Sistema nervioso autónomo

D.J. Sánchez Cervelló y M.L. Albina Chicote

Córdova. A. Fisiología Dinámica. Elservier-Masson. 2014. Cap. 9

El sistema nervioso autónomo (SNA) regula funciones orgánicas involuntarias relacionadas con la homeostasia del medio interno, aunque existen interacciones directas con el sistema nervioso somático (SNSo), encargado de funciones voluntarias.

Las eferencias del SNA sobre los órganos involuntarios, que incluyen las vísceras, las glándulas, los vasos sanguíneos y el corazón hacen sinapsis con las células musculares lisas, cardíacas y células glandulares correspondientes a estos órganos.

A través de la acción sobre los órganos involuntarios, el SNA participa en el control homeostático del organismo, en la coordinación de las respuestas del organismo al ejercicio, estrés, etc., y, junto con el sistema endocrino, en la regulación hormonal. Las respuestas mediadas a través de este sistema se denominan respuestas en masa, porque no muestran la concreción y discriminación funcional que se observa en el SNSo.

Las vías eferentes del SNA están formadas por dos neuronas, una preganglionar (mielínica) y otra posganglionar (amielínica). El soma de las neuronas preganglionares se encuentra dentro del sistema nervioso central (SNC), bien sea en la médula espinal o en el tronco del encéfalo. Sus axones hacen sinapsis sobre los cuerpos celulares de las neuronas posganglionares en los ganglios autónomos. Los axones de las neuronas posganglionares, en la periferia, inervan los órganos efectores. Todas las neuronas preganglionares del SNA liberan en las sinapsis el neurotransmisor acetilcolina (ACh). El SNA se divide en dos partes, el sistema simpático, cuyas respuestas están más implicadas en aquellas que, desde el punto de vista metabólico son consideradas de tipo catabólico, y el sistema parasimpático, cuya actividad está más en relación con las de tipo anabólico. Ambos convergen en el órgano inervado y, aunque muchas veces presentan acciones antagónicas (frecuencia cardíaca), en otros casos son complementarias (erección-eyaculación), o se dirigen en el mismo sentido (secreción salival aumentada, aunque de características diferentes). Por ello, la relación entre las dos partes del SNA es más compleja que la simple concepción antagónica de sus funciones.

SISTEMA NERVIOSO SIMPÁTICO

El sistema nervioso simpático (SNS) se origina en la médula espinal. Los cuerpos celulares de las neuronas preganglionares simpáticas forman parte de las astas laterales de la sustancia gris de todos los segmentos torácicos y de los dos o tres primeros segmentos lumbares, por lo que se denomina también sistema *nervioso autónomo toracolumbar*. Los axones preganglionares abandonan la médula espinal a través de la raíz anterior de un nervio raquídeo junto con las fibras motoras somáticas del mismo nivel segmentario. A continuación, los axones preganglionares mielínicos (fibras de tipo B) entran en una vía corta denominada *ramo comunicante blanco* y terminan en los *ganglios paravertebrales* o en *los prevertebrales* (tablas 9-1 y 9-2).

Los ganglios paravertebrales están conectados entre sí por fibras nerviosas formando los *ganglios de la cadena simpática,* que se encuentran a ambos lados de la médula espinal, y se extienden desde la base del cráneo hasta el cóccix. Cada cadena dispone en

Tabla 9-1 Características de la organización del SNA y diferencias entre la secciones simpática y parasimpática

