de una bacteria que ingresó a la célula. En la enfermedad de Tay-Sachs hay un desorden congénito en el que faltan enzimas que digieren los componentes de las células nerviosas (glicolípidos), por lo que ellos se acumulan en la célula causando hinchazón y degeneración.

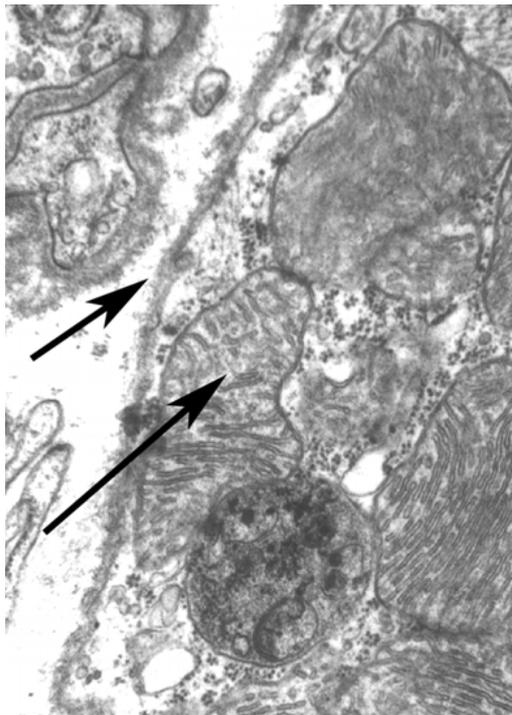
Los **peroxisomas** son vesículas con membranas que contienen enzimas digestivas destinadas a destruir cadenas largas de ácidos grasos, aminoácidos y algunas sustancias tóxicas.

Las **mitocondrias** son orgánoides que se encuentran en el citoplasma y están formados por dos membranas, una externa y una interna. La membrana interna tiene crestas. Las mitocondrias también contienen ácido desoxirribonucleico y ribosomas.

Las mitocondrias son un tanto diferentes al resto de las organelas. Por un lado poseen ácido desoxirribonucleico, que tiene características similares al de ciertas bacterias. No es el único parecido con las bacterias, en efecto, sus membranas también se parecen. Por tener en su interior material genético son capaces de reproducirse. Por otro lado, las mitocondrias son verdaderas centrales de energía contribuyendo a la formación de compuestos capaces de proveer elementos energéticos que se precisan para las distintas actividades celulares. Por todo lo anterior se ha sugerido que eventualmente las mitocondrias alguna vez tuvieron vida separada de las células y luego se relacionaron en forma simbiótica.

Además de los orgánoides, el resto del citoplasma (matriz citoplasmática) tiene mucha importancia en la formación y destrucción de elementos energéticos, como glucosa y glucógeno. El glucógeno (polímero de la glucosa) es fundamental en los gastos de energía, constituye el reservorio al que va a recurrir todo el organismo cuando debe realizar tareas como una contracción muscular, segregar una hormona u otras.

Dentro del Citoplasma la posición de las organelas así como la forma de la célula está dada por el citoesqueleto. Además de las organelas, el citoplasma contiene vesículas de endocitosis y de exocitosis. En ambos procesos hay vesículas cargadas de proteínas que salen y entran de la membrana plasmática. La salida de proteínas se hace por exocitosis. En el caso de la endocitosis, la misma puede consistir en pinocitosis (ingresan líquidos) o fagocitosis (ingresan sólidos).

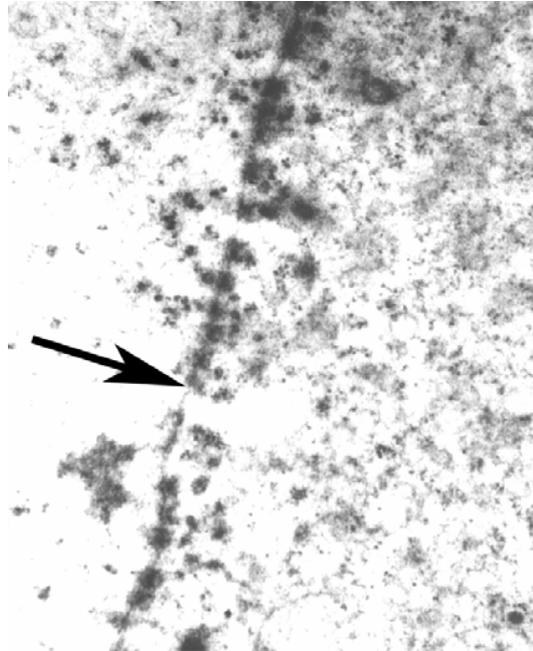


Célula real vista con microscopía electrónica. La flecha superior señala un complejo de unión entre dos células. La flecha inferior señala una mitocondria en la que son evidentes las crestas internas. Gentileza de la Lic. Patricia Meckert.

Núcleo celular y ácidos nucleicos

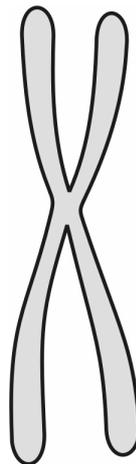
Una célula siempre proviene de otra célula. Ello es posible por la presencia de material genético que se encuentra en el núcleo de la célula. El núcleo celular es una formación que está envuelta por una membrana doble que engloba a los cromosomas que son estructuras ricas en material genético que consiste en moléculas de **ácido desoxirribonucleico** (ADN).

Usualmente el núcleo está bien delimitado debido a una sustancia llamada cromatina que está contenida por la membrana nuclear. La membrana nuclear tiene poros que son activos y su permeabilidad es selectiva. Hay núcleos grandes como los de las células hepáticas o hepatocitos y pequeños como los de algunos glóbulos blancos llamados linfocitos. Como regla general hay un núcleo por célula, pero en el cartílago existen células binucleadas. Hay células multinucleadas como el músculo esquelético y los osteoclastos, que son células que están en los huesos.



Célula real vista con microscopía electrónica. La flecha señala la membrana nuclear que separa el citoplasma del contenido del núcleo. A la izquierda el campo intranuclear y a la derecha elementos propios del citoplasma. Gentileza de la Lic. Patricia Meckert.

En el núcleo hay una zona densamente coloreada que corresponde al **nucleolo**. Viene a ser un “núcleo dentro del núcleo”. Tiene ribosomas y ácidos nucleicos. Parte del ácido ribonucleico que se encuentra en los ribosomas migra al citoplasma a través de los poros de la membrana nuclear.



Cromosoma. El material genético del núcleo se encuentra incluido en cuerpos semejantes al de la figura y que pueden tener distintos tamaños y longitud de brazos. El sitio de unión se llama centrómero.

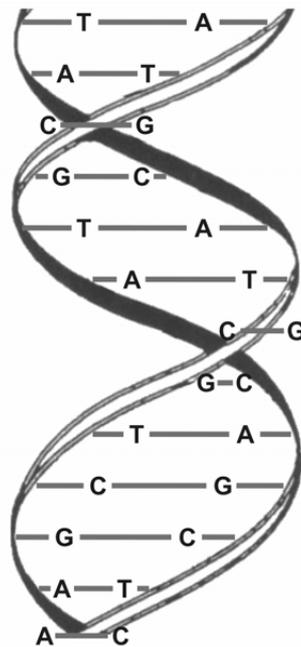
Los ácidos nucleicos tienen entre sus componentes bases que pueden ser púricas o pirimídicas de acuerdo a su conformación química. El ADN está formado por fosfatos, desoxirribosa y bases nitrogenadas. Los núcleos de las células humanas tienen cuarenta y seis moléculas de ADN. Cada una de las moléculas se enrolla y condensa para formar un cromosoma.

Las moléculas de ADN tienen una configuración espacial muy particular: se parecen a una escalera en “caracol” en donde los peldaños son bases nitrogenadas y los laterales están formados por azúcares y fosfatos.

El ácido desoxirribonucleico tiene bases pirimídicas (Citosina, Timina) y tiene bases púricas (Adenina, Guanina).

Cada uno de los cromosomas está formado por una única molécula de ácido desoxirribonucleico y por proteínas. El conjunto se llama cromatina. Las moléculas de ácido desoxirribonucleico se distribuyen en largas secuencias y una molécula puede contener 250 millones de pares de bases. El total de información genética se llama genoma. Solo el 10% del ADN es genéticamente activo.

Hay 22 pares de cromosomas que los comparten hombres y mujeres. El par que puede ser diferente es el de los cromosomas sexuales. En la mujer hay dos “X” mientras que en el hombre hay un “X” y un “Y”.



El Acido Desoxirribonucleico tiene una configuración espacial en doble hélice y las bases se relacionan entre sí: Citocina (C), Guanina (G), Timina (T), Adenina (A). Las bases se relacionan con las moléculas de desoxirribosa, las cuales están unidas entre sí por fosfatos.

La parte útil del ácido desoxirribonucleico se llama gen. El **genotipo** es una presencia genética cualquiera en el seno de un individuo, y el **fenotipo** es su manifestación en el humano. Por ejemplo el color de ojos azules: los genes que lo determinan constituyen el genotipo y el fenotipo son precisamente los ojos azules del individuo.

Las bases son las que dan el código genético y son tomadas de a tres. Cada triplete se llama Codon. En una zona del núcleo llamada nucleolo se encuentra el ácido desoxirribonucleico que posteriormente formará el ácido ribonucleico ribosomal.

El ácido desoxirribonucleico tiene una conformación espacial como filamentos en helicoidal y son bandas dobles que están unidas por uniones débiles de hidrógeno en las que se relacionan las bases de la siguiente manera: Adenina con Timina y viceversa; Citosina con Guanina y viceversa.

Finalmente se da cuenta que existe un ADN en las mitocondrias, el cual tiene aplicación en medicina legal.

El **Acido Ribonucleico** (ARN) tiene fracciones fibrilares y granulares. Se compone de pentosa (azúcar), bases nitrogenadas pirimídicas (citosina, uracilo), púricas (adenina, guanina) y ácido fosfórico. Como ya se mencionó, el ARN tiene básicamente los mismos elementos que el ADN pero cambia la timina por el uracilo y la desoxiribosa por pentosa.

Recordando la comparación hecha del ADN asemejándolo a una escalera “caracol”, se podría decir que el ARN consiste en una pata de la escalera, medio escalón y difiere en el azúcar y una base nitrogenada.

En el núcleo se forma ARN mensajero que es una copia del ADN. El ARN mensajero va al Ribosoma y el ARN de transferencia acerca aminoácidos desde el citoplasma hacia el Ribosoma.

El ARN se presenta usualmente en forma de gránulos.

Distintos tipos de células. Tejidos.

Las células, si bien conservan una capacidad totipotencial o sea de contener la información que les permite reconstituir todo el individuo que las contiene, van a diferenciarse para cumplir funciones específicas. En condiciones fisiológicas el humano no se esta restaurando ni formando a partir de células corporales (somáticas).

Un caso particular es una célula sanguínea por excelencia: es el glóbulo rojo o eritrocito. Esta célula tiene la particularidad de no tener núcleo y cumple su función de transportar gases (oxígeno, anhídrido carbónico) merced a su conformación bicóncava que es, desde el punto de vista físico, la estructura ideal para su propósito. Los glóbulos rojos provienen de otras células que se duplican pero ellos mismos no lo hacen, de allí lo innecesario del núcleo.

Otra célula sumamente diferenciada es el miocito o célula muscular que forma parte del aparato locomotor y distintos órganos del cuerpo. Existen dos variedades, el músculo liso que está presente en las arterias, intestinos y otros sitios, y el músculo estriado que se halla en los músculos de la locomoción, el corazón, esófago superior y otros. La principal actividad de los músculos es la de contraerse generando movimientos.

Los grupos de células que tienen similar estructura y función se asocian formando tejidos. El estudio de los tejidos lo hace una rama del conocimiento específica: la **histología**.

Las células óseas se encuentran dentro de huesos que son depósitos de calcio, cristales de hidroxapatita y otros. Estas células se llaman osteocitos y se nutren como cualquier otra. Los osteocitos tienen funciones referidas al mantenimiento de la estructura del hueso y los osteoclastos son los macrófagos del tejido óseo que de acuerdo a señales vitamínicas, hormonales van a tener actividad osteoclástica o no. O sea que van a destruir hueso o no, de acuerdo a la orden que reciban.

Las células glandulares son muy variadas y están en distintos órganos que se llaman glándulas y tienen como función la regulación de distintos procesos metabólicos. Las glándulas pueden ser de secreción interna y de secreción externa. Las primeras vierten sus productos a la sangre y las de secreción externa a conducto. Son numerosas y se siguen describiendo nuevas funciones de las mismas.

Los tejidos unen a otros y forman órganos que tienen funciones específicas. Así el corazón es un órgano fundamentalmente encargado de impulsar la sangre a través de los vasos. Los órganos se conforman de distintos tipos de tejidos, así en el corazón no sólo hay células musculares sino que también hay nerviosas y conectivas.

La asociación de órganos conforma sistemas. El término aparato, en biología se usa para designar a la asociación de sistemas. Así el aparato locomotor incluye al sistema nervioso y al sistema osteo-muscular con sus articulaciones.

Un aparato está conformado por sistemas o parte de ellos y se entiende que tiene la responsabilidad de realizar una función integralmente.

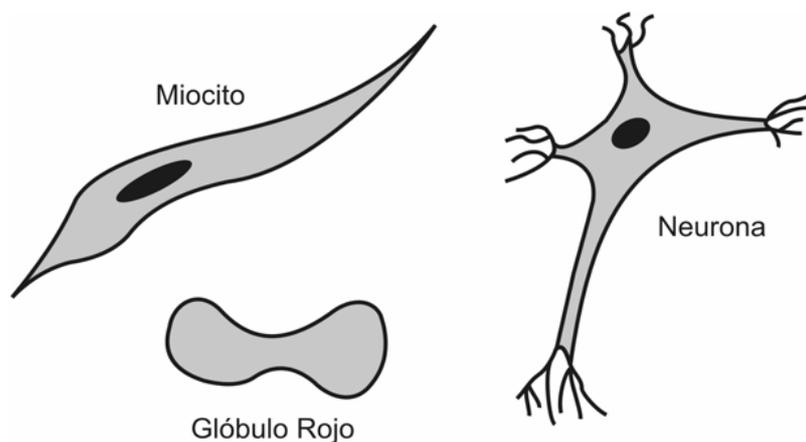
Si bien hay numerosos tipos de tejidos en el cuerpo humano, se considera que cuatro de ellos son los fundamentales: a) Tejido epitelial, b) Tejido Muscular, c) Tejido Nervioso y d) Tejido conectivo.

El **tejido epitelial** tiene la función de revestir superficies y tiene funciones secretoras.

Al revestir superficies hace de barrera y delimita medios diferentes. Por ejemplo, en el intestino el epitelio excreta y absorbe. En la piel, el epitelio (epidermis) es capaz de generar una sustancia llamada queratina que forma estratos córneos y da origen a diferenciaciones como uñas o pelos en la piel. En el riñón hay epitelios que cumplen funciones de absorción y secreción. En la vejiga urinaria el epitelio forma una capa impermeable.

Las células epiteliales se disponen en capas y modulan el pasaje de moléculas y líquidos de un compartimento a otro. Especialmente en los casos de estructuras tubulares y huecas.

La célula epitelial se dispone en capas y en consecuencia tiene vecinas. Posee un polo apical, uno basal y otros laterales. Esto es importante porque la célula tiene sentido de lo que son la direcciones, y lo que es el lumen y lo que es el lado sanguíneo. El tejido epitelial glandular tiene funciones de secreción y posee gránulos que se encuentran en un proceso cíclico: fabricación, almacenamiento y eliminación bajo estímulo.



Células diferenciadas. Miocito o célula muscular lisa (M), neurona o célula nerviosa y Eritrocito o Glóbulo Rojo.

El **tejido muscular** tiene una función tan simple como la de acortarse y alargarse. Es la función de contraerse. Las fibras que forman el músculo contienen proteínas denominadas actina y miosina. La fuerza muscular se produce porque a nivel microscópico se produce un deslizamiento de filamentos de actina sobre los de miosina.

Los músculos del cuerpo usualmente corren dentro de vainas que son las aponeurosis y van a dirigir la fuerza que se genera.

El **tejido nervioso** tiene la propiedad de excitarse (se despolarizan y repolarizan las membranas) y conducir estímulos. Es un tejido sobre todo celular. Tiene células nerviosas y células de sostén. Esta célula nerviosa se llama neurona. La comunicación funcional de una célula nerviosa con otra se llama sinapsis. Las prolongaciones de las neuronas son las dendritas y los axones. Los nervios son prolongaciones de las neuronas del sistema nervioso central que se encuentra en el cráneo y en la médula espinal.

El **tejido conectivo** tiene una función de andamiaje o sostén, de nutrición y de defensa. La función de sostén se realiza gracias a elementos tales como fibras de colágeno, de elastina y sustancias amorfas. Los cartílagos y las aponeurosis son ricos en esas fibras.

En el tejido conectivo hay células tales como: fibroblastos, mastocitos, osteocitos, macrófagos, adipocitos, plasmocitos, linfocitos y otras. El hueso tiene calcio integrado en estructuras bien organizadas. Las calcificaciones patológicas están formadas por calcio depositado en lugares en

donde normalmente no deben estar. La sangre es considerada como una forma de tejido conectivo.

Medio Interno

El estudio de las células sirve para comprender el significado de la composición de los tejidos, que juntos conforman órganos, los cuales al asociarse generan sistemas y devienen en aparatos. Además hay aspectos que son muy importantes en la ingeniería clínica.

En ingeniería, un **sistema** es una porción del universo que incluye elementos que se correlacionan entre sí en un mayor grado con el que lo hacen con elementos ajenos. Existen sistemas abiertos y sistemas cerrados dentro de los sistemas reales. Cuando los sistemas tienen actividades de control se habla de “*homeostasis*”. Se puede interpretar que los sistemas en biología son aparatos asociados para un propósito común. Y cuando se hace referencia a mecanismos homeostáticos (homeostasis), se está refiriendo al mantenimiento y estabilización de los elementos que rodean y conforman a una célula. También los sistemas utilizan terminologías como “retroalimentación negativa”, “sistemas disipativos” (de energía) que son términos compartidos con la biología.

Cuando un ser es unicelular, como es el caso de los que se encuentran en el agua, las funciones vitales son cumplidas por las organelas. A través de la membrana celular hay un pasaje de agua, sales y nutrientes hacia el interior y salida de desechos hacia el exterior. Los seres pluricelulares como los humanos éstas funciones se siguen cumpliendo, por ello es necesario garantizar a cada célula un ambiente hidrosalino, la llegada de nutrientes y la retirada de desechos. Por otro lado es necesario mantener niveles de temperatura y ácido/base estables.

Por lo anteriormente mencionado, los distintos sistemas deben mantener lo que se ha dado en llamar medio interno. La definición de “medio interno” fue establecida por Claude Bernard, un fisiólogo del siglo XIX que lo estudió en profundidad. Es necesario conocer que el medio interno incluye a los líquidos que rodean a las células del organismo, los cuales tienen un rol importante en la generación de energía en las células y el intercambio de materiales con el medio externo. Esto último incluye el intercambio gaseoso.

Los procesos fisiológicos, tengan gran importancia o no, logran mantener la estabilidad del medio interno, a pesar de que los seres vivos son sistemas abiertos. Uno de los elementos más importantes es el agua intracelular que constituye el 35% del peso corporal. Por otro lado, un humano que pese unos 70 kg. tendrá alrededor de 15 litros de agua en el espacio extracelular. Las concentraciones de potasio son mayores en el espacio intracelular, en contraposición al extracelular en donde predominan el cloro y el sodio.

Las razones por las cuales los humanos están constituidos por células ricas en potasio en su interior y rodeadas de un ambiente hidrosalino rico en cloro y sodio, pertenecen al campo de las teorías. Las mismas explican la hipótesis por la cual un ancestro del hombre salió del mar 500 millones de años atrás. El mar de donde emergió, en el período Cámbrico, tenía una composición similar al del espacio extracelular.

El mantenimiento del agua corporal en el humano es fundamental y hay un equilibrio que debe mantenerse diariamente. Los órganos involucrados en el mencionado equilibrio son: el tubo digestivo, riñones, pulmones y piel. En un día, el humano adulto recibe 2.500 cc de agua, de los cuales 200 provienen del agua endógena (generada en el organismo) y el resto de la comida y bebida. La pérdida de agua se hace por orina, heces y perspiración insensible a través de la piel y pulmones.

Aspectos médicos

La Medicina, es el “*arte de curar con bases científicas*”, según la definición de la Organización Mundial de la Salud. Lo cual la constituiría en una suerte de “*artesanía cultural*”, al decir de Florencio Escardó, un filósofo de la medicina argentina. Su condición de arte, no le quita la

posibilidad de generar ciencia e investigar en tal sentido. Es así que, en lo relacionado a la estructura celular de los seres humanos hay especialidades y sub-especialidades médicas que la consideran especialmente. De esa manera existen los Patólogos (médicos) y quienes se dedican a la citología (técnicos).

Si bien la Medicina concentra sus esfuerzos en el humano, para lograr sus propósitos debe saber de aquellas enfermedades causadas por otros seres vivos del reino animal y vegetal. De tal manera que no es raro que un médico se transforme en un experto en el conocimiento de ciertos artrópodos. Tal es el caso de la Vinchuca, vector de una parasitosis conocida como Enfermedad de Chagas. Asimismo, el conocimiento de seres unicelulares está incluido en ciertas especialidades médicas. Las bacterias son microorganismos con formas de bastones (bacilos), espirales (espiroquetas), racimos (estafilococo), bastones curvos (vibrión), y muchos otros. Se pueden asociar formando colonias, en las que las unidades usualmente están unidas entre sí. Cuando el medio no es propicio, algunos de estos microorganismos adoptan la forma de esporas, que es una forma de enquistamiento muy resistente al calor, el secado y los desinfectantes.

Hay microorganismos que son tristemente conocidos, así el Bacilo de Koch es la causa de la tuberculosis, la espiroqueta pálida es causa de sífilis, el estafilococo es causa de infecciones hospitalarias, el vibrión colérico produce el cólera.

Finalmente, el estudio de las membranas es fundamental en la ingeniería biomédica. Las membranas celulares son fundamentales a la hora de generar órganos artificiales, tal es el caso de las membranas de diálisis usadas en enfermos renales. En líneas generales las terapéuticas que tratan de reemplazar un órgano, lo hacen mimetizando el órgano y función afectados por una enfermedad grave. Las renovaciones de líquidos corporales dependen en gran parte de la utilización de membranas artificiales que tienen similitudes con las biológicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Armentano RL, Cabrera Fischer EI. Biomecánica Arterial. R. L. Editorial Rolta, Buenos Aires, Argentina; 2008.
- Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. Second Edition, Volume I. CRC Press, Printed in the USA; 2000.
- Cabrera Fischer EI. Bases de la Fisiología Humana normal y alterada: un enfoque para ingenieros clínicos. Editado por la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Segunda Edición, Argentina; 2007.
- Cingolani HE, Houssay AB. Fisiología Humana de Houssay. El Ateneo, Buenos Aires; 2000.
- Curtis H y Barnes SN. Biología. Editorial Médica Panamericana. Impreso en España; 2000.
- De Robertis E, Hib J. Biología Celular y Molecular. Editorial PROMED. Impreso en Buenos Aires, Argentina; 2012.
- Evolution. A Scientific American Reader. The University of Chicago Press, USA-UK; 2006.
- Ganong WF. Fisiología Humana. Manual Moderno 17a edición. México DF; 2000.
- Goodfield GJ. El desarrollo de la fisiología científica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, Primera Edición, Pág. 12; 1987.
- Goodsell DS. The Machinery of Life. Springer, Second Edition, USA; 2009.
- Guyton A, Hall J. Fisiología Médica, Elsevier, Barcelona, España; 2011.
- Johnson LR. Essential Medical Physiology. Elsevier Academic Press, Tercera Edición, New York, USA; 2003.
- Kapit W, Macey RI, Meisami. The Physiology. Second Edition, New York, USA; 2000.

Light D. Cells, tissues and skin. Chelsea House Publishers, Philadelphia, USA; 2004.
Raven PH, Johnson GB. Biology. Mc Graw Hill, Sexta Edición, USA; 2001.

CAPÍTULO II

FUNCIONES VITALES ELEMENTALES

Funcionamiento de la célula. Funcionamiento de la membrana celular. Metabolismo celular. Síntesis. División celular: mitosis. División celular: meiosis. Aparato locomotor. Sangre. Sistema inmunitario. Aparato circulatorio. Aparato respiratorio. Aparato Digestivo. Riñones y vías urinarias. Sistema Nervioso. Órganos de relación. Arterias y Nervios. Sistema de Control. Reproducción y Embarazo. Crecimiento y Hormonas. Anemias y Cáncer.¹

El estudio de la fisiología celular, tanto de células humanas como no humanas es muy importante pues muchas de las patologías que afectan a las personas tienen base celular. Desde las bacterias hasta las neoplasias. En medicina, la patología es el área del conocimiento dedicada al estudio de las enfermedades. La fisiopatología se dedica al estudio de las funciones alteradas. Por ello cobra importancia el conocimiento de la función normal a la cual deben tender a restaurar todas las terapéuticas cuando hay procesos patológicos que afectan al individuo.

Funcionamiento de la célula

Tal como se explicó anteriormente, las células tienen funciones similares a las de un individuo pluricelular. Por ello existen procesos de reproducción, digestión de alimentos, desplazamientos y otros.

La función primaria de una célula es mantenerse con vida y para ello debe conservar el equilibrio del medio en que se encuentra, lo que se ha dado en llamar homeostasis.

Por otro lado la célula realiza actividades que tienen que ver con el ser pluricelular del cual forma parte. Por ello algunas funciones, tales como procurarse de nutrientes, no necesariamente las debe efectuar ya que el aparato circulatorio se las proveerá. Como contrapartida debe cumplir con alguna función que le hubiera tocado en el orden natural del que forma parte. Así una célula Beta de los Islotes de Langerhans deberá producir una proteína muy importante para el uso de los azúcares: la insulina.

Una célula también cumple funciones relacionadas con las estructuras, ya sean de la misma célula o del organismo entero. Así hay células que tienen que producir elastina, un material que se encuentra en las arterias de gran tamaño, y los encargados de formarlas son las células musculares lisas.

Las células de la mayor parte de los tejidos tienen que formar otras células. Esto es muy común cuando se trata de epitelios o células de la sangre.

Funcionamiento de la membrana celular

La membrana celular tiene la importante función de mantener el equilibrio hidro-electrolítico entre el espacio intra y el extracelular.

La membrana celular está conformada por una doble capa de fosfolípidos que tiene sus cabezas hidrofóbicas apuntando una a otra y los extremos hidrofílicos apuntan hacia el espacio extracelular y el intra celular, respectivamente. Esto le confiere a la membrana celular la posibilidad de tener agua en los dos espacios que genera y al mismo tiempo actuar como una barrera semipermeable.

¹ Este capítulo fue corregido en su totalidad por biólogos autores de textos de la especialidad y referentes académicos.

El hecho que una membrana sea semipermeable, le confiere interesantes propiedades físicas. Así, cuando hay una mayor concentración de partículas (solutos) en una solución extracelular y ellas no pueden pasar la membrana celular, el agua del intracelular va a tender a salir siguiendo gradientes de concentración. En este caso se ponen en juego presiones osmóticas. El caso contrario podría ocurrir, si por ejemplo se tira un glóbulo rojo en agua destilada, el agua entraría a la célula pues en el intracelular hay solutos que la van a atraer. Las soluciones con alta concentración de solutos se llaman **hipertónicas** y las de baja concentración **hipotónicas**. En medicina son usadas muchas soluciones llamadas **isotónicas**, que tienen características osmóticas similares a las del plasma.

La **difusión** es el proceso por el cual las partículas tienden a ir desde los lugares donde su concentración es máxima hacia donde hay menor cantidad de ellas. La **ósmosis** es un caso especial en donde el agua difunde de un sitio en donde está altamente concentrada a otro de menor concentración, a través de una membrana semipermeable.

En el caso de los espacios que divide la membrana celular, existen fenómenos de **difusión simple**. Se trata de sustancias liposoluble, tal es el caso del alcohol, el anhídrido carbónico y el oxígeno.

Algunas sustancias como la glucosa o la urea, pasan a través de la membrana celular por un proceso de **difusión facilitada**, en el cual intervienen moléculas de membrana que las acarrearán.

En el pasaje de elementos a través de la membrana no solo importan las presiones osmóticas determinadas con las concentraciones de solutos. También hay presiones hidrostáticas que pueden forzar el pasaje de elementos a través de las membranas. Este proceso se llama **filtración**.

En los casos en que el pasaje a través de la membrana debe ser realizado en contra de un gradiente de concentración y demanda gasto de energía, se dice que es un **transporte activo**. El caso típico es la bomba de sodio-potasio. Ello hace que haya grandes concentraciones de sodio en el espacio extracelular y bajas en el intracelular, en cambio el potasio se encuentra en mucha mayor cantidad en el intracelular que en el extracelular.

Hay casos en los que el material extracelular ingresa en forma de vesículas que se forman a nivel de la membrana celular. El material se acerca y es englobado en la membrana y así ingresa al citoplasma. Estas vesículas en el citoplasma ingresan por un proceso que se llama de **endocitosis**, del cual hay dos variantes: pinocitosis y fagocitosis. La **pinocitosis** es el acto de beber de la célula y como tal ingresa líquidos. En el caso de la **fagocitosis**, es tan importante que algunos glóbulos blancos encargados de la defensa, se especializan en fagocitar cuerpos extraños.

El mecanismo contrario a la endocitosis es la **exocitosis** y son vesículas cargadas, por ejemplo de una hormona generada en la célula, que salen a través de la membrana celular.

Es conveniente resaltar la diferencia que existe entre el término “excreción” y la palabra “secreción”. Como su nombre lo indica, una **excreción** es el acto por el cual se libera la célula de los productos de desecho. En cambio una **secreción** es la liberación de un producto fabricado, tal sería el caso de una hormona.

Hay proteínas que se encuentran en el lado externo de la membrana celular y que tienen asociados carbohidratos. Estas glicoproteínas conforman lo que se ha dado en llamar el glicocalix que tiene la importante función de dar identidad a la célula. El caso de la tipificación de los glóbulos rojos es un ejemplo de la función de estas glicoproteínas.

Metabolismo celular

Tanto la célula como el ser pluricelular precisan mantener sus estructuras y por otro lado energía para las funciones vitales. Ambos dependen de la alimentación y tienen lugar a nivel celular.

El conjunto de cambios físicos y químicos que tienen lugar en la célula y en el organismo humano, tendientes a mantener las funciones vitales, se llama **metabolismo**. Incluye los procesos de digestión y aprovechamiento de nutrientes, intercambio gaseoso y expulsión de excretas, pasando por la generación y uso de elementos de alto poder energético. Así en la célula (y en el ser pluricelular) ingresan fundamentalmente proteínas, lípidos e hidratos de carbono y se producen los elementos necesarios para la vida. Como productos de desecho se genera calor, agua endógena y detritus, siendo la urea uno de ellos (derivado del metabolismo de las proteínas).

Los procesos por los cuales se gana energía se llaman anabólicos y en los que se pierde se llaman catabólicos. Ambos son fundamentales, ya que de nada serviría almacenar energía si luego no se puede recurrir a ella para llevar adelante las funciones vitales.

El ingreso de nutrientes va seguido de transformaciones que los degradan hasta formas químicas más simples. Así cuando ingresa un hidrato de carbono a un individuo pluricelular, el mismo sufre procesos de digestión y es degradado por fermentos que son proteínas con actividad enzimática. Estas enzimas lo que hacen es acelerar la transformación de las moléculas y generan formas más simples. En el caso de los hidratos de carbono, la vía más común es generar energía a partir de la glucosa, un azúcar simple que ingresa como parte de la alimentación.

Los procesos de generación de productos entre los que se encuentran los que concentran energía son intracelulares. Es importante recordar que un elemento cualquiera que sirve como alimento a un ser pluricelular nunca va a formar parte del mismo en su forma original. Así, por ejemplo, una proteína con la cual se alimentó, no va a formar parte de una membrana en su forma original. Ello es así porque las proteínas de cada individuo tienen una identidad y por ello las debe fabricar él mismo a través de sus células a partir de aminoácidos. Lo mismo ocurre con otros elementos de la alimentación, los cuales van a formar estructuras celulares o compuestos de alta energía.

El ingreso de proteínas tiene una vía semejante a la de los carbohidratos ya mencionados. Pero su utilización siempre va a ser de elementos moleculares mucho más pequeños que los que tiene la forma que sirve como alimento al ser pluricelular. Por ello son degradadas a nivel de aminoácidos y más pequeños. En el caso de las grasas, los distintos lípidos van a ser degradados a nivel de ácidos grasos. Los aminoácidos, los monosacáridos y los ácidos grasos, sobre los cuales actúan distintas enzimas y productos que ayudan a su transformación en formas más simples, van a converger formando un compuesto de alta energía formado por Adenosina y tres fosfatos. Este compuesto se llama ATP y se produce en el Ciclo de Krebs.

El Ciclo de Krebs, así denominado en honor a quien realizó éste genial marco conceptual, contempla un conjunto de reacciones químicas partiendo de los productos de degradación de glúcidos, proteínas y lípidos, pasando por la Acetil Coenzima A, que va a terminar formando ATP. En la producción de energía se incluyen procesos de oxidación y de reducción.

Una actividad celular tal como la contracción de fibrillas, en el caso de un miocito (célula muscular), requiere de ATP. En el uso el ATP se transforma en ADP (Adenosina Di Fosfato) con liberación de energía. El ADP no es un desperdicio, sino que sirve para formar nuevo ATP. El gasto de ATP también ocurriría si la función que le hubiera tocado a una célula en particular fuera la de generar proteínas; siempre se va a consumir energía.

Resumiendo, se puede decir que los hidratos de carbono se constituyen en la fuente más importante de energía, siendo la glucosa el combustible por excelencia. A partir de la glucosa se forma ATP y su utilización libera calor, agua y anhídrido carbónico. Todo ello en presencia de oxígeno y constituye el metabolismo aerobio.

Hay otra forma de obtener energía a partir de los nutrientes es lo que se ha dado en llamar metabolismo anaeróbico. Sin embargo, ésta vía en la que no interviene el oxígeno, tiene un rendimiento energético muy bajo.

Síntesis

Como ya se vio anteriormente, en el citoplasma se encuentra el Retículo Endoplásmico, el cual tiene múltiples funciones y está constituido por un sistema de membranas con la presencia o no de ribosomas. Los ribosomas son concentraciones de ácido ribonucleico que se encuentran en el retículo endoplásmico, el cual usualmente se presenta en forma de gránulos. Las moléculas de ARN se originan del ADN, en cambio el ADN siempre se origina de otro ADN.

El retículo endoplásmico es una verdadera fábrica de proteínas, lípidos e hidratos de carbono. La generación de estos productos se llama **síntesis**. Cuando hay una señal biológica que determina la formación de una proteína, el ácido desoxirribonucleico del núcleo da la información en forma de ácido ribonucleico que en este caso se llama mensajero.

Un **gen** es la parte de ADN que contiene la información necesaria que regula la secuencia de una proteína, eventualmente dos. El total de genes del humano, en una cantidad aproximada a 35.000, se llama **genoma**. Un **nucleótido** es la unión de una base, un azúcar y un grupo fosfato.

La información del ADN es brindada de la siguiente forma: las cadenas de ADN se abren separando las bases nitrogenadas que tienen uniones débiles. A las bases que quedan libres se les acoplan bases nitrogenadas propias del ARN, que junto a la ribosa van a generar una cadena de ARN mensajero (ARNm). Este proceso se llama **transcripción**.

En el humano hay veinte aminoácidos que van a determinar las diferentes proteínas, de acuerdo a la secuencia en que se repiten a lo largo de la cadena peptídica. El ADN tiene las bases: Adenina, Guanina, Citosina, Timina. Con ellas se puede formar, por ejemplo, Glicina. La cual se forma con la secuencia CCG. La Serina es AGT. La secuencia CCGAGT es para glicina seguida de serina. Es curioso que en realidad se pudieran hacer 64 combinaciones dando lugar a igual cantidad de aminoácidos. Pero en el humano existen sólo 20 aminoácidos. Como se sabe, una proteína contiene distintos y muy numerosa cantidad de aminoácidos. El ARNm da información de cada aminoácido usando tres nucleótidos juntos y es lo que se llama **codon**.

El ARN mensajero es una copia en espejo del ADN que se encuentra en el núcleo de la célula, el cual sirve de plantilla. El ARN mensajero va al Ribosoma y el ARN de transferencia acerca aminoácidos desde el citoplasma hacia el Ribosoma.

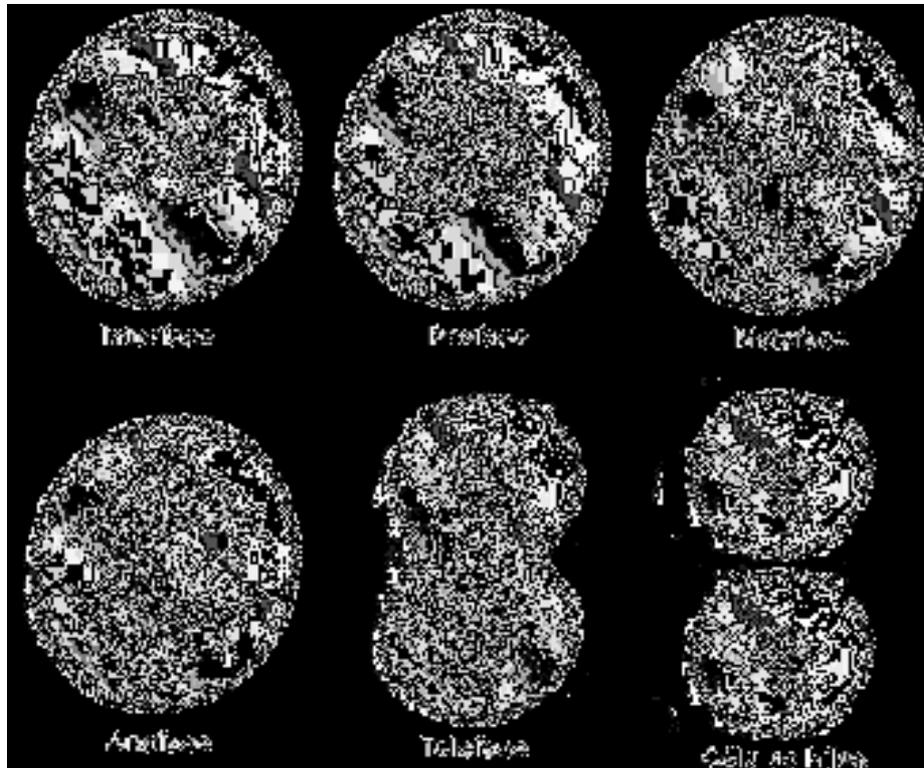
El ARN de transferencia es como una hoja de trébol. Por un lado tiene un aminoácido y por otro un tres "hojas" que son tres bases (**anticodon**). Estas tres bases son complementarias de las del codon. Así el ARN mensajero que tiene el codon, y el de transferencia tiene el anticodon se unen por acción del ribosoma. De esta manera los aminoácidos que acompañan al ARN de transferencia van colocándose en secuencia para formar una proteína.

El ARN ribosómico interviene catalizando (estimulando) distintos pasos de la secuenciación de aminoácidos que van a conformar una proteína específica. Una desviación de un solo nucleótido, respecto de lo que informa el ARNm, significaría la generación de una proteína diferente a la informada desde el ADN del núcleo.

División celular: mitosis

El ADN tiene generalmente una existencia muy dinámica, dado que todas las células tienen que mantener su estructura además de generar elementos para los cuales precisan una plantilla genética a los fines de no producir nada que el organismo (el sistema inmunitario) reconozca como extraño. Por otro lado, a pesar de los procesos de reparación de estructuras celulares y extracelulares deterioradas, las células eventualmente deben ser reemplazadas.

Un glóbulo rojo vive 120 días, los epitelios al estar en superficies deben ser renovados constantemente. En consecuencia hay que producir nuevas células para lo cual se precisa duplicar las existentes. El ADN del núcleo celular, no sólo tiene como función dar la identidad de los elementos que debe fabricar la célula, sino que tiene que generar células nuevas. Hay células muy especializadas como las musculares del corazón (miocitos) en las que no se generan nuevas células y duran toda la vida del individuo.



Mitosis. División celular desde la Interfase, Profase, Metafase, Anafase, Telofase, hasta las dos células hijas resultantes.

En un individuo adulto hay células somáticas (las del cuerpo) y células sexuales (óvulos y espermatozoides). En el caso de las somáticas las divisiones celulares, generan a partir de una célula madre, dos células hijas idénticas. Este proceso se llama **mitosis**.

Normalmente hay cromatina con material genético en el núcleo y hay dos centriolos en el citoplasma de la célula. Los centriolos son 9 triplete de túbulos y que van a servir de base para la migración de cromosomas, en la división celular. En la mitosis la cromatina del núcleo se espiraliza y se pueden individualizar a los cromosomas.

Las distintas etapas de la mitosis son: interfase, profase, metafase, anafase y telofase.

En la **Interfase** distintos elementos celulares se duplican, lo que incluye al ADN. Es un período ocupado por la síntesis de moléculas.

En la **Profase** la membrana nuclear pierde su continuidad y los centriolos comienzan a separarse. Ya hay cromosomas nuevos con material genético que es copia exacta del de la célula madre

En la **Metafase** los cromosomas se colocan en el plano ecuatorial de la célula y aparecen centriolos en los respectivos polos. Desde ellos parten husos acromáticos formados por microtúbulos que van a conectarse con los cromosomas.

En la **Anafase** los husos acromáticos tiran de los centrómeros y se separan los cromosomas, los cuales comienzan a migrar hacia los polos.

En la **Telofase** una nueva membrana nuclear termina de conformar dos nuevos núcleos, y la célula comienza a dividir el citoplasma en dos partes.

Finalmente en la **citoquinesis**, se forman dos células hijas que en términos generales son idénticas a la que les dio lugar.

El conocimiento de estas fases permite explicar fácilmente el efecto de ciertas sustancias que forman parte del conocimiento vulgar, tales como los gases mostaza usados en la primera guerra mundial. Los mismos, al impedir la división celular determinaban la muerte del individuo afectado.

En medicina, y para el tratamiento de la Gota o hiperuricemia, existen drogas como la colchicina que impiden la mitosis en Metafase por inhibición de la tubulina. En este caso impedir una mitosis es beneficioso.

División celular: meiosis

En la naturaleza la reproducción de las células tiene que ver con su característica de ser sexuada o asexuada. Así, en las asexuadas no hay intercambio genético con otro ser vivo. Es el caso de las abejas que se reproducen fundamentalmente por partenogénesis. Dado que los cromosomas de los ovocitos de las hembras sólo son de tipo "X", los seres que resultan son siempre hembras.

En la sexuada existe un intercambio genético porque intervienen células con un número de cromosomas que es la mitad del que tienen las células somáticas. Las células somáticas tienen 23 pares de cromosomas y las sexuales (ovocitos) tienen 23 cromosomas.

Si se diera el caso que no hubiera células sexuales, los 23 pares de cromosomas, si se duplicaran, se formarían células con un número doble de cromosomas, lo cual en la naturaleza no existe. Por todo lo anterior, es preciso que haya células con números de cromosomas haploides y ello se logra con divisiones de tipo meiótico.

Tanto la mitosis como la meiosis tienen lugar en células que poseen 46 cromosomas, o sea 23 pares. Pero mientras que la mitosis origina células que también tienen 46 cromosomas, la meiosis origina células (espermatozoides y óvulos) que poseen solo 22 cromosomas somáticos y uno sexual. La meiosis implica la reducción del número de cromosomas a la mitad, que vuelve a 46 en el momento de la fecundación para conservar así el número de cromosomas de la especie.

La meiosis es un proceso fundamental en la reproducción humana. Existen especies animales que se reproducen por partenogénesis, que es un proceso por el cual una célula (óvulo) da lugar a un individuo completo. Pero en el caso de los humanos, el individuo resultante, deriva de dos células: un óvulo y un espermatozoide.

Resumiendo, las células del cuerpo del humano (llamadas células somáticas) se multiplican por mitosis y conservan un número diploide de cromosomas, en tanto que óvulos y espermatozoides (llamadas células sexuales) provienen de divisiones meióticas y por lo tanto tienen un número haploide de cromosomas.

En el caso de los espermatozoides, los mismos derivan de las **espermatogonias**, que son células de los testículos que tienen 23 pares de cromosomas (diploides). Ellas se dividen por mitosis y originan dos células diploides: una de ellas permanece como tal y la otra constituye el **espermatocono primario**. Este espermatocono primario se divide por meiosis y forma dos células llamadas espermatoconos secundarios, los cuales se convierten en **espermátides** (haploides). Como es de suponer uno de ellos tiene un cromosoma sexual de tipo "y" y el otro de tipo "x".

En el caso de las células reproductoras femeninas hay algunas diferencias. En una fase temprana, en el folículo ovárico. Allí un **ovocito primario** tiene la primera división meiótica de donde resulta un cuerpo polar y un **ovocito secundario**. Este ovocito secundario tiene la mitad de los cromosomas que una célula somática (haploide).

La fertilización resulta en la formación de un huevo o cigoto que va a tener un número diploide de células.

Aparato Locomotor

El aparato locomotor del humano incluye huesos articulaciones y músculos, con el correspondiente control nervioso. Desde el punto de vista cuantitativo representa una parte importante del peso corporal. No obstante debe tenerse en cuenta que difícilmente un órgano cualquiera tenga tejidos que sirvan para una sola función. Así, los huesos son reservorios importantes de calcio. El calcio, además de servir como elemento de sostén tiene un papel importante en la coagulación sanguínea y en la contracción muscular. Por otro lado los huesos son los sitios en donde se encuentra la médula ósea que es el tejido que da origen a la sangre.

El aparato locomotor es también el que da sostén y forma al individuo. En su conformación el sistema nervioso es tan importante que la privación de impulsos nerviosos a un músculo cualquiera significa la atrofia del mismo.

Finalmente, los huesos sirven de protección al sistema nervioso central, el cual se encuentra en la cavidad craneana y la médula espinal. Éste último se encuentra en el interior de la columna vertebral.

Sangre

Desde el punto de vista biológico, la sangre es un tipo de tejido que tiene la particularidad de ser líquido. Pero el 40% de su contenido es sólido. Si se centrifuga sangre queda una parte acuosa, llamada plasma, que es rico en proteínas y todos los elementos necesarios para la vida y otra sólida que son los glóbulos rojos (eritrocitos). Entre ambos hay una diminuta capa de leucocitos o glóbulos blancos.

En la sangre hay eritrocitos y leucocitos y las plaquetas que son restos de otras células y que intervienen en la coagulación.

La coagulación es un complejo proceso por el cual se forma un coágulo, el cual en condiciones fisiológicas impide que el individuo se desangre por una rotura vascular. Normalmente hay vasos diminutos que se rompen porque el cuerpo está sometido a traumatismos. Por ello es preciso que se pongan en marcha mecanismos para proteger del sangrado.

Este proceso está relacionado con la presencia de plaquetas que forman un trombo (coágulo) y con factores de coagulación que generan un depósito que va a permanecer en el lugar o migrar (émbolo). Las embolias pueden tener varios orígenes, gaseosas, lipídicas y otras. Una de ellas es la embolia de coágulos que se han desprendido de un sitio del aparato circulatorio y migran hasta que el tamaño del vaso impide su progresión con lo que el flujo de sangre queda interrumpido con las consiguientes consecuencias.

Sistema inmunitario

Una célula aislada tiene un sistema de defensa que puede variar de acuerdo a las características del medio y el origen de la célula. En los organismos superiores el sistema inmunitario tiene a cargo la defensa y su complejidad es causa de numerosos estudios.

En la sangre y en diferentes tejidos se encuentran células del tipo de los macrófagos, linfocitos y otros que no sólo luchan con organismos extraños por medio de una fagocitosis sino que generan sustancias que atacan a elementos invasores: los anticuerpos.

El sistema inmunitario reconoce el organismo propio y rechaza lo extraño. Así va a rechazar un trasplante cardiaco o renal de la misma forma que a un estreptococo invasor. Por otro lado existen elementos extraños al cuerpo que desencadenan una reacción inmunitaria contra el propio individuo. Esos elementos extraños, en ocasiones son muy semejantes a estructuras propias del cuerpo. Consecuentemente el sistema inmunitario a partir del ataque extraño empieza a repelerlo, a veces junto con la estructura propia.

Aparato circulatorio

Debido a que la unidad de constitución de un ser humano es la célula, al igual que la gran mayoría de los seres vivos, se debe dotar a la misma de los elementos necesarios para la vida. Así, por ejemplo, la célula ósea va a tener los mismos nutrientes que si se encontrara en el medio del agua de mar, considerada como el medio ambiente inicial de los seres vivientes.

Los seres más primitivos no tienen aparato circulatorio. Otros simplemente tienen una cavidad interior, como la hidra de agua dulce. Cuanto más complejo es el organismo viviente más complicado es el aparato circulatorio. Los árboles tienen un sistema de canalículos que generan una circulación de nutrientes.

En los animales superiores se ha diferenciado una bomba central y un sistema de canalículos. Este sistema también trabaja como un integrador ya que en el elemento que viaja por el sistema canalicular (sangre) hay hormonas y demás sustancias activas que producen efectos a distancia.

Aparato respiratorio

El metabolismo aerobio determina la necesidad de oxígeno el cual es usado en las actividades celulares y extracelulares. En los seres unicelulares no constituye un gran problema proveerse de oxígeno del medio en que se encuentran, en tanto que en los animales superiores existen diferenciaciones que son cada vez más complejas. Esto se debe a que cuanto mas grande es el individuo mayor distancia hay desde el exterior hasta las células mas internas.

Los peces realizan el intercambio de oxígeno o hematosis a través de branquias. En tanto que los mamíferos lo hacen a través de pulmones. Hay algunos animales que pueden tener ambas diferenciaciones y usarlas alternativamente.

El aparato respiratorio es el responsable de incorporar oxígeno para las oxidaciones celulares y expeler gases de desecho como el anhídrido carbónico. Además tiene una actividad de desintoxicación, como por ejemplo el alcohol etílico puede ser eliminado por esa vía. O sea que el aparato respiratorio está compartiendo con los riñones una actividad de “limpieza” de los productos finales del metabolismo que de otra manera “contaminarían” el medio interno.

Aparato Digestivo

La incorporación de nutrientes es fundamental para un organismo complejo como el humano. En la escala animal existen ejemplos de ello. Así, si un bovino tuviera todos los elementos que posee un humano, difícilmente podría evolucionar: debe comer todo el día para satisfacer sus necesidades energéticas. O sea que la eficiencia del sistema de nutrición también tiene importancia en el desarrollo de la inteligencia.

La incorporación de alimentos no sólo tiene relación con la generación de energía y estructuras, sino que existen elementos reguladores como las vitaminas. Las mismas, si no se producen en el organismo deben ser consumidas a través de la alimentación. También deben consumirse otras sustancias que se utilizan como materia prima para sintetizar, por ejemplo proteínas. Tal es el caso de los aminoácidos esenciales, que como no los produce el cuerpo deben ingresar desde el exterior.

El aparato digestivo funciona en base a degradar los alimentos y absorberlos cuando se transforman en elementos más simples. Una fibra muscular ingerida, por ejemplo, no ingresa al torrente circulatorio como tal, sino después de la acción de proteasas que lisan a las proteínas de las que está constituida.

Riñones y vías urinarias

La liberación de desechos es importante y su disfunción causa de enfermedades graves.

Los elementos vivientes unicelulares pueden eliminar sus desechos a través de la membrana celular. En los mamíferos se desarrollan riñones que filtran la sangre, realizan una selección de los elementos a eliminar y retienen los útiles.

El aparato urinario es complejo y generalmente asociado al aparato reproductor. Los riñones tienen actividad de secreción de hormonas a la sangre también llamada secreción endocrina.

Las vías urinarias son un sistema de canales por los que se eliminan finalmente al exterior los desechos en forma semejante al tubo digestivo.

La función renal consiste en bastante más que un mero filtrado, es la responsable del mantenimiento del medio interno de las células de todo el cuerpo, o sea de la liberación del organismo de los elementos de desecho y de mantener estable el medio acuoso en el que viven las células.

Sistema Nervioso

El sistema nervioso es el elemento de relación más diferenciado que tienen los seres vivos y su complejidad aumenta de acuerdo al de los otros órganos. En el humano existe un sistema nervioso central (cerebro, bulbo, protuberancia, médula) y un sistema nervioso periférico (nervios). El funcionamiento del sistema nervioso está regido por señales electroquímicas que determinan el pasaje de información de un sector a otro del sistema nervioso y a otras estructuras.

Los impulsos nerviosos producen cambios en estructuras lejanas, como por ejemplo un músculo con el que se relacionan a través de uniones neuromusculares.

Los elementos químicos involucrados en la transmisión nerviosa (neurotransmisores) son varios y tienen estructuras definidas: adrenalina, dopamina, noradrenalina, ácido gamma amino butírico, histamina y otros.

El sistema nervioso tiene a su cargo la respuesta de los estímulos que llegan desde la periferia. A propósito de ello, los estímulos van a ser tales si se encuentran receptores para los mismos. Por ejemplo, una uña no tiene receptores de dolor (se la puede cortar y no existe sensación alguna) y ello no es posible en otro sitio en donde los receptores específicos se encuentran en gran concentración.

Órganos de relación

Los órganos de relación permiten que el cerebro pueda tener la información del mundo que rodea al individuo. Así un verme que vive en una caverna sin luz no precisa de sensores lumínicos, pero los táctiles o de temperatura le resultarían útiles. Los reptiles se las arreglan bien sin señales acústicas, el olfato es fundamental para un canino y su asociación se hace con los centros nerviosos del instinto sexual.

Además no toda la información del medio es útil, sólo se toma algo de ella. Los estímulos acústicos existentes en el medio no son captados por el humano en su totalidad, solo un rango de frecuencias lo es y tiene que ver con la utilidad. Así, es conocido que un perro tiene un rango de frecuencias diferente al humano y percibe sonidos que el hombre no puede.

La percepción del mundo que hace el sistema nervioso es a través de una suerte de transductores. Así como una señal mecánica o una onda de presión pueden ser transformadas en eléctricas y posteriormente visualizadas en un osciloscopio, los ojos, los oídos, las papilas gustativas, la pituitaria nasal y los corpúsculos táctiles, son verdaderos transductores que transforman señales en impulsos electroquímicos.

Arterias y Nervios

Un ser unicelular, se relaciona y se nutre directamente del medio ambiente que lo rodea, un ser pluricelular complejo como el hombre precisa que las células que lo conforman reciban los

misimos nutrientes que un ser unicelular para vivir. Además precisa elementos para cumplir con la o las funciones que le fueron asignadas por la naturaleza.

Por otro lado la vida de relación se hace a través de órganos de los sentidos que precisan de nervios para comunicarlos a una central de almacenamientos y procesamiento de datos: el sistema nervioso central. Los nervios también llevan respuestas a estímulos sensoriales en forma de señales electroquímicas.

Las arterias tienen como función llevar sangre en su interior. La sangre se encuentra en continuo movimiento por lo que ciertas propiedades biofísicas son indispensables para asegurar la función que la naturaleza le ha dado. La sangre es también un elemento de integración ya que lleva mediadores químicos que ante ciertos estímulos sensoriales producen respuestas de variada índole.

Así una arteria está conformada por tejido muscular liso que le permite contraerse y dilatarse. Tiene tejido de sostén, como lo es el colágeno y la elastina, que constituyen su esqueleto y le confieren propiedades viscosas, inerciales y elásticas. Además está innervada, o sea que tiene nervios que le transmiten órdenes como lo pueden ser una contracción o una dilatación. También las arterias tienen un epitelio que se llama endotelio. El endotelio pertenece a la pared arterial pero está en contacto con la sangre y por ello es muy importante a pesar de tratarse de una monocapa. Esta capa simple de células epiteliales tiene función secretora, siendo el óxido nítrico una de ellas, la cual genera que las células musculares arteriales puedan dilatarse.

Sistema de Control

En biología los sistemas de control están fundamentales para mantener el equilibrio dentro y fuera de una especie. Así, la muerte de una célula está genéticamente determinada para un tipo de organismo celular en particular.

La homeostasis, o equilibrio orgánico, puede ser mantenida gracias a sistemas de control. Así la sed y la saciedad van a determinar un ingreso óptimo de agua al organismo humano. El dolor producido por las terminaciones nerviosas va a determinar una respuesta destinada a preservar la función y la estructura.

Los sistemas de control son de tipo hormonal y nervioso. Por ejemplo, el control del crecimiento está dado por una hormona llamada somatotrofina. El control del metabolismo está dado por la tiroxina, que es una hormona de la glándula tiroides.

El control de los latidos cardiacos tiene una base nerviosa y está dado por el sistema nervioso simpático que los acelera y el sistema nervioso parasimpático que los disminuye. La tensión arterial tiene un control a nivel de receptores nerviosos localizados en la arteria carótida.

Reproducción y Embarazo

La reproducción es el mecanismo por el que la continuidad de la especie está asegurada.

La reproducción sexual es la que caracteriza la especie humana en su condición natural. Dos células, espermatozoide y óvulo que contienen la mitad de los cromosomas de una célula somática, se unen para conformar una sola célula que por división va a dar origen a un nuevo individuo.

Si al humano se lo observa desde la esfera biológica, se trataría de un ser prácticamente estéril. La continuidad también está asegurada porque si bien a lo largo de una vida va a tener uno o dos descendientes, se trata de un ser que los cuida mucho en su evolución.

La reproducción de la especie obligó al hombre a crear procedimientos médicos y diseñar dispositivos que le facilitaran el trabajo. Por otro lado este mismo proceso aplicado a animales y plantas es lo que le provee de alimentación adecuada y abundante.

Los procedimientos de clonación y otros, han determinado un crecimiento de una rama de la medicina denominada bioética.

El embarazo forma parte del proceso de división de un ser en dos. Y este proceso desencadena cambios a diferentes niveles del individuo femenino que modifican la función de todos sus sistemas. Así el sistema inmunitario no ataca al nuevo ser, y ello no es debido a que sea idéntico a él. Por el contrario, si una madre recibe un trasplante de un órgano de su propio hijo adulto, va a sufrir rechazo en mayor o menor grado.

En el embarazo el aparato circulatorio se modifica enormemente ya que es necesario crear una nueva estructura placentaria para la nutrición del nuevo ser.

Otro cambio se produce en la gestación del ser; en estado embrionario el feto no respira, por lo que los pulmones están colapsados, luego de la primera bocanada de aire, se producen cambios en un aparato ligado a la respiración: el circulatorio. Importantes cambios se producen en corazón y arterias para que la sangre que no pasaba por los pulmones, lo haga luego del nacimiento.

Crecimiento y Hormonas

Un recién nacido o neonato y hasta la edad de 15 años va a sufrir cambios muy importantes relacionados con el crecimiento, los que tienen tal magnitud que la pediatría considera que un niño no es simplemente un hombre pequeño.

Las hormonas de un niño en crecimiento tienen curvas de concentración diferentes a las de un adulto y el proceso de crecimiento no es sólo agrandar estructuras existentes.

Así un hueso crece desde su diáfisis (cuerpo) a través de los discos de crecimiento. Todo esto apoyado por hormonas de crecimiento. Es la misma razón por la que una casa no puede ser construida sólo por ladrillos. El hueso tiene líneas de fuerza, elementos aislantes y protección.

Anemias y Cáncer

La sangre está formada por plasma y glóbulos rojos o eritrocitos junto con glóbulos blancos o leucocitos entre los que se incluyen los neutrófilos, los eosinófilos, los basófilos, monocitos y linfocitos. Los eritrocitos viven 120 días por lo que el cuerpo debe reponerlos y esto se hace en base a reguladores de distinto tipo que tienen que ver con hormonas como la eritropoyetina secretada en el riñón y la concentración de oxígeno.

La anemia consiste en la disminución del número de eritrocitos en sangre y puede deberse a hemorragias o falta de producción de los mismos. Un caso sería la destrucción del lugar en donde se produce la sangre (medula ósea) o por falta de vitamina B12 que es un factor que interviene en la maduración de los eritrocitos. Hay casos en que se produce lisis (destrucción) de los glóbulos rojos.

