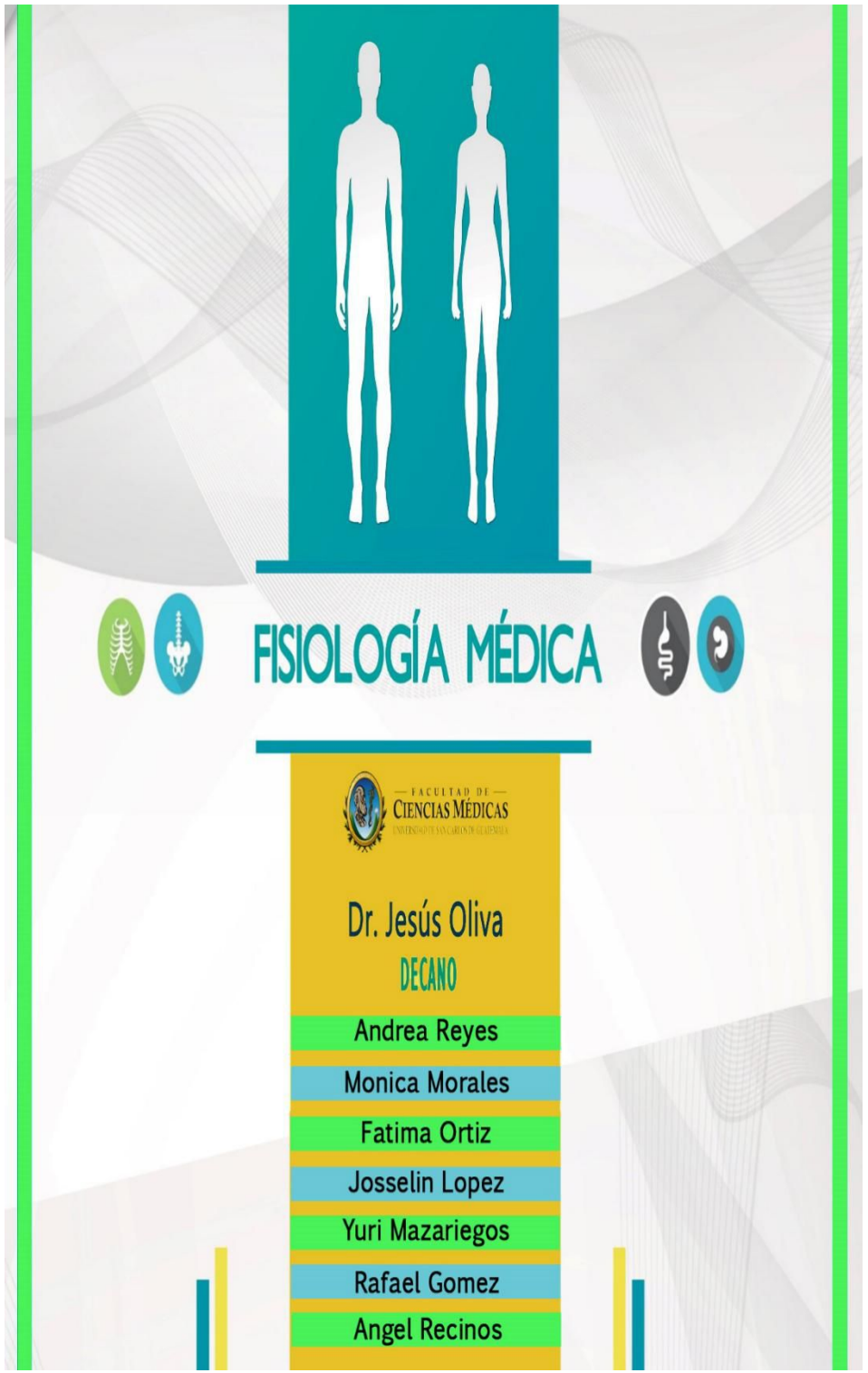
FISIOLOGÍA MÉDICA
FACULTAD DE CIENCIAS MÉDICAS
Dr. Jesús Oliva
DECANO
Andrea Reyes
Monica Morales
Fatima Ortiz
Josselin Lopez
Yuri Mazariegos
Rafael Gomez
Angel Recinos

Agradecimientos

Al Doctor Jesús Oliva
Por el apoyo brindado para realizar esta obra a beneficio de los estudiantes de segundo año de medicina, y por ser una persona que busca el pro de la facultad al apoyar este tipo de proyectos por iniciativa de los estudiantes y hacerlos una realidad.

Al Doctor Enrique Pérez
Por el apoyo en la logística de este trabajo para que fuera entregado a los compañeros, ademas por ser una fuente de conocimiento para todo alumno.

Al Doctor Juan Francisco Morales
Por ser un catedrádico que busca la excelencia académica, velando por que el estudiante desarrolle sus capacidades y mejore su rendimiento, además de ser un buen amigo.

Al Doctor Fernando Torres
Apoyo constante hacia el estudiante

Al Doctor Johnnathan Molina
Por dejar esa semilla de mejorar el nivel de la facultad, promoviendo en nosotros el deseo de realizar esta obra

Como utilizarlo

Para la utilización del siguiente folleto debe seguir las siguientes instrucciones:

1. Leer previamente el capítulo correspondiente en el libro: Tratado de Fisiología médica de Guyton y Hall Decimosegunda edición (el orden de los capítulos, páginas, tablas y figuras corresponden a la citada versión en español).
2. Leer este folleto y tratar de consolidar la información relevante para un aprendizaje eficaz, si es necesario lleve la lectura del folleto junto con su libro de texto.
3. Si algún dato que considera importante no se encuentra en este folleto, haga las anotaciones pertinentes y envié un correo con dicha observación al correo electrónico: anotaciones.fisiologiausac@outlook.com, esta información contribuirá hacer las modificaciones pertinentes en la siguiente edición.
4. Visualice, comprenda y memorice los datos relevantes de las tablas y figuras citadas en este folleto.
5. Para evaluar su conocimiento trate de responder las preguntas propuestas en la sección “ponte a prueba”, esto sin leer su libro de texto ni este folleto. Si no puede responder alguna de las preguntas no pase a un capítulo nuevo, sino que regrese a verificar cual era la respuesta correcta.

Nota: Los capítulos incluidos en este folleto llevan el orden propuesto por la Unidad de Fisiología de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de San Carlos de Guatemala en el programa curricular del año 2014 para estudiantes de segundo año de la carrera de medicina.

Abreviaciones utilizadas

LIC. Liquido intracelular.
LEC. Líquido extracelular.
SNC. Sistema nervioso central.
SRAN. Sistema de retroalimentación negativa.
SRAP. Sistema de retroalimentación positiva.
FG. Filtrado Glomerular.
ATP. AdenosínTrifosfato.
mV. Milivoltios
mOsm. Miliosmoles
mOsm/lMiliosmoles en un litro.
mEq/lMiliequivalentes en un litro.
ms. Milisegundos
PPSE. Potencial postsináptico excitador.
PPSI. Potencial postsináptico inhibidor.

Capítulo 55

Control de la función motora por la corteza y el tronco del encéfalo

Puntos a recordar

- Ocupa el 1/3 posterior de los lóbulos frontales
- Se divide en **tres subáreas,** poseen su propia representación topográfica para los grupos musculares y las funciones motoras específicas:
  1) **la corteza motora primaria;**
  2) **el área premotora**
  3) **el área motora suplementaria.**

Corteza motora primaria

- Ocupa la **primera circunvolución de los lóbulos frontales** por delante del surco central o cisura de Rolando.

- **Zona más lateral** situada en el surco lateral o cisura de Silvio, se extiende hacia arriba hasta la porción más superior del cerebro y a continuación desciende por la profundidad de la cisura longitudinal.

- **Área 4** según la clasificación **de Brodmann**

- **Cara y boca** cerca del **surco lateral**; **Brazo y mano**, en **porción intermedia** de la corteza motora primaria; **Tronco**, **cerca del vértice** del cerebro, **Piernas y Pies** en la parte de la corteza motora primaria que **se introduce en la cisura longitudinal**.

- **Más de la mitad** de la corteza motora primaria se encarga de **controlar los músculos de las manos y del habla**.

- **«Patrón» de músculos independientes:** La excitación de una neurona aislada en la corteza motora activa un **movimiento específico** y no un músculo específico.

Área premotora

- **1 a 3 cm delante de la corteza motora primaria,** se extiende hacia abajo en dirección al **surco lateral** y hacia arriba en dirección a la **cisura longitudinal**, donde **limita con el área motora suplementaria**, que cumple unas funciones análogas a las del área premotora.

- La **organización topográfica** de la corteza premotora es casi **la misma que la de la corteza motora primaria**, con las zonas para la boca y la cara en una situación más lateral.

- Las señales nerviosas generadas en el **área premotora** dan lugar a **«patrones» de movimiento más complejos que** los patrones originados en la **corteza motora primaria**.

- **La parte anterior del área premotora** crea antes una «imagen motora» del movimiento muscular total que vaya a efectuarse.
- Luego en **la corteza premotora posterior**, dicha imagen excita cada patrón sucesivo de actividad muscular necesario para su realización.

- La porción posterior de la corteza premotora **envía sus impulsos directamente a la corteza motora primaria** para activar músculos específicos **o**, lo más frecuente, **a través de los ganglios basales y el tálamo** hasta regresar a la corteza motora primaria.

Neuronas espejo
- Se activan cuando una persona realiza una tarea motora específica o cuando observa la misma tarea realizada por otros, **reflejando el comportamiento como si el observador lo estuviera realizando**.

- Situadas en la corteza premotora y en la corteza parietal inferior y fueron descubiertas en monos.

- Se cree que estas neuronas espejo pueden ser importantes para **comprender las acciones de otras personas** y para el **aprendizaje** de nuevas técnicas por imitación.

Área motora suplementaria
- **Ocupa** la cisura longitudinal, extendiéndose unos pocos centímetros por la corteza frontal superior.

- **Las contracciones** suscitadas al estimular esta zona suelen ser **bilaterales**.

- Esta área **funciona en consonancia con el área premotora** para aportar los movimientos posturales de todo el cuerpo, los movimientos de fijación de los diversos segmentos corporales, los movimientos posturales de la cabeza y de los ojos, etc., **como base para el control motor más fino** de los brazos y de las manos a cargo del área premotora y de la corteza motora primaria.

Área de Broca.
- Área premotora de «**formación de las palabras**»; se encuentra delante de la corteza motora primaria por encima del surco lateral. **Su lesión** no impide que una persona vocalice, pero hace imposible que emita palabras completas.

- **Un área cortical** íntimamente emparentada se encarga del funcionamiento respiratorio adecuado, por lo que la activación respiratoria de las cuerdas vocales puede producirse a la vez que los movimientos de la boca y de la lengua durante el habla.

Campo de los movimientos oculares «voluntarios».
- Área premotora por encima del área de Broca encargada del **control de los movimientos voluntarios de los ojos**. **Su lesión** impide a una persona dirigirlos de forma voluntaria hacia los diversos objetos.

- **Los ojos tenderán a quedar bloqueados involuntariamente** sobre objetos específicos, una acción controlada por las señales procedentes de la corteza occipital visual.

- Esta área frontal también **controla los movimientos palpebrales** en el parpadeo.

Área de rotación de la cabeza.
- Un poco **más arriba en el área motora de asociación**. Esta área está íntimamente vinculada con el campo de los movimientos oculares; **se ocupa de dirigir la cabeza hacia los distintos objetos**.

Área para las habilidades manuales.
- Área **premotora** por delante de la zona de la corteza motora primaria encargada de manos y dedos.

- **Apraxia motora** Los movimientos de las manos se vuelven descoordinados y pierden cualquier sentido, ocurre regularmente cuando tumores u otras lesiones destruyen esta área.

Transmisión de señales desde la corteza motora a los músculos
Las señales motoras se transmiten:
- **Directamente** desde la corteza hasta la médula espinal **a través del fascículo corticoespinal** (movimientos detallados y bien diferenciados especialmente **manos y dedos**)
- **Indirectamente** por **múltiples vías accesorias** en las que **intervienen** los ganglios basales, el cerebelo y diversos núcleos del tronco del encéfalo.

Fascículo corticoespinal (vía piramidal)
Es la vía de salida más importante de la corteza motora.
- **30%** nace en la **corteza motora primaria**.
- **30%** nace en las **áreas motoras premotora y motora suplementaria**.
- **40%** nace en las **áreas somatosensitivas** por detrás del surco central.

Ruta

1. **Sale de la corteza**

2. **Atraviesa el brazo posterior de la cápsula interna** (entre el núcleo caudado y el putamen, dos componentes de los ganglios basales)

3. **Desciende por el tronco del encéfalo**, formando las pirámides del bulbo raquídeo.

4. **La mayoría** de las fibras piramidales **cruzan** hacia el lado opuesto **en la parte inferior del bulbo** y **descienden** por los **fascículos corticoespinales laterales** de la médula.
   - **La mayoría** finaliza sobre todo en las interneuronas de las **regiones intermedias de la sustancia gris medular**;
   - **Unas cuantas** fibras terminan en neuronas sensitivas de relevo situadas **en el asta posterior**
   - **Muy pocas** terminan directamente **en las motoneuronas anteriores** que dan origen a la contracción muscular.

5. **Algunas fibras no cruzan**, sino que descienden por el mismo lado de la médula constituyendo los **fascículos corticoespinales ventrales**.
   - La mayoría de estas fibras, **cruzan al lado contrario** de la médula a la altura del cuello o de la región torácica superior.
   - Estas fibras pueden estar **dedicadas al control de los movimientos posturales bilaterales** por parte de la **corteza motora suplementaria**.

- El ingrediente más destacado de la vía piramidal es una población de **fibras mielínicas grandes** con un **diámetro** medio de **16 µm**. En cada fascículo corticoespinal hay alrededor de 34.000 representan el **3% del total**

- **El otro 97%** corresponde sobre todo a **fibras** con un diámetro inferior a **4 µm** que conducen **señales tónicas de base hacia las regiones motoras de la médula**

Células de Betz

- **Células piramidales gigantes** donde nacen fibras las fibras mielínicas grandes. **Sólo están** presentes en la **corteza motora primaria.**
- **Envían impulsos nerviosos** hacia la médula espinal a una **velocidad de 70m/s**, el ritmo más rápido desde el encéfalo hacia la médula.

Otras vías nerviosas desde la corteza motora.

La corteza motora da origen sobre todo a fibras pequeñas, dirigidas a las regiones profundas del cerebro y el tronco del encéfalo:

1. **Los axones procedentes de las células gigantes de Betz** devuelven colaterales cortas hacia la corteza. Se cree que estas **colaterales inhiben las regiones corticales adyacentes** cuando descargan las células de Betz, lo que «recorta» los límites de la señal excitadora.

2. Un gran número de fibras **van de la corteza motora** a**l núcleo caudado y el putamen**. Desde estas estructuras, **vías nuevas** se extienden **hacia el tronco del encéfalo y la médula espinal**, especialmente para **controlar las contracciones de la musculatura postural** del organismo

3. Una cantidad moderada de fibras motoras llega al **núcleo rojo del mesencéfalo**. Desde aquí, las siguientes fibras descienden por la médula a través del **fascículo rubroespinal**.

4. Otro porcentaje moderado de fibras motoras se desvían hacia la **formación reticular y los núcleos vestibulares del tronco del encéfalo**; desde ellos, las señales viajan **hasta la médula** a través de los **fascículos reticuloespinal y vestibuloespinal**, y otras llegan **al cerebelo** por medio de los **fascículos reticulocerebeloso y vestíbulocerebeloso**.

5. Un tremendo grupo de fibras motoras hacen sinapsis en **los núcleos de la protuberancia**, donde surgen las **fibras pontocerebelosas**, que conducen sus señales **hacia los hemisferios cerebelosos**.

6. También hay colaterales que acaban en **los núcleos olivares inferiores** y, desde ellos, las **fibras olivocerebelosas** transmiten señales **hacia** múltiples regiones del **cerebelo**.

- **Los ganglios basales, el tronco del encéfalo y el cerebelo** reciben potentes **señales motoras** desde el **sistema corticoespinal** cada vez que se envía un impulso en sentido descendente hacia la médula espinal para provocar una actividad motora

Vías de fibras sensoriales recibidas por la corteza motora

El funcionamiento de la corteza motora está controlado por las señales nerviosas de:

- **Sistema Somatosensitiva (mayormente)**
- **La Audición**
- **La Visión**

Ya con la información sensitiva, **la corteza motora** opera con **los ganglios basales y el cerebelo** para excitar un curso de acción motora adecuado.

Las vías nerviosas más importantes que llegan a la corteza motora:

1. **Fibras subcorticales procedentes de las regiones vecinas de la corteza cerebral**:
    a) las áreas somatosensitivas de la corteza parietal,
    b) las áreas adyacentes de la corteza frontal por delante de la corteza motora
    c) las cortezas visual y auditiva.

2. **Fibras subcorticales que llegan a través del cuerpo calloso desde el hemisferio cerebral opuesto**. Estas fibras conectan las áreas correspondientes de las cortezas de ambos lados del encéfalo.

3. **Fibras somatosensitivas que acceden directamente desde el complejo ventrobasal del tálamo**. Transportan sobre todo señales táctiles cutáneas y señales articulares y musculares desde la periferia del cuerpo.

4. **Fascículos surgidos en los núcleos ventrolateral y ventroanterior del tálamo**, que a su vez reciben señales desde el cerebelo y los ganglios basales. Estas vías suministran unos impulsos necesarios para la coordinación entre las funciones de control del movimiento a cargo de la corteza motora, los ganglios basales y el cerebelo.

5. **Fibras originadas en los núcleos intralaminares del tálamo**. Estas fibras controlan el nivel general de excitabilidad de la corteza motora del mismo modo que actúan sobre esta variable en la mayoría de las demás regiones de la corteza cerebral.

El núcleo rojo actúa como una vía alternativa para transmitir señales corticales a la médula espinal

El núcleo rojo: Situado **en el** mesencéfalo.

- Funciona en **asociación** con la **vía corticoespinal. Recibe** un gran número de **fibras directas** desde la **corteza motora primaria** a través del **fascículo corticorrúbrico**, así como otras que abandonan el fascículo corticoespinal en el momento en que atraviesa el mesencéfalo.

- Estas fibras hacen **sinapsis en la parte inferior del núcleo rojo**, su porción **magnocelular**, que contiene grandes neuronas de tamaño semejante a las células de Betz de la corteza motora.

- **Estas grandes neuronas dan origen al fascículo rubroespinal**, que cruza hacia el lado opuesto en la parte inferior del tronco del encéfalo y sigue un trayecto adyacente a la vía corticoespinal por delante de ella hacia las columnas laterales de la médula espinal.

- Las fibras rubroespinales **acaban en las interneuronas** de las regiones intermedias **de la sustancia gris medular**, junto con las fibras corticoespinales, pero **otras terminan directamente sobre las motoneuronas anteriores**.

- El núcleo rojo también **posee conexiones íntimas con el cerebelo**, parecidas a las que existen entre la corteza motora y el cerebelo.

Función del sistema corticorrubroespinal.

- **La porción magnocelular** del núcleo rojo posee una **representación somatográfica de todos los músculos del cuerpo**, lo mismo que sucede en la corteza motora.
- **La estimulación de un solo punto** en esta parte **provoca la contracción** de un **músculo** aislado o de un pequeño **grupo muscular**.
- **Precisión mucho menos desarrollada**.
- En el hombre, su **núcleo rojo es relativamente pequeño**.

- **La vía corticorrubroespinal** actúa como camino accesorio para transmisión de señales relativamente diferenciadas desde la corteza motora hasta la médula espinal.

- Cuando se destruyen las fibras corticoespinales, **la vía corticorrubroespinal** puede producir movimientos aislados, **excepto control fino de las manos y los dedos**.

- **La vía** dirigida **hacia la médula espinal** a través del **núcleo rojo** está **vinculada** al sistema **corticoespinal**.

- **El fascículo rubroespinal** se encuentra en las columnas laterales de la médula espinal, junto con el corticoespinal, y termina en las interneuronas y motoneuronas que controlan los músculos más distales de las extremidades.

- En conjunto, **los fascículos corticoespinal y rubroespinal** reciben el nombre de **sistema motor lateral de la médula**.

Sistema «extrapiramidal»

- **Designa todas aquellas porciones del cerebro y el tronco del encéfalo** que contribuyen al control motor pero que **no forman parte del sistema piramidal-corticoespinal directo**.

- **Está constituido por** las vías que atraviesan los ganglios basales, la formación reticular del tronco del encéfalo, los núcleos vestibulares y el núcleo rojo.

- L**os sistemas piramidal y extrapiramidal** están ampliamente interconectados e interaccionan para controlar el movimiento. **el término «extrapiramidal»** se emplea con menor frecuencia tanto en el ámbito clínico como en el fisiológico.

Las células de la corteza motora
- **Organizadas en columnas verticales**
- **Diámetro de una fracción de milímetro**
- Miles de neuronas en cada columna.
- **Funciona como unidad,** estimulando un grupo de músculos sinérgicos (a veces solo músculo).
- **Cada columna posee seis capas diferentes de células**, lo que se mantiene constante prácticamente por la corteza cerebral en su integridad.

- **Todas las células piramidales que dan origen a las fibras corticoespinale**s **se hallan en la *capa V*** celular contando desde la superficie cortical.
- **Las señales recibidas entran** en su conjunto a través de las ***capas II, III y IV***;
- ***la capa VI*** da origen sobre todo a las **fibras** que **comunican** con **otras regiones** de la corteza cerebral.

Función de cada columna neuronal.
- **Las neuronas de cada columna** operan como un **sistema de procesamiento integrado**, que maneja información procedente de múltiples fuentes para determinar la respuesta emitida por la columna.
- **Cada columna** puede funcionar como un **sistema amplificador** para **estimular** una gran cantidad de **fibras piramidales** dirigidas al **mismo músculo o a los músculos sinérgicos**.

- **La activación de una sola célula piramidal** rara vez es capaz de excitar un músculo. Hace falta la **excitación de 50 a 100 simultáneamente o en una rápida sucesión** para lograr la **contracción muscular** definitiva.

Las señales dinámicas y estáticas son transmitidas por las neuronas piramidales.
Cada columna celular activa dos poblaciones de neuronas piramidales

- ***Las neuronas dinámicas*:**
  - Excitación de alta velocidad,
  - Breve período al comienzo de una contracción
  - Rápido desarrollo de la fuerza inicial.

- ***Las neuronas estáticas:*** disparan a un **ritmo** mucho más **lento**, pero continúo para mantener la fuerza de la contracción todo el tiempo que sea necesaria su actividad; **mayor número de neuronas estáticas** en la corteza motora primaria.
- ***Las neuronas del núcleo rojo*** poseen unas características dinámicas y estáticas similares, con la excepción de que **es mayor el porcentaje de neuronas dinámicas en el núcleo rojo**.

Debido a que **El núcleo rojo se encuentra íntimamente vinculado al cerebelo** y este último desempeña una **función en el comienzo rápido de la contracción muscular**.

La retroalimentación somatosensitiva de la corteza motora ayuda a controlar la precisión de la contracción muscular
- Cuando impulsos nerviosos provocan contracción de un músculo, vuelven unas **señales somatosensitivas** siguiendo el mismo camino desde la región activada del cuerpo hasta las neuronas de la corteza motora iniciales.

La mayor parte de estas señales somatosensitivas nacen en:
1) **los husos musculares;**
2) **los órganos tendinosos de Golgi,**
3) **los receptores táctiles de la piel que cubre a los músculos.**

Estas señales positivas causan un **refuerzo de la contracción muscular por retroalimentación positiva** por los siguientes mecanismos.

- **Husos musculares**, si sus fibras musculares **fusimotoras** se contraen más que las fibras musculares esqueléticas grandes, las **porciones centrales** quedan **estiradas** y **excitadas**. Las señales regresan con rapidez **a las células piramidales de la corteza motora** para avisarle que la contracción de las fibras musculares grandes no ha sido suficiente y éstas excitan más el músculo.

- **Receptores táctiles**, si la contracción muscular provoca la compresión de la piel contra un objeto, las señales derivadas de los receptores cutáneos pueden generar una mayor excitación de los músculos y, aumentar la firmeza con la que se aprieta la mano.

Estimulación de las motoneuronas medulares
1. **múltiples fascículos de control sensitivomotor y motor** que penetran en el segmento medular
2. **una motoneurona anterior** representativa en el centro de la sustancia gris del asta anterior.

- **Los fascículos corticoespinal y rubroespinal** ocupan las porciones dorsales de las columnas blancas laterales.
- Sus fibras terminan en las interneuronas de la región intermedia de la sustancia gris medular.
- **En la intumescencia cervical de la médula** donde están representados las manos y los dedos, una gran cantidad de fibras corticoespinales y rubroespinales también acaban directamente sobre las motoneuronas anteriores, lo que supone una vía directa desde el encéfalo para activar la contracción muscular.

Patrones de movimiento producidos por los centros de la médula espinal.

- **El reflejo miotático**, sirve para amortiguar cualquier oscilación de las actividades motoras puestas en marcha por el encéfalo.
- **Estimulación refleja «de servoasistencia»** cuando las fibras intrafusales de los husos se contraen más que las fibras grandes del músculo esquelético.

- Cuando una señal excita a un músculo, suele ser innecesario enviar otra señal inversa para relajar el músculo antagonista al mismo tiempo; debido al **circuito de inervación recíproca** presente en la médula para coordinar las **parejas de músculos antagonistas**.

- Reflejos medulares, como el de retirada, el de la marcha y la deambulación, el de rascado y los procesos posturales, **pueden activarse por señales «ordenadoras» procedentes del encéfalo**.
- **Señales ordenadoras** tienen la capacidad de poner en marcha actividades motoras normales, sobre todo para funciones como caminar y adoptar diferentes actitudes posturales con el cuerpo.

Ictus

- Proceso ocasionado por la **rotura de un vaso sanguíneo** que vierte su contenido hacia el encéfalo o por la **trombosis de una de las arterias** principales que lo irriga.
- **Extirpación de la corteza motora primaria (área de células piramidales de Betz)**, provoca diversos grados de parálisis en los músculos allí representados.

- Si el núcleo caudado subyacente y las áreas premotora y motora suplementaria no están dañados, **aún pueden realizarse movimientos posturales toscos y de fijación de las extremidades**, Desaparece la capacidad para controlar los movimientos finos de mano y dedos.

Hipotonía Pérdida del efecto estimulador tónico continúo de la corteza motora sobre las motoneuronas de la médula espinal.

Espasticidad Muscular: En la lesión de la corteza motora se produce un **espasmo muscular** en las regiones afectadas del lado opuesto del cuerpo. Debido a la alteración de las **vías accesorias** procedentes de las **porciones no piramidales de la corteza motora**. Dichas vías normalmente **inhiben** los núcleos motores vestibulares y reticulares del tronco del encéfalo.

Función del tronco del encéfalo en el control de la función motora

- El tronco del encéfalo consta del **bulbo raquídeo, la protuberancia y el mesencéfalo**.
- Constituye una **prolongación de la médula espinal** que asciende hacia la cavidad craneal, porque contiene núcleos sensitivos y motores capaces de cumplir funciones iguales a las de la médula.

- El tronco del encéfalo **es dueño de sí mismo**, porque se encarga de muchas funciones de control especiales, como las siguientes:
  1. Control de la **respiración**.
  2. Control del **aparato cardiovascular**.
  3. Control parcial del **funcionamiento digestivo**.
  4. Control de muchos **movimientos estereotipados del cuerpo**.
  5. Control del **equilibrio**,
  6. Control de los **movimientos oculares**.
- El tronco del encéfalo sirve como **estación de relevo para las «señales de mando» procedentes de los centros nerviosos superiores**.

Soporte del cuerpo contra la gravedad: función de los núcleos reticulares y vestibulares

Los núcleos reticulares se dividen en dos grupos principales:

1. **núcleos reticulares pontinos**, con una situación un poco posterior y lateral en la protuberancia y que se extienden hacia el mesencéfalo,
2. **núcleos reticulares bulbares**, que ocupan toda la longitud del bulbo, en una posición ventral y medial cerca de la línea media.

Estos dos núcleos tienen un funcionamiento antagonista: **los pontinos excitan** los músculos antigravitatorios **y los bulbares los relajan**.

Sistema reticular pontino.

- **Los núcleos reticulares pontinos** transmiten señales excitadoras en sentido descendente hacia la médula a través del **fascículo reticuloespinal pontino** situado **en la columna anterior** de la médula.

- Las fibras de esta vía terminan sobre las **motoneuronas anteriores mediales** que **activan a los músculos axiales** del cuerpo, los que lo sostienen en contra de la gravedad y que corresponden a los músculos de la columna vertebral y los extensores de las extremidades.

- Los núcleos reticulares pontinos muestran **un alto grado de excitabilidad natural**.
- Reciben potentes **señales excitadoras** desde los **núcleos vestibulares** y desde los **núcleos profundos del cerebelo**.
- Cuando el sistema reticular pontino de carácter excitador no encuentra la oposición del sistema reticular bulbar, genera una intensa **activación de los músculos antigravitatorios** por todo el cuerpo.

Sistema reticular bulbar.

Los núcleos reticulares bulbares transmiten señales inhibidoras hacia las motoneuronas anteriores antigravitatorias a través **el fascículo reticuloespinal bulbar**, situado **en la columna lateral** de la médula

Los núcleos reticulares bulbares reciben potentes colaterales aferentes desde:

1) **el fascículo corticoespinal;**
2) **el fascículo rubroespinal**
3) **otras vías motoras.**

- Estos haces activan este sistema reticular **bulbar de carácter inhibidor para compensar las señales excitadoras** del sistema reticular pontino.

- **Señales de áreas encefálicas superiores** pueden **«desinhibir»** el sistema bulbar cuando el encéfalo desea estimular el sistema pontino para provocar la bipedestación.
- **La activación del sistema reticular bulbar** puede inhibir los músculos antigravitatorios en ciertas porciones del cuerpo para permitir que realicen actividades motoras especiales.

Los núcleos reticulares excitadores e inhibidores constituyen un sistema controlable que puede manejarse mediante las señales motoras procedentes de la corteza cerebral y de otros puntos para suministrar la contracción muscular de fondo necesaria a fin de mantenerse de pie contra la gravedad e inhibir los grupos musculares oportunos que sean precisos para poder realizar otras funciones.

Función de los núcleos vestibulares para excitar la musculatura antigravitatoria

- Todos los núcleos vestibulares, funcionan en consonancia con los núcleos reticulares pontinos para controlar la musculatura antigravitatoria.
- Los núcleos vestibulares envían señales excitadoras hacia músculos antigravitatorios a través de los **fascículos vestibuloespinales lateral y medial situados en las columnas anteriores** de la médula espinal.
- Sin el respaldo de los núcleos vestibulares, el sistema reticular pontino perdería gran parte de su capacidad para excitar los músculos axiales antigravitatorios.
- La misión específica de los núcleos vestibulares es **controlar selectivamente los impulsos excitadores** enviados a los diversos músculos antigravitatorios para mantener el equilibrio como respuesta a las señales procedentes del aparato vestibular.