Características	*SNS*	*SNPa*
Neuronas preganglionares	Médula espinal (T1-L3)	Núcleos del tronco encefálico y médula sacra (segmentos 2-4)
Ganglios	Paravertebral, prevertebral e interior de la médula suprarrenal	Dentro o cerca de los órganos efectores
Neuronas	Pre y posganglionar	Pre y posganglionar
Axones preganglionares	Cortos y mielínicos	Largos y mielínicos
Axones posganglionares	Largos y amielínicos	Cortos y amielínicos
Neurotransmisor y receptor ganglionar	ACh y nicotínico	ACh y nicotínico
Neurotransmisor y receptor en células diana	Noradrenalina[a] y receptores α_1, α_2, β_1 y β_2	ACh y receptor muscarínico
Órganos efectores	Sistema gastrointestinal, glándulas, vasos sanguíneos y corazón	Sistema gastrointestinal, glándulas, vasos sanguíneos y corazón
Distribución	Todo el cuerpo (incluida la piel)	Cabeza, vísceras torácicas y abdominales y pelvis
Presentan divergencia	Sí	No

[a]Las neuronas que inervan las glándulas sudoríparas y algunos vasos sanguíneos tienen como neurotransisor la acetilcolina (ACh). las células cromafines de la médula suprarrenal tienen como neurotransmisores noradrenalina (20%) y adrenalina (80%)

SNA: sistema nervioso autónomo; SNPa: sistema nervioso parasimpático; SNS: sistema nervioso simpático.

Tabla 9-2 Origen y distribución de las fibras simpáticas

Fibras presinápticas		*Fibras postsinápticas*
Origen	Destino	Inervación
Asta intermediolateral toracolumbar Salida por los nervios raquídeos de la metámera correspondiente	Ganglios paravertebrales - Cervical superior	Glándulas sudoríparas, músculo liso del ojo, vasos sanguíneos, mucosa nasal, glándulas salivales: submaxilar, sublingual y parótidas
	- Cervical medio	Corazón
	- Cervical inferior	Corazón
	- Cadena simpática	Corazón, pulmones y bronquios. Glándulas sudoríparas, músculo liso vascular, músculos piloerectores
	Ganglios prevertebrales - Celíaco	Estómago, bazo, riñón, hígado, intestino delgado
	- Mesentérico superior	Intestino delgado y colon
	- Mesentérico inferior	Colon distal y recto, vejiga urinaria y órganos genitales
	Médula suprarrenal	Células cromafines (ganglionares modificadas)

general de un ganglio por cada uno de los segmentos medulares. En la región cervical, los ganglios están fusionados en tres: superior, medio e inferior o estrellado.

Los ganglios prevertebrales o colaterales están situados anteriores a la columna vertebral y cerca de las grandes arterias abdominales. Así, tenemos los ganglios celíacos, situados a cada lado del tronco celíaco, justo por debajo del diafragma; los mesentéricos superiores (región superior del abdomen), y los mesentéricos inferiores (región media del abdomen).

confiaenlamarea@gmail.com

Como los ganglios se encuentran cerca de la médula espinal, los axones preganglionares son cortos. Cuando las fibras preganglionares llegan a los ganglios de la cadena paravertebral, la mayoría hacen sinapsis en ellos, ya sea al mismo nivel o dirigiéndose en sentido caudal o cefálico, siguiendo la cadena simpática para establecer sinapsis con un ganglio de otro segmento. Otras fibras preganglionares pasan a través de la cadena y por medio del nervio esplácnico se dirigen a un ganglio prevertebral donde establecen sinapsis. Por último, hay fibras simpáticas preganglionares que inervan la médula suprarrenal. Recorren, sin realizar sinapsis en ningún ganglio, todo su trayecto (pasan por las cadenas simpáticas y los nervios esplácnicos) hasta la médula suprarrenal, donde establecen sinapsis sobre las células cromafines (células ganglionares modificadas), las cuales sintetizan y secretan a la sangre adrenalina y noradrenalina (NA), tal como se expondrá en el apartado «médula suprarrenal».

Los axones simpáticos posganglionares son fibras amielínicas (fibras de tipo C) que se originan en las neuronas, cuyos somas están situados en los ganglios simpáticos. En la tabla 9-2 se resume la distribución y el destino de las fibras presinápticas y postsinápticas del SNS.