La policitemia es el aumento del número de glóbulos rojos y puede ser debido a la vida en grandes alturas con baja concentración de oxígeno o a enfermedades definidas como la policitemia vera.

La médula ósea es la responsable de producir los elementos formes de la sangre y si se altera, como puede ser por radiaciones, puede producir agranulocitosis: falta de glóbulos blancos con las consecuencias inmunológicas de esperar.

O sea que ciertos órganos o tejidos se pueden alterar porque sus elementos comienzan a faltar y funcionan en un ritmo menor. Pero existen otros problemas relacionados con el elemento fundamental del ser humano que es la célula: el crecimiento sin control también llamado cáncer.

La base del cáncer es el genoma que va a producir células que si bien tienen aspecto normal, no cumplen funciones que sirvan, escapan a los controles, tienen las características de migrar y

crecer desmesuradamente. Estas migraciones se llaman metástasis y son colonias de células cancerosas a distancia del foco original.

Las causas de las neoplasias o cánceres son variadas: radiaciones, virus, irritación por agentes químicos o físicos, predisposición hereditaria y otros.

BIBLIOGRAFÍA

Armentano RL, Cabrera Fischer EI. Biomecánica Arterial. R. L. Editorial Akadia Buenos Aires, Argentina; 2008.

Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. Second Edition, Volume I. CRC Press, Printed in the USA; 2000.

Cabrera Fischer EI. Bases de la Fisiología Humana normal y alterada: un enfoque para ingenieros clínicos. Editado por la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Segunda Edición, Argentina; 2007.

Cingolani HE, Houssay AB. Fisiología Humana de Houssay. El Ateneo, Buenos Aires; 2000.

Curtis H y Barnes SN. Biología. Editorial Médica Panamericana. Impreso en España; 2000.

De Robertis E, Hib J. Biología Celular y Molecular. Editorial PROMED. Impreso en Buenos Aires, Argentina; 2012.

Evolution. A Scientific American Reader. The University of Chicago Press, USA-UK; 2006.

Ganong WF. Fisiología Humana. Manual Moderno 17a edición. México DF; 2000.

Goodsell DS. The Machinery of Life. Springer, Second Edition, USA; 2009.

Guyton A, Hall J. Fisiología Médica, Elsevier, Barcelona, España; 2011.

Johnson LR. Essential Medical Physiology. Elsevier Academic Press, Tercera Edición, New York, USA; 2003.

Kapit W, Macey RI, Meisami. The Physiology. Second Edition, New York, USA; 2000.

Light D. Cells, tissues and skin. Chelsea House Publishers, Philadelphia, USA; 2004.

Raven PH, Johnson GB. Biology. Mc Graw Hill, Sexta Edición, USA; 2001.

CAPÍTULO III

APARATO CARDIOVASCULAR

Estructura: *Sangre. Corazón, válvulas cardiacas, circulación coronaria.*

Sistema de conducción nerviosa en el corazón y potenciales de acción. Arterias, venas y linfáticos.

Función: *Circulación mayor y circuito pulmonar. Ciclo cardiaco. Mecánica ventricular, ley de Frank-Starling, inotropía, precarga, poscarga, hemodinamia.*

Dinámica de la pared arterial. Ley de Laplace. Efecto Anrep. Circulación sanguínea.

Hagen-Poiseuille. Presión sanguínea arterial, Pitot. Principio de Bernoulli. Flujo laminar, viscosidad y número de Reynolds. Velocimetría.

Alteraciones: *Insuficiencia cardiaca, insuficiencia cardiaca derecha, enfermedad coronaria, valvulopatías, derrame pericárdico, taponamiento cardiaco, enfermedades congénitas, arteriopatías, arteriosclerosis, aterosclerosis, estenosis vascular, aneurismas, endocarditis, trombosis, embolias, hipertensión arterial, bloqueos cardiacos, arritmias cardiacas.*

Diagnóstico: *Radiografía, electrocardiograma, Holter, monitoreo ambulatorio de presión arterial, ecocardiografía, Doppler, cámara gamma, estudio hemodinámico.*

Terapéutica: *Farmacología cardiovascular, cirugía cardiovascular, intervencionismo, prótesis, masaje cardiaco, resucitación cardiopulmonar. Consideraciones finales.*

El corazón y los vasos sanguíneos cubren todo el cuerpo contribuyendo a mantener el ambiente hidrosalino que precisan las células para vivir. Ha sido muy estudiado desde el punto de vista biofísico y las contribuciones de la ingeniería biomédica han sido muy importantes y de larga data.

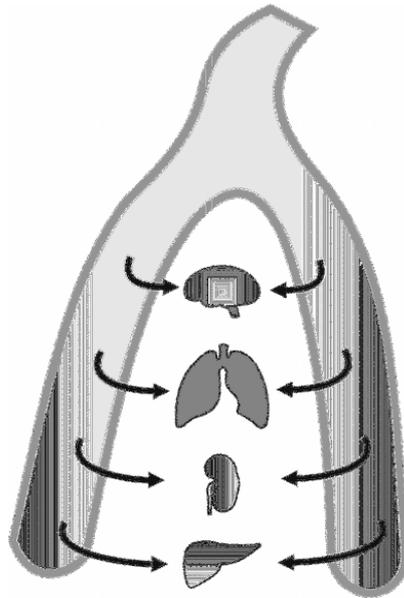
Sangre

En el hombre el aparato circulatorio de la sangre está constituido por una bomba central pulsátil, el corazón, que se aloja en el centro de la cavidad torácica y un sistema de canalículos compuesto por venas y arterias. Al mismo se asocian los linfáticos. Su conformación puede resumirse diciendo que del corazón salen arterias y le llegan venas. La principal característica de la circulación sanguínea es que es un circuito en serie de circulación unidireccional.

En el cuerpo humano hay integradores de tipo electro-químico como lo son el sistema nervioso y las hormonas, que tienen una actividad integradora. De la misma manera existe una red vascular que cumple una función similar ayudada por sus propiedades mecánicas. Este sistema consta de un continente, la vasculatura y un contenido, la sangre. Estos elementos tienen diferencias estructurales y funcionales muy importantes entre sí.

La sangre es un líquido compuesto por cuerpos formes (eritrocitos, leucocitos y plaquetas) suspendidos en el plasma que se encuentra contenido en el corazón, las arterias y las venas. Normalmente los eritrocitos o glóbulos rojos constituyen el 45% de la sangre. El plasma contiene agua (aproximadamente 91%), electrolitos, hidratos de carbono, lípidos, proteínas y hormonas. La sangre es un fluido no newtoniano, por lo que el coeficiente de viscosidad depende de la tensión tangencial o de cizallamiento.

Hay un líquido que circula por pequeños conductos, llamados vasos linfáticos. El sistema linfático representa una vía de circulación corporal, cuyas funciones principales son drenar el exceso de líquidos desde el espacio intersticial, y liberar al intersticio de proteínas y lípidos de cadenas largas. Morfológicamente, los vasos linfáticos son de color claro y en parte transparentes. Presentan válvulas a lo largo de su trayecto.



Irrigación sanguínea. El sistema vascular lleva la sangre con oxígeno y nutrientes a las células del organismo. Además, cumple una función integradora al vincular a todos los órganos y tejidos a través de los componentes de la sangre.

Tal como se verá más adelante, existen estructuras adyacentes al aparato circulatorio que contribuyen a la circulación sanguínea.

Corazón, válvulas cardiacas, circulación coronaria

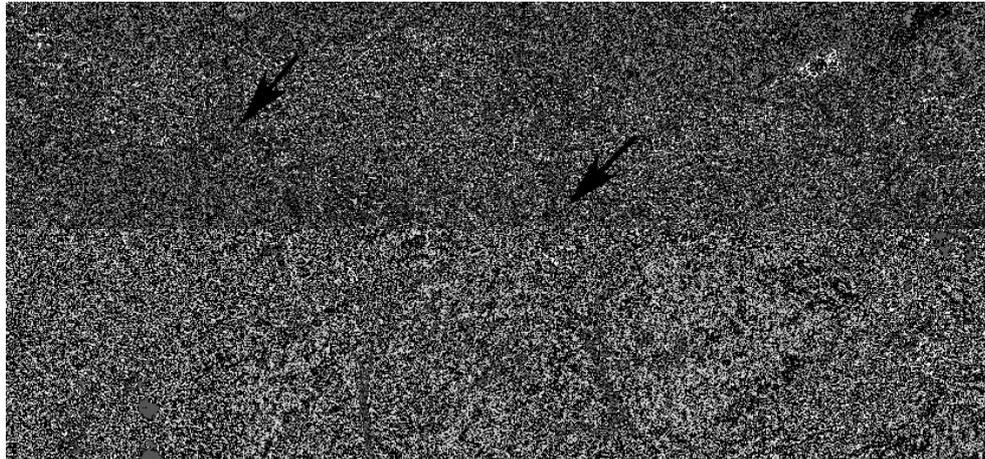
El corazón es una estructura eminentemente muscular que está constituida por dos aurículas conectadas por válvulas a dos ventrículos. Las arterias que salen de los ventrículos lo hacen a través de válvulas. Se puede decir que hay un corazón derecho, formado por una aurícula y un ventrículo; y separado por un septum de un corazón izquierdo formado por aurícula izquierda y ventrículo izquierdo. Las válvulas que conectan aurículas y ventrículos son unidireccionales e impiden el retorno de sangre desde el ventrículo a la aurícula durante la contracción ventricular (sístole). En el lado derecho se encuentra la válvula tricúspide, formada por tres valvas y del lado izquierdo se halla la válvula mitral, que contiene dos valvas. Las dos válvulas ventrículo arteriales tienen como función evitar que la sangre de las arterias aorta y pulmonar regrese a los ventrículos izquierdo y derecho respectivamente durante la relajación o diástole ventricular. Las válvulas aórtica y pulmonar están compuestas por tres valvas, y ambas aseguran que los ventrículos sólo se llenen con sangre proveniente de las aurículas.

Espacialmente, el ventrículo derecho tiene una posición anterior (ventral) y medial respecto del corazón total¹. Presenta paredes finas (3-4 mm) en comparación con el izquierdo, esto se debe a que soporta presiones menores. Ambas aurículas, en cambio, tienen un espesor parietal semejante. La forma del ventrículo derecho es difícil de definir pero en un corte transversal se parece a una semiluna. El ventrículo izquierdo tiene paredes gruesas de aproximadamente 10 mm, donde se observan trabéculas y pilares; generalmente se lo modeliza como un hemielipsoide.

El corazón se encuentra dentro de un saco fibroso, el pericardio, compuesto por dos capas serosas separadas por un fluido lubricante que permite los movimientos musculares de contracción y relajación.

¹ Desde el punto de vista de la anatomía, las descripciones se realizan tomando como referencia a un soldado en posición de firme con las palmas de las manos hacia el frente. A los fines de evitar confusiones es preferible usar términos como ventral (anterior), dorsal (posterior), cefálico (superior) y caudal (inferior). Si se hace referencia a derecho o izquierdo siempre lo es en relación al sujeto u objeto observado.

Analizado microscópicamente, el músculo cardíaco se compone de células o fibras musculares estriadas llamadas miocitos. La membrana de la fibra muscular se denomina sarcolema. Cada célula, además de contar con núcleo, gran número de mitocondrias y retículo sarcoplásmico, contiene numerosas miofibrillas formadas por filamentos de actina y miosina. Estas moléculas proteicas son las responsables de la contracción muscular que ocurre por un mecanismo de deslizamiento de los filamentos de actina entre los de miosina. Los extremos de los filamentos finos de actina están unidos a estructuras llamadas líneas Z. El sarcómero, la unidad contráctil estructural y funcional, es el segmento de miofibrillas comprendido entre líneas Z; su longitud varía según el grado de estiramiento muscular.



Célula real vista con microscopía electrónica. Las flechas señalan las líneas oscuras Z de los sarcómeros (unidad contráctil del músculo cardíaco) Entre ellas, las fibras de actina y miosina van a determinar que la distancia entre las líneas Z oscile entre 2.2 y 3.3 micrones. Gentileza de la Lic. Patricia Meckert.

Las células que componen el tejido miocárdico no pueden ser nutridas por la difusión de oxígeno y nutrientes desde la sangre contenida en las cámaras cardíacas. La circulación coronaria es la responsable de la entrega de sangre oxigenada al músculo cardíaco. Normalmente existen dos arterias coronarias principales (izquierda y derecha) que se originan desde la raíz de la aorta próximamente a la válvula aórtica. La arteria coronaria izquierda tras un breve curso se bifurca en dos ramas, descendente anterior y circunfleja. Luego, estas arterias se ramifican hasta nutrir a todas las células miocárdicas.

Sistema de conducción nerviosa del corazón y potenciales de acción

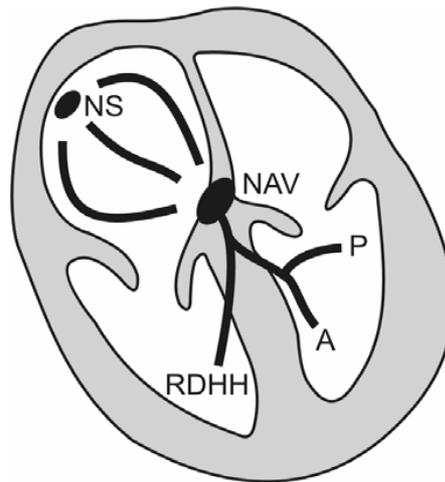
El aparato circulatorio, como cualquier estructura corporal está sometido a estímulos hormonales y nerviosos. Pero en el caso del corazón hay una red nerviosa propia que le permite tener actividad aún cuando se lo saca del cuerpo. Los nervios del corazón le confieren una propiedad que es el automatismo y por otro lado le permite la sincronización de su actividad, mediada por impulsos nerviosos. Como es lógico de suponer, las aurículas deben contraerse antes que los ventrículos, habida cuenta que la sangre corre en ése sentido.

Las señales que organizan la actividad muscular cardíaca son impulsos eléctricos generados por tejido especializado y conducidos por fibras nerviosas. A este sistema se lo conoce como **sistema cardionector**.

El sistema cardionector no sólo conduce estímulos nerviosos sino que es capaz de producirlos. En sitios específicos del corazón existen grupos de células que generan actividad eléctrica en forma espontánea, son las llamadas células marcapaso. El impulso eléctrico se llama potencial de acción, el cual es transmitido muy rápidamente a través del sistema específico de conducción, a la masa muscular miocárdica para causar una contracción rítmica. Es un verdadero tendido de

cables eléctricos. La señal eléctrica puede ser registrada desde la superficie del cuerpo humano a través de la piel.

En la aurícula derecha se encuentra el **nódulo sinusal** que está compuesto por células marcapaso y es el lugar donde se generan los impulsos rítmicos normales. Desde allí parten haces que van a la aurícula izquierda y los haces internodales que se conectan al **nódulo auriculoventricular**, donde el impulso es retrasado antes de pasar a ambos ventrículos. Este retardo provoca que la contracción de las aurículas ocurra antes que la de los ventrículos logrando, de esta manera, un óptimo llenado ventricular. A continuación del nódulo auriculoventricular se encuentra el **Haz de His** que tiene un centímetro de longitud y se divide en una rama izquierda y otra derecha; a su vez la rama izquierda se divide en un brazo anterior y otro posterior. Las ramificaciones terminales de estos haces son las fibras de conducción rápida de Purkinje que están en contacto directo con las fibras miocárdicas.



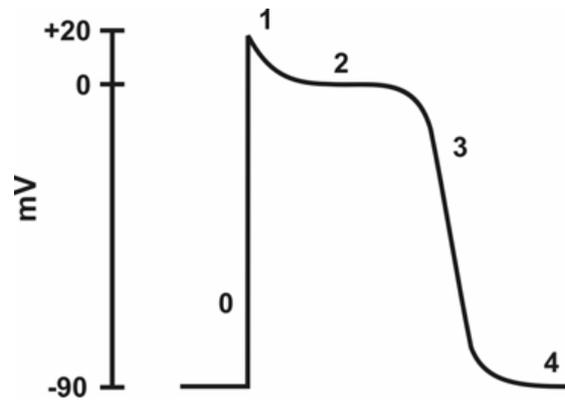
Electricidad del corazón. El Nódulo Sinusal (NS) genera impulsos que van por los haces internodales, además de las fibras musculares auriculares. El impulso llega al Nódulo Aurículo Ventricular (NAV) y sigue por el Haz de His. Luego se divide en Rama Derecha del Haz de His (RDHH) y otra izquierda que se divide en una Anterior (A) y otra Posterior (P).

El nódulo sinusal genera, en reposo 70 a 80 impulsos por minuto, mientras que el nódulo auriculoventricular, también constituido por células marcapaso, produce unos 60 impulsos por minuto. En consecuencia, el nódulo sinusal es el que comanda, pues siempre el nódulo auriculoventricular va a ser despolarizado antes por el impulso que partió del nódulo sinusal.

Además de las células musculares, en el corazón están las llamadas excitables, porque presentan cambios electroquímicos a nivel de sus membranas. Normalmente las células son positivas por fuera, donde predomina el ión sodio (Na^+) y negativas en su interior, donde el ión dominante es el potasio (K^+). Cuando una célula miocárdica se somete a un estímulo que puede ser eléctrico, químico o físico se producen cambios en la conductividad de su membrana a los iones que la rodean que condicionan modificaciones de su potencial transmembrana.

Con un estímulo externo se pueden alterar las concentraciones de cargas eléctricas a ambos lados de la membrana celular, de forma tal que el potencial de reposo de -90 mV (el interior de la célula es 90 mV más negativo que el exterior) se hace cada vez más positivo o sea que se despolariza. Cuando supera el potencial umbral (-60 mV) se generan cambios en la conductancia de la membrana miocito que dan origen al potencial de acción. Respecto de su valor de reposo, este cambio de potencial se llama despolarización y la vuelta al estado inicial se llama repolarización.

Se destaca que los términos repolarización y despolarización son de origen biológico y no deben ser interpretados desde el punto de vista estricto de la física.



Potencial de acción de una célula miocárdica. Un estímulo genera un aumento de la electricidad intracelular que es cada vez menos negativa. La fibra se hace cada vez más positiva hasta que declina para seguir repitiendo el proceso.

En una célula de tipo muscular cardíaca los estados eléctricos de la membrana son transitorios y se reconocen 5 fases.

FASE 0: el ascenso rápido o despolarización se denomina fase cero (0). Esta fase se caracteriza por un incremento acelerado de la permeabilidad para los iones Na^+ , los cuales llevan el potencial de membrana desde -90 a $+20$ mV en dirección a lograr el potencial de equilibrio para el Na^+ . Hacia el final de la fase cero, la conductancia elevada al Na^+ de la membrana disminuye rápidamente y con ello también la entrada de Na^+ al interior de la célula. Al mismo tiempo, la conductancia al K^+ comienza a crecer. Aquí finaliza la fase cero.

FASE 1: la fase uno es llamada de repolarización rápida inicial y es también el principio de la repolarización de la membrana celular, en esta fase se produce un cierre importante de los canales de sodio y se activa la corriente transitoria externa de potasio.

FASE 2: la fase dos es la meseta que sigue a la fase uno. La corriente despolarizante ocasionada por el ingreso de sodio y también de calcio, es balanceada por la salida de potasio que genera una corriente repolarizante.

FASE 3: la fase tres (3) es ocasionada por la inactivación de las corrientes despolarizantes de sodio y calcio y el aumento de la conductancia al potasio. La membrana vuelve al potencial de reposo.

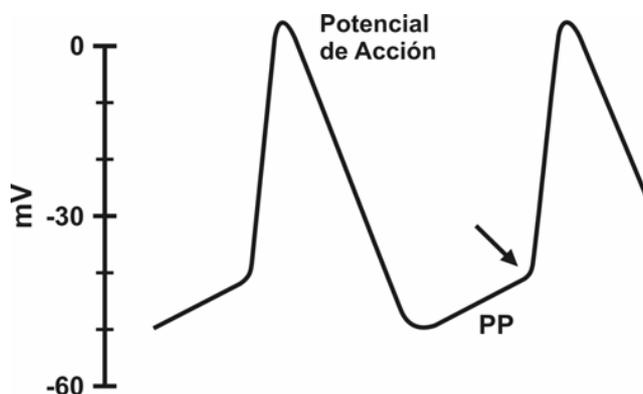
FASE 4: la fase cuatro (4) es de reposo aunque en realidad hay actividad iónica: las bombas extraen el sodio ingresado a la célula durante la despolarización y reingresan el potasio que salió de la célula durante la repolarización. El calcio iónico ingresado durante el potencial de acción se intercambia con el sodio por un mecanismo activo que implica gasto de energía.

Existen fases en las que la célula muscular no puede ser re-estimada y ello se llama período refractario absoluto, existiendo también un período refractario relativo en el cual algunos estímulos son capaces de producir respuestas en los miocitos.

Usualmente el corazón humano late a 72 latidos por minuto (1.2 Hz). Pero el rango normal de un individuo en reposo es de 60 a 100 latidos por minuto. Dado que en cada ciclo (latido) hay un potencial de acción, la duración del mismo depende de la cantidad de latidos por minuto (frecuencia cardíaca). Así si el humano tiene una frecuencia cardíaca de 60 latidos por minuto, un latido tarda un segundo, o 1000 milisegundos.

Las características del potencial de acción de una célula marcapaso o auto excitable difieren del de una célula miocárdica. Una célula marcapaso posee una negatividad menor (-50 a -60 mV) debido a la permeabilidad natural que tienen al sodio; y en lugar de tener un potencial de reposo

constante, presentan, entre dos potenciales de acción consecutivos, un potencial de membrana ascendente espontáneo (pre-potencial). Estas células tienen la capacidad de dejar fluir iones a través de la membrana y este flujo de iones se traduce en una corriente eléctrica transmembrana que modifica la diferencia de potencial entre el interior de la célula y el exterior. Una vez que alcanza el umbral de descarga a los -40 mV, comienza el potencial de acción.



Potencial de acción de una célula marcapaso. El pre-potencial (PP) es un aumento espontáneo de la electricidad intracelular que es cada vez menos negativa. La flecha señala el punto en el cual se alcanza el umbral. A partir del umbral la fibra se hace cada vez más positiva hasta que declina para seguir repitiendo el proceso.

La electricidad proveniente de las corrientes de despolarización y repolarización a lo largo de las membranas celulares de la masa de miocitos hace que se generen vectores eléctricos que apuntan hacia distintas partes del corazón y que pueden ser detectados desde la superficie del cuerpo. Es el electrocardiograma. La electrocardiografía clínica nace con Einthoven en 1903. Actualmente esta señal obtenida de forma no invasiva brinda información de la actividad eléctrica del corazón, lo que permite mediante su análisis, el diagnóstico de una serie de patologías asociadas.



Electrocardiograma. Registro efectuado al autor de éste libro en 1982. Se trata de dos latidos, cada uno de ellos comienza con una pequeña elevación (onda P) correspondiente a la despolarización auricular, luego un pico (complejo QRS) y luego otra elevación más importante que la primera (onda T).

En un electrocardiograma, la onda P se produce por la despolarización de las aurículas, previo a su contracción. El complejo QRS y la onda T delimitan la excitación ventricular, que en la práctica se corresponde a la contracción de los ventrículos. El complejo QRS es de despolarización y la onda T es de repolarización. El período entre la onda T y la onda P del siguiente latido corresponde a la diástole ventricular.

Arterias

Los vasos que salen del corazón se llaman arterias. Del ventrículo izquierdo sale la arteria aorta y del derecho la pulmonar. Estas arterias dan ramas laterales y terminales. Las arterias son estructuras tubulares constituidas fundamentalmente por elastina, colágeno y músculo liso. Desde el punto de vista histológico, la pared arterial se divide en tres capas: túnica íntima, túnica media y túnica externa o adventicia.

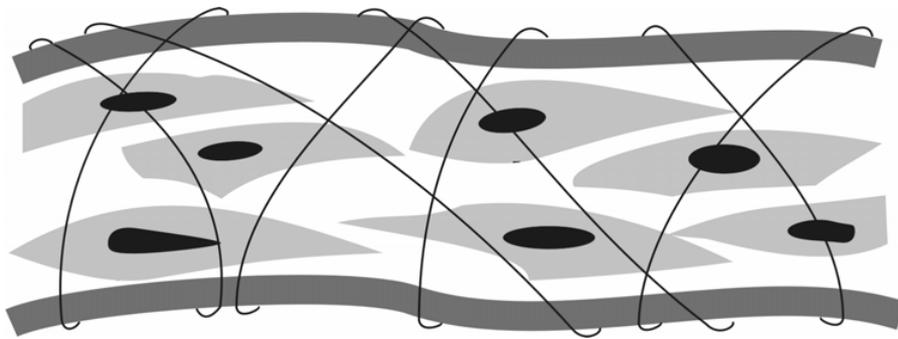
La **túnica íntima** contiene al endotelio, tiene gran importancia regulatoria y está en contacto con la sangre.

La **túnica media** es la más importante desde el punto de vista mecánico, está constituida por elastina, músculo liso y colágeno; y queda delimitada por la lámina elástica interna, que la separa de la íntima, y la lámina elástica externa, que la separa de la adventicia.

La **adventicia** puede ser más o menos desarrollada, tiene funciones de almohadilla y por ella transcurren los vasa-vasorum (vasos del vaso) y los nervios del vaso.

La pared arterial posee una arquitectura propia en la que es posible identificar una unidad funcional e histológica. Gran parte de la elastina está dispuesta en las paredes de los grandes vasos arteriales en forma de tubos de distintos diámetros colocados como en un catalejos antiguo, de tal manera que cada tubo transcurre sobre otro más interno, conformando las paredes arteriales en un número de 50 a 80 unidades laminares para el caso de la arteria aorta.

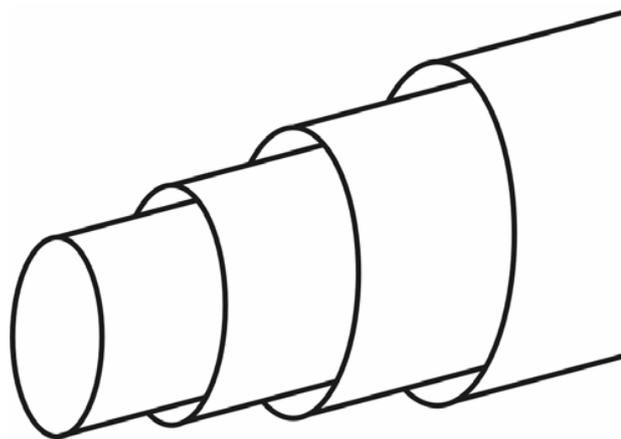
Entre una unidad tubular elástica y otra, se encuentran células de músculo liso y colágeno. Las fibras colágenas están constituidas por una proteína que es el colágeno, la más abundante del organismo y de la que existen más de una docena de tipos diferentes. La relación Elastina/Colágeno a nivel de la arteria aorta abdominal es menor de uno, es decir que en contraposición a lo que ocurre a nivel de aorta torácica, bajo el diafragma predomina el colágeno.



Unidad funcional e histológica de una arteria elástica. Las dos bandas paralelas representan las unidades laminares elásticas. Entre ellas se encuentran células musculares lisas y rodeando todo lo anterior se encuentran las fibras de colágeno.

La pared arterial tiene una conformación que se mantiene aún en el caso que se vaciara de sangre; no obstante, el diámetro fisiológico está dado por la relación existente entre la presión intraluminal y el tono muscular liso. La presión sanguínea intraluminal tiende a dilatar las arterias, la contracción del músculo liso produce una disminución del diámetro. Esta capacidad tiene cierto límite, así una arteria peronea puede llegar a contraerse en un 100% de su luz, cosa que es imposible para la arteria aorta; por otro lado, la relajación del músculo liso permite una dilatación arterial que es limitada por el colágeno.

La dinámica de la pared arterial está relacionada con su estructura y con las características dinámicas de la sangre que transcurre en su interior.



Disposición de las unidades laminares elásticas. En las grandes arterias las láminas elásticas formadas por elastina están colocadas como tubos superpuestos.

Venas

Los vasos por donde retorna la sangre al corazón se llaman venas. Estructuralmente, tienen paredes finas y su propiedad más importante es la de almacenar grandes volúmenes de sangre. El volumen contenido en las venas es cercano al 65% del total contenido en sistema vascular.

La presión dentro de una vena es mucho menor que la de una arteria.

Numerosas venas, especialmente las de los miembros, contienen válvulas que permiten el retorno de sangre hacia el corazón y evitan el flujo retrógrado. Este sistema es particularmente eficiente cuando el individuo está de pie; además, la contracción de los músculos esqueléticos comprime las venas e impulsa la sangre facilitando el retorno venoso, a este fenómeno se lo llama bomba del músculo esquelético.

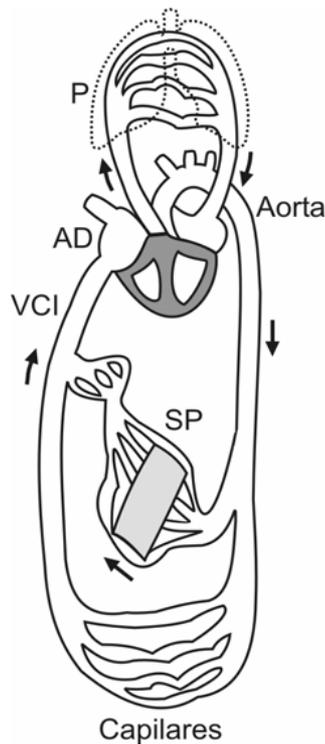
Linfáticos

La sangre que llega a los tejidos genera un aporte de líquidos, sales y nutrientes, parte de los cuales deben ser luego drenados junto con los productos finales del metabolismo. Hay moléculas de alto peso que no pueden ser retiradas por los capilares que luego conforman venas y ellas deben transitar por canalículos llamados: vasos linfáticos. Los mismos tienen paredes con endotelio y poseen válvulas. Su flujo es muy inferior al de cualquier vena o arteria.

Circulación mayor y circuito pulmonar

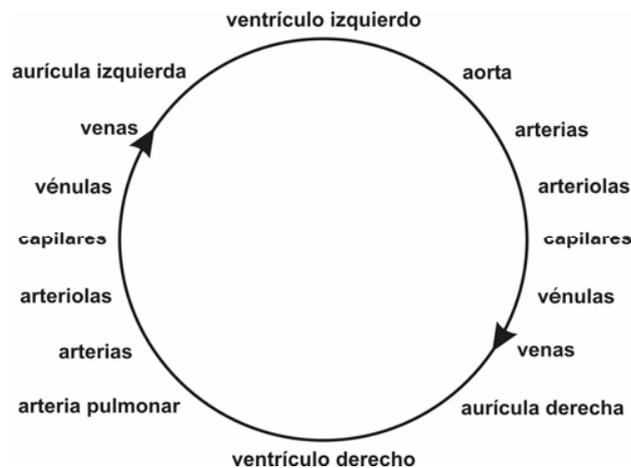
Gracias al aparato cardiovascular los tejidos tienen aseguradas sus necesidades básicas. El ventrículo izquierdo tiene la función de bombear hacia los tejidos sangre con oxígeno y nutrientes, eliminar los productos residuales del metabolismo celular y transportar otras sustancias reguladoras desde una parte del organismo a otra. Por lo tanto, cualquier alteración del corazón o de los vasos adquiere relevancia tanto por la afectación cardiovascular en sí, como por los trastornos generales que puede ocasionar la ausencia de irrigación sanguínea en órganos y tejidos. Las grandes arterias que se originan de la arteria aorta, a su vez se dividen en ramas menores y generan la microcirculación. Las ramas pequeñas de las arterias dan lugar a arteriolas, metaarteriolas, capilares y vénulas. Las contracciones del músculo liso de las arteriolas y de la porción proximal de las metaarteriolas se hacen 5 a 10 veces por minuto.

La función del corazón derecho es recolectar la sangre carboxigenada proveniente de los tejidos corporales y bombearla hacia los pulmones para realizar el intercambio gaseoso. Es lo que se llama circuito menor, en contraposición al que se encuentra a partir del ventrículo izquierdo. De todas maneras no se trata de un circuito paralelo, ya que como se sabe el aparato circulatorio se dispone en serie.



El circuito de la sangre. La sangre que proviene del cuerpo se junta en la aurícula derecha (AD), para pasar al ventrículo derecho y posteriormente a los pulmones (P) por la arteria pulmonar. De los pulmones vuelve a aurícula izquierda por cuatro venas pulmonares y pasa al ventrículo izquierdo. La arteria Aorta sale del ventrículo izquierdo y su sangre va a todo el cuerpo a través de capilares. Una parte de la sangre va al sistema Porta (SP). Toda la sangre vuelve por las venas cava inferior (VCI) y superior.

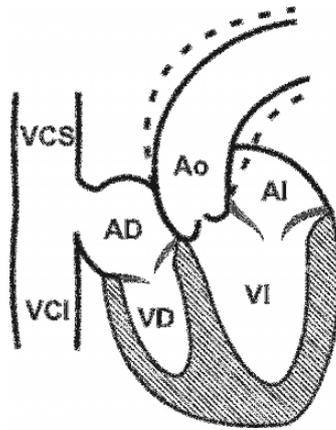
A la aurícula derecha le llega la sangre que viene de las venas cavas y el seno coronario (sangre venosa). De la aurícula derecha la sangre pasa al ventrículo derecho a través de la válvula tricúspide. El ventrículo derecho bombea la sangre a la arteria pulmonar a través de la válvula pulmonar.



Esquema de la circulación sanguínea. El aparato circulatorio está compuesto por estructuras huecas conectadas en serie. A la derecha del círculo, se observa el circuito sistémico y a la izquierda, el circuito pulmonar.

La sangre que llega a los pulmones por la arteria pulmonar y sus ramificaciones retorna por cuatro venas pulmonares que llegan a la aurícula izquierda, cuya ubicación es posterior y medial respecto del corazón total. La sangre que llega a la aurícula izquierda pasa al ventrículo izquierdo a través de la válvula mitral. El ventrículo izquierdo bombea a la arteria aorta, esto es, al circuito sistémico a través de la válvula aórtica.

Desde el punto de vista de la dinámica vascular, la arteria aorta no sólo actúa como un sistema de conducción, sino que tiene la función amortiguadora cuya actividad permite un ahorro de energía al miocardio asegurando un flujo capilar de velocidad casi constante. La viscoelasticidad parietal es la que va a determinar la propagación de la energía, que en forma periódica va desde el corazón hacia todos los territorios.



Corazón y grandes vasos. Cuando el ventrículo izquierdo (VI) se contrae, la Aorta (Ao) se dilata merced a su característica compliante. Cuando el ventrículo izquierdo se llena de sangre proveniente de la aurícula izquierda (AI) y la válvula aórtica permanece cerrada, la Aorta eyecta su contenido. AD: aurícula derecha, VD: ventrículo derecho, VCS: vena cava superior, VCI: vena cava inferior.

El rol activo de las arterias se pone de manifiesto cuantitativamente cuando se observa que los valores de presión arterial sistólica humeral son inferiores a los de la arteria poplítea, siendo que ésta última se encuentra más alejada del ventrículo izquierdo.

La compliance arterial es la capacidad de la pared arterial de adaptarse a volúmenes de sangre y luego vaciarse, pudiendo mantener presiones diferenciales en el circuito sistémico de 40 mmHg, siendo que la bomba que generó el movimiento tiene presiones diferenciales de 120 mmHg. Todo ello contribuye a una importante función de las arterias: perfundir los territorios con un caudal adecuado de forma continua. La determinación del valor de la compliance arterial sirve como índice de detección precoz de arteriopatías en clínica médica.

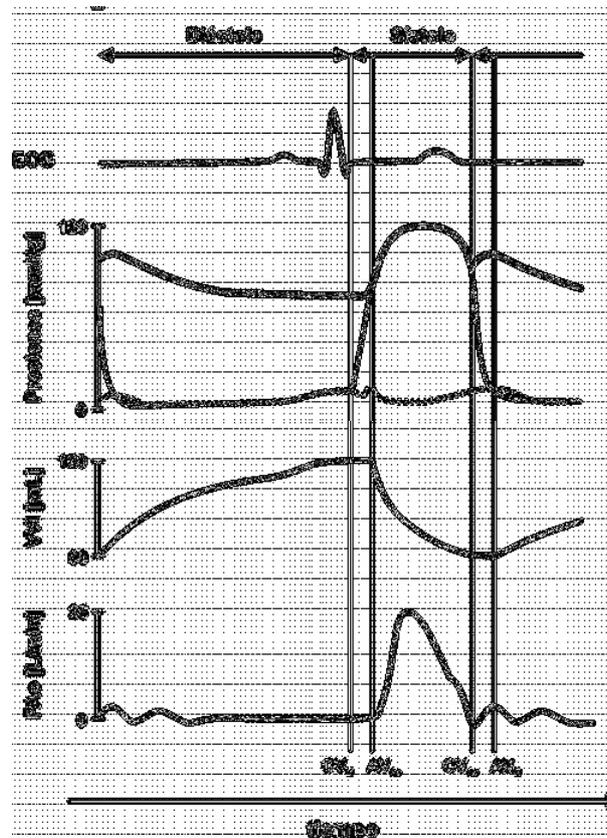
Ciclo cardiaco. Mecánica ventricular, ley de Frank-Starling, inotropía, precarga, poscarga, hemodinamia

El motor más importante que tiene el corazón es la fuerza ventricular. La contracción de los ventrículos es la principal fuente de energía que posibilita la circulación de la sangre en el organismo. Cada latido o ciclo cardiaco está compuesto por una fase de contracción muscular (sístole) y otra fase de relajación muscular (diástole) durante la cual el corazón se llena de sangre. En cada sístole, los ventrículos izquierdo y derecho eyectan un volumen sistólico a la circulación sistémica y pulmonar respectivamente. Generalmente, la sístole dura menos que la diástole.

La función mecánica del corazón se describe por los cambios de presiones, volúmenes y flujos en un ciclo cardiaco. El ciclo cardiaco es una forma de representar a la actividad del aparato circulatorio. En el mismo se coloca un número determinado de variables que tienen la característica de ser temporales. Las señales son colocadas en fase y de esa manera se ilustra sobre las fluctuaciones normales de presión ventricular izquierda, presión aórtica, presión auricular izquierda, volumen ventricular izquierdo y flujo aórtico. Por otro lado permite relacionar los fenómenos eléctricos con los cambios mecánicos que determinan.

Las estructuras cardiacas izquierdas y derechas trabajan en forma sincronizada. Al comienzo de la diástole, las válvulas auriculoventriculares (mitral y tricúspide) se abren permitiendo que los

ventrículos empiecen a llenarse pasivamente con la sangre acumulada en las aurículas. La apertura de las válvulas ocurre cuando la presión dentro de los ventrículos cae por debajo de la presión en las aurículas. Luego, los ventrículos continúan llenándose de sangre que retorna por las venas pulmonares a la aurícula izquierda y por las venas cava inferior y superior a la aurícula derecha. Cerca del final de la diástole, la activa contracción de las aurículas completa el llenado ventricular con un volumen cercano al 30% del volumen de fin de diástole.



Relación de mediciones hemodinámicas y eléctricas en el corazón izquierdo. Electrocardiograma (ECG); presiones aórtica (trazo grueso), ventricular izquierda (trazo fino) y auricular (línea punteada); volumen ventricular izquierdo (VVI) y flujo aórtico (FAo) durante un ciclo cardíaco. CV_M y AV_M: cierre y apertura de válvula mitral, respectivamente; CV_{Ao} y AV_{Ao}: cierre y apertura de válvula aórtica, respectivamente.

El complejo QRS del electrocardiograma se corresponde con el comienzo de la despolarización de las células musculares de los ventrículos, y por lo tanto anticipa a sístole ventricular. La presión intraventricular comienza a subir, cerrando la válvula auriculoventricular correspondiente. La presión en los ventrículos continúa subiendo manteniéndose constante el volumen de sangre en su interior (contracción isovolumétrica) hasta alcanzar los niveles de presión en las arteria aorta y pulmonar, momento en el cual se abren las válvulas aórtica y pulmonar y se produce la eyección ventricular. La entrada de sangre en las arterias aorta y pulmonar origina un aumento de su presión llegando al valor máximo de presión sistólica. Después de alcanzar este valor, la fuerza que generan los ventrículos disminuye y cuando la presión intraventricular cae por debajo de la presión existente en las arterias aorta y pulmonar, las válvulas aórtica y pulmonar se cierran. Posteriormente se produce la relajación isovolumétrica donde la presión dentro de los ventrículos desciende rápidamente manteniendo el volumen intracavitario hasta que se ubica por debajo de la presión intraauricular, instante en que se abren las válvulas auriculoventriculares y comienza nuevamente el llenado ventricular.

Durante la eyección ventricular se produce un mínimo gradiente de presión a través de las válvulas aórtica y pulmonar debido a los grandes diámetros de las mismas.

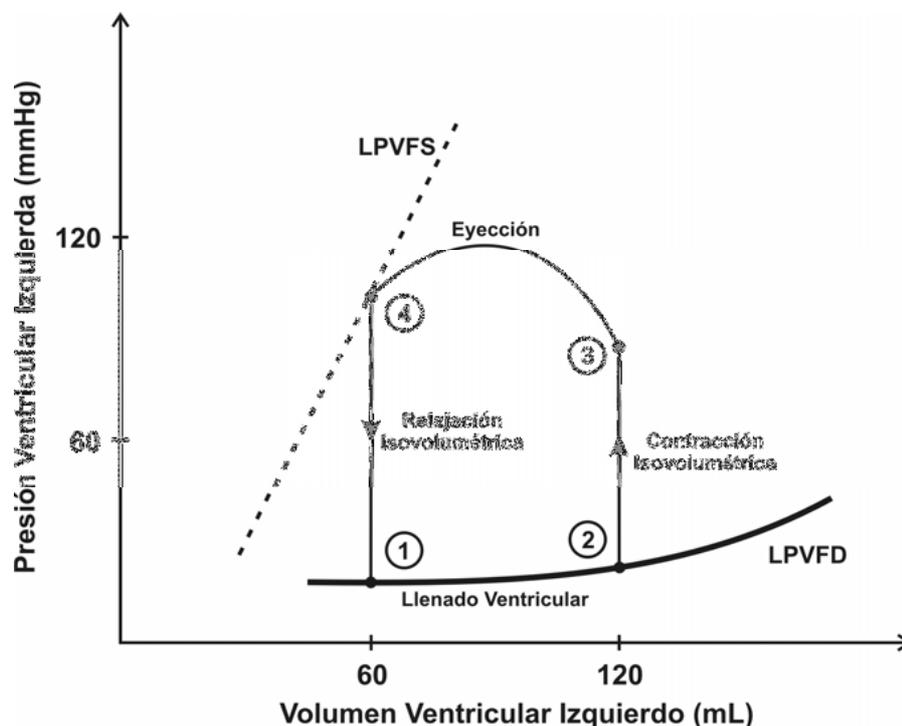


Diagrama presión-volumen del ventrículo izquierdo durante un ciclo cardíaco. La pendiente de la línea de presión-volumen de fin de sístole (LPVFS) representa a la contractilidad miocárdica, en tanto que la línea de presión-volumen de fin de diástole (LPVFD) define el llenado ventricular pasivo. 1) apertura de válvula mitral, 2) cierre de válvula mitral, 3) apertura de válvula aórtica, 4) cierre de válvula aórtica.

La mecánica ventricular también se puede explicar observando un bucle presión-volumen (P-V) que resulta de trazar en un gráfico bidimensional, la relación entre el volumen ventricular y la presión ventricular durante un ciclo cardíaco. Los puntos señalan la apertura y cierre de las válvulas implicadas. La diástole comienza en 1 y finaliza en 3 cuando se abre la válvula aórtica, entre 1 y 2 sucede el llenado ventricular y entre 2 y 3, la contracción isovolumétrica. El período de eyección corresponde al intervalo entre 3 y 4, mientras que la relajación isovolumétrica está representada por el segmento 4-1. Durante las fases isovolumétricas las válvulas mitral y aórtica permanecen simultáneamente cerradas.

El desplazamiento horizontal del bucle representa los cambios de volúmenes, ya sea sistólicos o de eyección como diastólicos o de llenado. Por otro lado la altura del bucle depende de la presión intraventricular (sistólicas y diastólicas). El área dentro del bucle es una medición del trabajo efectuado por el ventrículo izquierdo en la contracción.

Se ha descrito que la pendiente de la relación presión-volumen al final de la sístole caracteriza a la contractilidad miocárdica, un índice muy útil de la función ventricular independiente de la precarga y de la poscarga. La relación presión-volumen de fin de diástole define las propiedades diastólicas ventriculares. Esta curva se obtiene midiendo la presión ventricular que se genera para diferentes volúmenes de fin de diástole.

La mecánica del ventrículo derecho puede explicarse de manera análoga a lo descrito para el ventrículo izquierdo, considerando que la principal diferencia radica en los niveles de presión que experimenta. En un estado normal, la presión máxima de la cavidad ventricular derecha es aproximadamente 25-30 mmHg.

El volumen de eyección de sangre por parte del ventrículo izquierdo está determinado por tres factores: precarga, contractilidad y poscarga. La precarga está representada por la longitud de las fibras musculares antes de iniciarse la contracción y depende del volumen ventricular de fin de diástole. La capacidad intrínseca que tiene el corazón de adaptarse a cambios en el volumen de

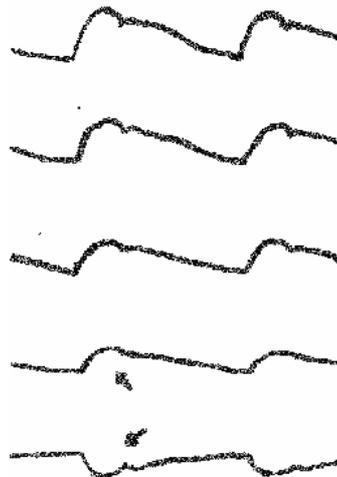
llenado es conocido como el mecanismo de Frank-Starling, a mayor estiramiento de las fibras musculares, mayor es la fuerza ventricular de contracción y la cantidad de sangre eyectada.

Se llama poscarga ventricular izquierda a la tensión que tiene que desarrollar el músculo durante la contracción; por lo que está relacionada a la presión contra la cual eyecta el ventrículo, siendo esta presión, a su vez, proporcional a la resistencia vascular sistémica.

La isotropía o contractilidad es la capacidad que tiene el músculo cardíaco para bombear sangre sin modificaciones de precarga y poscarga (únicamente derivada de su estado inotrópico). La contractilidad es proporcional al cambio de la presión intraventricular en un intervalo de tiempo.

Dinámica de la pared arterial

La mecánica de las arterias puede ser caracterizada en términos de elasticidad, viscosidad y plasticidad. Si se estira indefinidamente una arteria, a una determinada longitud, hay una deformación plástica, que representa el punto de no retorno. Los otros fenómenos tienen lugar antes de este punto de deformación plástica. Si se mide el diámetro arterial instantáneo con dos cristales ultrasónicos se obtiene una señal periódica, que es similar a la de presión aórtica. La variación de un radio arterial a lo largo de un ciclo cardíaco es del 7 al 10 % de su valor medio, no hay que olvidar que existen también deformaciones longitudinales que pueden ser mayores del 20% para las arterias de mayor tamaño. Cuando se miden segmentos longitudinales abdominales, la señal que se obtiene en el ciclo cardíaco es en espejo respecto de la señal diametral y de la longitudinal torácica. La explicación es la siguiente: todas las arterias se dilatan, pero en el caso de la arteria aorta torácica, también se elongan, y si se tiene en cuenta que los tejidos fijan las arterias femorales, es necesario que alguna parte del trayecto se acorte longitudinalmente.



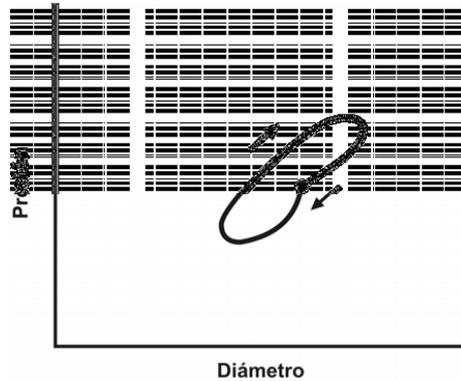
Motilidad aórtica. La onda periódica superior muestra con una frecuencia de 1.5 Hz una onda de presión aórtica torácica, la que le sigue en sentido inferior es el diámetro aórtico y luego la longitud torácica. Las dos últimas ondas son la presión aórtica abdominal y la longitud abdominal (onda inferior).

Los cambios mencionados, significan que cuando la arteria aorta supradiafragmática se carga de un volumen determinado a lo largo de un ciclo cardíaco, aumenta su presión y su longitud, en tanto que la arteria aorta abdominal aumenta su diámetro y disminuye su longitud. Actualmente, tanto la presión como el diámetro instantáneo pueden ser obtenidos en el humano en forma no invasiva.

La colocación de señales de presión y diámetro abdominal en dos ejes de coordenadas perpendiculares generan un bucle. Con la observación, resulta claro que no se obtiene una línea recta, como sería en el caso de estar estudiando un elástico puro en condiciones ideales, sino que fenómenos viscosos e inerciales determinan una histéresis. Un latido completo hace que el punto de presión-diámetro de comienzo evolucione por distintos sitios y retorne al origen. Debe recordarse que los distintos módulos: elástico, viscoso e inercial actúan afectando el movimiento

del vaso. La forma del rulo presión diámetro observada es típica de los materiales viscoelásticos, y es admitido que las fibras de elastina tienen un comportamiento elástico, en tanto que el músculo liso y el colágeno poseen una conducta viscoelástica.

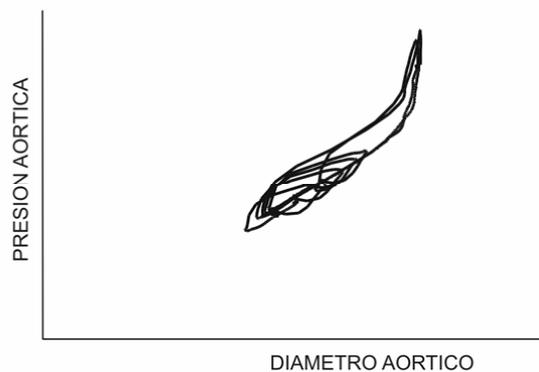
Si no hay cambios fisiológicos, la conformación del bucle presión-diámetro antes descrito se va a repetir dentro de las mismas dimensiones, pero difícilmente esto es lo observado. La regla es la variación constante de las condiciones, así se trate de simples movimientos respiratorios o se pase de la posición de sentado a parado, o cuando se levanta un gran peso, o cuando se acelera la marcha y muchas otras situaciones fisiológicas.



Presión y diámetro aórtico. En un ciclo cardíaco se produce un rulo o lazo que tiene rotación horaria.

Cuando el bucle presión-diámetro se desplaza hacia valores más altos de presión, se ponen en juego una mayor cantidad de fibras colágenas. El músculo liso arterial también tiene una acción que va a ser variable según el grado de estimulación neuro-endócrina que posea. Además, existen otros elementos que son los tejidos circundantes, como en el caso de los vasos intramiocárdicos o intrarrenales, por ejemplo.

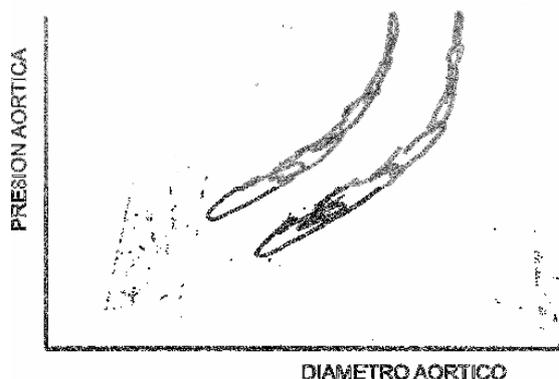
Las fibras colágenas tienen un módulo de rigidez cercano al del hueso ($30-1000 \cdot 10^6 \text{ dinas/cm}^2$) El módulo de rigidez de las fibras colágenas es alto, pero al encontrarse "enrolladas" en el interior de las paredes permiten los movimientos de las arterias debido a que durante la dilatación se produce un "desenrollamiento". En otras palabras, la elastina es estirada hasta un punto en que el colágeno empieza a actuar.



Evolución del bucle presión-diámetro aórtico ante incremento de presión. Con el aumento de presión sistémica se produce una dilatación aórtica hasta un punto en que sólo la presión puede aumentar, permaneciendo fijo el diámetro.

El músculo liso es el único componente activo de la pared arterial que puede reaccionar rápidamente a estímulos eléctricos y/o químicos. Sobre el mismo actúan los reflejos nerviosos, las sustancias vasoactivas y es el que mantiene un estado de semicontracción o semirelajación que se llama "tono". Cuando hay activación del músculo liso, el rulo presión diámetro va a seguir un camino diferente ya que para cada valor de diámetro le va a corresponder uno mayor de presión.

Tal como se puede suponer por lo expuesto, las alteraciones de los grandes vasos, como en los de menor calibre, tienen repercusión en la función cardiaca, de allí la importancia de tener un gran vaso compliant. La disminución de la compliance arterial determina no sólo un aumento de la usura de los materiales constitutivos de la aorta, sino un aumento del consumo miocárdico de oxígeno.



Presión y diámetro aórtico con activación del músculo liso. A lo largo de un aumento de presión sistémica en condiciones basales (curva inferior derecha) y luego de una estimulación del músculo liso (curva superior izquierda).

Como puede observarse, sería un error considerar a los vasos como simples conductos para el pasaje de la sangre. Ellos cumplen un rol distributivo que se pone de manifiesto tanto en circunstancias fisiológicas como patológicas. Así en un período pos prandial las arterias abdominales del aparato digestivo se dilatan derivando gran cantidad de flujo sanguíneo en desmedro de otros sectores. Por otro lado, en una amputación de pierna la arteria peronea puede llegar a ocluirse totalmente por contracción de su músculo liso.

Ley de Laplace

A principios del siglo XX, Otto Frank, definió para los vasos sanguíneos una ecuación en donde se consideraba al espesor de la pared (e). Una pared lo suficientemente gruesa hace que las tensiones no se repartan en forma uniforme, van a ser más importantes en el interior de la estructura parietal y de menor valor en la periferia. Lo anterior es aplicable al ventrículo izquierdo en donde la contracción de las fibras miocárdicas produce un aumento de la tensión de la pared ventricular y aumenta la presión del interior.

Las estructuras huecas, al tener elementos distintos de un lado y el otro de la pared están influenciadas por los efectos de la relación entre la presión transmural (presión interior-presión exterior) y las tensiones que se generan. Así la tensión de la pared de la estructura (T o σ) está dada por el producto de la presión (P) por el radio (R). Pero a nadie se le escapa que si se habla de tensión, lo importante no es sólo considerar con qué presión y en qué espacio se realiza, sino también cuál es la dimensión que la está soportando.

La fórmula de la Ley de Laplace para cavidades que correspondan a un ventrículo es la siguiente:

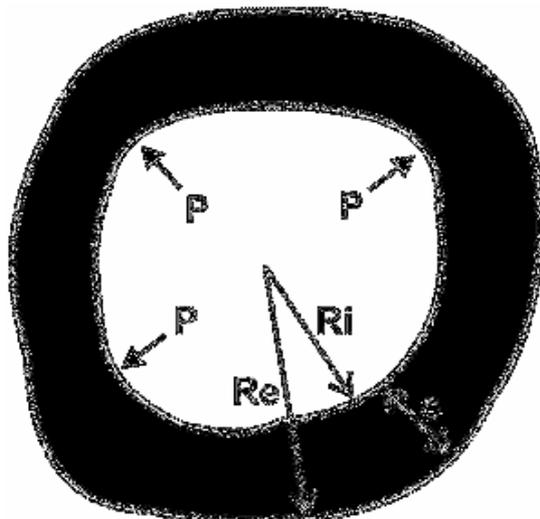
$$\sigma = \frac{P.R}{2.e}$$

Cuando se trata de cavidades de arterias, la fórmula sufre una pequeña variante y se escribe:

$$\sigma = \frac{P.R}{e}$$

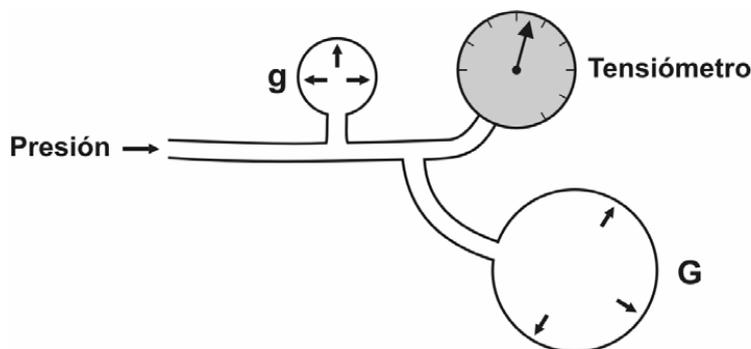
La relevancia de considerar la tensión parietal de una estructura radica en que se le quita valor a la presión intraluminal y se le confiere la importancia justa a los elementos parietales. Ello tiene gran relevancia en estados patológicos, tal es el caso de un aneurisma arterial. Los aneurismas son dilataciones de estructuras cardiacas o de vasos. En el caso de un aneurisma arterial, el

mismo va a ser peligroso aún cuando los niveles de presión arterial intraluminal fueran normales. La explicación es que los sitios con mayor diámetro van a tener mayor tensión parietal aún cuando las presiones fueran las mismas en dos sitios diferentes de un trayecto arterial.



Ley de Laplace. En esta arteria idealizada las dimensiones como radio interno (R_i), radio externo (R_e) y el espesor (e) de la pared arterial están relacionadas con las presiones (P) intraluminales.

Hay un ejemplo muy simple que ilustra el significado de la Ley de Laplace. Se trata de la fuerza torácica que debe hacer un individuo para inflar un globo. Es notorio que es más fácil inflar un globo grande que uno pequeño del mismo material e igual grosor de pared. Asimismo, un globo determinado es mucho más fácil inflarlo cuando ya se han insuflado varias bocanadas que al inicio.



Ejemplificación de la Ley de Laplace. Una presión con un valor constante medida con un tensiómetro va a dilatar un globo de gran diámetro (G) y no lo va a hacer sobre un globo de diámetro menor (g), a pesar de estar ambos comunicados libremente con la fuente de presión.

Si el caso fuera que se colocaran dos globos en un circuito único el más grande se inflaría y el otro sólo permanecería distendido.

Efecto Anrep

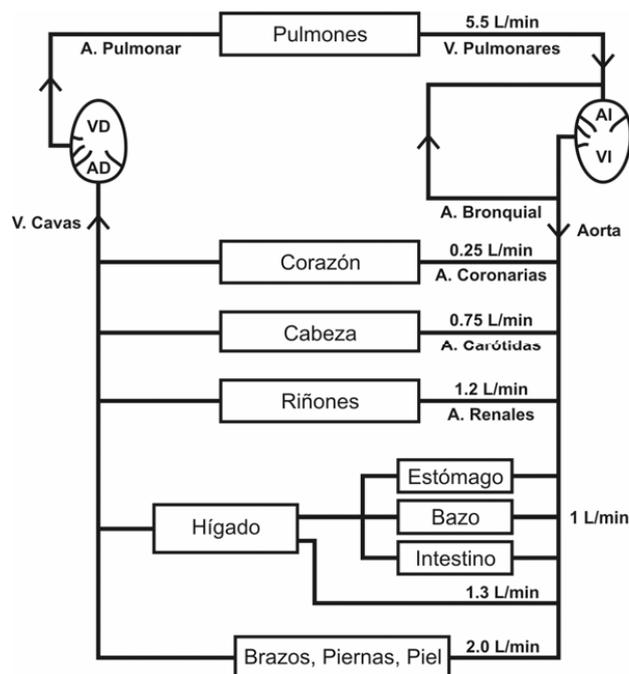
La contracción ventricular izquierda se hace contra: la impedancia aórtica, las resistencias periféricas y una masa sanguínea que tiene una viscosidad definida. Todo esto forma parte de la fuerza que se opone a la eyección ventricular o poscarga izquierda. Cambios en la poscarga ventricular izquierda determinan cambios en el funcionamiento del ventrículo y del consumo de energía.