El animal descerebrado desarrolla una rigidez espástica

Aparato vestibular

- **El aparato vestibular**, es el **órgano sensitivo** encargado de detectar la sensación del equilibrio.
- **Se encuentra** encerrado en un sistema de tubos y cavidades óseas situado en la porción petrosa del hueso temporal, llamado **laberinto óseo**.
- **Dentro de este sistema** están los tubos y cavidades membranosas denominados **laberinto membranoso**.
- **El laberinto membranoso** es el componente funcional del aparato vestibular, compuesto básicamente por la cóclea (conducto coclear); tres conductos semicirculares y dos grandes cavidades, el utrículo y el sáculo.
- **La cóclea** es el principal órgano sensitivo para la audición y tiene poco que ver con el equilibrio.
- Los conductos semicirculares, el utrículo y el sáculo son elementos integrantes del **mecanismo del equilibrio**.

«Máculas»: los órganos sensitivos del utrículo y el sáculo para detectar la orientación de la cabeza con respecto a la gravedad.

- **Mácula** Pequeña zona sensitiva (2mm de diámetro) Situada en la cara interna de cada utrículo y sáculo.
- **La mácula del utrículo** situada en **plano horizontal** de la superficie inferior del utrículo y cumple de función **determinar la orientación de la cabeza** cuando se encuentra en **posición vertical**.

- **Mácula del sáculo** está situada en un **plano vertical** e informa de la **orientación de la cabeza** cuando la persona está **tumbada**.
- Cada **mácula está cubierta** por una **capa gelatinosa** en la que están enterrados muchos pequeños cristales de carbonato cálcico llamados **otolitos o estatoconias**.

- También en la mácula hay **miles de células pilosas**; estas células **proyectan sus cilios** en sentido ascendente **hacia la capa gelatinosa**.
- Las bases y las caras laterales de las células pilosas hacen sinapsis con las terminaciones sensitivas del nervio vestibular.
- **Los otolitos calcificados** tienen una densidad específica dos o tres veces superior a la que posee el líquido y los tejidos que los rodean. Su peso dobla los cilios según la dirección de la fuerza de la gravedad.

Sensibilidad direccional de las células pilosas: cinetocilio.

- **Cada célula pilosa** tiene de 50 a 70 pequeños cilios llamados **estereocilios**, y un cilio grande, el **cinetocilio**.

- **El cinetocilio** está situado en un lado de la célula pilosa y **los estereocilios** van haciéndose más cortos en dirección opuesta.
- **Conexiones filamentosas**, casi invisibles incluso para el microscopio electrónico, conectan la punta de cada estereocilio y al cinetocilio.

- Se vierten **cationes** dentro de la célula **desde el líquido endolinfático** gracias a la apertura de canales por el **doblez de los estereocilios en dirección al cinetocilio**, esto provoca la **despolarización** de la membrana receptora.
- **A la inversa**, la inclinación de la pila de estereocilios en sentido opuesto del cinetocilio, reduce la tensión de las inserciones; esto cierra los canales iónicos, lo que causa la **hiperpolarización** del receptor.

- **En condiciones normales de reposo**, las fibras nerviosas que salen desde las células pilosas transmiten unos impulsos nerviosos continuos a un ritmo de unos **100 por segundo**.
- Cuando cambia la orientación de la cabeza en el espacio, **el peso de los otolitos dobla los cilios**, se envían las señales oportunas al encéfalo para regular el equilibrio.

- En cada mácula, **todas las células pilosas están orientadas en direcciones diferentes**, de forma que parte de ellas se estimulen cuando la cabeza se inclina hacia adelante, parte cuando se inclina hacia atrás, otras cuando lo haga hacia un lado.

- Existe un patrón de excitación en las fibras nerviosas maculares para cada orientación de la cabeza dentro del campo gravitatorio, que **informa al cerebro sobre la posición de la cabeza**.

Conductos semicirculares.

- **Tres conductos semicirculares** en el aparato vestibular, conductos semicirculares **anterior**, **posterior** y **lateral** (horizontal) mantienen una disposición perpendicular entre sí de manera que representan los tres planos del espacio.

- Cuando la cabeza se inclina hacia adelante unos 30° los **conductos semicirculares**:
  - **Laterales** quedan horizontales con respecto a la superficie del suelo;
  - **Anteriores** están en un plano vertical que se proyecta hacia adelante y 45° hacia fuera,
  - **Posteriores** están en planos verticales que se proyectan hacia atrás y 45° hacia fuera.

- Cada conducto semicircular posee una dilatación en uno de sus extremos, **ampolla;** tanto **los conductos como la ampolla** están llenos de **endolinfa**.

- **El flujo de endolinfa** a través de uno de los conductos y de su ampolla **excita el órgano sensitivo en la ampolla.**
- **Cresta ampular o cresta acústica:** Una pequeña cresta en cada ampolla.
- **La cúpula:** masa tisular gelatinosa laxa en la parte superior de esta cresta.

- **Cuando la cabeza rota en cualquier sentido**, la inercia del líquido en un conducto semicircular o en varios hace que permanezca inmóvil mientras gira el conducto que lo aloja arrastrado por la cabeza.
- **La rotación de la cabeza en el sentido opuesto inclina la cúpula hacia el lado contrario**.

- **Todos los cinetocilios** de estas células están orientados en la misma dirección dentro de la cúpula
  - La inclinación de la misma en esa dirección despolariza las células pilosas
  - La inclinación en el sentido opuesto las hiperpolariza.

- Desde las **células pilosas** se envían las señales a través del nervio vestibular para informar al SNC sobre **cambios en la rotación** de la cabeza y **la velocidad del cambio** en cada uno de los **tres planos del espacio**.

Función del utrículo y el sáculo en el mantenimiento del equilibrio estático

- Es importante que la **orientación de las células pilosas** siga una **dirección distinta** dentro de las **máculas de los utrículos y los sáculos**, de modo que con cada posición diferente que adopte la cabeza varíen las células pilosas estimuladas.

- **Los «patrones» de estimulación** de las **células pilosas** comunican al encéfalo la posición de la cabeza con respecto a la fuerza de gravedad.
- **Los SN motores vestibular, cerebeloso y reticular** del encéfalo activan los músculos posturales pertinentes para mantener el equilibrio adecuado.

- **Este sistema constituido por el utrículo y el sáculo** facilita un funcionamiento eficacísimo para conservar el equilibrio si la cabeza está en posición casi vertical.
- Una persona puede determinar hasta un **desequilibrio de medio grado** cuando el cuerpo adquiere una inclinación desde su posición vertical exacta.

Detección de la aceleración lineal por parte de las máculas del utrículo y el sáculo.

- Cuerpo experimenta aceleración líneal,
  1. **los otolitos se deslizan hacia atrás** sobre los cilios de las células pilosas
  2. la **información** sobre este desequilibrio se envía hacia los **centros nerviosos**,
  3. la persona tiene **sensación** como si se estuviera **cayendo hacia atrás**.
  4. Como respuesta **se inclina hacia adelante** hasta que los **otolitos vuelvan a su lugar**.

- **Las máculas** operan para conservar el equilibrio durante la aceleración lineal exactamente del mismo modo que lo hace durante el equilibrio estático.
- **Las máculas no intervienen en la detección de la velocidad lineal**.

- Al correr contra el aire, **la presión del aire** que actúa sobre los **órganos terminales** encargados de la **presión** en la piel, pone en marcha las correcciones pertinentes del equilibrio para evitar su caída.

Detección de la rotación de la cabeza por los conductos semicirculares

- Cuando la cabeza empieza bruscamente a rotar en cualquier sentido (fenómeno llamado **aceleración angular**),
- **La endolinfa** tiende a permanecer quieta, mientras los conductos semicirculares giran.
- Esto provoca un **flujo** relativo **de líquido** en su interior con **dirección opuesta a la rotación de la cabeza**.

Una señal de descarga típica procedente de **una sola célula pilosa en la cresta ampular** cuando un animal rota 40 s:

1. Aun cuando la cúpula está en **reposo**, **la célula pilosa** emite una descarga tónica de unos **100 impulsos por segundo**;
2. cuando el animal **empieza a rotar**, los cilios se inclinan hacia un lado y **el ritmo de descarga se acelera mucho**,
3. a medida que la rotación continúa, **la descarga** añadida de la célula pilosa **decae gradualmente hasta llegar al nivel de reposo** durante los segundos siguientes.

- La adaptación se da porque en cuestión de unos 5 a 20s más, **la cúpula** regresa lentamente a su posición de reposo en el centro de la ampolla debido a su **propio retroceso elástico**.

- Cuando la rotación se detiene bruscamente ocurre lo opuesto, **la endolinfa sigue girando** mientras **se paran los conductos semicirculares**.
- **la cúpula** se inclina en el sentido opuesto, lo que provoca la **interrupción total de las descargas en la célula pilosa**.

- **El conducto semicircular** transmite una señal que posee **una polaridad** cuando la cabeza empieza a rotar y **la polaridad opuesta** cuando deja de hacerlo.

Función «predictiva» del sistema de conductos semicirculares para la conservación del equilibrio.

- **Lo único que detectan los conductos semicirculares** es que la cabeza de una persona está comenzando o deteniendo su giro en un sentido o en el otro.

- El mecanismo de los conductos semicirculares **predice el desequilibrio antes de que ocurra** y, así, hace que los centros del equilibrio adopten los ajustes preventivos pertinentes por adelantado.

- **La extirpación de los lóbulos floculonodulares** del cerebelo impide la detección normal de las señales procedentes de los conductos semicirculares, pero ejerce pocos efectos sobre la identificación de las señales maculares.

Mecanismos vestibulares para estabilizar los ojos

- Cada vez que la cabeza realiza un giro brusco, **las señales de los conductos semicirculares** hacen que los ojos roten en una dirección igual pero opuesta a la suya. Esto **deriva de los reflejos** transmitidos a través de los **núcleos vestibulares y del fascículo longitudinal medial** hasta los núcleos oculomotores.

Otros factores relacionados con el equilibrio Propiorreceptores del cuello.

- **El aparato vestibular** detecta la orientación y el movimiento sólo de la cabeza.

- Estos datos **se transmiten** desde los **propiorreceptores del cuello** (más importante para **equilibrio**) y **el tronco directamente** hasta los **núcleos vestibulares y reticulares** en el tronco del encéfalo e **indirectamente** a través del **cerebelo**.

- Cuando se inclina la cabeza al doblar el cuello**, los impulsos de los propiorreceptores cervicales** evitan que las señales del aparato vestibular generen sensación de desequilibrio, enviando señales que se opongan a las transmitidas desde el aparato vestibular.

- **Cuando todo el cuerpo se inclina en un sentido**, los impulsos del aparato vestibular no se ven contrarrestados por las señales de los propiorreceptores cervicales.

Información propioceptiva y exteroceptiva procedente de otras partes del cuerpo.

Las sensaciones de **presión originadas en la planta** de los pies nos dicen:

1) si el **peso** está **repartido por igual** entre ambos pies
2) si el **peso** que descansa sobre los pies lo hace más **hacia su parte anterior o hacia la posterior**.

La información exteroceptiva resulta especialmente necesaria para conservar el equilibrio cuando una persona corre.

La presión del aire contra la parte anterior del cuerpo avisa de que una fuerza se opone a su avance en una dirección diferente a la que sigue la fuerza de gravedad y la persona se inclina hacia adelante para oponerse a su acción.

Importancia de la información visual en el mantenimiento del equilibrio.

- **Destrucción del aparato vestibular**, e incluso después de perder la mayoría de la información propioceptiva del cuerpo, todavía puede emplear los **mecanismos visuales** para conservar el equilibrio con una eficacia razonable.

- Cualquier ligero movimiento lineal o rotatorio del cuerpo desplaza al instante las imágenes visuales sobre la retina y esta información se transporta hasta los centros del equilibrio.

- **Destrucción bilateral del aparato vestibular** equilibrio casi normal con ojos abiertos y movimientos lentos.

Conexiones neuronales del aparato vestibular con el sistema nervioso central

- La mayoría de las **fibras nerviosas del aparato vestibular** acaban en los **núcleos vestibulares del tronco del encéfalo**, situados en la unión entre el bulbo raquídeo y la protuberancia.

- Algunas llegan directamente sin hacer antes sinapsis a los **núcleos reticulares del tronco del encéfalo** y **a los núcleos del fastigio, la úvula y el lóbulo floculonodular en el cerebelo**.

- **Las fibras en los núcleos vestibulares del tronco del encéfalo** realizan sinapsis con neuronas de segundo orden que también **envían fibras hacia:**

  - **el cerebelo**
  - **los fascículos vestibuloespinales,**
  - **el fascículo longitudinal medial**
  - y a los **núcleos reticulares**.

La vía principal para los reflejos del equilibrio

1. **Comienza en los nervios vestibulares**, donde reciben su excitación por parte del aparato vestibular.
2. A continuación se dirige hacia los **núcleos vestibulares y el cerebelo**.
3. Después se envían **señales a los núcleos reticulares del tronco del encéfalo**, así como en sentido descendente por la **médula espinal a través de los fascículos vestibuloespinal y reticuloespinal**.

- Los impulsos dirigidos hacia la médula **regulan la interacción entre la facilitación y la inhibición de los músculos antigravitatorios,** lo que controla automáticamente el equilibrio.

- **Los lóbulos floculonodulares del cerebelo** se ocupa de las señales de equilibrio dinámico procedentes de los **conductos semicirculares**.

- **La destrucción de los lóbulos floculonodulares** ocasiona casi exactamente los mismos síntomas clínicos que la de los propios **conductos semicirculares**
  .
- **Una lesión grave de los lóbulos floculonodulares o de los conductos semicirculares** produce la pérdida del equilibrio dinámico durante los cambios rápidos en la dirección del movimiento, pero no en condiciones estáticas.

- **La úvula cerebelosa** ocupa un lugar de parecida importancia en el equilibrio estático.

- Las señales en sentido ascendente del tronco del encéfalo desde los **núcleos vestibulares y el cerebelo** por medio del **fascículo longitudinal medial** generan **movimientos de corrección en los ojos** cada vez que **rota la cabeza**, de modo que se conserve su **fijación sobre un objeto visual específico**.

- **Los impulsos ascienden hasta la corteza cerebral**, y terminan en un **centro cortical primario para el equilibrio** situado en el **lóbulo parietal** en la profundidad del **surco lateral** al lado opuesto del área auditiva situada en la circunvolución temporal superior. **Estas señales informan al psiquismo del estado de equilibrio corporal**.

Anencefalia

- Bebé sin las estructuras cerebrales por encima de la región mesencefálica.

- Algunos de ellos se han mantenido vivos durante muchos meses.
- Sus capacidades les permiten efectuar algunos movimientos estereotipados para alimentarse, como mamar, expulsar la comida desagradable de la boca y llevarse las manos a ella para chuparse los dedos. Además, pueden bostezar y estirarse. Saben llorar y seguir los objetos con movimientos de los ojos y de la cabeza. Asimismo, si se aplica una presión sobre las partes anterosuperiores de sus piernas, se incorporan hasta quedarse sentados.

- Está claro que la integración de muchas de las funciones motoras estereotipadas del ser humano tiene lugar en el tronco del encéfalo.

Tablas, esquemas y figuras importantes.

- Figura 55-1: saber que partes de la corteza motora se encargan de los movimientos en el cuerpo (Pág.667)
- Figura 55-2: saber el grado de representación de los diversos músculos del cuerpo (Pág.668)
- Figura 55-3: Saber las áreas específicas del control motor (Pág.669)
- Figura 55-4 (Pág.670)
- Figura 55-5 Saber los fascículos y los núcleos a donde se dirigen (Pág.671)
- Figura 55-7 ojo saber los núcleos del tronco del encéfalo (Pág.673)
- Figura 55-13 saber la función de los nucleos cerebelosos (Pág.678)

Ponte a prueba.

¿Qué áreas de brodmannn está compuesta la corteza primaria?
¿En qué área de la corteza están las neuronas espejo?
¿Al estimular esta área las construcciones suelen ser bilaterales, de que área hablamos?
¿Área especializada, que cuando es lesionada impide a una persona dirigir de forma voluntaria los ojos?
Cierto o falso, Las vías indirectas están especializadas para movimientos detallados y bien diferenciados
¿De qué parte de la corteza nace la mayoría del fascículo corticoespinal?
¿Qué son las neuronas estáticas?
¿Que son las neuronas dinámicas?
¿Función del aparato vestibular y qué lo compone?
¿Qué es la macula?
¿Qué función tiene los otolitos?
¿Cuál es la función del cinetocilio?

Links de interés

https://www.youtube.com/watch?v=nhdCEpbYjWo
https://www.youtube.com/watch?v=qjQx4Wfsnmc
https://www.youtube.com/watch?v=BRHFnqhriSY
https://www.youtube.com/watch?v=rCDFJBWLSoE

Capítulo 56

Contribuciones del cerebelo y los ganglios basales al control motor global

Puntos a recordar.

Ninguna de ellas es capaz de controlar la actividad muscular por sí sola, siempre funcionan asociadas a otros sistemas de control motor.

El cerebelo

- **Coordinación temporal** de las actividades motoras
- **Paso suave y rápido** de un movimiento muscular a otro.
- **Regula la intensidad** de la contracción muscular cuando varía la carga
- **Controla interacciones** entre los grupos musculares agonistas y antagonistas.

Los ganglios basales

- Ayudan a **planificar y controlar** los patrones complejos de movimiento muscular
- **Regula intensidades** de cada movimiento independiente, **su dirección y la ordenación** de los movimientos paralelos y sucesivos múltiples para alcanzar un objetivo motor complicado.

El cerebelo y sus funciones motoras

- Recibió el nombre de **área silente del encéfalo.**
- **Su excitación eléctrica** no origina ninguna sensación consciente y rara vez causa alguna actividad motora.

- **Su extirpación** provoca movimientos corporales anormales, provocando una incoordinación casi total.
- Vital durante **actividades musculares rápidas** (correr, escribir a máquina, tocar el piano o conversar).

- Sirve para **ordenar las actividades motoras**, verificando y efectuando **ajustes de corrección** en las actividades motoras del cuerpo durante su ejecución para que sigan las señales motoras dirigidas por la corteza cerebral motora y otras partes del encéfalo.

- El cerebelo **recibe constantemente información actualizada** acerca de la secuencia deseada de contracciones musculares desde las áreas encefálicas de control motor.

- Recibe también **información sensitiva de las porciones periféricas** del organismo como variaciones sucesivas en su estado; su posición, la velocidad de movimiento, las fuerzas que actúan sobre ella, etc.

- El cerebelo **contrasta los movimientos reales** descritos por la información sensitiva periférica de retroalimentación **con los movimientos pretendidos** por el sistema motor.

- **Enviando señales de corrección hacia el sistema motor** para aumentar o disminuir los niveles de activación de cada músculo específico.

- El cerebelo **colabora con la corteza cerebral** en la **planificación por anticipado del siguiente movimiento** secuencial una fracción de segundo antes, mientras se está ejecutando aún el movimiento actual.
- **Aprende de sus errores**, si un movimiento no sucede exactamente como se pretende**, el circuito cerebeloso** aprende a realizar otro más potente o más débil la próxima vez. **Produciendo cambios en la excitabilidad de las neuronas cerebelosas** oportunas.

Áreas anatómicas funcionales del cerebelo
Desde el punto de vista anatómico, el cerebelo está dividido en tres lóbulos por dos profundas cisuras

1) **el lóbulo anterior**
2) **el lóbulo posterior**
3) **el lóbulo floculonodular (porción más antigua)**

- **Lóbulo floculonodular** se desarrolló a la vez que el sistema vestibular, y funciona con él para controlar el equilibrio corporal
- **Divisiones funcionales longitudinales** de los lóbulos anterior y posterior.

Vermis: Separada del resto por **surcos superficiales**. En ella radican la mayoría de las **funciones de control cerebelosas** encargadas de los **movimientos musculares** del tronco axial, el cuello, los hombros y las caderas.

- Un hemisferio de cada lado del vermis, se subdivide en una **zona intermedia y otra zona lateral**.

- **La zona intermedia del hemisferio** controla las contracciones musculares en las porciones distales de las extremidades superiores e inferiores, especialmente en las manos, los pies y los dedos.

- **La zona lateral del hemisferio** opera a un nivel mucho más remoto porque esta área se suma a la corteza cerebral para la planificación general de las actividades motoras secuenciales. *Sin ella la mayor parte de las actividades motoras diferenciadas del cuerpo **pierden su sincronización y ordenación adecuadas**.*

Representación topográfica del cuerpo en el vermis y en las zonas intermedias.
Regiones con representación topográfica:

- **Las porciones axiales del cuerpo** quedan en el vermis

- **Las regiones faciales y de las extremidades** en las zonas intermedias.

- Reciben **señales nerviosas aferentes** desde todas las **porciones respectivas del cuerpo**, y desde **áreas motoras topográficas** en la corteza cerebral y en el tronco del encéfalo.

- **Devuelven sus señales motoras** a las mismas áreas topográficas de la **corteza cerebral motora**, y a las regiones topográficas del **núcleo rojo** y de la **formación reticular** en el tronco del encéfalo.

- **Las porciones laterales grandes** de los hemisferios cerebelosos no poseen una representación topográfica del cuerpo.

- **Las porciones laterales** reciben señales aferentes desde la corteza cerebral, de las **áreas premotoras** de la corteza frontal y desde las **áreas de asociación somatosensitivas** y dedicadas a otras sensibilidades en la corteza parietal.

- **Las porciones laterales** desempeñan función en **planificación y coordinación de las actividades musculares** secuenciales rápidas del cuerpo que suceden una tras otra en cuestión de fracciones de segundo.

Circuito neuronal del cerebelo

- **La corteza cerebelosa** humana en realidad es una **gran lámina plegada.**
- **17 cm** de ancho por **120 cm** de largo
- **Pliegues** orientados en sentido transversal
- Cada pliegue se llama **lámina**.

- En la profundidad bajo la masa plegada de la corteza cerebelosa están los **núcleos profundos del cerebelo**.

Vías Aferentes al cerebelo

- **La vía corticopontocerebelosa**, originada en las **cortezas cerebrales motora y premotora**, y en la **corteza cerebral somatosensitiva**; pasa por los **núcleos del puente** y los **fascículos pontocerebelosos** para llegar a las divisiones laterales de los hemisferios cerebelosos en el lado del encéfalo opuesto a las áreas corticales.

Fascículos aferentes importantes nacen a cada lado del tronco del encéfalo:

1) **Fascículo olivocerebeloso**
   Desde la **oliva inferior** hasta todas **las porciones del cerebelo** y se excita en la oliva por las fibras procedentes de la corteza cerebral motora, los ganglios basales, extensas regiones de Información reticular y la médula espinal;

2) **Fibras vestibulocerebelosas**
   Algunas se originan en el mismo **aparato vestibular** y otras surgen en los **núcleos vestibulares** del tronco del encéfalo: casi todas acaban en el **lóbulo floculonodular** y en el núcleo del fastigio del cerebelo,

3) **Las fibras reticulocerebelosas**
   Nacen en porciones de la **formación reticular** en el tronco del encéfalo y finalizan en sobre todo en el **vermis**.

Vías aferentes desde la periferia.

- El cerebelo **recibe señales sensitivas directas desde las porciones periféricas** a través de **cuatro fascículos a cada lado**, dos que ocupan una posición dorsal en la médula y otros dos ventrales.

Los más importantes **El fascículo espinocerebeloso dorsal** y **el fascículo espinocerebeloso ventral**.

- **El fascículo dorsal** entra en el cerebelo a través del **pedículo cerebeloso inferior** y termina en el **vermis** y en las **zonas cerebelosas intermedias** correspondientes al mismo lado de su origen.

- **El fascículo ventral** penetra en el cerebelo por el **pedículo cerebeloso superior**, pero acaba a **ambos lados del cerebelo**.

Las señales de los **fascículos espinocerebelosos dorsales** proceden sobre todo de los **husos musculares** y en **menor proporción** de otros **receptores somáticos** (órganos tendinosos de Golgi, receptores táctiles grandes de la piel y los receptores articulares).

Todas estas señales informan al cerebelo sobre el estado en cada momento de:

1) **la contracción muscular;**
2) **el grado de tensión en los tendones musculares;**
3) **la posición y la velocidad de movimiento de las diversas partes del cuerpo,**
4) **las fuerzas que actúan sobre las superficies corporales.**

Los fascículos espinocerebelosos ventrales se activan por señales motoras que llegan a las astas anteriores de la médula espinal desde:

1) **el encéfalo** a través de los **fascículos corticoespinal y rubroespinal**, y
2) **los generadores internos de patrones motores** en la propia médula.

- **La vía ventral** comunica al cerebelo **qué señales motoras han llegado** a las astas anteriores; dicha retroalimentación se llama **copia de eferencia del impulso motor en el asta anterior**.

- **Las vías espinocerebelosas** transmiten impulsos a una **120 m/s**. Importante para la comunicación instantánea al cerebelo de los cambios ocurridos en las acciones musculares periféricas.

- **El cerebelo** también recibe **impulsos desde la periferia** por medio de las **columnas dorsales** de la médula hasta los **núcleos de las columnas dorsales en el bulbo raquídeo** y de ahí se envían al cerebelo.

- Las señales **ascienden** por la médula espinal:
  - A **través de la vía espinorreticular** hasta la formación reticular en el tronco del encéfalo
  - A **través de la vía espinoolivar** hasta el núcleo olivar inferior.

Señales eferentes desde el cerebelo

- A cada lado del cerebelo hay tres núcleos cerebelosos profundos:
- **El dentado, el interpuesto y el del fastigio.**

Todos estos núcleos profundos del cerebelo reciben señales desde dos fuentes:

1) **la corteza cerebelosa**
2) **los fascículos aferentes sensitivos profundos dirigidos al cerebelo.**

Cada vez que llega una señal de entrada al cerebelo, se divide para seguir dos direcciones:

1) **Directo** hacia uno de los núcleos cerebelosos profundos
2) **hasta la zona correspondiente** en la corteza cerebelosa que cubre dicho núcleo.

- Una décima de segundo más tarde, **la corteza cerebelosa** emite una **señal de salida inhibidora** dirigida hacia el **núcleo profundo**.

- **Todas las señales de entrada** que penetran en el **cerebelo** finalmente **acaban en los núcleos profundos** adoptando **primero** la forma de **impulsos excitadores** seguidos por **impulsos inhibidores** una fracción de segundo después.

Organización general de las principales vías eferentes del cerebelo:

1. Una vía que nace en las estructuras del **vermis**, atraviesa los **núcleos del fastigio** en su camino hacia las **regiones bulbares y pontinas** del tronco del encéfalo. Este circuito funciona en íntima asociación con el **aparato del equilibrio** y con los **núcleos vestibulares** del tronco del encéfalo y está vinculado a la **formación reticular** del tronco del encéfalo para regular las actitudes **posturales del cuerpo**.

2. Una vía que recorre el siguiente trayecto:
   1) Se origina en la zona intermedia del hemisferio cerebeloso, y a continuación atraviesa
   2) El **núcleo interpuesto** hacia
   3) Los núcleos ventrolateral y ventroanterior del tálamo
   4) La corteza cerebral,
   5) Diversas estructuras talámicas de la línea media
   6) Finalmente a los ganglios basales y
   7) el núcleo rojo y la formación reticular en la porción superior del tronco del encéfalo.

   - Este complejo circuito sirve para **coordinar las contracciones recíprocas** entre los músculos **agonistas y antagonistas**, sobre todo en las manos, los dedos y los pulgares.

3. Una vía que comienza en la **corteza cerebelosa de la zona lateral del hemisferio cerebeloso** y a continuación se dirige
   1) Al núcleo dentado
   2) Después a los **núcleos ventrolateral y ventroanterior del tálamo**
   3) Finalmente, **a la corteza cerebral.**

- Contribuye a la **coordinación de las actividades motoras sucesivas** puestas en marcha por la corteza cerebral.

La unidad funcional de la corteza cerebelosa:
La célula de Purkinje y la célula nuclear profunda
El cerebelo posee 30 millones de unidades funcionales prácticamente idénticas entre sí. **Célula de Purkinje** muy grande y **célula nuclear profunda**.

Tres capas principales de la corteza cerebelosa:

- **Capa molecular,**
- **Capa de las células de Purkinje**
- **Capa granulosa.**

Por debajo de las capas corticales, en el centro de la masa cerebelosa, están los **núcleos profundos del cerebelo**, que envían sus señales de salida hacia otras porciones del sistema nervioso.

Circuito neuronal de la unidad funcional cerebelosa.

- **La salida desde esta estructura** tiene lugar a través de una **célula nuclear profunda**. La cuál está sometida permanentemente a unas influencias **excitadoras** (fibras aferentes del **encéfalo o l**a **periferia**) **e inhibidoras** (**célula de Purkinje** en la corteza cerebelosa).

- **Las proyecciones aferentes** son de **dos clases**
  - **Tipo de fibra trepadora**.
  - **Tipo de fibra musgosa**.

Fibra Trepadora

- Nacen en las **olivas inferiores** del bulbo raquídeo,
- **1 fibra trepadora** cada 5-10 células de Purkinje

- Después de enviar ramas hacía varias **células nucleares profundas**, siguen hacia las capas superficiales de la corteza cerebelosa, donde realizan unas **300 sinapsis con los somas y** las **dendritas** de cada célula de Purkinje.

- **Un solo impulso** generará un tipo peculiar de potencial de acción prolongado (hasta 1 s) en cada célula de Purkinje.
- **Potencial de descarga compleja: Una descarga potente**, va seguida de varias descargas secundarias cada vez más débiles prolongadas.

Fibra Musgosa

- **Todas las** demás **fibras** que entran en el cerebelo desde múltiples fuentes: la **zona superior del encéfalo**, el **tronco del encéfalo** y la **médula espinal**.

- **Dejan salir colaterales** para excitar las células nucleares profundas.

- Luego siguen hasta la **capa granulosa** de la corteza, donde hacen sinapsis con miles de células granos.

- **Células de los granos:** axones extremadamente pequeños, **< 1 µm**, que envían hasta la capa molecular en la superficie externa de la corteza cerebelosa. Ahí los axones **se dividen en dos ramas** que se extienden de 1 a 2mm en cada dirección, con un **trayecto paralelo a las láminas**.

- Existen unos **500 a 1.000 células de los granos** por cada célula de Purkinje.

- En la capa granulosa de **80.000 a 200.000 fibras paralelas** hacen sinapsis **con cada célula de Purkinje**.

- **La proyección de fibras musgosas sobre la célula de Purkinje** conexiones sinápticas débiles, debe estimularse varias a la vez para llegar a excitarla.

- **Descarga simple**: Potencial de acción de corta duración poco intenso en la célula de Purkinje de las fibras musgosas.

Las células de Purkinje y las células nucleares profundas disparan constantemente en condiciones normales de reposo.

- **Las células de Purkinje y** las células **nucleares profundas** en condiciones normales disparan permanentemente, puede modularse al alza o a la baja;
  - **Las células de Purkinje** disparan 50 a 100 potenciales de acción por seg.
  - **Las células nucleares profundas** ritmos mucho más rápidos.

Equilibrio entre la excitación y la inhibición en los núcleos cerebelosos profundos.

- **La estimulación directa de las células nucleares profundas** por las fibras trepadoras o de las musgosas sirve para excitarlas.

- **Las señales de las células de Purkinje** inhiben las células nucleares profundas.

- El **equilibrio** entre estos dos efectos resulta ligeramente **favorable a la excitación**.

- **Durante la ejecución de una actividad motora rápida:**
  - **La señal de la corteza cerebral motora o en el tronco del encéfalo** incrementa mucho la excitación de la célula nuclear profunda.
  - Unos milisegundos más tarde, aparecen las señales inhibidoras de retroalimentación procedentes del **circuito de la célula de Purkinje**.