Un rasgo del SNS es la denominada divergencia que se caracteriza porque el número de fibras posganglionares que salen de los ganglios paravertebrales es muy superior al de las fibras preganglionares que salen de la médula espinal. Además, hay interconexiones sinápticas entre los ganglios de la cadena simpática. La divergencia permite al SNS activar muchos efectores en el mismo momento y provocar una respuesta muy amplificada (fig. 9-1).

SISTEMA NERVIOSO PARASIMPÁTICO

El sistema nervioso parasimpático (SNPa) se origina en dos centros separados, en los núcleos del tronco encefálico y en los segmentos 2, 3 y 4 de la médula sacra y, por ello, recibe también el nombre de *sistema nervioso autónomo craneosacro.*

Al igual que el SNS, el SNPa está formado por neuronas preganglionares y posganglionares; aunque aquí los axones preganglionares son largos, ya que los ganglios en los cuales establecen sinapsis están situados cerca de los órganos efectores. Por lo tanto, los axones posganglionares son cortos (tabla 9-1) (fig. 9-2).

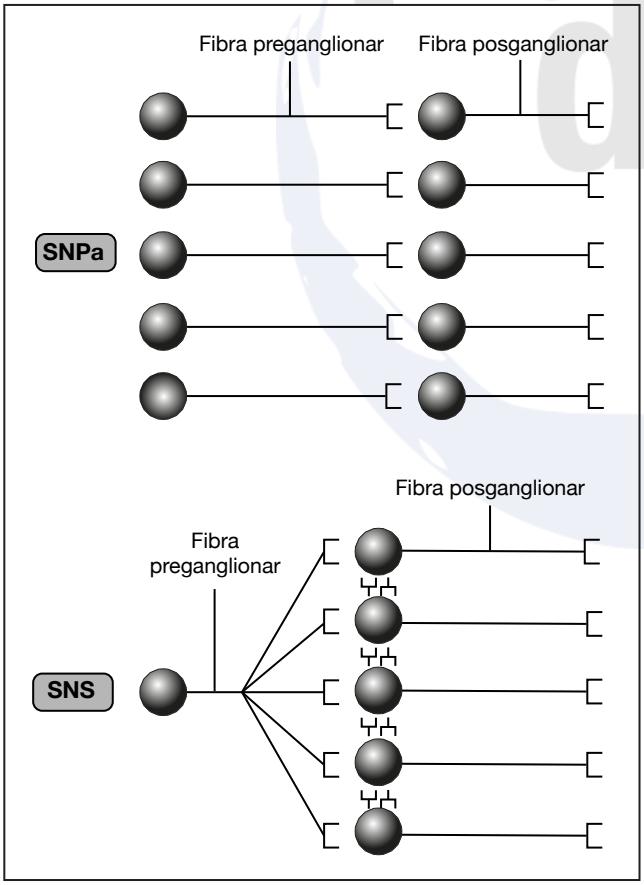


Fig. 9-1 Comparación de la gran divergencia del sistema nervioso simpático con respecto al parasimpático.