La dinámica arterial, sus variaciones fisiológicas y las alteraciones determinan perturbaciones en la dinámica del flujo sanguíneo que transcurre por su interior. Los cambios en la dinámica de la sangre no sólo perturban los territorios a los cuales deben irrigar, sino que la bomba central también es afectada. Un ejemplo de esto último es el efecto Von Anrep, descrito en 1912 y que

consiste en un incremento del trabajo cardiaco luego de un aumento de la poscarga ventricular izquierda. Con posterioridad a una obstrucción brusca de la arteria aorta, se observa que los latidos cardiacos tienen una determinada presión sistólica, la cual se va incrementando hasta llegar a una meseta. Este efecto también se llama de regulación homeométrica y el sustento biofísico es el aumento de la contractilidad miocárdica acompañado de una disminución del volumen eyectado en cada sístole y un aumento del volumen telediastólico ventricular izquierdo.

Circulación Sanguínea

El volumen minuto refleja el débito, flujo o caudal sanguíneo que eyecta el corazón. En el aparato circulatorio humano usualmente es medido en litros por minuto (L/min). Es el resultado de multiplicar el volumen sistólico o volumen de eyección por la frecuencia cardiaca. Si este valor es referido a la superficie corporal se habla de índice cardiaco, habitualmente expresado en litros por minuto por metro cuadrado (L/min/m²).



Esquema de los flujos sanguíneos en el organismo correspondiente a un adulto de 70 Kg. de peso en estado de reposo. Obsérvese que a nivel abdominal supera los dos litros por minuto. AI: aurícula izquierda, VI: ventrículo izquierdo, AD: aurícula derecha, VD: ventrículo derecho.

Si se considera un vaso determinado, el flujo sanguíneo (F) que circula está definido por la diferencia de presión existente entre los extremos del vaso (ΔP) y la resistencia vascular que se opone a la circulación (R):

$$F = \frac{\Delta P}{R}$$

En la circulación sistémica, la diferencia de presión está determinada por las presiones en la raíz de aorta y en la aurícula derecha, en tanto que la resistencia vascular periférica es la que se opone a la circulación del volumen minuto.

En condiciones fisiológicas, las presiones en la circulación arterial sistémica oscilan entre 120 y 80 mmHg, en tanto que en el ventrículo izquierdo oscila entre 0 y 120 mmHg. En la circulación pulmonar se generan presiones menores, el ventrículo derecho genera un rango de presión de 25-0 mmHg y en la arteria pulmonar la presión fluctúa entre 25 y 15 mmHg. Si bien el flujo sanguíneo que circula por ambos circuitos (pulmonar y sistémico) es prácticamente el mismo, la diferencia en los valores de presión que presentan se debe a que la complacencia del circuito pulmonar y su resistencia son considerablemente menores.

A lo mencionado hay que agregarle una aclaración sobre un “cortocircuito” normal que existe entre la circulación sistémica y la pulmonar. Ocurre que las arterias bronquiales (irrigan los pulmones) dan sangre que es usada por los tejidos pulmonares y retorna al circuito sistémico; o sea que va a parar a la aurícula izquierda. Felizmente es un volumen muy pequeño.

Hagen-Poiseuille

El estudio de los fluidos es varias veces centenario. Los fluidos comprenden los líquidos y los gases y, a diferencia de los sólidos, no tienen forma propia. Un líquido real se mueve siguiendo gradientes de presión y el rozamiento tiende a detenerlo. Es importante señalar que si la velocidad con la que circula un líquido es constante en cada punto del circuito al transcurrir el tiempo, se puede hablar de régimen estacionario.

El flujo está determinado por la relación entre un gradiente de presión, el radio y la longitud de un tubo junto con la viscosidad de un líquido. Este hecho es evidente, pero la exacta cuantificación de esta relación sufrió cambios a lo largo del tiempo. Así en 1813 Girard dedujo que el flujo se relacionaba con la tercera potencia del radio del tubo. En 1839, Hagen publicó sus experimentos en los que el flujo se relacionaba con la cuarta potencia del radio. Poiseuille (1799-1869) en 1846 escribió en forma completa y detallada la fórmula adjunta que debido a la prioridad de Hagen, se conoce como ecuación de Hagen-Poiseuille. Más tarde Bingham y Jackson (1918) calcularon que la viscosidad del agua era 0.01 poise (1 centipoise) a 20 °C de temperatura. La viscosidad de la sangre con un hematocrito de 45% es de 4.0 centipoise a 37 °C.

$$Q = \frac{(P_1 - P_2) \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot L \cdot \mu}$$

Donde el flujo (Q) que transcurre por un tubo va a variar en función de la presión diferencial ($P_1 - P_2$), longitud (L), radio (r) y viscosidad sanguínea (μ).

Tal como puede observarse, el radio tiene una importancia fundamental, atento a la potenciación que posee. La ecuación de Hagen-Poiseuille no es importante sólo por el conocimiento exacto que da del flujo, es obvio que a partir de ella diferentes cálculos se puedan hacer.

Presión sanguínea arterial, Pitot

La presión hidrostática puede ser definida como el peso de una columna líquida (P_{HS}) y escribirse de la siguiente forma:

$$P_{HS} = P_E \cdot h$$

donde h es la altura y P_E es el peso específico. Hay que recordar que el peso específico es:

$$P_E = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}$$

Tradicionalmente la medición de presión arterial utilizaba una columna líquida para medirla, es el conocido método no invasivo de Riva-Rocci. Por razones prácticas se usó el mercurio (Hg). Recuérdese que la primera medición de presión en forma directa se hizo en un animal vivo (una yegua) y la columna era bastante más alta que una persona, tal como lo atestigua un grabado del siglo XVIII. La densidad del mercurio es 13.6 veces mayor que la del agua, lo que permite una columna líquida más pequeña. La altura h es:

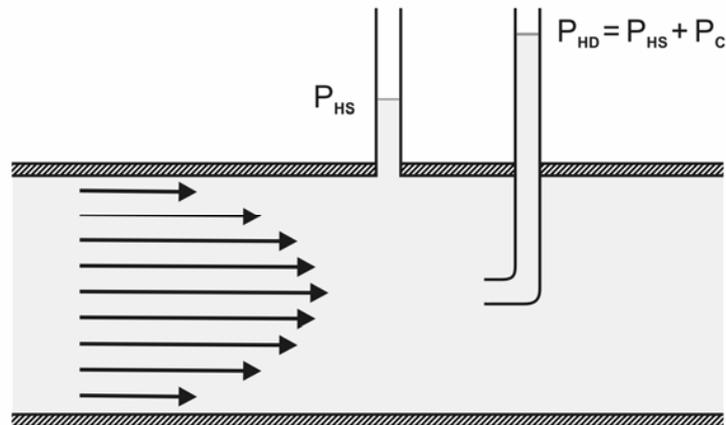
$$h = \frac{P_{HS}}{P_E}$$

La presión cinemática (P_C) es la presión que ejercería un líquido de densidad δ contra una superficie normal a su dirección de movimiento debido a la velocidad v con la que circula:

$$P_C = \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v^2$$

La presión hidrostática sumada a la presión cinemática resulta en la presión hidrodinámica. Si se tienen dos tubos en una corriente como la del cilindro de la figura que sigue, se observa que aquél que enfrenta la corriente va a registrar un nivel mayor, ello es debido a que está registrando la presión hidrodinámica. El tubo que está en contacto lateral con el cilindro registra la presión hidrostática solamente.

Es importante destacar que estas presiones se ejercen sobre las paredes vasculares o estructuras cardiacas. Asimismo, una fuerza va a tener efectos diferentes según la superficie sobre la que actúa. Así una fuerza hecha con la punta de un lápiz dejará una marca penetrante en un papel y ello no ocurrirá si se lo hace con el extremo opuesto.

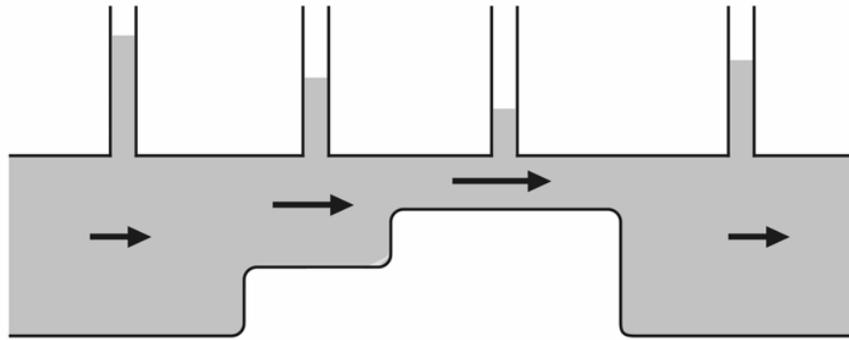


Los Tubos Pitot permiten conocer el valor de la presión cinemática (P_C), y partir de ella la velocidad de un fluido, al medir la presión hidrodinámica (P_{HD}) y la presión hidrostática (P_{HS}).

En el sistema arterial la presión es pulsátil, lo que impide que pueda ser medida con una simple columna de mercurio, la cual tiene una inercia significativa. No obstante, diversos métodos invasivos y no invasivos permiten fácilmente determinar el contorno total de valores sistólicos y diastólicos de la curva de presión arterial. Es muy importante el concepto de presión media, que en forma práctica puede ser calculado como 1/3 de la presión diferencial (presión sistólica - presión diastólica) sumada al valor de presión diastólica. De cualquier manera, un cálculo real de la presión media debe hacerse teniendo en cuenta el área bajo la curva de presión arterial. Para el movimiento circulatorio normal no es lo mismo un alto pico de presión a lo largo de unos pocos milisegundos, que una presión sostenida en el tiempo de cada ciclo cardiaco.

Es válido analizar al sistema arterial como a una línea de transmisión a lo largo de la cual la onda de presión es amortiguada y sufre sucesivas reflexiones. Las reflexiones se producen en todos los puntos de bifurcación y de cambio de diámetro o de elasticidad, sin embargo la mayor reflexión se produce a nivel de las arteriolas, ya que es allí donde se concentra la resistencia del sistema arterial. Por este motivo la onda de presión aórtica está formada por una primera onda, debida a la eyección ventricular (onda eyectiva), seguida por la incisura dicrótica (originada por el cierre de la válvula aórtica), una onda reflejada debida a la reflexión de la onda eyectiva; y finalmente una caída exponencial de la presión.

La onda refleja es la resultante del rebote de la eyección ventricular izquierda en distintos sitios de la periferia. En los casos de aumento de la rigidez arterial, la onda refleja, tiene mayor velocidad y se suma a la onda eyectiva del ventrículo izquierdo. Ello va a determinar una conformación tipo A (la presión sistólica aumenta y la presión diastólica disminuye) en la señal de presión arterial. El aumento de la presión sistólica provoca un incremento en la demanda de oxígeno del músculo cardiaco, mientras que la reducción de la presión diastólica, aminora el flujo sanguíneo que perfunde al miocardio. Este tipo de onda es propia de individuos añosos o de



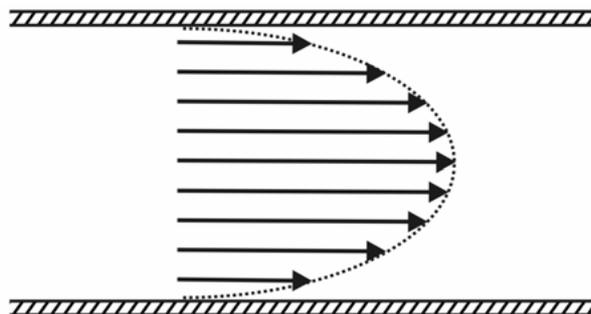
Principio de Bernoulli. El pasaje de un fluido a través de tubos con distintos diámetros, en el sentido de las flechas, determina distintas velocidades y distintas presiones que se generen. Tal como puede observarse, el último nivel de presión obtenido es menor al primero, a pesar que el área de sección de los tubos de los extremos es igual. Ello se debe a que hubo una pérdida de carga debido al rozamiento, es lo que se denomina disipación.

Flujo laminar, viscosidad y número de Reynolds

Cuando un líquido transcurre por el interior de un cilindro lo puede hacer en forma turbulenta o en forma de finas capas, a esto último se le llama flujo laminar. Estas capas tienen mayor velocidad cuanto más cerca del centro del vaso se encuentran y son más lentas a medida que se aproximan a la pared. Algo semejante ocurre con el aire.

En el caso de las arterias, es posible observar un flujo sanguíneo de tipo laminar con un perfil parabólico de velocidades. El frotamiento o roce entre dos capas de diferente velocidad se llama viscosidad sanguínea, y ésta aumenta cuando aumenta el hematocrito. La tensión tangencial (o shear stress) que ejerce la capa más externa de la sangre sobre el endotelio de la pared arterial genera una deformación de esta superficie, que ayuda a establecer la respuesta compensadora ante cambios hemodinámicos.

En la práctica, la viscosidad sanguínea absoluta es difícil de medir, por lo que se la refiere a la viscosidad del agua: es la viscosidad relativa. La unidad de medida de la viscosidad es el poise ($1 \text{ poise} = 1 \text{ g/cm.s}$). Normalmente la sangre no cambia su viscosidad cuando circula por tubos de diferentes diámetros, siempre que sean de más de 2 mm. Cuando el flujo transcurre por tubos rígidos de pequeño diámetro, que son los más numerosos en el cuerpo humano, las características reológicas muestran fenómenos interesantes como lo es el efecto Fahraeus-Lindqvist.

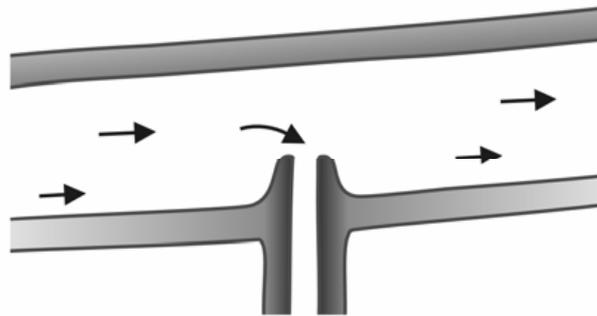


Perfiles de velocidad. Las distintas velocidades de los glóbulos rojos en el interior de una arteria hacen que haya distintas capas de sangre.

Se llama efecto Fahraeus-Lindqvist a la disminución de la viscosidad relativa de la sangre cuando disminuye el diámetro del vaso, cuando se trata de diámetros entre 300 y $10 \mu\text{m}$. Lo interesante de este fenómeno es que se contrapuso a lo que se creía hasta entonces: que con la disminución del diámetro del tubo aumentaba la viscosidad relativa. En realidad cuando estos diámetros son inferiores a $10 \mu\text{m}$ la viscosidad relativa sí aumenta.

No existe una explicación clara del fenómeno de Fahraeus-Lindqvist. Se supone que es debido a los glóbulos rojos, que al apilarse en columnas paralelas a las paredes de los vasos pequeños, pueden transcurrir por los mismos con menor fricción.

Un aspecto interesante que involucra a la viscosidad es su disminución con el aumento del flujo. Este fenómeno está asociado al de la acumulación axial, que básicamente consiste en un aumento de la cantidad de eritrocitos en el centro del vaso, lo cual significa un mayor hematocrito en central y uno menor en la periferia. La macrocirculación presenta adaptaciones en este sentido, por ejemplo, una variación estructural existe en las arterias uterinas de las ratas adultas. La figura siguiente muestra de qué forma la rama arterial tiene un origen que no se encuentra en el perímetro arterial, sino que hace prominencia en el lumen de la pared aórtica. Así, la acumulación axial, que conlleva a una especie de dilución periférica, no afecta el porcentaje de glóbulos rojos que ingresarán al ser en formación.



La arteria uterina tiene su origen centralizado en la arteria aorta de mayor tamaño. Lo que le permite obtener sangre con una mayor concentración de glóbulos rojos.

Tal como se mencionó anteriormente, el flujo puede ser de tipo turbulento. La velocidad del flujo sanguíneo por encima de la cual el flujo deja de ser laminar y se torna turbulento se llama velocidad crítica (V_c). Esta velocidad crítica depende del número de Reynolds (Re), del diámetro del cilindro (d), la densidad (δ) y la viscosidad de la sangre (μ). La ecuación es la siguiente:

$$V_c = Re \cdot \frac{\mu}{\delta \cdot d}$$

A su vez, el número de Reynolds (Re) puede ser calculado de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{V_c \cdot d}{\mu / \delta}$$

El número de Reynolds es adimensional, cuando su valor es superior a 2000 hay turbulencias aún en tramos de cilindros rectos y finos.

Cuando se trata de vasos sanguíneos humanos, no hay que olvidar otros elementos que favorecen el flujo turbulento, como lo son las superficies rugosas, las obstrucciones, las bifurcaciones y todo aquello que signifique la formación de remolinos. Un flujo turbulento avanza contra una resistencia mayor, lo cual es fácil de imaginar si se tiene en cuenta que existen hasta flujos perpendiculares a la pared arterial dentro del vaso. Cuando un flujo laminar "choca" contra un obstáculo se producen vórtices, o alteraciones significativas del flujo laminar.

Velocimetría

Los estudios que usan tecnología que aplica el efecto Doppler actualmente permiten la medición de la velocidad de las capas sanguíneas a distintos niveles en el interior de las arterias. Asimismo, los ultrasonidos permiten la determinación del diámetro arterial con un bajo índice de error.

Los estudios de velocimetría permiten analizar algunos componentes de la pared arterial. Es conocido desde 1933 que el aumento del flujo arterial determina un aumento del diámetro, lo cual es endotelio-dependiente e involucra la función del músculo liso. Existe una prueba clínica que permite evaluar la hiperemia reactiva y que consiste en ocluir el flujo sanguíneo braquial inflando un manguito con 50 mmHg de presión por encima del valor sistólico, durante 5 minutos. La respuesta dilatadora y de flujo debe ser de no menos del 15% de los valores basales de diámetro arterial y velocidad sanguínea media. Si al paciente se le administra nitroglicerina se puede evaluar la respuesta endotelio independiente, es decir, la que sólo depende del músculo liso arterial.

Otros importantes parámetros que son tenidos en cuenta en el estudio de la función vascular son la tasa de cizallamiento (Shear Rate) y su tensión de cizallamiento (Shear Stress). Pues ellos tienen relación con la liberación de sustancias vasoactivas por parte de las células endoteliales y la consecuente evaluación de la vasomotricidad del árbol arterial. Se ha mostrado en varios estudios que cuando el flujo sanguíneo, y en consecuencia el Shear Rate, es forzado a cambiar de su estado fisiológico, el diámetro arterial se adapta, y se restablecen luego de un intervalo de tiempo los valores originales de flujo y Shear Rate.

Dado que los trastornos del flujo sanguíneo son capaces de inducir cambios en la pared arterial, ello constituye una teoría que trata de explicar, desde el punto de vista mecánico, el origen de la aterosclerosis. Es decir que se han involucrado a trastornos de turbulencia, alto Shear Stress, y alta presión sanguínea en la aterogénesis, las cuales posteriormente van dar como resultado la aparición de una placa y el trastorno distal de flujo.

Alteraciones: insuficiencia cardíaca, insuficiencia cardíaca derecha, enfermedad coronaria, valvulopatías, derrame pericárdico, taponamiento cardíaco, enfermedades congénitas, arteriopatías, arteriosclerosis, aterosclerosis, estenosis vascular, aneurismas, endocarditis, trombosis, embolias, hipertensión arterial, bloqueos cardíacos, arritmias cardíacas.

Un síntoma es una sensación percibida por el individuo, ejemplo de ello es dolor, picazón y otros. Un signo es una característica que puede ser percibida por el examinador externo al individuo. Es el caso de la cianosis (color azul) de los dedos y las mucosas, debido a la inadecuada circulación sanguínea. Un conjunto de signos y síntomas conforma lo que se conoce como síndrome. En el caso de una enfermedad, del latín *infirmitas*, se entiende que es una situación en la que una o varias partes del cuerpo han salido de los rangos fisiológicos.

Cuando se habla de insuficiencia cardíaca se está haciendo referencia a la incapacidad del corazón para eyectar toda la sangre que le llega. Lo cual puede tener muchos orígenes diferentes y va a ocasionar signos y síntomas similares independientemente de la etiología. Una variedad de insuficiencia cardíaca es la insuficiencia cardíaca derecha, que puede acompañarse o no de insuficiencia cardíaca izquierda.

La denominada enfermedad coronaria (infarto, angina de pecho) es producida por obstrucciones ateroscleróticas de las paredes que impiden la llegada de sangre al músculo cardíaco provocando la muerte celular.

Cuando las afectadas son las válvulas cardíacas, pueden encontrarse estrecheces que impiden el normal paso de la sangre, en tal caso se habla de estenosis. Cuando no son capaces de retener la sangre que ya pasó por ellas se dice que hay una insuficiencia valvular. Cuando la afectación es una combinación de estenosis e insuficiencia se dice que es enfermedad valvular.

Se dice que hay un derrame pericárdico cuando existe líquido en el saco pericárdico, el cual puede tener distintos orígenes. Puede ser de tipo inflamatorio, sanguíneo u otros. Cuando su volumen es muy grande produce taponamiento cardíaco. El taponamiento cardíaco es un estado de compresión de las cámaras cardíacas por líquido pericárdico que impide el llenado normal.

Las enfermedades congénitas pueden afectar al corazón. Algunas de ellas son las comunicaciones entre aurículas y ventrículos. Otra es la arteria aorta estenosada, lo que se conoce como coartación aórtica.

En un sentido genérico las enfermedades de las arterias se llaman genéricamente arteriopatías. Una arteriopatía es la arteriosclerosis, que es la esclerosis de las arterias. Cuando se forman placas se dice que se trata de aterosclerosis. Las lesiones más comunes de la aterosclerosis son las estenosis vasculares que impiden la llegada de sangre a los tejidos.

Hay casos en que existen tantas obstrucciones arteriales que llegan a incluir las ilíacas y subclavias; en estos pacientes el ventrículo izquierdo sufre adaptaciones semejantes a lo que ocurre en la frecuente patología hipertensiva. El síndrome de Leriche se produce por un trastorno en la irrigación periférica causado por una gran obstrucción a nivel abdominal. En ambas patologías, se crea un círculo vicioso en el que la hipertensión, por incapacidad de vaciado del árbol arterial, perjudica al ventrículo izquierdo pero beneficia a los miembros inferiores, ya que de existir un régimen de presiones normales verían disminuido su flujo por una caída del gradiente de presiones.

Los aneurismas son las dilataciones patológicas y circunscriptas de alguna estructura cardiovascular. Lo que las predispone a la ruptura, según el mecanismo antes descrito. Una variedad la constituyen los aneurismas disecantes de las arterias, que es cuando la pared vascular es lesionada y disecada por la corriente sanguínea. La pared del ventrículo izquierdo también puede alterarse por la presencia de aneurismas, generalmente afecta la zona del ápex.

Las paredes del corazón pueden afectarse en forma separada, así existe la pericarditis, la miocarditis y la endocarditis, que son distintos tipos de inflamación tisular.

En los casos en que hay coagulación dentro de los vasos, se dice que se forman trombos. La formación de trombos dentro de los vasos se llama trombosis. Si los trombos se desprenden se habla de embolias.

Cuanto los niveles de tensión arterial escapan a los valores normales (120/80 mmHg) se dice que hay hipertensión arterial si los sobrepasan. En el caso de la hipotensión arterial se entiende que los valores son inferiores a 90/60 mmHg.

El ritmo cardiaco también puede sufrir alteraciones. Las arritmias cardíacas son las alteraciones del ritmo cardiaco y constituyen una especialidad en cardiología, se deben a alteraciones en la generación del impulso y/o su conducción. Cuando los impulsos eléctricos cardíacos son producidos normalmente pero no pueden progresar por los canales normales se dice que hay un bloqueo cardiaco.

Se dice que un individuo sufre de una taquicardia cuando hay un aumento anormal en la frecuencia cardiaca. La fibrilación es la consecuencia de una la activación muscular desordenada y desincronizada donde no existe actividad mecánica útil. Ambas patologías del ritmo cardiaco pueden ser auriculares o ventriculares, pero las que afectan al ventrículo concentran la atención por su alto riesgo. La fibrilación ventricular es la más grave de todas las arritmias, si no es tratada inmediatamente, sobreviene la muerte.

Diagnóstico: radiografía, electrocardiograma, Holter, monitoreo ambulatorio de presión arterial, ecocardiografía, Doppler, cámara gamma, estudio hemodinámico.

Con el conocimiento de las enfermedades y teniendo en cuenta signos y síntomas, el médico puede realizar una aproximación diagnóstica, la cual puede requerir de estudios complementarios. El diagnóstico es el proceso por el cual el médico toma conocimiento del tipo de enfermedad que sufre un paciente. Para ello en primera instancia usa el interrogatorio, el examen físico y finalmente los métodos complementarios de estudio. Los síntomas o signos patognomónicos son aquellos que por sí solos dan nombre a una enfermedad. Lamentablemente

son muy raros a pesar que el público en general estima que un solo síntoma le sirve al médico para saber que enfermedad tiene y decidir la forma de curarla.

En cardiología un viejo método diagnóstico como la radiografía permite graficar mediante tonos de grises las estructuras anatómicas y genera muchos diagnósticos.

El uso del electrocardiograma mediante la actividad eléctrica del corazón sobre papel está muy extendido desde hace muchas décadas. El registro prolongado de la actividad eléctrica del corazón o electrocardiograma dinámico se efectúa durante 24 hs; en forma popular recibe el nombre de estudio Holter.

La tensión arterial también puede ser determinada en forma continua mediante el monitoreo ambulatorio de presión arterial. El procedimiento consiste en obtener múltiples mediciones automáticas de la presión sistólica y diastólica del paciente a lo largo de 24 horas. Con ello se puede conocer si hay variaciones patológicas de los valores de presión a lo largo de las actividades diarias.

Los ultrasonidos se han difundido mucho en cardiología en los últimos 40 años. La ecocardiografía es una técnica incruenta que permite caracterizar rápidamente estructuras cardíacas y estudiar su función mediante el uso de ondas ultrasónicas. Actualmente, constituye un método indispensable para la evaluación integral del paciente. La obtención de un perfil de velocidad arterial instantánea es útil en clínica médica, pues puede detectar alteraciones relacionadas al aumento de la rigidez arterial. La técnica Doppler permite conocer la velocidad y dirección del flujo sanguíneo.

Los isótopos radiactivos se usan como métodos diagnósticos. Los estudios de cámara gamma cardíacos permiten a través del uso de isótopos conocer la perfusión cardíaca, la motilidad ventricular izquierda y establecer diagnóstico de diferentes patologías. Los estudios más corrientes con isótopos son: talio²⁰¹, radiocardiograma con Tecnecio⁹⁹ y Tc⁹⁹ Sestamibi.

También se utilizan estudios invasivos como los cateterismos que tienen distintas formas de diagnosticar enfermedades, siendo la coronariografía una de ellas. En la práctica cardiológica se refiere a cateterizar al paciente ya sea en su circulación venosa o arterial.

Terapéutica: Farmacología cardiovascular, cirugía cardiovascular, intervencionismo, prótesis, masaje cardíaco, resucitación cardiopulmonar.

Siendo la medicina el arte de curar con bases científicas, gran parte de la actividad médica está destinada a restituir la estructura y función normal de las partes alteradas del paciente. La terapéutica engloba los distintos recursos que tiene el médico para curar. Uno de ellos es el uso de drogas que son estudiadas por la farmacología. En cardiología son comunes los usos de drogas que aumentan la contractilidad cardíaca (digoxina, dopamina, dobutamina), que dilatan los vasos (nitritos, nitratos, inhibidores de la enzima convertidora, bloqueantes cálcicos), que bajan la tensión arterial (betabloqueantes), que mejoran las arritmias cardíacas (antiarrítmicos).

En el caso de las enfermedades cardíacas que afectan su estructura, tal como aneurismas, obstrucciones coronarias, valvulopatías pueden ser tratadas con cirugía cardiovascular. Cuando las mismas patologías son tratadas mediante la introducción de catéteres se habla de intervencionismo. Con ambos procedimientos se pueden colocar dispositivos o prótesis con objeto de restablecer una función.

Las emergencias en cardiología no son raras y la muerte súbita es una de ellas. En estos casos una terapéutica muy antigua es el uso del masaje cardíaco para restablecer la función cardíaca luego de un paro cardiorespiratorio. Esto es conocido como resucitación cardiopulmonar. Consiste en comprimir la caja torácica en forma manual, y de esa manera las cámaras cardíacas expulsan la sangre contenida gracias al sistema valvulado.

Consideraciones finales

Es importante tener en cuenta que para el conocimiento de la fisiopatología se debe saber primero cuales son las características normales de un individuo. El presente capítulo resume aspectos morfológicos tanto macro como microscópicos del aparato cardiovascular humano. Sobre esta base se explicó la función circulatoria y aquellos factores que la alteran, comentando brevemente algunos métodos de diagnóstico y terapéutica. En la bibliografía recomendada el ingeniero podrá encontrar más información si el caso fuera que tuviera que profundizar sus conocimientos más allá de lo previsto en la presente obra.

BIBLIOGRAFÍA

Armentano RL, Cabrera Fischer EI. Biomecánica Arterial. R. L. Editorial Akadia Buenos Aires, Argentina; 2008.

Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. Second Edition, Volume I. CRC Press, Printed in the USA; 2000.

Brunton LL, lazo JS, Parker KL. Las bases farmacológicas de la Terapéutica. Undécima Edición Mc Graw Hill. Colombia; 2006.

Cabrera Fischer EI. Bases de la Fisiología Humana normal y alterada: un enfoque para ingenieros clínicos. Editado por la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Segunda Edición, Argentina, 2007.

Camus JM, Cabrera Fischer EI, Bia Santana D, Rábago G, Armentano RL. Insuficiencia Cardíaca Severa. Editado por la Universidad de Mendoza, Mendoza, Argentina; 2011.

Del Río Miguel. Función cardiopulmonar y sus aspectos clínicos y terapéuticos. Editorial Intermédica S.A.I.C.I., Buenos Aires, Argentina; 2009.

Dvorkin M, Cardinali D. Bases fisiológicas de la práctica médica. 13^{ava} edición Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina; 2003

Fischer EIC, Juffe Stein A, Balaguer J. Cardiovascular Failure, Pathophysiological bases and Management. Editada por Ediciones del Valle, Buenos Aires, Argentina; 2005.

Ganong WF. Fisiología Humana. Manual Moderno 17^{ava} edición. México DF; 2000.

Guyton A, Hall J. Fisiología Médica, Elsevier, Barcelona, España; 2011.

Hansen JT, Koeppen BM. Atlas de Fisiología Humana de Netter. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2003.

Johnson LR. Essential Medical Physiology. Elsevier Academic Press, Tercera Edición, New York, USA; 2003.

Kapit W, Macey RI, Meisami. The Physiology. Second Edition, New York, USA, 2000.

Mautner B. Medicina. Centro Editor de la Fundación Favaloro; 2003.

Netter FH. Atlas de Anatomía Humana. Tercera Edición. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2004.

Raven PH, Johnson GB. Biology. Mc Graw Hill, Sexta Edición, USA; 2001.

CAPÍTULO IV

APARATO RESPIRATORIO

Estructura: Pulmón y vías respiratorias. Pleuras y pared torácica. Músculos de la respiración. Músculos de la fonación. Laringe y tráquea.

Función: Mecánica respiratoria. Ventilación pulmonar. Composición de la atmósfera. Frecuencia respiratoria. Volúmenes pulmonares. Alvéolos. Difusión de gases. Hematosis. Presión de oxígeno. Gases en sangre. Dióxido de carbono. Control respiratorio. Reflejo de Hering-Breuer. Quimiorreceptores. Transporte de oxígeno en sangre. Fisiología respiratoria de la aviación y el buceo. Fonación.

Alteraciones: Disfunción respiratoria. Insuficiencia respiratoria. Cáncer de Pulmón. Derrame pleural. Neumotórax. Edema de Glotis. Edema Agudo de Pulmón. Obstrucciones bronquiales. Neumonitis. Infecciones del tracto respiratorio. Cuerpos extraños. Intoxicaciones. Monóxido de carbono. Anoxia. Hipoxia. Hipercapnia. Paro respiratorio. Tuberculosis.

Diagnóstico: Radiografía, broncoscopia, lavado bronquial, biopsia. Estudio funcional respiratorio.

Terapéutica: Ejercicios respiratorios, respiración artificial. Traqueotomía. Neumonectomía.¹

Estructura: Pulmón y vías respiratorias. Pleuras y pared torácica. Músculos de la respiración. Músculos de la fonación. Laringe y tráquea.

Si bien los humanos se llaman a sí mismos terráqueos, en realidad son aéreos y se afirman en la tierra igual que muchos seres vivientes. El aire que entra y sale del aparato respiratorio del humano, lo hace por canales que se han dado en llamar vías respiratorias. El ingreso de aire se hace por el apéndice nasal y termina en los alvéolos. Luego de ingresado, el aire capta humedad de las mucosas nasales, se calienta y es también liberado de cuerpos extraños. La superficie interior de la nariz ayuda a este cometido debido a la mucosa ricamente irrigada y al aumento de su superficie por medio de cornetes que en número de tres a cinco se encuentran en las paredes laterales.

Los cornetes son formaciones nasales cubiertas de una mucosa. El espacio que se encuentra entre estos cornetes que prácticamente “cuelgan” de las paredes laterales, se llama meato. El centro del apéndice nasal posee un tabique constituido por huesos y cartílagos. En la parte superior y anterior de la nariz están los huesos nasales que son continuados por cartílagos logrando con ello y la presencia de pequeños músculos la configuración nasal que es posible observar a simple vista.

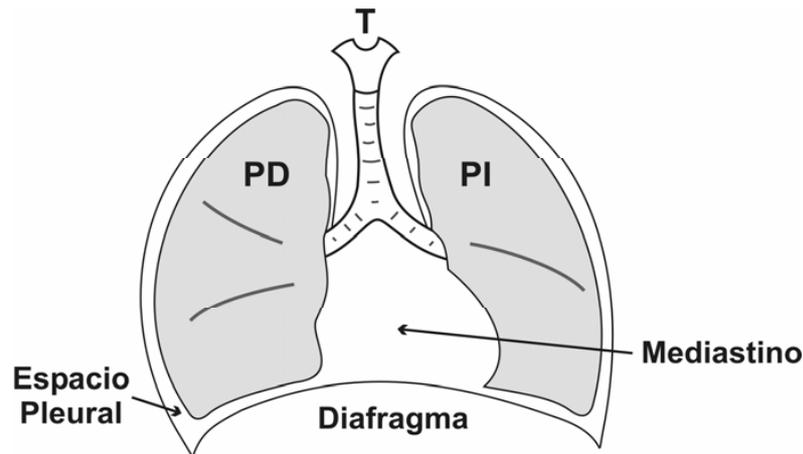
La estructura ósea del rostro tiene huesos que no son compactos, sino que son huecos. Anexo a las vías respiratorias en su porción inicial se encuentran los senos para-nasales. En estados patológicos son responsables de sinusitis, o sea inflamación de senos. Existen varios: seno maxilar (en el interior del hueso maxilar superior), seno frontal (en el interior del hueso frontal), seno esfenoidal (en el interior del hueso esfenoides). La desembocadura de estas cavidades óseas se hace en el caso del frontal y el maxilar en la cavidad nasal.

Luego de la rinofaringe, que es la parte de la faringe con la que se conectan las fosas nasales, la vía respiratoria se continúa con la laringe y la tráquea para luego seguir por bronquios y bronquiolos. Es evidente que la laringe y la tráquea tienen una posición anterior o ventral en el cuello del humano, siendo posible su palpación.

¹ Este capítulo fue corregido y aumentado por el Dr. Miguel Ángel Bergna, Médico especialista en neumonología.

El esófago junto a la columna vertebral, o sea que la vía digestiva es posterior o dorsal a la vía respiratoria. No obstante la vía nasal se dispone por encima de la cavidad bucal. De ninguna manera sería posible que no hubiera un entrecruzamiento entre la vía digestiva y la respiratoria: se trata de la **encrucijada faríngea**. Este es el punto en donde se cruzan la vía aérea y la alimentaria, es compartido para que tengan lugar ambas funciones y no tiene límites definidos.

El aire que ingresa por la vía nasal, posteriormente recorre la faringe y se introduce en la Laringe. La Laringe esta formada por cartílagos: tiroides, epiglotis, cricoides, aritenoides, corniculados y cuneiformes. Existen ligamentos que relacionan éstos cartílagos entre sí y con el hueso hioides que se encuentra en la base de la lengua. En la laringe hay músculos tales como cricotiroideo, interaritenoides, tirohioideos y otros.



Vía respiratoria. El cartílago Tiroides (T) forma parte de la Laringe, la cual se continúa con la Tráquea que luego se divide en dos Bronquios. Uno para el Pulmón Derecho (PD), que tiene tres lóbulos y otro para el izquierdo (PI), que tiene dos lóbulos. El espacio entre los dos pulmones se llama Mediastino y el que está entre las pleuras visceral y parietal es el espacio pleural.

La fonación en el humano se realiza aprovechando funciones de varios sitios anatómicos, siendo la laringe el más importante. La laringe tiene en su interior las cuerdas vocales que son dos del lado derecho y dos del lado izquierdo. Constituyen el órgano fundamental de la fonación. El espacio entre las cuerdas vocales inferiores se llama glotis.

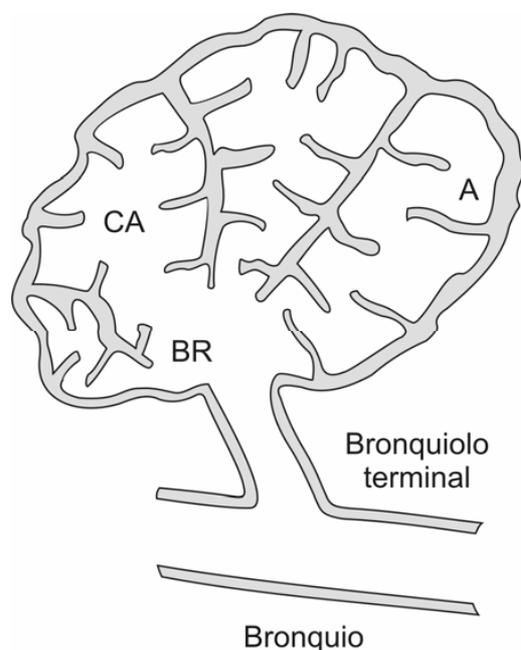
A partir de la laringe sigue un número definido de anillos incompletos que conforman la tráquea, la cual se divide en dos bronquios. Los bronquios van a dar origen a los bronquiolos, bronquiolos respiratorios, conductos alveolares y alvéolos. Estos últimos son espacios en los que se realiza el intercambio gaseoso aire-sangre.

Las divisiones bronquiales generan conductos cada vez de menor diámetro, que van a llegar a los alvéolos. Los mismos conforman una verdadera esponja de aire, que con la red de capilares conforma una estructura ideal para el intercambio gaseoso. Las superficies celulares en contacto con el aire constituyen el equivalente de un piso de 7 metros de ancho por 10 metros de largo. Téngase en cuenta que la tráquea tiene un área transversal de 2.5 cm^2 , en contraposición con los 70 metros cuadrados antes mencionados.

Tal como ocurre en otras partes del cuerpo las superficies de las vías aéreas están recubiertas por células epiteliales. Los alvéolos están recubiertos por células epiteliales planas y las vías respiratorias por células epiteliales ciliadas. En la tráquea y bronquios de grueso calibre hay una capa interior de células ciliadas (efectúan barrido superficial) junto a caliciformes (segregan mucus). En los bronquiolos hay predominancia de células ciliadas. Los alvéolos están en estrecha relación con los capilares pulmonares circunstancia que beneficia el intercambio gaseoso. En los alvéolos hay macrófagos que tienen por objeto la defensa o limpieza del órgano.

Los pulmones, por los desplazamientos que deben realizar en el ciclo respiratorio tienen una estructura acorde. Macroscópicamente, los pulmones están constituidos por dos lóbulos el izquierdo y tres el derecho. Se encuentran en la cavidad torácica a ambos lados del mediastino. Ambos pulmones están recubiertos por membranas que se llaman pleuras. Las pleuras que recubren los pulmones se llaman viscerales y las que recubren las paredes torácicas por su cara interior se llaman pleuras parietales. Ambas pleuras encierran un espacio virtual al que puede ingresar aire en estados patológicos.

Es conveniente recordar que los pulmones ocupan gran parte del tórax. Por lo que varios límites que tiene la cavidad torácica son compartidos por los pulmones. El tórax esta limitado por la columna vertebral en la parte dorsal y el esternón en la ventral. El resto esta limitado por las costillas y los cartílagos costales que las continúan. Por arriba (cefálico) se encuentra el cuello y por su base por un músculo chato, con forma de campana, que lo separa del abdomen y que se llama diafragma. El diafragma es el principal músculo de la respiración. Existen otros músculos que intervienen en la respiración: los intercostales, esternocleidomastoideos, escalenos. Los músculos intercostales se encuentran entre una costilla y otra, si se contraen disminuyen el espacio intercostal y llevan hacia arriba al conjunto. Los otros músculos son accesorios y también elevan la parte superior del tórax.



Vía respiratoria terminal. Los Alvéolos (A), se encuentran al final de los Conductos Alveolares (CA) que a su vez son ramas de división de los Bronquiolos Respiratorios (BR). De la Tráquea nacen bronquios y ellos se ramifican en Bronquiolos terminales.

En la porción inferior, los pulmones tienen una amplia superficie de contacto con el diafragma y se llaman bases pulmonares. Por el contrario la parte superior se llama vértice o ápex pulmonar.

Desde el punto de vista estructural, la división bronquial arriba mencionada es acompañada por las arterias pulmonares, las venas, los linfáticos, los nervios y también por la irrigación propia del pulmón, que está constituida por las arterias bronquiales. Las venas de drenaje de la sangre bronquial desembocan en la circulación sistémica constituyendo un cortocircuito que se traduce en una suerte de contaminación de la sangre oxigenada por sangre carboxigenada. Los vasos linfáticos son particularmente frecuentes en los pulmones.

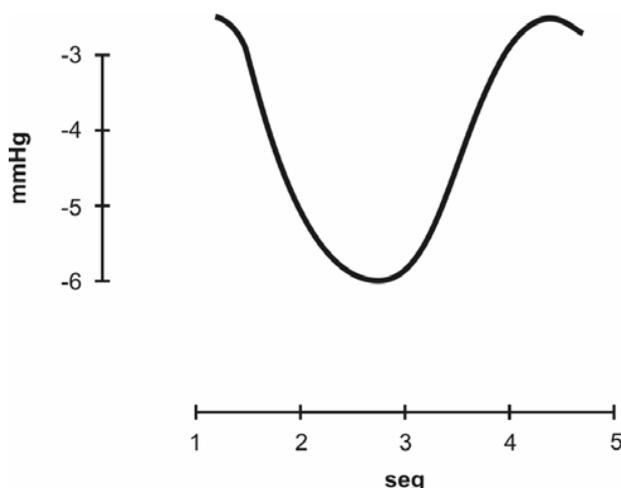
Si bien los pulmones ocupan gran parte de la caja torácica, están separados por el mediastino que se encuentra en el centro del tórax, medialmente y entre otros elementos incluye al corazón, el esófago, la tráquea y ganglios de las cadenas linfáticas.

Función: Mecánica respiratoria. Ventilación pulmonar. Composición de la atmósfera. Frecuencia respiratoria. Volúmenes pulmonares. Alvéolos. Difusión de gases. Hematosis. Presión de oxígeno. Gases en sangre. Dióxido de carbono.

Normalmente el aire inhalado es expulsado por la misma parte por donde ingresó. El aire vehiculizado en una respiración normal entra y sale por la nariz. Los senos paranasales tienen aire en su interior pero el mismo no forma parte del proceso de intercambio gaseoso con la sangre. Los senos paranasales hacen más livianos a los huesos de la cara, constituyen una suerte de caja de resonancia en la fonación y tienen importancia patológica.

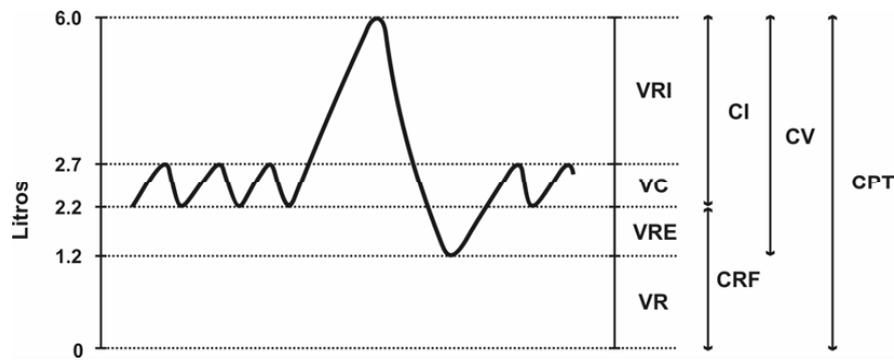
La mecánica respiratoria depende de la actividad muscular, la cual genera que una presión negativa de la cavidad pleural (-2 mmHg), se haga más negativa (-6 mmHg). Ésto determina que los pulmones se expandan durante la inspiración y retornen a la posición inicial durante la espiración, en donde la presión intrapleural retorna a -2 mmHg. La energía necesaria para realizar el trabajo respiratorio es alrededor del 4% de la energía total gastada por el organismo.

La cantidad de veces que se respira por minuto es la llamada frecuencia respiratoria. El humano inspira y expira 12 veces por minuto movilizándose unos 550 ml en cada uno de los movimientos. El diafragma es un verdadero pistón que al contraerse lleva hacia abajo la base pulmonar agrandando el espacio torácico. El aire que ingresa al aparato respiratorio llega a los alvéolos irrigados en donde se produce el intercambio gaseoso. Si hay alvéolos cerrados o no irrigados se habla de espacio muerto fisiológico (no se realiza el intercambio aire-sangre). El espacio muerto anatómico está constituido por la vía respiratoria en la que el aire ingresa pero no llega a los alvéolos y luego es expulsado. Se trata de la faringe, laringe, tráquea y demás divisiones. Cuando se expira, éste es el primer aire en salir. Consecuentemente es el más parecido en su composición al aire atmosférico.



Oscilaciones de la presión intrapleural: La presión a lo largo de una inspiración y espiración siempre está dentro del rango de presiones negativas determinada por la mecánica de los músculos respiratorios.

La cantidad de aire que ingresa y egresa se llama Volumen Corriente. Si se realiza un esfuerzo inspiratorio ingresa más aire y se dice que es el Volumen de Reserva Inspiratorio. En inspiración forzada hay un total de 6 litros de aire en el aparato respiratorio. Si luego de una espiración se hace un esfuerzo y se exhala todo el aire posible, ese aire es el llamado Volumen de Reserva Espiratorio. Hay una cierta cantidad de aire que nunca va a ser exhalada y es el Volumen Residual. Los volúmenes mencionados se pueden combinar y generan las distintas capacidades que se describen en la figura de Mecánica Respiratoria.



Mecánica Respiratoria. VC: Volumen Corriente, VRI: Volumen de Reserva Inspiratorio, VRE: Volumen de Reserva Espiratoria, VR: Volumen Residual. CI: Capacidad Inspiratoria, CRF: Capacidad Residual Funcional, CV: Capacidad Vital, CPT: Capacidad Pulmonar Total.

La presencia de un espacio muerto anatómico tiene significativas consecuencias en la dinámica respiratoria. Para comprender la importancia que tiene el espacio muerto anatómico hay que tener en cuenta dos aspectos: el primero es que a nivel de las paredes de tráquea y bronquios no se produce ningún intercambio gaseoso (hematosis), y el segundo aspecto es que si se imaginara una vía respiratoria de varios metros, el volumen de aire (550 cc) entraría y saldría sin llegar a los alvéolos, dado que su volumen sólo le alcanzaría para llenar las vías aéreas superiores.

La atmósfera que rodea al individuo tiene una conformación particular a nivel del mar. El aire está constituido por un gas llamado nitrógeno (78%) y por oxígeno (21%). El resto son gases raros, llamados así no porque no se los conozca, sino que se encuentran en baja proporción. Entre ellos se encuentra el dióxido de carbono (0.04%). En la atmósfera la presión parcial de oxígeno es de 140 mmHg.

La sangre venosa, que debe ser oxigenada, tiene una presión parcial de oxígeno mucho menor que la atmosférica. En la arteria pulmonar la presión parcial de oxígeno es de 40 mmHg y en las venas pulmonares es de 100 mmHg. Esto significa que los alvéolos van a aumentar significativamente la concentración de oxígeno unido a hemoglobina gracias a que en los mismos su presión parcial es precisamente de 100 mmHg. En tanto en la sangre venosa la presión parcial de anhídrido carbónico es de 46 mmHg y luego de pasar por los pulmones es de 40 mmHg.

La presión parcial de oxígeno atmosférico no es la misma que va a tener el aire en contacto con la barrera aire-sangre. El aire inspirado tiene aproximadamente una presión de 140 mmHg de oxígeno, pero en el alvéolo solo se llega a 100 mmHg. En cambio en el aire inspirado la presión de anhídrido carbónico es de 0.3 mmHg y en el espirado es de 32 mmHg.

En la práctica diaria, la medición de oxígeno en forma no invasiva se puede realizar mediante un oxímetro de pulso que utiliza un principio físico que consiste en la absorción de la luz que se va a correlacionar con la cantidad de oxihemoglobina. Generalmente se coloca en el pabellón auricular.

Desde el punto de vista biofísico, si se correlaciona el volumen corriente (ordenada) con la presión intrapleural (abscisa) se observa que durante la inspiración el recorrido del rulo está a la derecha del camino de retorno. En otras palabras, en un ciclo respiratorio completo (inspiración y espiración) para un valor de volumen determinado, va a tener un valor de presión si se trata de una inspiración y uno menor si se trata de una espiración. Esto está dado por la naturaleza viscoelástica de los tejidos pulmonares en la que no sólo existe elastina sino que hay músculo y otros elementos.

En condiciones fisiológicas, en un individuo parado los alvéolos de la parte superior de los pulmones colapsan a los capilares. En las bases los alvéolos tienen capilares abiertos y en la zona

media se equilibran. Esto se debe al juego de presiones existentes a nivel de la zona alveolo-capilar.

Un aspecto fundamental y que hace que los alvéolos se mantengan abiertos, es lo relacionado a la bioquímica de la pared alveolar. Los alvéolos tienen una tensión superficial que es mínima. Ello se debe a la presencia de una sustancia llamada surfactante. Esta sustancia estaría actuando para evitar un fenómeno que se explica por Ley de Laplace. Cuando dos esferas de paredes elásticas de semejante espesor están en comunicación y tienen el mismo valor de presión intraluminal, la esfera menor tiende a verter en la mayor su contenido. Para contrarrestar este efecto indeseable es que existe la secreción de surfactante.

Control respiratorio. Reflejo de Hering-Breuer. Quimiorreceptores.

Desde el punto de vista mecánico, la respiración se produce por el esfuerzo muscular. El mismo puede ser de tipo consciente o inconsciente, de hecho cuando un humano duerme no es necesaria la voluntad para respirar. Pero en la vigilia se puede contener la respiración o hacerlo más rápidamente a voluntad.

Al igual que en cualquier otra función vital, hay factores que intervienen en la regulación de la respiración. Hay receptores químicos que se llaman quimiorreceptores y pueden ser centrales o del bulbo raquídeo y periféricos o de los cuerpos aórticos y carotídeos. La destrucción de centros respiratorios bulbares produce la pérdida de la respiración espontánea: apnea. En la Protuberancia hay centros que modifican la respiración y también el centro neumotáxico que tiene como función inhibir la respiración. Los centros cerebrales superiores modulan la actividad de los centros inferiores fundamentalmente cuando se come, se ríe, se habla y otras actividades que precisan de la sincronización de la contracción muscular.

A la regulación antes mencionada, hay que sumar los reflejos pulmonares que van a modular la actividad respiratoria. El más conocido es el de Hering-Breuer. Existen receptores de estiramiento en las vías aéreas pulmonares que al excitarse por la inspiración producen una señal que transmitida a los centros de regulación determina una inhibición de la contracción de los músculos respiratorio. Existen otros controles de este tipo.

Los gases relacionados con la respiración también intervienen en la regulación de la misma. Ello está relacionado con los gases: oxígeno, anhídrido carbónico e hidrogeno. Los quimiorreceptores centrales y periféricos son sensibles a las concentraciones de gases. Por otro lado el aumento de anhídrido carbónico (CO₂) incrementa la acidez de la sangre (PH). La reacción que se produce es la siguiente:



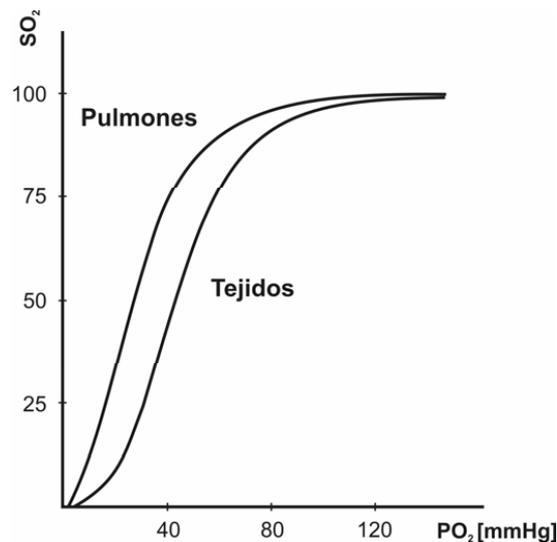
El dióxido de carbono se combina con agua y da ácido carbónico, el cual se disocia en hidrógeno y en ión carbonato en presencia de una enzima que es la anhidraza carbónica, la cual se encuentra dentro del eritrocito. A éste sistema se le puede aplicar la ecuación de Henderson y Hasselbalch:

$$\text{PH} = \text{pK} + \log \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{H}_2\text{CO}_3}$$

La constante pK vale 6.10 y el resto depende de las concentraciones que se encuentren en un individuo determinado. El valor fisiológico del PH es de 7.4 y si baja se habla de acidosis. En cambio cuando sube se habla de alcalosis. Si la causa es la alteración de la respiración se está en presencia de una alcalosis respiratoria o de una acidosis respiratoria. El bicarbonato y el hidrogeno no pueden llegar al sistema nervioso central por lo que el anhídrido carbónico es el único que produce el efecto sobre los quimiorreceptores centrales. El aumento de anhídrido carbónico aumenta la ventilación.

Los quimiorreceptores carotídeos y aórticos tienen una frecuencia de disparo que se incrementa con el aumento del anhídrido carbónico en sangre. Éste es el mecanismo que más rápidamente

actúa en función de las variaciones de las concentraciones gaseosas que rodean al individuo. Curiosamente, el estimulante de la respiración no es el oxígeno, sino el anhídrido carbónico. Cuando el individuo hiperventila, se dice que se “lava” de éste gas y en consecuencia no tiene estímulo respiratorio por parte de los quimiorreceptores.



Curva de Disociación de Hemoglobina. La presión de Oxígeno (PO_2) y las saturaciones de Hemoglobina (SO_2), pueden ser desplazadas hacia la derecha por aumentos de temperatura, anhídrido carbónico y concentraciones de hidrogeniones (acidez).

Transporte de oxígeno en sangre

Una vez que el oxígeno pasa la barrera aire-sangre, o sea que va del alvéolo al capilar, entra en funciones el glóbulo rojo que es una célula muy especializada del tejido que se ha dado en llamar: sangre.

En la sangre hay distintos elementos, siendo los formes o de tipo celular los relacionados con las funciones que mayor complejidad tienen. La sangre se forma en la médula ósea a partir de las células madre totipotenciales. Uno de los elementos que se diferencia es el precursor de linfocitos que termina en linfocitos B y T. Por otro lado hay una serie que va a dar origen a eritrocitos (glóbulos rojos), el megacariocito del cual se forman las plaquetas, y células polimorfonucleares (neutrófilos, eosinófilos o basófilos).

En promedio, los glóbulos rojos viven unos 120 días. Tienen un tamaño de 7.5 micras de diámetro y dos de espesor. Su ruptura se llama hemólisis. Hay en su interior un pigmento rojo llamado hemoglobina. Esta proteína tiene cuatro subunidades, cada una de ellas tiene una molécula Hem que se une a un polipéptido Globina. La hemoglobina tiene afinidad por el oxígeno. La curva de disociación de hemoglobina-oxígeno se construye colocando en la abscisa la presión de oxígeno y en la ordenada la saturación. Tiene una forma sigmoidea característica. A presiones de 100 mmHg está casi totalmente saturada. Y obviamente esto ocurre en los pulmones ya que en los otros tejidos lo que hace es perder ese oxígeno.

Está demostrado que la forma bicóncava de los eritrocitos es la arquitectura que mejor se adapta a la función de transporte de oxígeno, tanto por la cantidad como por el tiempo que le insume al glóbulo rojo saturar su hemoglobina en pulmones y desaturarla en tejidos periféricos.

El anhídrido carbónico es 20 veces más soluble en sangre que el oxígeno y se transporta en forma de ácido carbónico en el eritrocito y de bicarbonato en el plasma.

Fisiología respiratoria de la aviación y el buceo. Fonación.

Las descripciones antes realizadas se realizaron con gases que se encuentran a nivel del mar. Con

el aumento de la altura la presión de oxígeno disminuye por lo que a 10.000 pies de altura es preciso usar mascarilla con el gas vital. Son comunes los casos de euforia cuando no funciona bien el suministro de oxígeno. Es de destacar que el fenómeno ocurre independientemente que se ascienda una montaña o se haga en un vehículo aéreo. A los 10.000 pies la presión parcial de oxígeno en el aire es de 66 mmHg. Si se observa la curva de saturación de hemoglobina, es obvio que al ser la concentración alveolar aún menor, resulta insuficiente para lograr niveles fisiológicos de saturación de hemoglobina.

En el caso opuesto, a grandes profundidades, hay que recordar el problema del espacio muerto anatómico. Por ello en el suministro de aire a buzos con trajes especiales es importante tener en cuenta el espacio muerto ya que el aire si no es bombeado y las exhalaciones se hacen por el mismo tubo de suministro, generan volúmenes parásitos y no se cumple el objetivo. Toda conexión entre el traje del buzo y el exterior constituye un aumento del espacio muerto anatómico. Por ello, aunque el buzo tenga asegurada una conexión con el exterior, si se encontrara a 30 metros de profundidad nunca podría respirar en forma eficiente. Sus movimientos respiratorios nunca podrían producir un recambio de aire a nivel pulmonar. Solo lo haría a nivel inicial de la conexión con la superficie.

Los volúmenes y flujos de aire constituyen un factor importante en la emisión de sonidos al igual que los distintos lugares por donde pasa. La complejidad de la fonación involucra no solo músculos laríngeos sino la utilización de la compleja inervación bucal, faríngea y laríngea. Todo ello controlado por centros nerviosos de la fonación en la corteza cerebral que deben actuar en consonancia con los centros respiratorios cerebrales. Hay que destacar que los sonidos con identidad definida surgen de las cuerdas vocales. A ello se suma la modulación que tiene lugar en la cavidad bucal.

Alteraciones: disfunción respiratoria. Insuficiencia respiratoria. Cáncer de pulmón. Derrame pleural. Neumotórax. Edema de Glotis. Edema Agudo de Pulmón. Obstrucciones bronquiales. Neumonitis. Infecciones del tracto respiratorio. Cuerpos extraños. Intoxicaciones. Monóxido de carbono. Anoxia. Hipoxia. Hipercapnia. Paro respiratorio. Tuberculosis.

Se define a la insuficiencia respiratoria como la incapacidad del aparato respiratorio para efectuar su función. Se habla de apnea cuando no hay respiración. La hipoxia es la poca existencia de oxígeno y la anoxia es su inexistencia. Cianosis es la coloración azul de las mucosas como consecuencia de la baja saturación de oxígeno de la sangre.

El ahogamiento es la consecuencia del ingreso de agua a los pulmones que en ocasiones genera un bronco espasmo. Éste bronco espasmo es responsable de la asfixia. La asfixia es la consecuencia de la oclusión de la vía respiratoria.