La señal inhibidora se parece a una señal de retroalimentación negativa de «línea de retardo», eficaz para **mecanismo de amortiguación,** para detener el movimiento muscular y que no rebase su objetivo. Si no, el movimiento estaría **sometido a una oscilación**.

Otras células inhibidoras en el cerebelo.
Además de las células nucleares profundas, las células de los granos y las células de Purkinje, en el cerebelo hay otros dos tipos de neuronas:

- **Las células en cesta y las células estrelladas**.
  - **Células inhibidoras** con axones cortos.
  - **Situadas** en la capa molecular de la corteza cerebelosa
  - **Ubicadas y estimuladas** entre las pequeñas fibras paralelas.
  - **Envían axones perpendiculares** a las fibras paralelas que ocasionan una **inhibición lateral** de las células de Purkinje adyacentes.

Señales de salida de encendido-apagado y apagado-encendido emitidas por el cerebelo

- La función del cerebelo consiste en suministrar **señales rápidas de encendido** para los músculos **agonistas** y simultáneamente señales de apagado para los **antagonistas** al comenzar un movimiento.

- Posteriormente **El cerebelo** es responsable de **sincronizar** y **ejecutar** las **señales de apagado** dirigidas a los **agonistas** y de **encendido** para los **antagonistas**.

Patrón de encendido-apagado en la contracción de los agonistas-antagonistas

1. **Comienza con las señales procedentes de la corteza cerebral**, llegan directamente hasta el músculo agonista para poner en marcha la contracción inicial.
2. **Señales paralelas** acceden al cerebelo por medio de las **fibras musgosas pontinas**.
3. **Una rama de cada fibra musgosa** va directamente hasta las células nucleares profundas situadas en el núcleo dentado o en otros núcleos cerebelosos profundos
4. **La señal de encendido adquiere mayor potencia** debido al resultado de sumar las **señales corticales más las cerebelosas**.

El circuito cerebeloso sería capaz de **provocar el encendido** de una rápida contracción y, causar también **un apagado** de la misma contracción agonista después de un período dado y que esté **sincronizado con precisión**.

Las células de Purkinje «aprenden» a corregir los errores motores:
importancia de las fibras trepadoras

- **No se conoce la forma de aprendizaje concretamente**

- **Los niveles de sensibilidad** de los circuitos cerebelosos se adaptan progresivamente durante el proceso de entrenamiento, **en especial las células de Purkinje** para responder a la excitación de las células de los granos. Cambio **causado por** las señales de las **fibras trepadoras** que llegan del complejo olivar inferior.

- **En reposo**, **las fibras trepadoras** realizan +o- **un disparo por seg**. ocasionando despolarización enorme en todo el árbol dendrítico de la célula de Purkinje, cuya duración se prolonga hasta **1 seg**. La célula de Purkinje realiza una descarga potente

- **Cuando se efectúa un movimiento nuevo:**
  - **Las señales de retroalimentación** de los **propiorreceptores** musculares y articulares indican al cerebelo en qué medida se aparta el movimiento real del movimiento pretendido
  - **Los impulsos de las fibras trepadoras** varían de algún modo la sensibilidad a largo plazo de las células de Purkinje.
  - **Una vez coordinado**, **las fibras trepadoras** ya no envían **señales «de error»** hacia el cerebelo.

Función del cerebelo en el control motor global
El sistema nervioso recurre al cerebelo para coordinar las funciones de control motor en los tres niveles siguientes:

1. **El vestibulocerebelo**. Lóbulos cerebelosos floculonodulares y las porciones adyacentes del vermis.
   - **Aporta los circuitos nerviosos** para la mayoría de los movimientos relacionados con el equilibrio corporal.

2. **El espinocerebelo**. Constituido por la mayor parte del **vermis** del cerebelo posterior y anterior, y las zonas intermedias adyacentes.
   - Proporciona el circuito encargado de **coordinar los movimientos** de las porciones distales de las extremidades, en especial los de las **manos y los dedos**.

3. **El cerebrocerebelo**. Compuesto por las grandes **zonas laterales** de los hemisferios cerebelosos.
   - Recibe sus conexiones desde **la corteza cerebral motora y las cortezas somatosensitiva y premotora** adyacentes en el cerebro.

   - Transmite su información de salida en un **sentido ascendente** hacia el cerebro, actuando de modo autorregulador junto al sistema sensitivo motor de la corteza cerebral para planificar los movimientos voluntarios secuenciales del tronco y las extremidades, haciéndolo con una antelación hasta de décimas de segundo con respecto al movimiento verdadero "**concepción de la «imagen motora»**".

Funcionamiento del vestibulocerebelo asociado al tronco del encéfalo y la médula espinal para controlar el equilibrio y los movimientos posturales

- **El origen filogénico del vestibulocerebelo** coincide en el tiempo con el desarrollo del aparato vestibular en el oído interno.

- En personas con una disfunción a este nivel, el equilibrio está alterado en los movimientos rápidos que en una situación estática.

El vestibulocerebelo es importante para controlar el **equilibrio entre las contracciones** de los músculos **agonistas y antagonistas** de la **columna, las caderas y los hombros** durante las variaciones rápidas de la posición corporal exigida por el aparato vestibular.

Las vías sensitivas más rápidas **(120 m/s) fascículos aferentes espinocerebelosos,** de los pies hasta el encéfalo es de 15 a 20 ms. Los pies de una persona que corra a gran velocidad pueden avanzar 25 cm en ese tiempo.

En el curso del control del equilibrio, la información procedente de la periferia corporal y del aparato vestibular se maneja en un **circuito de control por retroalimentación** con el fin de procurar una **corrección por adelantado** de las señales motoras posturales necesarias para conservar el equilibrio incluso durante un movimiento sumamente veloz, contando con las variaciones rápidas que puedan ocurrir en su dirección.

Espinocerebelo: control por retroalimentación de los movimientos distales de las extremidades a través de la corteza cerebelosa intermedia y el núcleo interpuesto

Cuando se realiza un movimiento **la zona intermedia de cada hemisferio cerebeloso** recibe dos tipos de datos:

1) Información de la **corteza cerebral motora** y del **núcleo rojo mesencefálico**, que avisa al cerebelo sobre el plan de movimiento secuencial durante las fracciones siguientes

2) **Información de retroalimentación de las porciones periféricas del cuerpo**, en especial de los propiorreceptores distales de las extremidades, que transmite al cerebelo los movimientos reales resultantes.

La zona intermedia del cerebelo compara los movimientos deseados con los movimientos reales.
Las células nucleares profundas del núcleo interpuesto envían unas señales eferentes correctoras:

1. hacia la **corteza cerebral motora** a través de los **núcleos de relevo en el tálamo**

2. hacia la porción **magnocelular (inferior) del núcleo rojo** que da origen al fascículo rubroespinal.

El fascículo rubroespinal, se suma al **fascículo corticoespinal** en su inervación de las **motoneuronas más laterales** en las astas anteriores de la sustancia gris de la ME, que controlan en **las manos y los dedos**.

- Esto permite **movimientos coordinados y suaves** en los músculos agonistas y antagonistas de las extremidades.

- **El cerebelo** compara las **«intenciones»** en los **niveles superiores** del sistema de control motor, que llegan a su zona intermedia a través del **fascículo corticopontocerebeloso**, con su **«ejecución»** por las porciones del cuerpo, según su transmisión de regreso al cerebelo **desde la periferia**.

- **El complejo olivar inferior** recibe unas señales de comparación similares; si al compararlas el resultado no es satisfactorio, **el sistema de la oliva-célula de Purkinje** junto con **mecanismos de aprendizaje cerebeloso** acaba por **corregir los movimientos** hasta que se cumpla la función deseada.

Función del cerebelo para amortiguar los movimientos.

- **Temblor de acción o temblor intencional** los movimientos del cuerpo tienen un carácter **«pendular»** y una tendencia a la exageración; Al haber **daño en el sistema amortiguador del cerebelo** el miembro efectúa varios ciclos de oscilación antes de quedar fijo en el punto.

Control cerebeloso de los movimientos balísticos.
- **Movimientos balísticos:**
    - **Movimientos** que suceden a **velocidad demasiado alta** y no es posible recibir una información de retroalimentación antes de que su realización haya finalizado,
    - Su desarrollo está **planificado por anticipado** y puesto en acción para recorrer una distancia específica y a continuación detenerse.

- **Variaciones** que suceden en **movimientos balísticos al extirpar cerebelo.**
    1. **Movimientos lentos y sin impulso** de arranque añadido del cerebelo;
    2. **La fuerza** alcanzada es débil,
    3. **No existe amortiguación**.

- **A falta del circuito cerebeloso, la corteza motora** tiene que emplearse a fondo para activar los **movimientos balísticos y de amortiguación** luego desactivarlos.

Cerebrocerebelo (zonas laterales de los hemisferios cerebelosos)
- Muy **desarrolladas e hipertrofiadas**, capacidad para planificar y ejecutar **patrones secuenciales complicados** de movimiento con las manos y con los dedos, y para hablar.
- **Carecen de una vía de entrada directa** para la información procedente de las porciones periféricas del cuerpo.
- **La comunicación** entre **áreas cerebelosas laterales** y la **corteza cerebral** se dirige al **área premotora** y las áreas somatosensitivas primaria y de asociación.

La destrucción del cerebrocerebelo y sus núcleos profundos dentados, da lugar a una **descoordinación extrema** en los movimientos complejos de las manos, los dedos y los pies, así como del aparato del habla.

Las zonas laterales de los hemisferios cerebelosos se ocupan de otros dos aspectos importantes indirectos en el control motor:
1. la **planificación** de los movimientos secuenciales
2. La **sincronización** de movimientos secuenciales

Planificación de los movimientos secuenciales.
Exige que las **zonas laterales de los hemisferios** estén en contacto con las **porciones sensitivas y premotoras de la corteza cerebral**, y esto requiere una **comunicación bidireccional** entre **áreas corticales** cerebrales y las regiones de los **ganglios basales**.

El «plan» de los movimientos secuenciales
- **Comienza** en las áreas sensitivas y premotoras de la corteza cerebral
- **Se transmite** hacia las zonas laterales de los hemisferios cerebelosos.
- **Tráfico** de doble sentido entre el cerebelo y la corteza cerebral
- **Las señales motoras** proporcionan la transición entre una secuencia de movimientos y la siguiente.

Las zonas cerebelosas laterales intervienen en la que **acción que ocurrirá durante el próximo movimiento secuencial** una décima de segundo o quizás incluso varios segundos más tarde.

Función de sincronización.
- **Las zonas laterales de los hemisferios cerebelosos** procuran la **coordinación temporal** oportuna de cada movimiento futuro.
- Dan la **capacidad subconsciente** para **predecir la distancia** a la que llegarán en un momento dado las diversas partes del cuerpo.
- Capacidad de **determinar** cuándo debe comenzar el **siguiente movimiento secuencial**, permitiendo movimientos complejos precisos y coordinados.

Funciones predictivas extramotoras del cerebrocerebelo.
- El cerebrocerebelo también contribuye a la **«coordinación temporal»** de otros aspectos aparte de los movimientos del cuerpo (fenómenos auditivos y visuales).

- "Se afirma que" el cerebelo resulta útil para **interpretar las relaciones espaciotemporales** rápidamente cambiantes que llegan en la información sensitiva.

Anomalías clínicas del cerebelo
- La **destrucción de pequeñas porciones** de la corteza cerebelosa lateral **rara vez** ocasiona una anomalía detectable en la función motora.

- Para provocar una **disfunción seria y constante a este nivel**, la lesión normalmente debe **afectar uno o más** de los núcleos cerebelosos profundos: **los núcleos dentado, interpuesto o del fastigio**.

Dismetría y ataxia.
Dos de los **síntomas más importantes** de las enfermedades cerebelosas (también pueden obedecer a las lesiones en los fascículos espinocerebelosos).

Sin el cerebelo, **el sistema de control motor subconsciente** es incapaz de predecir la distancia a la que llegarán los movimientos.
- **Dismetría** El sistema de control motor subconsciente no puede predecir distancias, la realización de movimientos rebasarán el punto deseado; la porción consciente del cerebro contrarresta por exceso y realiza movimiento de compensación.

- **Ataxia**: movimientos descoordinados.

Hipermetría.
- Sin el cerebelo, una persona suele **rebasar** el punto en el que desea situar su mano o cualquier otra parte de su cuerpo en movimiento.
- **la hipermetría** en realidad es una manifestación de la dismetría.

Problemas en la sucesión de movimientos
Disdiadococinesia:
- Incapacidad de realizar movimientos alternantes rápidos. El movimiento siguiente puede comenzar demasiado pronto o demasiado tarde, por lo que **no** habrá una **sucesión de movimientos ordenada**.

- **Puede ponerse de manifiesto** si se pide a un px con **lesión cerebelosa** que **gire su mano hacia arriba y hacia abajo** a un ritmo rápido.

Disartria:
- **Incapacidad de progresión en el habla.**
- La formación de las palabras depende del encadenamiento rápido y ordenado de **movimientos musculares independientes en la laringe, la boca y el aparato respiratorio**.

- La **falta de coordinación y la incapacidad para corregir por anticipado** la intensidad de cada sonido sucesivo o su duración da lugar a una vocalización confusa, que muchas veces resulta ininteligible.

Temblor intencional.
- Sin cerebelo, al realiza un acto voluntario, los movimientos oscilan, a medida que se acercan al punto deseado, primero rebasándolo y después vibrando varias veces hacia atrás y hacia adelante antes de fijarse.

- Esto es el **temblor intencional o temblor de acción**, superación del punto deseado y el fracaso del sistema cerebeloso para «amortiguar» los actos motores.

Nistagmo cerebeloso:
- Temblor de los **globos oculares**.

- **El nistagmo cerebeloso** es un temblor de los globos oculares al **intentar fijar la vista** sobre una escena situada a un lado de la cabeza debido a un **fallo** en el **mecanismo de amortiguación del cerebelo**.
- En especial cuando están **dañados los lóbulos floculonodulares del cerebelo**; también va **asociada** a una **pérdida del equilibrio** debida a la disfunción de las vías que atraviesan esta zona, procedentes de los conductos semicirculares.

Hipotonía:
- Descenso del tono de la musculatura.

- **La desaparición** de los núcleos profundos del cerebelo, especialmente **del dentado y el interpuesto**, provoca un **descenso del tono en la musculatura periférica** del mismo lado del cuerpo que la lesión cerebelosa.

Ganglios Basales

- Constituyen un **sistema motor auxiliar** que funciona **vinculado con** la corteza cerebral y el sistema de control motor corticoespinal.
- **Reciben** la mayoría de **señales aferentes** de la corteza cerebral y **envían señales eferentes** a la corteza cerebral.

- Formados por
  - el **núcleo caudado**,
  - el **putamen**,
  - el **globo pálido**,
  - la **sustancia negra**
  - el **núcleo subtalámico**.

- **Situados** en posición lateral y alrededor del tálamo, ocupando gran parte de las **regiones internas** de los hemisferios cerebrales.

- Casi todas las fibras nerviosas **sensitivas y motoras** que conectan la **corteza cerebral** con la **ME** atraviesan el área entre **el núcleo caudado y el putamen**.

- **Cápsula interna del cerebro**

  Espacio entre los **elementos más voluminosos** de los ganglios basales, el **núcleo caudado y el putamen**.

- Intensa asociación entre los **ganglios basales y el sistema corticoespinal** para el **control motor**.

El circuito del putamen
- **Los ganglios basales** tienen función importante en el control motor, vinculado al sistema corticoespinal con objeto de **controlar los patrones complejos de la actividad motora**.

- Con una **lesión** de **ganglios basales**, el sistema de control motor cortical ya **no puede suministrar patrones complejos** (como escribir letras del alfabeto).

- Patrones que requieren el funcionamiento de los ganglios basales:
  - **Cortar** papel,
  - **Clavar** un clavo,
  - **encestar** en baloncesto,
  - **pase** de fútbol,
  - **vocalización**,
  - movimientos de los **ojos**
  - cualquier otra acción que exijan cierta destreza, la mayoría de ellas ejecutadas de forma **subconsciente**.

Vías nerviosas del circuito del putamen.

1. **Ganglios basales** encargadas de ejecutar los **patrones aprendidos del movimiento**.

2. **Comienzan: áreas premotora y suplementaria** de la corteza motora y en las **áreas somatosensitivas** de la corteza sensitiva.

3. Luego se dirigen al **putamen** (sorteando el **núcleo caudado**)

4. Después llegan a **la porción interna del globo pálido**,

5. Luego a los **núcleos talármeos** de relevo **ventroanterior y ventrolateral**,

6. **Finalmente** regresan a la **corteza cerebral motora primaria** y porciones de **áreas premotora y suplementaria** vinculadas.

7. **El circuito del putamen** recibe conexiones desde porciones del encéfalo **adyacentes** a la corteza motora primaria, y **pocas** de la corteza motora primaria.

8. **Circuitos auxiliares**, originados en el **putamen** recorren el **globo pálido externo, el subtálamo y la sustancia negra**, para regresar a la corteza motora a través del **tálamo**.

Funcionamiento anormal en el circuito del putamen:
Atetosis
Producida por **Lesiones en el globo pálido** desembocan en **movimientos de contorsión** de una mano, un brazo, el cuello o la cara espontáneos y continuos.

Hemibalismo
Lesión en el subtálamo que produce movimientos de **agitación súbitos** de toda una extremidad.

Corea
Lesiones pequeñas múltiples en el putamen derivan en **movimientos de lanzamiento** en las manos, la cara y otras partes del cuerpo.

Parkinson
Lesiones de la sustancia negra dan lugar a un trastorno con **rigidez, acinesia y temblores**.

El circuito del caudado
- **Conocimiento o Cognición:** término que se refiere a los **procesos de pensamiento del encéfalo**, que emplean las señales sensitivas llegadas al cerebro más la información ya almacenada en la memoria.

- **Control cognitivo de la actividad motora:** La mayor parte de nuestras acciones motoras se dan como consecuencia de los pensamientos generados en la mente, **El núcleo caudado** tiene un papel fundamental en el control cognitivo de la actividad motora.

- **El núcleo caudado** se extiende por todos los lóbulos del cerebro, desde los **lóbulos frontales**, a través de los **lóbulos parietal y occipital**, y finalmente una curva hacia adelante **«C»** hacia los **lóbulos temporales**.

- **El núcleo caudado** recibe sus conexiones de entrada desde las **áreas de asociación** de la corteza cerebral que lo cubren, que **integran información** sensitiva y motora en **patrones de pensamiento manejables**.

- **Vía del circuito caudado**
- Las señales se reciben desde la **corteza cerebral**
- Se transmiten al **globo pálido interno**,
- Después a los **núcleos talámicos de relevo ventroanterior y ventrolateral**,
- Finalmente vuelven a las **áreas prefrontal, premotora y motora suplementaria** de la corteza cerebral.
- Casi ninguna de las señales llega directamente a la corteza motora primaria.

- Las señales en las áreas premotora y motora suplementaria se ocupan de **reunir los patrones secuenciales de movimiento** cuya duración abarque un mínimo de **5 s** en vez de excitar algún movimiento muscular específico.

- **Sin las funciones cognitivas**, se carecería de las capacidades instintivas suficientes como para responder rápida y adecuadamente, sin pararse a reflexionar demasiado tiempo.

- **El control cognitivo** de la actividad motora determina a un nivel subconsciente y en un plazo de segundos cuáles son los **patrones de movimiento** que van a reunirse para alcanzar un objetivo complejo que podría durar muchos segundos.

Función de los ganglios basales para modificar la secuencia de los movimientos y graduar su intensidad

- El cerebro dispone de dos capacidades importantes para **el control del movimiento**:
  1. **determinar la velocidad** a la que va a realizarse su ejecución
  2. **controlar la amplitud** que va a adquirir.

- **lesiones graves** de los ganglios basales, actividades encargadas de controlar **el ritmo y el tamaño** funcionan mal; de hecho, a veces ni siquiera existen. L**os ganglios basales** actúan en asociación con la corteza cerebral.

- **la corteza parietal posterior**, donde asientan las **coordenadas espaciales** para el **control motor** del cuerpo; y la **relación** que mantiene el **cuerpo y sus partes** con todo su entorno.

- **AGNOSIA: lesiones de la corteza parietal posterior** producen incapacidad de percibir objetos con precisión. La persona tratará de no utilizar un lado de su cuerpo en la ejecución de las tareas, e incluso no se lavará este lado del cuerpo (**síndrome de abandono personal**), casi sin llegar a saber que existen.
- **El circuito del caudado** funciona vinculado a las **áreas asociativas** de la **corteza cerebral** como la **corteza parietal posterior**, el ritmo y la

magnitud de los movimientos caen bajo la competencia de esta herramienta de control motor cognitivo.

Funciones de las sustancias neurotransmisoras específicas en el sistema de los ganglios basales

1. **Vías de la dopamina** desde la sustancia negra hasta el núcleo caudado y el putamen;
2. **Vías del ácido g-aminobutírico (GABA)** desde el núcleo caudado y el putamen hasta el globo pálido y la sustancia negra;
3. **Vías de la acetilcolina** desde la corteza hasta el núcleo caudado y el putamen,
4. **Vías noradrenalina, serotonina, encefalina y otros** en los ganglios basales procedentes del tronco del encéfalo que segregan.
5. **Vías de glutamato** que suministran la mayor parte de las señales excitadoras para equilibrar la gran cantidad de señales **inhibidoras (dopamina, GABA y serotonina**).

Las neuronas gabaérgicas (GABA) en los circuitos de retroalimentación desde la **corteza cerebral** hasta los **ganglios basales** y que regresan, hacen que estas redes en **circuitos de retroalimentación negativos**, lo que da **estabilidad** a los sistemas de control motor.

La dopamina neurotransmisor inhibidor en la mayor parte del encéfalo, junto a **GABA** son las que más actúan de **estabilizador**.

Síndromes clínicos ocasionados por la lesión de los ganglios basales

Enfermedades fundamentales surgen a raíz de una alteo ración en los ganglios basales:

- **atetosis**
- **hemibalismo,**
- **enfermedad de Parkinson**
- **enfermedad de Huntington.**

Enfermedad de Parkinson

También denominada **parálisis agitante**, deriva de la destrucción extensa de la **sustancia negra** (la porción compacta) que envía fibras nerviosas secretoras de **dopamina** hacia el núcleo caudado y el putamen.

La enfermedad se caracteriza por los siguientes síntomas:

1. **rigidez** de gran parte de la musculatura corporal;
2. **temblor involuntario d**e las zonas afectadas a un ritmo fijo de **3 a 6 ciclos**/seg incluso cuando la persona **está en reposo**,
3. **problemas** serios para **iniciar el movimiento**, lo que se denomina **acinesia**,
4. **inestabilidad postural** causada por reflejos posturales deteriorados, problemas de **equilibrio y caídas**
5. otros síntomas motores: **disfagia**, **trastornos del habla**, **trastornos en la marcha y fatiga**.

- La destrucción de las **neuronas dopaminérgicas** en la sustancia negra en teoría permitiría que el **núcleo caudado y el putamen** tengan actividad intensa y dieran lugar a una emisión continua de **señales excitadoras** hacia el sistema de control **motor corticoespinal**.
- **Los circuitos de retroalimentación** podrían oscilar con facilidad debido a sus elevadas ganancias sin su inhibición, lo que conduciría al **temblor de la enfermedad de Parkinson**.

- Este temblor sucede durante todas las **horas de vigilia** (temblor involuntario)

- **La acinesia** cobra un carácter mucho más pronunciado que los síntomas de la rigidez muscular y el temblor, se necesita mucho esfuerzo aún para realizar movimientos sencillos.
- Se cree debido a la **secreción de dopamina** en el sistema límbico, **en el núcleo accumbens**, reducida igual que en los ganglios basales.

Tratamiento con L-dopa.

- **L-dopa** suele mejorar muchos de sus síntomas, especialmente **la rigidez y la acinesia**.

- **L-dopa** se convierte en dopamina dentro del encéfalo, y restablece **el equilibrio normal** entre la **inhibición** y la **excitación** en el núcleo caudado y en el putamen.

- **La administración de dopamina** por sí sola **no produce el mismo efecto** debido a que su estructura química no permite el paso a través de la **barrera hematoencefálica**.

Tratamiento con L-deprenilo.

- **L-deprenilo** sustancia inhibe la **monoaminooxidasa**, responsable de **destruir** la mayor parte de la **dopamina** después de su secreción, permitiendo que se mantenga por más tiempo la dopamina creada..

- Sirve para **frenar la destrucción** de las **neuronas secretoras de dopamina** en la sustancia negra.
- Combinaciones de **L-dopa y L-deprenilo** resultan mejor que el empleo en solitario.

Tratamiento mediante trasplantes de células dopaminérgicas fetales.

- El **trasplante de células secretoras de dopamina** (de fetos abortados) al núcleo caudado y al putamen se ha empleado para tratar la enfermedad de Parkinson con un cierto éxito a corto plazo.

- Las células **no sobreviven** más que unos meses.

Tratamiento mediante la destrucción de parte del circuito de retroalimentación de los ganglios basales.

- Las **lesiones quirúrgicas** se realizaron en los **núcleos ventrolateral y ventroanterior del tálamo**, lo que interrumpía parte del circuito de retroalimentación que va **desde los ganglios basales hasta la corteza**; con este método se alcanzaron grados variables de éxito, pero a veces también serias **lesiones neurológicas**.

- **En monos** con una enfermedad de **Parkinson** se realizaron lesiones en el **subtálamo**, con unos resultados sorprendentemente buenos en determinadas ocasiones.

Enfermedad de Huntington (corea de Huntington)

- **Trastorno hereditario** cuyos síntomas suelen comenzar a los **30 o 40 años** de edad.

- Comienza con **Movimientos de sacudida en músculos sueltos** y más tarde por **graves movimientos deformes** y progresivos por todo el cuerpo, desarrollando **demencia**.

- Ocasionados por la **desaparición** de los cuerpos celulares de las **neuronas secretoras de** GABA en el **núcleo caudado y putamen** y de las **neuronas secretoras de acetilcolina** en muchas regiones del encéfalo.
- **Las terminales axónicas** de las **neuronas gabaérgicas** normalmente inhiben ciertas porciones del **globo pálido y la sustancia negra**, ante su pérdida se permite ráfagas espontáneas de actividad originando movimiento deforme.

- **La demencia de la enfermedad de Huntington** obedece a la pérdida de las neuronas secretoras de **acetilcolina**, en especial dentro de las áreas dedicadas al pensamiento en la corteza cerebral.

Se ha descubierto el gen anormal que provoca la enfermedad de Huntington:

- Posee un codón que se repite múltiples veces, **CAG**, y **codifica** la incorporación de numerosos **aminoácidos de glutamina** más a la estructura molecular de una proteína neuronal anormal llamada **HUNTINGTINA** que es la que genera los síntomas.

Integración de las numerosas partes del sistema de control motor total

Nivel medular

- Programación de **patrones locales y reflejos** de movimiento en cualquier región muscular.

- **Patrones complejos** de los movimientos rítmicos, como el desplazamiento de un lado a otro de las extremidades al caminar.

- Pueden recibir la orden de pasar a la acción desde los niveles superiores de control motor, o quedar inhibidos mientras estos niveles superiores asumen el control.

Nivel romboencefálico

Dos funciones principales en el control motor general del cuerpo:

1. **Mantenimiento del tono axial** en el tronco con la pretensión de permanecer de pie.
2. **Modificación constante de los grados de tono** que presentan los distintos músculos como respuesta a la información procedente de los aparatos vestibulares a fin de conservar el **equilibrio corporal**.

Nivel de la corteza motora

- **El sistema de la corteza motora** suministra la mayor parte de las señales motoras de activación a la médula espinal, emitiendo **órdenes secuenciales y paralelas** que ponen en marcha patrones medulares de acción motora.

- Capaz de **modificar la intensidad** de los diferentes patrones o **cambiar su ritmo** u otras características.

- El sistema corticoespinal puede **sortear los patrones medulares**, sustituyéndolos por otros de un nivel superior originados en el tronco del encéfalo o en la corteza cerebral.

- **Los patrones corticales**
  - Son **complejos**
  - Pueden «**aprenderse**»,

- **Los patrones medulares**
  - Determinados **por herencia**
  - Están **«integrados».**

Funciones asociadas del cerebelo.

- **El cerebelo** actúa en unión **a todos los niveles** de control muscular.
- Funciona con la médula espinal especialmente para potenciar el **reflejo miotático.**

- En el **tronco del encéfalo**, se encarga de que los **movimientos posturales del cuerpo**, especialmente los movimientos rápidos requeridos por **el sistema del equilibrio**.

- En la **corteza cerebral**, opera en conjunción para desempeñar funciones motoras auxiliares; en especial, aporta la **fuerza motora complementaria** para poner en marcha con rapidez la contracción muscular al **comienzo del movimiento.**

- **Activa los músculos antagonistas** en el momento correcto y con la **fuerza oportuna** para **detenerlo** en el punto deseado. **El patrón de encendido-apagado** puede aprenderse con la experiencia.

- El cerebelo funciona colaboración con la corteza cerebral para **programar por anticipado las contracciones musculares** para el paso con suavidad desde un movimiento rápido hasta otro movimiento rápido en otra dirección.

- **El circuito nervioso** de esta función va desde la **corteza cerebral** hasta las **zonas laterales grandes de los hemisferios cerebelosos** y después vuelve a la corteza cerebral.

Funciones asociadas de los ganglios basales.
Sus funciones más importantes son:

1. ayudar a la **corteza** en la ejecución de **patrones** de movimiento **subconscientes aprendidos**.
2. contribuir a la **planificación** de patrones de **movimiento paralelos y secuenciales** que la mente a de reunir para ejecutar una tarea intencionada.

- Los patrones motores incluyen escribir las distintas **letras del alfabeto**, **lanzar una pelota y mecanografiar**.

Otro circuito mixto cerebral y de los ganglios basales,
- Comienza con la actividad del **pensamiento en el cerebro**
- Facilita los pasos sucesivos que integran la acción ante cada situación nueva, como la planificación de la **respuesta motora inmediata a un atacante** o la **reacción secuencial frente a un abrazo** inesperadamente cariñoso.

¿Qué nos impulsa a la acción?
El cerebro posee un **núcleo central más antiguo**

Ocupa una posición **inferior, anterior y lateral al tálamo**

Abarca el **SISTEMA LÍMBICO DEL ENCÉFALO**
- **hipotálamo,**
- **la amígdala,**
- **el hipocampo,**
- la **región septal** situada por delante del hipotálamo
- **el tálamo**,
- regiones antiguas del tálamo y la propia corteza cerebral

- **Funciona en bloque** para poner en marcha las actividades motoras y funcionales de cualquier otro tipo en el encéfalo.

Tablas, esquemas y figuras importantes.

- Figura 56 - 1 (Pág.682)
- Figura 56 – 2 (Pág.682)
- Figura 56 – 4 (Pág.683)
- Figura 56 – 5 (Pág.683)
- Figura 56 – 6 (Pág.687)
- Figura 56 – 7 (Pág.687)
- Figura 56 - 11, ojo con el circuito del putamen (Pág.691)
- Figura 56 - 12, saber el circuito del caudado (Pág.691)
- Figura 56 - 14, saber la vías y su función inhibitoria o excitadora. De cada uno de los ganglios basales (Pág.693)

Ponte a prueba.