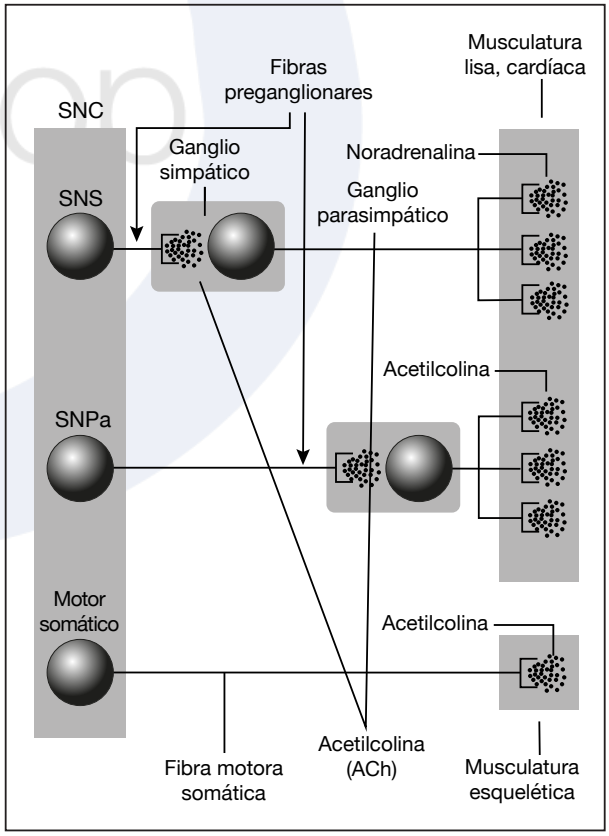


Fig. 9-2 Eferencias del sistema nervioso autónomo y motor somático. Neurotransmisores típicos en las sinapsis de las neuronas preganglionares y posganglionares

Tabla 9-3 Origen y distribucion de las fibras parasimpáticas

	Fibras presinápticas		*Fibra postsinápticas*
Nervio (par craneal)	*Origen*	*Destino*	*Inervación*
Oculomotor (III)	Núcleo de Edinger-Westphal) (mesencéfalo)	Ganglio ciliar	Esfínter pupilar y músculo ciliar
Facial (VII)	Núcleos lagrimal y salival superior (puente)	Ganglio pterigopalatino Ganglio submaxilar	Glándulas lagrimales y nasales Glándulas submandibular y sublingual
Glosofaríngeo (IX)	Núcleo salival inferior (bulbo raquídeo)	Ganglio ótico	Glándula parótida
Vago (X)	Núcleo motor dorsal del vago (bulbo raquídeo)	Ganglios próximos a vísceras o en la pared del órgano	Corazón, pulmones, plexo intrínseco del tubo digestivo (desde el esófago medio hasta el colon transverso medio). Hígado, vesícula biliar y páncreas. Porción proximal del uréter
Sacro	Astas intermediolaterales de la médula S2-S4	Ganglios próximos a órganos pélvicos o en su pared	Tracto gastrointestinal inferior, esfínter anal interno, porción distal del uréter, vejiga urinaria y órganos sexuales

Los axones preganglionares salen del tronco del encéfalo por los nervios craneales III, VII, IX y X y de la médula sacra a través de los nervios esplácnicos pelvianos. En la tabla 9-3 se muestran el origen y el destino de las fibras preganglionares y posganglionares pertenecientes al SNPa. Éste, a diferencia del SNS, no presenta divergencia, pues a cada fibra preganglionar le corresponde una fibra posganglionar; por ello, las respuestas que genera son más concretas (fig. 9-1).

NEUROTRANSMISORES SIMPÁTICOS Y PARASIMPÁTICOS

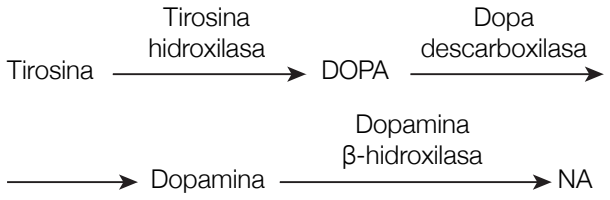
Los efectos de la inervación vegetativa se relacionan con el tipo de neurotransmisores y receptores situados tanto en las neuronas posganglionares como en los órganos efectores.

Los neurotransmisores que sintetizan y liberan las neuronas en las sinapsis son principalmente noradrenalina (NA) y acetilcolina (ACh). Las células que sintetizan NA se llaman células adrenérgicas y las que sintetizan ACh, colinérgicas.

Todas las neuronas preganglionares del SNA son neuronas colinérgicas. Por lo tanto, la ACh estimula a las neuronas posganglionares tanto del SNS como del SNPa. En cuanto a las neuronas posganglionares, las del SNPa son colinérgicas, mientras que las del SNS son mayoritariamente adrenérgicas, aunque hay una serie de fibras simpáticas posganglionares que son colinérgicas, por ejemplo las que inervan las glándulas sudoríparas y algunos vasos sanguíneos.