Un caso de asfixia poco frecuente ocurre con las oclusiones de vías respiratorias altas. Existen factores que pueden producir la inflamación de la glotis, que es el espacio que se encuentra entre las cuerdas vocales inferiores, es el edema de glotis. Las obstrucciones bronquiales se pueden producir por distintas causas, ya sea por compresión externa (una aneurisma vascular por ejemplo) o por cuerpos extraños en su interior.

En condiciones patológicas, la retención de anhídrido carbónico se llama hipercapnia y su falta es la hipocapnia.

En forma semejante a otros sitios del organismo, las neoplasias afectan a los pulmones y se producen en los distintos tipos de células que se encuentran en ellos. La malignidad de los tumores pulmonares es tal que el pronóstico es malo a pesar de los tratamientos quimioterápicos, quirúrgicos y de prevención.

Cuando hay aire en la cavidad pleural se dice que hay un neumotórax y cuando se trata de líquido se dice que existe un derrame pleural. El líquido puede ser de tipo inflamatorio, de exudado o sangre.

En la insuficiencia cardíaca aguda se afectan los pulmones. El edema agudo de pulmón es de causa cardíaca habitualmente y se produce por aumento de la presión en aurícula izquierda. Ello hace que los capilares lleven plasma a los alvéolos produciendo consecuencias nefastas tanto en la oxigenación como en la función cardíaca.

La inhalación de gases tóxicos es causa de alteraciones leves y también graves. Una de las intoxicaciones más frecuentes se debe a la inspiración de monóxido de carbono. Se forma por la combustión de carbón y es tóxico. Es muy afín a la hemoglobina y desplaza al oxígeno.

Si bien existe un control fisiológico de la actividad respiratoria a nivel nervioso, puede haber alteraciones en su regulación. Lamentablemente los paros respiratorios son frecuentes en los niños de corta edad, más precisamente en los lactantes. La apnea de los neonatos es de estudio constante.

Las inflamaciones en el aparato respiratorio son muy comunes, dada la exposición a los factores externos que tiene. La neumonitis es un proceso inflamatorio de los pulmones al igual que bronquitis, traqueitis, laringitis, faringitis y rinitis. Estos cuadros clínicos pueden obedecer a factores alérgicos o infecciosos.

Las infecciones respiratorias son muy comunes y algunas de ellas son estacionales. Una enfermedad curable es la tuberculosis cuyo agente etiológico es el bacilo de Koch. Esta enfermedad, de tipo social, estuvo a punto de ser erradicada luego que le diera nombre a una especialidad médica: la tisiología. Los pacientes sufren de infiltrados inflamatorios y cavernas tuberculosas. Para que se desencadene la enfermedad, es importante que tenga un campo predispuesto, de lo contrario el bacilo no puede actuar. Hace más de 100 años que se encontró el agente responsable, hace medio siglo que se tienen los fármacos adecuados, no obstante en la actualidad va en aumento el número de casos. Este es un ejemplo no raro en la medicina, en donde la tecnología juega un rol importante pero no decisivo.

A continuación se reproduce una clasificación de neumopatías que ilustra la variedad de alteraciones que sufre éste órgano vital.

I-Insuficiencia respiratoria aguda: Causas

1. Insuficiencia pulmonar (insuficiencia hipoxémica)

- *Síndrome de distress respiratorio o pulmón húmedo.*
- *Edema pulmonar de causa cardíaca.*
- *Fibrosis pulmonar en estado terminal.*
- *Tromboembolismo pulmonar masivo.*

2. Insuficiencia del fuelle respiratorio (insuficiencia hipercápnica)

• **Enfermedad Obstructiva de las vías aéreas**

- *Enfermedad Pulmonar obstructiva crónica.*
- *Asma bronquial.*
- *Bronquiectasias.*
- *Obstrucción de la vía aérea central.*

• **Enfermedad Neuromuscular**

- *Poliomielitis.*
- *Sobredosis de Drogas.*
- *Envenenamiento por organofosforados.*
- *Síndrome de Guillain Barré.*

- *Miastenia Gravis.*
- *Botulismo.*
- *Miopatías congénitas y adquiridas.*

- **Enfermedades del fuelle Torácico**

- *Cifoescoliosis.*
- *Fibrotórax bilateral.*
- *Traumatismo de Tórax.*

Diagnóstico: radiografía, broncoscopia, lavado bronquial, biopsia. Estudio funcional respiratorio.

Los métodos diagnósticos distintivos de la neumonología son: Gasometría arterial, Oximetría de Pulso, Capnografía, Cálculo de la diferencia Alveolo arterial de Oxígeno (A-a), Cálculo del Cociente arterioalveolar de Oxígeno (PaO₂/PAO₂).

Los estudios específicos no invalidan otros métodos de diagnóstico tradicionales como la auscultación con estetoscopio o la simple. Esta última se realiza poniendo el oído contra el tórax. La percusión torácica permite al médico escuchar los sonidos timpánicos y de tonalidad mate que corresponden a cámaras aéreas y a lugares compactos, respectivamente. Las vibraciones de la voz humana percibidas por la mano cumplen el mismo objetivo.

Los estudios radiológicos tienen una gran aplicación en la neumonología. Las zonas radio-opacas o con más densidad radiológica permiten individualizar nódulos, tumores, derrames y otras patologías.

El estudio de la dinámica gases también tiene su utilización diagnóstica. La espirometría genera, en forma no invasiva, un estudio de la función respiratoria que se va a mostrar alterada en distintas patologías como por ejemplo fibrosis y enfisemas (en fumadores, por ejemplo). Básicamente la técnica consiste en registrar los volúmenes de aire que el paciente inhala y exhala en un circuito cerrado bajo indicaciones médicas. El resultado gráfico se llama espirograma.

Los estudios invasivos, tales como las broncoscopias y laringoscopias son muy útiles en todas sus formas así como la extracción de material de lavado bronquial o muestras para biopsia.

Terapéutica: ejercicios respiratorios, respiración artificial. Traqueotomía. Neumonectomía.

Desde las antiguas aspiraciones de vapores hasta la moderna farmacología pulmonar, siempre hubo un interés en el aprovechamiento de la vía aérea para la administración de medicamentos. Es el caso de las nebulizaciones, que vehiculizan los conocidos broncodilatadores. A lo anterior se suman fármacos que se utilizan en otras partes del cuerpo tales como antiinflamatorios y antibióticos.

En el restablecimiento de la mecánica respiratoria es importante la kinesiología. Sobre todo en la re-educación de pacientes que por distintas causas han perdido parte de la función respiratoria.

En algunos casos la incapacidad del paciente es tal, que es necesario acortar la vía respiratoria, ya sea para poner una cánula o para acortar el espacio muerto: es la traqueotomía. La misma consiste en abocar la vía respiratoria a nivel de la tráquea.

Cuando se trata de pacientes oncológicos, la neumonectomía (extracción de un pulmón por medios quirúrgicos), es una opción. La lobectomía es semejante pero se refiere a un lóbulo pulmonar.

La ingeniería biomédica trabaja mucho en la generación de la respiración artificial. Los trasplantes renales son comunes, los de corazón ya no constituyen una novedad y los hepáticos ya tienen mucho campo ganado. En cambio los trasplantes pulmonares no son frecuentes. La respiración artificial es un área del conocimiento apasionante y desde el siglo XIX los

desarrollos constituyen una constante siempre en avance sostenido. Los primeros respiradores tenían un fuelle, indistinguible de los de una fragua de herrero y una cánula más o menos elaborada.

En la actualidad la insuficiencia respiratoria aguda grave puede ser controlada con la asistencia respiratoria mecánica. Hay que destacar que asistencia respiratoria mecánica no es una terapia inocua, por lo que se debe indicar en cuadros precisos en los que el beneficio supera los perjuicios de no utilizarla.

A continuación se detallan procedimientos y modalidades que ilustran la importancia que adquieren en el tratamiento de las neumatías:

-Objetivos De La Ventilación Mecánica

• Objetivos Fisiológicos

- *Mantener la ventilación alveolar.*
- *Mantener la Oxigenación arterial.*
- *Mantener el Volumen Pulmonar.*
- *Reducir el trabajo de los músculos respiratorios.*

• Objetivos Clínicos

- *Revertir la Hipoxemia.*
- *Revertir la Acidosis.*
- *Aliviar el esfuerzo Respiratorio.*
- *Prevenir o revertir atelectasias.*
- *Revertir la fatiga de los músculos respiratorios.*
- *Permitir la Sedación y Curarización.*
- *Descender el consumo de Oxígeno sistémico o miocárdico.*
- *Reducir la presión intracraneal.*
- *Estabilizar la pared torácica.*

Criterios de Intubación y Ventilación Mecánica

Frecuencia respiratoria mayor de 35 respiraciones por minuto.

Capacidad vital menor de 15 ml/Kg.

Fuerza inspiratoria negativa menor de 25 cm de agua.

Pa O₂ con aporte de Oxígeno menor de 60 mmHg.

Pa CO₂ mayor de 55 mmHg.

Modalidades de Ventilación Mecánica

Asistida – Controlada.

Ventilación mandatoria intermitente sincronizada.

Presión positiva continua en la vía aérea.

Ventilación con presión de soporte.

Ventilación con presión positiva continua.

Ventilación volumen controlado.

Ventilación Presión controlada.

Ventilación de alta frecuencia.

Ventilación con coraza.

Oxigenación extracorpórea ECMO.

Complicaciones de la Ventilación Mecánica

1. Asociadas a la vía aérea artificial

- **De la intubación**

- *Imposibilidad de intubar.*
- *Intubación esofágica.*
- *Broncoaspiración.*
- *Lesión de Dentaria, Boca, Glotis, Faringe o Esófago.*
- *Lesión Medular en traumatizados.*
- *Hemorragia.*
- *Falsa Vía.*
- *Neumotórax.*
- *Lesión del Nervio Recurrente.*
- *Edema pulmonar.*
- *Hipoxemia.*
- *Arritmias.*
- *Paro cardiaco.*

- **De la extubación**

- *Incapacidad Tusígena.*
- *Edema o espasmo glótico.*
- *Broncoaspiración por incompetencia laríngea.*
- *Parálisis de Cuerdas Vocales – Estridor - Ronquera.*
- *Traqueomalacia.*
- *Granuloma Laríngeo, Tráqueal o peritraqueostomía.*

- **Tardías**

- *Estenosis Tráqueal.*
- *Absceso cricoideo.*
- *Parálisis vocal cicatrizal – Bridas.*

- **Alteraciones de la Vía Aérea artificial**

- *Obstrucción, acodamiento del tubo endotráqueal*
- *Sangrado.*
- *Infeción peritraqueostomía.*
- *Mediastinitis.*
- *Fístulas aerodigestivas, aerovasculares.*
- *Aspiración gástrica, colonización bacteriana.*

2. Del uso del Ventilador Mecánico

- *Fallas del respirador y problemas del circuito.*
- *Alcalosis o acidosis respiratoria aguda.*
- *Caída de la perfusión cerebral.*
- *Distensión abdominal y hemorragia digestiva.*
- *Caída del volumen minuto.*
- *Disfunción hepática por hipoperfusión.*
- *Insuficiencia renal Retención de Agua y Sodio.*
- *Esfuerzo inspiratorio exagerado – Asincronía.*
- *Barotrauma.*
- *Lesión alveolar con edema pulmonar.*
- *Toxicidad por Oxígeno.*
- *Atelectasia.*

- *Neumonía Nosocomial.*
- *Sepsis.*
- 3. Trastornos psicológicos.
- 4. Tromboembolismo de Pulmón.
- 5. Fibrosis pos Síndrome del Distress Respiratorio.
- 6. Desnutrición.

En la bibliografía recomendada el ingeniero podrá encontrar más información si el caso fuera que tuviera que profundizar sus conocimientos más allá de lo previsto en este libro.

BIBLIOGRAFÍA

Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. Second Edition, Volume I. CRC Press, Printed in the USA; 2000.

Brunton LL, Izzo JS, Parker KL. Las bases farmacológicas de la Terapéutica. Undécima Edición Mc Graw Hill. Colombia; 2006.

Cabrera Fischer EI. Bases de la Fisiología Humana normal y alterada: un enfoque para ingenieros clínicos. Editado por la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Segunda Edición, Argentina; 2007.

Cingolani HE, Houssay AB. Fisiología Humana de Houssay. El Ateneo, Buenos Aires, Argentina; 2000.

Cotes JE, Chinn DJ, Miller MR. Lung Function. Physiology, Measurement and Application in Medicine. Blackwell Publishing, Massachusetts, USA; 2006.

Del Río Miguel. Función cardiopulmonar y sus aspectos clínicos y terapéuticos. Editorial Intermédica S.A.I.C.I., Buenos Aires, Argentina; 2009.

Dvorkin M, Cardinali D. Bases fisiológicas de la práctica médica. 13^{ava} edición Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina; 2003.

Fishman AP, Elias JA, Fishman JA, Grippi MA, Señor RM, Pack AL. Fishman's Pulmonary Diseases and Disorders. McGraw-Hill eBooks, NY, USA; 2008.

Ganong WF. Fisiología Humana. Manual Moderno 17^{ava} edición. México DF; 2000.

Guyton A, Hall J. Fisiología Médica, Elsevier, Barcelona, España; 2011.

Hansen JT, Koeppen BM. Atlas de Fisiología Humana de Netter. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2003.

Johnson LR. Essential Medical Physiology. Elsevier Academic Press, Tercera Edición, New York, USA; 2003.

Kapit W, Macey RI, Meisami. The Physiology. Second Edition, New York, USA; 2000.

Netter FH. Atlas de Anatomía Humana. Tercera Edición. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2004.

Raven PH, Johnson GB. Biology. Mc Graw Hill, Sexta Edición, USA; 2001.

West JB. Fisiología Respiratoria. Sexta Edición. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina; 2002.

CAPÍTULO V

APARATO DIGESTIVO

Estructura: Tubo digestivo, encrucijada faríngea, esófago, estómago, duodeno, yeyuno-íleon, intestino grueso y recto. Peritoneo. Duodeno-páncreas, hígado. Abdomen y peritoneo. Pared abdominal, diafragma y trayecto inguinal.

Función: Masticación, deglución, digestión. Secreción, enzimas, digestión y absorción. Mucosa del tracto digestivo. Quilíferos. Aporte energético y soporte vitamínico.

Alteraciones: Disfagia, patología gastroduodenal, cirrosis hepática, íleo paralítico, abdomen agudo. Hernias y eventraciones. Perforación de víscera hueca.

Diagnóstico: seriada gastroduodenal, ecografía abdominal, fibroscopía, laparoscopia.

Terapéutica: Higiene, dieta, tratamiento farmacológico. Cirugía. Apendicectomía. Cirugía laparoscópica.¹

La alimentación tiene el doble propósito de mantener las reservas de energía del cuerpo humano y de proveer de los elementos estructurales que no pueden ser sintetizados por los tejidos. Se sabe que la alimentación está íntimamente ligada a la salud desde que en tiempos modernos, de la Metrie en “L’Homme Machine”, estableció que “el hombre es lo que come”.

El tubo digestivo se encuentra localizado en su mayor parte en el abdomen. La cavidad abdominal se encuentra limitada en su parte superior por el diafragma, dorsalmente por la columna lumbar y los músculos lumbares. Por la parte lateral y ventral hay músculos y aponeurosis. Los músculos más importantes que forman una verdadera cincha son: el transversos, los dos oblicuos y el recto anterior mayor. En la parte inferior la pelvis y el periné limitan la cavidad abdominal. En la parte inferior, el abdomen limita con los miembros inferiores en una zona llamada inguinal en donde es importante recordar el trayecto inguinal. Anatómicamente existen elementos como la cintilla ileopubiana que marcan límites con el muslo.

Estructura: Tubo digestivo, encrucijada faríngea, esófago, estómago, duodeno, yeyuno-íleon, intestino grueso y recto. Peritoneo. Duodeno-páncreas, hígado. Abdomen y peritoneo. Pared abdominal, diafragma y trayecto inguinal.

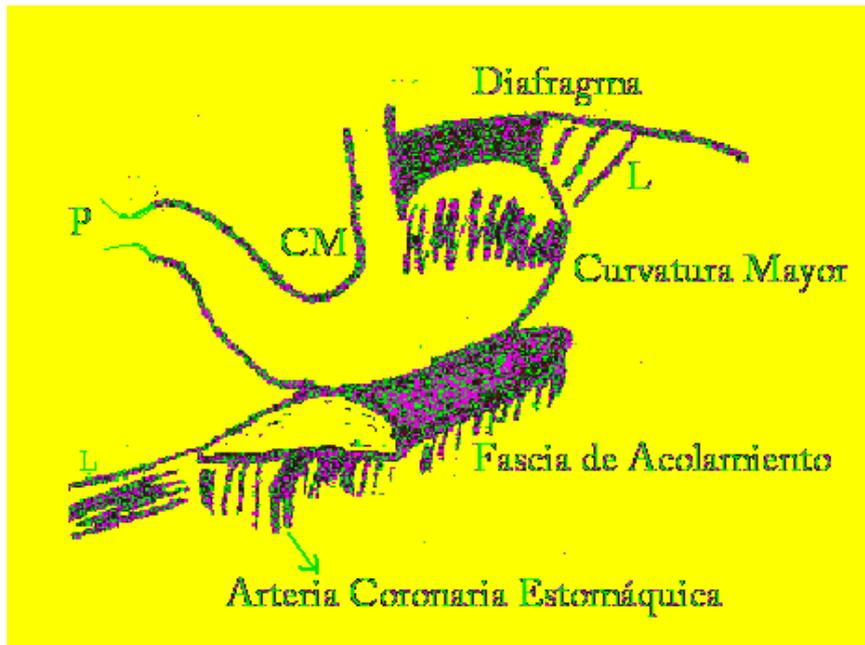
Tradicionalmente el aparato digestivo es descripto como un tubo. Para una mejor comprensión de la anatomía y fisiología del tubo digestivo hay que imaginar que desde la boca hasta el ano es un conducto que a lo largo de su trayecto presenta diferenciaciones tales como estrechamientos y dilataciones. A lo largo de su trayecto las paredes del tubo digestivo se asemejan a sectores vecinos pero hay separaciones fisiológicas entre estos últimos. Así, en el interior hay una mucosa, a la que le sigue una submucosa que posee un músculo dispuesto longitudinalmente y siempre hacia la periferia del tubo está el plexo nervioso submucoso de Meissner. Rodeando lo anteriormente descripto se encuentra una capa de músculo circular que a su vez es abrazada por un plexo mientérico de Auerbach. Por fuera de lo anterior se encuentra otra capa de músculo longitudinal que esta cubierta por una serosa: el peritoneo. Por el peritoneo transcurren nervios y vasos.

La vía digestiva en el hombre comienza en la cavidad bucal, continúa en la faringe en donde se entrecruza con la vía aérea en lo que se ha dado en llamar encrucijada faríngea. Luego de la faringe, el tubo digestivo se continúa con el esófago que a través del cardias desemboca en el estómago. El estómago es un ensanchamiento del tubo digestivo, y tiene una curvatura mayor convexa hacia la izquierda y una curvatura menor cóncava hacia la derecha. La vía digestiva se

¹ Este capítulo fue corregido en su totalidad por Biólogos que son autores de textos de la especialidad y referentes académicos.

estrecha a nivel del píloro. El píloro es un esfínter muscular que se palpa mejor de lo que se lo ve y que marca el comienzo del duodeno que con sus cuatro porciones abraza a la cabeza del páncreas.

El duodeno es la primera parte del intestino delgado y al resto se lo denomina yeyuno-íleon. A lo largo de su trayecto, el yeyuno-íleon o intestino delgado es cubierto por peritoneo, al igual que la gran mayoría de los órganos intraabdominales. El intestino delgado desemboca en el intestino grueso o Colon. Existe un Colon ascendente, uno transverso, uno descendente y uno sigmoideo. El Colon ascendente, transverso y descendente conforman el “marco colónico”. El Colon sigmoideo, denominado así por su semejanza a la letra griega “sigma”, desemboca en la ampolla rectal o Recto que tiene tres válvulas insuficientes y esta separada del exterior por el orificio anal.



Vía digestiva. El esófago desemboca en el estómago, que se encuentra debajo del diafragma y por encima del Colon. Tanto la fascia de acolamiento como los ligamentos (L), sirven para fijar los órganos en su sitio. Luego de la Curvatura Menor (CM) el estómago se conecta al Yeyunoileon a través del Píloro (P).

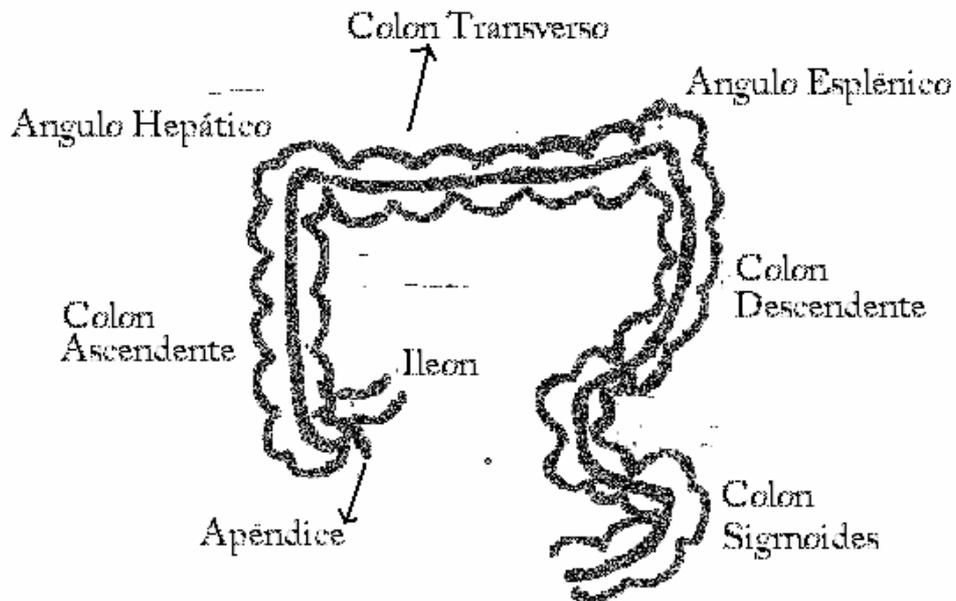
La ampolla rectal tiene una particular anatomía asociada a su función. Así las distintas formaciones que se encuentran en su interior se disponen a distancias perfectamente determinadas de la separación ano-dérmica.

La parte final del tubo digestivo, la región anal tiene asociados músculos y diferenciaciones que permiten la transición entre mucosa y piel. El esfínter anal en realidad es doble y se complementa con el músculo elevador del ano. Hay un esfínter estriado, dependiente de la voluntad, y otro que depende del sistema nervioso autónomo. Éste último está constituido por músculo liso.

Al tubo digestivo se anexan órganos tales como el hígado, el páncreas y las glándulas salivales, ellos van a verter a líquidos de distintas características a la luz con el objeto de actuar sobre los alimentos ingeridos. El páncreas es una glándula de secreción endocrina y exocrina. La secreción endocrina se produce por las células beta de los islotes de Langerhans y es la conocida insulina que es la responsable del ingreso de la glucosa a las células entre otras funciones. La parte exócrina del páncreas, que contiene enzimas digestivas, es volcada a dos conductos: Wirsung y Santorini lo cuales van a terminar al Duodeno.

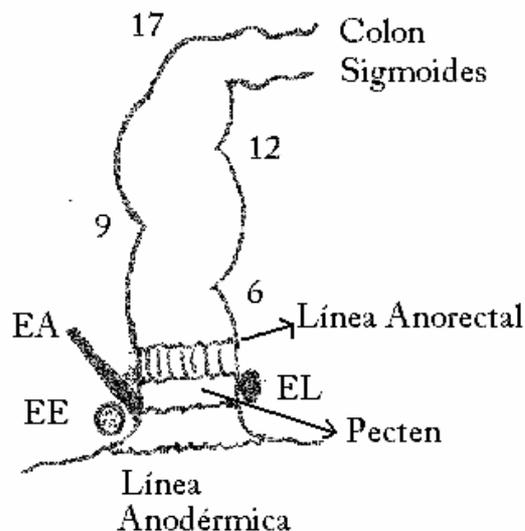
El Hígado se encuentra en la parte superior derecha del abdomen y tiene forma triangular de color rojo vinoso. Presenta una segmentación que tiene importancia quirúrgica. Sus secreciones

(bilis) salen por los conductos hepáticos y van a almacenarse en la vesícula biliar para luego ir al duodeno a través del conducto colédoco. Se trata de una secreción exocrina, o sea que es vertida en túbulos o espacios. También existen elementos hepáticos que son volcados a la sangre.



Vía digestiva. El Colon cuya función primordial es la absorción recibe material del Ileon a través de la Válvula Ileocecal (V). Su comienzo es el Ciego, de donde nace el Apéndice Vermiforme que tiene funciones inmunitarias.

El sostén de los elementos que constituyen el tubo digestivo y sus anexos corre por cuenta del peritoneo. Esto es semejante a lo que ocurre en otras partes de la anatomía. Los órganos abdominales se encuentran rodeados de una serosa (semejante a pleura y pericardio). El peritoneo envuelve a casi todos los órganos abdominales pero el riñón y las glándulas suprarrenales quedan en posición retroperitoneal. O sea que están detrás de la vía digestiva o dorsales, pegados a la pared posterior.

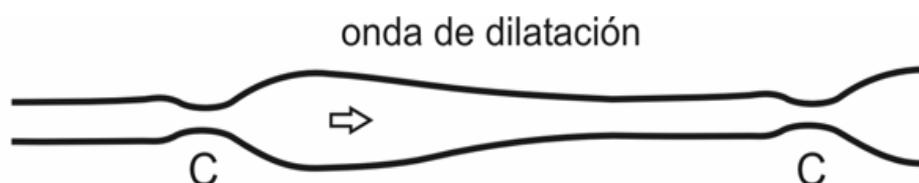


Vía digestiva terminal. El Colon sigmoides desemboca en el Recto. Las estrías verticales esquematizan las glándulas de Morgagni. El Pecten se encuentra entre la línea Pectínea y la línea blanca. EA: músculo Elevador del Ano, EE: Esfínter Estriado, EL: Esfínter Liso. Los números hacen referencia a las distancias respecto de la línea ano dérmica.

El abdomen tiene presión positiva en su interior, a diferencia del tórax, por lo que es más proclive a hernias y eventraciones. En cambio el tórax tiene presión negativa en su interior por lo que cualquier solución de continuidad genera entrada de elementos (aire).

Función: Masticación, deglución, digestión. Secreción, enzimas, digestión y absorción. Mucosa del tracto digestivo. Quilíferos. Aporte energético y soporte vitamínico.

La masticación completa la trituración de los alimentos que para ser digeridos precisan ser transformados en partículas de pequeño tamaño. El reflejo de la deglución hace que lo que se masticó en forma consciente ingrese al tubo digestivo para que transcurra hasta el recto. La progresión de los alimentos, líquidos y secreciones se realiza a una velocidad de 2 a 25 cm. por segundo gracias al peristaltismo. En total el tránsito digestivo de un alimento que ingresa y los restos del mismo que se eliminan, dura 8 a 9 horas.



Peristaltismo. La onda peristáltica va precedida por una onda de dilatación a la que le sigue una de constricción (C). Obsérvese que el diámetro a la derecha de C es mayor que el que le precede.

El peristaltismo es la actividad mecánica por la cual las contracciones musculares lisas hacen que se produzca un verdadero escurrimiento que arrastra el contenido del tubo digestivo desde el esófago hasta el recto. El mecanismo nervioso por el que se produce el peristaltismo involucra una actividad nerviosa autónoma muy sincronizada que determinan estímulos electroquímicos que reclutan células musculares lisas que van a actuar contrayéndose y dilatándose.

El tubo digestivo tiene innervación simpática y parasimpática, la primera es depresora del peristaltismo y la segunda es estimuladora. La actividad parasimpática se llama vagal, ya que es suministrada por las fibras del nervio vago (décimo par o cardio-neumo-gastro-entérico).

Además de la acción nerviosa el tubo digestivo sufre también la actividad hormonal. La Gastrina es secretada por la mucosa gástrica y su efecto es estimular la secreción gástrica de ácidos y de pepsina. La liberación de gastrina es estimulada por la existencia de péptidos en la luz entérica y es inhibida por la acidez del contenido luminal, entre otros.

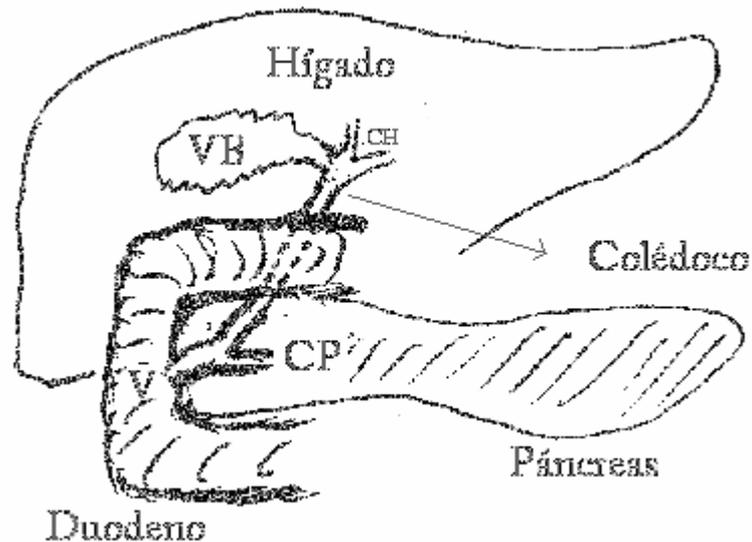
La colecistocinina es una hormona que produce motilidad de la vesícula biliar y es secretada por células del yeyuno-íleon. Existen otros reguladores como la secretina, el GIP (polipéptido inhibidor gástrico), el VIP (péptido intestinal vaso activo), motilina, sustancia P, y otros.

El estómago se encuentra entre el esófago y el duodeno y es básicamente una dilatación del tubo digestivo. En su interior se vuelcan diariamente 2.5 litros de secreciones que ayudan a digerir los alimentos. El jugo gástrico contiene ácido clorhídrico, mucinas y pepsina fundamentalmente. La motilidad gástrica es importante tanto para el mezclado como para la molienda de los alimentos. El vaciamiento gástrico se produce por el barrimiento peristáltico. La secreción y motilidad gástrica es influenciada por mediadores y por la actividad psíquica.

Una importante función del estómago es la secreción del factor intrínseco que permite la absorción de la cianocobalamina o vitamina B12 cuya ausencia produce anemia megaloblástica (se trata de un factor de maduración de las células sanguíneas rojas).

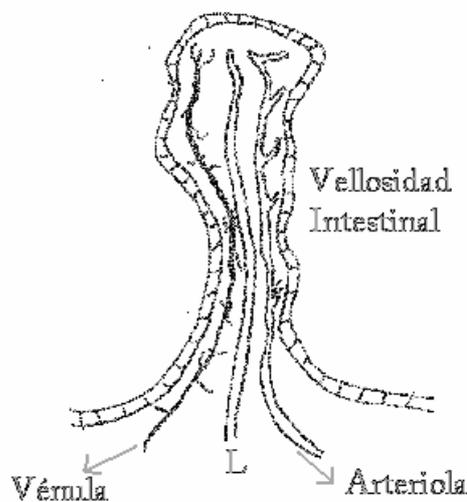
El páncreas tiene una función exocrina que consiste en formar tripsinógeno que se convierte en tripsina, una enzima que ataca las proteínas. Así como el PH del estómago es ácido, el del duodeno es neutro o alcalino. El tripsinógeno se produce en las células acinosas del páncreas.

El hígado es la mayor glándula del cuerpo y tiene la particularidad de tener una alta capacidad regenerativa, a pesar de ser tejido especializado. La bilis es uno de sus productos que llega a la vesícula biliar por los conductos hepáticos atravesando el conducto cístico. La bilis se vuelca al duodeno por el colédoco a través del esfínter de Oddi. La mayor parte de la bilis es reabsorbida en el intestino delgado. La principal acción de la bilis es transformar los lípidos ingeridos en pequeñas gotas, llamadas micelas. Las mismas se mantienen en solución por lo que pueden ser absorbidos por la mucosa intestinal.



Secreciones digestivas. El Duodeno recibe a través de la ampolla de Vater (V) al Conducto Pancreático (CP) y al Colédoco. La bilis llega por los Conductos Hepáticos (CH) a la Vesícula Biliar (VB) para posteriormente verterse en el Colédoco.

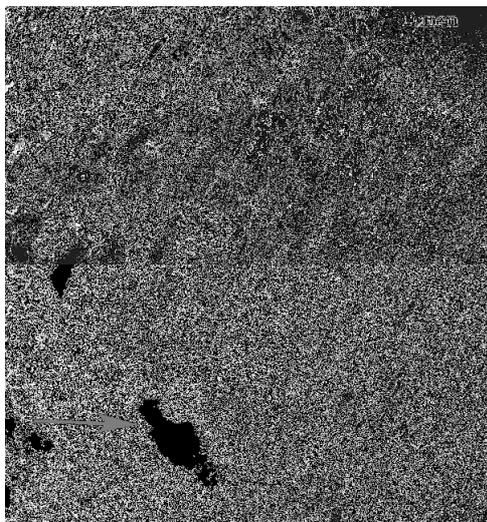
Hay un pigmento llamado bilirrubina que procede del metabolismo de la hemoglobina. En el hígado una parte se une al ácido glucurónico y forma la bilirrubina conjugada que se vierte al intestino por la bilis. La acumulación de bilirrubina en el organismo genera el color amarillo característico de la ictericia (una de las causas es la hepatitis).



Vellosidad Intestinal. Siendo la absorción una función primordial, las vellosidades cuentan con linfáticos centrales (L), arterias que llegan y vénulas que van a conformar el Sistema Porta.

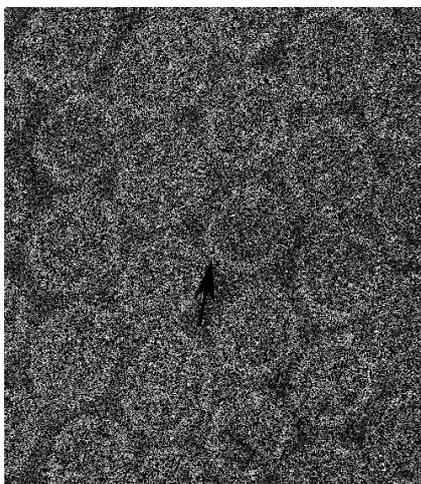
Una vez que el alimento sólido es masticado, conducido al estómago, mezclado con fermentos, acidificado, va a ser volcado al intestino delgado en donde se absorben los componentes moleculares simples de los alimentos, es decir que pasan desde la cavidad del órgano hacia la sangre, la cual los distribuye hacia la totalidad del organismo. La digestión que comienza en la boca se completa en el intestino delgado.

La mucosa intestinal tiene glándulas tubulares, las Criptas de Lieberkühn. Además en el duodeno están las glándulas acinosas de Brunner y en el yeyuno las enterocromafines que generan serotonina. Las vellosidades son la constante en todo el intestino delgado. Las mismas no solo tienen capilares sino que poseen vasos quilíferos. Las células de las vellosidades tienen numerosas enzimas involucradas en el proceso digestivo. La superficie de las vellosidades y microvellosidades es de 2.000.000 de centímetros cuadrados. Hay mucho desprendimiento de células hacia la luz intestinal. Toda la mucosa esta cubierta por un moco secretado por el epitelio intestinal.



Célula real vista con microscopía electrónica. La flecha señala el límite de la célula epitelial de intestino delgado desde donde parten las vellosidades (V) hacia el lumen intestinal. Gentileza de la Lic. Patricia Meckert.

El contenido intestinal a nivel de yeyuno íleon se llama quimo y es impulsado por el peristaltismo hacia el intestino grueso. Existe a este nivel secreción de bicarbonato hacia la luz en forma de ión. Las grasas por su tamaño ingresan a los linfáticos quilíferos tal es el caso de los esteroides.



Célula real vista con microscopía electrónica. La flecha señala una de las muchas vellosidades cortadas en forma transversal a nivel de una célula epitelial de intestino delgado. Gentileza de la Lic. Patricia Meckert.

El intestino grueso o Colon tiene por función principal la absorción de agua, sodio y minerales. Generalmente recibe dos litros diarios y excreta 200 ml Mide aproximadamente un metro y tiene tres cintillas longitudinales.

Existe un resabio embriológico, el apéndice que es causa de intervenciones quirúrgicas. Su relación con el intestino delgado esta marcado por la válvula ileocecal. El bolo alimenticio tarda de 8 a 9 horas en llegar de la boca al colon. Esta zona tiene bacterias, siendo la Escherichia coli la mas conocida. También hay Enterobacter Aerogenes. Sus efectos pueden ser benéficos y no benéficos. Algunos de ellos producen vitamina K.

El colon sigmoideo habitualmente es el reservorio de la materia fecal y cuando ésta pasa al recto genera las contracciones reflejas y el deseo de defecar. El esfínter anal externo es de músculo estriado y esta inervado por los nervios pudendos. La contracción abdominal voluntaria, en presencia de un esfínter liso relajado, ayuda a las contracciones involuntarias del recto y genera la defecación si se produce la relajación voluntaria del esfínter estriado.

Alteraciones: Disfagia, patología gastroduodenal, cirrosis hepática, íleo paralítico, abdomen agudo. Hernias y eventraciones. Perforación de víscera hueca.

La disfagia es un trastorno de la deglución y tiene varias causas que van desde un foco infeccioso inflamatorio hasta una neoformación. La acalasia es un trastorno del esófago que determina una dilatación del órgano. La aerofagia es la deglución de aire.

La sangre de tubo digestivo y del bazo ingresa al sistema de la vena porta. Un sistema porta comienza en capilares, los que forman venulas, las que al unirse generan venas y luego se conforma un tronco venoso único, el cual va a dividirse en venas, de las que salen venulas que terminan en capilares. Latarjet dice que un sistema porta está entre dos redes capilares opuestas. En el aparato digestivo hay un sistema porta originado por la unión de la vena Mesentérica superior, la vena Esplénica y la vena Mesentérica Inferior. El tronco venoso se dirige al hígado, en donde se divide en dos ramas principales que luego generan venas de menor tamaño hasta conformar capilares. Los tóxicos que pueda ingerir el individuo van directamente a este órgano. En el caso del etanol, la ingesta continua genera degeneración grasa del hígado y posterior fibrosis conocida como cirrosis hepática.

La pérdida de continuidad de las mucosas de estómago y o duodeno se llaman úlceras, las mismas obedecen a etiologías que se encuentran en discusión. El contenido ácido ha sido involucrado en la génesis de las mismas, así como el Helicobacter Pylori y los receptores H2 de la Histamina.

En la pancreatitis existen enzimas digestivas pancreáticas que pasan a la circulación sanguínea.

Cuando los alimentos ingeridos no se absorben se dice que hay un síndrome de mala absorción. El síndrome de mala absorción puede ser cuantitativo y cualitativo. La falta de absorción de vitamina A, K y otros aminoácidos son muy importantes y hay casos en que se excretan heces voluminosas y pálidas, lo que se llama esteatorrea. Todo ello es provocado por una insuficiencia en la absorción que obedece a variadas causas.

El íleo paralítico es la falta de motilidad y ocasiona alteraciones muy importantes. Una causa son los traumatismos o en los postoperatorios en los que hay bridas que ocasionan obstrucciones intestinales.

Megacolon es la dilatación del colon y puede corresponder a una enfermedad determinada (Hirschprung, Chagas). El estreñimiento y la diarrea son alteraciones de variadas causas que van desde las patologías mas leves a las mortales.

Un abdomen agudo ocasionado por inflamación, traumatismo u otra causa es un cuadro grave que generalmente es quirúrgico y si no se resuelve la causa es mortal. La perforación de víscera

hueca es una de las causas ya que significa el volcado del contenido entérico a la cavidad peritoneal.

Las hernias son salidas del contenido abdominal junto con las paredes abdominales, en cambio las eventraciones ocurren cuando hay partes faltantes en la pared abdominal. Las hernias inguinales siguen el trayecto inguinal, que es el trayecto que siguen los testículos al migrar desde dentro del abdomen a las bolsas escrotales en estados embrionarios.

Diagnóstico: seriada gastroduodenal, ecografía abdominal, fibroscopía, laparoscopia.

La auscultación, percusión y palpación del abdomen han sido utilizadas por mucho tiempo y con la ventaja de que los diagnósticos de ellas derivados podían ser corroborados por la cirugía. El abdomen, después de los miembros, fue la zona más explorada por la cirugía.

La ingesta de bario permite el estudio radiográfico de las distintas partes del tubo digestivo, constituyendo la Seriada Gastroduodenal, que es un método gráfico de larga data.

La vesícula biliar puede ser visualizada mediante ultrasonografía, colecistografía oral con yodo o colescintigrafía nuclear. Dada la frecuencia de su patología, los métodos de estudios que se realizan en vías biliares son de larga data.

El uso de la fibra óptica permite diagnósticos visuales de sectores del tubo digestivo tales como estómago, recto y otros. Asimismo permite la toma de muestras para su posterior análisis microscópico.

Terapéutica: Higiene, dieta, tratamiento farmacológico. Cirugía. Apendicetomía. Cirugía laparoscópica.

El tubo digestivo, al estar en contacto directo con el exterior obliga a que el individuo cuide el estado de los elementos que incorpora. Por ello es fundamental la limpieza de alimentos crudos y todo aquello que pueda tener microorganismos patógenos y elementos tóxicos.

La dieta es un recurso utilizado por los médicos tanto para tratar estreñimientos y diarreas como para enfermedades más complejas como lo es el síndrome de mala absorción relacionado al gluten del trigo. Esta enfermedad daña al intestino delgado e impide la absorción de vitaminas y nutrientes. La intolerancia al gluten del trigo hace que los pacientes deban evitar el trigo, la avena, cebada y centeno. Es una enfermedad inmunológica que cursa con desnutrición.²

La farmacología del aparato digestivo incluye antibióticos y los popularizados relajantes de músculo liso y activadores de la motilidad coledociana.

La colelitiasis es la formación de cálculos en las vías biliares. Pueden ser de cristales de colesterol por ejemplo. La indicación de intervención puede estar relacionada a una cirugía como a una intervención laparoscópica.

La ileostomía desfuncionaliza el colon abocando a la pared abdominal el íleon.

La extirpación del Apéndice tiene por nombre apendicectomía, la de la vesícula biliar colecistectomía.

Un campo en el que la bioingeniería ha incursionado es en el de la recuperación de la función esfinteriana del ano o sustitución de la misma.

La función digestiva en medicina es muy importante sobre todo porque el médico puede curar a través de ella. En efecto las dietas, ya sea por impedir la llegada de un alimento indeseable o por administrar un nutriente que falta, curan o previenen enfermedades.

Por otro lado el aparato digestivo es la vía de ingreso de medicamentos. Esto está muy claro en algunos países en que los organismos estatales que controlan alimentos, son los mismos que controlan los medicamentos. A pesar que estos últimos pueden ingresar al cuerpo humano por

² <http://www.cun.es/area-salud/enfermedades/aparato-digestivo/enfermedad-celiaca>

otras vías.

BIBLIOGRAFÍA

Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. Second Edition, Volume I. CRC Press, Printed in the USA; 2000.

Brunton LL, Izzo JS, Parker KL. Las bases farmacológicas de la Terapéutica. Undécima Edición Mc Graw Hill. Colombia; 2006.

Cabrera Fischer EI. Bases de la Fisiología Humana normal y alterada: un enfoque para ingenieros clínicos. Editado por la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Segunda Edición, Argentina; 2007.

Casiraghi JC. Anatomía del cuerpo Human. Tomo 4. Editorial Alboazul, Montevideo, Uruguay; 1982.

Cingolani HE, Houssay AB. Fisiología Humana de Houssay. El Ateneo, Buenos Aires; 2000.

Dvorkin M, Cardinali D. Bases fisiológicas de la práctica médica. 13^{ava} edición Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina; 2003

Ganong WF. Fisiología Humana. Manual Moderno 17^{ava} edición. México DF; 2000.

Guyton A, Hall J. Fisiología Médica, Elsevier, Barcelona, España; 2011.

Hansen JT, Koepfen BM. Atlas de Fisiología Humana de Netter. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2003.

Johnson LR. Essential Medical Physiology. Elsevier Academic Press, Tercera Edición, New York, USA; 2003.

Kapit W, Macey RI, Meisami. The Physiology. Second Edition, New York, USA; 2000.

Latarjet M, Ruiz Liard A. Anatomía humana. Tomo 2. Editorial Médica Panamericana. Buenos Aires, Argentina; 1986.

Mautner B. Medicina. Centro Editor de la Fundación Favalaro, Buenos Aires, Argentina; 2003.

Netter FH. Atlas de Anatomía Humana. Tercera Edición. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2004.

Raven PH, Johnson GB. Biology. Mc Graw Hill, Sexta Edición, USA; 2001.

CAPÍTULO VI

RIÑÓN Y VÍAS URINARIAS

Estructura: Riñones, pelvis renal, uréteres, vejiga y uretra. Líquidos corporales. Plasma e intersticio. Líquido extracelular. Líquido intracelular. Suprarrenales.

Función: Flujo sanguíneo renal. Nefrona. Formación de orina. Transporte de iones. Equilibrio hidrosalino. Balance de Sodio, Agua y otros iones. Equilibrio ácido-base. Mecanismo de contracorriente. Metabolismo de la Urea.

Patología renal: Disfunción renal. Insuficiencia renal. Uremia. Litiasis renal. Glomerulonefritis. Infecciones renales y de vías urinarias. Tumores renales. Alteraciones de la micción. Obstrucción de vías urinarias. Arteriopatía renal. Insuficiencia pre-renal. Riñones en la hipertensión arterial.

Diagnóstico: Clearance de creatinina. Indicadores sanguíneos y urinarios. Radiografía, urograma excretor, ecografía, Doppler, centellograma, tomografía.

Terapéutica: dieta, diuréticos. Hemodiálisis. Ultrafiltración y terapias lentas. Diálisis peritoneal. Trasplante renal.

El aparato urinario es causa de al menos dos especialidades médicas, la nefrología y la urología. Las que a pesar de la cercanía anatómica tienen elementos diferenciales que justifican holgadamente su existencia.

Estructura: riñones, pelvis renal, uréteres, vejiga y uretra. Líquidos corporales. Plasma e intersticio. Líquido extracelular. Líquido intracelular. Suprarrenales.

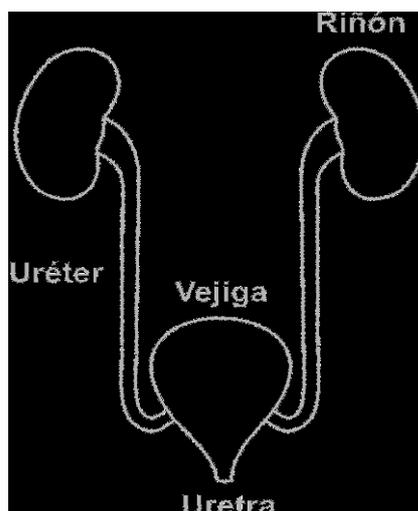
La separación del tórax y abdomen está dada por el diafragma. El abdomen está limitado por arriba por el diafragma, por debajo por la cavidad pelviana, por el dorso por la columna lumbar y a los lados y adelante por paredes musculares. En el interior del abdomen hay vísceras que se encuentran recubiertas por una membrana semejante a las pleuras: el peritoneo. Los riñones son órganos con forma de habichuelas que tienen dimensiones de 12 cm de longitud, 6 cm de ancho y 3 cm de espesor. Se encuentran en el abdomen detrás del peritoneo pegados a la pared posterior por lo que reciben el nombre de órganos retroperitoneales. El peso de cada riñón oscila entre 120 y 150 gramos.

El color de los riñones es rojo vinoso y tienen una cápsula. Sobre la cara interna (borde interno) presentan una escotadura en la parte media denominada hilio renal, por donde ingresan y egresan distintos elementos: venas, arterias, nervios, linfáticos y la pelvis renal.

La orina formada en los riñones es volcada en los uréteres que desembocan en la vejiga a través de una válvula unidireccional. Los uréteres transcurren por el retroperitoneo y el trayecto final lo hacen por dentro de la pared vesical. La vejiga hace de reservorio de la orina formada. Su capacidad varía de acuerdo al sexo, siendo la de la mujer la que más volumen tolera (hasta 750 cc). De la vejiga emerge la uretra que se relaciona con los órganos reproductores siendo diferente en el hombre que en la mujer. La uretra lleva la orina al exterior durante el acto miccional. En el hombre la Próstata rodea la uretra inicial y esta última se comparte con el aparato reproductor.

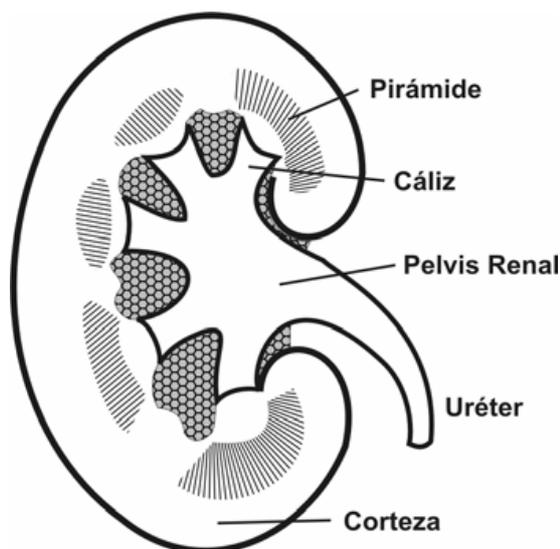
Por encima y por dentro de los polos superiores de los riñones se encuentran las glándulas suprarrenales, estas son glándulas de secreción interna, y su función está relacionada con la regulación de los líquidos corporales y la presión arterial, entre otras.

Cuando se corta a un riñón en un plano frontal por su eje mayor, se pueden observar dos regiones bien delimitadas: 1) región interna, pálida, denominada médula renal y 2) región externa, oscura, la cual recibe el nombre de corteza renal (altamente vascularizada), y que sigue a la parte convexa del órgano.



Riñones y vías urinarias.

La médula renal está formada por las pirámides renales, que contienen a los túbulos colectores de la nefrona, los que culminan en los ápices, que se proyectan dentro de los cálices menores. El extremo del ápice se llama papila. Cada pirámide renal se encuentra rodeada de corteza, constituyendo un lóbulo. La corteza renal es rica en nefronas, las cuales son menos numerosas en la médula. La nefrona es la unidad funcional del riñón.



Elementos constitutivos del riñón vistos en un corte longitudinal.

En la médula y en la corteza hay: nefronas, vasos sanguíneos, linfáticos y nervios.

La pelvis renal es una formación muscular hueca, con forma de embudo que conduce la orina formada en los riñones y que se volcó en los cálices menores y mayores. La pelvis renal se dispone desde el hilio orientándose hacia la columna lumbar para desembocar finalmente en el uréter.

En el humano, el agua constituye el 60% del peso corporal. La distribución del agua corporal se hace de la siguiente manera: el 40% de esa agua se encuentra dentro de las células (intracelular), fuera de las células (extracelular) hay un 15% que se encuentra en los espacios que hay entre una y otra célula (intersticial), además hay un 4% dentro de los vasos sanguíneos (plasmática) y un 1% corresponde al transcelular. Éste último se refiere al agua que está de camino de una célula a otra.

En el agua corporal se encuentran proteínas, glúcidos y minerales en sus formas ionizadas. El sodio (Na^+), el Cloro (Cl^-) y el Potasio (K^+) son los iones que más comúnmente se miden en

plasma como: “ionograma plasmático”. Los iones se denominan electrolitos y se los mide en miliequivalentes por litro. También se puede medir en orina la concentración urinaria de los iones y se denomina a esta prueba: “ionograma urinario”. Para el mismo se debe recolectar una muestra de orina durante 24 hs. Los valores normales del sodio como se encuentra en plasma son de 135 a 145 miliequivalentes por litro. El potasio se encuentra entre 3.5 a 5.0 miliequivalentes por litro y el Cloro de 98 a 104 miliequivalentes por litro.

En el plasma sanguíneo se encuentran además sustancias como la glucosa, la cual se mide como glucemia (valor normal: 60 a 100 mg %), la urea (valor normal: hasta 50 mg %) y la creatinina (valor normal hasta 1 mg %).

Función

Así como la unidad funcional del músculo es el sarcómero, la unidad funcional respiratoria es la interfase alveolo-capilar, en el riñón la unidad funcional se llama nefrón o nefrona y consta de un ovillo de capilares y túbulos. Dichos capilares hacen de filtro para la sangre y más precisamente para el plasma. Un adulto tiene más de 2.5 millones de nefronas sumando los dos riñones. Cada nefrón consta de una parte vascular llamada glomérulo y otra epitelial de aspecto tubular.

Además el riñón tiene células capaces de generar sustancias (hormonas), con funciones reguladoras del agua corporal, del balance hidroelectrolítico, la presión arterial y el medio interno, sin olvidar la función depuradora de eliminación de sustancias tóxicas provenientes tanto del metabolismo interno (celular) como externo (alimentos).

Ejemplo de secreción hormonal es la síntesis de renina, en el aparato yuxtaglomerular, que tiene efectos vasoactivos. Otra hormona es la de eritropoyetina que estimula la formación de glóbulos rojos en la médula ósea.

En el riñón se produce la activación de 1,25-dihidroxicolecalciferol (vitamina D3) que interviene en el metabolismo del calcio. Otra función renal es la eliminación de urea proveniente del metabolismo de las proteínas.

Flujo sanguíneo renal

La sangre que llega al riñón es alrededor del 20% del gasto cardiaco, lo que significa que en un hombre adulto son aproximadamente de 1 a 1.2 litros de sangre por minuto. Y si se tratase de un paciente con un hematocrito de 45% correspondería a alrededor de 600 ml de plasma por minuto.

La irrigación renal se realiza con una mínima pérdida de la presión desde el ventrículo izquierdo, es decir, que a la salida de la aorta, la sangre circula por las arterias renales sin pasar por arterias afinadas y de gran longitud. La arteria renal, en un corto trayecto se divide dando origen a arterias: interlobares, arqueadas, interlobulares (radiales), terminando en la arteriola aferente que origina el capilar glomerular, parte funcional de la nefrona. Los extremos distales de los capilares de cada glomérulo se unen dando origen a la arteriola eferente de la cual emergen los capilares peritubulares, los que irrigan a los túbulos renales.

La distribución intrarenal del flujo sanguíneo no es uniforme, mientras que la zona cortical recibe un 75% del flujo sanguíneo, la médula solamente el 25%. La papila renal, es el territorio menos irrigado, solo recibe el 1% del aporte sanguíneo.

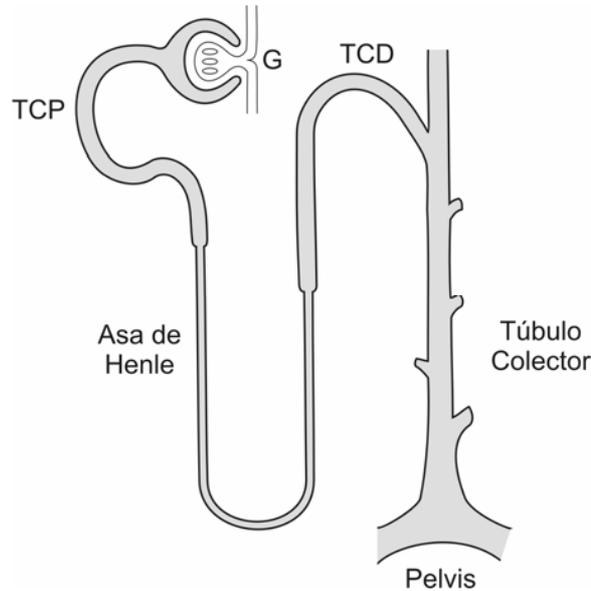
Del total de la cantidad de sangre que circula a través de los capilares glomerulares, el 20% del volumen plasmático atraviesa la pared para constituir el filtrado glomerular.

Los glomérulos tienen una presión sanguínea de unos 45 mmHg. En condiciones normales, la cantidad de líquido filtrado por el glomérulo, fluctúa alrededor de 120 ml/min representando la quinta parte del flujo plasmático renal.

Como ya se mencionó el caudal de sangre que pasa por los riñones es 1.2 litros por minuto. El flujo plasmático renal se puede medir con sustancias como el Paraaminohipurato y la Inulina, mediante la medición de sus concentraciones plasmática y urinaria.

Nefrona

La unidad de funcionamiento del riñón se llama nefrona y tiene un tamaño que oscila entre 45-65 mm de largo y aproximadamente 0.5 mm de ancho. Se denominan de acuerdo a su ubicación: corticales y yuxtamedulares. Las nefronas corticales tienen un asa de Henle corta, mientras que las yuxtamedulares la tienen larga profundizándose hacia la médula renal.



Elementos constitutivos de la vía de formación de orina. La sangre es filtrada en el glomérulo (G), el cual es abrazado por la cápsula de Bowman, la que se continúa con el túbulo contorneado proximal (TCP). A partir de allí el líquido de filtrado glomerular pasa por el asa de Henle, la cual desemboca en el túbulo contorneado distal (TCD), finalizando en los túbulos colectores.

La unidad funcional del riñón cumple con diferentes procesos: filtración glomerular, reabsorción tubular, secreción tubular y finalmente excreción del producto final conocido como orina. Durante la formación de la orina final, intervienen los procesos mencionados, siguiendo mecanismos transcelulares (bombas, canales, enzimas), que permiten, de acuerdo al que esté involucrado, la pérdida o retención de los distintos solutos tales como sodio, potasio, fósforo, calcio, hidrógeno, urea, creatinina, entre otros. Además en estos mecanismos se gana o pierde agua. El proceso da como resultado las características de la orina final y se encuentra exquisitamente regulado por el riñón que se encarga de mantener el equilibrio del medio interno (homeostasis).

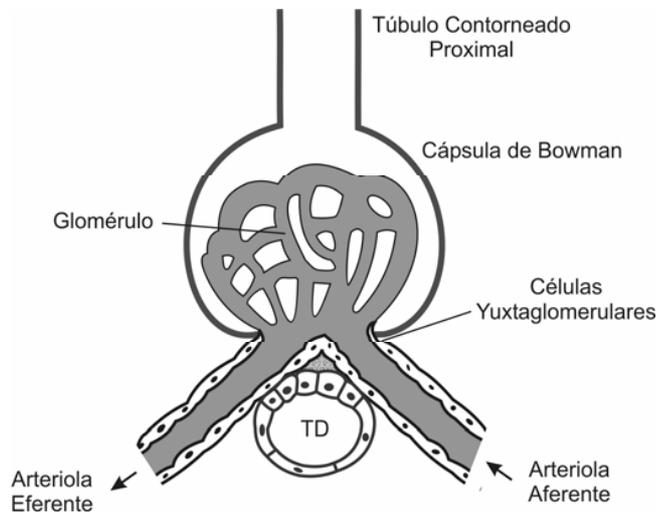
El Glomérulo es un ovillo de capilares que se forman a partir de una arteriola aferente y drenan en la arteriola eferente. Entre los capilares se encuentran células denominadas mesangiales, que tienen actividad contráctil y secretora. Este glomérulo está contenido en lo que se llama Cápsula de Bowman.

La Cápsula de Bowman, tiene un diámetro de 0.2 mm. Está conformada por una membrana recubierta de células epiteliales aplanadas (epitelio parietal) y otra capa de células especializadas que recubren la parte externa de los capilares. Estas células constituyen el epitelio visceral y se llaman podocitos. El nombre podocito, se debe a la presencia de pies o procesos pedicelares (pedicelos), que ayudan a aumentar la superficie de absorción. Ambas capas están separadas por la lámina basal. En cada capilar glomerular se reconocen dos porciones: un polo vascular o hilio, donde entran y salen respectivamente las arteriolas aferente y eferente, y otro polo urinario donde la cápsula de Bowman se continúa en el túbulo contorneado proximal.

El endotelio de los capilares glomerulares tiene fenestraciones y los podocitos con sus pies al cubrir los capilares dejan hendiduras de filtración. La superficie de filtración que tienen los capilares es de 12 metros cuadrados. Estas hendiduras son esenciales en el proceso de filtración.