- ¿Cuáles son las áreas anatómicas funcionales del cerebelo?
- ¿Cuáles son los componetes funcionales del cerebelo?
- ¿Qué función tiene cada uno de los componentes funcionales del cerebelo?
- Describa cada las vías aferentes al cerebelo
- Describa cada las vías eferentes al cerebelo
- ¿Cuáles son los tres núcleos cerebelosos profundos?
- Describa el circuito básico neuronal del cerebelo (figura 56-7)
- Describa las anomalías del cerebelo
- ¿Principalmente cuál es el funcionamiento de los ganglios basales en el control motor?
- ¿Si hay lesiones en el globo palido que patologia tendrá el paciente?
- ¿Si hay lesiones en el subtálamo que patologia tendrá el paciente?
- ¿Si hay lesiones en el putamen que patologia tendrá el paciente?
- ¿Si hay lesiones en el sustancia negra que patologia tendrá el paciente?

Links de interés

https://www.youtube.com/watch?v=qZsijdDYsaU
https://www.youtube.com/watch?v=4h6vBAn4DWA
https://www.youtube.com/watch?v=iGEQYIpFbX4
https://www.youtube.com/watch?v=uZa_Ku5-co0&list=PLDifbQYdK1Ki7h09v_ZjsGrD0bzx-UzrY&index=1

Nota* El último Link es una playlist donde se explica todo el sistema nervioso y su fisiología

Capitulo 57

Corteza Cerebral, funciones intelectuales del cerebro, aprendizaje y memoria

Puntos a recordar

Anatomía fisiológica de la corteza cerebral

- **El elemento funcional de la corteza cerebral** es una fina capa de neuronas que cubre la superficie de todas las circunvoluciones del cerebro.
- La corteza cerebral contiene unos **100.000 millones de neuronas**.

Capas formadas por diversos tipos de neuronas la mayor parte son de tres tipos:

1) **células de los granos** (que también se denominan células estrelladas),
2) **fusiformes**
3) **piramidales**, por su forma piramidal.

- **Las células de los granos**
  - **axones cortos**,
  - funcionan como **interneuronas** que transmiten señales nerviosas a distancia corta en el interior de la propia corteza.
  - Algunas son **excitadoras** y liberan **glutamato**;
  - otras son **inhibidoras** y liberan **ácido g-aminobutírico (GABA)**.

- **Las áreas sensitivas de la corteza** y sus áreas de asociación y las motoras poseen grandes concentraciones de células de los granos, y tienen un alto grado de procesamiento intracortical de estas.

- **Las células piramidales y fusiformes**
  - Casi todas las **fibras de salida** desde la corteza.
  - **Las piramidales** tienen un mayor tamaño y son más abundantes que las **fusiformes**.
  - **Fuente** de las **fibras nerviosas grandes y largas** de la ME.
  - Originan los **haces de fibras de asociación subcorticales** que van desde una parte principal del encéfalo a otra.

- La mayoría de las **señales sensitivas** que **LLEGAN** desde el cuerpo acaban en la **capa cortical IV**.

- la mayoría de las **señales abandonan** la corteza partiendo **las capas V y VI**;

- Las **fibras muy grandes** dirigidas hacia el **tronco del encéfalo** y la ME nacen en la **capa V**,

- Las fibras destinadas al **tálamo** surge de la **capa VI**.

- **Las capas I, II y III** cumplen funciones **asociativas intracorticales**,

- Un alto el número de neuronas en las **capas II y III** realizan **conexiones horizontales** cortas con las **áreas corticales adyacentes**.

Relaciones anatómicas y funcionales de la corteza cerebral con el tálamo y otros centros inferiores.

- **Todas las áreas de la corteza cerebral** poseen amplias conexiones aferentes y eferentes con las estructuras más profundas del encéfalo.

- **Relación entre la corteza cerebral y el tálamo.**
  - **La excitación talámica** de la corteza es necesaria para casi toda la actividad cortical.
  - **Posee conexiones en ambas direcciones**, desde el tálamo hacia la corteza y viceversa.
  - **Cuando se cortan conexiones talámicas**, desaparecen casi por completo las funciones del área cortical correspondiente.

- **El tálamo y la corteza** reciben el nombre de **sistema talamocortical**.

- **Todas las vías** procedentes **de los receptores** y de los **órganos sensitivos**, hacia la corteza, **ATRAVIESAN EL TÁLAMO**, con **excepción** de **vías** sensitivas **del olfato**.

Funciones cumplidas por áreas corticales específicas

Al estimular eléctricamente los pacientes refieren:

- Pensamientos aleatorios
- Movimientos, sonidos o palabras espontáneos

- **Las áreas motoras primarias** poseen **conexiones directas** con músculos específicos para originar movimientos musculares concretos.

- **Las áreas sensitivas primarias** detectan sensaciones concretas (visual, auditiva o somática) **transmitidas directamente** hasta el cerebro desde los órganos sensitivos periféricos.

- **Las áreas secundarias** INTERPRETAN las señales procedentes de las áreas primarias.

Las áreas sensitivas secundarias de los sentidos, situadas a **cms** de distancia de las primarias, analizan las señales sensitivas concretas:

1) la interpretación de la **forma y la textura** de un objeto cogido con la mano;
2) la interpretación del **color, la intensidad lumínica, las direcciones de las líneas y los ángulos** y otros aspectos de la **visión**,
3) la interpretación de los **significados que tienen los tonos sonoros y sus secuencias** en las señales **auditivas**.

Áreas de asociación
- **Áreas de la corteza cerebral** que no encajan dentro de las áreas motoras y sensitivas primarias y secundarias.
- **reciben y analizan** simultáneamente las **señales** de regiones **corticales** (**motoras y sensitivas**), y **subcorticales**.

Presentan sus especializaciones.
1) el área de asociación **parietooccipitotemporal**;
2) el área de asociación **prefrontal**,
3) el área de asociación **límbica**.

Área de asociación parietooccipitotemporal.
- **Situada** en el gran espacio de la **corteza parietal y occipital** cuyo límites:
  - anterior la **corteza somatosensitiva**,
  - posterior a la **corteza visual**
  - lateral a la **corteza auditiva**.

- Proporciona un **alto grado de interpretación** a señales procedentes de todas las **áreas sensitivas** que la rodean.

1. Análisis de las coordenadas espaciales del cuerpo.
- **Comienza** en la **corteza parietal posterior** y hasta la **corteza occipital superior**
- **Permite** el **análisis continuo** de las **coordenadas espaciales** de todas las partes del cuerpo.

- **Recibe** información
  - **Sensitiva visual** desde la **corteza occipital posterior**
  - **Somatosensitiva** simultánea desde la **corteza parietal anterior**.
- **Calcula las coordenadas del medio visual, auditivo y corporal que la rodea**.

2. Área de Wernicke importante para la comprensión del lenguaje.
- **El área principal para la comprensión del lenguaje**,

- Localizada **detrás de la corteza auditiva primaria** en la parte **posterior** de la **circunvolución superior** del **lóbulo temporal**.

3. Área de circunvolución angular para el procesamiento inicial del lenguaje visual (lectura).
- **Área de la circunvolución angular** necesaria para extraer el sentido de las palabras percibidas por la vista.
- **Área visual de asociación** suministra la información visual transportada por las palabras leídas en un libro hasta el área de Wernicke.

- **Detrás** del área de **Wernicke**,
- **Situada** en la **región anterolateral** del **lóbulo occipital**

4. Área para la nominación de los objetos.
- **Situado** en porciones más **laterales** del **lóbulo occipital anterior** y del **lóbulo temporal posterior**

- Área encargada de **nombrar los objetos**.

- **Se aprenden** por medio de captaciones **auditivas** y **se asocian** a través de las **proyecciones visuales**.

- **Los nombres** son fundamentales para la comprensión auditiva y visual del lenguaje {**área de Wernicke superior** a la región **auditiva** «**de los nombres**» y **anterior** al área de procesamiento visual de las palabras).

Área de asociación prefrontal.
- Funciona en asociación con la **corteza motora** para **planificar los patrones complejos y las secuencias** de los actos motores.

- Recibe señales **aferentes** a través de un **haz subcortical** de fibras nerviosas que **conectan** el área de **asociación parietooccipitotemporal** con el área de **asociación prefrontal**.

- **Los impulsos emitidos** hacia el sistema de control motor **atraviesan** el **núcleo caudado** dentro del circuito de retroalimentación para la planificación motora establecido **entre los ganglios basales y el**

tálamo, lo que aporta **ingredientes secuenciales y paralelos** para la estimulación del movimiento.

- **Fundamental** para llevar a cabo en la mente los **procesos «de pensamiento».**

- El proceso de **información motora y no motora** de áreas del cerebro alcanzando un **pensamiento de carácter no motor**, aparte de los de tipo motor.

- El área de asociación prefrontal es un **área** para **elaboración de los pensamientos**,
- **Almacena «memoria operativa» a corto plazo** que se emplea para **combinar** los **nuevos pensamientos** al tiempo que están llegando al cerebro.

El área de Broca proporciona los circuitos nerviosos para la formación de palabras.

- **Situada** en la **corteza prefrontal posterolateral y en parte en el área premotora**.

- Aquí se **ponen** en **marcha** y se **ejecutan** los **planes y patrones motores** para la **expresión** de palabras o frases cortas.
- Funciona **vinculada** al **Núcleo de Wernicke** en la corteza de asociación **temporal**.

- Cuando se aprenden **dos idiomas al mismo tiempo** se depositan en la **misma área** del cerebro
- Cuando se aprende **un idioma después de otro**, se guarda en **áreas distintas**.

Área de asociación límbica.

- **Situada** en:
  - el **polo anterior del lóbulo temporal**,
  - en la **porción ventral del lóbulo frontal**
  - y en la **circunvolución cingular** en la profundidad de la cisura longitudinal por la cara medial de cada hemisferio cerebral.

- Se ocupa sobre todo del **comportamiento, las emociones y la motivación**.
- Proporciona la mayoría de los **impulsos emocionales** para activar otras áreas del encéfalo
- Suministra el **estímulo** encargado de **motivar** el **proceso de aprendizaje**.

Área para el reconocimiento de las caras

- **Prosopagnosia**
  Incapacidad para reconocer las caras, debido a amplia lesión en la parte **INFEROMEDIAL de los lóbulos occipitales** y en las **caras MEDIOVENTRALES de los lóbulos temporales**.
  Produce **pocas alteraciones** más del funcionamiento cerebral.

- La **porción occipital** de esta área para el **reconocimiento facial** está **contigua a la corteza visual**,
- Su **porción temporal** está vinculada con el **sistema límbico**

Función interpretativa global de la parte posterior del lóbulo temporal superior: «área de Wernicke»

- **Las áreas de asociación somática, visual y auditiva** se reúnen entre sí en la parte **posterior del lóbulo temporal** superior, donde convergen los lóbulos **temporal, parietal y occipital**.

- Especialmente **desarrollada** en el **lado dominante** del cerebro
- Ocupa el lugar **más importante** entre todos los elementos de la **corteza cerebral** con vistas a alcanzar los **niveles de comprensión más altos** del funcionamiento cerebral que llamamos **INTELIGENCIA**.

- Otros nombres del área de Wernicke: el **área cognoscitiva**, el **área del conocimiento**, el **área de asociación terciaria**.

- Una lesión grave **impide** darle sentido a las palabras escuchadas y convertirlas en un **pensamiento coherente**.
- Se es capaz de **leer palabras**, pero no de identificar el **pensamiento encerrado en ellas**.
- **La estimulación eléctrica** del área de Wernicke en una **persona consciente** genera un **pensamiento muy complicado** (complejas escenas visuales que podrían recordarse de la infancia, alucinaciones auditivas como una pieza musical específica, o incluso una frase pronunciada por una persona concreta).

Circunvolución angular: interpretación de la información visual.

- Porción más **inferior del lóbulo parietal posterior**
- **Detrás del área de Wernicke**
- **Su parte posterior** se confunde con las áreas visuales del lóbulo occipital.

- **Sin ella** la corriente de experiencias **visuales** que llega al **área de Wernicke** desde la **corteza visual** queda básicamente **bloqueada**.
- **Puede ver palabras** y hasta de saber que lo son, pero **no interpretar sus significados** (dislexia).

Concepto de hemisferio dominante

- **Hemisferio Dominante:** Las funciones interpretativas del **área de Wernicke** y de la **circunvolución angular**, las **áreas del lenguaje** y de **control motor**, suelen estar mucho más desarrolladas en un hemisferio cerebral que en el otro.

- Más o menos en el **95% de las personas**, el hemisferio dominante es el **izquierdo**.
- **Desde el parto**, la superficie cortical del **área de Wernicke llega a ser 50% mayor** en el hemisferio **dominante**. si esta área está dañada o anulada el lado opuesto del cerebro adquirirá el dominio.

- **El ritmo de aprendizaje** en el hemisferio cerebral dominante **aumenta con rapidez**, mientras que en el opuesto, el aprendizaje sigue siendo escaso.

- **El área de Broca** casi siempre es dominante en el lado izquierdo del cerebro.
- Es la responsable de la **formación de las palabras** al activar los músculos **laríngeos, respiratorios** y de la **boca**.
- **9 de cada 10 personas son diestros**, debido a un área de control motora dominante izquierda.

- **las áreas interpretativas del lóbulo temporal y de la circunvolución angular, áreas motoras**
  - Suelen estar muy **desarrolladas sólo en el hemisferio izquierdo**
  - Reciben **información sensitiva** de **ambos hemisferios**
  - Capaces de **controlar** las **actividades motoras en los dos**.

Papel del lenguaje en el funcionamiento del área de Wernicke y en las funciones intelectuales

- **Cualquier componente de experiencia sensitiva** se convierte en su equivalente lingüístico antes de almacenarse en el cerebro y de ser procesado con otros fines intelectuales.

- Cuando leemos un libro **guardamos las propias palabras** o **los pensamientos que expresan** muchas veces **en forma lingüística**.

- **El área de Wernicke** se encuentra asociada a las áreas **auditivas primaria y secundaria** del lóbulo **temporal**. El primer contacto con el lenguaje se produce a través del oído.

- **Las palabras escritas** se canalizan a través de la **circunvolución angular**, hacia el área interpretativa del **lenguaje de Wernicke** ya desarrollada en el lóbulo temporal dominante.

Funciones de la corteza parietooccipitotemporal en el hemisferio no dominante

- **Cuando queda destruida el área de Wernicke en el hemisferio dominante de un adulto**
  - La persona normalmente **pierde casi todas las funciones intelectuales asociadas al lenguaje o al simbolismo verbal** (leer, efectuar operaciones matemáticas, pensar los problemas lógicos).
  - **Se conservan capacidades interpretativas**, algunas recurren al lóbulo temporal y la circunvolución angular del hemisferio opuesto.

- **El hemisferio no dominante** es importante para:
  - **entender e interpretar la música**,
  - las **experiencias visuales de carácter no verbal** (los patrones visuales),
  - **las relaciones espaciales** entre la persona y su medio,
  - la significación del **«lenguaje corporal»** y de la **entonación vocal** de las personas,
  - **experiencias somáticas** relacionadas con el empleo de las **extremidades y de las manos**.

Hemisferio «dominante» funciones intelectuales basadas en el lenguaje
Hemisferio no dominante: otras inteligencias (arte, expresión, espacial).

Funciones intelectuales superiores de las áreas de asociación prefrontales

- Se creía que **la corteza prefrontal** es el lugar donde asienta el «**intelecto superior**» en el ser humano, cumplen unas funciones intelectuales muy difíciles de definir pero no importantes por sí mismas

- **La destrucción del área de Wernicke y de la región adyacente de la circunvolución angular en el hemisferio dominante** produce un daño mucho mayor sobre la inteligencia que la destrucción de las áreas prefrontales.

- **Pacientes con una depresión psicótica grave** podían obtener un alivio considerable si se seccionaban las conexiones neuronales entre las áreas prefrontales y el resto del cerebro **lobotomía prefrontal**.

  1. Dejan de poder resolver **problemas complicados**.

2. **Pérdida** de **capacidad** de llevar a cabo **tareas sucesivas** para alcanzar una **meta compleja**.
3. Les resultaba imposible aprender a realizar varias **labores paralelas**.
4. Su grado de **agresividad disminuía** y sus **ambiciones desaparecían**.
5. Sus **respuestas sociales inadecuadas** para la ocasión, y con frecuencia suponían una **ausencia de moralidad** y un **escaso pudor** en relación con la **actividad sexual y la excreción**.
6. **Hablar y entender el lenguaje**, pero eran **incapaces de enhebrar cualquier serie larga de pensamientos**,
7. S**u temperamento** pasaba **con rapidez** de la dulzura a la cólera, la euforia y la locura.
8. Pueden realizar aún los patrones habituales de funcionamiento motor que habían puesto en práctica durante su vida, pero muchas veces **sin ningún sentido**.

Disminución de la agresividad y respuestas sociales inadecuadas.
Probablemente **derivan** de la **desaparición** de las **partes ventrales en los lóbulos frontales de la cara inferior del cerebro** (parte de la corteza límbica de asociación).

Incapacidad para avanzar en pos de un objetivo o para recorrer una secuencia de pensamientos.
- **Las áreas prefrontales de asociación** poseen **capacidad de recoger información** de amplias regiones cerebrales y emplearlos para patrones de pensamiento más complejos para lograr un objetivo.
- Aunque **conservan la capacidad de pensar**, el contenido que exhiben está **poco coordinado** según una **secuencia lógica** si el plazo supera unos cuantos **segundos o 1 min máximo**.

«Memoria operativa».
- **Otra función** de las **áreas prefrontales** es la **elaboración del pensamiento**.

- **«memoria operativa» del cerebro** capacidad de las áreas prefrontales para seguir el hilo de muchos fragmentos de información a la vez y permitir la evocación cuando sean necesarios, inteligencia superior.

- **las áreas prefrontales** están **divididas** en **segmentos independientes** destinados a **almacenar** tipos de **memoria temporal**, como zona dedicada a la forma y la configuración de un objeto o de una parte del cuerpo, **y otra** encargada de su movimiento.

Al combinarse todos estos fragmentos transitorios que integran la memoria operativa, surgen las capacidades siguientes:
1) **pronosticar**;
2) **planificar el futuro**;
3) **retrasar la acción sucesiva a las señales sensitivas** recibidas de modo que sea posible sopesar su información hasta decidir la respuesta mejor elaborada;
4) **plantearse las consecuencias de las acciones motoras** antes de llevarlas a cabo;
5) **resolver problemas matemáticos, legales o filosóficos complejos**;
6) **correlacionar todas las vías de información** para diagnosticar enfermedades raras,
7) **controlar nuestras actividades** en consonancia con las leyes **morales**.

Recepción y emisión del lenguaje
La comunicación presenta dos facetas:
1) **el aspecto sensitivo (recepción del lenguaje)**, en la que participan los oídos y los ojos,
2) **el aspecto motor (emisión del lenguaje)**, que abarca la vocalización y su control.

Aspectos sensitivos de La comunicación.
- **Afasia receptora auditiva y afasia receptora visual [sordera para las palabras y ceguera para las palabras (DISLEXIA)]**: Destrucción de ciertas porciones en las áreas auditivas o visuales de asociación corticales desemboca en una incapacidad para entender el lenguaje hablado o escrito.

Afasia de Wernicke
- **Entienden** el **lenguaje hablado o escrito** pero **INCAPACES** de **interpretar** el pensamiento que expresa, debido a lesión o destrucción del área de Wernicke del hemisferio dominante.

Afasia global
Si la lesión del área de Wernicke es amplia producirá demencia total para la comprensión del lenguaje o la comunicación, y se extiende:
1) hacia atrás **en dirección a la región de la circunvolución angular**;
2) hacia abajo **en dirección a las zonas inferiores del lóbulo temporal**,
3) hacia arriba **en dirección al borde superior del surco centra**l

Aspectos motores de la comunicación.
El proceso del habla entraña dos etapas principales de pensamiento:
1) **la formación en la mente de las ideas**, y la elección de las palabras que pretendan emplearse,

2) **el control motor de la vocalización** y el acto real de su propia emisión.

El área de Wernicke en la parte posterior de la circunvolución temporal superior posee gran importancia para desarrollar esta capacidad. Una persona con una **afasia de Wernicke** o **afasia global** no podrá formular los pensamientos que haya que comunicar.

La pérdida del área de Broca produce una afasia motora.

- **Afasia motora** La persona es capaz de **decidir lo que quiere expresar** pero **no consigue** que el aparato vocal **emita palabras** en vez de ruidos, deriva de una **lesión en el área del lenguaje de Broca**, del hemisferio dominante.

- **El área de broca controla** los patrones motores especializados en el control de la **laringe, los labios, la boca, el aparato respiratorio y otros músculos auxiliares** del lenguaje.

Articulación.

- Constituido por las **act. musculares de la boca, la lengua, la laringe, las cuerdas vocales**, responsables de la **entonación, el ritmo y las variaciones** rápidas **de intensidad** en los sonidos sucesivos.

- **Las regiones facial y laríngea de la corteza motora** activan estos músculos
- **El cerebelo, los ganglios basales** (mecanismos de retroalimentación) **y la corteza sensitiva** contribuyen a controlar la secuencia y la intensidad de las contracciones musculares

- La destrucción de estas regiones provoca **incapacidad parcial o total para hablar** con claridad.

Resumen.
Dos vías principales encargadas de la comunicación.

Los pasos de **La emisión de palabra escuchada** son los siguientes:

1) **Recepción de las señales sonoras** que codifican las palabras en el **área auditiva primaria**;
2) **Interpretación** de las palabras en el **área de Wernicke**;
3) **Determinación** de los **pensamientos** y las **palabras** que vayan a pronunciarse, también en el **área de Wernicke**;
4) **Transmisión de señales** desde el área de **Wernicke** hasta el área de **Broca** a través del **fascículo arqueado**;
5) **Activación de los programas motores** para regular la formación de las palabras en el **área de Broca**
6) **Transmisión de las señales** pertinentes hacia la **corteza motora** para los **músculos del lenguaje**.

Los pasos de **la emisión de palabra escrita** son similares a los de la palabra escuchada, excepto

- **La zona receptora inicial** para las palabras está en **el área visual primaria**.
- La información recibe **interpretación** en la **región de la circunvolución angular**
- Finalmente **alcanza su nivel pleno** de reconocimiento en el **área de Wernicke**.

Función del cuerpo calloso y de la comisura anterior para transmitir los pensamientos, recuerdos, aprendizaje y entre los dos hemisferios cerebrales

- **Las fibras del cuerpo calloso** proporcionan conexiones nerviosas en ambos sentidos que unen la mayor parte de las áreas corticales de los dos hemisferios cerebrales **excepto porciones anteriores** de los **lóbulos temporales**

- **Las porciones anteriores** de los **lóbulos temporales**, incluida la amígdala, están **interconectadas** por **fibras** que atraviesan la **comisura anterior**.

- la función del **cuerpo calloso y de la comisura anterior** consiste en poner la **información almacenada en** la corteza de **un hemisferio a disposición** de las áreas corticales correspondientes **del hemisferio opuesto**.

El corte del cuerpo calloso

1. **Bloquea la transferencia de información** desde el área de Wernicke del hemisferio dominante hacia la corteza motora en el lado opuesto del cerebro.
2. **Impide el paso de información somática y visual** desde el hemisferio derecho hacia el área de Wernicke en el hemisferio dominante izquierdo.
3. Crea **dos porciones cerebrales conscientes** completamente **independientes**.

- **El cuerpo calloso** es necesario para que los **dos lados cooperen** en su acción a un nivel subconsciente superficial
- **La comisura anterior** desempeña una función para **unificar las respuestas emocionales** de ambos lados del cerebro.

Pensamientos, conciencia y memoria

- **Cada pensamiento** entraña señales simultáneas en porciones de la **corteza cerebral**, el **tálamo**, el **sistema límbico** y la formación reticular del **tronco del encéfalo**.

- la estimulación eléctrica de la **corteza** humana rara vez suscita algo más que un **dolor leve**, mientras que en el caso de ciertas regiones del **hipotálamo, la amígdala y el mesencéfalo** puede provocar un **dolor atroz**.

- **la visión requiere de la corteza cerebral**, la ausencia de la corteza visual genera una absoluta incapacidad para percibir las formas visuales o los colores.
- **TEORÍA HOLÍSTICA DE LOS PENSAMIENTOS**: Un **pensamiento** deriva de un **«patrón»** de estimulación en múltiples componentes del SN al mismo tiempo, la **corteza cerebral**, el **tálamo**, el **sistema límbico** y la **parte superior** de la **formación reticular** en **el tronco del encéfalo**.

Las regiones estimuladas del **sistema límbico, el tálamo y la formación reticular** determinan la naturaleza general del **pensamiento**, otorgándole cualidades como **placer, desagrado, dolor, consuelo**, modalidades groseras de la sensibilidad, **localización** en regiones generales del cuerpo.

Las zonas específicas estimuladas de la corteza cerebral condicionan los rasgos diferenciados del pensamiento, como:

1. la **localización específica** de las **sensaciones en** la superficie del **cuerpo** y de los **objetos** en el campo visual; **la sensación de la textura** de la seda;

LA CONCIENCIA es el **flujo continuo de conocimiento** que tenemos sobre nuestro medio o sobre nuestros pensamientos sucesivos.

Memoria: funciones de la facilitación y la inhibición sinápticas

- **LOS RECUERDOS** se almacenan en el cerebro al **variar la sensibilidad básica de la transmisión sináptica** entre las neuronas como consecuencia de la actividad nerviosa previa.

- **huellas de memoria** vías nuevas o facilitadas donde se almacenó recuerdos (la mayor parte de los recuerdos que asociamos a los mecanismos intelectuales).
- **Los recuerdos a largo plazo** derivan de modificaciones en la conducción sináptica de los **centros cerebrales inferiores**.

Memoria positiva y negativa: «sensibilización» o «habituación» de la transmisión sináptica.

- **la memoria** utiliza un tipo de **recuperación negativa**.
- El cerebro aprende a **ignorar información irrelevante** por la **inhibición de las vías sinápticas** encargadas de su transmisión: llamado **HABITUACIÓN**, y se trata de un **tipo de memoria negativo**.

- **Sensibilización de la memoria:** La información recibida que genera unas **consecuencias importantes** como **dolor o placer**, el cerebro posee una **capacidad automática** diferente **para potenciar y almacenar las huellas de memoria**. .

Clasificación de la memoria.

1. **Memoria a corto plazo**, que abarca los recuerdos que duran segundos o como máximo minutos a no ser que se conviertan en recuerdos a largo plazo;
2. **Memoria a medio plazo**, que dura entre días y semanas, pero a continuación se desvanece,
3. **Memoria a largo plazo**, que, una vez almacenada, puede recuperarse años más tarde o incluso después de toda una vida.
4. **«Memoria operativa»** incluye la memoria a corto plazo empleada en el curso del razonamiento intelectual pero que llega a su fin cuando se resuelve cada etapa del problema.

La memoria suele **clasificarse** en virtud del **tipo de información almacenada** (memoria declarativa y memoria procedimental):

1. **La memoria declarativa:** recuerdo de los **diversos detalles** que forman un **pensamiento** integrado, como la memoria de una **experiencia** importante que abarque:
    1) **el medio** en que aconteció; **sus relaciones** temporales;
    2) **las causas** de su producción; **el significado** que tuvo,
    3) **las deducciones** particulares que dejó en la mente de la persona.

2. **La memoria procedimental:** se asocia con las actividades motoras, las habilidades adquiridas en un proceso.

Memoria a corto plazo

- Representada por el **recuerdo de 7 a 10 hechos** independientes durante unos **pocos segundos o minutos**, sólo dura **mientras la persona siga pensando** en dichas circunstancias, hay 2 teorías:

1. Ocasionada por la **actividad nerviosa continua** derivada de unas señales que dan vueltas en torno a una **huella de memoria transitoria** dentro de un **circuito de neuronas reverberantes**.

2. Estriba en la **facilitación o la inhibición presinápticas**, en sinapsis en **fibrillas nerviosas terminales**.

Memoria a medio plazo

- Pueden **durar minutos o incluso semanas**.
- Desaparecerán a no ser que se activen suficientes **huellas de memoria** para volverse de largo plazo.

- Puede obedecer a cambios **físicos o químicos transitorios o a ambos procesos**, ocurridos tanto en los **terminales presinápticos** de la sinapsis como en su **membrana postsináptica.**

Cambios químicos del terminal presináptico o de la membrana postsináptica

- Capaz de originar recuerdos desde **pocos minutos hasta 3 semanas** en un **caracol** de gran tamaño del **género Aplysia**.
- Dos terminales sinápticos.
  1. **Terminal sensitivo**: Desde una neurona sensitiva y acaba directamente sobre la superficie de la neurona que va a estimularse.
  2. **Terminal facilitador:** Terminación presináptica que se halla sobre la superficie del terminal sensitivo.

- **Habituación:** Cuando el terminal sensitivo se estimula repetidas veces, **sin un terminal facilitador**, la transmisión de señales **reduce su intensidad** a medida que se reitera el proceso hasta que prácticamente cesa su paso, **un tipo de memoria negativa**.

- Si un **estímulo nocivo** excita el **terminal facilitador** mientras se estimula el **terminal sensitivo**, la fluidez de la transmisión se vuelve **progresivamente mayor**, y seguirá siendo alta durante minutos, horas, días o, hasta 3 semanas **incluso sin necesidad** de una **nueva estimulación** del terminal facilitador.

- Después de haberse producido **la habituación**, esta vía **puede volver a convertirse** en una **vía facilitada** sólo con unos cuantos estímulos nocivos.

Mecanismo molecular de la memoria a medio plazo.
Mecanismo de la habituación

- El efecto de la habituación sobre el **terminal sensitivo** obedece al **cierre creciente** de los **canales de Ca++** que atraviesan la membrana del terminal.

Mecanismo de la facilitación.

1. La **estimulación** del terminal presináptico **facilitador** y el terminal **sensitivo** al mismo tiempo provoca la **liberación de serotonina** por la sinapsis facilitadora sobre la superficie del terminal sensitivo.

2. **La serotonina** actúa sobre los receptores de serotonina en la membrana del terminal sensitivo, les activan la **enzima adenilatociclasa** en el interior de la membrana.
   La adenilatociclasa da lugar a la formación de **AMPc** también dentro del terminal presináptico sensitivo.

3. **El AMPc** activa una proteína **cinasa** que **fosforila** una proteína de los **canales de K+** en la membrana del **terminal sináptico sensitivo**; esto **bloquea los canales de K+**.
   El bloqueo **puede durar** desde **minutos** hasta **semanas**.

4. **La falta de conductancia del potasio** suscita un **potencial de acción** muy prolongado en el terminal sináptico.

5. **El potencial de acción prolongado** origina una activación duradera de los **canales de Ca++**, lo que permite la entrada de Ca++ en el terminal sináptico sensitivo.
   El Ca++ incrementa la **liberación** del transmisor en la sinapsis, lo que facilita la comunicación sináptica hasta la neurona siguiente.

Memoria a largo plazo

- La distinción entre memoria a mediano y largo plazo **es sólo de grado**.
- Depende de **cambios estructurales reales** en las sinapsis, y **no** de carácter químico.