La ACh se sintetiza en las terminaciones de las fibras nerviosas colinérgicas (fig. 9.i3) por la unión de acetil-CoA y colina, reacción mediada por la enzima acetilcolina transferasa. Una vez sintetizada, se almacena en el interior de vesículas de forma muy concentrada, para posteriormente ser secretada por las terminaciones nerviosas colinérgicas. Una parte de la ACh liberada se unirá durante unos segundos a receptores específicos; la mayor parte será degradada, por la enzima acetilcolinesterasa (AChE), en acetato y colina, la cual se transportará a las terminaciones colinérgicas para ser reutilizada. El mecanismo es el mismo que se produce en las uniones neuromusculares.

La NA se sintetiza en las terminaciones nerviosas de las fibras adrenérgicas a partir de la tirosina y se almacena en vesículas (fig. 9-4). La secuencia de reacciones es la siguiente:



La dopamina se transporta a las vesículas y el paso de dopamina a NA se realiza en su interior. En las células cromafines de la médula suprarrenal la NA sufre una metilación y el 80% se transforma en adrenalina según la siguiente reacción:

$$\text{Noradrenalina} \xrightarrow[\text{N-metiltransferasa}]{\text{Feniletanolamina}} \text{Adrenalina}$$

Cuando la NA es secretada por las terminaciones nerviosas, puede ser recaptada por las mismas terminales mediante transporte activo, puede difundir fuera del espacio sináptico o ser destruida enzimáticamente por la monoaminooxidasa (MAO) o por la catecol-O-metil-transferasa (COMT). Su semivida es de pocos segundos, pero la adrenalina y la NA secretadas a la sangre por la médula suprarrenal permanecen activas entre 10-30 s, potenciando y perpetuando la actividad simpática en el tiempo.

En cuanto a los receptores, todos los que se unen a la ACh se llaman colinérgicos, mientras que los que se unen a la NA y adrenalina se llaman adrenérgicos.

Los receptores colinérgicos se dividen en dos tipos: nicotínicos y muscarínicos. Los primeros se encuentran en todas las neuronas posganglionares, tanto en las del SNS como en las del SNPa y también en las células cromafines de la médula suprarrenal. La acción de la ACh sobre el receptor provoca la apertura de canales de sodio (Na^+), induciendo la despolarización de la neurona postsináptica.

Los receptores muscarínicos se encuentran en los órganos efectores del SNPa y en aquellos del SNS cuyas fibras son colinérgicas. Los receptores colinérgicos se encuentran acoplados a proteínas G. La unión de la ACh con el receptor ejerce una gran variedad de acciones intracelulares, según el tipo de proteína G, entre las-que se incluyen la activación o inhibición de los segundos mensajeros. El más importante es el adenosín-monofosfato cíclico (AMPc). La activación del AMPc provoca cambios de permeabilidad iónica en la membrana. Otros segundos mensajeros son: guanosín-monofosfato cíclico (GMPc) e iones Ca^{++}.

Los receptores adrenérgicos se dividen en receptores α y β y cada uno de ellos se subdivide en dos. Así, hay cuatro receptores: α_1, α_2, β_1 y β_2. La unión de la NA a los distintos receptores provocará la activación de proteínas G y debido a la heterogeneidad de estas proteínas, permitirá una gran plasticidad de respuestas. La NA provocará vasoconstricción en una zona, si predominan los receptores α, y vasodilatación