Las arteriolas eferentes se vuelven a dividir en vasos que van a llegar a los túbulos para luego volcar su sangre a las venas. También forman vasos que tienen una curva y se llaman vasa recta. Tienen una forma de asa y se introducen en la médula renal y participan en el mecanismo de concentración de la orina.

A la cápsula de Bowman le sigue el Tubo Contorneado Proximal, luego la Rama Descendente del Asa de Henle, la Rama Ascendente del Asa de Henle, el Tubo Contorneado Distal que desemboca en el Tubo Colector.



El aparato yuxtaglomerular recibe la sangre que llega al glomérulo por la arteriola aferente y sale por la eferente. El túbulo distal se diferencia al estar en contacto con la arteriola y el aparato yuxtaglomerular. El mesangio interviene en el filtrado que va a la cápsula y sigue por los túbulos.

El glomérulo y el tubo contorneado proximal se encuentran en la corteza renal. El tubo contorneado proximal tiene células que presentan vellosidades que se denominan “ribete en cepillo” y sirven para aumentar la superficie de absorción. El asa de Henle se introduce en la médula renal. Las células de la rama ascendente son cuboideas y muy ricas en proteínas. A la rama ascendente del asa de Henle le sigue el tubo contorneado distal que al dar la vuelta toma contacto con el glomérulo. Los túbulos contorneados distales desembocan en los tubos colectores que nuevamente se van a sumergir en la médula renal. El túbulo distal, la arteriola eferente y unas células modificadas (células diferenciadas del túbulo contorneado distal) forman la mácula densa. Estas últimas denominadas células yuxtaglomerulares conforman lo que se ha dado en llamar: aparato yuxtaglomerular. Lugar donde se secreta renina, hormona que interviene en la regulación de la presión arterial.

Los tubos colectores transportan la orina desde los túbulos contorneados distales hasta la papila. Se dividen de acuerdo a su ubicación en: corticales, medulares externos e internos. Sobre las células que los conforman actúa la hormona antidiurética regulando el balance de agua corporal de acuerdo a las diferentes necesidades del organismo.

Los linfáticos renales son abundantes y se distribuyen paralelos a los vasos sanguíneos.

Los nervios renales contribuyen a controlar la función renal, inclusive en la forma de reflejos como el reno-renal y también llevando señales como las nociceptivas (dolor).

La cantidad de energía gastada por el riñón para los distintos procesos que tienen lugar en su parénquima es de las mayores del organismo humano. Esta energía se gasta especialmente para la reabsorción proximal del sodio.

Formación de orina

Entre las principales funciones que realiza el riñón, para contribuir a mantener el equilibrio del organismo, está la filtración glomerular. Grandes cantidades de ultrafiltrado libre de proteínas,

son elaboradas diariamente en los glomérulos. El ultrafiltrado glomerular, que en el ser humano representa 180 litros/día (120 ml x 1440 min), corresponde a un volumen cuatro veces mayor al volumen hídrico total del organismo, más de diez veces el volumen del líquido extracelular y cien a doscientas veces la cantidad de agua ingerida diariamente. El hecho de que esta enorme cantidad de líquido circule diariamente a través del capilar glomerular y penetre en el túbulo proximal implica varias condiciones relacionadas con el proceso de filtración glomerular.

El sistema de filtración debe ser adaptado de modo especial para permitir la realización de la función arriba descrita. Lo hace de distintas maneras, ya sea disponiendo de un gran número de unidades de filtración, de una elevada presión de filtración o de una membrana altamente permeable al agua. El proceso de filtración glomerular debe ser meticulosamente regulado para evitar cambios bruscos en el volumen extracelular y en el volumen total corporal. A su vez debe funcionar coordinadamente con el mecanismo de reabsorción tubular y de secreción tubular, encontrándose estos tres procesos finamente regulados a lo largo de toda la nefrona. Cualquier falla de los mecanismos puede determinar, diuresis incontrolables como ocurre en ciertas sobrecargas osmóticas como en la diabetes insípida, o anuria (falta de diuresis) con necesidad de diálisis o estados intermedios.

La filtración glomerular se produce por la interacción de diferentes fuerzas físicas. La tasa de filtración glomerular está determinada, por una parte, por la diferencia entre la presión hidrostática entre el capilar glomerular y el espacio de Bowman y la presión oncótica del capilar glomerular (presión ejercida por la presencia de proteínas) y el espacio de Bowman, y, por otra parte por el coeficiente de ultrafiltración (Kf) que corresponde al producto de la permeabilidad por el área de filtración.

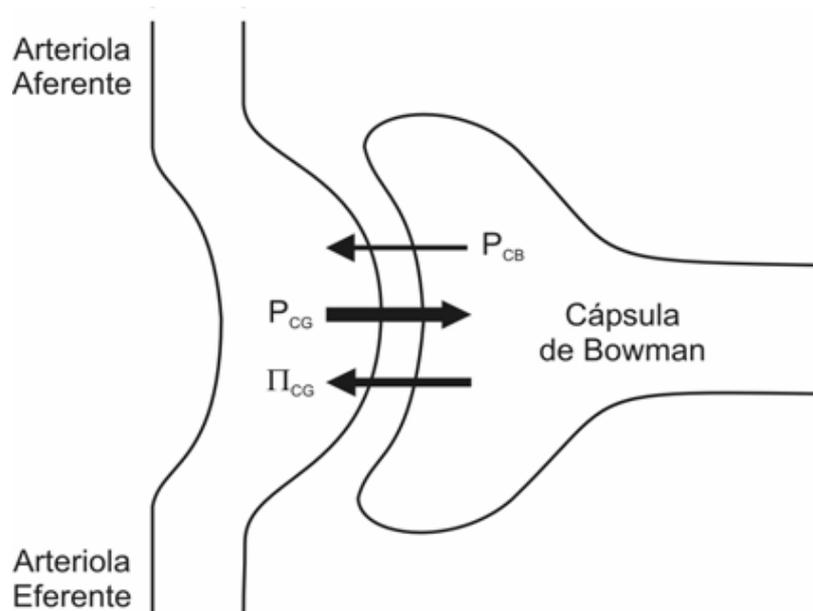
La presión transcápilar hidrostática es la diferencia entre la presión hidrostática en el interior del capilar del glomérulo y la que existe en el espacio de Bowman. Esta diferencia favorece el proceso de filtración glomerular. La presión oncótica transcápilar es la diferencia que existe entre la presión oncótica en el capilar glomerular, menos la presión oncótica que existe en el espacio de Bowman, la cual es cercana a cero. La presión oncótica del capilar glomerular es la fuerza que se opone a la filtración. La tasa de filtración glomerular (TFG) puede expresarse como:

$$\text{TFG} = \text{Kf} (\text{PCG} - \text{PCB}) - (\pi\text{CG} - \pi\text{CB})$$

En donde: Kf es una constante de permeabilidad y superficie glomerular; PCG = presión hidrostática capilar glomerular; PCB = Presión hidrostática de la cápsula de Bowman; πCG = Presión oncótica capilar glomerular; πCB : presión oncótica en la cápsula de Bowman.

El volumen de la filtración glomerular depende de los flujos sanguíneos y plasmáticos del riñón. El flujo sanguíneo interviene en diferentes funciones: es determinante indirecto del filtrado glomerular, regula la reabsorción de agua y iones, interviene en el proceso de concentración y dilución final de la orina, lleva oxígeno y nutrientes a toda la nefrona y retira el dióxido de carbono y los productos del metabolismo celular, entre otras.

En el capilar glomerular existe un mecanismo de protección ante los cambios de presión sistémica. Este ajuste de resistencias arteriales permite regular presiones entre amplios márgenes. Al modificarse estas resistencias se generan cambios también sobre la tasa de filtración, este mecanismo se conoce como de autorregulación y está relacionado a un estímulo miogénico intrínseco del músculo liso de los vasos. Si cae la presión sanguínea arterial, la arteriola aferente se dilata para que le siga llegando sangre al glomérulo y se mantenga la presión hidrostática en el capilar glomerular. El proceso es ayudado por la contracción de la arteriola eferente por acción de la Angiotensina, lo cual permite mantener el filtrado glomerular.



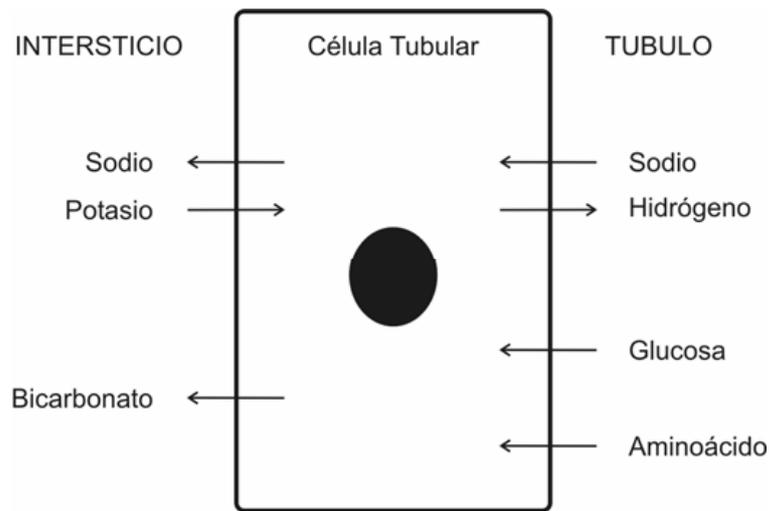
La filtración glomerular sigue gradientes. P_{CG} = presión hidrostática capilar glomerular; P_{CB} = Presión hidrostática de la cápsula de Bowman; π_{CG} = Presión oncótica capilar glomerular; la presión oncótica en la cápsula de Bowman no se incluyó por considerarse despreciable.

Luego de producido el filtrado glomerular, este último circula a lo largo de los túbulos renales. La mayor parte del agua y de los solutos sufren procesos de reabsorción, ya sea desde la luz tubular hacia los capilares peritubulares o a la inversa, también en algunos sitios hay secreción desde los capilares peritubulares a la luz tubular. La reabsorción se caracteriza por ser elevada, sobre todo en las primeras porciones del túbulo e implica un alto gasto de energía. El agua filtrada en el glomérulo en el lapso de 24 horas es de 180 litros, reabsorbiéndose en los túbulos 178.5 lts. La orina diaria de un humano de 70 Kg es de 1.5 litros, es decir que solo se excreta un 1% de lo que se filtró, la mayor parte de la energía se utiliza para mantener el equilibrio del medio interno (volemia, balance electrolítico, acido-base, otros).

Los iones existentes en el filtrado glomerular como el sodio, cloro, potasio, calcio, fósforo y magnesio se reabsorben casi completamente, sobre todo para mantener constante la composición química del medio interno. Los mecanismos de reabsorción de solutos pueden ser activos o pasivos y utilizan diferentes transportadores, llamados bombas, canales a favor o en contra de gradiente de concentración, con o sin gasto energético, asociados al transporte de otra sustancia. De acuerdo a las necesidades del medio interno también puede haber secreción de sustancias a nivel de los túbulos renales, lo que constituye la vía de eliminación de diversos elementos (como el potasio en el nefrón distal ante una dieta rica en este catión).

Como se expresó antes, la reabsorción de agua y de los solutos así como la secreción en los diferentes segmentos del túbulo, se realizan en forma activa o pasiva. Todo transporte activo determina un consumo de energía, ello implica siempre consumo de oxígeno, producción de CO_2 y liberación de lactato. La energía proviene del metabolismo celular y es utilizada por las bombas de transporte.

En la orina no hay azúcares, o sea que no se encuentra glucosa. En condiciones normales, toda la glucosa filtrada es reabsorbida y no aparece en la orina. Si la concentración de glucosa en sangre aumenta (por ejemplo en la diabetes), por encima de un nivel crítico (llamado umbral), se supera la capacidad fisiológica de reabsorción y entonces aparece en orina. Este nivel crítico se llama máximo tubular o T_m (por sus siglas en inglés).



Pasaje de solutos a través de una célula epitelial del túbulo renal.

Con respecto al agua, ésta sigue en forma pasiva a los solutos reabsorbidos, primero hacia el interior de la célula y luego hacia el capilar peritubular, gracias al gradiente de presión osmótica que genera el transporte de los solutos. El cloro se reabsorbe en forma pasiva debido a un gradiente eléctrico. La urea es reabsorbida parcialmente sobre la base de mecanismos pasivos, conforme el agua se reabsorbe aumenta la concentración de urea en la luz tubular, lo que determina un aumento del gradiente de concentración, que favorece la difusión de la urea hacia el interior celular.

Transporte de iones

Una vez que se produce el filtrado a través del capilar glomerular, el líquido recorre los diferentes túbulos que conforman la nefrona sufriendo distintos procesos, reabsorción o secreción, para dar origen a la orina final. La excreción urinaria se la puede definir a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Excreción urinaria} = (\text{Filtración glomerular} - \text{Reabsorción tubular}) + \text{Secreción tubular}$$

Las células epiteliales tubulares hacen de filtro entre los elementos que están en el intersticio renal y los que viajan por el túbulo. La glucosa, aminoácidos y sodio, son reabsorbidos al igual que otras sustancias. Si bien la reabsorción de sustancias es determinante en la orina final, la secreción juega un rol primordial a la hora de la eliminación de sustancias como K^+ , H^+ , entre otros. A nivel del túbulo contorneado proximal, el sodio y el bicarbonato van a formar parte de los procesos que tienden a conservar el equilibrio ácido-base del organismo.

El túbulo contorneado proximal reabsorbe aproximadamente el 50 o 60% del ultrafiltrado glomerular, el sodio y el agua son reabsorbidos en proporciones isosmóticas (igual cantidad de agua y de electrolitos), en vista de ello la osmolalidad del líquido tubular se mantiene semejante a la del plasma durante todo su trayecto a través de esta porción del túbulo.

El proceso de reabsorción a nivel del túbulo proximal se realiza en forma obligatoria como consecuencia de las modificaciones de las fuerzas que la filtración glomerular determina en los capilares peritubulares. A nivel de los capilares peritubulares se presenta una disminución de la presión hidrostática en contraposición a una presión coloidosmótica aumentada, como consecuencia del filtrado glomerular libre de proteínas plasmáticas. Esto condiciona una recuperación de un volumen importante de líquido filtrado y contribuye fundamentalmente a mantener el líquido del espacio extracelular.

La reabsorción de Na^+ , Cl^- , K^+ , bicarbonato, hidrogeniones, como también glucosa y aminoácidos filtrados esta relacionado principalmente con la presencia de los diferentes mecanismos mencionados, en los que interviene una bomba Na^+/K^+ dependiente que se ubica a

nivel de la membrana basolateral contraria a la luz tubular generando la energía necesaria para que se produzcan los pasajes. Esta bomba realiza un transporte activo que implica gasto de energía para sacar sodio e introducir potasio.

En el túbulo contorneado proximal se realiza la regulación del equilibrio ácido-base. A este nivel se reabsorbe casi en su totalidad el bicarbonato. Tomando en cuenta que en 24 horas se filtran aproximadamente 5.000 mEq y se eliminan solamente 1 - 2 mEq de la carga filtrada de bicarbonato. En rigor de verdad no se trata de un proceso de reabsorción, ya que los iones de bicarbonato del fluido tubular, no atraviesan la barrera celular, por el contrario el bicarbonato se comporta como un ión no reabsorbible, aquí juega un papel importante la enzima anhidrasa carbónica. En este mecanismo de "pseudoreabsorción" de las células tubulares, la anhidrasa carbónica cataliza (acelera) la formación de ácido carbónico a partir del anhídrido carbónico y agua. La membrana celular es permeable a éstos últimos.



Como se puede observar en forma gráfica en el esquema correspondiente, el asa de Henle presenta una configuración similar a una horquilla, se halla formada por una rama descendente, la cual se continúa con una rama ascendente, que se engruesa poco a poco. La porción del asa de Henle descendente es muy permeable al agua e impermeable a solutos, incluyendo a la urea. En esta porción se reabsorbe el 20% del agua filtrada. El líquido tubular se va concentrando y alcanza su concentración máxima en el extremo de la horquilla (porción más profunda del asa de Henle).

El asa de Henle ascendente es impermeable al agua y permeable a los solutos. Se reabsorbe aproximadamente un 25% del sodio, potasio y cloro filtrados. El filtrado que llega al asa de Henle ascendente es hipertónico (1200 mOsm/l), a medida que atraviesa el asa se van absorbiendo los iones llegando en su porción final a ser forzosamente hipotónico (150 mOsm/l) siendo así como entra al túbulo contorneado distal. En esta porción además se reabsorben solutos como calcio y magnesio. Y existe secreción de urea proveniente del intersticio a nivel del asa ascendente en su porción delgada (recirculación de urea).

La porción que le sigue al asa gruesa, es el túbulo contorneado distal, al inicio del cual se ubica el aparato yuxtaglomerular o mácula densa. Este último interviene controlando la tasa de filtración, a través de un mecanismo de retroalimentación dado por la concentración de sodio. Los lugares en donde se efectúa la acción son: los capilares, la arteriola aferente y la arteriola eferente. Luego de la mácula densa se produce la reabsorción de iones como sodio, potasio y cloro en aproximadamente 5 % de su concentración. Este sector que es impermeable al agua y a la urea, recibe la denominación de segmento diluyente.

La parte final del túbulo distal y los túbulos colectores tienen características similares en cuanto a su comportamiento funcional. En estos niveles se encuentran dos tipos de células: principales e intercaladas. Las primeras intervienen en la reabsorción de sodio y agua y secretan potasio. Las segundas reabsorben potasio y secretan hidrógeno. Estos segmentos son impermeables a la urea, por lo tanto la urea que ingresa a ellos continúa su camino para finalmente excretarse.

A nivel del túbulo distal y colector, la reabsorción de iones se encuentra regulada por la presencia de hormonas, la más conocida es la Aldosterona. Ésta también controla la secreción de potasio de acuerdo a los niveles que se encuentren en la sangre. También se regula en este sector la excreción de ácidos. La permeabilidad al agua está regulada por la hormona Antidiurética, ADH o Vasopresina. Un aumento de la misma estimula la permeabilidad al agua a través de la formación de canales (aquaporinas), regulando de esta manera la concentración o dilución de la orina final.

Equilibrio hidrosalino: Balance de Sodio, de Agua y otros iones

En condiciones fisiológicas, el metabolismo del sodio se mantiene constante, es decir, existe un equilibrio entre las entradas y las salidas, siempre y cuando no existan pérdidas. Las pérdidas pueden ser: cutáneas como la excesiva sudoración, gastrointestinales como diarreas o hemorragias de diferentes causas.

Normalmente la vía principal de eliminación del sodio es el riñón, que interviene directamente en la regulación de su equilibrio. Como sea, éste catión es el más importante del espacio extracelular. El funcionamiento del riñón se halla directamente relacionado a los cambios del volumen del líquido extracelular (plasmático).

Hay varios mecanismos fisiológicos que contribuyen a mantener constante el balance del sodio. El principal estímulo sobre el riñón lo constituyen las modificaciones del volumen plasmático (volumen arterial efectivo). Una deshidratación o una hemorragia determinan una disminución del volumen arterial efectivo, que provoca una mayor reabsorción tubular de sodio, mientras que una perfusión salina condiciona un aumento del volumen arterial efectivo, determinando una disminución de la reabsorción tubular del sodio.

La llegada de poco sodio al túbulo distal pone en marcha al aparato yuxtaglomerular, el cual actúa regulando el filtrado glomerular, a través de la secreción de renina. Esta renina genera la conocida hormona Angiotensina, a partir del Angiotensinógeno, que tiene acción vasoconstrictora al nivel de la arteriola aferente y eferente. Lo que lleva a la disminución del filtrado tendiendo a retener el sodio del organismo.

La aldosterona, forma parte de otro mecanismo para retener sodio. Si existe una disminución de la presión de perfusión renal, si hay una disminución excesiva de sodio detectado por la mácula densa, o hay hiperactividad del sistema nervioso simpático, se produce un aumento de la secreción de renina y secundariamente de aldosterona. Esta última estimula la reabsorción de sodio en el túbulo distal.

La hormona natriurética (proveniente del corazón) produce una mayor eliminación de sodio por la orina, cuando existe una expansión de agua del volumen extracelular.

El agua que posee el organismo debe ser regulada y el riñón tiene la propiedad de ejercer dicho balance. Lo hace a través de la reabsorción de agua que se realiza a lo largo de todo el túbulo renal, pero la mayor parte se efectúa en el túbulo proximal.

Existe una disociación de agua y solutos que se efectúa en el túbulo distal y colector, y se halla condicionada a los niveles plasmáticos de la hormona antidiurética o ADH. Esta hormona aumenta la reabsorción del agua.

Los vegetales son ricos en potasio (tomate, bananas), un ión que también debe ser regulado. El riñón es el encargado de regular su metabolismo. Prácticamente la totalidad de potasio filtrado, unos 35 gramos, es reabsorbido a nivel del túbulo proximal (70%) y en el asa de Henle el 30% restante. El túbulo colector juega un papel importante en regular las necesidades metabólicas del potasio, a través de la aldosterona y dependiendo de su concentración en la sangre, la cantidad que se debe eliminar por la orina. Hay varios elementos en juego en el mantenimiento del potasio orgánico. Hay ingreso del mismo en la alimentación y el catabolismo celular, se elimina por la orina y ello está regulado por varios factores: 1) el nivel sérico de potasio, 2) la secreción de aldosterona, 3) el equilibrio ácido-base, 4) el volumen del flujo urinario y 5) la reabsorción de sodio en el túbulo distal. Un aumento de la aldosterona genera una excreción de potasio en orina.

Equilibrio ácido-base

El equilibrio en el manejo de ácidos y bases está relacionado con las ganancias y las pérdidas de los mismos, al igual que otros iones del organismo.

Se sabe, que la principal ganancia de hidrógeno del organismo proviene del metabolismo intracelular.

Existen diferentes procesos a través de los cuales se ganan o pierden ácidos o bases. Ellos son: a) el metabolismo oxidativo a partir del dióxido de carbono y el agua (respiración), b) el metabolismo de los ácidos no volátiles (metabolismo de proteínas, cuerpos cetónicos, ácido láctico, entre otros), c) las secreciones gastrointestinales y renales. Los riñones excretan normalmente 80-100 mmols de iones de hidrógeno que se generan a partir de la dieta.

Existe un mecanismo de regulación para mantener un balance ácido – básico dentro de valores compatibles con la vida. El riñón interviene como un importante regulador en la eliminación final de estas sustancias. A su vez el riñón se asocia a otras partes del cuerpo, como la sangre, el tubo digestivo, las glándulas sudoríparas, para el control del equilibrio ácido - base. La carga ácida es atenuada, como primer paso, por el bicarbonato de la sangre.

La concentración real del Ion hidrógeno en el líquido extracelular es de 7.35-7.45, a esto se lo conoce en la practica médica diaria como pH, y corresponde a 40 nmol/l de hidrógeno. Entre los amortiguadores están aquellos que actúan a nivel extracelular, es el sistema dióxido de carbono/bicarbonato, y los intracelulares: fosfatos, proteínas y hemoglobina.

El riñón controla el equilibrio ácido - base a través de: 1) excretar el bicarbonato que se filtra, que se segrega o ambos, 2) adicionar bicarbonato al plasma que pasa por el riñón. Por lo que, si desciende la concentración de hidrógenos de la sangre (alcalosis) se aumenta la excreción de bicarbonato por orina y se añade hidrogeno a la sangre. Por otro lado si se eleva la concentración de hidrogeno en sangre (acidosis), se añade bicarbonato a la sangre, se disminuye su excreción por orina y se aumenta la eliminación de hidrógenos.

El bicarbonato se absorbe principalmente en el túbulo proximal en medio de un proceso sincrónico con la secreción de hidrógeno. Es un proceso activo, es decir que gasta energía. Además existe secreción de hidrógeno a nivel del conducto colector en las células intercaladas. El mecanismo de secreción de hidrogeno es similar en el túbulo proximal como en el túbulo colector: a partir de una molécula de agua se libera un hidrogeno y un hidroxilo. El hidroxilo es utilizado por la enzima anhidraza carbónica (intracelular) y junto con el dióxido de carbono del metabolismo de la célula origina bicarbonato. Este pasa a los capilares peritubulares ingresando luego a la circulación sistémica. Mientras tanto el hidrógeno que pasa a la luz tubular se une al bicarbonato filtrado, formando ácido carbónico, que se descompone en dióxido de carbono y agua ingresando por difusión al interior de la célula. Se reabsorbe el 80-90% del bicarbonato filtrado a nivel del túbulo proximal.

Si el hidrógeno se une a nivel de la luz tubular a otros amortiguadores se produce su excreción apareciendo en la orina final. Los amortiguadores más conocidos son el fosfato y el amonio. Lo que va a determinar la ganancia o pérdida del bicarbonato o el hidrógeno va a depender de la concentración de los mismos a nivel plasmático y de los mecanismos activados para mantener la homeostasis del organismo.

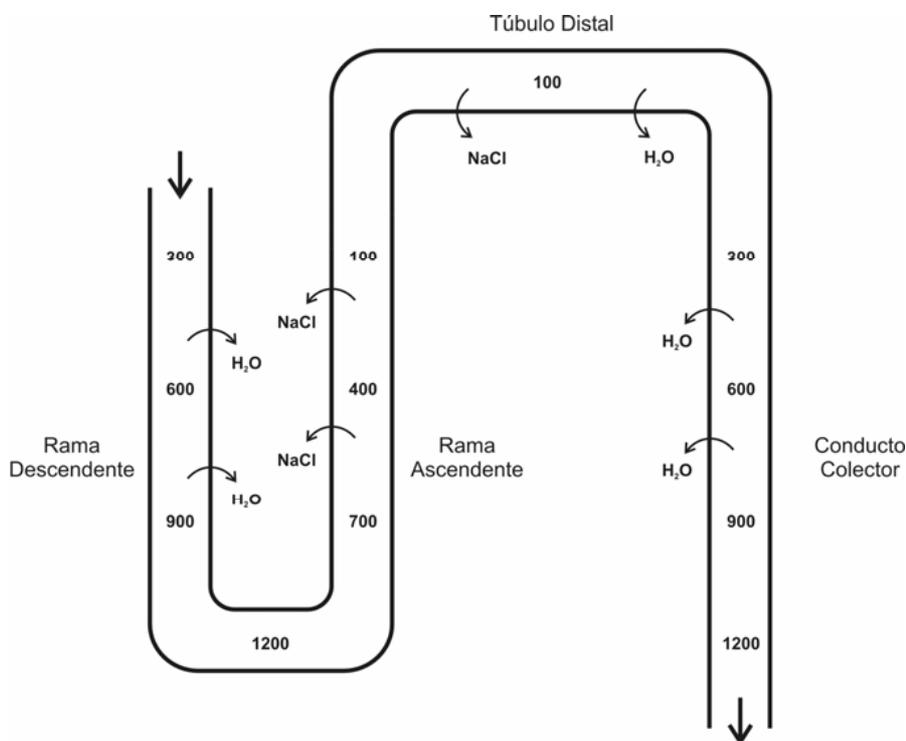
Mecanismo de contracorriente

El mecanismo de contracorriente del riñón, es un proceso que tiende a producir una orina concentrada, cuya característica principal es que la osmolalidad exceda a la del plasma. Usualmente la orina sufre un proceso de concentración de hasta cuatro veces la plasmática, con lo que se llega a una osmolalidad de 1.200 mOms/l. Ello se realiza a medida que el líquido tubular avanza a través de los túbulos, sobre todo los ubicados en la porción medular de la pelvis renal. El proceso a través del cual se genera hiperosmolalidad intersticial se denomina: mecanismo multiplicador de contracorriente, el cual se lleva a cabo a nivel del asa de Henle.

El asa de Henle presenta una disposición anatómica en forma de horquilla inmersa en la porción de la médula renal. A nivel de la rama descendente es muy permeable al agua, poco permeable a

la urea y totalmente impermeable a los solutos. Por otro lado la rama ascendente, tiene una porción delgada y otra gruesa, que además coincide con diferencias funcionales. La porción gruesa es muy permeable a los solutos, poco permeable a la urea, e impermeable al agua. Esta permeabilidad se relaciona a la presencia de una bomba que se ubica en la membrana luminal que reabsorbe cloro, sodio y potasio en forma activa.

El líquido isotónico que proviene del túbulo proximal, conforme recorre la rama descendente se vuelve hipertónico, debido a la salida de agua hacia el tejido intersticial, alcanzando una osmolaridad de 1.200 mOsm/l. La salida de agua de la rama descendente está favorecida por la reabsorción de solutos a nivel de la rama ascendente que genera un intersticio hiperosmótico (mecanismo de multiplicación). Por ello, el líquido que circula por la rama ascendente del asa de Henle pierde su hipertonicidad, debida a la salida de solutos hacia el intersticio renal. La salida de solutos no se acompaña de agua. Por otro lado el agua pasa de una rama descendente del asa de Henle hacia el intersticio y de éste a la rama ascendente. La especial disposición histológica entre ambas ramas permite el pasaje de los solutos a contracorriente desde la rama ascendente al intersticio, y de éste a la rama descendente, el efecto se multiplica a medida que se profundiza en la zona de la médula renal.



Mecanismo de contracorriente

Cuando ingresa el líquido tubular al túbulo contorneado distal lo hace más diluido con respecto al plasma (hipotónico), debido a la salida de solutos como se explicó anteriormente. A partir de aquí juega un rol primordial sobre la característica de la orina final la acción de la hormona Antidiurética (ADH), la cual actúa a nivel de los conductos colectores respondiendo a los estímulos que regulan el volumen corporal.

Metabolismo de la Urea

Las proteínas ingeridas son metabolizadas y los productos de degradación son utilizados o eliminados, según sea el caso. La urea constituye el producto final del metabolismo proteico y es filtrada por el glomérulo y reabsorbida pasivamente por difusión a lo largo de los túbulos. Las cantidades excretadas dependen de la ingesta. Un 50% de la urea que pasa por el glomérulo se reabsorbe en el túbulo proximal, el resto lo hace a nivel de los túbulos distales. Durante su pasaje tubular aumenta su concentración al llegar a la rama ascendente, como consecuencia del pasaje de agua a través de la rama descendente y su recirculación proveniente desde el intersticio (a

nivel del colector papilar) ingresa a la rama ascendente, en su porción delgada. A nivel del túbulo distal y colector cortical aumenta la concentración de urea porque estos segmentos son impermeables a su pasaje. Al llegar al colector papilar la concentración de urea está aumentada por la salida de agua que es regulada por la ADH. En este nivel sale urea al intersticio por la permeabilidad de este sector (recirculado). La urea es abundante y muy soluble, por ello desempeña un papel importante en la concentración de la orina y por lo tanto en la conservación del agua.

La depuración o clearance de una sustancia es la cantidad de plasma (volumen) que puede ser liberado de la misma en la unidad de tiempo. La determinación del clearance, permite saber sobre el funcionamiento renal. La unidad de filtración se expresa en ml/min. En la práctica clínica diaria se puede calcular el clearance de creatinina o urea para tener idea de la función del riñón.

Patología renal: Disfunción renal. Insuficiencia renal. Uremia. Litiasis renal. Glomerulonefritis. Infecciones renales y de vías urinarias. Tumores renales. Alteraciones de la micción. Obstrucción de vías urinarias. Arteriopatía renal. Insuficiencia pre-renal. Riñones en la hipertensión arterial.

La disfunción renal es cualquier alteración del riñón que no le permite mantener un funcionamiento adecuado. En relación a las diferentes capacidades o funciones que el riñón tiene se pueden citar: regulación de la presión arterial, equilibrio electrolítico, equilibrio ácido base, secreción hormonal, excreción de desechos y participa en el metabolismo fosfocálcico entre otras. La forma con que la disfunción renal aparece, puede ser brusca o progresiva.

La insuficiencia renal es la incapacidad que tiene el riñón para realizar la función que la naturaleza le adjudicó. La insuficiencia renal puede ser aguda o crónica. Los dos riñones tienen que estar afectados ya que si un riñón se enferma el otro es capaz de compensarlo.

Las causas tanto de la insuficiencia renal aguda como de la crónica, tienden a superponerse, siendo el tiempo de evolución y la intensidad del daño producido por el agente agresor, los aspectos más importantes al momento de generar una definición. En forma general, se puede decir que en la insuficiencia renal aguda tiende a haber recuperación de las funciones habituales del riñón, mientras que en la crónica la recuperación, no sólo es parcial, sino que muchas veces evoluciona hasta requerir de terapia supletoria renal (diálisis).

Existen diferentes pruebas diagnósticas que permiten diferenciar la insuficiencia renal aguda de la crónica y de esta manera establecer, de acuerdo a la necesidad de cada paciente, el tratamiento necesario para su supervivencia. Las determinaciones de las concentraciones de diferentes sustancias como la creatinina en plasma y en orina, sirven para conocer la función renal y se las usa como métodos de diagnóstico. El cuadro clínico del paciente, el tiempo de evolución, los antecedentes personales, los estudios complementarios como la ecografía renal, urograma excretor, centellograma, entre otros tantos, también sirven en la etapa diagnóstica.

La insuficiencia renal se clasifica además de acuerdo al nivel del aparato urinario en donde actúa la lesión, se la divide en: 1) pre renal: aquí intervienen las causas que generan trastornos en la llegada de sangre al órgano (hemorragias, insuficiencia cardíaca, sepsis, vómitos y diarreas, estenosis arterial, o tóxicos, entre las más comunes); 2) renal: cuando el agente actúa directamente dañando el tejido renal (glomerulonefritis, infecciones, litiasis, tumores, traumatismos, otras) y 3) post renal: cuando la lesión se ubica en algún punto de la vía urinaria obstruyéndola, desde la pelvis renal hasta la uretra, impidiendo la eliminación de orina (litiasis, tumores, malformaciones congénitas, estenosis de vía urinaria, otras).

Como ejemplo de enfermedades que generan alteración de la función renal se pueden citar: Enfermedades hereditarias (poliquistosis), Enfermedades inflamatorias (nefritis intersticial), Enfermedades metabólicas (Diabetes), Tensión arterial alta (hipertensión), Cálculos o piedras en el riñón (litiasis), Infecciones, Trastornos de circulación sanguínea (vasculares), Tumores,

Enfermedades glomerulares (Glomerulopatías), Ingestión de productos tóxicos y medicamentos, Complicaciones tras una intervención quirúrgica, entre las más frecuentes.

Se debe tener en cuenta que existen factores predisponentes a la aparición de ciertas enfermedades que afectan la función del riñón entre los que se encuentran: edad, raza, sexo, ámbito social, carga hereditaria. La pérdida de un riñón por traumatismo u otra causa no produce insuficiencia renal crónica, ya que el riñón remanente si no tiene patología asociada puede suplir la función sin inconvenientes.

La disfunción renal puede generar signos y síntomas muy característicos que configuren lo que se ha dado en llamar Síndrome Urémico. Dentro de las características más comunes del síndrome urémico se encuentra: la anemia, los vómitos, el insomnio, la pérdida de peso, la falta de aire, la retención de líquidos, las alteraciones de la micción, temblores, arritmias, irritabilidad, prurito, y muchas otras más.

Diagnóstico: Clearance de creatinina. Indicadores sanguíneos y urinarios. Radiografía, urograma excretor, ecografía, Doppler, centellograma, tomografía.

El diagnóstico de enfermedad renal se puede realizar a través de diferentes pruebas que incluyen: estudios de laboratorio, estudios por imágenes, estudios anatomopatológicos.

Entre los estudios de laboratorio se pueden solicitar análisis de concentraciones de sustancias tanto en sangre como en orina. En general el dosaje se realiza en laboratorios que cuentan con aparatología específica. Así se puede medir urea (sangre y orina), creatinina (sangre y orina), iones como sodio, potasio, calcio, fósforo, hidrógeno (PH) (sangre y orina), inmunoglobulinas (sangre y orina), pruebas serológicas (virus), cultivos de microorganismos (sangre y orina) y más.

Los equipos que se utilizan para el dosaje de sustancias químicas se denominan analizadores automáticos y utilizan un fotospectrómetro para determinar longitudes de ondas (luz UV) que se dividen en visibles y no visibles. Los analizadores varían sus características de acuerdo a la marca y se calibran de acuerdo a parámetros ya establecidos. Cada laboratorio debe comprobar los intervalos de referencia y determinar si se pueden aplicar a su grupo de pacientes. Eventualmente se pueden determinar nuevos rangos y valores medios y dispersiones, de acuerdo a la población que se maneja. Para determinar la presencia de una o más sustancias en sangre, eventualmente se establecen los medios para que tenga lugar una reacción bioquímica que puede consistir en: la formación de un producto final, la modificación de la velocidad de una actividad enzimática, la aparición de un color o fluorescencia. Ejemplo: para la determinación de la enzima hepática TGP (transaminasa glutámico pirúvica) se utiliza una prueba inmunoturbidimétrica que determina cuantitativamente la TGP, en el caso de la urea se trata de un test cinético. Los dos se realizan en el mismo equipo. La medición de iones como sodio, potasio, hidrogeno, cloro y otros se realiza en aparatos de medio interno vulgarmente llamados gasómetros. Estos, además miden glucosa. También existen pruebas de serología que permiten diagnosticar enfermedades causadas por microorganismos: virus, bacterias, hongos. En general se utilizan sueros con anticuerpos contra estos patógenos. Usando medios especiales, se pueden realizar cultivos de colonias de bacterias y hongos y probar antibióticos que los destruyan con eficacia. Esto orienta al profesional en el tratamiento a seguir. Los métodos de diagnóstico por imágenes permiten valorar el tamaño renal y ver si hay obstrucción de la vía urinaria, y eventualmente diferenciar si la enfermedad es aguda o crónica. En general los riñones permanecen con tamaño normal o levemente aumentado cuando existe un proceso agudo y disminuye su tamaño en los casos de enfermedades crónicas. Existen excepciones de riñones normales a grandes con disfunción crónica como en la diabetes, mieloma, poliquistosis y amiloidosis.

Dentro de los métodos diagnósticos más usados están: Radiografía simple de abdomen (permite visualizar imágenes de cálculo de calcio, posición, silueta renal), Ecografía renal (precisa tamaño

y características parenquimatosas del órgano, si hay quistes, cálculos, dilatación de la vía urinaria), Doppler renal (mide el flujo de sangre que le llega al riñón), Tomografía computada (da idea de tamaño y también de flujo si se utiliza contraste), Urograma excretor (es una radiografía contrastada de riñón y vías urinarias que permite evaluar función del riñón sobre todo su fase excretora), Centellograma renal (permite evaluar función renal), Arteriografía (permite visualizar con exactitud arterias que irrigan el parénquima renal).

En el caso de la Punción Biopsia Renal, se trata de una técnica muy precisa que permite diagnosticar numerosas afecciones del tejido renal. La biopsia se realiza, con indicaciones específicas, a través de una punción y en algunos casos por cirugía y consiste en tomar un trozo de tejido renal para su análisis con inmunofluorescencia, microscopía óptica, o electrónica.

En todos los casos de diagnóstico por imágenes es posible determinar presencia de procesos ocupantes (tumores), malformaciones congénitas (doble sistema calicial), estenosis arteria renal, glomerulopatías, infecciones (abscesos), litiasis, entre las más conocidas.

Terapéutica: dieta, diuréticos

Cuando se instaura una insuficiencia renal, independientemente del origen, existen tratamientos que permiten recuperar la función o por lo menos parte de ella. En los casos de procesos agudos se tiende a tratar la causa que originó la disfunción y en el caso en que las medidas terapéuticas específicas no sean suficientes para la recuperación del órgano, se da apoyo sustitutivo de la función a través de un riñón artificial (diálisis).

Muchas veces con la sola reposición de líquidos el riñón comienza a funcionar nuevamente. Ejemplo de ello lo constituyen las deshidrataciones.

Cuando ya existe un deterioro crónico de la función renal se pueden tomar medidas higiénico-dietéticas que permitan el retraso del requerimiento de tratamiento sustitutivo crónico. Cuando un paciente ingresa a diálisis implica que la función que presentan sus riñones en conjunto, no le es suficiente para seguir viviendo.

Una de las cosas que se ajusta en la insuficiencia renal crónica es la dieta. En general ésta apunta a evitar la acumulación de productos que al no poder eliminarse correctamente resultan tóxicos para el organismo. El sodio, el potasio, la urea, los ácidos, son algunos de ellos. Se debe ser cuidadoso de no llevar al paciente a la desnutrición, por lo que se establecen cantidades de ingestión de acuerdo a la función renal remanente.

Es necesario tratar la causa que genera la disfunción del riñón, así por ejemplo, en el caso de un cuadro infeccioso se debe realizar un tratamiento antibiótico. Si el paciente forma cálculos, se indica abundante hidratación asociada a diuréticos, los cuales son medicamentos que aumentan la eliminación de orina. Si el paciente presenta presión arterial elevada se lo medica con fármacos que disminuyan los niveles tensionales, a los fines de evitar el deterioro crónico. En algunos casos se deben realizar intervenciones quirúrgicas para permitir que el riñón vuelva a funcionar, por ejemplo en los casos de tumores obstructivos, litos, estenosis arteriales, entre las más habituales.

Si con las medidas antes enumeradas el riñón se sigue deteriorando, y el daño impide mantener el equilibrio corporal se debe pensar en efectuar un tratamiento sustitutivo de la función renal (diálisis). La indicación del mismo se hace de acuerdo al valor del filtrado glomerular y a los síntomas del paciente.

El tratamiento de la insuficiencia renal crónica se tiene tres opciones: diálisis peritoneal, hemodiálisis y trasplante renal. En la Argentina es necesario ingresar a diálisis al menos 6 meses antes de recibir un trasplante de riñón.

A continuación se describen brevemente los procedimientos usuales para el tratamiento de la insuficiencia renal crónica:

Hemodiálisis

La hemodiálisis consiste en extraer la sangre del paciente (la cual tiene sustancias tóxicas) y pasarla por un filtro conformado por capilares (membrana/filtro/dializador), los cuales están bañados por un líquido (líquido de diálisis) y luego se la retorna al paciente. El líquido de diálisis tiene las características necesarias para arrastrar los elementos indeseables del paciente a través de las paredes de los capilares. Por otro lado, en este procedimiento se elimina el agua corporal que sobra.

La hemodiálisis es una forma artificial de cumplir con la función renal. Permite la eliminación del exceso de sustancias tóxicas como también del líquido corporal acumulado. Se realiza con una máquina de diálisis (riñón artificial), una membrana filtrante (filtro/dializador) y tubuladuras que salen y vuelven al paciente. La máquina de diálisis o riñón artificial consta de: un monitor de presión arterial pre-bomba, una bomba de sangre (a rodillos), la cual se encarga de impulsar la sangre a través de todo el circuito. También hay una bomba que infunde heparina para impedir la coagulación del sistema. Existe un monitor de presión a la entrada del dializador y un monitor de presión venosa a la salida del dializador.

El riñón artificial permite realizar ajustes de la temperatura del líquido, la cantidad de sodio y de bicarbonato, a través de opciones disponibles. Presenta sistemas de seguridad, tales como un detector y un atrapador de aire y pinzas del detector de aire, las cuales interrumpen el pasaje de sangre al paciente en el caso que se detecte aire en la tubuladura. El sistema consta además de un dispositivo de distribución del líquido de diálisis, el cual es individual en la mayoría de las disponibilidades de mercado.

Todo lo anterior implica que la máquina puede preparar el líquido de diálisis utilizando agua que viene de cañerías especiales unidas a un sistema de purificación al cual le añade distintos concentrados. Los concentrados presentan diferentes cantidades de sodio, potasio, calcio y glucosa según la necesidad del paciente.

El filtro de diálisis es una estructura de tipo tubular que presenta dos compartimientos, uno en contacto con la sangre y otro en contacto con el líquido de diálisis. Se caracteriza por presentar fibras huecas conocidas también con el nombre de capilares. Estos capilares tienen una disposición especial que permiten aumentar la superficie de absorción. La función es similar al glomérulo renal, actúan como filtro de las distintas sustancias. El diseño de la membrana permite circular la sangre a través de las fibras y al líquido de diálisis por su alrededor sin mezclarse y en sentidos opuestos (contracorriente). Existen distintos tipos de membranas de acuerdo a la composición del material de las fibras: celulosa, celulosa sustituida, sintéticas (polisulfona, policarbonato, poliamida). En casos agudos se utilizan catéteres en venas centrales, con lo cual se logra un flujo sanguíneo que permite realizar la hemodiálisis.

Normalmente se hacen 3 sesiones de hemodiálisis por semana, de unas cuatro o más horas cada una. Para realizar este tratamiento es necesario utilizar agujas, de un diámetro importante (15,16 ,17 gauge), las cuales se insertan en venas preparadas especialmente para punciones repetidas. A esto último se lo denomina acceso vascular. El mismo se realiza uniendo una arteria y una vena del paciente. La arteria determina que la pared venosa se engrose. A veces los pacientes no tienen vasos adecuados y es necesario colocar un tubo (prótesis) entre la arteria y la vena, lo cual permite su punción para realizar el tratamiento. El tubo sintético más usado es el politetrafluoroetileno expandido.

Además de la hemodiálisis los pacientes reciben una dieta especial con control de sodio, potasio, calcio, fósforo entre otros. Los pacientes en hemodiálisis reciben medicación, sobre todo de aquellas sustancias de las cuales tienen carencias. Entre las más utilizadas se encuentran: la eritropoyetina, el hierro, el calcio, el ácido fólico y las vitaminas.

Muchas veces también se debe controlar la presión arterial administrando fármacos antihipertensivos, si tienen diabetes se tratan con insulina, si presentan enfermedad coronaria se

dan vasodilatadores. Es decir que son pacientes complejos que deben ser seguidos en forma multidisciplinaria.

Ultrafiltración y terapias lentas

Dado que existen casos en que sólo se debe sacar agua del paciente, se realizan procesos de diálisis que realizan ultrafiltración. Este procedimiento puede realizarse con el mismo dispositivo descrito para la hemodiálisis, pero no se recircula líquido de diálisis. La sangre pasa a presión por los capilares y se pierde agua. Existen diferentes formas de ultrafiltración: aislada (con una sesión se soluciona el caso), terapias lentas continuas (repetidas sesiones o una de duración prolongada).

Existen dispositivos específicos para realizar ultrafiltración y son similares a los de hemodiálisis pero tienen mayor cantidad de bombas que no sólo permiten sacar volúmenes de líquidos sino que administran importantes cantidades de líquidos de reposición.

Los dispositivos nombrados hacen posible la pérdida de volumen corporal, a lo largo de horas y muy lentamente. Se usan en casos críticos como lo son los pacientes sépticos o con insuficiencia cardíaca.

Diálisis Peritoneal

Se basa en la utilización como filtro de las membranas semipermeables muy vascularizadas del abdomen (peritoneo). Se realiza introduciendo un líquido hiperosmolar al abdomen. El mismo ingresa desde una bolsa con solución dializadora estéril, a través de un catéter colocado en el abdomen que llega al peritoneo desde el exterior. La salida de este baño de diálisis conteniendo sustancias tóxicas, se hace por el mismo catéter y es recolectado en otra bolsa. El volumen recogido es pesado para calcular el agua corporal perdida.

La diálisis peritoneal tiene bases fisiológicas muy válidas. Los líquidos, los desechos y las sustancias químicas pasan de los pequeños vasos sanguíneos del abdomen a la solución dializadora, a través del peritoneo visceral. Después de varias horas, se retira el dializado del abdomen y con él salen todos los desechos de la sangre. A continuación se vuelve a llenar el abdomen con solución dializadora nueva y se repite el proceso cuatro veces por día. Existen máquinas que permiten el intercambio de las bolsas en forma automática, las cuales se denominan “cicladoras”. El método se denomina diálisis peritoneal automatizada y los cambios se realizan durante la noche. Este tipo de tratamiento le da al paciente una mayor libertad para desenvolverse sobre todo si es joven y tiene actividad laboral. Igualmente existen criterios de elección para el ingreso a esta modalidad. Otra forma para lo cual se usa la diálisis peritoneal es en casos de insuficiencia renal aguda y en casos con sobrecargas de líquidos como en la insuficiencia cardíaca.

Transplante renal

Aunque poco publicitado, el transplante renal es de los trasplantes de órganos vitales que más éxito han tenido en la práctica médica. Sin embargo la escasez de donantes restringe ésta práctica. Cuando un riñón se trasplanta y funciona bien, la persona vuelve a hacer vida completamente normal y en poco tiempo pueden desaparecer problemas como la anemia o las lesiones en huesos, músculos y nervios.

Pero el paciente debe enfrentar ciertas responsabilidades que implican el cuidado del órgano, cumplir con la medicación, concurrir a controles repetidos en su centro de trasplante, entre las más importantes. El transplante renal no dura de por vida y su promedio de sobrevida es de aproximadamente 10 años. Si tiene rechazo el paciente debe reingresar a diálisis.

BIBLIOGRAFÍA

Ahmad S. Manual of Clinical Diálisis. Segunda Edición, Springer, Washington, USA; 2009.

- Brenner B, Brenner & Rector's. El Riñón: Tratado de Nefrología. 7ª edición. Saunders Company, Philadelphia, Pennsylvania; 2004.
- Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. Second Edition, Volume I. CRC Press, Printed in the USA; 2000.
- Brunton LL, Lazo JS, Parker KL. Las bases farmacológicas de la Terapéutica. Undécima Edición Mc Graw Hill. Colombia; 2006.
- Cabrera Fischer EI. Bases de la Fisiología Humana normal y alterada: un enfoque para ingenieros clínicos. Editado por la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Segunda Edición, Argentina; 2007.
- Cruz J, Maarolo Cruz hM, MMastroianni G, Toledo Barrios R. Atualidades em Nefrologia. Sarvier, San Pablo, Brasil; 2008.
- Daugirdas JT y col. Manual de Diálisis. 2ª edición. Masson. Barcelona, España; 2003.
- Dvorkin M, Cardinali D. Bases fisiológicas de la práctica médica. 13ª edición. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina; 2003.
- Galli CN, Gallart MC. Renal function replacement therapies in heart failure. En: Fischer EIC, Juffe Stein A, Balaguer J. Cardiovascular Failure, Pathophysiological bases and Management. Editada por Ediciones del Valle, Buenos Aires, Argentina; 2005.
- Ganong WF. Fisiología Humana. Manual Moderno 17ª edición. México DF; 2000.
- Guyton A, Hall J. Fisiología Médica, Elsevier, Barcelona, España; 2011.
- Hansen JT, Koeppen BM. Atlas de Fisiología Humana de Netter. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2003.
- Hernando Avendaño L. Nefrología Clínica. Editorial Panamericana. Segunda edición. Buenos Aires, Argentina; 2004.
- Johnson LR. Essential Medical Physiology. Elsevier Academic Press, Tercera Edición, New York, USA; 2003.
- Kapit W, Macey RI, Meisami. The Physiology. Second Edition, New York, USA; 2000.
- Lorenzo Sellarés V, Torres Ramírez A, Hernández Marrero D, Ayus JC. Manual de nefrología. Editorial Harcourt, 2ª edición. Madrid, España; 2002.
- Mautner B. Medicina. Centro Editor de la Fundación Favaloro; 2003.
- Netter FH. Atlas de Anatomía Humana. Tercera Edición. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2004.
- Pisciottano D. Nefrología clínica y medio interno. Akadia, Buenos Aires; Argentina; 2005.
- Raven PH, Johnson GB. Biology. Mc Graw Hill, Sexta Edición, USA; 2001.
- Schrier R. Nefrología. Editorial Marban, 5ª edición, Madrid, España; 2001.

CAPÍTULO VII

SISTEMA NERVIOSO

Estructura: Corteza Cerebral. Bulbo, Protuberancia y Médula Espinal. Hipotálamo y Sistema Límbico. Nervios y plexos nerviosos. Médula suprarrenal. Aparato vestibular.

Función: Sinapsis. Función del sistema nervioso. Estímulos nerviosos. Sensaciones somáticas. Funciones intelectuales. Cerebelo, automatismo y marcha. Función bulbar y protuberancial. Sistema simpático. Sistema parasimpático. Receptores. Reflejos. Función de la médula espinal. Sueño y vigilia. Sueño paradójico.

Alteraciones: Dolores. Disfunción nerviosa. Inestabilidad de circuitos neuronales. Traumatismos nerviosos. Cefaleas. Epilepsia. Disritmias. Reflejos medulares. Sección de médula espinal. Hipertensión endocraneana. Atrofia muscular de origen nervioso. Tumores. Alteraciones de la visión. Alteraciones del equilibrio.

Diagnóstico: Radiografía, Tomografía computada, Angiografía de vasos de cuello. Punción raquídea.

Terapéutica: Punción raquídea. Terapia farmacológica. Trepanación craneal. Cirugía craneal.

Estructura: Corteza Cerebral. Bulbo, Protuberancia y Médula Espinal. Hipotálamo y Sistema Límbico. Nervios y plexos nerviosos. Médula suprarrenal. Aparato vestibular.

El sistema nervioso tiene como constituyente fundamental a las neuronas, las cuales se estima que existen en un número aproximado de 100.000 millones. El mayor número de ellas está en el sistema nervioso central o sea intracraneales y dentro del conducto raquídeo. Existe también un sistema celular de sostén: la neuroglia. En el sistema nervioso periférico, fuera del cráneo y conducto raquídeo, las células de sostén lo conforman las células de Schwann.

Las neuronas están constituidas por un cuerpo celular que posee prolongaciones llamadas dendritas, por donde ingresan los estímulos. Además, las neuronas tienen una prolongación que puede ser de hasta 1 metro de largo, llamada axón. Los axones se ramifican terminando en botones sinápticos.

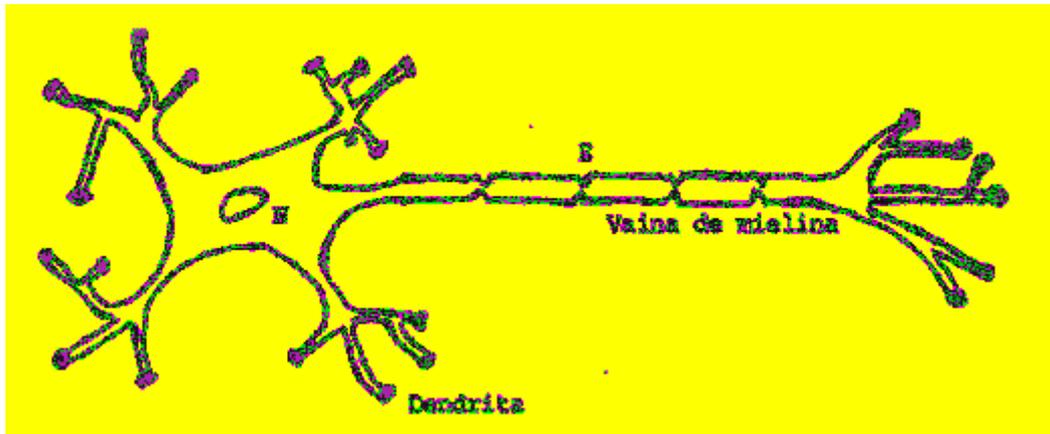
La unidad de funcionamiento del sistema nervioso es la sinapsis, éste es el lugar en donde una ramificación neuronal toma contacto con el cuerpo u prolongación de la siguiente neurona.

Las funciones nerviosas más elementales del humano son realizadas por un sistema de integración que toma las señales nerviosas que le llegan por fibras sensitivas y luego de un procesamiento devuelve señales nerviosas que salen por vías motoras para originar respuestas musculares. Un estímulo, por ejemplo el calor intenso en una mano, genera una corriente electroquímica que viaja por vías sensitivas y llega al sistema nervioso central, el individuo toma conocimiento de la información y decide retirar la mano del lugar y ello lo logra generando señales que viajan por vías nerviosas motoras.

El sistema nervioso puede clasificarse en central (encéfalo y médula) y periférico (nervios). Como se dijo antes las fibras sensitivas llevan información al sistema nervioso central (son fibras aferentes) y las respuestas salen por nervios craneales y nervios raquídeos (son fibras eferentes).

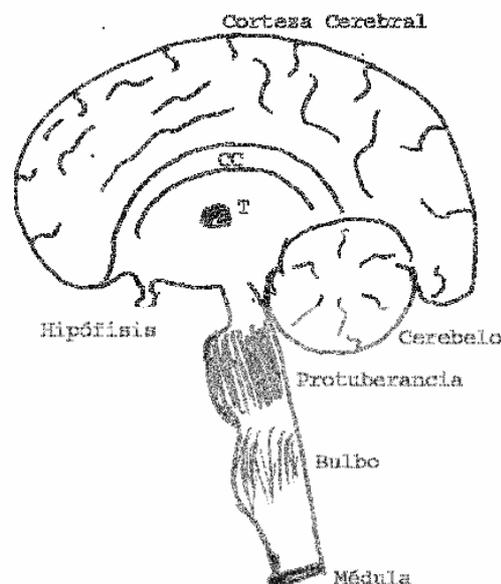
Los nervios que emergen de la médula espinal pueden volver a juntarse y conforman plexos, que son entrecruzamientos de fibras nerviosas observables a simple vista. La función es establecer conexiones que luego salen para ir a sitios precisos. Un ejemplo de plexo es el Plexo Braquial que tiene a cargo la inervación de los miembros superiores.

La cavidad craneana y el conducto raquídeo contienen al sistema nervioso central. Los nervios con los que se relaciona con el resto del cuerpo, pasan por los agujeros intervertebrales y los agujeros de la base del cráneo. La médula espinal se encuentra en el conducto raquídeo y por otro lado cerebro, cerebelo, bulbo y protuberancia se encuentran en interior del cráneo.



Esquema de una neurona, el cuerpo celular posee un núcleo (N) y emite prolongaciones llamadas dendritas y un axón (derecha) que poseen botones terminales. Dendritas y axón tienen una vaina de mielina con estrangulaciones (E).

En un corte sagital u horizontal del sistema nervioso central se observan zonas pálidas y otras oscuras. Los cuerpos celulares dan una tonalidad más oscura a la masa encefálica y ello es evidente en la corteza y en los núcleos cerebrales. Existen en la base del cerebro núcleos conformados por cuerpos neuronales. Los núcleos toman distintos nombres siendo el tálamo óptico, uno de ellos. El tálamo óptico se encuentra en las cercanías del hipotálamo, que es una formación en estrecha relación con la hipófisis. Hay núcleos de la base del cráneo en relación con la Hipófisis. La hipófisis o pituitaria es una glándula de secreción interna y se relaciona con lo que se ha dado en llamar eje hipotálamo-hipofisario. La función secretoria de la hipófisis es de tipo interna, endocrina, o sea que se vuelca a la sangre, tal como lo hace la médula suprarrenal.



Corte sagital del sistema nervioso central. La unión entre los dos hemisferios cerebrales la realiza el Cuerpo Calloso (CC). Por debajo del cual se encuentra el Tálamo (T) y otros núcleos que son ricos en cuerpos neuronales. La zona inferior se llama hipotálamo y da origen a la hipófisis.

Existen otros núcleos en la base o hipotálamo que toman nombres tales como: dorso medial (estimula la parte gastrointestinal), perifornical (estimula el hambre), Supraóptico (control del

agua), paraventricular (relacionado con la sed y otras funciones). El sistema límbico está relacionado con el olfato y la función sexual.

El encéfalo es hueco y existen cavidades como el tercer ventrículo y los ventrículos laterales. Tanto las cavidades mencionadas como toda la periferia del sistema nervioso central, se encuentran bañadas por el líquido cefalorraquídeo.

La médula suprarrenal o glándulas adrenales (una derecha y otra izquierda) son productoras de adrenalina y noradrenalina, las cuales son mediadores de impulsos nerviosos. Estos mediadores se transmiten por la vía sanguínea.

Función: sinapsis. Función del sistema nervioso. Estímulos nerviosos. Sensaciones somáticas.

Una respuesta nerviosa muy simple sería la correspondiente a un estímulo muy intenso, un pinchazo por ejemplo, el cual genera una respuesta de alejamiento inmediata. En este caso el estímulo desencadena un reflejo, el cual se llama así porque es tan simple como la imagen lumínica generada en un rostro (por ejemplo) que se refleja en un espejo y vuelve a ser percibida (captada por los ojos). En el caso del pinchazo en la piel, el estímulo se transmite por una fibra sensitiva hacia la médula espinal, retornando una señal desde el área motora de la misma médula. El impulso se transmite a la periferia para generar la contracción de al menos un músculo que determina que la parte afectada se aleje de la fuente del dolor. Si bien la señal llega finalmente a los centros superiores (corteza cerebral), la respuesta se produjo antes por la vía del reflejo nervioso ya mencionada.