Durante la formación de la memoria a largo plazo se producen cambios estructurales en las sinapsis

Los principales cambios estructurales físicos que suceden son los siguientes:

1) **Aumento de los puntos para la liberación de vesículas** de secreción de la sustancia transmisora.
2) **Aumento de la cantidad de vesículas** transmisoras liberadas.
3) **Aumento del número de terminales presinápticos**.
4) **Variaciones en la estructura de las espinas dendríticas** que permiten la transmisión de señales más potentes.

La cantidad de neuronas y sus conexiones muchas veces varían considerablemente durante el aprendizaje

- Durante los **primeros meses** hasta un año de vida, muchas zonas del encéfalo generan un **exceso de neuronas**, y numerosas **ramas axónicas** para entablar conexiones con otras neuronas.

- Si no dan las conexiones, a las células musculares o glandulares convenientes, se disolverán en un plazo de unas pocas semanas.

- **el número de conexiones** neuronales queda **determinado** por **factores de crecimiento nervioso** específicos liberados en **sentido retrógrado** desde las células estimuladas.
- Después del nacimiento, hay un **principio de «usar o tirar» que rige el número final de neuronas** y su conectividad en las porciones respectivas del sistema nervioso humano.

- **el «aprendizaje» por modificación** de la cantidad de neuronas en los circuitos de memoria es usado incluso en adultos.

Consolidación de la memoria
- Para que la memoria a corto plazo se transforme en memoria a largo plazo **debe quedar «consolidada».**
- **si la memoria a corto plazo se activa varias veces**, pondrá en marcha unos cambios anatómicos, físicos y químicos en las sinapsis que son responsables del tipo de memoria a largo plazo.

- Este proceso **tarda de 5 a 10 min** en producir una **consolidación mínima** y **1 h** o más para una **consolidación profunda**.

- Una **conmoción cerebral, la aplicación súbita de una anestesia general profunda** o cualquier otro efecto que produzca un **bloqueo pasajero** en el funcionamiento dinámico del encéfalo, pueden **impedir la consolidación**.

La repetición potencia la transferencia desde la memoria a corto plazo hasta la memoria a largo plazo.
- **La repetición de la misma información** en la mente una y otra vez **acelera y potencia** el grado de transferencia desde la memoria a corto plazo a la memoria a largo plazo, **aviva y favorece la consolidación**.

- El cerebro posee una **tendencia natural a repetir la información recién recibida**, al cabo de un plazo de tiempo, **los rasgos esenciales de las experiencias sensitivas** van quedando cada vez más fijos en los almacenes de la memoria.

- Una persona es capaz de recordar **pequeños fragmentos de información estudiados en profundidad** mucho mejor que grandes cantidades estudiadas de un modo tan sólo superficial.
- Una persona que esté **plenamente despierta** puede consolidar sus recuerdos mucho mejor que otra que se encuentre en un estado de cansancio mental.

Los recuerdos nuevos se codifican durante la consolidación.
- **los recuerdos nuevos** se codifican en **clases diferentes** de información.

- **Se extraen los tipos análogos** desde los depósitos con el fin de guardar los recuerdos y se emplean como ayuda para procesar la información nueva.

- **Se comparan las semejanzas y las diferencias** entre lo nuevo y lo antiguo, acumular la información acerca de estas semejanzas y diferencias, **Los recuerdos nuevos** se conservan en asociación directa con otros recuerdos del mismo tipo.

El hipocampo y el almacenamiento de los recuerdos:
Amnesia anterógrada después de las lesiones hipocámpicas.
- **El hipocampo** es la porción más medial de la corteza en el lóbulo temporal, donde se pliega en un principio siguiendo un sentido medial por debajo del cerebro y después un sentido ascendente hacia la cara interna inferior del ventrículo lateral.

- **Los dos hipocampos** se han extirpado para el tratamiento de la epilepsia.
  Pierden la capacidad para guardar recuerdos de **tipo verbal y simbólico** (**memoria declarativa**) en la memoria a largo plazo y mediano plazo. **Amnesia anterógrada**.

- **El hipocampo** esta entre las vías de salida más importantes procedentes de las áreas de **«recompensa» y «castigo» del sistema límbico**.

- **Los hipocampos y los núcleos dorsomediales del tálamo**, son importantes para tomar la decisión acerca de cuáles de nuestros pensamientos reúnen un interés suficiente como para merecer el recuerdo en virtud de las facetas de la recompensa o el castigo.

Amnesia retrógrada: incapacidad para recuperar los recuerdos del pasado.
- Cuando existe una **amnesia retrógrada**, es fácil que su **grado sea mucho mayor para los acontecimientos recientes** que para los sucesos del pasado remoto.

- **Las lesiones del hipocampo** tienen la capacidad de producir amnesia **anterógrada y retrograda**.
- **La alteración de zonas talámicas** produce amnesia **retrógrada** sin originar una amnesia anterógrada apreciable.

- **El tálamo** puede ayudar a la persona para **«indagar» en los depósitos de la memoria** y, **«leer»** los recuerdos.

- **El proceso de la memoria** no sólo requiere el almacenamiento de los recuerdos sino también una **capacidad para buscarlos y encontrarlos** en un tiempo posterior.

- **El aprendizaje manual o aprendizaje reflejo**; depende de la reiteración física de las tareas requeridas una y otra vez de nuevo, en vez de su repetición simbólica en la mente, como deportes, etc. El hipocampo no es importante para el aprendizaje reflejo.

Tablas, esquemas y figuras importantes

- Figura 57-3 (página 698) Áreas funcionales de la corteza cerebral
- Figura 57-5 (página 699) Áreas funciones especificas en la corteza cerebral.
- Figura 57-7 (página 701) Organización de las áreas de asociación somática, auditiva y visual.
- Figura 57-8 (página 703) Vías cerebrales.
- Figura 57-9 (página 707) Sistema de memoria descubierto en el caracol Aplysia.

Ponte a prueba

- Describes de manera adecuada la estructura de la corteza cerebral, de acuerdo a sus capas celulares.
- ¿Cuál es la localización del area motora primaria y cuales son su funciones?
- ¿En que area se da la formación de las palabras? Delimitela
- ¿Cuál es la principal función del área de Wernicke y cuál es su localización?
- ¿Dónde se lo caliza el area para el reconocimeinto de la cara?
- ¿Qué recorrido tienen las vías cerebrales para percibir una palabra escuchada y a continuación emitirla?
- ¿Qué es la memoria a largo plazo?
- ¿Qué es la memoria a medio plazo?
- ¿Cuáles son los mecanismos moleculares de la memoria a medio plazo, y en que consisten?
- ¿Qué es la memoria a largo plazo?
- ¿Cómo se le llama a la incapacidad para recuperar los recuerdos del pasado?

Links de interés

https://www.youtube.com/watch?v=0bjSiuJE00c
https://www.youtube.com/watch?v=jDXW4dpzPFw
https://www.youtube.com/watch?v=bd1fD5bigfA

Capítulo 58

Mecanismos del comportamiento y la motivación del cerebro: sistema límbico e hipotálamo

Puntos a recordar.

- **El control del comportamiento** es una función del **sistema nervioso.**

Sistema de activación-estimulación del cerebro

- **Las señales nerviosas del tronco del encéfal**o activan la parte cerebral del encéfalo de dos maneras distintas:
  - ✓ **Estimulación directa** de un nivel de actividad neuronal de fondo en amplias areas del cerebro
  - ✓ Activando el **sistema neurohormonales**, que liberan neurotransmisores facilitadores o inhibidores de tipo hormonal en áreas seleccionas del encéfalo.

Control de la actividad cerebral por señales excitadoras continuas procedentes del tallo cerebral

- El **componente estimulador central de este sistema** es un área excitadora situada en la **formación reticular** de la protuberancia y mesencéfalo denominada **área facilitadora bulborreticular**.
- Las señales que atraviesan el tálamo son de dos tipos:

  - ✓ Uno es de potenciales de acción que se transmiten rápidamente y excitan al cerebro durante unos milisegundos. Tienen su origen en unos cuerpos neuronales distribuidos en el área reticular. Sus terminaciones nerviosas liberan el acetilcolina que sirve de excitador y dura unos milisegundos antes de ser destruida.
  - ✓ Señal excitadora de pequeñas neuronas por toda el área excitadora reticular, a través de las fibras pequeñas de conducción lenta que hacen sinapsis en los núcleos intralaminares y en núcleos reticulares que cubren la superficie del tálamo. El efecto excitador puede irse acumulando progresivamente en muchos segundos hasta un minuto o más, lo que sugiere son importantes para controlar el nivel de excitabilidad de fondo a largo plazo en el encéfalo.

Excitación de las áreas excitadoras del tallo cerebral por señales sensoriales periféricas:

- El nivel de actividad del área excitadora del tallo cerebral está determinado por las señales sensoriales que entran en el área excitadora procedente de la periferia. Las señales del dolor aumentan la actividad de esta área.
- Siempre que se active la corteza cerebral por procesos motores o de pensamiento, se devuelven señales inversas a las áreas excitadoras del tallo cerebral, esto ayuda a mantener el nivel de excitación de la corteza cerebral o incluso a aumentarla. Lo que se denomina un mecanismo de retroalimentación positiva
- La estimulación eléctrica de un punto específico del tálamo activará una pequeña región específica de la corteza.

Área reticular inhibidora situada en el tallo cerebral inferior

- Ocupa una posición medial y ventral en el bulbo raquídeo.
- Es la encargada de inhibir el área facilitadora reticular de la parte alta y reducir la actividad de las porciones superiores del cerebro.
- Uno de los mecanismos que utiliza es el de excitar las neuronas serotoninérgica las cuales a su vez secretan la neurohormona inhibidora serotonina en puntos cruciales del encéfalo

Control neurohormonal de la actividad cerebral

- Liberación de agentes hormonales neurotransmisores excitadores o inhibidores a la sustancia del cerebro
- Sistemas neurohormonales del encéfalo humano:
  - ✓ Sistema noradrenérgico (excitador): Excita la actividad cerebral de forma generalizada
  - ✓ Sistema dopaminérgico (excitador/inhibidor): Se halla en la parte anterior del mesencéfalo superior. La dopamina se cree inhibe a los ganglios basales.
  - ✓ Sistema serotoninérgico (inhibidor)

Sistema Límbico

- Todo el circuito neuronal que controla el comportamiento emocional y los impulsos de las motivaciones.
- El sistema límbico posee funciones vegetativas: estados internos del cuerpo, como la temperatura corporal, la osmolalidad de los líquidos corporales y los impulsos para comer y beber y para controlar el peso corporal.

Anatomía funcional del sistema límbico: su relación con el hipotálamo

- El hipotálamo, situado en el centro, es uno de los componentes nucleares del sistema límbico.
- Estructuras subcorticales de este sistema: los núcleos septales, el área paraolfatoria, los núcleos anteriores del tálamo, porciones de los ganglios basales, el hipocampo y la amígdala.
- En torno a las regiones límbicas subcorticales está la corteza límbica, un anillo de corteza cerebral a cada lado del encéfalo.
- Comienza en el área orbitofrontal de la cara ventral de los lóbulos frontales, Asciende hacia la circunvolución subcallosa, Sigue por encima de la parte superior del cuerpo calloso sobre la cara medial del hemisferio cerebral en la circunvolución cingular, Pasa por detrás del cuerpo calloso y desciende sobre la cara ventromedial del lóbulo temporal hacia la circunvolución parahipocámpica y los uncus.
- En las caras medial y ventral de cada hemisferio cerebral hay un anillo sobre todo de paleocorteza que rodea estructuras profundas íntimamente vinculadas con el comportamiento y las emociones.
- Este anillo de corteza límbica funciona como un enlace de comunicación y asociación de doble sentido entre la neocorteza y las estructuras límbicas inferiores.
- Funciones relacionadas con comportamiento, originadas en el hipotálamo y estructuras límbicas también intervienen los núcleos reticulares del tronco del encéfalo y núcleos emparentados con ellos.
- Las señales hipotalámicas encargadas del SNA se transmiten a través de los núcleos sinápticos situados en el tronco del encéfalo.
- El fascículo prosencefálico medial: camino importante de comunicación entre el sistema límbico y el tronco del encéfalo; desciende por el centro del hipotálamo desde las regiones septal y orbitofrontal de la corteza cerebral hasta la formación reticular del tronco del encéfalo.
- Transporta fibras en ambos sentidos, creando una línea principal dentro del sistema de comunicación.

Función de control vegetativo y endocrino del hipotálamo

Regulación cardiovascular.

- La estimulación del hipotálamo puede originar efectos neurógenos sobre el aparato cardiovascular, como el aumento o descenso de P/A, la aceleración o reducción de frecuencia cardíaca.
- La estimulación del hipotálamo lateral y posterior eleva la P/A y la FC
- La activación del área preóptica disminuye P/A y FC.
- Estas acciones se transmiten a través de centros de control cardiovascular específicos situados en las regiones reticulares de la protuberancia y el bulbo raquídeo.

Regulación de la temperatura corporal.

- La porción anterior del hipotálamo, en área preóptica, se ocupa de regular la temperatura corporal.
- Un incremento de esta variable en la sangre circulante a través de dicho área aumenta la actividad de las neuronas sensibles a la temperatura, mientras que su descenso la reduce.

Regulación del agua corporal.
El hipotálamo regula el agua corporal por dos procedimientos:

1) **originando la sensación de sed**, lo que lleva a que el animal o la persona beban agua, y
2) **controlando la excreción de agua** por la orina.

- En el **hipotálamo lateral** está situada una zona denominada **centro de la sed**.

- Cuando los **electrólitos de los líquidos** se concentran en este centro o en zonas emparentadas con él, el animal contrae un intenso deseo de beber agua.

- El control de la **excreción renal de agua** se encuentra asignado sobre todo a los **núcleos supraópticos**.

- **Sus fibras nerviosas** avanzan en sentido **descendente** a través del **infundíbulo** del hipotálamo hacia la **neurohipófisis**, donde sus terminaciones nerviosas segregan la **hormona antidiurética** (**vasopresina**).

- **La vasopresina** se absorbe por la sangre y se transporta hasta los **riñones**, donde actúa sobre los **túbulos** colectores para aumentar la reabsorción de agua.

Regulación de la contractilidad uterina y de la expulsión de leche por la mama.

- La estimulación de **núcleos paraventriculares** hace que sus neuronas segreguen la hormona **oxitocina**.

- **La Oxitocina** aumenta la contractilidad del **útero** al tiempo que contrae las células **mioepiteliales** alrededor de los **alvéolos mamarios**, para que viertan su contenido a través del **pezón**.

- Grandes cantidades de **oxitocina**, favorecen las **contracciones del parto** que expulsan al bebé.

- **Siempre** que el **bebé succione del pecho de su madre**, una señal refleja que viaja desde el **pezón** hasta el **hipotálamo posterior** también provoca la liberación de **oxitocina**, para **contraer** los **conductillos mamarios**, para **expulsar la leche** a través de los pezones de modo que el bebé logre alimentarse.

Regulación digestiva y de la alimentación.

- **Área hipotalámica lateral:** Región vinculada al **hambre**; Ante lesión bilateral pierde impulso de alimentarse.

- **Núcleos ventromediales:** está situado un centro que se opone al deseo de comida, llamado **centro de la saciedad**. Si hay destrucción bilateral del área, nunca se llega a saciar.

- **Cuerpos mamilares del hipotálamo** regulan parcialmente patrones de reflejos de alimentación, como lamerse los labios y deglutir.

Funciones de «recompensa» y de «castigo» del sistema límbico

- Estructuras límbicas están relacionadas con la **naturaleza afectiva de las sensaciones sensitivas**, es decir, si las sensaciones resultan **agradables** (recompensa) **o desagradables** (castigo).

Centros de recompensa

- **Los principales centros de recompensa** están situados a lo largo del trayecto del **fascículo prosencefálico medial**, sobre todo en los **núcleos ventromedial y lateral** (ira) del hipotálamo.

- **Muchos estímulos** más **tenues** facilitan una sensación **recompensadora** y los más **intensos** una sensación de **castigo**.

- **Centros de recompensa secundarios**, están en la **región septal**, **amígdala**, **tálamo** y **ganglios basales**, y descienden por el segmento basal del mesencéfalo.

Centros de castigo

- **La estimulación de regiones** muestra signos de desagrado, miedo, terror, dolor, castigo y enfermedad; **capaces de inhibir** por completo los centros de la recompensa y del placer.
- Regiones potentes **de castigo y tendencias de huida** en la **sustancia gris** central del mesencéfalo que rodea al **acueducto de Silvio** y asciende por las **zonas periventriculares** del hipotálamo y el tálamo.
- **Áreas de castigo secundarias** están en ciertos lugares de la amígdala y el hipocampo.

Tablas, esquemas y figuras importantes.

- Figura 58-1 (pag. 679) Sistema activador excitador del cerebro

- Figura 58-3 (pag. 680) centros en el tallo cerebral, secretan neurotransmisores
- Figura 58-5 (pag. 682) importante! Aprenderse ubicación en el sistema límbico
- Figura 58-6 (pag. 683) Importante! centros de control hipotálamo

Ponte a prueba

- ¿Qué es el área reticular excitadora del tallo cerebral?
- Describa el tálamo, su ubicación y función principal.
- ¿cuáles son los sistemas neurohormonales del encéfalo humano?
- ¿Qué función tiene la dopamina?
- Describa la anatomía del sistema límbico
- Mencione algunas funciones en el control vegetativo del hipotálamo
- ¿cuáles son las funciones de recompensa y castigo del hipotálamo?

Links de interés

Sistema límbico: https://www.youtube.com/watch?v=P7px4xvlxF4
Alteraciones emocionales del hipocampo: http://biologiaemocional.blogspot.com/2008/10/alteracin-emocional-e-hipocampo.html

Capítulo 73

Regulación de la temperatura corporal y fiebre

Puntos a recordar.

Temperatura central y temperatura periférica (cutánea).

- La **temperatura** de los tejidos profundos del organismo, o **temperatura «central»**, permanece muy constante, con un margen **de ±0,6 °C**, salvo en enfermedad febril.
- Una persona desnuda puede exponerse a **temperaturas desde 13 °C a 54 °C** con un **aire seco** y mantener una temperatura central casi constante.
- **La temperatura de la piel**, a diferencia de la central, **aumenta y desciende con la temperatura del entorno.**

Temperatura central normal.

- **La temperatura central normal** varia, entre 36,5 y 37 °C si se mide en la boca y resulta 0**,6 °C** más alta si se mide en el **recto**.
- **La temperatura corporal**
  - Aumenta con el ejercicio
  - Varía con los extremos de temperatura ambiental
- **La temperatura corporal** puede elevarse hasta **38,3-40 °C** en **ejercicio intenso** o desciende por debajo de **35,5 °C** En **frío extremo**.

Producción de calor

- **Tasa metabólica del organismo:**
  1) **Tasa metabólica basa**l de todas las células corporales;
  2) **Tasa extra del metabolismo** por actividad muscular, incluidas contracciones musculares por **tiritona**;
  3) **Metabolismo por el efecto de hormonas** como la **tiroxina** y en menor grado, hormona de **crecimiento y testosterona** sobre las células;
  4) **Metabolismo extra** por el efecto de la **adrenalina**, la **noradrenalina** y la **estimulación simpática** sobre las células;
  5) **Metabolismo adicional** por la **actividad química** de las **células**, sobre todo cuando aumenta la temperatura celular,
  6) **Metabolismo adicional** necesario para la **digestión, absorción y almacenamiento** de los alimentos (efecto termógeno de los alimentos).

Pérdida de calor

- **El calor producido en el org** se genera en los órganos profundos, en particular, **hígado, el cerebro y el corazón**, y **músculos esqueléticos** durante el ejercicio.

- Pasa de los **órganos y tejidos profundos** hacia la **piel**, donde se pierde hacia la **atmósfera** y el **entorno**.

- **La velocidad a la que desaparece** el calor depende casi en exclusiva de dos factores:
  1) **La rapidez** con la que se **transporte el calor** desde el lugar de producción dentro del organismo hacia la piel
  2) **La rapidez** con que la **piel ceda el calor** al entorno.

Sistema aislante del organismo

- **La piel, los tejidos subcutáneos y la grasa** de los tejidos subcutáneos actúan como **aislante térmico** del organismo.
- **La grasa** conduce el calor a un **tercio de la velocidad** de los otros tejidos.
- **Sin flujo de sangre** de los órganos internos calentados hacia la piel, **las propiedades aislantes del cuerpo** representan **tres cuartas partes** de las propiedades aislantes **de la ropa habitual**.
- **El sexo femenino** cuenta con aislamiento mejor.
- **El aislamiento bajo la piel** medio eficiente para conservar la temperatura interna o central, a expensas de que la **temperatura cutánea** se aproxime a la **ambiental**.

El flujo sanguíneo desde el centro del organismo hacia la piel transfiere el calor

- **La velocidad** a la fluye la sangre hacia la **piel por el plexo venoso** varía desde **0% hasta 30%** del **gasto cardíaco** total.
- **Si el flujo cutáneo aumenta**, el calor se conduce del centro del cuerpo hasta la piel.
- Si la **Tasa de perfusión** de la piel es **baja**, la conducción de calor es mínima.
- **La conductancia del calor** se multiplica por ocho entre el **estado de vasoconstricción plena** y el **de vasodilatación** total.
- **La piel es un sistema «radiador de calor»** con control eficaz;
- **El flujo sanguíneo de la piel** se comporta como el **mecanismo más eficiente** que transfiere el calor del centro del organismo hacia la piel.

El sistema nervioso simpático controla la conducción de calor hacia la piel.

- **El grado de vasoconstricción de las arteriolas (SN simpático) y de las anastomosis arteriovenosas** que nutren de sangre el plexo venoso de la piel **regula la conducción de calor hacia la piel** a través de la sangre.

Métodos por los que el calor se desprende de la piel

- Radiación (60%)
- Conducción (15% a atmósfera y 3% a objetos)
- Evaporación (22%).

Radiación.

- Una persona desnuda, a temperatura ambiente normal pierde **60% de todo el calor por radiación**.
- **Radiación:** Emisión de radiaciones infrarrojas, un tipo de onda electromagnética.
- **Si la temperatura del cuerpo es mayor que la ambiental**, el cuerpo emite mayor cantidad de calor de la que recibe.

Conducción.

- Se pierden cantidades minúsculas de calor, 3%, por **conducción directa** desde el **cuerpo** hacia **objetos sólidos** como una silla o una cama.
- **La pérdida de calor por conducción aérea** (15%), incluso en **condiciones normales**.

Convección.

- Pérdida de calor corporal por las corrientes de convección del aire.
- **El 15%** de la pérdida total de calor en una **habitación sin un gran movimiento del aire**, se debe a la **conducción** del mismo y luego a la **convección** con alejamiento del cuerpo.

Efecto refrigerador del viento.

- **Con viento**, la capa de aire en contacto con la piel **se sustituye por otra nueva** más rápido de lo habitual, acelerando la **pérdida de calor por convección**.

Conducción y convección del calor por una persona suspendida en el agua.

- **El agua** puede absorber **mucho más calor** que el aire.
- **La conductividad del calor** dentro del agua es **muy grande** si se compara con la del aire.
- **La tasa de pérdida de calor** hacia el agua sea muy superior a la atmosférica, debido a que la piel no puede crear una **«zona aislante»** como sucede con el aire.

Evaporación.

- Por **cada gramo evaporado** desaparecen **0,58 calorías** (kilocalorías) **de calor**.
- Esta evaporación **no sirve para regular la temperatura**, es una difusión continua de las moléculas de agua a través de los epitelios cutáneo y respiratorio.
- **La pérdida de calor por evaporación del sudor** se puede controlar regulando la **velocidad de sudoración**.

La evaporación es un mecanismo de refrigeración necesario para temperaturas atmosféricas muy altas.

- Mientras la temperatura de la piel exceda la del ambiente, se pierde **calor por radiación y conducción**.
- **Si la temperatura del ambiente es mayor que la de la piel**, el cuerpo lo recibe por radiación y conducción y el cuerpo libera calor por **evaporación**.

Efecto de la indumentaria en la pérdida de calor por conducción.

- **La tasa de pérdida de calor** del organismo por **conducción y convección** disminuye mucho con el uso de ropa.
- **La indumentaria habitual** reduce la tasa de pérdida de calor hasta **la mitad** de la del cuerpo desnudo.
- **La mitad del calor** se irradia de la piel a la ropa en lugar de conducirse.
- **La eficacia de la indumentaria** desaparece cuando se **humedece** la ropa por, la gran conductividad del agua, **la tasa de transmisión** de calor **se multiplica por 20**.

La sudoración y su regulación por el sistema nervioso autónomo

- **La estimulación de la zona preóptica del hipotálamo anterior** provoca sudoración.

- **Los impulsos nerviosos** que inducen sudoración son transmitidos por el **SN autónomo** a la **ME** y luego por la **vía simpática hasta la piel**.
- **Las glándulas sudoríparas** están **inervadas** por **fibras nerviosas colinérgicas** (segregan **acetilcolina**, pero que viajan con los **nervios simpáticos** junto con las **fibras adrenérgicas**).
- También son estimuladas, por la **adrenalina o la noradrenalina** circulantes, aunque **NO** tengan **inervación adrenérgica** (importante en el ejercicio).

Mecanismos de la secreción del sudor.
La glándula sudorípara es una estructura **tubular** compuesta por **dos elementos**:

1) **Porción arrollada subdérmica y profunda** donde se segrega el sudor,
2) **Conducto que asoma a la piel** a través de la dermis y de la epidermis.

- **Las personas no aclimatadas al calor** pierden mucho **NaCl** con el sudor, una vez aclimatados, la pérdida electrolítica se reduce.

Mecanismo de aclimatación del sudor al calor e importancia de la aldosterona.
- **Una persona sana**, no aclimatada, segrega **1L de sudor/hora**, si se expone a un clima por **1 a 6 semanas**, empezará a **sudar más y la velocidad** de **producción** de sudor podrá alcanzar hasta **2-3L/h**.
- **La aclimatación** reduce la concentración de **NaCl** del sudor para conservar cantidades crecientes de sal.
- Consecuencia de una **mayor secreción de aldosterona** por las glándulas de la **corteza suprarrenal**, se inicia por el ligero **descenso** de **NaCl** en los **LEC** y **plasma**.
- **Una persona no aclimatada** pierde de **15 a 30 g de sal/día** en los primeros días.
- Después de **4 a 6 semanas de aclimatación**, la pérdida suele ser de **3 a 5g al día**.

Pérdida de calor con el jadeo
- **El mecanismo del jadeo** sirve como medio sucedáneo para disipar el calor, **se «activa»** en los **centros termorreguladores** del encéfalo.
- **Cuando la sangre se calienta** en exceso, el **hipotálamo** inicia las señales neurógenas para reducir la temperatura corporal.
- **El jadeo real** está controlado por un **centro del jadeo** asociado al **centro respiratorio neumotáxico** de la **protuberancia**.

Regulación de la temperatura corporal: importancia del hipotálamo
- **Las dimensiones precisas** de la curva dependen de:
  - Movimiento del viento
  - Cantidad de humedad del aire
  - La naturaleza del entorno.

- **Un cuerpo desnudo** en una **atmósfera seca** entre **12 y 55 °C** mantiene una temp central normal de 36 a 37,5 °C.

- **La temperatura del cuerpo** está regulada por **mecanismos nerviosos de retroalimentación** que operan, en su mayoría, a través de **centros termorreguladores** situados en el **hipotálamo**.

Importancia de las regiones hipotalámica anterior y preóptica en la detección termostática de la temperatura
- **Núcleos preópticos y anteriores del hipotálamo** son las regiones principales en el control de la temperatura corporal.
- **La zona hipotalámica anterior-preóptica** contiene muchas neuronas sensibles al calor y 1/3 de neuronas sensibles al frío.
- **La velocidad de descarga** de las **neuronas termosensibles** se multiplica de 2 a 10 veces cuando la temperatura corporal aumenta 10 °C.
- **Al calentar región preóptica**, sudoración profusa, dilatación de vasos sanguíneos cutáneos y se inhibe todo exceso de producción calorífica corporal.

Detección de la temperatura por los receptores de la piel y de los tejidos corporales profundos
Los receptores térmicos de la piel y de algunos tejidos profundos del organismo
- Ejercen una **función termorreguladora complementaria**.
- Hay hasta **10X más receptores para el frío** que para el calor.
- La **detección periférica** de la temperatura se ocupa de detectar **temperaturas frías**.
- Se ocupan de evitar la **hipotermia**.
- **Cuando se enfría la piel** de todo el organismo:
  1) **estimulan con intensidad el escalofrío**, que aumenta la tasa de producción de calor del organismo;
  2) **inhiben la sudoración**, si es que esta ya se había manifestado,
  3) **inducen una vasoconstricción** de la piel para reducir la pérdida del calor orgánico.

Los receptores profundos de la temperatura corporal
- Se encuentran en la **ME**, **vísceras abdominales** y en o alrededor de las **grandes venas** de la parte superior del abdomen y del tórax.
- **Están expuestos a la temperatura central** más que a la temperatura superficial.
- Detectan **el frío** más que el calor.
- Se ocupan de evitar la **hipotermia**.

El hipotálamo posterior integra las señales termosensibles centrales y periféricas

- **Muchas señales** que miden temperatura nacen en **receptores periféricos**, su contribución al **control térmico** se establece a través del **hipotálamo**.
- Se estimula la **región hipotalámica posterior**, bilateral, a la altura de los **cuerpos mamilares**.
- Las señales de la región **hipotalámica anterior y preóptica** se transmiten hasta la zona **hipotalámica posterior**.
- **En la zona hipotalámica posterior**: las señales se **combinan e integran** para **regular** las reacciones **productoras y conservadoras del calor** corporal.

El sistema termorregulador se sirve de tres mecanismos para reducir el calor:

1. **Vasodilatación de la piel**. Los vasos sanguíneos de la piel se dilatan con intensidad, debido a la **inhibición de los centros simpáticos del hipotálamo posterior**.
   La vasodilatación plena multiplica la tasa de transferencia del calor a la piel hasta **ocho veces**.
2. **Sudoración**. Un aumento de la tasa de evaporación (pérdida de calor) resultante de la sudoración cuando la temperatura central se eleva por encima del valor crítico de 37 °C.
   Todo incremento adicional de 1 °C de la temperatura corporal causa la **sudoración suficiente** para eliminar **10 veces la tasa basal** de producción corporal de calor.
3. **Disminución de la producción de calor**. La **tiritona y termogenia** química se inhiben.

El sistema termorregulador inicia tres mecanismos para aumentar el calor:

1. **Vasoconstricción de toda la piel**. Los centros simpáticos situados en la porción posterior del hipotálamo estimulan esta reacción.
2. **Piloerección**. Piloerección significa «erección» de la parte terminal del pelo. La estimulación simpática determina una contracción de los músculos erectores del pelo, adheridos a los folículos pilosos; por eso, el pelo se endereza.
3. **Aumento de la termogenia (producción de calor)**. La producción de calor por los sistemas metabólicos se eleva con la tiritona, la estimulación simpática de dicha producción y la secreción de tiroxina.

Estimulación hipotalámica de la tiritona.
Centro motor primario de la tiritona:

- En la porción **dorsomedial** del **hipotálamo posterior** y cerca de la pared del **tercer ventrículo**.
- **Inhibida** por las señales del **centro de calor** de la región hipotalámica **anterior-preóptica**
- **Estimulada** por señales de **frío de la piel y ME**.