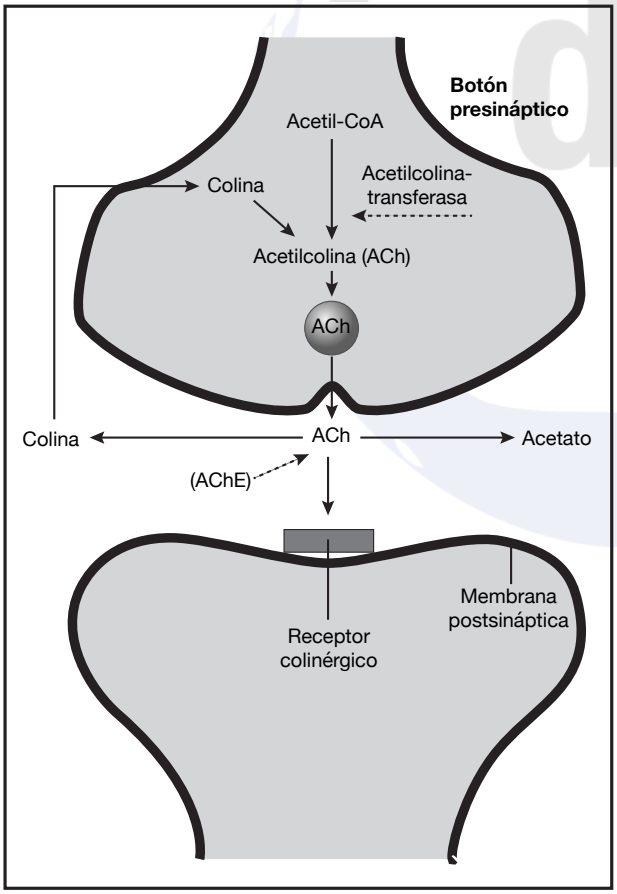


Fig. 9-3 Síntesis y metabolización de la acetilcolina

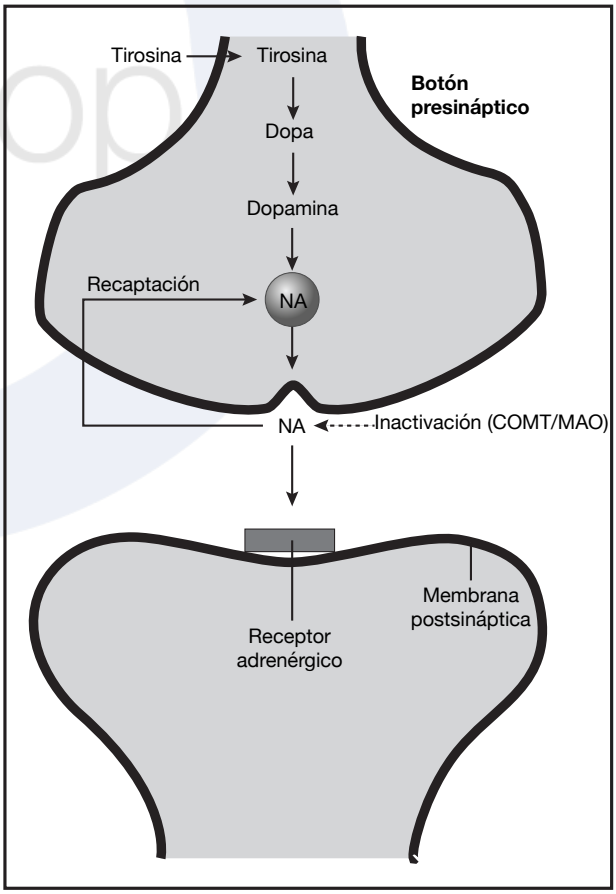


Fig. 9-4 Síntesis y metabolismo de la noradrenalina

Tabla 9-4 Acciones de los sistemas simpático y parasimpático sobre el cuerpo humano