Las señales se transmiten de una neurona a otra o a los órganos efectores por acción de los botones sinápticos que son secretores de sustancias que se llaman transmisores: acetil colina, noradrenalina, adrenalina, dopamina, serotonina, ácido gamma aminobutírico y otros.

Los estímulos que llegan a los centros corticales superiores (corteza) o de la base (núcleos) pueden ser de diversa índole. Hay casos en que los estímulos son captados por verdaderos transductores, como es el caso de los sonidos. Así por ejemplo los sonidos son transmitidos por la cadena de los huesecillos que se encuentran en el interior de la membrana del tímpano. Los huesecillos son el yunque, el martillo y el estribo. Este último, cuando hay vibraciones comprime la ventana oval que esta comunicada con el caracol, una formación que tiene líquido en el interior. El caracol esta compuesto por tubos separados que se llaman rampa vestibular, rampa timpánica y rampa media. Las ondas mecánicas que transmite el estribo se transforman en eléctricas dentro del caracol, en una formación llamada órgano de Corti y son enviadas al sistema nervioso central.

A nivel neuronal, los estímulos van a transcurrir por distintas partes de la célula. Los axones de una neurona se comunican mediante la sinapsis con el cuerpo de otra neurona (axo-somática) o con las dendritas de otra neurona (axo-dendríticas). Cada neurona tiene numerosas terminaciones sinápticas.

Los botones pre-sinápticos tienen sustancias tales como acetil colina, glicina y catecolaminas. Un impulso nervioso es el pasaje de un estímulo de una neurona a otra. En esta transmisión se liberan sustancias como la Adrenalina, la Acetil Colina. Luego son metabolizadas, así Adrenalina y Noradrenalina son transformadas en otras sustancias por la Monoaminoxidasa y la catecolortometiltransferasa, respectivamente.

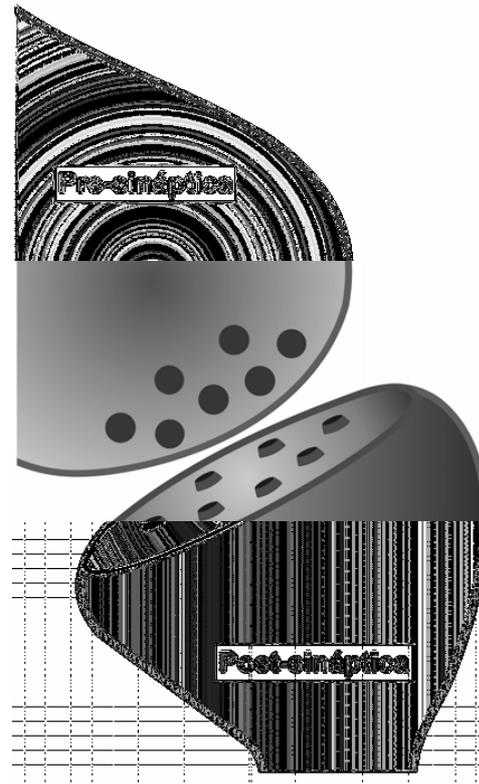
El sistema nervioso genera en el cuerpo reacciones musculares u hormonales según sea el caso. Así en las uniones neuromusculares se libera acetil colina y ello determina un potencial de acción que ocasiona una contracción muscular.

La parte sensitiva del sistema nervioso periférico es la que va a proveer de sensaciones al sistema nervioso central (cerebro, bulbo, protuberancia, cerebelo y médula espinal). Estas sensaciones son de índole diversa: frío, luz, tacto, gusto, olfatorias y también existen otras que no son

conscientes: presión osmótica del plasma, temperatura de la sangre, presión sanguínea central, tensión muscular, posición postural (articulaciones).

Las terminaciones periféricas de los nervios son de índole diversa, así existen terminaciones libres, corpúsculo de Meissner, Pacini, Ruffini, Merkel, Krause. No es clara la función de cada uno de ellos, no obstante que se sabe que los Meissner y Pacini son sensibles al tacto de adaptación rápida y los de Merkel y Ruffini para el de adaptación lenta.

Fisiológicamente, un haz lumínico lo que hace es estimular a conos y bastones que se encuentran en la retina, y luego el nervio óptico va a llevar la señal al sistema nervioso central. Esto es lo que ocurre en general con los estímulos que hacen posible la adaptación al medio ambiente.

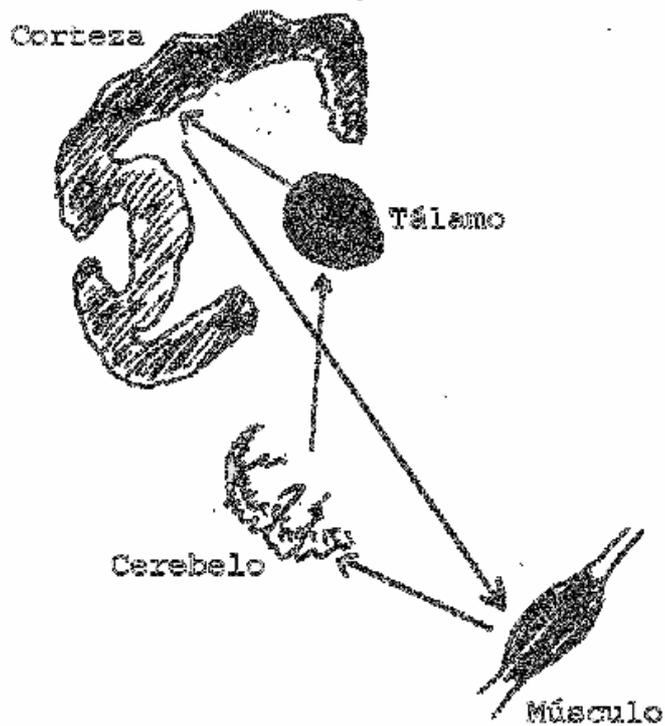


La sinapsis es la relación entre una terminación nerviosa y otra parte de una neurona. Los corpúsculos de secreción van a realizar su efecto en los receptores post sinápticos.

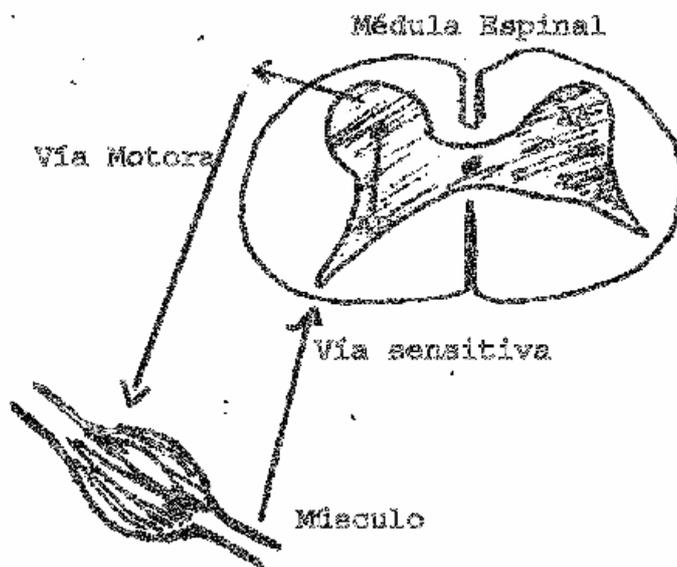
Las sensaciones somáticas están referidas al cuerpo humano, así los estímulos propioceptivos dan idea de una imagen corporal al informar de la posición del cuerpo en el espacio. Los husos musculares están registrando de alguna manera el grado de tensión de ese músculo y se sabe así de la posición del cuerpo.

Si bien existen receptores a los que se los relaciona con sentidos específicos, no es clara la naturaleza de las sensaciones y ha dado origen a diversas teorías. Así la Doctrina de las “Energías Nerviosas Específicas” de 1835 decía que las fibras tenían como función llevar una sensación, y solo una. De tal manera que estimular en el codo hacia que lo que el paciente percibía era una señal de tacto.

Otro ejemplo que habla a las claras de la complejidad del tema es el de la Ley de Proyección, así el estímulo cortical de una zona del cerebro hace que el sujeto lo perciba como un estímulo en una mano por ejemplo, cuando en realidad no se la ha tocado. Los miembros “fantasmas” son muy elocuentes a este respecto, los pacientes sienten dolores de miembros que les han sido amputados.



Vías nerviosas. Un estímulo cualquiera que parte de un músculo viaja hacia el cerebelo, el cual lo sensa, luego va a un centro sensitivo, el tálamo y posteriormente a la corteza cerebral que elabora una respuesta que vuelve al músculo.



Esquema de un reflejo nervioso. Un estímulo cualquiera que parte de un músculo viaja hacia el Asta Posterior (AP) de la médula, luego el Asta Anterior (AA) manda una respuesta motora hacia el mismo lugar de donde partió el estímulo.

El reflejo patelar es muy popular y es un ejemplo de lo simple que puede ser el sistema nervioso. Normalmente los tendones tienen receptores de estiramiento y sirven como sensores de posición: si lateralizamos el cuerpo hacia un lado se contraen los músculos del lado opuesto y el cuerpo vuelve a estar vertical. Esto se hace en forma inconsciente. Si por otro lado, artificialmente se

provoca un estiramiento de los sensores de un tendón (el rotuliano de la rodilla, por ejemplo) hay una contracción muscular brusca. Normalmente el médico provoca el estiramiento del tendón rotuliano con una percusión y genera una onda sensitiva que produce contracción al volver una orden motora de contracción muscular (una especie de puntapié).

Funciones intelectuales. Cerebelo, automatismo y marcha. Función bulbar y protuberancial.

Una actividad nerviosa muy simple es el arco reflejo. En la médula espinal hay zonas grises con cuerpos neuronales y otras más pálidas que corresponden a las vías nerviosas.

Los impulsos sensitivos arriban a las astas dorsales de la sustancia gris y las vías motoras salen con la respuesta por las raíces ventrales. El ejemplo del reflejo patelar antes citado se ajusta a esta descripción. Un receptor de estiramiento de un tendón manda la información y vuelve una respuesta.

Las vías sensitivas tienen representaciones en la corteza cerebral, un reflejo es una respuesta rápida que no es elaborada en la corteza cerebral. Por otro lado cuando hay audición, gusto, luz se producen imágenes más elaboradas, esta información tiene localización en la corteza cerebral y las respuestas también lo son. Estas representaciones se conocen por estudios realizados en animales, cirugías humanas y estudios de tomografía por emisión de positrones.

Por lo antes expuesto, las sensaciones de tacto, temperatura, estímulos propioceptivos (articulaciones), dolor, dolor visceral, van a tener zonas propias en el cerebro. La información sensitiva derivada de la actividad postural (articulaciones) va al cerebelo.

En el globo ocular, la luz atraviesa la córnea, la cámara anterior, el cristalino, el humor vítreo y va a estimular conos y bastones de la retina. Esta información sensitiva es llevada por el nervio óptico (segundo par craneal). Los nervios ópticos se entrecruzan en el quiasma óptico y luego por la cintilla óptica hacen escala en el núcleo geniculado lateral y van a terminar en la corteza occipital.

Algo semejante pasa con los sonidos que van a determinar que al llegar a la membrana del tímpano se desencadenen estímulos mecánicos que al actuar sobre la cadena de los huesecillos (estribo, yunque y martillo) hacen que el estribo genere una onda. El sonido usualmente viaja en el aire a 344 metros sobre segundo. Pero en agua salada es mayor (una ballena puede ser escuchada a 800 Km.). El humano escucha entre 20 y 20.000 ciclos por segundo. Volviendo al estímulo que generó un movimiento del estribo, éste mueve una membrana que lo separa de un líquido, la perilinfa que viaja en la cóclea, esto estimula el órgano de Corti y se generan potenciales de acción proporcionales a la intensidad del estímulo. Los estímulos nerviosos viajan por vías que tienen escalas en bulbo, protuberancia y llegan a distintas áreas de la corteza cerebral, como la de Broca.

El gusto y el olfato tienen una configuración semejante a las descriptas partiendo de papilas gustativas y de una mucosa olfatoria respectivamente.

El cerebelo tiene representaciones como el cerebro y esta ligado a actividades que requieren de automatismo. La actitud postural y el aprendizaje son funciones que se encuentran íntimamente relacionadas con el cerebelo. Si el caso fuera que el cerebro debiera estar controlando en todo momento la actitud postural, por ejemplo, las actividades intelectuales superiores verían restringido su campo de actividad. Un ejemplo práctico es el del ciclista que usualmente está pensando en un tema cualquiera o conversando con su acompañante y presta mínima atención al equilibrio e impulsión de su vehículo. Algo impensable en los inicios de su aprendizaje como ciclista en donde toda actividad cerebral estaba focalizada en mantener el equilibrio al mismo tiempo que accionaba sus miembros inferiores.

El bulbo y la protuberancia contienen vías nerviosas sensitivas ascendentes y vías motoras descendentes en forma semejante a la médula espinal. Además poseen núcleos grises que están relacionados con la respiración, el aparato circulatorio y otros.

Sistema simpático. Sistema parasimpático. Receptores. Reflejos. Función de la médula espinal.

En la vida de relación el humano está consciente de una parte de la realidad. Así puede actuar de acuerdo a lo que ve, escucha y siente. Pero hay actividades que las puede hacer en forma consciente o no, tal es el caso de la respiración. Los humanos pueden tener una respiración automática, por ejemplo durante el sueño; o por el contrario respirar a voluntad.

Existe un sistema nervioso encargado de funciones que se realizan en forma automática, es el caso de la digestión por ejemplo. En situaciones fisiológicas el humano no realiza ninguna actividad consciente relacionada con la digestión de los alimentos que en forma consciente incorporó y va a eliminar.

El sistema nervioso autónomo se maneja con arcos reflejos. Está constituido por un sistema simpático y otro parasimpático. También podría dividirse de acuerdo a los mediadores químicos involucrados en colinérgico y noradrenérgico. No existe una regla de la acción que va a desencadenar cada uno de ellos. Así el parasimpático a nivel cardiaco es inhibitorio y a nivel intestinal es estimulador. Una descarga simpática va a determinar una contracción del músculo liso a nivel vascular pero una descarga parasimpática va a determinar un estímulo a nivel del músculo liso intestinal.

Las fibras nerviosas tienen mediadores que también pueden ser llevados por la sangre. En el caso de la acetilcolina es más difícil porque su vida media es extremadamente corta. Los efectos de estas sustancias se realizan a través de receptores que se designan con letras griegas: alfa, beta y otras. Los receptores se encuentran en la membrana celular de tejidos de distintos lugares del cuerpo y tienen una distribución heterogénea.

Los arcos reflejos se producen en distintas zonas, pueden ser bulbares, espinales. En forma práctica se podría decir que las acciones más simples se realizan a nivel de la médula espinal. Cuanto más compleja la actividad, más tienen que ascender en lo que a estructuras del sistema nervioso se refiere.

Sueño y vigilia. Sueño paradójico.

El estado de conciencia es fácil de comprender, en tanto que el de sueño es una situación fisiológica que, lejos de ser pasiva, tiene una compleja actividad encefálica que involucra movimientos musculares y de actividad autonómica que han sido motivo de numerosos estudios.

La falta de sueño es causa de trastornos que pueden llevar al individuo a la psicosis. Existiendo toda una gama de alteraciones con mayor o menor gravedad.

Existe un periodo del sueño llamado paradójico o REM (Rapid Eyes Movements: movimientos rápidos de los ojos). En este período el registro eléctrico (electroencefalograma) muestra que las ondas lentas de gran amplitud son reemplazadas por ondas rápidas. Se producen movimientos oculares rápidos y existen otros cambios fisiológicos. La consideración de paradójico surge del hecho de estimar que el sueño es usualmente sinónimo de descanso o inactividad.

La actividad durante el sueño puede llegar a ser tan intensa que en pacientes con alteraciones arteriales previas llegan a sufrir episodios de isquemia miocárdica.

Alteraciones: Dolores. Disfunción nerviosa. Inestabilidad de circuitos neuronales. Traumatismos nerviosos. Cefaleas. Epilepsia. Disritmias. Reflejos medulares. Sección de médula espinal.

Las enfermedades que afectan el sistema nervioso son variadas. La inflamaciones, neuritis, encefalitis, meningitis (inflamación de las membranas serosas que rodean el encéfalo) tienen

orígenes variados, infeccioso, inmune, etc. Existen como en todo el cuerpo aquellas lesiones debidas a traumas y en otros casos no se puede demostrar daño como estructural como es el caso de los espasmos vasculares a los que se les han atribuido ciertas cefaleas (dolor de cabeza).

Si un nervio es cortado, sufre un proceso de degeneración de tipo Walleriana, o sea que todo lo que es distal al cuerpo neuronal pierde su estructura normal. En consecuencia un tejido u órgano cuya función se realiza en mayor o menor dependencia de los estímulos nerviosos, va carecer de estos últimos. En consecuencia se producen cambios que a simple vista son notorios. Los casos pueden ser de paresia (disminución de la motilidad de una parte del cuerpo), parálisis o parestesias (sensaciones anormales en una parte del cuerpo).

Cuando existen focos de excitación nerviosa se producen disrritmias, siendo la epilepsia uno de ellos. Si por el contrario la excitación nerviosa no puede llegar a los músculos lo que se producen son casos de hemiplejia (medio cuerpo paralizado), paraplejia (todo el cuerpo) o paresias (no alcanza a paralizarse y queda alguna actividad motora-sensitiva). Esto ocurre en casos en que hay cortes en la médula, o lesiones a nivel central. La hemiplejia es la parálisis de medio cuerpo de un lado (derecho o izquierdo). La cuadriplejia es la parálisis que afecta tanto al cuerpo como a miembros superiores e inferiores. La paraplejia es la parálisis de la mitad inferior del cuerpo. Para las parestesias se usa similar denominación.

La Miastenia Gravis es una enfermedad que afecta los músculos y es ocasionada por el bloqueo de la acetil colina por anticuerpos. En consecuencia los nervios no pueden estimular los músculos esqueléticos y no se puede producir contracción muscular.

Hipertensión endocraneana. Atrofia muscular de origen nervioso. Tumores. Alteraciones de la visión. Alteraciones del equilibrio.

Las inflamaciones encefálicas y derrames intracraneanos desencadenan cuadros de hipertensión endocraneana. Además, el líquido cefalorraquídeo que normalmente baña al sistema nervioso puede tener aumentos en su presión generar trastornos graves.

Las infecciones también pueden afectar al sistema nervioso. Es el caso de las meningitis que afectan a las serosas que recubren el encéfalo. Hay enfermedades de origen infeccioso que pueden determinar atrofas musculares debido a la falta de uso de músculos esqueléticos (poliomielitis, síndrome de Guillain-Barré). El músculo que pierde la inervación va a tener dos caminos, según se trate de músculo esquelético o músculo liso. Un músculo esquelético es capaz de sufrir atrofia, en el caso del músculo liso, no se atrofia y se hace hiper-respondiente a la Acetil Colina.

Las compresiones que puede producir una masa tumoral ocasionalmente generan alteraciones de la visión. Ello se debe a alteraciones de las vías sensitivas, siendo ciertos tumores de la base de cráneo causantes del trastorno.

El equilibrio depende de varios factores y todos ellos ligados al sistema nervioso. Las alteraciones del equilibrio como la cinetosis involucran alteraciones que comprenden distintos órganos, así por ejemplo alteraciones de los canales semicirculares (oído), del cerebelo o de la visión los pueden desencadenar.

Diagnóstico: radiografía, tomografía computada, Angiografía de vasos de cuello. Punción raquídea.

La exploración clínica en el paciente neurológico es muy importante porque orienta el diagnóstico y sirve para saber cuales son los estudios complementarios que se deben realizar en cada caso en particular. El médico utiliza el interrogatorio y su observación sobre la evolución de la enfermedad. Así la pérdida de masas musculares de los interóseos de las manos habla de un proceso ya establecido. En cambio la pérdida brusca de sensibilidad en el mismo lugar es signo de un proceso agudo y el paciente recuerda cuando comenzó.

Los estudios diagnósticos complementarios de la clínica neurológica pueden ser de tipo invasivo

como no invasivo. Entre los primeros se encuentran: los Rayos X, la tomografía por emisión de positrones y la tomográfica computada. Los estudios funcionales como el electroencefalograma que permiten la detección de focos de disritmias. Los estudios con isótopos proveen de información anatómica y funcional.

La arteriografía de vasos de cuello permite conocer el estado de los vasos arteriales.

La punción raquídea permite el análisis del líquido cefalorraquídeo y tiene importancia diagnóstica fundamental en cuadros agudos severos.

Terapéutica: Punción raquídea. Terapia farmacológica. Trepanación craneal. Cirugía craneal.

La punción raquídea, realizada por debajo de la segunda vértebra lumbar tiene importancia terapéutica, además de pronóstica. En casos de hipertensión del líquido cefalorraquídeo permite una descompresión.

Desde el punto de vista de la farmacología, la medicación relacionada al encéfalo se encuentra tanto en el campo de la neurología como de la psiquiatría. Básicamente se trata de drogas estimulantes y de fármacos depresores. Los mecanismos por los que producen sus efectos son muy variados ya que existen inhibidores de impulsos nerviosos estimulantes de un órgano, y en este caso la respuesta es una inhibición de la función. Pero puede haber inhibidores de impulsos nerviosos inhibidores por lo que la respuesta del órgano va a ser un estímulo, en este caso.

La farmacopea relacionada al sistema nervioso central se ha enriquecido en las últimas décadas con el esclarecimiento de la fisiopatología de padecimientos neurológicos y psiquiátricos.

La Hipófisis es una glándula que tiene dos partes, la posterior en relación con el tejido nervioso a través de neuronas y produce vasopresina y oxitocina. La otra porción es la anterior, que es una migración de tejidos faríngeos embrionarios y se encuentra en relación con el hipotálamo a través del sistema porta hipotálamo-hipofisario. Las hormonas que se producen en la hipófisis anterior son: adrenocorticotrofina, tirotropina, hormona de crecimiento, foliculoestimulante, luteinizante y prolactina. Las hormonas hipofisarias a su vez tienen efectos sobre la secreción de otras hormonas. Se dice que se hace una terapéutica de sustitución, cuando al faltar una hormona se la administra a partir de productos de la industria farmacéutica.

En los casos de las neoplasias intracraneales, independientemente de que fueran malignas o benignas, tienen efectos indeseables que pueden ser independientes de su malignidad y de su tamaño. Ello se debe a que el crecimiento se realiza dentro de una cámara cerrada y necesariamente ambos, benignos y malignos, van a producir compresión de estructuras nerviosas.

En los cuadros de hipertensión endocraneana podría indicarse la realización de una trepanación craneal. Ésta cirugía involucra pasar a través del cráneo y realizan maniobras quirúrgicas en el encéfalo. Tiene antecedentes lejanos en la medicina y se la relaciona con hemorragias intracraneales que al generarse en una cavidad cerrada van a producir compresión encefálica.

Hay sitios en donde la cirugía no puede llegar y ello se pone de manifiesto tanto cuando se trata de tumores como de cuerpos extraños. Es el caso de proyectiles, los cuales para ser extirpados sería preciso atravesar tejidos nerviosos vitales o con relevancia fisiológica importante.

Los traumatismos craneales con o sin pérdida de masa encefálica van a tener repercusiones en el resto del cuerpo de acuerdo a las zonas involucradas, sean ellas sensitivas, motoras o de asociación.

Las obstrucciones arteriales generan isquemias del tejido nervioso, al igual que en los casos de hemorragias intracraneales por ruptura de un aneurisma arterial.

BIBLIOGRAFÍA

- Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. Second Edition, Volume I. CRC Press, Printed in the USA; 2000.
- Brunton LL, Izzo JS, Parker KL. Las bases farmacológicas de la Terapéutica. Undécima Edición Mc Graw Hill. Colombia; 2006.
- Cabrera Fischer EI. Bases de la Fisiología Humana normal y alterada: un enfoque para ingenieros clínicos. Editado por la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Segunda Edición, Argentina; 2007.
- Cingolani HE, Houssay AB. Fisiología Humana de Houssay. El Ateneo, Buenos Aires; 2000.
- Del Río Miguel. Función cardiopulmonar y sus aspectos clínicos y terapéuticos. Editorial Intermédica S.A.I.C.I., Buenos Aires, Argentina; 2009.
- Dvorkin M, Cardinali D. Bases fisiológicas de la práctica médica. 13^{ava} edición Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina; 2003
- Fischer EIC, Juffe Stein A, Balaguer J. Cardiovascular Failure, Pathophysiological bases and Management. Editada por Ediciones del Valle, Buenos Aires, Argentina; 2005.
- Ganong WF. Fisiología Humana. Manual Moderno 17^{ava} edición. México DF; 2000.
- Guyton A, Hall J. Fisiología Médica, Elsevier, Barcelona, España; 2011.
- Hansen JT, Koepfen BM. Atlas de Fisiología Humana de Netter. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2003.
- Johnson LR. Essential Medical Physiology. Elsevier Academic Press, Tercera Edición, New York, USA; 2003.
- Kapit W, Macey RI, Meisami. The Physiology. Second Edition, New York, USA; 2000.
- Mautner B. Medicina. Centro Editor de la Fundación Favaloro; 2003.
- Netter FH. Atlas de Anatomía Humana. Tercera Edición. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2004.
- Raven PH, Johnson GB. Biology. Mc Graw Hill, Sexta Edición, USA; 2001.

CAPÍTULO VIII

ÓRGANO DE LA VISIÓN

Estructura: Conformación del globo ocular. Nervio óptico. Quiasma óptico. Células: bastones y conos. Conducto de Schlemm. Músculos del ojo.

Función: Sensibilidad a la luz. Función de los elementos constitutivos del globo ocular. Conformación de la imagen en la retina. La señal foto-eléctrica. El campo visual. Vías nerviosas de conducción del estímulo lumínico.

Alteraciones: Miosis y midriasis. Conjuntivitis. Queratitis. Escleritis. Glaucoma. Cataratas. Hipermetropía, Miopía, Presbicia. Astigmatismo. Exoftalmia, ptosis y estrabismo. Amaurosis, hemeralopia. Daltonismo. Hemianopsia. Nistagmo.

Diagnóstico: Examen del campo visual. Examen de la visión coloreada. Fondo de ojo. Tonometría.

Terapéutica: Terapéutica: Lentes, medicamentos, cirugía.

El conocimiento es definido como la “imagen interior” que el sujeto hace del objeto. La imagen mencionada se conforma por la percepción de estímulos de naturaleza diversa, siendo la luz que proviene de los objetos uno de ellos.

Estructura: Conformación del globo ocular. Nervio óptico. Quiasma óptico. Células: bastones y conos. Conducto de Schlemm. Músculos del ojo.

En mayor o menor medida la luz es un estímulo que genera reacciones en los seres vivos, aún en el caso de vegetales. Un ejemplo colorido es una planta conocida mundialmente con el nombre de “Girasol”, vocable que en otros idiomas ha sido traducido con igual significación.

En el humano hay un sistema especializado que tiene estrecha conexión con el sistema nervioso. El lugar en donde las señales lumínicas toman contacto con el aparato visual del humano es el globo ocular.

La visión humana es capaz de distinguir formas, colores, movimientos y profundidad de los objetos que se encuentran alrededor. Para ello es preciso que a los movimientos de la cabeza y cuello se le sumen los generados por pequeños músculos que mueven los globos oculares.

La capa mas externa de un globo ocular es la **córnea** en la parte anterior y la **esclerótica** en el resto del perímetro. Tanto la esclerótica como la pared interna de los párpados están cubiertas por una finísima mucosa que se llama **conjuntiva** y mantiene las superficies humidificadas.

Por dentro de la capa más periférica se encuentra la úvea, constituida por el **iris**, el **cuerpo ciliar** y la **coroides**. Se trata de una capa que tiene funciones varias y entre ellas la nutrición, al estar muy vascularizada.

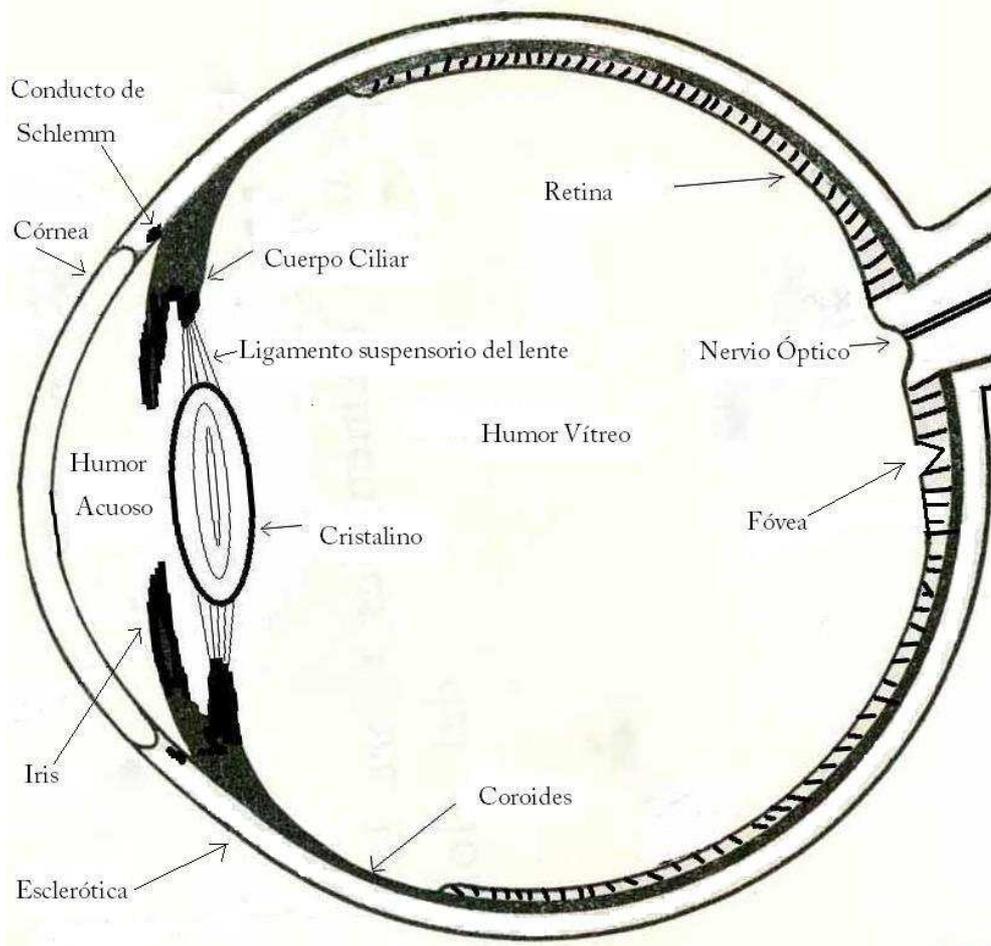
El **crystalino** es una lente biconvexa que se encuentra fijada por el **ligamento suspensorio del cristalino**, por delante se encuentra el **humor acuoso** y por detrás el **humor vítreo**. El humor acuoso, se encuentra entre la córnea y el cristalino y se forma en el cuerpo ciliar. El humor vítreo contribuye a mantener la forma esférica del globo ocular.

En la unión de la córnea con la esclerótica, en el sitio cercano al cuerpo ciliar se encuentra el **conducto de Schlemm**.

La **pupila** es el espacio delimitado por los bordes internos del iris.

La capa celular más interna del globo ocular es la **retina**, que contiene células capaces de reaccionar a los estímulos lumínicos: los **conos** y los **bastones**. En la parte posterior hay una

zona central llamada **mancha amarilla**, que tiene una incisura que se llama **fóvea**. La retina es una suerte de pantalla en donde se forman imágenes bidimensionales invertidas, las cuales luego, en el cerebro, retoman la posición real del objeto.



Anatomía del globo ocular.

El Globo ocular posee músculos intrínsecos y extrínsecos. Los **músculos intrínsecos** se encuentran en el interior y son: músculo del cuerpo ciliar, en conexión con el ligamento suspensorio del cristalino y los músculos dilatador del iris y el esfínter del iris.

Los **músculos extrínsecos** son: recto superior, recto inferior, recto medio, recto lateral, oblicuo superior y oblicuo inferior. Gracias a estos músculos el globo ocular es libre de ejecutar movimientos en el plano horizontal y vertical.

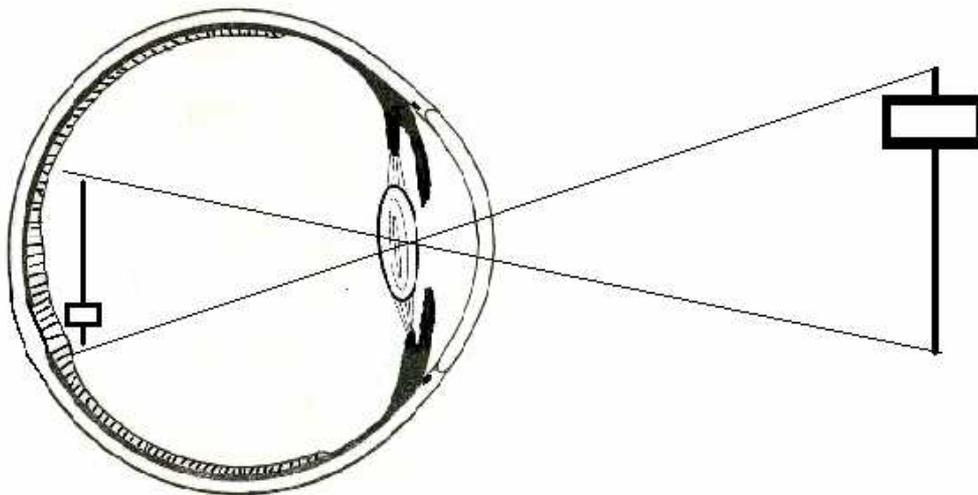
El **nervio óptico** emerge de la parte posterior del globo ocular.

Función: Sensibilidad a la luz. Función de los elementos constitutivos del globo ocular. Conformación de la imagen en la retina. La señal foto-eléctrica. El campo visual. Vías nerviosas de conducción del estímulo lumínico.

El ojo tiene un funcionamiento similar a una cámara fotográfica en lo relativo a la luz. Las imágenes que se transmiten por la luz se reproducen en la parte posterior del ojo de forma invertida, luego de atravesar la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo. El músculo ciliar a través de los ligamentos suspensorios hace que el cristalino tenga cambios en su forma. Cuando el músculo ciliar se contrae, los ligamentos del cristalino se aflojan y el lente retoma una forma esférica. Con la relajación ocurre lo contrario. La capacidad del cristalino de cambiar de forma se llama **acomodación**.

Así, se puede decir que el cristalino, merced a cambios de su conformación “hace foco” en la retina. El iris tiene un músculo circular (esfínter) y el dilatador del iris. La pupila ayuda a hacer

foco. El sistema nervioso autónomo interviene en la modulación de la cantidad de luz que ingresa al interior del globo ocular: La estimulación parasimpática produce miosis, la simpática, midriasis.



Función del globo ocular. La imagen es proyectada sobre la retina en forma invertida.

La retina es una suerte de pantalla en donde se forman imágenes bidimensionales invertidas, las cuales luego, en el cerebro, retoman la posición del objeto.

Las funciones nerviosas del humano son realizadas por un sistema de integración que toma la señales electro-químicas que le llegan por fibras sensitivas y luego de un procesamiento devuelve señales nerviosas que salen por vías motoras que originan respuestas musculares u hormonales según sea el caso.

Las células capaces de responder a estímulos lumínicos son dos y se encuentran en la retina. Los bastones son sensibles a estímulos lumínicos mínimos pero no pueden visualizar colores. Los conos pueden discriminar los colores pero son poco sensibles a la luz. La mayor agudeza visual se encuentra en la fovea (mácula), en donde hay una alta concentración de conos. La visión en detalle es realizada en este lugar (fovea) que constituye algo así como un grado de los 360 que conforman el campo visual.

En la oscuridad las células sensibles a la luz (conos y bastones) están despolarizadas. La luz determina que estas células se polaricen. En los bastones la luz es absorbida por la rodopsina y en los conos por el GMPc. La exposición a la luz determina una disminución de la permeabilidad al Sodio.

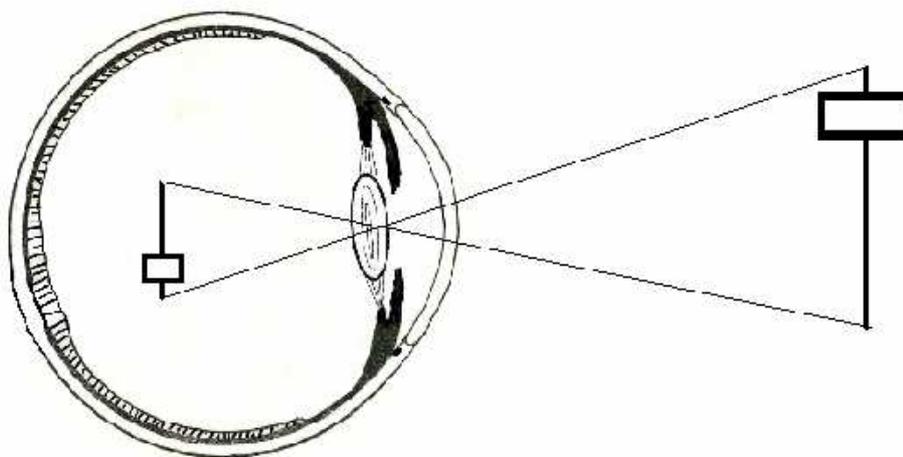
En la parte mas interna de la retina se encuentran las células ganglionares, las cuales tienen axones que conforman el nervio óptico.

Alteraciones: Miosis y midriasis. Conjuntivitis. Queratitis. Escleritis. Glaucoma. Cataratas. Hipermetropía, Miopía, Presbicia. Astigmatismo. Exoftalmia, ptosis y estrabismo. Amaurosis, hemeralopia. Daltonismo. Hemianopsia. Nistagmo.

Las alteraciones patológicas del globo ocular consisten en inflamaciones, neoplasias, infecciones, traumatismos, cuerpos extraños entre otras, en las cuales se incluyen cambios producidos por enfermedades de otros territorios del cuerpo humano.

Algunas funciones fisiológicas ingresan al campo de la patología cuando forman parte de una alteración que puede ser parte de una enfermedad o un síndrome. El caso de la **Miosis** es uno de ellos y se trata de un signo caracterizado por una disminución del área de la pupila y el aumento de la misma se llama **midriasis**.

Tal como se explicó en el apartado sobre fisiología ocular, las imágenes que un individuo observa se forman de la siguiente manera: la cantidad de luz que ingresa al interior del globo ocular es regulada por el iris y el cristalino hace que los haces converjan invertidos en la retina. La córnea participa de esta función. Cuando la imagen se forma detrás de la retina, se dice que hay **hipermetropía**. El caso contrario se llama **miopía**. Cuando existen alteraciones en la curvatura de la córnea se producen alteraciones en la conformación de la imagen, es lo que se llama **astigmatismo**. La capacidad de acomodación se va perdiendo con la edad y se conoce con el nombre de **presbicia**.



Función alterada del globo ocular. La imagen es formada por delante de la retina en forma invertida: miopía.

La inflamación de la conjuntiva se llama **conjuntivitis**. De la misma existen formas agudas y crónicas. La inflamación de la córnea o **queratitis** se caracteriza por una úlcera con infiltrado inflamatorio. Hay dolor y fotofobia. La esclerótica o “blanco del ojo” puede inflamarse y se llama **escleritis**. El **tracoma** es una inflamación infecciosa producida por la clamidia *Trachomatis*. Puede llevar a la ceguera. La **blefaritis** es la inflamación del borde de los párpados. El **orzuelo** es una infección del párpado que afecta a glándulas palpebrales. Generalmente producido por un estafilococo.

Normalmente la presión intraocular se mantiene en valores fisiológicos gracias a un equilibrio en donde el drenaje del líquido que proviene del humor acuoso es drenado por el conducto de Schlemm. El **Glaucoma** consiste en el aumento de la presión intraocular es la principal característica del glaucoma. Puede ser causa de ceguera. En estos casos la presión intraocular (14-20 mmHg) está aumentada y el conducto de Schlemm no está drenando correctamente el humor acuoso.

El cristalino puede presentar opacidades, las cuales se llaman **cataratas**.

La **exoftalmia**, es un signo caracterizado por prominencia del globo ocular. La exoftalmia es uno de los signos característicos del hipertiroidismo.

La **Ptosis** palpebral consiste en un párpado superior que tiene una posición inferior a la normal. La Miastenia Gravis es una enfermedad que afecta los músculos y es ocasionada por el bloqueo de la acetil colina por anticuerpos. Una de sus expresiones es la “visión de astrónomo” por ptosis.

El **estrabismo** es la desviación de un globo ocular de la dirección normal, puede ser divergente o convergente.

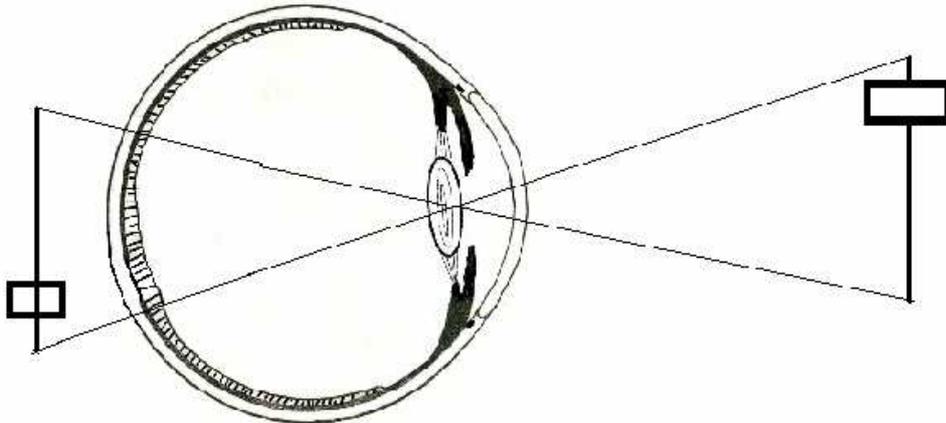
La **amaurosis** es la ceguera. Y la **hemeralopia** es la ceguera nocturna, se produce cuando hay poca luz.

El **Daltonismo** es la incapacidad de percibir los colores o algunos de ellos.

La **Hemianopsia** es la pérdida de la mitad de un campo visual. Puede ser bilateral, por ejemplo, hemianopsia temporal.

El **Escotoma**: es la pérdida del campo visual en un sitio determinado y rodeado de visión.

Los movimientos involuntarios de los globos oculares, tipo temblor se llama **Nistagmo**.



Función alterada del globo ocular. La imagen es proyectada de tal manera que se formaría por detrás de la retina en forma invertida: hipermetropía.

El **síndrome de ojo rojo** es una entidad caracterizada por el color dado por la sangre y que es muy visible en el territorio de la esclerótica.

El **desprendimiento de retina** es una grave circunstancia, generalmente producida por diabetes o traumatismos.

La **úlcer de Córnea** es una afección muy común, generalmente debida a traumatismos y que cursa con mucho dolor, debido a la gran innervación del sitio.

Diagnóstico: Examen del campo visual. Examen de la visión coloreada. Fondo de ojo. Tonometría.

Además del interrogatorio y el examen del paciente, el médico posee elementos para realizar estudios complementarios.

Para el **Examen del campo visual**: hay varias técnicas, la más simple es sentarse frente al paciente y cubriéndole un ojo observarlo con el del mismo lado. A continuación se hacen ingresar elementos al campo visual, manteniendo el foco sin variantes.

Un examen muy conocido es el de la **Medida de la agudeza visual**: para ella se usan letras y distintas escalas.

El uso de una fuente de **Iluminación**: ya sea focal, lateral u oblicua, provee de información sobre el estado del globo ocular externo.

En la consulta en centros especializados es usual el uso de la **Biomicroscopía**: con esta técnica que utiliza lupas se pueden generar aumentos de hasta 40 veces.

Desde su descripción en el siglo XIX, el **Examen oftalmoscópico** provee de valiosa información sobre el interior del globo ocular. Se trata de la primera endoscopía. Permite hacer un fondo de ojo y otras técnicas que eventualmente usan colorantes. Las lesiones de fondo de ojo que se

pueden conocer con éste examen son: alteraciones de vasos sanguíneos, hemorragias en llama, alteraciones de la retina, alteraciones del nervio óptico, entre otras.

Las alteraciones de la presión del globo ocular pueden cuantificarse con la **Tonometría**. Con ella se puede conocer la presión ocular, que en condiciones patológicas es mayor a 20 mmHg. Hay varios modelos de tonómetros (Schiötz, electrónico).

La **Tomografía computada** y la **Resonancia Magnética Nuclear**, dan una idea muy confiable de distintos aspectos anatómicos relacionados con el sistema visual.

En casos de hemorragia retiniana, un método diagnóstico muy preciso es la **retinofluoresceinografía**.

Terapéutica: Lentes, medicamentos, cirugía.

Ciertas patologías como miopía, hipermetropía, estrabismos son pasibles de corrección con lentes.

En oftalmología hay uso de fármacos, como es el caso del glaucoma en donde se usan mióticos (pilocarpina), betabloqueantes (timolol). Son muy populares los colirios que incluyen en su composición fármacos de amplio espectro (antibiótico, analgésico, anti-inflamatorio).

La cirugía se usa en el caso de cataratas y en numerosos casos en los que es necesario corregir una alteración o extirpar un elemento. El transplante de córnea ha demostrado ser un tratamiento eficaz.

En el Glaucoma se puede usar la iridotomía con láser.

Para la extracción de cuerpos extraños se usan curetas, gubias, lancetas.

Para vicios de refracción el láser Excimer permite cirugía de córnea y modificaciones muy precisas.

BIBLIOGRAFÍA

Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. Second Edition, Volume I. CRC Press, Printed in the USA; 2000.

Brunton LL, Izzo JS, Parker KL. Las bases farmacológicas de la Terapéutica. Undécima Edición Mc Graw Hill. Colombia; 2006.

Cabrera Fischer EI. Bases de la Fisiología Humana normal y alterada: un enfoque para ingenieros clínicos. Editado por la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Segunda Edición, Argentina; 2007.

Cingolani HE, Houssay AB. Fisiología Humana de Houssay. El Ateneo, Buenos Aires; 2000.

Dvorkin M, Cardinali D. Bases fisiológicas de la práctica médica. 13^{ava} edición Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina; 2003.

Ganong WF. Fisiología Humana. Manual Moderno 17^a edición. México DF; 2000.

Guyton A, Hall J. Fisiología Médica, Elsevier, Barcelona, España; 2011.

Hansen JT, Koepfen BM. Atlas de Fisiología Humana de Netter. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2003.

Johnson LR. Essential Medical Physiology. Elsevier Academic Press, Tercera Edición, New York, USA; 2003.

Kapit W, Macey RI, Meisami E. The physiology Coloring Book. Addison Wesley Longman, Inc. San Francisco, CA; 2000.

Lépori LR. Miniatral. Oftalmología. ICN Argentina SAIC y F. Buenos Aires, Argentina; 2001.

Netter FH. Atlas de Anatomia Humana. Tercera Edición. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2004.

Raven PH, Johnson GB. Biology. Mc Graw Hill, Sexta Edición, USA; 2001.

Roveda CE. Manual de Oftalmología. López Libreros Editores, Buenos Aires, Argentina; 1998.

CAPÍTULO IX

AUDICIÓN Y EQUILIBRIO

Estructura: *Conformación del oído externo. Oído medio, caja del tímpano, trompa de Eustaquio, cadena de los huesecillos. Oído interno, conductos semicirculares, cóclea, histología del órgano de Corti.*

Función: *el sonido, ventana oval, ventana redonda, función del órgano de Corti. Vía acústica. Equilibrio.*

Alteraciones: *Otitis, infecciones, otorrea, hipoacusia, acúfenos, vértigo. Tumores.*

Diagnóstico: *Otoscopía. BERA. Radiología.*

Terapéutica: *medicamentos, cirugía, desarrollos en bioingeniería.*

El órgano de la audición, curiosamente está en íntima relación con el del equilibrio, por lo que su estudio se hace en conjunto.

Estructura: Conformación del oído externo. Oído medio, caja del tímpano, trompa de Eustaquio, cadena de los huesecillos. Oído interno, conductos semicirculares, cóclea, histología del órgano de Corti.

Si se interpreta que el aparato auditivo es un transductor de señales, se puede decir que está conformado por dos porciones, una central que corresponde a una porción del sistema nervioso y otra periférica. La primera incluye al nervio coclear (de la audición) y al nervio vestibular (del equilibrio).

La parte periférica del oído está conformada por tres porciones: oído externo, medio e interno.

El **oído externo** está compuesto por el pabellón de la oreja y el conducto auditivo. La estructura del pabellón auricular es fundamentalmente cartilaginosa y tiene músculos muy pequeños de significación funcional nula en la mayoría de los casos. El conducto auditivo atraviesa el hueso temporal y sus paredes están estrechamente adheridas a la piel que lo recubre. Comienza en la aurícula y finaliza en la membrana del tímpano. El oído medio es intra-óseo y se extiende a partir de la membrana del tímpano, por la porción mastoidea del hueso temporal. Siendo una caja intra-ósea, cuenta con una comunicación con el “exterior” a través de la trompa de Eustaquio que es un conducto que partiendo del oído medio desemboca en la nasofaringe.

En el **oído medio** se encuentra la cadena de los huesecillos, que relaciona la membrana del tímpano con el oído interno. El martillo es el huesecillo en relación con la membrana del tímpano y por su otro extremo se relaciona con el yunque, el segundo de los huesecillos, que va a articularse con el estribo. El estribo, así llamado por su forma se relaciona con el oído interno. La cadena de los huesecillos cuenta con dos pequeños músculos.

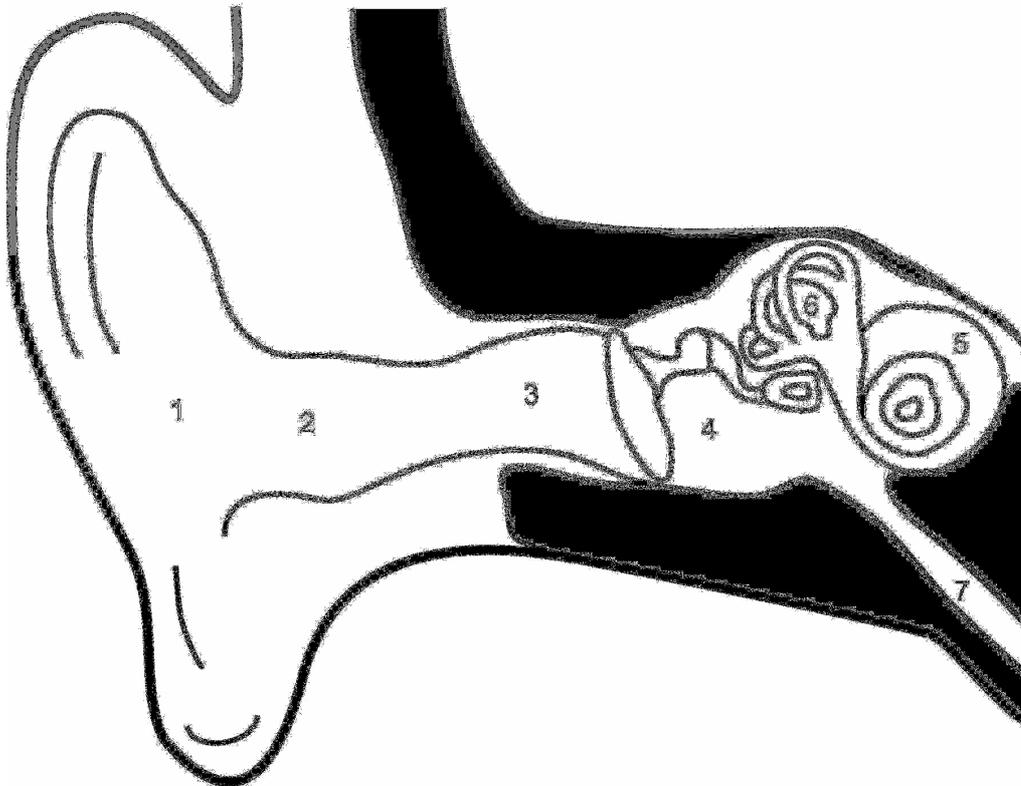
El estribo se comunica con el oído interno a través de la **ventana oval**. Existe otra comunicación entre el oído interno y el oído medio, la cual es a través de la **ventana redonda**, dotada de una membrana.

El objeto de la existencia de la trompa de Eustaquio es equilibrar las presiones existentes a ambos lados de la membrana del tímpano. Si el oído medio fuera hermético, cualquier cambio brusco de presión en el oído externo podría dañarlo severamente. Una segunda función sería la de mantener el recambio gaseoso existente en el oído medio.

El **oído interno** también es intra-óseo y está conformado por dos elementos muy distintos entre sí. Se trata del caracol o cóclea, relacionado con la función auditiva y que tiene la forma de un

helicoide. El otro elemento es el vestíbulo, de donde nacen los tres conductos semicirculares dispuestos en tres ejes.

Un corte transversal del caracol muestra que hay dos membranas que separan el contenido en tres rampas: vestibular, media y timpánica. En la rampa media se encuentra el **órgano de Corti**, de gran importancia en la audición.



Anatomía del aparato auditivo. Pabellón auricular (1), Conducto auditivo (2), Membrana del tímpano (3), Oído medio (4), Caracol (5), Canales semicirculares (6) y trompa de Eustaquio (7). Obsérvese que la membrana del tímpano se continúa con la cadena de los huesillos: martillo (en conexión la membrana del tímpano), yunque y estribo (en comunicación con el oído interno). El sombreado corresponde a tejido óseo.

En el oído interno, la ventana oval está íntimamente relacionada con el estribo por un lado y con el **vestíbulo** por el otro. El vestíbulo se continúa en el caracol con la **rampa vestibular**. La rampa vestibular da las dos vueltas y media del caracol y se conecta con la **rampa timpánica**, la cual desanda el trayecto y termina en la ventana redonda que tiene similitudes con la membrana del tímpano. La separación entre ambas rampas está dada por dos membranas: la membrana basal que forma el límite más importante, y la membrana de Reissner. Esta última separa la rampa vestibular del conducto coclear. El conducto coclear está lleno de un líquido endolinfa y contiene el órgano de Corti. En tanto que las rampas vestibular y timpánica contienen perilinfa.

El **órgano de Corti**, un verdadero transductor de señales, es el encargado de la audición y se encuentra en el caracol entre las rampas vestibular y timpánica. Está constituido por células ciliadas y otras entre las que se encuentran las que sirven de soporte. Las cuales están conectadas con fibras nerviosas.

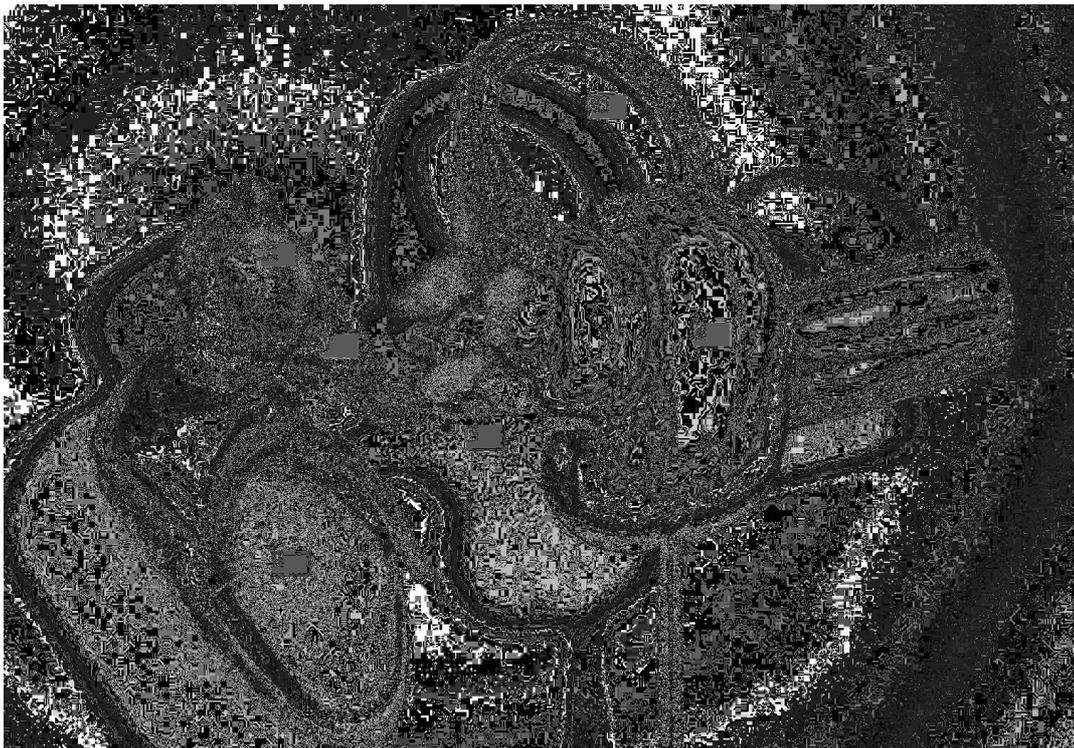
El **aparato vestibular** consta de tres canales semicirculares: anteriores, posteriores y horizontales. Los canales semicirculares anteriores y posteriores son verticales y perpendiculares entre sí. El canal semicircular horizontal es perpendicular a los mencionados anteriormente. En el interior de los conductos hay endolinfa, debido a que están conectados con el conducto coclear.

La inervación del aparato auditivo es provista por el VIII par craneal, o nervio auditivo, el cual está constituido por dos ramas: coclear y vestibular.

Función: el sonido, ventana oval, ventana redonda, función del órgano de Corti. Vía acústica. Equilibrio.

El rango de audición de los humanos va de 20 Hz a 20 KHz, aproximadamente. Ciertos animales como el perro, tienen un rango diferente.

El oído externo colecta los sonidos como ondas de presión, las cuales son convertidas en movimientos mecánicos en el tímpano. Desde el tímpano las ondas son transmitidas a la ventana oval por la cadena de los huesecillos. Aquí es importante la función del músculo del martillo y el músculo estapedio, que es amortiguar los movimientos, lo cual se logra mediante la contracción de los mismos.



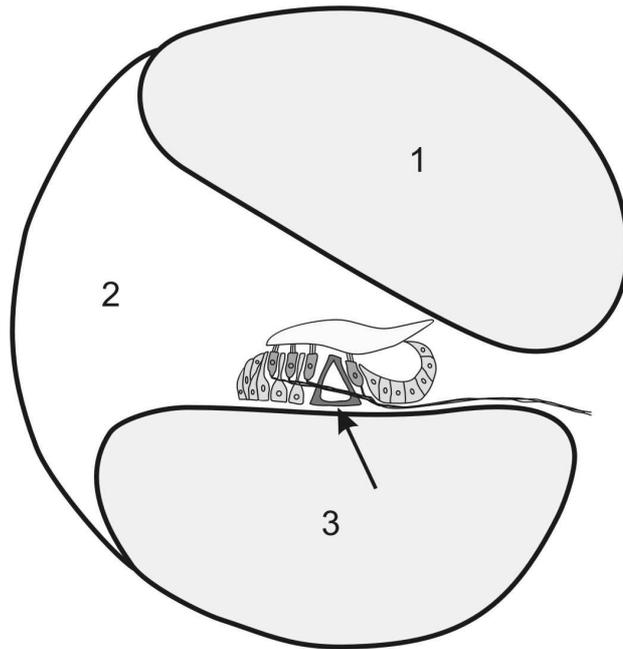
Conformación del oído medio y el interno. T: membrana del tímpano, conectada con la cadena de los huesecillos: Martillo (M), Yunque (Y), Estribo (E). Por delante se encuentra el Caracol (C) y arriba los conductos semicirculares (CS).