Transmisión las **señales de la tiritona**

- T**ractos bilaterales** desde el **tronco encefálico** por los **cordones laterales** de la ME y acaban en las **motoneuronas anteriores**.
- Señales **sin ritmo fijo**, que **aumentan el tono de los músculos** y facilitan la actividad de las motoneuronas anteriores.
- **Cuando la tiritona es máxima**, la producción de calor del cuerpo aumenta de **4 a 5X**.

Excitación «química» simpática de la producción de calor.

- **Termogenia química** o **termogenia sin escalofríos:** Incremento de la **estimulación simpática** o de **noradrenalina y adrenalina** séricos puede inducir un aumento inmediato de la **tasa metabólica celular**.
- **El exceso de nutrientes se oxida** y libera energía en forma de calor, NO facilita síntesis del ATP, proporcional a la grasa parda orgánica.
- **La grasa parda** está inervada por **nervios simpáticos** que liberan **noradrenalina**, que estimula la **expresión tisular** de la proteína desacopladora mitocondrial (**termogenina**) y aumenta la termogenia.
- **En adultos** la termogenia química aumente la producción de calor 10-15%.
- **En lactantes**, disponen de grasa parda en espacio interescapular, **la termogenia química** puede incrementar la tasa de producción de calor en un 100%.

La mayor liberación de tiroxina aumenta la producción de calor a largo plazo.

- **La refrigeración** de la región hipotalámica anterior y preóptica aumenta la producción de la **hormona neurosecretora,** ésta es transportada por las **venas porta del hipotálamo** hacia la **adenohipófisis**, donde estimula la secreción de la **tirotropina**.
- **La tirotropina** estimula una mayor liberación de **tiroxina** por la glándula tiroides.
- **La tiroxina** activa la **proteína desacopladora** y eleva la tasa metabólica celular (mecanismo de termogenia), este proceso tarda semanas para que la tiroides se hipertrofie y alcance el nuevo dintel de secreción de tiroxina.
- **El efecto estimulador del frío** sobre el tiroides explica incidencia mayor de **bocio tóxico** entre las personas que viven en los climas más fríos.

El concepto de «punto de ajuste» para el control de la temperatura

- Por encima de 37.1°C, **la velocidad de pérdida de calor excede la de producción** para volver a 37,1 °C.

- Por debajo de 37.1°C, **la velocidad de producción supera a la de pérdida**, por lo que la temperatura corporal se eleva y **vuelve de nuevo al valor de 37,1 °C**.
- **37.1°C** se denomina **«punto de ajuste» del mecanismo termorregulador**.

Ganancia por retroalimentación para el control de la temperatura corporal.

- **La ganancia por retroalimentación** mide la eficiencia de un sistema de control.
- **La temperatura corporal humana** cambia **1°C** por/c **variación de 25 a 30 °C** de la temperatura ambiente.
- **La temperatura cutánea** puede modificar el punto de ajuste para el control de la temperatura central

- **El punto de ajuste crítico de la temperatura en el hipotálamo**, a partir del cual se inicia la sudoración y por debajo del cual comienza la tiritona, **depende del grado de actividad de los receptores para el calor** de la región hipotalámica anterior y preóptica.
- **Las señales de temperatura** de las **regiones periféricas** [piel y tejidos profundos (ME y vísceras abdominales)], contribuyen a regular la temperatura corporal, **modificando el punto de ajuste** del centro hipotalámico.

- **Cuando la temperatura cutánea es elevada**, la sudoración se inicia con una temperatura **hipotalámica más baja** que cuando la temperatura cutánea era reducida.
- **Si la piel se enfría**, impulsa los **centros hipotalámicos** hasta el **umbral de la tiritona**, aunque la temperatura hipotalámica continúe en el intervalo normal.
- **Una temperatura fría de la piel** reduciría de inmediato la temp corporal, por lo que se incrementa la prod de calor.

Control conductual de la temperatura corporal

- **Cuando la temperatura interna del cuerpo se eleva en exceso**, las señales de las regiones encefálicas que regulan la temperatura otorgan a la persona una **sensación psíquica de sobrecalentamiento**.

- **Cuando el organismo se enfría mucho**, las señales de la piel y otros receptores profundos inducen una sensación molesta de frío.

Reflejos locales de la temperatura cutánea

- Si se coloca durante un breve período el pie **bajo una lámpara caliente**, se produce una **vasodilatación local y una sudoración local** leve.
- Si se introduce el pie en **agua fría**, se produce una **vasoconstricción local** y **cesa la sudoración del pie**.
- Éstos son **efectos locales directos de la temperatura** sobre los vasos sanguíneos y también a reflejos medulares locales desde los receptores de la piel hasta la ME y de regreso.

La regulación de la temperatura corporal interna se altera después de la sección medular.

- **Si se secciona la ME**, encima de las **eferencias simpáticas de la médula**, la temperatura corporal daña, porque el hipotálamo ya **no regula el flujo sanguíneo** de la piel **ni el grado de sudoración** del cuerpo.

Alteraciones de la regulación térmica corporal

Fiebre Aumento de la temperatura corporal más allá del intervalo normal.

Causas de fiebre (o temperaturas corporales inferiores a las normales).
Enfermedades bacterianas, los tumores cerebrales y las condiciones ambientales (golpe de calor).

Reajuste del centro hipotalámico termorregulador en las enfermedades febriles: efecto de los pirógenos

- **Pirógenos:** Proteínas, productos de descomposición de las proteínas y otras sustancias (toxinas lipopolisacáridas de la membrana de la célula bacteriana), pueden **incrementar el punto de ajuste** del termostato hipotalámico.

- **Los pirógenos** liberados por las bacterias o por los tejidos en fase de degeneración del organismo **producen fiebre en estas enfermedades**.

- **Algunos pirógenos** actúan de **manera directa inmediata** sobre el centro hipotalámico regulador, inyectados dentro del hipotálamo, e incrementan el punto de ajuste.

- **Otros** operan de **manera indirecta** y **tardan varias horas en causar efecto**. muchos pirógenos bacterianos, en particular con las **endotoxinas de las bacterias gramnegativas**.

- **leucocitos** de la sangre, **los macrófagos** de los tejidos y **linfocitos granulosos** asesinos los fagocitan, digieren los productos bacterianos y liberan **CITOCINAS**, que son moléculas de señalización de péptidos que intervienen en las **respuestas inmunitarias innatas y adaptativas**.

- **Una citosina** que provoca fiebre es la **interleucina-1 (IL-1)** [pirógeno leucocitario o pirógeno endógeno]. Ésta se libera de **macrófagos** a los **líquidos corporales**, al llegar al hipotálamo, activa los procesos de **fiebre**, aumentando la temperatura después de **8 a l0 min**.

- Una diezmillonésima de **lg de la endotoxina lipopolisacárida de las bacterias**, que actúa con los **leucocitos de la sangre, los macrófagos de los tejidos y los linfocitos asesinos, para ocasionar la fiebre**.

- Se sintetizan **pocos nanogramos** de **Interleucina-1** como respuesta al **lipopolisacárido;** ésta induce fiebre, porque induce **síntesis de prostaglandina E2**, que actúa sobre el hipotálamo causándola.

- **LOS ANTIPIRÉTICOS** como **ácido acetilsalicílico** reduce la fiebre, **bloquea la formación de prostaglandinas** a partir del ácido araquidónico. .

Características de los estados febriles
Escalofríos.

- Si el **punto de ajuste** del centro termorregulador del hipotálamo **se modifica de manera brusca** hasta uno superior (por **destrucción tisular**, de **sustancias pirógenas** o **deshidratación**), la temperatura corporal tarda varias horas en alcanzar el nuevo punto de ajuste.

- Durante este período, la persona sufre **escalofríos** y siente **frialdad extrema**, aunque la temperatura de su cuerpo sea incluso mayor de la normal.

- La **piel** se torna **fría** por la **vasoconstricción** y se **inicia una tiritona**.

La crisis.
«Crisis febril» Similar al **calentamiento exagerado** de la **zona hipotalámica anterior y preóptica**, produce **sudoración** intensa y un calentamiento brusco de la piel por la **vasodilatación**.

Golpe de calor

- **Aire es seco** facilita una rápida evaporación, una persona resiste a una temp de **54°C**.
- **Aire húmedo** o **persona dentro del agua**, temperatura corporal se eleva a temp ambiente arriba de **34°C**.
- **Temperatura corporal** arriba de **40,5 a 42 °C**, produce **golpe de calor**.
- **Golpe de calor**: mareos, molestias abdominales, vómitos, confusión mental e pérdida del conocimiento, aumentados ante **shock circulatorio** por pérdida de líquidos y electrólitos.
- **La hiperpirexia** es dañina para los tejidos corporales, **más encéfalo**, y explica muchos de los efectos.
- **Tratamiento inmediato** del golpe de calor: introducción de la persona en un **baño de agua fría**.

Efectos nocivos de las temperaturas elevadas.

- Cuando una persona fallece por hiperpirexia, el estudio anatomopatológico revela hemorragias locales y degeneración parenquimatosa de las células de todo el cuerpo, pero sobre todo del encéfalo.

Aclimatación al calor.

- **Persona** expuesta el **calor** durante **varias horas al día**, con **trabajo físico** intenso, muestra una tolerancia cada vez mayor al calor y a la humedad al cabo de **1 a 3 semanas**.
- **Cambios fisiológicos** durante la fase de aclimatación:
  - **Duplicación** de la Vmáx de sudoración,
  - **Incremento** del volumen plasmático y **Disminución o casi abolición** de pérdida de sal por sudor y orina [debido a **Hipersecreción de aldosterona** por las glándulas suprarrenales].

Exposición del cuerpo a fríos extremos

- Persona expuesta a **agua helada** durante **20 a 30min**, fallecerá casi siempre por **paro cardíaco** o **fibrilación ventricular**, a temp corporal interna de **25 °C** aprox.

Pérdida de la regulación térmica con las temperaturas bajas.

- **Temp corporal** abajo de **34,5** °C, capacidad de **regulación disminuye** mucho.
- **Temp corporal** abajo de **29,5 °C**, **desaparece regulación del hipotálamo** de la temperatura del cuerpo;
- **Tasa de producción química de calor** por célula, se **reduce a la mitad** por cada **5 °C** menos.
- Se observa **somnolencia** (seguida después por **coma**), que **reduce actividad** de los mecanismos de control del calor del **SNC** y evita la **tiritona**.

Congelación.

- **Los sabañones** afectan sobre todo **lobulillo de la oreja y a los dedos de las manos y de los pies**.
- Se produce un **daño permanente** de la **circulación** y **lesiones tisulares locales,** ocurre una **gangrena** y hay que extirpar las zonas de sabañón.
- **Temp de los tejidos** desciende **cerca de la congelación**, el músculo liso de la pared vascular se paraliza por el frío y ocurre **vasodilatación repentina**, que suele manifestarse por una rubefacción de la piel.
- Este mecanismo contribuye a **evitar el sabañón** porque aporta sangre caliente a la piel, aunque está poco desarrollado.

Hipotermia artificial.

- Un **sedante intenso** para disminuir la reactividad del centro hipotalámico termorregulador y **refrigeración con hielo** o sábanas frías hasta que descienda la temperatura.

- **La temperatura** se puede mantener **por debajo de 32 °C** entre varios días y una semana o más rociando en todo momento **agua fría o alcohol** sobre el cuerpo.

Efectos de hipotermia artificial
- Se emplea en **cardiocirugia**
- N**o causa** ningún daño tisular
- R**etrasa** los latidos del corazón
- **Reduce** el metabolismo celular
- **Las células** pueden sobrevivir desde 30min hasta más de 1h sin ningún flujo de sangre.

Tablas, esquemas y figuras importantes.
- Figura 73-3 (Pág. 867)
- Figura 73-4 (Pág. 869)
- Figura 73-10 (Pág. 875)
- Figura 73-11 (Pág. 876)

Ponte a prueba.
- ¿Dónde se localizan las neuronas que controlan los mecanismos que incrementan o reducen la temperatura corporal?
- ¿Cuándo se produce en el cuerpo un calor excesivo por un ejercicio agotador, la temperatura corporal puede aumentar de forma temporal hasta qué valores?
- ¿Cuál es la principal hormona que incrementa la producción de calor?
- ¿En qué cuatro órganos principales se genera la mayor producción de calor durante el ejercicio?
- ¿Cuáles son las partes del cuerpo humano que actúan como "aislantes térmicos"?
- ¿Cuál es el tejido que generalmente conduce el calor con un tercio de la velocidad de los otros tejidos?
- ¿Cuáles son los porcentajes relacionados con los mecanismos por los cuales pierde calor una persona desnuda en una habitación con temperatura ambiente?
- ¿A través de qué mecanismo se pierde el 60% del calor corporal?
- ¿Qué parte del cuerpo humano funciona como un sistema de "radiador de calor"?
- ¿Cuál es el mecanismo de pérdida de calor del cuerpo humano que se explica por la pérdida en forma de ondas electromagnéticas denominadas rayos infrarrojos?
- ¿Cuál es el mecanismo que explica aproximadamente el 3% de la pérdida de calor del cuerpo humano mediante transferencia directa de calor?

Links de interés
- https://www.youtube.com/watch?v=BNv1iiuaR-s
- https://www.youtube.com/watch?v=ZXBs0WUlfrM
- https://www.youtube.com/watch?v=tzWL6R1C_EY
- https://www.youtube.com/watch?v=2OmVgZrk18k

Capitulo 6
Contracción del musculo esquelético

Puntos a recordar.

Contracción Muscular
- **40%** del cuerpo es **músculo esquelético** y **10% cardíaco y liso**.

- Todas **las fibras** habitualmente **están inervadas sólo por una terminación nerviosa**, que está **localizada** cerca del **punto medio** de la misma.

- **El sarcolema** está **formado por** una **membrana plasmática**, **y** una cubierta externa que contiene numerosas **fibrillas delgadas de colágeno**. En cada uno de los dos extremos de la fibra muscular la capa superficial del **sarcolema se fusiona con una fibra tendinosa**.

- **Las fibras tendinosas** a su vez se agrupan en haces para formar los tendones musculares, que después se insertan en los huesos.
  - Cada **fibra muscular contiene** de cientos a miles de **miofibrillas.**
  - Cada **miofibrilla** está **formada por** aprox. 1,500 filamentos gruesos de **miosina** y 3,000 filamentos delgados de **actina** adyacentes entre

sí, que son grandes moléculas proteicas polimerizadas responsables de la contracción muscular real.

- **Las bandas claras** contienen sólo **filamentos de actina** y se denominan **bandas I** porque son **Isótropas** a la luz polarizada.

- **Las bandas oscuras** contienen **filamentos de miosina**, así como los **extremos de los filamentos de actina** en el punto en el que se superponen con la miosina, y se denominan **bandas A** porque son **Anisótropas** a la luz polarizada.

- Las **pequeñas proyecciones** que se originan **en los lados** de los **filamentos de miosina** se denominan **Puentes Cruzados**.

- La **interacción** entre estos **puentes cruzados** y los **filamentos de actina** produce la **contracción**.

- Los **extremos** de los **filamentos de actina** están unidos al **DISCO Z**. Desde este disco estos filamentos **se extienden** en ambas direcciones **para interdigitarse** con los **filamentos** de **miosina**.

- **El disco Z**, que está formado por proteínas filamentosas, **atraviesa** las **miofibrillas** y pasa desde una miofibrillas a otras, uniéndolas entre sí a los largo de toda la longitud de la fibra muscular.

- Toda la fibra muscular tiene **bandas claras y oscuras**, al igual que las miofibrillas individuales. Estas bandas **dan** al músculo esquelético y cardíaco su **aspecto estriado**.

- **Sarcómero** porción de miofibrilla (o fibra muscular) que está entre dos discos Z sucesivo. Cuando la fibra muscular está contraída, la longitud del sarcómero es de aprox 2µm.

- Los **filamentos de actina** se **superponen** completamente con los **filamentos de miosina** y las puntas de los filamentos de actina están comenzando ya a superponerse entre sí.

- Las moléculas filamentosas (muy elástica) de **TITINA mantienen en su lugar los filamentos de miosina y actina**

- Cada molécula de titina tiene un **peso** mol de aprox. 3 millones.

- **Un extremo** de la titina es elástico y **está unido al disco Z**. **La otra** parte de la titina **la une al** grueso **filamento de miosina**

- Los **espacios entre** las **miofibrillas** están **llenos de sarcoplasma**, con grandes cantidades de **K+**, **Mg++, P** y múltiples enzimas proteicas.

- **Mitocondrias** paralelas a las miofibrillas, proporcionan a las miofibrillas en contracción ATP necesario.

- En el sarcoplasma hay un extenso **retículo sarcoplásmico**. Este retículo endoplásmico **especializado**, importante para **controlar** la **contracción muscular**. Los tipos de fibras musculares de contracción rápida tienen retículos sarcoplásmicos especialmente extensos.

El inicio y la ejecución de la contracción muscular:

1. **Un potencial de acción viaja** a lo largo de una fibra motora **hasta** las **fibras musculares**.
2. **En cada terminal**, **el nervio secreta** una pequeña cantidad de **acetilcolina**.
3. **La acetilcolina** actúa en una zona local de la membrana de la fibra muscular para **abrir** múltiples **canales** de cationes «**activados por acetilcolina**».
4. Los canales activados por acetilcolina **permite** que **Na+ difundan hacia** el **interior** de la fibra muscular. Esto **provoca** una **despolarización**, que conduce a la **apertura de** los **canales** de Na+ **activados por voltaje**. Esto **inicia un potencial de acción** en la membrana.
5. **El potencial de acción viaja** a lo largo de la membrana de la fibra muscular de la misma manera que los potenciales de acción nerviosos.
6. El potencial de acción **despolariza la membrana muscular**, fluye a través del centro de la fibra muscular, **hace que el retículo sarcoplásmico libere** grandes cantidades de **Ca++ almacenadas**.
7. El **Ca++ inician** fuerzas de **atracción entre** los filamentos de **actina y miosina**, haciendo que se deslicen unos sobre otros en sentido longitudinal, lo que **constituye el proceso contráctil**.
8. Después de una fracción de segundo **Ca**++ es **bombeados hacia** el **retículo sarcoplásmico por** una **bomba de Ca++** de la membrana; esta retirada del Ca++ desde las miofibrillas hace que **cese** la **contracción muscular**.

- **En el estado relajado**, los extremos de los filamentos de actina que se extienden entre dos discos Z sucesivos apenas comienzan a superponerse entre sí.

- **En el estado contraído** filamentos de actina han sido traccionados hacia dentro entre los filamentos de miosina, de modo que sus extremos se superponen entre sí en su máxima extensión.

- **La contracción muscular** se produce por un mecanismo de **deslizamiento de los filamentos**.
- **Los filamentos de miosina** compuestos por **200** o más moléculas de miosina.
- La molécula de miosina está **formada por seis cadenas polipeptídicas.**

- **2 cadenas pesadas**, tiene un **peso molecular** de aprox. **200.000** c/u, **se enrollan** entre sí para formar una **doble hélice**. Cada una se pliega bilateralmente para formar una estructura polipeptídica globular **Cabeza de miosina**.

- 4 **cadenas ligeras**, que tienen un **peso molecular** de aprox. **20,000** c/u, ayudan a controlar la función de la cabeza durante la contracción.

- Un **brazo** separa la cabeza del cuerpo. **El brazo y las cabezas** se denominan **puentes cruzados**, flexibles en dos puntos (**bisagras**) uno donde el brazo se une al cuerpo y el otro donde la cabeza se une al brazo**.**

- **La longitud total** de los filamentos de miosina es 1,6 µm.

- **No hay cabezas** de puentes cruzados **en el centro del filamento** de miosina en una distancia de aproximadamente 0,2 µm.

- **El filamento de miosina** está **enrollado** de modo que **cada par** sucesivo de **puentes cruzados** está desplazado en sentido axial **120°**. Garantizando que los **puentes cruzados** se extiendan **en todas las direcciones** alrededor del filamento.

- **La cabeza de miosina** actúa como **ATPasa** para obtener energía de ATP escindiéndolos.

Los filamentos de actina están formados por actina, tropomiosina y troponina.
- **El esqueleto del filamento de actina** es una **molécula** de la proteína **F-actina** bicatenaria en hélice.

- Cada hebra de **F-actina** está **formada** por moléculas de **G-actina polimerizadas**
  .
- A cada molécula de **G-actina** se le une **ADP**, Se piensa que estas moléculas de ADP son los **puntos activos** de los **filamentos de actina** con los que **interactúan** los **puentes cruzados** de los filamentos de miosina **para producir la contracción muscular**.

- Estos **puntos activos** están **escalonados** por lo que se encuentran **cada 2,7 nm**.

- Los **filamentos de actina** tienen una **longitud** de **1 µm**.

- **Las bases** de los filamentos de actina **se anclan** fuertemente **en los discos Z**;

- Los extremos de los filamentos protruyen en ambas direcciones para situarse en los espacios que hay entre las moléculas de miosina,

Tropomiosina.
- Tiene un **peso molecular** de 70.000 y una **longitud** de 40 nm.

- Están enrolladas en espiral alrededor de los lados de la hélice de F-actina.

- En estado de reposo las moléculas de tropomiosina **recubren los puntos activos** de las **hebras de actina, para evitar la contracción**.

Troponina
- Unidas de manera intermitente a lo largo de los lados de las moléculas de tropomiosina.

- Son complejos de **tres subunidades proteicas** unidas entre sí de manera laxa.
  - **Troponina I**: Gran afinidad por la actina.
  - **Troponina T**: Gran afinidad por la tropomiosina
  - **Troponina C**: Gran afinidad por **Ca++** (una molécula se puede unir con hasta 4 Ca++).

- Se piensa que este complejo **une la tropomiosina a la actina**.
- Se piensa que **debido a su afinidad con Ca++ inicia el proceso de la contracción**.

Interacción de 1 filamento de miosina, 2 filamentos de actina y Ca++ para producir la contracción
- **Inhibición del filamento de actina**: por el complejo troponina-tropomiosina;
- **Activación**: Ca++ (en grandes cantidades de iones calcio, se inhibe el propio efecto inhibidor del complejo troponina-tropomiosina).

Teoría de la «cremallera » de la contracción.
Las cabezas de los puentes cruzados de los filamentos de miosina son atraídos hacia los puntos activos del filamento de actina y se produce contracción.

Cuando una cabeza se une a un punto activo, produce cambios en las fuerzas intramoleculares entre la cabeza y el brazo de este puente cruzado.

- **Golpe activo:** La cabeza se desplaza hacia el brazo y arrastra con ella al filamento de actina.

- **La cabeza se separa** automáticamente del punto activo **y recupera su dirección** extendida.
- **Se combina con un nuevo punto activo** que está más abajo a lo largo del filamento de actina para **producir un nuevo golpe activo**.
- Se repite el proceso hasta **recorrer el filamento de actina**, desplazando los extremos de **dos filamentos de actina sucesivos hacia el centro del filamento de miosina**.

- Mientras **más puentes cruzados** estén en contacto con el filamento de actina, **mayor** será la **fuerza de contracción**.

ATP como fuente de energía para la contracción:
- Durante el proceso de contracción se escinden grandes cantidades de ATP para formar ADP;
- **Efecto Fenn:** Mayor trabajo muscular, mayor cantidad de ATP que se escinde.

1. **Antes de la contracción**, **las cabezas de los puentes cruzados se unen al ATP**. La **actividad ATPasa** de la cabeza de miosina **escinde** inmediatamente el **ATP**, aunque deja los productos de la escisión, el ADP y el ion fosfato, unidos a la cabeza. **La cabeza NO está unida al filamento de actina**.

2. El **complejo troponina-tropomiosina se une a Ca++**, quedan al descubierto los puntos activos del filamento de actina, y las cabezas de miosina se unen a ellos.

3. El enlace entre la cabeza del puente cruzado y el punto activo del filamento de actina produce que **la cabeza se desplace hacia el brazo del puente cruzado**. Esto proporciona el **golpe activo para tirar del filamento de actina**. La energía que activa el golpe activo es la energía que ya se ha almacenado, como un muelle «comprimido» por el cambio conformacional que se había producido previamente en la cabeza cuando se escindió la molécula de ATP.

4. Al desplazarse la cabeza se libera el ADP y el ion fosfato que estaban unidos a la cabeza. En el punto de liberación del ADP se une una nueva molécula de ATP. **Esta unión de una nueva molécula de ATP hace que la cabeza se separe de la actina**.

5. Se escinde la nueva molécula de ATP para comenzar el ciclo siguiente.

6. Cuando **la cabeza comprimida** (con su energía almacenada procedente del ATP escindido) **se une a un nuevo punto activo** del filamento de actina, se estira y una vez más proporciona **un nuevo golpe activo**

El ciclo se repite hasta que
- Los filamentos de actina han **desplazado la membrana Z** hasta los extremos de los filamentos de miosina
- **La carga** que se ejerce sobre el músculo **se hace demasiado grande** como para que se produzca una tracción adicional.

En el punto D
- El filamento de actina ha producido una tracción de toda la longitud hasta el final del filamento de miosina, sin superposición entre la actina y la miosina.
- **La tensión que desarrolla el músculo activado es CERO.**

En el punto C
Acortamiento del sarcómero y el filamento de actina comienza a superponerse al filamento de miosina, **la tensión aumenta** progresivamente hasta que la longitud del sarcómero disminuye a aprox. **2,2 µm**.

- El filamento de actina ya se ha superpuesto a todos los puentes cruzados del filamento de miosina, aunque todavía **no ha alcanzado el centro del filamento de miosina**.

En el punto B
- Acortamiento adicional el sarcómero mantiene la **tensión completa**, la **longitud del sarcómero** de aproximadamente **2 µm**.
- En este punto los extremos **de los dos filamentos de actina comienzan a superponerse entre sí además de superponerse a los filamentos de miosina**.

En el punto A
- **La longitud del sarcómero** disminuye hasta aprox. **1,65 µm**.
- Se produce una **rápida disminución de la fuerza de la contracción**.
- Los dos **discos Z** del sarcómero se encuentran **apoyados en los extremos de los filamentos de miosina**.

A medida que se produce la contracción hasta longitudes del sarcómero aún menores, la fuerza de la contracción se aproxima a cero, aunque el sarcómero ya se ha contraído hasta su mínima longitud.

Cuando el **músculo** está **en reposo**, tiene una **longitud del sarcómero** de aprox. **2 µm**.

El aumento de la tensión que se produce durante la contracción, **tensión activa**, se reduce a medida que el músculo es distendido más allá de su longitud normal, es decir, hasta una longitud del sarcómero mayor de aproximadamente 2,2 µm.

Esto se demuestra por la disminución de la longitud de la flecha de la figura a una longitud del músculo mayor de lo normal.

Relación de la velocidad de contracción con la carga
Un músculo esquelético se contrae rápidamente cuando lo hace frente a una carga nula.
La velocidad de la contracción se hace cada vez más lenta a medida que aumenta la carga

Energética de la contracción muscular
Cuando un músculo se contrae contra una carga realiza un trabajo. **Transfiere energía** desde el músculo hasta la carga externa para levantar un objeto hasta una mayor altura o para superar la resistencia al movimiento.

Trabajo = Carga X Distancia

Se necesita energía para:
- Activar el mecanismo de cremallera y que haya contracción muscular.
- Bomba de Ca++
- Bomba de Na+/K+

Fuentes de energía
- **Fosfocreatina**
  - Contiene un enlace fosfato de alta energía similar a los enlaces del ATP.
  - Tiene una cantidad ligeramente mayor de energía libre que la de cada uno de los enlaces del ATP.
  - **La fosfocreatina se escinde inmediatamente y la energía que se libera produce el enlace de un nuevo ion fosfato al ADP para reconstituir el ATP.**
  - La energía combinada del ATP y de la fosfocreatina almacenados en el músculo es capaz de producir una contracción muscular máxima durante sólo 5 a 8s.

Glucólisis
- De glucógeno que se ha almacenado previamente en las células musculares.
- La escisión enzimàtica rápida del **glucógeno a ácido pirúvico y ácido láctico** libera energía que se utiliza para convertir el ADP en ATP.
- **Vía anaerobia** es 2,5 veces más rápida que la formación de ATP aerobio.
- Debido a **acumulación de productos finales** de la glucólisis que pierde su capacidad de mantener una contracción muscular máxima después de aprox. 1 min.

Metabolismo oxidativo.
- **Combinación de oxígeno** con los productos finales de la glucólisis y diversos nutrientes celulares para liberar ATP.
- **Más del 95% de toda la energía** que utilizan los músculos para la contracción sostenida a largo plazo **procede de esta fuente.**
- Los nutrientes que se consumen son **carbohidratos, grasas y proteínas**.
- Para una actividad muscular máxima a muy largo plazo (durante un período de muchas horas) la mayor parte de la energía procede con mucho de las grasas, aunque durante períodos de 2 a 4 h hasta la mitad de la energía puede proceder de los carbohidratos almacenados.

Eficiencia
- Es **menor del 25%,** y el resto se convierte en calor.
- Aprox. **la mitad de la energía** de los nutrientes **se pierde durante la formación del ATP.**
- Sólo el 40-45% de la energía del propio ATP se puede convertir posteriormente en trabajo.

Características de la contracción de todo el músculo
- **Contracción muscular isométrica o estática:** El músculo **no** se acorta durante la contracción, **No hay trabajo**.
- **Contracción muscular isotónica o dinámica** El músculo se acorta, **tensión o tono** del músculo permanece **constante** durante toda contracción y se produce **trabajo**.

Tipos de Fibras Musculares

- **Fibras lentas (tipo I, músculo rojo)**.
  1) **Fibras más pequeñas**,
  2) **Inervadas** por **fibras nerviosas** más **pequeñas**,
  3) **Vascularización y capilares más extensos** para aportar cantidades adicionales de oxígeno,
  4) **Números** muy **elevados de mitocondrias**, también para mantener niveles elevados de metabolismo oxidativo,
  5) Las fibras contienen **grandes cantidades de mioglobina**, una proteína que contiene hierro y que es similar a la hemoglobina de los eritrocitos.

La mioglobina se combina con el oxígeno y lo almacena hasta que sea necesario; esto también acelera mucho el transporte de oxígeno hacia las mitocondrias. La mioglobina da al músculo lento un aspecto rojizo y el nombre de músculo rojo.

- **Fibras rápidas (tipo II, músculo blanco)**.
  1) **Fibras grandes** para obtener una gran fuerza de contracción,
  2) **Retículo sarcoplásmico extenso** para una **liberación rápida de Ca++** para iniciar la contracción,
  3) Grandes cantidades de **enzimas glucolíticas para la liberación rápida de energía** por el proceso glucolítico,
  4) **Vascularización menos extensa** porque el metabolismo oxidativo tiene una importancia secundaria,
  5) **Menos mitocondrias**, también porque el metabolismo oxidativo es secundario. Un déficit de mioglobina roja en el músculo rápido le da el nombre de músculo blanco.

Mecánica de la contracción del músculo esquelético

- **Unidad motora**: todas las fibras musculares inervadas por una única fibra nerviosa.
- **Los músculos pequeños** que reaccionan rápidamente y cuyo **control** debe ser **exacto** tienen más fibras nerviosas para menos fibras musculares.
- **Los músculos grandes** que no precisan un control fino, pueden tener varios centenares de fibras musculares en una unidad motora.
- En promedio de **80 a 100 fibras musculares por unidad motora**.