	SNS		*SNPa*	
Órgano	*Acción*	*Receptor*	*Acción*	*Receptor*
Ojo				
Pupila	Dilatación	α_1	Constricción	M
Músculo ciliar	Relajación (ver de lejos)	β	Contracción (ver de cerca)	M
Glándulas				
lagrimales			↑ Secreción	M
Nasales	Vasoconstricción y secreción	α_1	↑ Secreción moco	M
Salivales	escasa		↑ Saliva líquida	M
Glándulas sudoríparas				
Ecrinas				
Apocrinas	Sudoración intensa Secreción espesa, olor	M[a]	Sudoración palmas y plantas	M
Corazón				
Frecuencia	↑	β_1	↓	M
Fuerza	↑	β_1	↓	M
Velocidad	↑	β_1	↓	M
Sistema vascular				
Arteriolas	Vasoconstricción	α_1	-	
Venas	Vasoconstricción	α_1	-	
Coronarias	Vasodilatación	β_1	-	
Musculatura esquelética	Vasodilatación	β_1	-	
Vías respiratorias				
Bronquios	Relajación	β_2	Constricción	M
Bronquiolos	Relajación	β_2	Constricción	M
Estómago				
Motilidad	↓	β_2	↑	M
Tono	↓	β_2	↑	M
Esfínteres	Contracción	α_1	Relajación	M
Secreciones	↓	α_1	↑↑	M
Intestino				
Motilidad	↓	β_2	↑↑	M
Tono	↓	β_2	↑↑	M
Esfínteres	Contracción	α_1	Relajación	M
Secreciones	↓	α_1	↑	M
Vesícula	Relajación	β_2	Contracción	M
Conductos biliares	Relajación	β_2	Contracción	M
Hígado	↑↑ Glucogenólisis	β_2	↑ Glucogenogénesis	M
Riñón	Secreción renina	β_1	-	-
Páncreas				
Exocrino	↓ Secreción		↑ Secreción	M
Endocrino	↓↓ Secreción insulina ↑ Secreción glucagón	α_1 β_2	↑ Secreción insulina	M
Vejiga				
Pared	Relajación	β_2	Contracción	M
Esfínter	Contracción	α_1	Relajación	M
Tejido adiposo	Lipósisis	β_1	-	-
Genitales masculinos	Eyaculación	α_1	Erección	M
Piel				
Glándulas sudoríparas	↑ Secreción	M[a]	-	
Músculo piloerector	Contracción	α_1		