En el oído medio, se transfieren estas ondas al oído interno en donde se hace un análisis frecuencial y convertido en señales electro-químicas. El estribo, al movilizar el líquido de la rampa vestibular a través de la ventana oval, determina un movimiento de perilinfa que se transmite a la rampa timpánica.

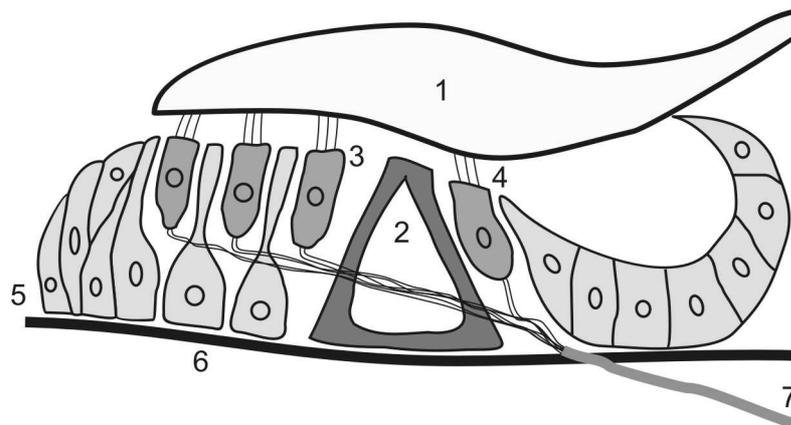
Los sitios de la cóclea en donde las ondas son mayores, varían de acuerdo a su frecuencia. Por ello los tonos agudos generan ondas mayores en las cercanías del vestíbulo y los graves en el ápex del caracol. El viaje del sonido se hace en la membrana basal, la cual tiene diferentes grosores así como niveles de rigidez.

Las ondas generan movimientos de la perilinfa de la rampa vestibular, la cual genera movimientos en la endolinfa y hacen vibrar la membrana basal. Esta última hace que las cilias tengan movimientos de cizalla en su unión con la membrana tectoria. Ello genera despolarización de las células ciliadas. La endolinfa tiene un potencial de 85 mV, no muy diferente al del interior de la célula ciliada.

Por lo anterior, se puede decir que los transductores de sonido son las células ciliadas. Los potenciales de acción generados son transmitidos a través del nervio auditivo o VIII par craneal.



Corte transversal del Caracol. En la parte superior se encuentra la rampa vestibular (1), en la inferior la timpánica (3), por ellos circula perilinfa. El órgano de Corti se encuentra al centro y a la derecha (flecha) asentado en la membrana basal y en contacto con el conducto coclear (2). Por el canal coclear (2) circula la endolinfa y está separado de la rampa timpánica (3) por la membrana basal.



Órgano de Corti con la membrana tectoria (1), con la cual se conectan ciliadas de las células ciliadas externas (3) e internas (4). Las células de sostén (5) se asientan sobre la membrana basal (6). Las señales nerviosas generadas son transmitidas por vía nerviosa (7). El túnel de Corti (2) se encuentra entre las mencionadas formaciones.

El **equilibrio** del cuerpo humano está relacionado con la gravedad y la posición del cuerpo, ya sea en reposo o en actividad. Los canales semicirculares, junto con los múltiples receptores de tendones del cuerpo humano y el sentido de la vista, mandan señales que hacen posible que el individuo conozca la posición de su cuerpo.

Los canales semicirculares se inician en ampollas que en el interior tienen células dotadas de cilias. Estas células son los verdaderos transductores de posición y lo hacen de la siguiente manera: un cambio de posición hace que la endolinfa, por inercia genere desplazamientos de las cilias. Ello despolariza las células y se genera una señal nerviosa que es transmitida por la porción vestibular del VIII par craneal.

Alteraciones: Otitis, infecciones, otorrea, hipoacusia, acúfenos, vértigo. Tumores.

La **hipoacusia**, es la pérdida de la audición y tiene causas diversas. La **otoesclerosis** es una

enfermedad degenerativa que cursa con hipoacusia.

La **perforación de la membrana del tímpano** es una situación que complica distintas formas de otitis media.

Otitis es la inflamación y puede asentar en distintas partes (externa, media) y tener diversas causas. Puede ser acompañada de otorrea, que es la pérdida de líquido por el conducto auditivo y que puede tener distintas características: seroso, sanguinolento o purulento. Una de las complicaciones de la otitis es la **mastoiditis**, o sea la inflamación de la apófisis mastoides del hueso temporal.

Puede producirse la percepción de sonidos inexistentes, usualmente zumbidos, que se llaman acúfenos y corresponden a diversos cuadros.

La pérdida del equilibrio (**vértigo**) puede estar relacionada con alteraciones del oído interno (síndrome laberíntico). El síndrome de Ménière se caracteriza por presentar hipoacusia, acúfenos y vértigo.

Los **tumores** del oído van desde los quistes sebáceos, hasta los osteomas y carcinomas. El **colesteatoma** no es precisamente un tumor, pero consiste en numerosas capas de epidermis que se acumulan en el oído medio.

Diagnóstico: Otoscopia. BERA. Radiología.

La **otoscopia** es una técnica que usa el otoscopio para estudiar el oído externo y el tímpano. Hay varios modelos y uno de ellos es el que emplea una fuente de luz lentes de aumento.

La **radiología** aporta mucha información, sobre todo de la estructura ósea relacionada con el aparato auditivo. Lo mismo es válido para lo relacionado a la **Tomografía computada** y la **resonancia magnética nuclear**.

Las pruebas con **diapasones** permiten diagnósticos diferenciales de distintas hipoacusias. Las **audiometrías** permiten conocer el estado del sentido, comenzando con 30 decibeles (cuchicheo).

El estudio de la audición usando **potenciales evocados** (BERA, por sus siglas en inglés: brainstem evoked responses audiometry), es de tipo no invasiva y consiste en estudiar la respuesta nerviosa, luego de estímulos acústicos.

Terapéutica: medicamentos, cirugía, desarrollos en bioingeniería.

La terapéutica medicamentosa para inflamaciones e infecciones muestra su eficacia en cuadros específicos. La resección de tumores hace también lo propio.

La ingeniería del tejido auricular, consiste en la obtención de tejido propio del paciente y con ello producir un cartílago para regenerar el pabellón de la oreja en casos de atresia.

Las otitis medias, por su condición intra-ósea, si no responden al tratamiento farmacológico son pasibles de cirugía.

Los **audífonos** son dispositivos electrónicos que tienen por objeto amplificar los sonidos en casos de hipoacusia.

Los **implantes cocleares** son dispositivos electrónicos que detectan los sonidos y los transforman en impulsos eléctricos que se transmiten al nervio auditivo.

BIBLIOGRAFÍA

Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. Second Edition, Volume I. CRC Press, Printed in the USA; 2000.

Brunton LL, Lazo JS, Parker KL. Las bases farmacológicas de la Terapéutica. Undécima Edición Mc Graw Hill. Colombia; 2006.

Cabrera Fischer EI. Bases de la Fisiología Humana normal y alterada: un enfoque para ingenieros clínicos. Editado por la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Segunda Edición, Argentina, 2007.

Dvorkin M, Cardinali D. Bases fisiológicas de la práctica médica. 13^{ava} edición Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina; 2003.

Ganong WF. Fisiología Humana. Manual Moderno 17^a edición. México DF; 2000.

Guyton A, Hall J. Fisiología Médica, Elsevier, Barcelona, España; 2011.

Hansen JT, Koeppen BM. Atlas de Fisiología Humana de Netter. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2003.

Johnson LR. Essential Medical Physiology. Elsevier Academic Press, Tercera Edición, New York, USA; 2003.

Kapit W, Macey RI, Meisami E. The physiology Coloring Book. Addison Wesley Longman, Inc. San Francisco, CA; 2000.

Netter FH. Atlas de Anatomía Humana. Tercera Edición. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2004.

Raven PH, Johnson GB. Biology. Mc Graw Hill, Sexta Edición, USA; 2001.

CAPÍTULO X

APARATO LOCOMOTOR

Estructura: Sistema óseo. Cartílagos. Ligamentos. Columna vertebral y cráneo. Músculos y tendones. Articulaciones.

Función: Contracción muscular. Contracción isotónica y contracción isométrica. Marcha y movimientos combinados. Mano. Fisiología del ejercicio.

Alteraciones: Fracturas. Politraumatismos. Atrofia muscular. Distrofias musculares. Osteomielitis.

Diagnóstico: Estudio de las alteraciones del aparato locomotor, radiografías, cámara gamma, artroscopia.

Terapéutica: Fármacos. Reducción de fracturas, concepto de inmovilización, electromioestimulación. Plastias. Intervencionismo.

En el caso del ser humano, la capacidad de desplazamiento es una adaptación al medio ambiente muy importante. Los movimientos parecen algo muy simple hasta que el bioingeniero trata de estudiar la dinámica de la marcha. Es allí en donde se va a percatar de la complejidad de la misma y que cada paso que da un individuo es prácticamente irreplicable si lo está evaluando convenientemente con sensores de movimiento. La complejidad del estudio del movimiento aumenta si se trata del brazo de un robot.

En el caso especial del humano, el movimiento ha llegado a tener dimensiones astronómicas, en el más amplio sentido de la palabra. En la línea evolutiva, el comienzo de la marcha no fue sencillo y existen antropoides cuyo modelo anatómico sólo es práctico para mantener al animal colgado de ramas de árboles. Es importante considerar que el aparato de locomoción del humano no se reduce a huesos, articulaciones y músculos, sino que la intervención del sistema nervioso es fundamental, aún en las actividades más simples. Así la sincronización de los distintos músculos precisa de un proceso de automatismo de la marcha que se realiza en el cerebelo. La orden de comenzar ésa marcha comienza en el cerebro, pero éste no podría tener su foco de atención en actividades tales como el estado postural, pues se distraería de otras más importantes.

Los huesos no son simples estructuras de sostén. Son elementos vivos, que constantemente se están renovando merced a las células que los forman y los depósitos cálcicos están sometidos a controles que llevan a aumentar su contenido o disminuirlo según sean las circunstancias. La estructura cálcica de los huesos tiene una especial arquitectura que depende de las fuerzas a las que son sometidas las distintas piezas óseas del organismo. Las articulaciones son verdaderas bisagras que exhiben un alto grado de perfección del movimiento gracias al cual se pueden realizar trabajos precisos que constituyen la mayor expresión de inteligencia humana cuando, de ellos resultan utensilios. Los músculos, que están formados por proteínas especiales que al mismo tiempo constituyen un abundante depósito de energía, van a permitir el desplazamiento del humano en su medio. La anatomía de los músculos está ligada a su función. Por ello en casos en que los músculos no se usan, la atrofia produce impresionantes estados de carencia de este tipo de tejido.

El aparato locomotor debe ser entendido también como una estructura de sostén. Tan importante es el movimiento, como lo es la posibilidad de quedar estático en una posición determinada. Aún en éste caso, los músculos están haciendo un gasto de energía que no es muy diferente al del movimiento isobárico (como el de la gimnasia). Se trata de un aparato muy dinámico en donde la

función hace al órgano, así los músculos en astronautas, con gravedad cero, terminan atrofiándose si no se realizan ejercicios especiales.

El aparato locomotor también da forma al cuerpo humano, generando un aspecto muy importante que es el de cumplir con una de las premisas del reconocimiento de los individuos entre sí tomando en cuenta su apariencia.

Estructura: sistema óseo. Cartílagos. Ligamentos. Columna vertebral y cráneo. Músculos y tendones. Articulaciones.

Así como las células, cuando se unen, forman tejidos, un conjunto de éstos conforman órganos y varios órganos conforman un sistema. En el caso de referencia las células óseas, conectivas y musculares conforman tejidos que dan origen a huesos, articulaciones y músculos. Todos ellos junto con el sistema nervioso van a formar el aparato locomotor.

Los antropoides se desplazan gracias a los miembros. En el humano el desplazamiento se hace con ambos pares de miembros: superiores e inferiores. Las distintas adaptaciones de ellos, hicieron que además de servir para la marcha, sus usos fueran múltiples. Así un hemodinamista puede usar un pie para sostener su peso y el otro para realizar alternativamente la activación del sistema de fluoroscopia o la filmación del objeto de estudio, y ello mientras con una mano dirige el catéter y con la otra hace inyecciones de líquido de contraste. En el escalamiento y la natación los miembros superiores recuperan la importancia que no parecen tener en la marcha.

El aparato locomotor es al mismo tiempo una estructura de movimiento y de sostén. Los huesos contribuyen a la forma general del individuo y sus estructuras rígidas se relacionan entre sí por medio de ligamentos que tienen como fin mantener sujeta una pieza ósea con otra. Los músculos, mediante sistemas de palancas, accionan las piezas óseas sobre los puntos de contacto que éstas mantienen entre sí en las articulaciones.

El miembro superior está conformado por el hombro, el brazo, el antebrazo y la mano. En el hombro hay dos huesos, la clavícula y el omóplato. El brazo tiene un solo hueso, el húmero, que es un hueso largo, o sea que tiene un cuerpo o diáfisis y dos epífisis. Con la extremidad superior se articula con el omóplato o escápula, mediante la cabeza del húmero. Con la extremidad inferior se articula con el cúbito y el radio, huesos largos del antebrazo.

La mano está formada por huesos que se agrupan en el carpo, metacarpo y falanges. El carpo está formado por el escafoide, el semilunar, el piramidal, el pisiforme, el trapecio, el trapecoide, el hueso grande y el hueso ganchoso, todos en íntima relación entre sí. Los metacarpianos son cinco y conforman la palma y el dorso de la mano. Las falanges son, al igual que los metacarpianos, huesos largos y se denominan: primera falange, falangina y falangeta. En el pulgar hay dos falanges.

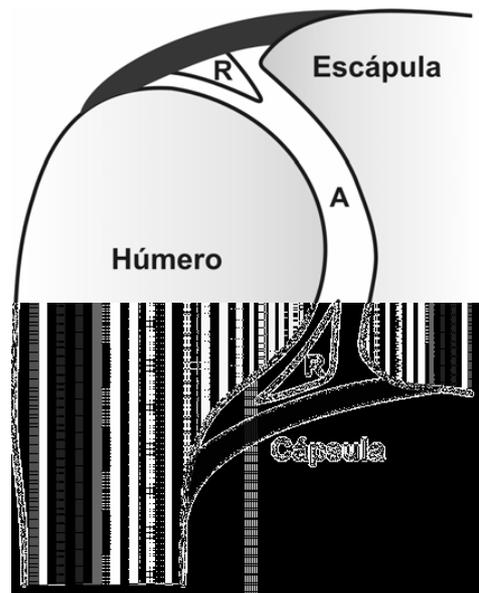
Los huesos se mueven al compás de las contracciones musculares y los movimientos generan roces entre ellos para los que están preparados mediante articulaciones lubricadas. Las articulaciones constituyen una suerte de bisagra, que en algunos casos tienen movimientos de 360 grados como es el caso de la articulación escápulo-humeral y en otros son más reducidos, como en el caso de las costillas con las vértebras.

A modo de ejemplo y para sintetizar los distintos elementos que constituyen una articulación se describirá una de ellas. La articulación escápulo-humeral, que une el húmero al omóplato. Por un lado hay una cabeza de húmero y por otro la cavidad glenoidea. Las superficies articulares además de tener un periostio que recubre a todos los huesos, tienen una membrana que se llama sinovial y toda la articulación está cubierta por una cápsula articular que la separa del medio externo y permite que se mantenga un lubricante: el líquido sinovial. El líquido sinovial es secretado por la membrana sinovial. Además, la articulación tiene rodetes de tejido fibroso que van a adaptar las superficies articulares. Los ligamentos, formados de tejido conectivo van a asegurar aun más la articulación. Los ligamentos van de uno a otro hueso, no tienen movimiento

propio, pero van a actuar como riendas limitando la separación articular y el radio de giro de los movimientos.

El codo tiene dos articulaciones, la humero-cubital y la humero-radial. El cúbito y el radio se encuentran unidos por el ligamento interóseo a lo largo de su trayecto en el antebrazo. La articulación de la muñeca o radiocarpiana se realiza precisamente entre el radio y el conjunto de huesos que forma la primera fila del carpo.

La articulación carpo-metacarpiana une los huesos de la segunda fila del carpo con: el primer metacarpiano y por otro lado con los cuatro metacarpianos restantes conformando dos articulaciones. Las cabezas de los metacarpianos se articulan con las cavidades glenoideas de las primeras falanges.



Articulación escápulo-humeral. Existe una superficie articular convexa que pertenece al Húmero, otra que es medianamente cóncava de la Escápula. Una cápsula rodea la articulación en su perímetro. Dos Rodetes (R) a la manera de cuñas hacen más adaptables las superficies óseas que se relacionan a través de la cavidad articular (A).

En el hombro se encuentran los siguientes músculos: pectoral mayor, pectoral menor, subclavio, serrato mayor, subescapular, supraespinoso, infraespinoso, redondo menor, redondo mayor, dorsal ancho y el deltoides. Estos músculos, si bien se consideran que son del hombro, no necesariamente se circunscriben a este espacio anatómico. El dorsal ancho tiene adherencias, llamadas inserciones en lugares de la cintura lumbar, luego pasa por la axila y se inserta en el húmero que es el hueso del brazo.

El brazo tiene los siguientes músculos: bíceps, braquial anterior, coracobraquial y tríceps braquial.

En el antebrazo existe una mayor cantidad de músculos largos que en general tienen terminaciones tendinosas largas. Se disponen en tres grupos: anterior, externo y posterior. En el grupo anterior se encuentran el pronador cuadrado, los flexores profundos, los flexores superficiales y los epitrocleares superficiales. En el grupo externo del antebrazo se encuentran los radiales y los supinadores. En el grupo posterior se encuentran el separador largo del pulgar, el extensor corto del pulgar, el extensor largo del pulgar, el extensor propio del índice, el extensor común de los dedos, el extensor propio del meñique, el cubital posterior y el ancóneo.

En la mano se encuentran los músculos lumbricoides relacionados a los flexores y los interóseos entre los metacarpianos, los músculos de la eminencia tenar y la hipotenar.

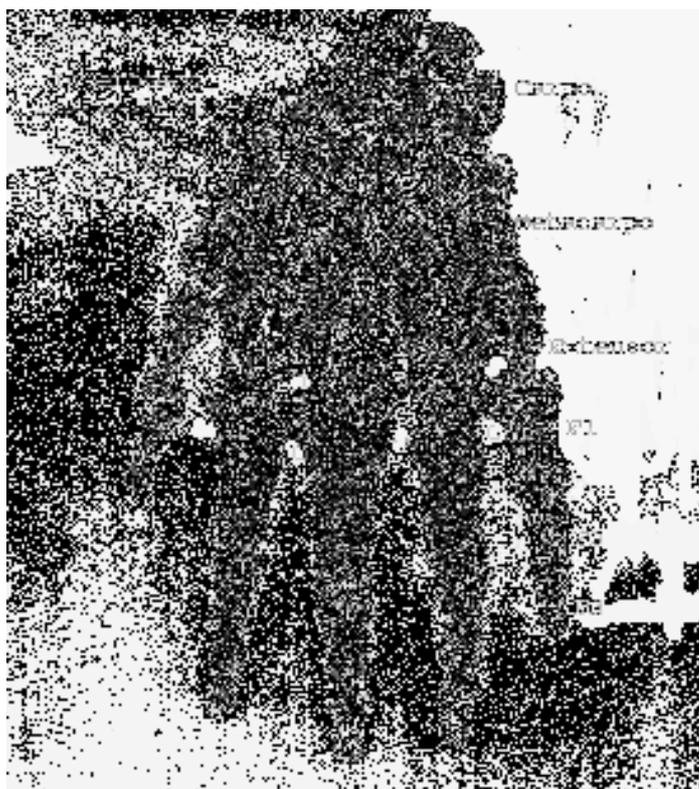
La mano es tan compleja que hay que estudiarla anatómicamente por planos, desde los huesos hasta la piel (o a la inversa). Hasta la piel de la palma de la mano es especial: se encuentra unida

por fibras a la aponeurosis subyacente. Ello le confiere la característica de ser firme, a diferencia de la piel de cualquier otro sitio.

Los miembros inferiores están conformados por cuatro partes, cadera, muslo, pierna y pie. La cadera está formada por el hueso ilíaco, el sacro y el cóccix. A su vez el hueso ilíaco se conforma del isquion, ilion y pubis.

El muslo contiene un solo hueso: el fémur. En la pierna está la tibia y el peroné. Centralmente a la articulación fémoro-tibial se encuentra la rótula. Finalmente el pie está conformado por el tarso, el metatarso y las falanges. En el tarso se encuentra el astrágalo, el calcáneo, el cuboides, el escafoides y tres huesos cuneiformes.

Los huesos del metatarso son semejantes a los metacarpianos de las manos e igual semejanza conservan las falanges.



Mano humana formada por carpo, metacarpo y falanges. El tendón del extensor recibe los tendones de los músculos interóseos dorsales y los ventrales (I), a los que se suman los de los lumbricales (L). Todos contribuyen a la motilidad de las falanges (F).

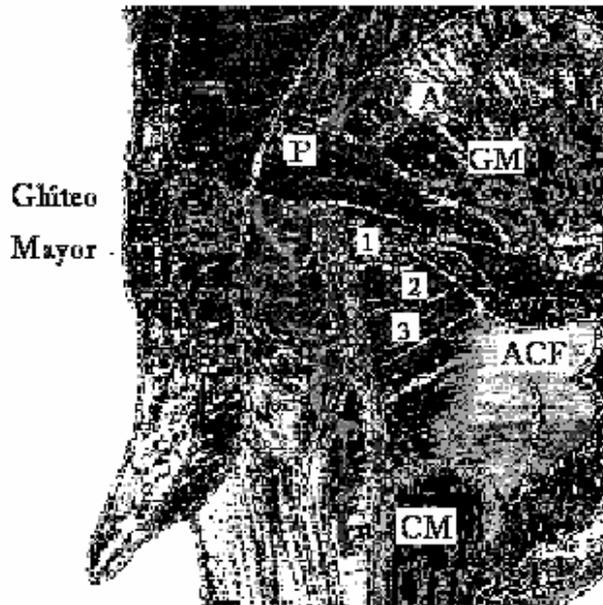
La cintura pélvica contiene diversos ligamentos y una articulación muy importante para la marcha que es la coxo-femoral. Las superficies articulares son la cavidad cotiloidea del hueso ilíaco o coxal y la cabeza del fémur. La articulación tiene elementos semejantes a los de la escápulo-humeral, diferenciándose en dos aspectos: la cavidad cotiloidea tiene mayor apariencia de cavidad y la cabeza del fémur tiene un cuello que es la parte que va a soportar el peso humano en la marcha.

La articulación de la rodilla relaciona el fémur, la tibia y la rótula. Dentro de la cápsula articular se encuentran fibrocartílagos que adaptan las superficies óseas: los meniscos. Además existen los ligamentos cruzados.

La articulación tibio-tarsiana relaciona tibia y peroné, al astrágalo. Las articulaciones del tarso, metatarso y falanges siguen patrones semejantes a los de la mano con la falta de la capacidad de oposición del dedo mayor.

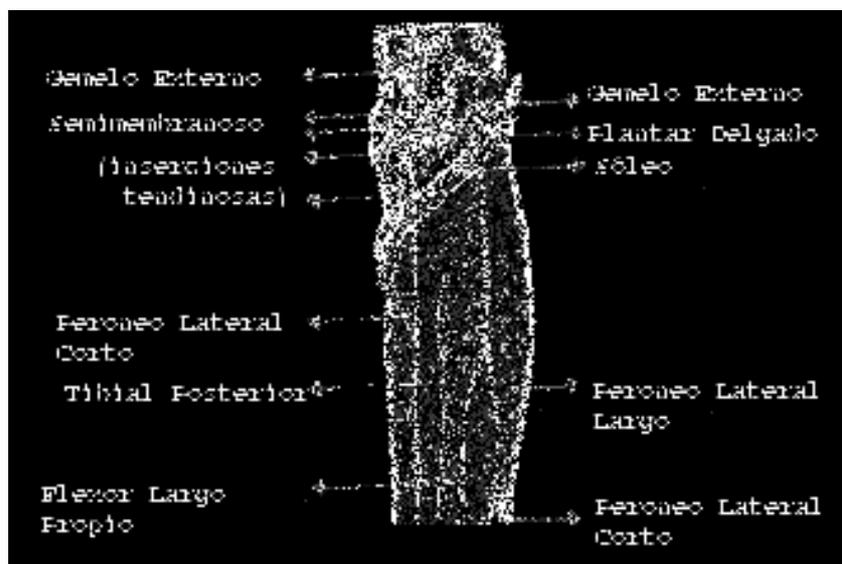
Los músculos de la pelvis son el psoas-íliaco y el íliaco por un lado y en la región glútea se encuentran: glúteo menor, piramidal, gémino superior, obturador interno, gémino inferior, obturador externo, cuadrado crural, glúteo medio, glúteo mayor y el tensor de la fascia lata.

Los músculos del muslo se clasifican en anteriores, internos y posteriores. El grupo anterior se conforma del cuádriceps y el sartorio. El interno por: el músculo recto interno, el pectíneo y los tres aproximadores. El grupo posterior tiene los músculos: semimembranoso, semitendinoso y el bíceps.



Región Glútea. Los distintos elementos musculares cubren al nervio Ciático Mayor (CM), a los ramos arteriales (A) y a la Articulación Coxo-Femoral (ACF). GM: Glúteo Menor, P: músculo Piramidal, 1: músculo Gémino Superior, 2: músculo Obturador Interno, 3: músculo Gémino Inferior.

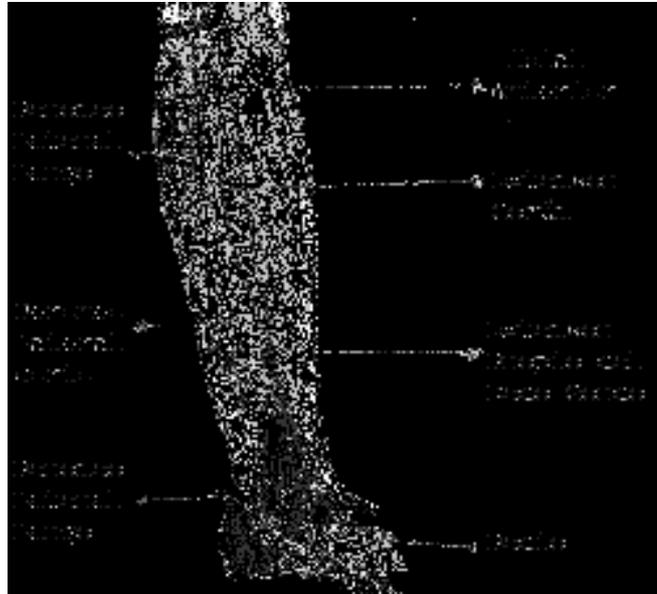
Los músculos de la pierna también se clasifican en anteriores, externos y posteriores. En el grupo anterior están el músculo tibial anterior, el extensor propio del dedo gordo, el extensor común de los dedos y el peroneo anterior. El grupo muscular externo está constituido por el peroneo lateral largo y el peroneo lateral corto. Finalmente el grupo posterior está formado por: poplíteo, flexor largo común de los dedos, tibial posterior, flexor largo propio del dedo gordo, tríceps sural y plantar delgado.



Región Tibial Posterior. Los distintos elementos musculares de la pierna, son propios y recibidos del muslo. A su vez hay propios que se continúan en el pie.

Los músculos del pie están en el dorso y en la planta. En el dorso hay uno solo, el pedio y en la planta hay un grupo interno uno medio y otro externo con similitud a la mano.

En el grupo medio se encuentran los interóseos, el accesorio del flexor largo común de los dedos, los lumbricales y el flexor corto plantar. El grupo muscular interno tiene: el aproximador, el flexor corto y el separador del dedo gordo. Finalmente el grupo externo tiene al separador, el flexor corto y el oponente del quinto dedo.



Región Tibial Anterior. Los distintos elementos musculares de la pierna, son propios y recibidos del muslo. A su vez hay propios que se continúan en el pie.

Las vértebras son elementos óseos que apilados delimitan el conducto vertebral por dónde transcurre la médula espinal. De la médula espinal parte la inervación de gran parte del cuerpo. Por otro lado sirve de sostén a la estructura ósea que contiene el sistema nervioso central.

El cráneo está constituido por estructuras óseas que se articulan entre sí y mantienen su capacidad de crecer hasta que el individuo llega a su edad adulta. La columna vertebral y el cráneo están relacionados con la locomoción, no solamente por ser el lugar de donde parten los estímulos nerviosos que la regulan, sino que poseen inserciones musculares que la hacen parte de la dinámica corporal.

Función: Contracción muscular. Contracción isotónica y contracción isométrica. Marcha y movimientos combinados. Mano. Fisiología del ejercicio.

Las contracciones musculares son la fuente del movimiento. Los mismos casi siempre son consecuencia de la acción de varios músculos y no sólo sirven para la locomoción sino que intervienen en funciones variadas: gestos faciales, comunicación por lenguaje corporal, y otras. En el cuello hay articulaciones de vértebras que permiten movimientos variados gracias a la acción de distintos músculos.

Los miembros superiores, desde el punto de vista funcional se apoyan en una cintura escapular para realizar movimientos de la más variada naturaleza. Los movimientos del omóplato son de basculación, de ascenso, descenso, elevación, descenso hacia adelante y atrás. Los movimientos son el resultado de la concatenación de contracciones y relajaciones de los diferentes músculos.

El brazo cuenta entre sus movimientos la aproximación, separación, hacia adelante, atrás y rotación en tanto que el antebrazo posee la propiedad de extenderse o flexionarse sobre el brazo. La mano puede flexionarse y extenderse sobre el antebrazo, realizar movimientos laterales. Las falanges pueden realizar flexiones, la primera sobre la segunda, la segunda sobre la tercera y la

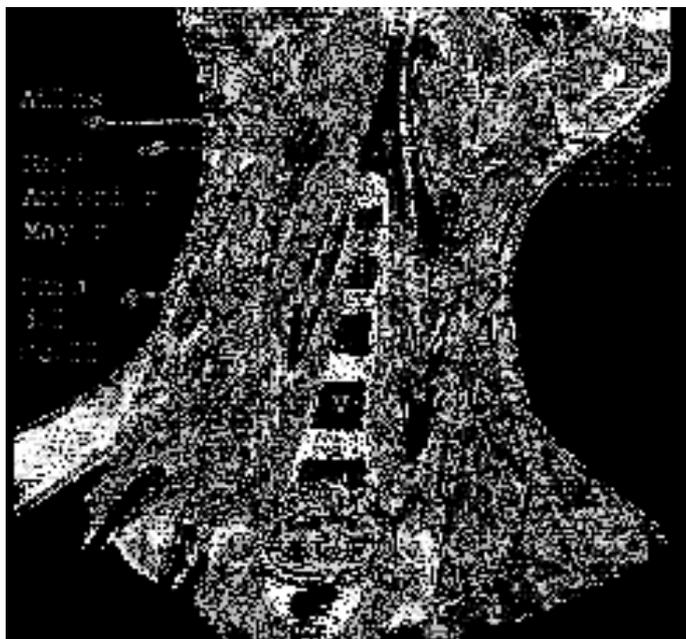
tercera sobre el metacarpiano respectivo. También tienen movimientos de separación y aproximación y de rotación.

La eminencia hipotenar y los cuatro últimos dedos son los que van a fijar un objeto al cual se ha tomado, en tanto que el pulgar y el índice tienen una función relacionada con la dirección de los movimientos.

Los pulgares tienen la capacidad de oponerse a los otros dedos, lo que dota a la mano de una función relacionada con la evolución del hombre.

El muslo tiene movimientos de flexión-extensión, separación-aproximación y rotación.

La pierna tiene movimientos de extensión sobre el muslo y flexión posterior. A esto se asocia una rotación de la rodilla. La articulación tibio-tarsiana tiene movimientos de flexión-extensión. El pie tiene movimientos de flexión dorsal y flexión plantar, además de rotación. Otros movimientos combinados del pie tienen semejanza con los de la mano pero sin la posibilidad de oposición del primer dígito.



Región del Cuello. Algunos elementos musculares como los rectos y el largo del cuello. Vértebras (V), Esófago (E) y Tráquea (T).

La inervación muscular permite usar los distintos músculos y articulaciones para movimientos que pueden ser de naturaleza epicrítica (movimientos finos) y protopática (movimientos más toscos). Ambos de suma importancia, así, cuando se está haciendo puntería a distancia es muy importante el detalle (epicrítico), por otro lado si se está usando un martillo, no es tan necesaria la precisión.

Los ejercicios que puede realizar el hombre gracias al aparato locomotor son múltiples y existen dos tipos fundamentales. Uno es el isométrico el cual se comprende mejor con un ejemplo: el del levantador de pesas, que va a hacer mucha fuerza, mucho gasto de energía con poco desplazamiento corporal. Es isométrico porque es ejercicio sin cambios importantes de distancias. En tanto el ejercicio isotónico es el que hace fuerza muscular en forma más o menos estable, pero los desplazamientos son importantes. Un ciclista está haciendo ejercicio de tipo isotónico. Desde el punto de vista de la fisiología las diferencias son muy importantes y estructuralmente también, así es muy diferente el cuerpo de un corredor de largas distancias que el de un boxeador. Estas diferencias en las características de los ejercicios tienen connotaciones patológicas y también terapéuticas.

Alteraciones: Fracturas. Politraumatismos. Atrofia muscular. Distrofias musculares. Osteomielitis.

El aparato locomotor puede sufrir alteraciones por distintas causas. Los trastornos genéticos, del tipo de las polidactilias, son bien tolerados en tanto que otros ocasionan alteraciones funcionales.

Existieron alteraciones del aparato locomotor ligadas a iatrogenia (enfermedades producidas por el médico). La focomelia de origen medicamentoso por talidomida fue una tragedia que marcó una época y se caracterizaba por miembros superiores anatómicamente anómalos.

Existen causas externas que pueden causar ruptura de músculos, esfuerzos que ocasionan desinserciones de tendones, tal como el tendón de Aquiles que es el lugar de unión del tríceps sural con el calcáneo. También existen las fracturas patológicas, que como su nombre lo indica consisten en fracturas producidas sobre un hueso que ya padecía una enfermedad. O sea que la estructura ósea está alterada y algo no muy traumático determina una fractura. La asociación de múltiples fracturas es un politraumatismo e incluye traumas en otros órganos.

Un músculo que no se usa se atrofia y un músculo que se entrena especialmente se hipertrofia. Un grave problema se produce cuando existen enfermedades que ocasionan un trastorno en la llegada del impulso nervioso, en este caso el músculo pierde estructura y progresivamente pierde masa. Consecuentemente la función tiende a desaparecer. Existen enfermedades virales y neurológicas que pueden producir esta alteración.

La inflamación de un hueso se llama osteomielitis. Las osteomielitis tienen varios orígenes y uno de ellos es el infeccioso que si se hace crónico es una afección de difícil curación.

Si bien factores externos son causa de traumatismos, existe lo que se ha dado en llamar “fractura patológica” que significa que un hueso enfermo (tumor, osteoporosis) se fractura pero no por traumatismo sino por la imposibilidad de sostener el peso corporal.

Lamentablemente las neoplasias óseas, tanto benignas como malignas, no constituyen una rareza en la especialidad.

Diagnóstico: Estudio de las alteraciones del aparato locomotor, radiografías, cámara gamma, artroscopía.

Los problemas del aparato locomotor parecen ser de los primeros que atrajeron la atención del hombre. En los museos se pueden ver restos óseos de sociedades primitivas en que quedan señales de fracturas curadas.

El examen clínico es un buen recurso diagnóstico en esta especialidad y a ello se le suman los estudios complementarios que permiten también monitorear la curación.

Los estudios radiológicos tienen como principio el uso de ondas electromagnéticas de longitud de onda muy corta. Las radiaciones X al atravesar un cuerpo pueden impresionar una placa radiográfica dando una imagen anatómica. Los estudios radiológicos pueden ser complementados con radiología contrastada y tomografía computada

Otro de los estudios es el que usa rayos gamma. El tecnecio 99 es usado para estudios de medicina nuclear en huesos.

Los ultrasonidos utilizan los ecos de ondas ultrasónicas que viajan por los tejidos a una velocidad de 1543 metros por segundo.

La resonancia magnética nuclear es una metodología que permite crear imágenes con la ayuda de las emisiones de los átomos de hidrógeno del cuerpo que ha sido sometido a vibraciones de radiofrecuencia.

La biopsia es un procedimiento diagnóstico basado en la toma de muestras de tejidos del lugar supuestamente alterado.

Terapéutica: Fármacos. Reducción de fracturas, concepto de inmovilización, electromioestimulación. Plastias. Intervencionismo.

Al igual que en toda especialidad existen elementos químicos que son usados con el objeto de producir modificaciones en el aparato locomotor. Los anti-inflamatorios, analgésicos y antibióticos son fundamentales en este lugar en donde pueden asentarse patologías que cursen con inflamación, dolor e infección. La poca irrigación de algunos territorios óseos atenta contra la llegada de elementos que lo defiendan de una infección, lo que hace difícil la curación.

Reducir una fractura significa colocar las piezas óseas en el lugar anatómico correcto. Luego de ello es preciso inmovilizar a los fines de dar tiempo a los mecanismos fisiológicos para producir la reparación. Es muy importante el concepto de desfuncionalizar un órgano y este procedimiento ha sido usado en distintas partes del cuerpo en distintas épocas de la historia de la medicina. En el aparato respiratorio, por ejemplo, en la era pre antibiótica la tuberculosis fue tratada con el neumotórax terapéutico que consistía en desfuncionalizar el pulmón afectado.

La utilización de férulas permite la inmovilización de un miembro que va a curar en pocas semanas. Pero en ocasiones no es suficiente, por lo que se deben usar, placas, clavos y prótesis. Existen prótesis no convencionales que reemplazan todo el fémur. La cementación de un hueso es también un procedimiento que se utiliza en la especialidad, por ejemplo en los casos de metástasis óseas.

La falta de reducción de una fractura coloca al paciente en riesgo de sufrir una pseudo-artrosis, esto es, que se genere una suerte de falsa articulación entre dos extremos de hueso que inicialmente correspondían a una solución de continuidad (fractura ósea).

La electromioestimulación es un proceso por el cual se obtiene una función muscular inexistente o se cambian las características de la contracción muscular. Es un campo experimental en pleno desarrollo y con algunos logros en la materia. Los electromioestimuladores son dispositivos con alguna semejanza a los marcapasos cardiacos. Constan de una batería y un programa que envía estímulos a voltajes y tiempos definidos. De acuerdo al lugar en donde se está haciendo la estimulación va a ser la característica del estímulo eléctrico.

La electromioestimulación se puede realizar en un músculo que se encuentra atrofico o hipotrofico por una patología determinada o también en músculos que se colocaron en sitios diferentes a los fines de realizar un trabajo determinado.

Cuando, en cirugía, los músculos son usados para fines estéticos o para suplantar otro músculo faltante se habla de plastias. Las plastias se usaron mucho con fines estéticos y el procedimiento consiste en tomar un músculo, acompañado o no de hueso y colocarlo en un lugar diferente manteniendo la nutrición e inervación. O sea que debe conservar arteria, vena y nervio. Tanto en el caso de los músculos como de los huesos usados en sitios anatómicos diferentes, la cirugía que se realiza consiste en generar colgajos pediculados, tal es el nombre que se dan a estas maniobras en donde la pieza anatómica conserva su irrigación e inervación original.

El intervencionismo es una rama de la medicina que realiza procedimientos invasivos con intenciones terapéuticas en casos en los que antes era preciso realizar intervenciones quirúrgicas. Así una cirugía de tendón de Aquiles o de meniscos de la articulación femoro-tibial (rodilla) pueden ser realizadas con la ayuda de fibra óptica e instrumentos específicos. En general se realizan tres pinchazos, por uno de ellos se introduce el sistema de visualización por fibra óptica (artroscopio en este caso) y por los otros dos se colocan dos instrumentos con los que se realiza el procedimiento.

Hay procedimientos quirúrgicos que reemplazan al órgano dañado, el caso de las articulaciones que por artritis o artrosis van a sufrir un deterioro anatómico que no les permite realizar la función que debieran. Así existen procedimientos como la artroplastia articular total que se ha

realizado en cadera, y menos en rodilla. En tobillo y hombro se pueden realizar restituciones parciales.

La artrodesis es la fusión de una articulación, realizada con fines terapéuticos. La rotura de tendones requiere de su re inserción inmediata.

BIBLIOGRAFÍA

Bronner F, Farach-Carson MC, Mikos AG. Engineering of functional skeletal tissues. Springer-Verlag, Londres, Reino Unido; 2007.

Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. Second Edition, Volume I. CRC Press, Printed in the USA; 2000.

Brunton LL, Izzo JS, Parker KL. Las bases farmacológicas de la Terapéutica. Undécima Edición Mc Graw Hill. Colombia; 2006.

Cabrera Fischer EI. Bases de la Fisiología Humana normal y alterada: un enfoque para ingenieros clínicos. Editado por la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Segunda Edición, Argentina; 2007.

Dvorkin M, Cardinali D. Bases fisiológicas de la práctica médica. 13^{ava} edición Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina; 2003

Ganong WF. Fisiología Humana. Manual Moderno 17^a edición. México DF; 2000.

Guyton A, Hall J. Fisiología Médica, Elsevier, Barcelona, España; 2011.

Hansen JT., Koepfen BM. Atlas de Anatomía Humana de Netter. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2003.

Johnson LR. Essential Medical Physiology. Elsevier Academic Press, Tercera Edición, New York, USA; 2003.

Kapit W, Macey RI, Meisami. The Physiology. Second Edition, New York, USA; 2000.

Netter FH. Atlas de Anatomía Humana. Tercera Edición. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2004.

Raven PH, Johnson GB. Biology. Mc Graw Hill, Sexta Edición, USA; 2001.

CAPÍTULO XI

SANGRE Y SISTEMA INMUNITARIO

Estructura: Glóbulos Rojos. Glóbulos Blancos. Plaquetas. Eritropoyesis. Leucopoyesis. Trombopoyesis. Sistema Retículo Endotelial. Plasma y Líquidos Corporales. Densidad y Viscosidad de la Sangre.

Función: Función de los Eritrocitos. Función de los Leucocitos. Sistema Inmunitario Innato. Sistema Inmunitario Adquirido. Coagulación. Medio Interno.

Alteraciones: Poliglobulias. Anemias. Inflamación. Enfermedades Autoinmunes. Hemofilia. Trombocitopenia. Trombosis y Embolias.

Diagnóstico: Formula Leucocitaria Relativa. Grupos Sanguíneos.

Terapéutica: Higiene, Dieta, Tratamiento Farmacológico. Transfusión Sanguínea.

La sangre es una forma de tejido conectivo que tiene la característica de ser líquido. Es una suspensión compleja de glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas en un líquido acuoso ligeramente amarillento llamado plasma. La sangre arterial es de color rojo claro y la venosa, de color rojo oscuro. Aproximadamente, el 8 % del peso corporal es sangre y normalmente el 55-58 % del volumen de la sangre es plasma.

Glóbulos Rojos

El eritrocito o glóbulo rojo es una célula especializada que carece de núcleo. Tiene la forma de un disco bicóncavo con un diámetro medio de 7 μm y espesor de 2 μm . Es flexible y rico en hemoglobina, propiedad que constituye la base de su función de transporte de oxígeno.

En hombres, hay 5.200.000 eritrocitos por mm^3 de sangre y en mujeres, 4.700.000. Se originan en la médula ósea, donde se encuentran las células madres pluripotenciales, y su tiempo de vida es de 120 días.

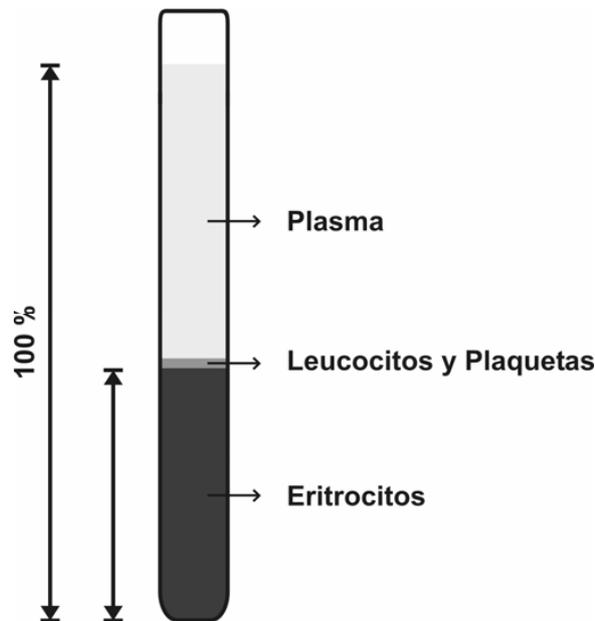
El hematocrito es el porcentaje del volumen de eritrocitos respecto del total de la sangre: 40 a 45 %. Para obtenerlo, usualmente, se centrifuga la sangre junto con un anticoagulante.

La hemoglobina es una proteína que se encuentra en una cantidad de 12 a 16 gramos por decilitro de sangre. Está compuesta por un grupo proteico, la globina, y un grupo que contiene hierro, el hemo, que tiene afinidad para combinarse reversiblemente con el oxígeno.

El eritrocito es rico en hierro, del cual en todo el organismo hay unos 4 a 5 gramos. Este elemento entra al cuerpo por el intestino delgado, se almacena, sobre todo en el hígado en forma de ferritina.

La concentración normal de hemoglobina libre en plasma es cercana a cero. La destrucción de glóbulos rojos provoca la liberación de la hemoglobina al plasma. Este proceso se conoce como hemólisis y es común en las personas que tienen válvulas cardíacas artificiales, dispositivos de asistencia circulatoria y otras prótesis cardiovasculares.

Niveles de hemoglobina libre en plasma excesivos ocasionan trastornos renales graves; en estos casos, el plasma toma un color rosa claro u oscuro (dependiendo de la cantidad de hemoglobina presente) que puede ser cuantificado por métodos espectrofotométricos.



Hematocrito: para medir el hematocrito, se centrifuga un volumen de sangre contenido un tubo de ensayos. El hematocrito (porcentaje de eritrocitos en relación a un volumen total cualquiera) da una idea de la cantidad de glóbulos rojos o eritrocitos.

La distensibilidad de la membrana es lo que le permite al eritrocito deformarse y pasar por capilares que tienen menor diámetro. Esta propiedad es muy importante en la microcirculación, donde los glóbulos rojos deben atravesar capilares que tienen menor diámetro que ellos. Luego de cumplir su ciclo los eritrocitos tienen muy desgastada su membrana, la que por numerosos pasajes por capilares va perdiendo su elasticidad. El Bazo hace de fino filtro al hacer pasar los eritrocitos por capilares de 3 micrones. El hierro es reciclado por la médula ósea para la síntesis de hemoglobina.

Glóbulos Blancos

Los glóbulos blancos o leucocitos se encuentran en 5.000-11.000 por mm^3 . Constituyen un grupo de células de diferente morfología y origen que actúan en defensa del organismo ante una agresión. Se dividen en granulocitos o polimorfonucleares (neutrófilos, eosinófilos y basófilos) y aquellos que no contienen gránulos en su citoplasma (linfocitos y monocitos).

La fórmula leucocitaria relativa es:

Neutrófilos: 59%

Basófilos: 0.5%

Eosinófilos: 2.5%

Monocitos: 4%

Linfocitos: 34%

Los granulocitos y monocitos contienen en su citoplasma gran cantidad de lisosomas con enzimas que pueden digerir agentes tóxicos.

Cuando los monocitos llegan a los tejidos aumentan de tamaño y se convierten en macrófagos tisulares capaces de fagocitar microbios y residuos celulares.

Los linfocitos se dividen principalmente en linfocitos T, encargados de la inmunidad celular, y linfocitos B, responsables de la inmunidad mediada por anticuerpos. Los linfocitos T están relacionados con el Timo y los B con el hígado y la médula ósea.

La vida de los monocitos es de horas, en cambio los linfocitos viven meses y años.

Plaquetas

Las plaquetas son fragmentos celulares sin núcleo, tienen un diámetro entre 2 y 5 μm , y una sobrevivida de 7 a 10 días. Cumplen una función muy importante en los procesos de coagulación de la sangre ante una lesión de los vasos sanguíneos. En la Tabla se comparan las características de las plaquetas con los otros cuerpos formes de la sangre.

Tabla: Cuerpos formes de la sangre

Elementos Formes	Cantidad Relativa (%)	Cantidad por mm^3 de Sangre	Diámetro Corpuscular (μm)	Volumen Corpuscular (μm^3)
Eritrocito	95	4.2 - 5.4 x 10^6 (hombre) 4.6 - 6.2 x 10^6 (mujer)	6 - 9	80 - 100
Leucocito	0.15	5000 - 11000	6 - 10	160 - 450
Plaqueta	1.85	1.5 - 4.0 x 10^5	2 - 4	5 - 10

Eritropoyesis

Las células sanguíneas (eritrocitos, plaquetas, neutrófilos, eosinófilos, basófilos, linfocitos, monocitos) se forman en la médula ósea a partir de células totipotenciales. El proceso lleva unas dos semanas.

La médula ósea tiene células hematopoyéticas que en algún momento se "comprometen" a formar un tipo definido de célula sanguínea. El número de células de la médula ósea decrece con la edad.

Hay proteínas inductoras del crecimiento y también inductoras de la diferenciación. Una falta de oxígeno activa estos dos mecanismos. En la serie blanca, las infecciones hacen algo similar.

La eritropoyesis es el proceso de producción de los glóbulos rojos maduros. El mecanismo regulador de la eritropoyesis es una hormona: la eritropoyetina, que se forma en el riñón, razón por la cual en la insuficiencia renal hay anemia. El mecanismo que desencadena la liberación de eritropoyetina es la hipoxia tisular.

Hay dos factores de maduración de los eritrocitos: el ácido fólico y la vitamina B12. En este último caso es necesaria la presencia del factor intrínseco producido a nivel de la mucosa gástrica.

La serie roja comienza en el proeritroblasto, sigue el eritroblasto basofílico, luego el policromático, el reticulocito y finalmente el eritrocito, que se vierte al torrente sanguíneo.

Leucopoyesis

Hay dos líneas principales de leucocitos, la mielocítica y la linfocítica.

La mielopoyesis es el proceso por el cual una célula madre produce neutrófilos, eosinófilos, basófilos y monocitos. Pasan por la fase de mieloblasto neutrófilo, monoblasto, mieloblasto eosinófilo y mieloblasto basófilo, respectivamente.

La linfopoyesis se inicia con el linfoblasto y da como resultado final linfocitos B y T que, luego migran hacia los ganglios linfáticos.

Trombopoyesis

La trombopoyesis es el proceso por el cual se producen plaquetas a partir de células totipotenciales pasando por las etapas de megacarioblasto y megacariocito.

Sistema Reticulo Endotelial

Los monocitos, macrófagos, células endoteliales, médula ósea, bazo y ganglios linfáticos constituyen el sistema retículo endotelial. Este sistema de defensa está muy diseminado, así hay macrófagos alveolares en los pulmones, macrófagos de Kupffer en el hígado, y demás órganos como bazo y médula ósea.

Plasma y Líquidos Corporales

El volumen de sangre de un humano adulto es de unos 5 litros. El 60% de la sangre es plasma, por lo que el plasma sanguíneo suma cerca de 3 litros, de los cuales el 91% (aproximadamente) es agua. Además, el plasma contiene electrolitos, hidratos de carbono, lípidos, proteínas y hormonas.

En el plasma hay elementos electrolíticos, o sea que tienen carga y otros elementos no electrolíticos. Entre los no electrolíticos se encuentran: colesterol, fosfolípidos, glucosa, urea, ácido láctico, ácido úrico, creatinina, bilirrubina, sales biliares y otros. Entre los elementos electrolíticos: sodio, potasio, calcio, magnesio, cloro, bicarbonato, fosfatos, sulfatos.

El plasma tiene proteínas y aminoácidos en solución, que junto con los otros elementos hacen que tenga una presión osmótica de unos 300 mOsm/litro. Aproximadamente el 8% en peso de plasma equivale a las proteínas plasmáticas; fundamentalmente albúmina, globulinas y fibrinógeno. La albúmina colabora en mantener la presión osmótica y en transportar hormonas y otros elementos. Las globulinas están relacionadas al sistema de defensa del organismo y también son medio de transporte para diferentes moléculas como grasas y algunos hidratos de carbono. El fibrinógeno participa en la formación del coágulo de sangre.

Los hidratos de carbono son hidrosolubles, por ello se vuelcan al aparato circulatorio para luego ser recogidos por las células que los requieran.

Los lípidos y las grasas son transportados por la sangre unidos a proteínas plasmáticas, dando lugar a las lipoproteínas. Las lipoproteínas son absorbidas por las células y desacopladas dentro de las mismas. Se pueden diferenciar entre lipoproteínas de baja densidad (LDL) y de alta densidad (HDL); las primeras contienen mayor cantidad de lípidos.

El agua entra al cuerpo por ingestión aunque también existe producción de agua endógena. Normalmente el cuerpo pierde 700 ml por piel y respiración; por materia fecal, unos 100 ml; y por orina, 1.5 litros por día. Lo que significa que estas cantidades tienen que ser repuestas.

En forma esquemática se puede decir que hay agua intracelular y extracelular. Entre ambas constituyen el 60% del peso corporal (más de 40 litros). El agua intracelular es el 40 % del peso corporal.

Se denomina suero al líquido que resulta de extraer a todos los cuerpos formes y al fibrinógeno de la sangre. Esto se logra dejando que la sangre se coagule completamente antes del centrifugado.

Densidad y Viscosidad de la Sangre

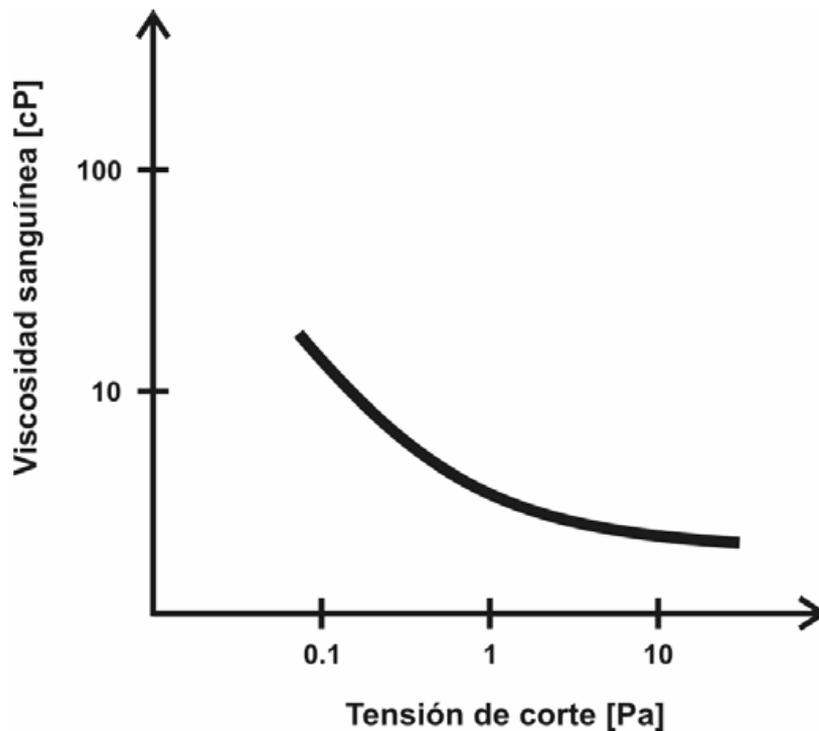
Los parámetros que definen la reología de la sangre están determinados por la viscosidad del plasma sanguíneo, el hematocrito y la deformabilidad y agregación de los glóbulos rojos.

La densidad de los glóbulos rojos es mayor que la del plasma, mientras que ésta última depende de la concentración plasmática de proteínas. La densidad de la sangre (ρ_s , en kg/m^3) es función del hematocrito (Ht, en fracción de 1) de acuerdo a:

$$\rho_s = 1026 + 67 \cdot Ht$$

La sangre es un fluido complejo de tipo no newtoniano. Por lo tanto, a diferencia de los líquidos newtonianos como el agua, la viscosidad depende de la tensión de corte (tangencial) a la que está

sometida. La viscosidad es baja para grandes valores de tensión de corte y es alta en la zona de tensiones de corte menor resultado de la agregación eritrocitaria. Las distintas regiones del circuito sanguíneo imponen en la sangre diferentes valores de tensiones de corte.



Viscosidad de la sangre medida en centipoises (cP) en función de la tensión de corte aplicada medida en Pascales (Pa).

La viscosidad de la sangre también depende del hematocrito, aumentando la misma con el incremento del porcentaje de glóbulos rojos. La unidad de medida de la viscosidad más usada es el cP (centipoise): 1 cP equivale a 1 mPa.s (milipascal por segundo).

Función: función de los eritrocitos

La sangre tiene tres funciones esenciales:

- 1-Transporte (gases, nutrientes, desechos, hormonas),
- 2-Regulación (PH, temperatura, presiones osmóticas) y
- 3-Defensa del organismo (leucocitos, anticuerpos).

La sangre contribuye significativamente a mantener la homeostasis o equilibrio del organismo.

Los eritrocitos intervienen en la oxigenación de los tejidos corporales. La afinidad de la hemoglobina por el oxígeno se refleja en la curva de saturación versus presión parcial del gas, que es sigmoidea y se desplaza en función del PH, la PCO_2 y la temperatura.

La carboxihemoglobina es la combinación de la hemoglobina con monóxido de carbono. El monóxido de carbono es 200 veces más afín a la hemoglobina que el oxígeno.

Función de los Leucocitos

Los leucocitos actúan en la defensa del organismo frente a las infecciones. Forman parte de la inmunidad que tiene un organismo determinado y que le permite no ser invadido por elementos extraños, aún cuando sean de la misma especie.

Los neutrófilos migran a los tejidos y se quedan unos 4 días. Su actividad es fagocítica.

Los eosinófilos tienen gránulos que actúan contra parásitos y en enfermedades alérgicas. También tienen actividad fagocitótica.

Los basófilos contienen histamina y heparina y tienen actividad semejante a los eosinófilos.

Los monocitos conforman un sistema que se encuentra en diversos órganos, los macrófagos de Kupfer del hígado son un ejemplo de ello.

Los linfocitos ayudan en la fagocitosis a través de los anticuerpos que producen.

Sistema Inmunitario Innato

El sistema inmune comprende un conjunto de mecanismos que se desencadenan como consecuencia de la agresión de agentes exógenos o endógenos.

Hay una inmunidad innata (o inespecífica) y otra adquirida (o específica).

La inmunidad innata es la que no involucra a células inmunocompetentes. Está formada por barreras naturales, factores químicos y factores celulares.

La piel es poco apta para el crecimiento de colonias de microorganismos, a lo que contribuye la acidez del sudor. La saliva tiene lisozima, lactoferrina, defensinas, histatinas.

Las barreras de defensa inespecífica también implican a macrófagos tisulares, neutrófilos y monocitos que actúan fagocitando a los microbios agresores.

La liberación de heparina e histamina en la zona de la infección previene la coagulación y genera una vasodilatación que aumenta la permeabilidad de los vasos locales para que las células sanguíneas puedan pasar a la zona infectada; esto genera un edema que aísla al microbio.

Opsonización: es marcar un elemento como blanco de los fagocitos.

En la fase aguda hay factores humorales que colaboran con la inmunidad innata: proteína C reactiva, fibrinógeno, haptoglobina, ceruloplasmina, citocinas, interferones.

Este sistema inmunitario hace que haya enfermedades de especies animales que no pueden ser transmitidas a otros.

Sistema Inmunitario Adquirido

Los linfocitos son los que proveen la inmunidad adquirida. Se encuentran en el tejido linfoideo: anillo de Waldeyer (faringe), ganglios linfáticos, bazo, submucosa de aparato digestivo y médula ósea. Comprenden las inmunoglobulinas (Ig) de superficie.

La inmunidad adquirida se desencadena específicamente contra sustancias extrañas particulares llamadas antígenos, y ocurre únicamente después de estar expuestos a ellos.

Los antígenos son polisacáridos o proteínas que inician las reacciones inmunitarias. Ellos determinan la formación de anticuerpos.