Contracciones musculares de diferente fuerza

Sumación Es la adición de los espasmos individuales para aumentar la intensidad de la contracción muscular global.

Sumación de fibras múltiples.

- **Principio de tamaño**
  - Una señal débil para contraer un músculo, excita preferiblemente las unidades motoras más pequeñas. A medida que aumenta la intensidad de la señal, también se empiezan a excitar unidades motoras cada vez mayores.
  - **Las unidades motoras más pequeñas** son activadas por fibras nerviosas motoras pequeñas, y que las motoneuronas pequeñas de la médula espinal son más excitables que las grandes, de modo que naturalmente se excitan antes.

Las diferentes **unidades motoras** son **activadas** de manera **sincrónica por la médula espinal**, de modo que la contracción se alterna entre las unidades motoras de manera secuencial, dando lugar a una **contracción suave a frecuencias bajas** de las señales nerviosas

Sumación de frecuencia y tetanización

- A la izquierda **espasmos individuales** que se producen **de manera secuencial a una frecuencia de estimulación baja**.

- Al aumentar la frecuencia, cada nueva contracción se produce antes de que haya finalizado la anterior. Sumándose a la primera, de modo que **la fuerza total de la contracción aumenta progresivamente al aumentar la frecuencia**.

- **Tetanización:** Cuando la frecuencia alcanza un nivel crítico, las contracciones sucesivas se hacen tan rápidas que se fusionan entre sí, y la contracción del músculo entero parece ser completamente suave y continua.

- **Al llegar al punto máximo** cualquier aumento adicional de la frecuencia más allá de ese punto no tiene ningún efecto adicional sobre el aumento de la fuerza contráctil.

Máxima fuerza de contracción.

- **La máxima fuerza de contracción tetánica** de un músculo normal es en promedio de entre **3 y 4 kg por cm^2 de músculo**.
- Como un músculo cuádriceps puede tener hasta 100 cm2 de vientre muscular, se pueden aplicar hasta 360 kg de tensión al tendón rotuliano.

Efecto de la escalera (Treppe).

Cuando un músculo comienza a contraerse **después de un período de reposo prolongado**, su **fuerza de contracción inicial** es **pequeña** y va aumentando progresivamente hasta llegar a una meseta.

Tono del músculo esquelético.

Cuando los músculos están en reposo hay una cierta cantidad de tensión, **tono muscular**, **producido por** los **husos musculares** e impulsos de baja a **motoneuronas**.

Fatiga muscular.

Se debe principalmente a la incapacidad de los procesos contráctiles y metabólicos de las fibras musculares de continuar generando el mismo trabajo.

Sistemas de palanca del cuerpo.

Los músculos actúan aplicando una tensión a sus puntos de inserción en los huesos, y los huesos a su vez forman varios tipos de sistemas de palanca.

1. el punto de la inserción muscular;
2. su distancia desde el Punto de apoyo de la palanca;
3. la longitud del brazo de la palanca,
4. la posición de la palanca.

Prácticamente todos los movimientos del cuerpo están producidos por la contracción simultánea de músculos agonistas y antagonistas de lados opuestos de las articulaciones.
La coactivación de los músculos agonistas y antagonistas está controlada por los centros de control motor del encéfalo y de la médula espinal.

Remodelado del músculo para adaptarse a la función
Todos los músculos del cuerpo alteran su diámetro, su longitud, su fuerza y su vascularización, e incluso se alteran, al menos ligeramente, los tipos de fibras musculares para adaptarse a las funciones que deben realizar. El proceso de remodelado con frecuencia es bastante rápido, y se produce en un plazo de pocas semanas.

Hipertrofia Cuando se produce un aumento de la masa total de un músculo, se debe a un aumento del número de filamentos de actina y miosina en cada fibra muscular.

Atrofia: Cuando disminuye la masa total de un músculo. Debido a la falta de uso del musculo.

- La degradación proteica en un músculo que experimenta atrofia, ruta de **ubicuitina-proteasoma dependiente del ATP**.
  - **Los proteasomas** son grandes complejos proteicos que degradan las proteínas dañadas o innecesarias porproteólisis, rompimiento de enlaces peptídicos.
  - **La ubicuitina** es una proteína reguladora que marca las células que serán diana para una degradación proteasómica.

Ajuste de la longitud muscular.

- Existe **hipertrofia** cuando los músculos son distendidos hasta una longitud mayor de lo normal. Se añaden nuevos sarcómeros en los extremos de las fibras musculares, donde se unen a los tendones.

Hiperplasia de las fibras musculares.

- **Aumento real del número de fibras musculares**, además del proceso de hipertrofia de las fibras. El mecanismo es la **división lineal de fibras** que estaban previamente aumentadas de tamaño.

Efectos de la denervación muscular.

- Cuando un músculo pierde su inervación, ya no recibe las señales contráctiles que son necesarias para mantener el tamaño muscular normal. Por tanto, la atrofia comienza casi inmediatamente.

- En la fase final de la atrofia por denervación, la mayor parte de las fibras musculares son destruidas y sustituidas por tejido fibroso y adiposo (que tiende a seguir acortándose).

- Las fibras que permanecen están formadas por una membrana celular larga con los núcleos de las células musculares alineados, pero con propiedades contráctiles escasas o nulas y con una capacidad escasa o nula de regeneración de las miofibrillas si vuelve a crecer un nervio.

Recuperación de la contracción muscular en la poliomielitis:

- **Aparición de macrounidades motoras** pueden contener hasta cinco veces el número normal de fibras musculares para cada neurona que procede de la médula espinal. Esto reduce la fineza del control que se tiene sobre los músculos, aunque permite que los músculos recuperen grados variables de fuerza.

Rigidez cadavérica

- Varias horas después de la muerte, **todos los músculos del cuerpo entran en un estado de contractura** denominado «rigidez cadavérica»;

- **Esta rigidez se debe a la pérdida de todo el ATP**, que es necesario para producir la separación de los puentes cruzados que se originan en los filamentos de actina durante el proceso de relajación.

- El músculo permanece rígido hasta que las proteínas del músculo se deterioran aproximadamente 15 a 25 h después, lo que probablemente se debe a la autólisis que producen las enzimas que liberan los lisosomas.

Tablas, esquemas y figuras importantes.

- Figura 6-1 (pag. 72) Saber la organización del musculo
- Figura 6-3 (pag. 73) Ojo con la organización del sarcomero
- Figura 6-6 (pag. 74) Saber los pasos para la contracción del musculo
- Figura 6-7 (pag. 75) Saber cómo están los filamentos de actina y tropomiosiana
- Figura 6-8 (pag. 76) El mecanismo de cremallera
- Figura 6-13 (pag. 79) Ojo con la duración de las contracciones

Ponte a prueba

- Que es el sarcomero
- Como está compuesto el sarcomero
- Que son los puentes cruzados
- Que es la titina
- ¿El retículo sacoplasmico cual es su función?
- Describa el mecanismo de contracción
- Cual es la función de la tropomiosina
- cual es la función de la tropomiosina
- En que consiste la teoría de la cremallera

Capítulo 7

Excitación del musculo esquelético: transmisión neuromuscular y acoplamiento excitación-contracción

Puntos a recordar.

Contracción del musculo esqueletico

- **Fibras nerviosas mielinizadas grandes** formadas en las motoneuronas grandes de las astas anteriores de la médula espinal inervan el músculo
- **Unión neuromuscular:** Cada terminación nerviosa forma una unión con la fibra muscular cerca de su punto medio (con excepción del 2%, solo hay una unión por cada fibra muscular).

- La fibra nerviosa forma un **complejo de terminaciones nerviosas ramificadas que se invaginan** en la superficie de la fibra muscular, pero que **permanecen fuera de la membrana plasmática** de la misma.

- **Cubierta por una o más células de Schwann** que la aíslan de los líquidos circundantes

- La membrana invaginada se denomina **gotiera sináptica** o valle sináptico

- **hendiduras subneurales** Numerosos pliegues más pequeños de la membrana de la fibra muscular en el fondo de la gotiera, que aumentan mucho el área superficial en la que puede actuar el transmisor sináptico.

- **Espacio sináptico o hendidura sináptica**: El espacio que hay entre la terminación y la membrana de la fibra. Mide de 20 a 30 nm de anchura.

- En **la terminación axónica** hay muchas **mitocondrias** que proporcionan **ATP**, que se utiliza para la **síntesis acetilcolina**, la cual **se sintetiza en el citoplasma** de la terminación y se absorbe rápidamente hacia el interior de muchas pequeñas vesículas sinápticas en las terminaciones de la placa terminal.

- **la acetilcolinesterasa**, destruye la acetilcolina algunos milisegundos después de que la hayan liberado las vesículas sinápticas, para **evitar activación de canales de acetilcolina**.

Secreción de acetilcolina por las terminaciones nerviosas

- Con el **impulso nervioso** en la unión neuromuscular, se liberan aprox. **125 vesículas de acetilcolina** desde las terminaciones hacia el espacio sináptico.

- Los **canales de Ca++ activados por el voltaje** se abren con el potencial de acción y permiten que **Ca++ difundan al interior** de la terminación nerviosa, creando **atracción** sobre las **vesículas** de acetilcolina, desplazándolas hacia la membrana neural adyacente a las barras densas y vacían su acetilcolina hacia el espacio sináptico mediante **exocitosis** .

Receptores de acetilcolina

- Pequeños canales iónicos activados por acetilcolina, cerca de las aberturas de las hendiduras subneurales, debajo de las barras densas.
- Cada receptor es un complejo proteico que tiene un **peso molecular total de 275.000**.
- El **complejo** está **formado por** cinco subunidades proteicas, **dos proteínas alfa y una proteína beta, una delta y una gamma**.

Canal Activado por acetilcolina

- **El canal permanece cerrado**, hasta que **dos** moléculas de **acetilcolina se unen** respectivamente **a** las **dos subunidades proteicas alfa**.
- Esto produce un cambio conformacional que abre el canal

- Tiene un **diámetro** de aprox. **0,65 nm**.
- **Permite** que iones **[Na+], [K+] y [Ca++]** se **muevan con facilidad** a través de la abertura.
- **Cl-** no lo atraviesan

- **El principal efecto** de la apertura de los canales activados por la acetilcolina es permitir que grandes cantidades de iones **Na+ entren al interior de la fibra** creando ***el potencial de la placa terminal***

- **El potencial de la placa terminal** inicia un potencial de acción y de esta manera **produce la contracción muscular**.

Destrucción de Acetilcolina

1) La mayor parte de acetilcolina es destruida por la enzima acetilcolinesterasa
2) Una pequeña cantidad de acetilcolina difunde hacia el exterior del espacio sináptico y ya no está disponible.

Potencial de la placa terminal y excitación de la fibra muscular esquelética.

- La entrada de **Na+ hace que el potencial eléctrico** en el interior de la fibra en la zona local de la placa terminal **aumente** en **hasta** +**50 a +75 mV**, generando el **potencial de la placa terminal**.

- **Los potenciales de la placa terminal A y C** son demasiado débiles para producir un potencial de acción

- **El potencial de la placa terminal B** es mucho más intenso y hace que se abra un número suficiente de canales de sodio, de modo que el efecto autorregenerativo del flujo cada vez mayor de iones sodio hacia el interior de la fibra inicia un potencial de acción.

Factor de seguridad para la transmisión en la unión neuromuscular Cada impulso que llega a la unión neuromuscular produce un potencial de la placa terminal aproximadamente tres veces mayor que el necesario para estimular la fibra nerviosa.

Fatiga de la unión: La estimulación de la fibra nerviosa a frecuencias mayores de 100 veces por segundo durante varios minutos **disminuye tanto el número de vesículas de acetilcolina** que los impulsos no pueden pasar hacia la fibra nerviosa.

Formación y liberación de acetilcolina

1. Se forman **vesículas** pequeñas, de **40 nm** de tamaño, en el **Aparato de Golgi** del cuerpo celular de la motoneurona de la médula espinal. Estas vesículas son **transportadas por el axoplasma** a través del núcleo del axón desde el cuerpo celular central en la médula espinal **hasta la unión neuromuscular en las terminaciones de las fibras nerviosas periféricas**. Se acumulan aprox. **300.000** de estas pequeñas **vesículas en las terminaciones nerviosas** de una única placa terminal del músculo esquelético.

2. **La acetilcolina** se sintetiza en el citosol de la terminación de la fibra nerviosa, se transporta inmediatamente a través de la membrana de las vesículas hasta su interior, donde se almacena en una forma muy concentrada, aproximadamente 10.000 moléculas de acetilcolina en cada vesícula.

3. Cuando un **potencial de acción** llega a la terminación nerviosa, **abre canales de Ca++ activados por voltaje**. **La concentración de Ca++** en el interior de la membrana terminal **aumenta** aprox. **100 veces**, y **aumenta la velocidad de fusión** de las vesículas de acetilcolina con la membrana terminal aprox. **10.000 veces,** permitiendo la **exocitosis** de la acetilcolina hacia el espacio sináptico. Con cada potencial de acción habitualmente se produce la **lisis de 125 vesículas**. La acetilcolina es **escindida por la acetilcolinesterasa** en ion de acetato y colina, y **la colina se reabsorbe** activamente en la terminación neural para ser reutilizada para formar de nuevo acetilcolina. Esta secuencia de acontecimientos se produce **en un período de 5 a 10 ms**.
4. **El número de vesículas** en la terminación nerviosa es suficiente para **permitir** la **transmisión** de **pocos miles de impulsos** desde el nervio hacia el músculo. En un plazo de algunos segundos, después de que haya terminado cada uno de los potenciales de acción aparecen «**hendiduras revestidas**» en la membrana de la terminación nerviosa, producidas por las proteínas contráctiles de la terminación nerviosa, especialmente la proteína **clatrina**. En un plazo de aprox. 20 s las proteínas se contraen y hacen que las hendiduras se rompan hacia el interior de la membrana, formando de esta manera nuevas vesículas. En un plazo de algunos segundos la acetilcolina es transportada hacia el interior de estas vesículas y ya están dispuestas para un nuevo ciclo de liberación de acetilcolina.

Fármacos

- **Metacolina, carbacoi y nicotina**, tienen el mismo efecto estimulador sobre la fibra muscular que la acetilcolina;
  - La diferencia es que **no son o son destruidos MUY lentamente** por la **colinesterasa**,
  - **Actúan** produciendo zonas localizadas de despolarización.

- **Neostigmina, fisostigmina y fluorofosfato de diisopropilo**, inactivan la acetilcolinesterasa de las sinapsis de modo que ya no pueda hidrolizar la acetilcolina.
  - Produce espasmo muscular incluso cuando llegan al músculo sólo unos pocos impulsos nerviosos.
  - **Neostigmina y fisostigmina** se combinan con la acetilcolinesterasa para **inactivar** la acetilcolinesterasa durante hasta **varias horas**
  - **el fluorofosfato de diisopropilo**, es un potente tóxico gaseoso «nervioso», **inactiva** la acetilcolinesterasa **durante semanas**,

- **Fármacos curariformes** Impide el paso de los impulsos desde la terminación nerviosa hacia el músculo.
  - **La D-tubocurarina**: bloquea la acción de la acetilcolina sobre los receptores de acetilcolina de la fibra muscular

La miastenia grave

- **Enfermedad autoinmunitaria**
- Aparece en aproximadamente **1 de cada 20.000 personas**,
- Produce **parálisis muscular** debido a que **las uniones neuromusculares no pueden transmitir suficientes señales** desde las fibras nerviosas a las fibras musculares.
- Se han detectado **anticuerpos dirigidos frente a los receptores de acetilcolina**.
- Se receta **neostigmina**

Potencial de acción muscular

- **Potencial de membrana en reposo** -80mV a –90mV
- **Duración del potencial de acción**: 1 a 5 ms en el músculo esquelético; 5x mayor que en los nervios mielinizados grandes.
- **Velocidad de conducción**: 3 a 5m/s; 1/13 de la velocidad de conducción de las fibras nerviosas mielinizadas grandes que excitan al músculo esquelético.

Propagación del potencial de acción al interior de la fibra muscular a través de los «túbulos transversos»

- La fibra muscular esquelética es tan grande que **los potenciales de acción** a lo largo **de la membrana de su superficie** casi **no producen** ningún **flujo de corriente** en la **profundidad de la fibra**.

- Para producir una contracción muscular máxima **la corriente debe penetrar en las zonas profundas de la fibra muscular** hasta la vecindad de las miofibrillas individuales.

- **Los potenciales de acción de los túbulos T** producen liberación de Ca++ en el interior de la fibra muscular en la vecindad inmediata de las miofibrillas, y estos Ca++ a su vez producen la contracción. Este proceso global se denomina **acoplamiento excitación-contracción**.

Acoplamiento excitación-contracción

Los túbulos T

Son pequeños y siguen un trayecto transversal a las miofibrillas, comenzando en la membrana celular y penetran desde un lado de la fibra muscular hasta el lado opuesto. **Se ramifican** entre ellos y forman planos **completos de túbulos T** que se entrelazan entre todas las miofibrillas individuales. **Se originan de la membrana celular** por lo tanto están abiertos hacia el exterior de la fibra muscular (**se comunican con el líquido extracelular que rodea la fibra muscular**), y contienen líquido extracelular en su luz.

Los túbulos T son realmente extensiones internas de la membrana celular.

Cuando un potencial de acción se propaga por la membrana de una fibra muscular, también se propaga un cambio de potencial a lo largo de los túbulos T hacia las zonas profundas del interior de la fibra muscular.

Las corrientes eléctricas que rodean a estos túbulos T producen la contracción muscular.

Retículo sarcoplásmico

Está formado por dos partes principales:

1. Grandes **cisternas terminales**, junto a los túbulos T
2. **Túbulos longitudinales largos** que rodean todas las superficies de las miofibrillas que se están contrayendo.

Liberación de iones calcio por el retículo sarcoplásmico

- En el interior de los túbulos vesiculares del Retículo Sarcoplásmico hay un exceso de **Ca++**, muchos de estos iones son **liberados desde cada una de las vesículas cuando se produce un potencial de acción en el túbulo T adyacente**.

- **El potencial de acción del túbulo T** genera un flujo de corriente hacia las cisternas del retículo sarcoplásmico en su punto de contacto con el tùbulo T.

- Cuando el potencial de acción alcanza al tùbulo T, el cambio de voltaje es detectado por **receptores de dihidropiridina** que están ligados a canales de liberación de calcio, también denominados **canales receptores de rianodina**, en las cisternas reticulares sarcoplásmicas adyacentes.

- **La activación de los receptores de dihidropiridina** provoca la apertura de los canales de liberación de calcio en las cisternas, así como en sus túbulos longitudinales anexos.

- Estos canales **permanecen abiertos durante unos milisegundos**, con lo que liberan Ca++ hacia el sarcoplasma que rodea las miofibrillas y producen la contracción.

La contracción muscular continúa mientras los iones calcio permanezcan a una concentración elevada.

La bomba de Calcio,

- Ubicada en las paredes del Retículo Sarcoplásmico,
- Bombea calcio desde las miofibrillas hacia los túbulos sarcoplásmicos
- Puede concentrar Ca++ 10.000 veces en el interior de los túbulos
- **calsecuestrina**, que puede unirse a hasta 40 veces más calcio.

Ca++

- **La concentración normal** en estado de reposo de Ca++ es (**$<10^{-7}$ molar**); NO produce contracción.
- **La excitación completa** aumenta la **concentración de Ca++ hasta 2 x 10^{-4} molar**, un aumento de 500 veces; que es 10x mayor que lo necesario para la contracción muscular
- Luego es **drenado por la Bomba de calcio**.
- El proceso dura aprox. **1/20 de segundo en la fibra esquelética** (puede durar más o menos).
- Dura 1**/3 de segundo en el músculo cardíaco**.

Tablas, esquemas y figuras importantes.

- Figura 7-1 (pag. 84) Ojo con la placa terminal y las partes d la unión neuromuscular
- Figura 7-2 (pag. 84) Poner atención en la ubicación de cada uno de los componentes como los canales de Ca++, receptores de Acetilcolina
- Figura 7-4 (pag. 85) Análisis de la grafica
- Figura 7-5 (pag. 87) Saber las partes de la fibra muscular

Ponte a prueba

- Como se llama la unión de la terminación nerviosa con la fibra muscular
- ¿A qué se le denomina placa motora terminal?
- Que es la goteira sináptica
- ¿Cuál es la función de la acetilcolina?
- ¿Cuál es el principal efecto de los canales de acetilcolina?
- ¿Qué es lo que degrada la acetilcolina?
- Describa la biología molecular de la formación y liberación de acetilcolina
- Mencione los fármacos que potencian la transmisión en la unión neuromuscular
- Mencione cuales son los fármacos que bloquean la transmisión en la unión neuromuscular

Links de interés

https://www.youtube.com/watch?v=nhBrF2zTDvY Excitación del musculo esquelético

Capítulo 49
El ojo: I. Óptica de la visión

Nota: se recomienda que la sección de "Principios físicos de la óptica" se revise para poder entender a profundidad cómo funciona la óptica del ojo, no se mencionará mucho en los puntos a recordar debido a que muy pocos puntos de esta sección se evalúan directamente en el examen.

Puntos a recordar:

- Dado que la dirección con la que viaja la luz siempre es perpendicular al plano formado por el frente de onda, la trayectoria de avance del haz luminoso se inclina hacia abajo. Esta desviación de los rayos luminosos al llegar a una superficie en ángulo se denomina Refracción.
- La lente convexa concentra los rayos de luz.
- Al alejarse hacia cualquiera de los bordes de la lente los rayos tropiezan con una superficie que forma un ángulo paulatinamente mayor. Los más externos se debían cada vez más hacia el centro, lo que se denomina Convergencia de los rayos.
- Una lente cóncava dispersa los rayos de luz.
- Una lente cóncava provoca divergencia de los rayos luminosos, mientras que la convexa propicia su convergencia.
- La distancia a la que convergen los rayos paralelos en un punto focal común detrás de una lente convexa se llama distancia focal de la lente.
- Cuanto más amplia sea la desviación de los rayos luminosos por una lente, mayor es su "poder dióptrico" o poder de refracción. Este poder dióptrico se mide en Dioptrías.
- Las lentes cóncavas "neutralizan" el poder dióptrico de las convexas.

- El sistema ocular de lentes está compuesto por cuatro superficies de refracción:
    - La separación entre el aire y la cara anterior de la córnea;
    - La separación entre la cara posterior de la córnea y el humor acuoso;
    - La separación entre el humor acuoso y la cara anterior del cristalino, y
    - La separación entre la cara posterior del cristalino y el humor vítreo.

- El índice de refracción para el aire es 1; el de la córnea, 1,38; el del humor acuoso, 1,33; el del cristalino (como promedio), 1,4 y el del humor vítreo, 1,34.

- En la "reducción del ojo" se considera que existe una sola superficie de refracción, con su punto central 17mm por delante de la retina y un poder dióptrico total de 59 dioptrías cuando la acomodación del cristalino corresponde a la visión de lejos.

- La cara anterior de la córnea (y no el cristalino) aporta aprox. Dos tercios de las 59 dioptrías del poder dióptrico ocular.

- El poder dióptrico total del cristalino en el interior del ojo, solo es de 20 dioptrías, la tercera parte del poder dióptrico ocular total. La importancia radica en que, su curvatura puede aumentar notablemente para permitir la "acomodación".

- El sistema ocular de lentes puede enfocar una imagen sobre la retina. El cerebro está entrenado para considerar como normal una imagen invertida.

- En niños el poder dióptrico del cristalino puede aumentar a voluntad desde 20 dioptrías hasta unas 34; su acomodación es de 14 dioptrías.

- Unos 70 ligamentos suspensorios se fijan radialmente en torno al cristalino, y tiran de sus extremos hacia el perímetro exterior del globo ocular.

- El músculo ciliar posee dos juegos independientes de fibras musculares lisas: las fibras meridionales y las fibras circulares.

- Cuando las fibras meridionales se contraen relajan la tensión que ejercen sobre el propio cristalino.

- Las fibras circulares cuando se contraen, producen una acción de tipo esfínter.

- La acomodación está controlada por nervios parasimpáticos.

- El músculo ciliar está controlado casi en su integridad por señales nerviosas parasimpáticas transmitidas hacia el ojo desde el núcleo del tercer par en el tronco del encéfalo a través de este nervio.

- La estimulación de los nervios parasimpáticos contrae los dos tipos de fibras que componen el músculo ciliar, lo que relaja los ligamentos del cristalina y propicia un aumento del grosor y del poder dióptrico de dicha estructura.

- A medida que una persona envejece, el cristalino crece y se engruesa perdiendo mucha elasticidad, en parte debido a la desnaturalización progresiva de sus proteínas. El cristalino queda casi totalmente desprovisto de su capacidad de acomodación, situación que se conoce como "presbicia".

- La "profundidad de foco" del sistema del cristalino aumenta cuando disminuye el diámetro pupilar.

- Emetropía: El ojo se considera normal o "emétrope", si los rayos de luz paralelos procedentes de objetos alejados quedan enfocados con nitidez en la retina cuando el músculo ciliar este relajado por completo.

- Hipermetropía: Suele deberse a la presencia de un globo ocular demasiado corto o, a veces, de un sistema de lentes demasiado débil. Para vencer esta anomalía, el músculo ciliar ha de contraerse con el fin de incrementar la potencia del cristalino.

- Miopía: Cuando el músculo ciliar está relajado del todo, los rayos de luz procedentes de objetos alejados quedan enfocados delante de la reina. Esto suele deberse a la existencia de un globo ocular demasiado largo, pero puede obedecer a la acción de un poder dióptrico excesivo en el sistema ocular de lentes.

- Si las superficies oculares de refracción poseen demasiado poder dióptrico, como en el caso de la miopía, este exceso puede neutralizarse colocando delante del ojo una lente cóncava esférica, que provocará la divergencia de los rayos.

- En una persona con hipermetropía, es decir, alguien cuyo sistema de lentes sea demasiado débil, la cisión anormal puede corregirse si se añade poder dióptrico recurriendo a una lente convexa delante del ojo.

- Astigmatismo: es un error de la refracción ocular que hace que la imagen visual se un plano quede enfocada a una distancia diferente de la que corresponde a su plano perpendicular. Lo más frecuente es que obedezca a una curvatura de la córnea demasiado grande en uno de los planos del ojo.

- Para corregir el astigmatismo el procedimiento habitual consiste en encontrar por ensayo y error una lente esférica que sea capaz de corregir el foco de uno de los dos planos de la lente astigmática.

- Un rasgo especial de la lente de contacto es que anula casi por completo la refracción que se produce normalmente en la cara anterior de la córnea.

- Las cataratas son una alteración ocular especialmente frecuente que sucede sobre todo en las personas mayores. Consiste en una o varias zonas turbias u opacas en el interior del cristalino.

- Una persona normalmente puede distinguir dos puntos separados si su centro queda a un mínimo de 2 μm de distancia en la retina.

- La agudeza visual normal del ojo humano que permite distinguir entre las fuentes puntuales de luz es de unos 25 s de arco.

- Una persona con agudeza visual normal que mide dos minúsculos puntos brillantes de luz a 10m de distancia apenas puede distinguirlos como entidades independientes cuando estén separados por 1,5 a 2 mm.

- Una persona normalmente percibe la distancia (percepción de la profundidad) por 3 medios fundamentales:

    - 1) el tamaño que poseen las imágenes de los objetos conocidos sobre la retina,
    - 2) el efecto del movimiento de paralaje, y
    - 3) el fenómeno de la estereopsia.

- Determinación de la distancia de un objeto al ojo: “percepción de la profundidad”

- Determinación de la distancia mediante el movimiento de paralaje

- Determinación de la distancia por estereopsia: Visión binocular.

- El oftalmoscopio es un instrumento por el que un observador puede mirar dentro del ojo de otra persona y ver la retina con claridad.

- El ojo está lleno de líquido intraocular, que mantiene una presión suficiente en el globo ocular para que siga estando dilatado. Este líquido puede dividirse en 2 componentes: el humor acuoso y el humor vítreo.

- El humor acuoso es un líquido que circula con libertad, el humor vítreo, a veces denominado cuerpo vítreo, es una masa gelatinosa.

- El humor acuoso se forma en el ojo a una velocidad media de 2 a 3ml por minuto. Se segrega en su integridad por los procesos ciliares.

- Las superficies de estos procesos están cubiertas por unas células epiteliales de carácter muy secretor, y justo por debajo de ellas queda una zona muy vascular.

- Una vez que se ha formado el humor acuoso en los procesos ciliares, primero fluye a través de la pupila hacia la cámara anterior del ojo, desde aquí, circula por delante del cristalino hacia el ángulo que queda entre la córnea y el iris, después sigue por una trama de trabéculas y finalmente entra en el conducto de Schlemm, que desemboca en las venas extraoculares.

- La presión intraocular normal media es de unos 15mmHg, con un intervalo desde 12 hasta 20mmHg.

- La presión intraocular permanece constante en un ojo sano, habitualmente en torno a 2mmHg de su valor normal, cuya media es de unos 15mmHg. Su nivel queda determinado sobre todo por la resistencia a la salida del humor acuoso desde la cámara anterior hacia el conducto de Schlemm.

- Glaucoma: se trata de una enfermedad ocular en la que asciende la presión intraocular hasta un nivel patológico, subiendo en ocasiones bruscamente hasta 60 o 70 mmHg. Las presiones por encima de 25 a 30 mmHg pueden provocar una pérdida de cisión si se mantienen durante un período prolongado.

- Cuando sube la presión, los axones del nervió quedan comprimidos en su salida del globo ocular a través del disco óptico.

- A veces, el glaucoma puede tratarse poniendo en el ojo un colirio que contenga un fármaco capaz de difundirse hacia el globo ocular y reducir la secreción del humor acuoso o aumentar su absorción.

Tablas, esquemas y figuras importantes.

- Figura 49-8 (pag. 600) Para comprender el concepto de Dioptrías.
- Figura 49-9 (pag. 600) Aprenderse el poder dióptrico total y los índices de refracción de cada superficie ocular.
- Figura 49-10 (pag 601) Localice las fibras del músculo ciliar.
- Figura 49-12 (pag 602) Ejemplos visuales de los conceptos comprendidos.
- Figura 49-13 (pag 603) Observe lo que hace la corrección con lentes.
- Figura 49-19 (pag 606) Ejemplo del sistema humoral del ojo y la circulación del líquido intraocular.

Ponte a prueba

- ¿Qué hace una lente convexa?
- ¿Qué hace una lente cóncava?
- ¿Qué es el poder dióptrico?
- ¿Cuáles son las cuatro superficies de refracción que componen el sistema ocular de lentes?
- ¿Cuál es el valor del Poder Dióptrico Total?
- ¿Cuáles son los 2 juegos independientes de fibras musculares del músculo ciliar?
- ¿Qué efecto produce la contracción de las fibras meridionales?
- ¿Qué efecto produce la contracción de las fibras circulares?
- ¿Quién está a cargo de controlar la acomodación?
- ¿Qué es la presbicia?
- ¿Cuáles son los errores de refracción y a que se debe cada uno?
- ¿Qué son las cataratas?
- ¿Cuáles son los componentes del sistema humoral del ojo?
- ¿Cuál es el valor de la presión intraocular normal?
- ¿Qué es el glaucoma?