Existen dos tipos de respuestas adquiridas, una mediada por anticuerpos (inmunidad humoral), conducida por los linfocitos B, y otra mediada por células, llevada a cabo por los linfocitos T.

Los anticuerpos son glucoproteínas producidas por los linfocitos B, las inmunoglobulinas IgG e IgM son los más abundantes. Cuando encuentran un antígeno, los anticuerpos se unen a ellos, y ejercen su acción produciendo aglutinación, precipitación, neutralización y o lisis. Unidos a los anticuerpos, los antígenos son reconocidos y destruidos por los fagocitos.

Las vacunas son formas de protección que usan al sistema inmune como mecanismo de prevención. El cuerpo se expone intencionalmente a una pequeña cantidad de antígenos desactivados. De esta manera, el sistema inmune es sensibilizado. Luego, cuando el organismo es infectado por ese antígeno, se desencadena una rápida y numerosa producción de anticuerpos.

Los linfocitos T se unen a los antígenos y los matan directamente. En la inmunidad celular también participan macrófagos activados.

El complemento es un grupo de proteínas plasmáticas que interviene en la defensa. Cuando este sistema se activa, se desencadena una cascada de catalizadores químicos o enzimas que contribuyen a la lisis de microorganismos y bacterias.

Coagulación

Cuando hay un traumatismo vascular se activan los procesos que evitan la pérdida de sangre: vasoconstricción, agregación plaquetaria, coagulación de la sangre y crecimiento del tejido fibroso.

Las plaquetas se unen a la pared vascular lesionada y liberan un potente vasoconstrictor llamado serotonina que estimula la contracción del músculo liso parietal produciendo el estrechamiento del vaso.

Luego de la vasoconstricción, se forma un trombo blanco con plaquetas (agregación plaquetaria), resultando esto en un verdadero tapón que sella temporalmente el sitio de injuria.

La coagulación sigue con un mecanismo llamado de la cascada, en el que intervienen los factores de la coagulación y el calcio. La vitamina K es fundamental para la síntesis de algunos factores: protrombina, factor VII, factor IX y Factor X. La cascada es un mecanismo por el cual el efecto se va amplificando a través de las distintas etapas.

El proceso clave es la conversión del fibrinógeno a fibrina por acción de la trombina.

Las fibras de fibrina forman una red sobre el tapón plaquetario que atrapa glóbulos rojos y forma el coágulo sanguíneo. La cascada de la coagulación puede iniciarse por un mecanismo intrínseco (desde la sangre) o extrínseco (a partir de las células endoteliales del tejido lesionado). Las proteínas que son activadas por la cascada tienen una vida media muy corta; esto permite una acción localizada ya que solo pueden recorrer una corta distancia desde el sitio de injuria.

Luego de formado el coágulo, éste comienza a contraerse generando el acercamiento de los bordes lesionados del vaso. La retracción y lisis del coágulo es llevado a cabo por una enzima proteolítica, la plasmina.

Se denomina hemostasia a los procesos que regulan el equilibrio fisiológico entre la coagulación y la hemorragia.

Medio Interno

Tal como se mencionó anteriormente, las células humanas viven en un medio acuoso que debe mantener un grado de estabilidad en lo relacionado a concentraciones de solutos y ciertos elementos, tales como los iones. Los líquidos corporales mantienen una temperatura constante y también un estado de leve alcalosis en un PH de 7.4. El PH es una unidad de medida de la concentración de hidrogeniones.

El control del equilibrio ácido-básico se hace en distintas partes del cuerpo, siendo los riñones y los pulmones partes importantes del mismo. Por otro lado, existen hormonas que intervienen en el manejo de los líquidos corporales, tanto en lo que hace a su cantidad, como a su constitución. Las hormonas se originan en glándulas especiales y se acoplan a receptores celulares en cualquier parte del organismo. Por medio de ellas, la sangre representa el modo más simple para establecer una comunicación entre diferentes células.

El control de sodio y potasio está regido, entre otros reguladores, por la aldosterona que se produce en la médula suprarrenal. Las glándulas suprarrenales o adrenales se encuentran en la parte superior de los riñones. Un aumento de aldosterona retiene sodio y excreta potasio por orina.

El calcio está regulado por una vitamina, la D3 o 1.25 dihidroxicolecalciferol. También la hormona paratiroidea interviene en su regulación. Las paratiroides son glándulas que se encuentran detrás de la glándula tiroides en cercanías del trayecto inicial de la tráquea.

Alteraciones: Poliglobulias

Las poliglobulias están referidas al crecimiento anómalo de la cantidad de glóbulos rojos y las leucemias se originan por el aumento incontrolado de leucocitos. De estas últimas hay dos clases, linfoide y mieloide.

Anemias

Las hemorragias ocasionan anemia. Otra causa de anemia la constituye la ruptura de las membranas eritrocitarias, que en algunos casos se origina por los dispositivos que están en contacto con sangre.

Las anemias se pueden producir por falta de hierro (ferropénica), por falta de eritropoyetina (insuficiencia renal), radiaciones, tumores, falta de factor intrínseco para la absorción de ácido fólico o falta de vitamina B12.

La aplasia medular puede ser producida por radiaciones gamma, es el caso de una explosión nuclear. Pero también la producen los rayos X y ciertas drogas sintéticas como el cloramfenicol.

La anemia hemolítica puede ser producida por factores hereditarios, ejemplo de ello son las talasemias.

En las anemias hay un incremento de la actividad cardiaca, tal es el caso de la taquicardia.

Inflamación

La Tetrada de Celso consiste en: calor, tumor, dolor, rubor. Es producido por histamina, bradicinina, prostaglandinas.

Ante un ataque de una bacteria, los neutrófilos y los monocitos asumen la defensa del organismo destruyendo al invasor. Los neutrófilos ejercen su acción en la sangre y los monocitos pasan a los tejidos, donde se convierten en macrófagos que tienen alta capacidad combativa. Neutrófilos y monocitos fagocitan a las bacterias atacantes y los lisosomas completan la acción digestiva.

La propiedad por la cual los tejidos inflamados atraen glóbulos blancos se llama quimiotaxis. La inflamación aísla al organismo invasor.

Enfermedades Autoinmunes

El no reconocimiento de tejidos como propios lleva a las denominadas enfermedades autoinmunes. La fiebre reumática, el lupus eritematoso, ciertas glomerulonefritis, miastenia gravis, son ejemplos de ellas.

La anafilaxis produce, a través de la histamina, una vasodilatación generalizada. El asma, las alergias y la fiebre del Heno son otros casos de alergias e hipersensibilidad.

Hemofilia

Es ocasionada por deficiencia hereditaria de factor VIII.

Trombocitopenia

Es la baja cantidad de plaquetas en plasma y obedece a distintas etiologías.

Trombosis y Embolias

La formación de trombos en venas Safenas puede determinar la liberación de émbolos que impactan en los pulmones. Asimismo la formación de un coágulo en una cavidad izquierda puede impactar en cualquier órgano de la economía.

Diagnóstico: fórmula leucocitaria relativa

Los estudios de sangre rutinarios incluyen la fórmula leucocitaria relativa, la cual expresa los porcentajes de cada tipo de glóbulos blancos.

La neutrofilia es el aumento de los neutrófilos como respuesta a la formación de una inflamación aguda.

Los eosinófilos aumentan en los casos de infecciones parasitarias.

Los basófilos aumentan en los estados alérgicos.

Grupos Sanguíneos

Los glóbulos rojos tienen antígenos o aglutinógenos en sus membranas: A, B, y Rh. Los aglutinógenos dan nombre al grupo. Cuando no hay aglutinógenos ni A, ni B, se llama O (ver Tabla).

En el plasma se desarrollan aglutininas: anti A y anti B. La formación de las mismas ocurre luego del nacimiento.

El grupo A tiene aglutinógenos A en las membranas de sus glóbulos rojos y aglutininas anti B en su plasma.

El grupo B tiene aglutinógenos B en las membranas de sus glóbulos rojos y aglutininas anti A en su plasma.

El grupo AB tiene aglutinógenos A y B en las membranas de sus glóbulos rojos y no tiene aglutininas.

El grupo O no tiene aglutinógenos en las membranas de sus glóbulos rojos y tiene aglutininas Anti A y Anti B en el plasma.

Los antígenos Rh pueden estar presentes (+) o ausentes (-). Cuando hay una madre Rh (-) y padre Rh (+) el hijo hereda el Rh (+) del padre y la madre genera aglutininas anti Rh. Estos anticuerpos pasan la barrera placentaria y generan la eritroblastosis fetal.

Tabla: Aglutinina y aglutinógenos presentes en los diferentes grupos sanguíneos

Grupo Sanguíneo	Aglutinógeno en Membrana Eritrocitaria	Aglutinina en Plasma Sanguíneo
A	A	Anti B
B	B	Anti A
AB	A y B	-
O	-	Anti A y Anti B

Obsérvese que los aglutinógenos dan nombre al grupo sanguíneo y las aglutininas son las que van a determinar qué tipo de sangre se les puede administrar a pacientes con un determinado grupo sanguíneo.

Terapéutica: Higiene, Dieta. Tratamiento farmacológico. Transfusión sanguínea.

Las alteraciones de la sangre y del sistema inmunitario están muy relacionadas con el medio ambiente y la psiquis del individuo. Una vida sana contribuye a un estado inmunológico óptimo. La vacunación es una eficiente forma de prevención de enfermedades así como una dieta equilibrada.

La ingesta de vitaminas, ácido fólico, hierro y demás elementos contribuye a prevenir anemias. A su vez, el hierro es también un tratamiento cuando la enfermedad ya está instalada.

La transfusión sanguínea tiene por objeto restablecer la sangre total o alguno de sus componentes. En el caso de la eritroblastosis fetal se transfunde sangre Rh (-).

La exanguinotransfusión se realiza en estados tóxicos o en casos de hemorragias importantes.

El plasma fresco o congelado mantiene los factores de coagulación. Se da en sangrados por déficit de coagulación y debe ser ABO compatible.

El concentrado de plaquetas es una terapéutica que se instituye en casos de trombocitopenia.

Los anticoagulantes como acenocumarina y warfarina son muy utilizados en pacientes con dispositivos y prótesis cardiovasculares. La heparina previene la formación de coágulos.

La estreptoquinasa y otros fibrinolíticos son capaces de lizar un coágulo en el interior de una arteria de un paciente vivo.

La elaboración de un reemplazo artificial que cumpla todas las funciones de la sangre no es posible actualmente. Sin embargo, algunas características de la sangre pueden ser obtenidas por sustitutos como los fluidos coloides. Investigaciones recientes apuntan al desarrollo de elementos que puedan transportar oxígeno.

BIBLIOGRAFÍA

Armentano RL, Cabrera Fischer EI. Biomecánica Arterial. R. L. Editorial Akadía Buenos Aires, Argentina; 2008.

Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. Second Edition, Volume I. CRC Press, Printed in the USA; 2000.

Brunton LL, Lazo JS, Parker KL. Las bases farmacológicas de la Terapéutica. Undécima Edición Mc Graw Hill. Colombia; 2006.

Cabrera Fischer EI. Bases de la Fisiología Humana normal y alterada: un enfoque para ingenieros clínicos. Editado por la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Segunda Edición, Argentina; 2007.

Cingolani HE, Houssay AB. Fisiología Humana de Houssay. El Ateneo, Buenos Aires; 2000.

Curtis H y Barnes SN. Biología. Editorial Médica Panamericana. Impreso en España; 2000.

De Robertis E y Ponzio HIB. Biología Celular y Molecular. Editorial El Ateneo. Impreso en Argentina; 2002.

Del Río Miguel. Función cardiopulmonar y sus aspectos clínicos y terapéuticos. Editorial Intermédica S.A.I.C.I., Buenos Aires, Argentina; 2009.

Dvorkin M, Cardinali D. Bases fisiológicas de la práctica médica. 13^{ava} edición. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina; 2003

Ganong WF. Fisiología Humana. Manual Moderno 17^{ava} edición. México DF; 2000.

Guyton A, Hall J. Fisiología Médica, Elsevier, Barcelona, España; 2011.

Hansen JT, Koeppen BM. Atlas de Fisiología Humana de Netter. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2003.

Johnson LR. Essential Medical Physiology. Elsevier Academic Press, Tercera Edición, New York, USA; 2003.

Kapit W, Macey RI, Meisami. The Physiology. Second Edition, New York, USA; 2000.

Mautner B. Medicina. Centro Editor de la Fundación Favaloro; 2003.

Netter FH. Atlas de Anatomía Humana. Tercera Edición. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2004.

Raven PH, Johnson GB. Biology. Mc Graw Hill, Sexta Edición, USA; 2001.

CAPÍTULO XII

SISTEMA ENDÓCRINO

Estructura: Hipófisis. Tiroides y Paratiroides. Glándulas adrenales. Páncreas. Ovarios y testículos. Glándula Pineal.

Función: Función de las glándulas. Hormonas. Control de las funciones corporales. Neurohormonas. Hormonas de la reproducción.

Alteraciones: Hipertiroidismo e Hipotiroidismo. Cretinismo. Diabetes. Feocromocitoma. Insuficiencia hipofisaria.

Diagnóstico: Signos clínicos. Dosajes hormonales. Estudios complementarios. Radioinmunoanálisis.

Terapéutica: Terapia sustitutiva. Cirugía. Consideraciones finales.

Las glándulas endócrinas vierten los productos elaborados por ellas a la sangre y los mismos tienen acción sobre las células. En un principio esta acción, que se llamó endocrina, se refería a tejidos que se encontraban a distancia. O sea que una glándula cualquiera como la tiroides, hipófisis, suprarrenal, ovario, testículo, vertía su producto de secreción a la sangre y como resultado había un efecto que podía ser sobre un tejido, el cual respondía con una acción determinada. Este tejido podía ser también otra glándula.

Posteriormente surgieron otros conceptos, sobre todo debido al descubrimiento de mayor número de hormonas o mediadores químicos, producidos por prácticamente todos los tejidos del cuerpo. En consecuencia se habla de función autocrina (la célula produce una sustancia que tiene efecto sobre ella misma) y paracrina (la célula produce una sustancia que tiene efecto sobre la vecina). Yendo mas lejos, se habla de las feromonas, que son sustancias que salen de un individuo y usando el aire ambiente como medio de propagación, hacen su efecto sobre otro ser.

Las hormonas han sido clasificadas de muchas maneras: por su estructura química, por su sitio de origen, su mecanismo de acción y otras. Debido al elevado número de hormonas, en este capítulo se describirán algunas de ellas.

En líneas generales las hormonas se fabrican en una glándula, se almacenan hasta que un estímulo hace que se liberen. Luego de ser transportadas (por la sangre), ejercen su acción y son metabolizadas (inactivadas).

Hipófisis

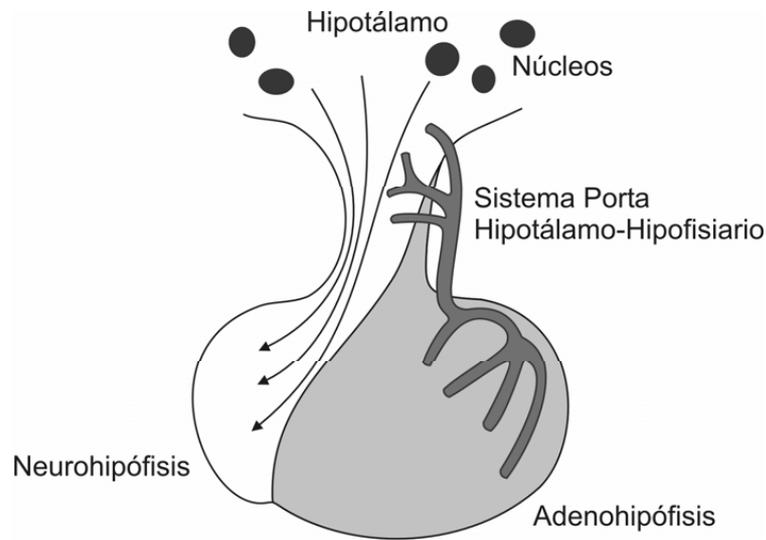
En estados embrionarios, una parte de la faringe anterior, migra hacia la base del sistema nervioso central y junto con una prolongación del mismo conforma la glándula pituitaria o hipófisis. Esta minúscula glándula de origen embrionario compuesto pesa menos de 1 gramo y se encuentra en la silla turca, que es parte del hueso esfenoides.

El esfenoides es un hueso de grandes dimensiones y se encuentra en la parte anterior de la base del cráneo.

La parte del sistema nervioso con la que la hipófisis se encuentra en contacto, se llama hipotálamo ya que la región está debajo del Tálamo, el cual es un centro de escala de vías nerviosas.

La conexión de la hipófisis con el hipotálamo se hace a través del tallo hipofisario. La parte anterior de la hipófisis se llama adenohipófisis y es la parte que deriva del epitelio faríngeo embrionario. En cambio la parte posterior se llama neurohipófisis y tiene relación directa con el

sistema nervioso y específicamente con el hipotálamo. La relación de la adenohipófisis con el sistema nervioso se hace a través de un sistema porta hipotálamo-hipofisario que es venoso y lleva sangre arterial. Hay que destacar que la secreción de estas hormonas se hace bajo control hipotalámico que segrega los Factores Liberadores. También hay factores que inhiben dicha secreción.



Hipófisis o glándula pituitaria: está conformada por una parte derivada del tejido nervioso (blanco) y otra de células epiteliales (gris). Ambas realizan su función en relación al hipotálamo, el cuál influencia la actividad de la hipófisis a través de conexiones nerviosas (flechas) y un Sistema Porta.

La hormona antidiurética modifica la permeabilidad al agua en los túbulos del nefrón y se produce una disminución de la diuresis. A mayores dosis esta hormona es vasoconstrictora por lo que también se llama Vasopresina.

Tiroides y Paratiroides

La tiroides es una glándula de unos 20 gramos de peso, que se encuentra en el cuello a ambos lados y adelante de la tráquea superior. Por ello es palpable en estados alterados y su acceso es relativamente sencillo en cirugía. Una pequeña parte de la tiroides pasa por delante de la tráquea constituyendo una suerte de istmo que une dos estructuras lobulares que se disponen a ambos lados de la vía aérea. Las paratiroides se encuentran en número de cuatro, dos a cada lado en las cercanías de los extremos superiores e inferiores de ambos lóbulos tiroideos.

Histológicamente la tiroides está conformada por folículos que están constituidos por células secretoras que vierten su producto hacia un espacio al que rodean. Cerca de estos folículos están las células parafoliculares que también tienen función endocrina.

Glándulas Adrenales

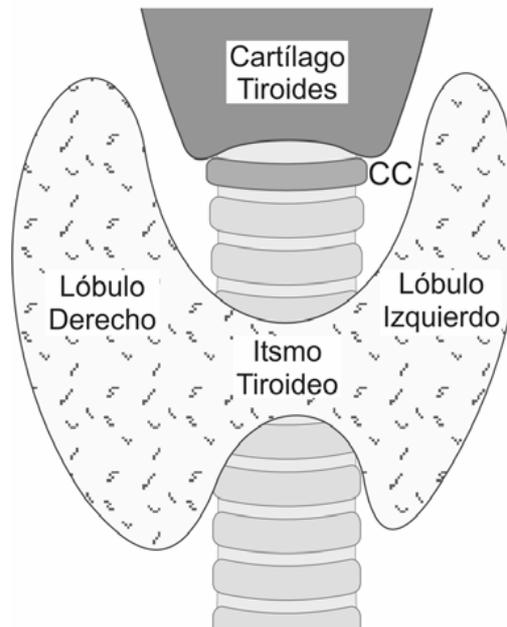
Las suprarrenales o glándulas adrenales (*ad*: al lado de; *renales*: relativo al riñón) se encuentran por encima y por dentro de los polos superiores de cada riñón. Tienen cierta semejanza con un gorro frigio y están constituidas por una médula y una corteza.

La corteza suprarrenal está dividida en tres zonas: glomerular, fasciculada y reticular.

Páncreas

El páncreas es una glándula de secreción externa e interna y se encuentra en el abdomen. Posee una cabeza, un cuerpo y una cola, siendo de configuración alargada. La cabeza está rodeada por las porciones del duodeno y el cuerpo y la cola se encuentran en posición horizontal en dirección a la izquierda. El Páncreas posee uno o dos conductos para su secreción al tubo digestivo.

El páncreas está constituido por varios tipos de células y el mayor volumen de las mismas está dirigido a las secreciones digestivas. Por otro lado hay células que tienen funciones endocrinas y son a su vez de varios tipos: alfa, beta y delta.



Glándula Tiroidea, con dos lóbulos unidos por el istmo. Cercana al cartílago del mismo nombre. Usualmente el istmo está delante del segundo, tercer y cuarto cartílago traqueal. CC: Cartílago Cricoides.

Ovarios y Testículos

Los ovarios a diferencia de los testículos se encuentran en el interior del abdomen. En un principio los ovarios están conformados por folículos primordiales que contienen óvulos primordiales y células de la granulosa. A lo largo de la vida la mujer tiene de unas 400 a 500 ovulaciones.

Los óvulos se generan de los folículos primordiales. Paralelo a esta actividad fisiológica existe una secreción endocrina que es generada por las células granulosas y de la Teca. Estas últimas provienen del intersticio ovárico.

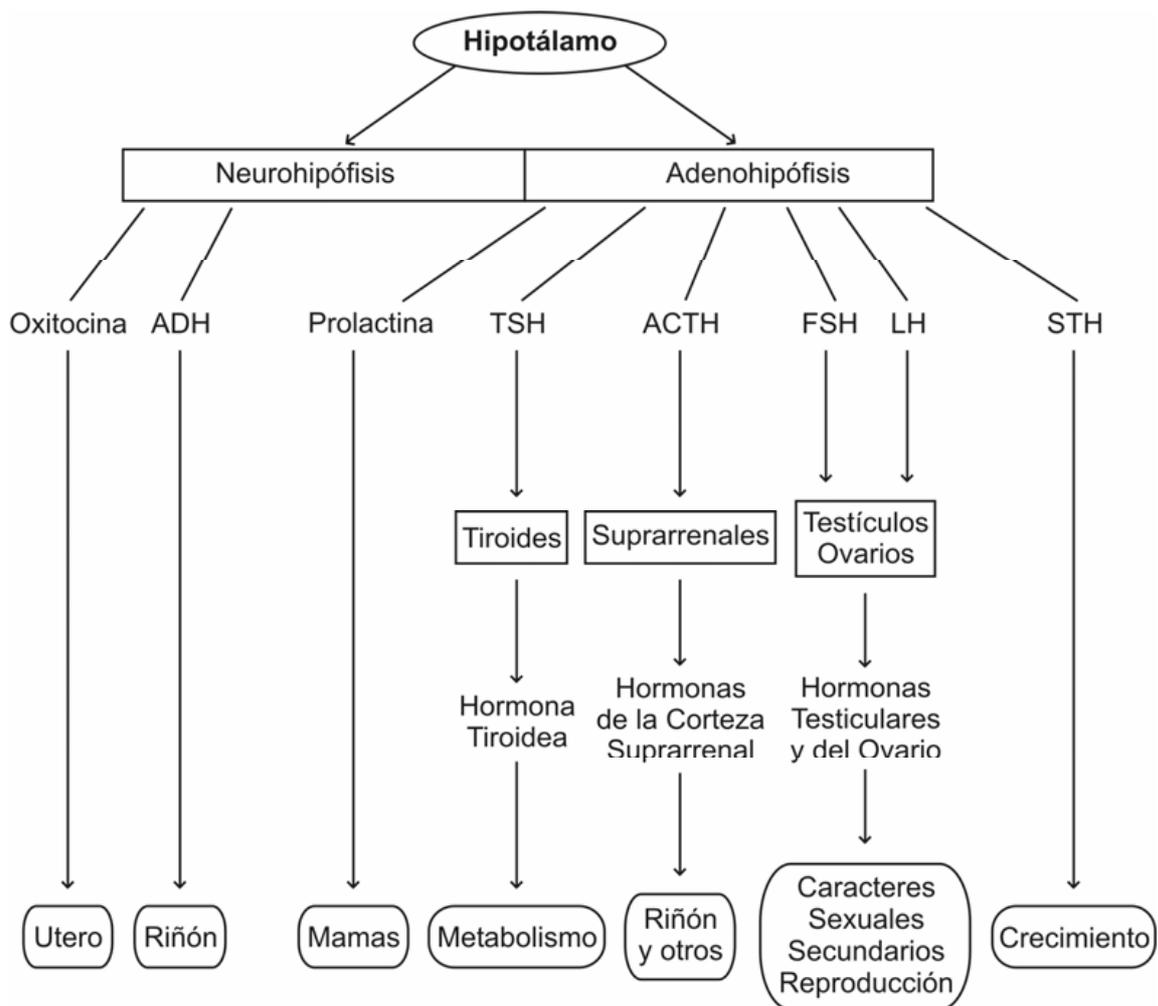
Los testículos, ubicados bilateralmente en las bolsas escrotales, están conformados por numerosos túbulos seminíferos que dan origen a los espermatozoides. Paralelo a esta estructura y ocupando el espacio intersticial aledaño a los túbulos seminíferos, se encuentran las células de Leydig que tienen funciones endocrinas. La masa de células de Leydig es más importante en adultos y menos en los niños.

Glándula Pineal

Es raro que una estructura anatómica, cuya conformación está fuera de discusión, genere tantas especulaciones fisiológicas como la pineal. Esta glándula se ubica en la base del cráneo en la parte posterior. Tendría un parecido con la hipófisis.

Función: función de las glándulas. Hormonas. Control de las funciones corporales. Neurohormonas. Hormonas de la reproducción.

La **hipófisis** tiene dos partes diferenciadas y ambas son secretoras de hormonas. En el cuadro sinóptico siguiente se observan los mediadores producidos en la Adenohipófisis.



La hipófisis, con sus dos estructuras, ejerce su efecto tanto sobre órganos efectores como sobre glándulas que a su vez generarán otras hormonas.

La Oxitocina estimula las contracciones uterinas durante el parto.

La Neurohipófisis produce oxitocina y hormona antidiurética (ADH).

La Prolactina, tiene acción sobre las mamas y estimula la secreción láctea.

Hormona tirotrófica (TSH), que tiene acción sobre la glándula tiroides.

La Adrenocorticotrofina (ACTH) tiene acción hormonal sobre las glándulas suprarrenales.

La hormona Foliculoestimulante (FSH) actúa sobre el ovario, específicamente sobre el folículo.

La hormona Luteinizante (LH) actúa sobre el ovario, específicamente sobre el cuerpo lúteo que se forma luego del folículo.

Hormona de Crecimiento, o somatotrofina (STH) que tiene acción fundamentalmente sobre los cartílagos de crecimiento de los huesos.

La glándula **tiroides**, utiliza yodo y otros elementos para su secreción proteica. Los folículos de la tiroides segregan Tiroxina, que tiene por función aumentar el metabolismo. También segrega Tirocalcitonina en sus células parafoliculares. Esta hormona aumenta cuando aumenta el calcio plasmático y su función es disminuirlo.

Las **paratiroides** producen la paratohormona que aumenta el calcio en sangre y su absorción en intestino. En tanto que disminuye el fosfato.

Las **Glándulas Suprarrenales** producen hormonas en sus distintas zonas. La estructura química de las hormonas de la corteza suprarrenal es del tipo esteroideo (colesterol).

En la capa glomerular de la corteza se produce Aldosterona, cuyo efecto es retener sodio y excretar potasio a nivel de la nefrona.

La capa fascicular de la corteza suprarrenal produce Cortisol, corticosterona y otras hormonas. El cortisol aumenta la glucosa en sangre y es un anti-inflamatorio que protege al individuo de la reacción de alarma. El cortisol se secreta siguiendo ritmos circadianos.

La capa reticular de la corteza suprarrenal produce esteroides sexuales: deshidroepiandrosterona, progesterona y estrógenos.

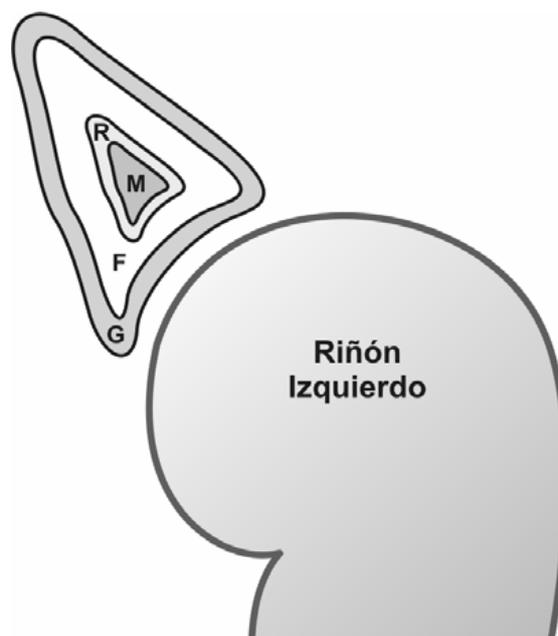
La médula suprarrenal produce adrenalina y noradrenalina.

En los islotes de Langerhans del **Páncreas** se segregan dos hormonas. En las células alfa se produce glucagón y en las beta la insulina. La insulina es una proteína que favorece la entrada de glucosa a la célula. El glucagón tiene los efectos opuestos a la insulina y también es una proteína.

El **testículo** además de producir espermatozoides es capaz de generar hormonas. Se trata de la testosterona y otras semejantes que son responsables de los caracteres masculinos del individuo.

Los **ovarios** producen estrógenos y progesterona y su función es regulada desde la hipófisis o sea las hormonas foliculoestimulante y luteinizante.

La glándula **Pineal** segrega la melatonina siguiendo ritmos circadianos. Su producción está relacionada con la luz y si bien no se sabe su exacto rol en el humano, en los animales serviría para vincular la gestación con la mejor época del año que garantiza la supervivencia. Como se sabe, la relación cantidad de horas con luz diurna/noche está ligada con los procesos fisiológicos en numerosos animales.



Las glándulas adrenales o suprarrenales tienen numerosas funciones que se realizan en su Médula (M), y las capas Reticular (R), Fasciculada (F) y Glomerular (G).

Alteraciones: hipertiroidismo e hipotiroidismo. Cretinismo. Diabetes. Feocromocitoma. Insuficiencia hipofisaria.

Una falla en la secreción de hormona de crecimiento produce enanismo, gigantismo, acromegalia. La falla total de la hipófisis se llama panhipopituitarismo y significa un déficit generalizado de sus funciones. A su vez la hipófisis puede ser afectada por enfermedades tumorales, inflamatorias, vasculares y quísticas.

Un funcionamiento en más de la tiroides, se conoce como hipertiroidismo y el opuesto es el hipotiroidismo. El hipotiroidismo en estados fetales determina el cretinismo. La tiroides a su vez puede sufrir de inflamaciones, bocio (aumento del tamaño de la tiroides) y neoplasias.

En el hiperparatiroidismo se produce litiasis renal (cálculos). Existe un hiperparatiroidismo primario (sin causa conocida).

La enfermedad de Addison consiste en la hipofunción de la corteza suprarrenal. La opuesta es el Síndrome de Cushing. El hiperaldosteronismo se conoce como Síndrome de Conn. La hiperfunción de la capa reticular produce el Síndrome Adrenogenital que se caracteriza por virilización del individuo. Un tumor de la médula suprarrenal o feocromocitoma produce hipertensión arterial debido a la liberación de hormonas simpáticas.

La falla de la producción de insulina se conoce como diabetes juvenil o Tipo I. En cambio la diabetes por insensibilización de los tejidos a la acción de la insulina, es la diabetes mellitus del adulto o Tipo II.

La falta de hormonas ováricas femeninas se llama menopausia.

Diagnóstico: Signos clínicos. Dosajes hormonales. Estudios complementarios. Radioinmunoanálisis.

Las alteraciones hormonales producen signos y síntomas que permiten diagnósticos precisos. Pero la medicina actual esta dedicada a la prevención por lo que son necesarios estudios complementarios para la detección de riesgo.

La medición de la cantidad de una hormona en sangre es una herramienta importante para el médico. Un medio es el radioinmunoanálisis, que es un método basado en el uso de isótopos y un valor patrón.

En las enfermedades hipofisarias, los métodos diagnósticos usualmente utilizados son: Resonancia Magnética Nuclear, angiografía, gammagrafía con isótopos radiactivos, tomografía computada y otras.

En las enfermedades tiroideas los dosajes de hormona en plasma son útiles, asimismo se usan: captación de yodo tiroideo, determinación de anticuerpos, gammagrafía, ecografía, Tomografía computada.

En el diagnóstico de enfermedades suprarrenales, son útiles: la tomografía computada, la gammagrafía, dosajes plasmáticos y otros.

Terapéutica: terapia sustitutiva. Cirugía.

La insulina cambió la evolución ominosa de los pacientes diabéticos. Lo mismo ocurre con la terapia sustitutiva de los pacientes con hipotiroidismo. La administración de las hormonas de las que carece el individuo es una realidad actual.

El diagnóstico de un feocromocitoma va seguido por la cirugía del tumor que la produce la cura espectacular de la hipertensión arterial.

Consideraciones finales

La deficiencia de hormonas de cualquier causa era un malestar importante para los médicos. Actualmente cuando un paciente carece de una hormona el médico lo manda a la farmacia más cómoda para el enfermo y le indica lo que precisa para realizar una terapia sustitutiva. De esta manera simple (en el presente) se reemplaza una función de origen natural por una de tipo farmacológico. La tecnología ha permitido la sobrevivencia y mejor calidad de vida gracias al estudio de la fisiología y luego a la síntesis (producción) de mediadores químicos que van a permitir que la función de regulación perdida se restablezca.

Lo expresado no significa que la terapéutica haya resuelto todos sus problemas. Por el contrario, en el presente hay muchas líneas de investigación ligadas al envejecimiento. A ello se suman aquellas investigaciones tecnológicas que apuntan a mejorar la administración de hormonas, tal es el caso de las bombas de infusión de insulina.

BIBLIOGRAFÍA

- Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. Second Edition, Volume I. CRC Press, Printed in the USA; 2000.
- Brunton LL, Izzo JS, Parker KL. Las bases farmacológicas de la Terapéutica. Undécima Edición Mc Graw Hill. Colombia; 2006.
- Cabrera Fischer EI. Bases de la Fisiología Humana normal y alterada: un enfoque para ingenieros clínicos. Editado por la Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires, Segunda Edición, Argentina; 2007.
- Cingolani HE, Houssay AB. Fisiología Humana de Houssay. El Ateneo, Buenos Aires; 2000.
- Dvorkin M, Cardinali D. Bases fisiológicas de la práctica médica. 13^{ava} edición Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires, Argentina; 2003
- Ganong WF. Fisiología Humana. Manual Moderno 17^{ava} edición. México DF; 2000.
- Guyton A, Hall J. Fisiología Médica, Elsevier, Barcelona, España; 2011.
- Hansen JT, Koepfen BM. Atlas de Fisiología Humana de Netter. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2003.
- Johnson LR. Essential Medical Physiology. Elsevier Academic Press, Tercera Edición, New York, USA; 2003.
- Kapit W, Macey RI, Meisami. The Physiology. Second Edition, New York, USA; 2000.
- Moguilevsky J. Psiconeuroendocrinología. Buenos Aires, Argentina; 2003.
- Netter FH. Atlas de Anatomía Humana. Tercera Edición. Artmed Editora. Porto Alegre, Brasil; 2004.
- Raven PH, Johnson GB. Biology. Mc Graw Hill, Sexta Edición, USA; 2001.

LA INGENIERÍA BIOMÉDICA

Introducción

De acuerdo a lo afirmado por el Dr. Donald Peterson, “*la ingeniería es la integración del arte y la ciencia e involucra el uso sistemático del conocimiento basado en los principios de las matemáticas y la física para desarrollar sistemas que tengan aplicabilidad práctica directa en el beneficio del mundo*” (Peterson, 2008).

En el Renacimiento hubo un cambio en la historia de la investigación científica. Allí es donde se considera relacionar los descubrimientos con la posibilidad de generar nuevos aparatos que eventualmente se constituirían en desarrollos que enriquecerían el conocimiento tecnológico. Leonardo da Vinci (1478-1518) es un ejemplo de lo último a pesar que la medicina lo considera como un descubridor dentro del campo del estudio del cuerpo humano. Pero no hay que confundirse, Leonardo disecaba cadáveres para conocer la “máquina” que movilizaba la vida y eventualmente generar aparatos que tuvieran características útiles. Por ello Leonardo es considerado un Ingeniero. El diseño de la “máquina voladora” de Leonardo ciertamente se relaciona con la tecnología de la navegación aérea, pero su base está en los estudios que hizo Leonardo en aves, los cuales se inscriben en el área de actividades que apuntan a generar descubrimientos. Las investigaciones mecánicas de Leonardo y sus experimentos generaron principios que mantienen su vigencia en el presente: “*Nullus effectus sine cause*”. Es el principio de causa/efecto, de lo que se derivó “*Sublata causa, tollitur effectus*”, que es lo mismo que afirmar que suprimida la causa desaparece el efecto (Cabrera Fischer, 2013).

El Renacimiento marca sin duda el fin del anquilosamiento medieval, pero es el Barroco (1600-1740) el período en que se van a generar medios tecnológicos para explorar al ser humano. No obstante, es a partir del Renacimiento que hay un punto de no retorno y la medicina es practicada por médicos que ya no confían totalmente en las escrituras de galeno y piensan que hay que seguir investigando, a diferencia de siglos anteriores en que tal disciplina podía ser ejercida por clérigos y barberos (Papp y Agüero, 1994).

Además de los avances en las interpretaciones anatómicas y una clara visión de la fisiología, el Barroco todo lo mide. Es así que distintos investigadores incursionan en la tecnología, recurso imprescindible si se quieren usar métodos objetivos de diagnóstico de enfermedades. La temperatura fue el primer registro objetivo que incorporó la medicina gracias al termoscopio, que luego se perfeccionó y fue conocido como **termómetro** (Thermos-Metron) desarrollado por un profesor de medicina teórica de Padua: Santorio Santorio (1561-1636) (Timm, 1971). Antes de ello los médicos se debían contentar con la sensación térmica que obtenían apoyando el dorso de las falanges en la frente u otro sitio del paciente. Este mismo autor estudia la elasticidad y resistencia a la ruptura de los sólidos, los fenómenos hidrostáticos, acústicos y magnéticos. Muy celebrados son sus experimentos realizados con una tecnología de desarrollo propio: una jaula-balanza en donde estudia el metabolismo humano. Este estudio culmina con el descubrimiento de la perspiración insensible (Papp y Agüero, 1994).

En lo relacionado al aparato circulatorio Galileo (1564-1642), quien fue estudiante de medicina antes de trascender como un físico famoso, descubrió la constancia del período del péndulo y la utilizó para medir la frecuencia cardiaca. Fue asimismo inventor del **termoscopio** y diseñador de un **microscopio** (en el sentido actual), pero su mayor contribución en este campo fue su predica sobre estos tópicos en Padua, donde Harvey era estudiante (Cabrera Fischer, 2010a).

Santorio se encontraba en la misma línea de pensamiento que Galileo y por ello trataba de profundizar los conocimientos científicos desarrollando aparatos. Es así que desarrolla un **Pulsilogio** que había desarrollado utilizando el principio del péndulo para estudiar el ritmo del

pulso. Santorio trabaja junto a los iatromecánicos de la época, que van a marcar un claro avance respecto de las observaciones subjetivas de los predecesores (Papp y Agüero, 1994).

El desarrollo de la tecnología óptica derivó en la aparición del microscopio, que proveyó a los médicos de una herramienta que aún hoy se utiliza y lo que es más, al presente se le siguen encontrando nuevas aplicaciones. Marcello Malpighi (1614-1672) generó el primer hallazgo microscópico trascendental en la circulación de la sangre: la existencia de capilares, tiempo antes supuesta (o postulada) por Harvey (López Piñero, 1973). El mérito del avance de la microscopía en medicina le corresponde a un holandés: Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), que logró aumentar los objetos hasta 300 veces su tamaño. Lo más interesante es que hizo alrededor de 400 microscopios en una apasionada labor que lo colocaría en la historia de la ingeniería biomédica (Albarracín Teulón, 2001; Timm, 1971).

El siglo XIX había comenzado con ambiciosas propuestas, tales como la de la circulación extracorpórea propuesta en 1812 por Le Gallois (Zimmer, 2001), y finalizó con un cúmulo de tecnología en el laboratorio experimental (Ver Tabla I) y un crecimiento del instrumental en la clínica médica.

TABLA I
Incorporaciones Tecnológicas a la investigación biológica en el Siglo XIX

Calorímetro de radiación	Reloj de Bowditch
Cápsula de Marey	Alcohoscopio (usado por Bernard)
Quimógrafo	Osmómetro
Cronómetro	Micrótopo
Micrófono	Areómetro
Estimuladores	Balanza Hidrostática
Sondas termoelectricas	Higrómetro
Esfigmógrafo	Electrómetro
Galvanómetro	Aparato de Polarización
Microscopio	Prismas
Sensor de presión	Gasómetro
Miógrafo	Volúmetro muscular

Lo importante de los desarrollos tecnológicos realizados a fines del siglo XIX es que los mismos no quedaron en el laboratorio, sino que pronto fueron utilizados en clínica. Es así que se hicieron correlaciones con aumentos de tensión arterial y la existencia de una neuropatía.

Los avances en el estudio de la fisiología arterial se acompañaron de cambios de conductas terapéuticas, sobre todo en lo referido al tratamiento de enfermedades ancestrales que no por diagnosticadas eran eficientemente tratadas. Es así que en 1867 Brunton describe la acción del nitrito de amilo en los anginosos, y en 1879 Murrell publica la acción de la Nitroglicerina en el mismo cuadro clínico. En 1896 Rehn en Frankfurt sutura por primera vez una herida cardiaca (Wertenbaker, 1980).

Lo que siguió a los aportes de estos tecnólogos primitivos es mas conocido y quien desee conocer más de la historia de los descubrimientos biomédicos tiene excelentes obras a las cuales dirigir su atención (Neuman, 2012).

Áreas relacionadas a la Ingeniería Biomédica

El Manual de Ingeniería Biomédica de Joseph Bronzino muestra al principio de las 2862 páginas contenidas entre tapa y contratapa, un interesante resumen de las áreas del conocimiento que se relacionan con la temática abordada (Bronzino, 1995). Según este autor, dentro de la Ingeniería Biomédica se incluyen las siguientes entidades: Biomecánica, Biomateriales, Modelización

Fisiológica-Simulación-Control, Instrumentación Biomédica, Análisis Médicos y Biológicos, Ingeniería de la Rehabilitación, Dispositivos Protésicos y Órganos Artificiales, Informática Médica, Imágenes Médicas, Biotecnología, Ingeniería Clínica y, Efectos Biológicos de los Campos Electromagnéticos. NINGUNO de ellos puede ser cabalmente interpretado si no se conocen las bases fisiológicas del humano. En estos casos el desconocimiento de la fisiología tiene dos consecuencias inmediatas: la asociación del ingeniero con el médico y/o el error.

Debido al solapamiento y algunas controversias del pasado en lo relacionado a definiciones de cada una de las entidades mencionadas, se comentarán aspectos prácticos útiles en la terminología relacionada a la Ingeniería Biomédica:

Bioingeniería

Según el Instituto de Ingenieros en electricidad y electrónica (IEEE), *la bioingeniería es una disciplina que se dedica a resolver problemas de las ciencias de la vida usando métodos de la ingeniería.*¹

Por otro lado, el bioingeniero es un profesional que posee formación en ciencias básicas incluyendo la biología y se puede manejar en bioinformática y electrónica. Asimismo, es capaz de interactuar con el médico y con el biólogo así como realizar análisis de datos.

Ingeniería Biomédica

La ingeniería biomédica es “*una rama de la ingeniería que utiliza principios eléctricos, mecánicos, químicos, ópticos y otros para comprender, modificar y/o controlar sistemas biológicos*” (Bronzino, 1995).

Al presente es muy clara la necesidad de ingenieros biomédicos, quienes están involucrados en muchos proyectos de implementación de nuevas tecnologías médicas, los cuales incluyen a los ingenieros de otras ramas: ingenieros químicos, electrónicos, mecánicos e ingenieros en computación. Como es fácil de observar, éstos ingenieros involucrados en la resolución de problemas asociados a las ciencias biológicas y médicas precisarían del conocimiento de la macro y la microestructura del cuerpo humano ligada a la fisiología.

El ingeniero biomédico que trabaja en un centro de alta complejidad encuentra rápidamente una forma de integrar sus conocimientos tecnológicos con la solución a problemas relacionados con las discapacidades humanas. Tal es el caso de los problemas locomotores que precisan desde el desarrollo de una silla con motor eléctrico hasta la creación de un exoesqueleto. En estos casos el ingeniero biomédico no sólo debe conocer la fisiología sino que debe estar atento a las condiciones psicológicas del receptor de la tecnología que genera. A propósito de ello se debe recordar los traumas psicológicos de los receptores de las primeras válvulas mecánicas que se colocaron en corazones humanos enfermos: el ruido que producían ponían a los pacientes estados de profunda inestabilidad psicológica.

Ingeniería Clínica

Según el Colegio Americano de Ingeniería Clínica (American College of Clinical Engineering (ACCE), la ingeniería clínica “*es la disciplina en la que se desarrollan los ingenieros clínicos, quienes se dedican al apoyo y cuidado de pacientes mediante la aplicación de la ingeniería y la capacidad de gestión en el marco de la tecnología sanitaria*”²

La tecnología sanitaria que el ingeniero clínico encuentra en centros médicos de alta complejidad puede ser clasificada en dos grandes grupos: *Tecnología Diagnóstica* y *Tecnología Terapéutica*.

La *Tecnología Diagnóstica* incluye desde simples termómetros hasta tomógrafos por emisión de positrones. Este tipo de equipamiento es tan variado que en las exposiciones comerciales

¹ <http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Category:Bioengineering>

² <http://www.accenet.org/>

usualmente una empresa presenta sólo tecnologías relacionadas con zonas del cuerpo humano muy específicas.

La *Tecnología Terapéutica* incluye desde simples tijeras de cirugía hasta órganos artificiales, sin dejar de lado aquellos desarrollos ligados a la rehabilitación de pacientes discapacitados por patologías específicas.

Biomecánica

“La biomecánica es el estudio de la forma en que las fuerzas físicas interactúan en los sistemas vivientes. Es una rama de la bioingeniería” (Ethier, 2007). El término fue generado por Lamarck (1744-1829) y también puede ser definido simplemente como la mecánica aplicada a la biología (Armentano, 1994).

La biomecánica ha tenido grandes avances en aquellos sistemas del cuerpo humano que tienen funciones ligadas a fenómenos biofísicos tales como el aparato locomotor y el sistema cardiovascular. El desarrollo de las primeras válvulas cardíacas de tipo biológicas fue acompañado por múltiples estudios biomecánicos en el equipo francés del Dr. Alain Carpentier y que culminaron con la válvula que lleva su nombre.

Biomateriales

Con el término “biomateriales” se califica a *“aquellos materiales que, puestos en contacto con estructuras vivientes no generan efectos dañinos para la salud del humano”* (Galletti, 1995).

El desarrollo de dispositivos implantables ha potenciado el estudio de materiales biocompatibles. Por otro lado, el reemplazo de funciones corporales perdidas ha generado un desarrollo importante de dispositivos que precisan de biomateriales que son usados por años en contacto con tejidos corporales. Contra lo que pudiera suponerse los biomateriales son bastante antiguos y se puede tomar conciencia de ello pensando en las amalgamas dentarias.

Prótesis

Según el diccionario de la Real Academia Española, *“una prótesis es una pieza o aparato que puede sustituir un órgano o parte de él.* En particular, es importante señalar que hay una importante experiencia con los metales colocado en conjunción con el esqueleto humano. La traumatología es una antigua especialidad que ha sido acelerada por la necesidad de solucionar problemas del aparato locomotor.

Lo antes mencionado se relaciona con la ortopedia (del griego *ortho*: recto o enderezado), en este caso lo que se hace es usar *ortesis* para enderezar, evitar anormalidades de la marcha, inmovilizar y producir analgesia. En este caso se ayuda a un órgano pero no se lo reemplaza.

Órganos Artificiales

Un órgano artificial es un dispositivo que reemplaza una función vital, entendiéndose como tal a las funciones relacionadas con la vida: crecer, alimentarse, reproducirse y otras. Hay casos en que la estructura del dispositivo se implanta en el cuerpo (caso del corazón artificial) y en otros permanece fuera del mismo como lo es el riñón artificial (Cabrera Fischer, 2005).

En este campo los ingenieros biomédicos y los ingenieros clínicos participan en todo el proceso de invención y posterior investigación de la utilidad del órgano artificial generado. Comenzando con el planteo del problema, la generación de la hipótesis, el diseño del prototipo, la demostración de su utilidad y la reproducción sistemática, para finalizar en la venta y el servicio técnico del nuevo desarrollo tecnológico.

Fisiología

Rama de la biología que estudia los procesos, actividades y fenómenos de las células y tejidos de los organismos vivos, explicando los factores físicos y químicos causantes de las funciones

vitales. El estudio de la “Physis” o de “la naturaleza de las cosas vivientes” es llamado simplemente “fisiología” (Goodfield, 1987).

El ingeniero que conozca el funcionamiento de los distintos sistemas de los que se compone el cuerpo humano estará capacitado para hacer modelos matemáticos de los mismos. De ésta manera, podrá observar en forma más precisa la conducta de las variables involucradas en procesos biológicos, tales como la mecánica de la contracción muscular, el funcionamiento del sistema arterial, la dinámica cardiovascular, la función renal, los procesos ligados al sistema respiratorio y muchos otros.

El conocimiento de los ingenieros (basado en modelos matemáticos) de los sistemas cardiovascular, endocrino, nervioso, auditivo, gastrointestinal, visual, renal y respiratorio es de fundamental importancia y abrirá nuevos campos de investigación en estas áreas.

Medicina

La medicina “*es el arte de curar con bases científicas*”, siendo ésta tal vez la mas simple definición que se pueda hallar. Al decir de Florencio Escardó, un filósofo argentino de la medicina, se trataría de una “*artesanía cultural*” (Stagnaro, 2002). El diccionario de la Real Academia Española dice que “*la medicina es el arte de precaver y curar las enfermedades del cuerpo humano*”.

Por lo mencionado, no se trataría de una ciencia, sin embargo se apoya en ellas y lo que hace es solucionar los problemas relacionados con la salud del cuerpo humano. Magendie (1783-1855) consideraba que “*medicina era la fisiología del hombre enfermo*”. Si se tomara la definición de fisiología y se entiende que en la enfermedad la misma se altera, sería lógico suponer que el objeto de la medicina es restaurar la fisiología normal.

Al ingeniero no se le pide que reemplace al médico; por el contrario, la medicina y la ingeniería son entidades complementarias. Tomando como ejemplo a los fenómenos bioeléctricos del cuerpo humano, los mismos han sido estudiados por ingenieros mediante modelos matemáticos y análogos eléctricos. Por otro lado, los estudios eléctricos comenzaron en el siglo XIX y con el conocimiento alcanzado en especialidades como la electroneurografía, electromiografía, electrocardiografía y electroencefalografía se ha logrado el desarrollo de equipamiento electromédico. Los médicos por sí solos nunca hubieran podido generar marcapasos, electromioestimuladores, desfibriladores y técnicas diagnósticas ligadas a la electricidad (electrocardiografía, electromiografía, electroencefalografía).

La relación del cuerpo humano con la ingeniería ha tenido referentes de la talla de Julien Offray de La Mettrie (1709-1751), quien en la obra inmortal “El hombre máquina” afirma: “El cuerpo humano es un reloj, aunque inmenso y construido con tanto artificio y habilidad que, si la rueda que sirve para marcar los segundos llega a detenerse, la de los minutos gira....” (La Mettrie, 1961).

Actividades de la Ingeniería Biomédica

El ingeniero biomédico desarrolla habitualmente sus actividades en grandes centros de salud y empresas relacionadas con tecnología biomédica realizando tanto tareas de tipo asistencial y de asesoramiento, como de docencia e investigación científica. Se trata de un campo muy amplio por lo que no es raro observar una suerte de “*especializaciones*” de acuerdo al perfil de la institución o empresa en donde trabaja.

Dado el carácter interdisciplinario de la ingeniería biomédica, a éste tipo de ingeniero puede corresponderle trabajar en cualquiera de las múltiples especialidades médicas (cardiología, nefrología, neumonología, neurología y muchas otras), así como tener que solucionar problemas y ser responsable de actividades relacionadas con el mantenimiento hospitalario. Todo ello sin

olvidar que está preparado para trabajar en investigación y participar de invenciones y desarrollos tecnológicos.

A modo ilustrativo se mencionarán algunas actividades que al presente forman parte de la actividad del ingeniero biomédico (Cabrera Fischer, 2010b).

En el área de la **informática médica** el desarrollo de software ha significado una gran contribución en la agilización de actividades médicas tales como la generación de historias clínicas computarizadas, simulación matemática, bases de datos médicos, diagnóstico por imágenes y otros que incluyen inteligencia artificial.

En el campo de la **rehabilitación** de pacientes con funciones disminuidas, el ingeniero biomédico trabaja tanto en desarrollos tecnológicos como del uso de nuevos materiales; tal es el caso de la generación de exoesqueletos.

En cuanto a las **técnicas diagnósticas** se desarrollan tanto dispositivos como programas (Software) que posibilitan el uso de nuevas técnicas y el mejoramiento de las ya existentes.

Los **inventos y descubrimientos** relacionados con nuevos tratamientos incluyen el desarrollo de dispositivos que restauran la fisiología alterada o mejoran la función disminuida de un órgano en particular. Este campo incluye el uso de biomateriales, estudios biomecánicos, sensores de variables fisiológicas y desarrollos relacionados con la administración de medicamentos y su control.

El ingeniero biomédico dedica gran parte de su tiempo a áreas compartidas con la **ingeniería clínica**, tales como el control y mantenimiento de equipamiento hospitalario, sistemas de telemetría, seguridad eléctrica e infraestructura de centros de salud.

El desarrollo, perfeccionamiento y uso de sensores biomédicos es un campo muy importante en la actividad del ingeniero biomédico. Como se sabe, los transductores de señales biológicas transforman una actividad mecánica en una señal eléctrica, por ejemplo. Esto mismo ocurre con variables biológicas que tienen especial significación en la fisiología humana: presión hidrostáticas (de sangre, líquido cefalorraquídeo, humor acuoso), temperatura corporal, nivel de acidez/alcalinidad de fluidos corporales (pH de la sangre), presiones parciales de gases (oxígeno en sangre, anhídrido carbónico en aire espirado) y muchos otros.

Consideraciones finales

En los últimos 50 años el Ingeniero Biomédico y el Ingeniero Clínico han cobrado mucha importancia al punto de ser incorporados a instituciones sanitarias estatales en forma tal que cada establecimiento tuviera al menos un profesional con estas características, que como se ha visto en este apartado son compartidas con el bioingeniero.

Los hospitales del siglo XX tuvieron siempre sitios que eran designados con los nombres de “*electromedicina*”, “*mantenimiento eléctrico*” y similares. Es a partir de 1970 que los departamentos de Ingeniería Clínica surgen con actividades relacionadas con la tecnología que se relacionan tanto con la salud del paciente como con los aspectos administrativos de la institución.

Al presente es muy difícil prescindir de los servicios de un Ingeniero Clínico o de un Ingeniero Biomédico cuando se trata de seleccionar tecnología compleja. Estos profesionales no trabajan en forma aislada, ya que se trata de tareas multidisciplinarias en las que participan directivos médicos, arquitectos hospitalarios, contadores y asesores diversos.

Si algo caracteriza al ingeniero biomédico es la versatilidad de las actividades para las cuales se lo prepara, lo cual no lo hace diferente al egresado de otras ingenierías. Las actividades antes

mencionadas lo involucran con entes estatales y privados, por lo cual debe conocer normativas y de la ingeniería de negocios.

Por lo mencionado, no es raro encontrar a ingenieros biomédicos participando de actividades que se relacionan con la aplicación de controles que el estado nacional realiza como parte de la política sanitaria. En la Argentina el ente se llama ANMAT (Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica). Este organismo estatal realiza trabajos de monitoreo sanitario, como de la generación de nuevas normativas, tanto para la tecnología nacional como para los permisos de importación de tecnología extranjera³. Al presente, los equipamientos médicos deben estar aprobados de acuerdo a las distintas normativas existentes.

A nivel industrial la actividad del ingeniero biomédico es amplia y va desde el desarrollo de medicamentos, equipamiento diagnóstico, sistemas, tecnología para tratamientos hasta la comercialización de los mismos.

Por último, hay un área en franca expansión: la telemedicina, que incluye el diagnóstico a distancia y la cirugía robótica. Un ejemplo del primer caso es el de los estudios complementarios con el uso de imágenes (tomografía computada, resonancia magnética, ecografía, microfotografías) que al presente pueden ser transmitidas desde pequeñas localidades a centros muy especializados en donde se cuenta con especialistas capacitados que realizan diagnósticos específicos. En el caso de la cirugía robótica, hay desarrollos tecnológicos que permiten la realización de complejas intervenciones mediante un eficiente sistema de comunicación que permite a un cirujano actuar sobre un cuerpo que se encuentra a kilómetros de distancia.

Bibliografía

Albarracín Teulón AB. El movimiento del corazón y la Sangre. Harvey. Nivola Libros y Ediciones. España; 2001.

Armentano RL, Cabrera Fischer EI. Biomecánica Arterial, Fundamentos para su abordaje en la clínica médica. Akadia, Buenos Aires, Argentina; 1994.

Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. IEEE Press; 1995.

Cabrera Fischer EI, Juffé Stein A, Balaguer JM. Cardiovascular Failure, Pathophysiological bases and management. Ediciones del Valle, Buenos Aires, Argentina; 2005

Cabrera Fischer EI. Análisis histórico de la tecnología biomédica usada en el laboratorio de Bernardo Houssay para la investigación de la hipertensión arterial. Tesis de Doctorado, Departamento de Humanidades y Museo de Ciencia y Tecnología, Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires; 2010a.

Cabrera Fischer EI. Introducción a la Ingeniería Biomédica y Bases de la Fisiología para Ingenieros. Copia 1, Buenos Aires, Argentina; 2010b.

Cabrera Fischer EI. Metodología de la Investigación Científica. Imprenta Rolta, Buenos Aires, Argentina; 2013.

Ethier R, Simmons CA. Introductory Biomechanics. From Cells to Organisms. Cambridge University Press. San Diego, California, EEUU; 2007.

Galleti PM. Prostheses and artificial organs. Capítulo XII. En Bronzino JD. The Biomedical Engineering Handbook. IEEE Press; 1995.

Goodfield GJ. El desarrollo de la fisiología científica. Universidad Nacional Autónoma de México. México, Primera Edición, Pág. 12; 1987.

La Mettrie JO. El hombre máquina. EUDEBA, Buenos Aires, Argentina; 1961).

³ El editor de este libro ha participado en la generación de normativas relacionadas con importaciones en el campo de la electromedicina.

López Piñero JM. Medicina, Historia, Sociedad. Editorial Ariel, Valencia, España. Pág. 137-143; 1973.

Neuman MR, Baura GD, Meldrum S, Soykan O, Valentinuzzi ME, Leder RS, Micera S, Zhang YT. Advances in Medical Devices and Medical Electronics. Proceedings of the IEEE Vol. 100: 1537-1550; 2012.

Papp D y Agüero AL. Breve Historia de la Medicina. Editorial Claridad, Buenos Aires. Pág. 151-179; 1994.

Peterson DR, Bronzino JD. Biomechanics. Principles and applications. CRC Press, Boca Raton, Florida, EEUU; 2008.

Stagnaro JC. Biomedicina o Medicina antropológica. Vertex Rev. Arg. De Psiquiatría Vol XIII: 19-26; 2002.

Timm A. Pequeña historia de la tecnología. Editorial Guadarrama. Madrid, España; 1971.

Wertenbaker L. To Mend the Heart. The Viking Press, New York, EEUU. Pág.1-6; 1980.

Zimmer HG. Perfusion of isolated organs and the first heart-lung machine. Canadian Journal of Cardiology 17:963-969; Leipzig, Alemania, Septiembre; 2001.