Links de interés

- https://www.youtube.com/watch?v=EglZ-7LSAx0
- https://www.youtube.com/watch?v=nK6YzQit_Gw

Capítulo 50
El ojo: II. Función receptora y nerviosa de la retina

Puntos a recordar:

- La retina es la porción del ojo sensible a la luz que contiene: 1) Los **conos**, responsables de la **visión de los colores.** Y 2) Los **bastones,** que pueden detectar luz tenue y están encargados básicamente de la **visión en blanco – negro y de la visión en la oscuridad.**

ANATOMIA Y FUNCION DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE LA RETINA.

- La **fóvea** es una zona diminuta en el centro de la retina, se encuentra especialmente capacitada para la **visión aguda y detallada.**

- La **fóvea central** está compuesta por conos casi en su integridad, que contribuye a la **detección de detalles en la imagen visual.**

- Los principales segmentos funcionales de un cono o de un bastón: 1) El segmento externo 2) el segmento interno 3) El núcleo y 4) el cuerpo sináptico. **La sustancia foto sensible se sitúa en el segmento externo.** En el caso de los bastones, es la rodopsina, en los conos, es una de las 3 sustancias fotosensibles al color, que suelen denominarse simplemente pigmentos del color, y funcionan casi exactamente igual que la rodopsina excepto por sus diferencias de sensibilidad del espectro.

- Tanto la rodopsina como los pigmentos de color son proteínas conjugadas y se incorporan a las membranas de los discos bajo la forma de proteínas transmembrana.

- El pigmento negro **melanina** de la capa pigmentaria impide la reflexión lumínica por toda la esfera del globo ocular, importante para una visión nítida.

FOTOQUIMICA DE LA VISION

- La sustancia sensible a la luz en los bastones se llama rodopsina o purpura visual, y en los conos pigmentos de los conos o pigmentos del color.
- La rodopsina es una combinación de la proteína escotopsina y el pigmento carotenoide retinal, el retinal es de un tipo especial denominado 11 – cis – retinal. Esta forma cis resulta importante

porque solo ella puede unirse a la escotopsina para sintetizar rodopsina.

- Es la **metarodopsina II**, también llamada **rodopsina activada**, la que estimula los cambios eléctricos en los bastones, y tras ello estos receptores ya transmiten la imagen visual hacia el sistema nervioso central bajo la forma de un **potencial de acción** en el nervio óptico.

- La vitamina A esta presente en el citoplasma de los bastones y en la capa pigmentaria de la retina. Por lo tanto, normalmente siempre se encuentra disponible para producir nuevo retinal cuando haga falta, o si hay mucho retinal vuelve a transformarse en vitamina A, reduciendo así la cantidad de pigmento sensible a la luz que existe en ella.

- La ceguera nocturna o hesperanopia aparece en una persona con una hipovitaminosis A grave.

Excitación del bastón cuando la luz activa la rodopsina.

- La excitación de un bastón provoca un aumento de la negatividad en el potencial de membrana en su interior, lo que supone un estado de hiperpolarizacion, que significa mayor negatividad de la normal dentro de su membrana.

- Cuando se descompone la rodopsina, disminuye la conductancia de la membrana del baston para los iones sodio en su segmento externo, lo que provoca la hiperpolarizacion de toda la membrana del bastón.

- Los conos son de 30 a 300 veces menos sensibles que los bastones.

Fotoquímica de la visión de los colores por los conos

- Los pigmentos sensibles al color de los conos consisten en combinaciones de retinal y fotopsinas.

Regulación automática de la sensibilización retiniana: adaptación a la luz y a la oscuridad.

- Los conceptos de adaptación de luz y oscuridad varían de acuerdo a cuanto retinal se transforme en vitamina A o viceversa.

- Los cambios de diámetro pupilar dan lugar a una adaptación 30 veces en una fracción de segundo, por la cantidad de luz que se deja pasar a través de la abertura pupilar.

- Otro mecanismo es la adaptación nerviosa, es decir cuando la intensidad de la luz empieza a aumentar, las señales transmitidas por las células bipolares, horizontales, amacrinas y ganglionares son potentes.

- La adaptación nerviosa sucede en una fracción de segundo, a diferencia de los muchos minutos u horas necesarios para alcanzar una adaptación plena mediante las sustancias fotosensibles.

VISION EN COLOR

- El ojo humano es capaz de detectar casi todas las gradaciones de color cuando solo las luces roja, verde y azul monocromáticas de mezclan adecuadamente en diversas combinaciones.

- El blanco, es una combinación de todas las longitudes del espectro.

Daltonismo

- Una persona que carezca de los conos rojos tiene una protanopia. (Ausencia de conos rojos)

- Un daltónico sin conos verdes sufre deuteranopia.

- El daltonismo rojo - verde está asociado al cromosoma X.

- El daltonismo casi nunca ocurre en mujeres porque uno de los cromosomas X casi siempre posee como mínimo un gen normal para cada tipo de cono, pero un varón solo tiene un cromosoma X, lo que desemboca en un daltonimo.

- La debilidad para el azul es un estado genéticamente heriditario en la que faltan los conos azules.

FUNCION NERVIOSA DE LA RETINA

Los diversos tipos de neuronas son los siguientes:

1. Los propios fotorreceptores, los conos y los bastones, que transmiten las señales hacia la capa plexiforme externa, donde hacen sinapsis en las células bipolares horizontales.

2. Las células horizontales, que tranmiten las señales en sentido horizontal por la capa plexiforme externa desde los conos y los bastones hasta las células bipolares.

3. Las células bipolares, transmiten señales en sentido vertical desde los conos, los bastones y las células horizontales hacia la capa plexiforme interna, donde hacen sinapsis con las células ganglionares y amacrinas.

4. Las células amacrinas, transmiten señales en dos direcciones, directamente desde las células bipolares hasta las células ganglionares, y horizontalmente en el seno de la capa plexiforme interna desde los axones de las células bipolares hasta las dendritas de las células ganglionares o hasta otras células amacrinas.

5. Las señales ganglionares, transmiten señales de salida desde la retina hacia el cerebro a través del nervio óptico.

- Un sexto tipo neuronal en la retina, no muy abundante es la célula interplexiforme, transmite señales en sentido retrogrado desde la capa plexiforme interna hacia la capa plexiforme externa, su carácter es inhibido y se cree controla la dispersión lateral de los impulsos visuales por las células horizontales en esta ultima capa.

La vía visual desde los conos hacia las células ganglionares funciona de forma diferente a la visTa de los bastones.

- Las neuronas y las fibras nerviosas encargadas de conducir las señales visuales correspondientes a la visión de los conos son considerablemente mayores que las encargadas de la visión de los bastones y los impulsos se envían al cerebro con una velocidad de dos a cinco veces superior.

Neurotransmisores liberados por las neuronas de las retina.

- Los conos y los bastones liberan glutamato en sus sinapsis con las células bipolares.
- Las células amacrinas segregan como minimo ocho tipos de sustancias trasmisoras, como acido G- aminobutirico, glicina , dopamina, acetilcolina e indolamina, cuya acción normalmente posee en general un carácter inhibidor.

La transmisión de la mayoría de los impulsos en las neuronas de la retina se producen por conducción electrónica, no por potenciales de acción.

- Las únicas neuronas de la retina que siempre transmiten señales visuales pro medio de potenciales de acción son las células ganglionares, que las envían hasta el cerebro a través del nervio óptico.

- La conducción electrónica significa el flujo directo de una corriente electrónica, y no de unos potenciales de acción, a lo largo del citoplasma neuronal y a los axones nerviosos desde el punto de excitación hasta las sinapsis de salida.

- La importancia de la trasmisión electrónica radica en que permite una conducción escalonada de la potencia de la señal, por lo que la salida hiperpolarizante está directamente relacionada con la intensidad de la iluminación, no queda reducida a todo o nada, como sucedería con cada potencial de acción aislado.

Inhibición lateral para potenciar el contraste visual: función de las células horizontales.

- Las células horizontales establecen conexiones laterales con los cuerpos sinápticos de los conos y los bastones, su salida siempre es inhibidora.

- Algunas de las células amacrinas probablemente aporten una inhibición lateral complementaria y un mayor realce del contraste visual en la capa plexiforme interna de la retina.

- Dos son los tipos de células bipolares que suministran señales excitadoras e inhibidoras opuestas en la vía visual: 1) La célula bipolar despolarizarte y 2) La célula bipolar hiperpolarizante.
- Muchas de las células amacrinas o su mayoría son interneuronas que sirven para analizar las señales visuales antes de que lleguen a abandonar la retina.

TIPOS DE CELULAS GANGLIONARES DE LA RETINA Y SUS CAMPOS RESPECTIVOS.

Existen 3 tipos distintos de células ganglionares, que se designa como W,X e Y.

- **Transmisión de la visión de los bastones por parte de células W:** constituyen 40% de las células ganglionares, reciben la mayor componente de su excitación trasmitida a través de pequeñas células bipolares y amacrinas. Parecen especialmente sensibles para detectar el movimiento direccional en el campo visual y probablemente en la visión grosera en condiciones de oscuridad.

- **Transmisión de la imagen visual y el color por parte de las células X:** Son las más abundantes de las células ganglionares, representan el 55%, básicamente son estas las células encargadas de trasmitir los detalles finos de la imagen visual, su actividad probablemente es responsable de la visión de todos los colores.

- **Función de las células Y en las transmisión de los cambios instantáneos en las imagen visual:** Las células Y son las más grandes de todas, representar el componente menos numerosos del conjunto de las células ganglionares, 5% de todas. Responden a las modificaciones rápidas de la imagen visual, tanto a los movimientos como a los cambios veloces de intensidad lumínica.

Excitación de las células ganglionares

- Las células ganglionares son el punto de origen de las fibras largas que llegan al cerebro formando el nervio óptico. Incluso cuando no están estimuladas, todavía envían impulsos continuos a una fracción que oscila entre 5 y 40 por segundo.

- La excitación de muchas células ganglionares depende específicamente de los cambios en la intensidad de la luz.

- Esta capacidad ocular para detectar cambios de la intensidad lumínica, se encuentra muy desarrollada tanto en la retina periférica como en la central.
- Los impulsos transmitidos directamente desde los fotorreceptroes a través de las células bipolares despolarizantes tienen un carácter excitador, mientras que los que siguen una trasmisión lateral a través de las células bipolares hiperpolarizantes y también de las células horizontales sobre todo son inhibidores.

Tablas, esquemas y figuras importantes.

- Figura 50-5 (pag. 611) Memorizar el ciclo visual de la rodopsina – retinal.
- Figura 50-6 (pag 612) Estudiar el mecanismo del Sodio en un fotorreceptor.
- Figura 50-10 (pag 615) Ver las longitudes de onda.
- Figura 50-12 (pag 617) Ver la organización nerviosa de la retina.

Ponte a prueba

- Puedo describir correctamente y de memoria el ciclo visual de la rodopsina – retinal
- Puedo describir el mecanismo de potenciales de acción llevado a cabo por el sodio en los fotorreceptores.
- Sé cuál es la función de los diversos tipos de células en la retina.
- Puedo describir los 3 tipos de células ganglionares de la retina y sus campos respectivos.

Capítulo 51
El ojo: II Neurofisiología central de la visión

Las vías visuales:

- Cuando un impulso nervioso abandona la retina pasa hacia atrás por los nervios ópticos.
- En el quiasma óptico las fibras de la mitad nasal de cada retina se cruzan al lado opuesto, donde se unen a las fibras procedentes de la retina temporal del lado opuesto para formar la **cintilla óptica**.

- Las vías visuales se pueden dividir: *sistema antiguo* hacia el cerebro medio y la base del prosencéfalo y un *sistema nuevo* para la transmisión directa a la corteza visual

Función del cuerpo geniculado externo:

- Las fibras del nervio óptico del nuevo sistema visual terminan en el cuerpo geniculado externo o núcleo geniculado lateral dorsal. Ubicado en el extremo dorsal del tálamo

- Estación de relevo: la información visual sale de la cintilla óptica hacia la corteza visual usando el haz geniculocalcarino.

- Cuerpo geniculado externo: Está formado por seis capas nucleares.
  - ✓ Las capas II, III, V (ventral a dorsal) reciben señales de la porción temporal a la retina ipsilateral
  - ✓ Las capas I, IV Y V reciben señales de la retina nasal del ojo del lado opuesto.

- Recibe señales de dos fuentes principales: 1) las fibras corticofugales que regresan en dirección retrógrada desde la corteza visual primaria hasta el núcleo geniculado lateral 2) áreas reticulares del mesencéfalo. Nota: estas dos fuentes son inhibidoras, cuando se estimulan pueden desconectar la transmisión
- Capa magnocelular: Capa I y II, contienen neuronas grandes y sus señales proceden de células ganglionares retinianas del tipo Y que transmiten información en blanco y negro.

- Capa parvocelular: capa III a VI, contienenneuronas de pequeño o mediano tamaño. Proveniente de células ganglionares retinianas de tipo X que transmiten el color, información espacial muy precisa a una velocidad media.

Organización y función de la corteza visual:

- Localización: Lóbulos occipitales
- Se divide en:
  - ✓ **Corteza visual primaria (área visual I o corteza estriada):** situada en el área de la cisura calcarina, coincide con el área cortical 17 de brodmann. Es el destino final de las señales visuales procedentes de los ojos. La fóvea en responsable de grado más alto de agudeza visual.
  - ✓ **Corteza visual secundaria (área de asociación visual):** Situada por delante, encima y debajo de la corteza visual primaria, coincide con el área 18 de brodmann. A esta se transmiten señales secundarias para su análisis posterior.

Estructura y estratificación de la corteza visual primaria:

Posee 6 capas diferenciadas:

- Las fibras geniculocalcarinas terminan en la capa 4
- Las señales que proceden de las células ganglionares Y de la retina terminan en la capa $4c_{alfa}$
- Las señales que proceden de las células ganglionares X de la retina terminan en la capa $4c_{beta}$ y 4^{a} (transmiten visión precisa y a colores)
- La corteza visual está organizada en millones de columnas verticales de células neuronales
- Las señales que salen de las capas 1,2 y 3 transmiten a distancias cortas lateralmente por la corteza
- Las señales que salen de las capas 5 y 6 transmiten a distancias mucho mayores.
- **Manchas de color:** Entre mezclada entre la columna visual primaria, recibe señales de la columna visual adyacente y responde a señales de los colores.
- **RECORDAR:** Las señales visuales proceden de cada ojo por separado se relevan por capas neuronales en el núcleo geniculado lateral, estas señales permanecen separadas cuando llegan a la capa 4 de la corteza visual primaria.

Vías principales para el análisis de la información visual:

1. Análisis de la posición tridimensional, la forma global y el movimiento de los objetos:
   - Analiza la posición de objetos tridimensionales en tres posiciones, la forma global de la escena visual, el movimiento. *Cuenta donde se encuentra cada objeto, en cada instante y si se está moviendo.*
   - Después de abandonar la corteza visual primaria, las señales hacen sinapsis en el área visual 2 y se mueven hacia el área mediotemporal posterior de aquí suben a la corteza occipitoparietal.
   - Usan fibras Y que salen de las células ganglionares Y de la retina (transmiten señales rápidas y en blanco y negro)
2. Análisis del detalle visual y del color:

- Pasan de la corteza visual primaria al área visual 2 y de aquí a la región ventral y medial inferior de la corteza occipital y temporal
- *Reconoce letras, lee, determina la textura de las superficies, color de objetos.*

Patrones neuronales de estimulación durante el análisis de la imagen visual:

1. Detección de la orientación de líneas y bordes – células simples
   - La corteza visual detecta la existencia de líneas y bordes. Detecta la orientación (si son verticales , horizontales o inclinadas)
   - Para cada orientación se estimula una neurona específica (*células simples, ubicadas en la capa 4 de la corteza visual primaria)*

2. Detección de la orientación de líneas cuando estas se encuentran desplazadas lateral o verticalmente en el campo visual- células complejas
   - Células complejas, responden a líneas orientadas aún en la misma dirección pero no específicas de posición.

3. Detección de líneas de longitudes, ángulos o formas específicas
   - Células hipercomplejas, son estimuladas solo por líneas o bordes de longitudes específicas.

Detección del color:

- El color se detecta por medio del contraste, entre conos situados en una misma vecindad o alejados unos de otros.

- Los detalles iniciales del contraste son detectados por células simples y los contrastes más complejos por células complejas o hipercomplejas.

- Campo visual: área vista por un ojo en un instante dado.

- Perimetria: proceso en el que se establece un mapa para un campo visual de cada ojo, utilizado para determinar ceguera en una porción de la retina

- Escotomas: puntos ciegos en otra porción del campo visual que no son el área del disco óptico, resultado de reacciones alérgicas en la retina o procesos de intoxicación.

- Retinitis pigmentosa: algunas porciones de la retina degeneran y en estas porciones se deposita un exceso de melanina

- Heminopsia bitemporal: las dos mitades nasales están ciegas, lo que significa la persona esta ciega en los dos campos visuales temporales, porque la imagen del campo visual este invertido sobre la retina. Frecuentemente resultado de tumores de la adenohipófisis que ejerce presión sobre el quiasma óptico.

- Hemianopsia homónima: interrupción de una cintilla óptica que deja sin inervación a la mitad correspondiente de cada retina en el mismo lado de la lesión como consecuencia ninguno de los ojos puede ver objetos del lado opuesto.

Movimientos oculares:

- Controlado por los músculos rectos externos, internos. Superiores, inferiores. Oblicuos superiores e inferiores.

- Nervios craneales tercero, cuarto y sexto

- Mecanismo voluntario de fijación: permite a la persona mover los ojos voluntariamente para encontrar un objeto. Controlados por un campo cortical localizado bilateralmente en los ganglios corticales premotores de los lóbulos frontales.
- Mecanismo involuntario de fijación: mantiene firmemente los ojos sobre el objeto una vez encontrado. Controlado por áreas visuales secundarias de la corteza occipital. Área 19 de brodmann.

- Los ojos presentan tres tipos de movimientos: temblor continuo, deriva lenta de los globos oculares y movimientos de sacudida repentinos.
- Movimiento optocinético o sacádico: los ojos se fijan en un punto de interés detrás de otro del campo visual, saltando de uno a otro a una velocidad de dos o tres saltos por segundo.

Nervios autónomos del ojo:

- Fibras parasimpáticas preganglionares parten del núcleo visceral del tercer par craneal y pasan al nervio motor ocular común hasta el ganglio ciliar, aquí hacen sinapsis con neuronas parasimpáticas posganglionares que envían señales por los nervios ciliares hasta el globo ocular. Excitan al esfínter del iris y al músculo ciliar.

- La inervación simpática tiene su origen en las astas intermediolaterales del primer segmento torácico de la médula espinal. Ascienden hasta el ganglio cervical superior donde hacen sinapsis con neuronas posganglionares.

Tablas, esquemas y figuras importantes.

- Figura 51-1 (pag. 585) vías visuales del ojo a la corteza visual
- Figura 51-4 (pag. 586) capas de la corteza visual primaria
- Figura 51-11 (pag. 592) inervación automática del ojo

Ponte a prueba

- ¿Cuáles son las funciones del cuerpo geniculado externo?
- ¿Cuáles son las capas que conformas al cuerpo geniculado externo?
- ¿Qué es la capa magnocelular?
- ¿Qué es la capa parvocelular?
- ¿Dónde se ubica la corteza visual primaria?
- ¿Cuál es la función de la corteza visual secundaria?
- ¿Cuáles son las vías principales para el análisis de la información visual?
- ¿Mencione algunas alteraciones de los campos visuales?
- Describa la inervación tanto simpática como parasimpática del ojo.

Links de interés

https://www.youtube.com/watch?v=mvBoWKe6QK0 Fisiología del ojo
http://www.muyinteresante.es/salud/articulo/descubren-una-nueva-capa-de-celulas-en-el-ojo-humano-911371026601 Artículo "se descubre una nueva capa de células en el ojo"

Capítulo 52

El sentido de la audición

Puntos a recordar.

- Los huesecillos conducen el sonido desde la **membrana timpánica** (tímpano) hasta la cóclea (oído interno) a través del oído medio.

- El **tímpano** esta unido al **manubrio** o mango del martillo. El extremo final del martillo se fija al centro del tímpano y sobre este punto tira constantemente el músculo tensor del tímpano, esto mantiene tensa la membrana timpánica, lo que permite que se transmitan las vibraciones sonoras de cualquier porción de la membrana a los huesecillos.

- El **martillo** se une al **yunque** a través de unos pequeños ligamentos, de ésta manera cualquier movimiento del martillo arrastrará al yunque consigo.

- El yunque se articula también con la cabeza del **estribo**, la base de este se une al laberinto membranoso de la cóclea en la abertura de la ventana oval.

- La **articulación del yunque con el estribo** hace que este último empuje hacia adelante la ventana oval y el líquido coclear se mueve hacia adentro y tire el líquido hacia atrás cada vez que el martillo se desplaza hacia afuera.

- La amplitud de los movimientos de la base del estribo con cada vibración sonora no supone nada más que **tres cuartas partes** del recorrido que efectua el manubrio del martillo.

- El **sistema de palanca osicular** no aumenta la distancia del desplazamiento del estribo, sino que lo reduce pero aumenta la fuerza de empuje alrededor de 1,3 veces.

- La **superficie de la membrana timpánica** es de unos 55mm^2. El estribo tiene una superficie media de 3,2 mm^2. Esta diferencia mas la de la del sistema de palanca hace que la fuerza total a la que esta sometido el líquido coclear sea 22 veces mayor que la ejercida por las fuerzas sonoras en el tímpano.

- El **liquido** posee una ivercia mayor que el aire, esto hace que se necesite mas fuerza para ocasionar vibración en el tímpano.

- La **membrana timpánica y el sistema de huesecillos** aportan un ajuste de impedancias entre las ondas sonoras del aire y las producidas en el líquido coclear.

- El **ajuste de impedancias** está alrededor del 50 al 75% de la situación ideal para las frecuencias sonoras entre 300 y 3,000 ciclos por segundo, lo que permite utilizar la mayor parte de energía.

- Si no hubiera tímpano y/o huecesillos las ondas llegarían aun a la ventana oval pero la sensibilidad auditiva es de **15 a 20 decibelios** menor que para la transmisión osicular, lo que equivale a un descanso desde un nivel intermedio de voz hasta otro apenas perceptible.

    1. 1,000 ciclos/seg.).
    2. Esto reduce la intensidad de transmisión para los sonidos de baja frecuencia de 30 a 40 decibelios, que es más o menos la misma diferencia que existe entre una voz fuerte y un susurro.

- Cuando se transmiten sonidos fuertes por el sistema de huesecillos se desencadena un reflejo que sólo dura de **40 a 80 ms** que provoca la contracción del músculo estapedio o del estribo (que tira del estribo hacia afuera) y del músculo tensor del tímpano (que va a tirar del manubrio del martillo hacia adentro).

- Ambas fuerzas se oponen entre sí, haciendo que el sistema de huesesillos obtenga una mayor rigidez, haciendo que disminuya la conducción osicular de los sonidos de baja frecuencia.

- Éste reflejo (**reflejo de atenuación**) puede reducir la intensidad de transmisión para sonidos de baja frecuencia (30 a 40 decibelios).

- Éste **mecanismo** cumple con una función doble:

1. Proteger la cóclea de vibraciones fuertes que puedan causar una lesión.
2. Ocultar sonidos de baja frecuencia ó sonidos leves que "no son relevantes"

- La **cóclea** está encerrada en una cavidad ósea del hueso temporal (laberinto óseo), por lo que las vibraciones en el cráneo pueden causar vibraciones en el líquidococlear.

- La **cóclea** es un sistema de tubos en espiral que consta de tres tubos enrollados uno junto a otro: 1) la rampa vestibular, 2) el conducto coclear o rampa media y 3) la rampa timpánica.

- La **rampa vestibular y el conducto coclear** están separados por la membrana de Reissner la rampa timpánica y el conducto coclear están divididos por la membrana o lámina basilar.

- Sobre su superficie está el **Órgano de Corti**, que contiene células sensibles a estímulos electromecánicos (células ciliadas). Se trata de órganos receptores terminales que generan impulsos nerviosos en respuesta a vibraciones sonoras.

- El **Órgano de Corti**, es el órgano receptor que genera los impulsos nerviosos como respuesta a la vibración de la lámina basilar.

- Los **receptores sensitivos** del órgano de Corti son dos tipos especializados de células nerviosas llamadas células ciliadas: una sola fila de células ciliadas internas (unas 3.500) que poseen un diámetro de unos 12 mm y tres o cuatro filas de células ciliadas externas (alrededor de 12.000) cuyo diámetro mide alrededor de 8 micrómetros.

- Las fibras nerviosas estimuladas por las células ciliadas llegan al ganglio espiral de Corti, situado en el modíolo (centro) de la cóclea.

- Las **neuronas** de este ganglio mandan sus axones (unos 30.000 en total) hacia el nervio coclear o acústico y de ahí al SNC a nivel del bulbo.

- Células ciliadas internas: 90%

- Células ciliadas externas: Sensibilidad y ajuste 10%

- **Cilios o esterocilios**: on estructuras duras debido a que poseen un armazón rígido de proteínas. Cada célula ciliada posee unos 100 estereocilios sobre su borde apical.

- Los **cilios** de las células se baten de adelante hacia atrás, contra la **membrana tectoria.**

- Células ciliadas se excitan con la vibración de la **lámina basilar**. Cada frecuencia sonora especifica activa neuronas concretas del encéfalo

- El **método** fundamental empleado por el sistema nervioso para detectar las diversas frecuencias sonoras consiste en determinar el punto más estimulado a lo largo de la lámina basilar. Esto se denomina principio de la posición para la determinación de la frecuencia sonora.

- Sin embargo cuesta entender cómo sólo con el principio de la posición es posible distinguir entre las frecuencias de sonido graves en la **gama desde 200 hasta 20.** Se propone que estas frecuencias bajas se diferencian es decir, los sonidos de frecuencia grave, desde 20 hasta 1.500 a 2.000 ciclos por segundo, pueden provocar salvas de impulsos nerviosos sincronizados a la misma frecuencia, y estas salvas pueden transmitirse por el nervio coclear hacia los núcleos cocleares del encéfalo. Esto es denominado **principio de la frecuencia o de la salva.**

- Aumento de **volumen** y de **amplitud** de la vibración: frecuencia de excitación más rápida.

- **Aumento de la amplitud** = Estimulación de más células ciliadas = sumación espacial de los impulsos.

- **Vibración laminar intensa=** activación de células ciliadas e. y comunicación al sistema nervioso

- **Ley de la potencia**: La sensación interpretada es proporcional a las raíz cubica de la intensidad sonora real, esto quiere decirque el oído es capaz de distinguir diferencias en la intensidad sonora.

- Energía sonora de 1 billón= se escucha 10, 000 veces en el oído.

- **Unidad de decibelio**: las intensidades sonoras se expresan en forma del logaritmo de si intensidad real.
  10 energía= 1 belio
  0.1 belios= 1 decibelio

- En primer lugar, las señales procedentes de los dos oídos viajan por las vías de ambos lados del encéfalo, con un predominio de la transmisión a través de la vía contralateral. En **tres lugares del tronco del encéfalo tiene lugar el cruce entre ambas vías:** 1) en el cuerpo trapezoide; 2) en la comisura entre los dos núcleos del lemnisco lateral, y 3) en la comisura que conecta los dos colículos inferiores.

- En segundo lugar, muchas **fibras colaterales** de los fascículos auditivos pasan directamente al sistema reticular de activación en el tronco del encéfalo.

- En tercer lugar, los fascículos de fibras conservan un gran nivel de **orientación espacial** desde la cóclea a lo largo de todo el trayecto hasta la corteza.

- La corteza auditiva se halla en el **plano supratemporal** de la circunvolución temporal superior, pero que también se extiende hacia la cara lateral del lóbulo temporal, parte de la corteza de la ínsula y en la porción lateral del opérculo parietal.

- La **corteza auditiva primaria** se excita directamente por las proyecciones procedentes del cuerpo geniculado medial, mientras que las áreas auditivas de asociación lo hacen secundariamente por impulsos de la propia corteza auditiva primaria, también de algunas proyecciones originadas en las áreas talámicas de asociación adyacentes al cuerpo geniculado medial.

- Se conocen seis mapas tonotópicos en la corteza auditiva primaria y en las áreas auditivas de asociación.

- En cada uno de estos **mapas**, los sonidos de alta frecuencia excitan las neuronas situadas en uno de sus extremos, mientras que los de baja frecuencia excitan las que se hallan en el extremo opuesto.

- Distinguen las frecuencias sonoras y aporta la sensación de los diversos tonos, detectan la dirección de la que procede el sonido

- La **extirpación bilateral** completa de la corteza auditiva no impide que un gato o un mono detecten los sonidos o generen una reacción no elaborada frente a su presencia.

- La **corteza auditiva** posee una importancia especial para la distinción de los patrones de sonido tonales o secuenciales. La destrucción de las dos cortezas auditivas primarias en el ser humano reduce mucho la sensibilidad a la audición.

- Una persona determina la **dirección horizontal** de la que viene el sonido por dos medios principales: 1) el lapso de tiempo transcurrido entre la llegada del sonido a un oído y al opuesto, y 2) la diferencia entrelas intensidades de los sonidos en los dos oídos. El primer mecanismo funciona mejor a frecuencias por debajo de 3.000 ciclos por segundo, y el segundo a frecuencias más altas debido a que la cabeza constituye una barrera mayor para el sonido en esta gama.

- Los **dos mecanismos** mencionados no son capaces de indicar si el sonido emana desde delante o desde detrás de la persona, o desde arriba o desde abajo.

- Esta **distinción** se consigue sobre todo gracias a las orejas de ambos oídos. La forma de la oreja cambia la cualidad del sonido que entra en el oído, en función de la dirección de la que proceda el sonido.

- La **destrucción de la corteza auditiva** a ambos lados del cerebro, tanto en el ser humano como en los mamíferos inferiores, provoca una pérdida casi completa de la capacidad para detectar la dirección de la que procede el sonido.

- Los análisis nerviosos encargados de este proceso de detección comienzan en los **núcleos olivares** superiores del tronco del encéfalo.

- El **núcleo olivar** superior se divide en dos componentes:

    1. El núcleo olivar superior medial
    2. El núcleo olivar superior lateral.

- El **núcleo lateral** se ocupa de detectar la dirección de la que viene el sonido, posiblemente mediante la simple comparación entre la diferencia de las intensidades sonoras que llegan a ambos oídos y el envío de la señal correspondiente hacia la corteza auditiva para calcular la dirección.

Tablas, esquemas y figuras importantes.

- Figura 52-1 (pág. 633)
- Figura 52-2 (pág. 634)
- Figura 52-4 (pág. 635)
- Figura 52-10 (pág. 639)

Ponte a prueba.

- ¿Como se da el proceso de transmisión de sonido desde el tímpano hasta la coclea?
- ¿A que se refiere el ajuste de impedancias?
- ¿Que es el reflejo de atenuación?
- ¿Como se da la transmisión de las ondas sonoras en la cóclea?

- ¿Que es el potencial endococlear?
- ¿Que es un decibelio?
- ¿En donde se encuentra la corteza auditiva?
- ¿Cuales son los mapas tonotópicos?

Links de interés.
https://www.youtube.com/watch?v=1SKONN4iso8
https://www.youtube.com/watch?v=3nmi4ZSLQIQ
https://www.youtube.com/watch?v=3nmi4ZSLQIQ
https://www.youtube.com/watch?v=R4n1CXhhVRE