[a]Acción colinérgica del sistema nervioso simpático

confiaenlamarea@gmail.com

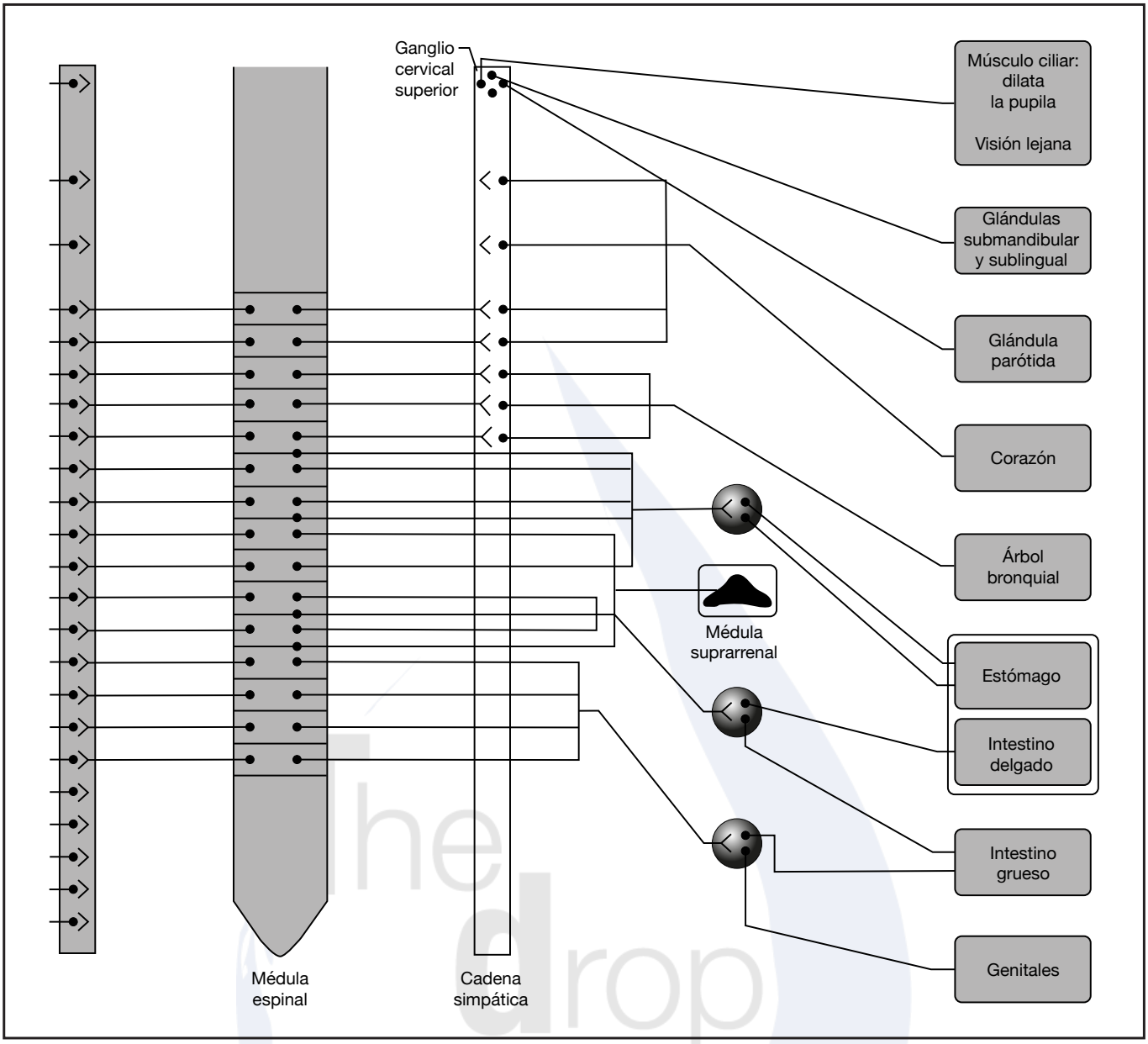


Fig. 9-5 Localización y distribución del sistema nervioso simpático

si predominan los β. En general, los receptores α son excitadores, mientras que entre los β, hay receptores excitadores e inhibidores. Los efectores, por regla general, tienen un receptor ex o uno β, pero los efectores viscerales pueden tener ambos tipos. Los receptores ex son estimulados con mayor intensidad por la NA que los β, mientras que la adrenalina (sintetizada en las células cromafines de la médula suprarrenal), estimula a ambos receptores por igual.

Se consideran elementos neurotransmisores o, cuando menos, neuromoduladores, ciertas sustancias de carácter peptídico que se encuentran en las sinapsis del SNA, acompañando a los neurotransmisores (ACh y NA) típicos comentados con anterioridad. La sustancia P, la bombesina, la encefalina y el péptido intestinal vasoactivo constituyen buenos ejemplos.

FUNCIONES DEL SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO

La mayoría de los órganos sometidos al control del SNA presentan inervación simpática y parasimpática y, en estos casos, la influencia puede ser muchas veces antagónica, es decir, que actúan de modo inverso. Así, la estimulación simpática produce dilatación pupilar, aumento de la fuerza con la que se contrae el corazón y de la frecuencia cardíaca, relajación de bronquios, bronquiolos, vesícula y conductos biliares; disminuye la motilidad y el tono intestinal, y contrae los esfínteres del tracto gastrointestinal y de la vejiga (tabla 9-4) (fig. 9-5), mientras que la estimulación parasimpática produce los efectos contrarios en los mismos órganos (tabla 9-4) (fig. 9-6).

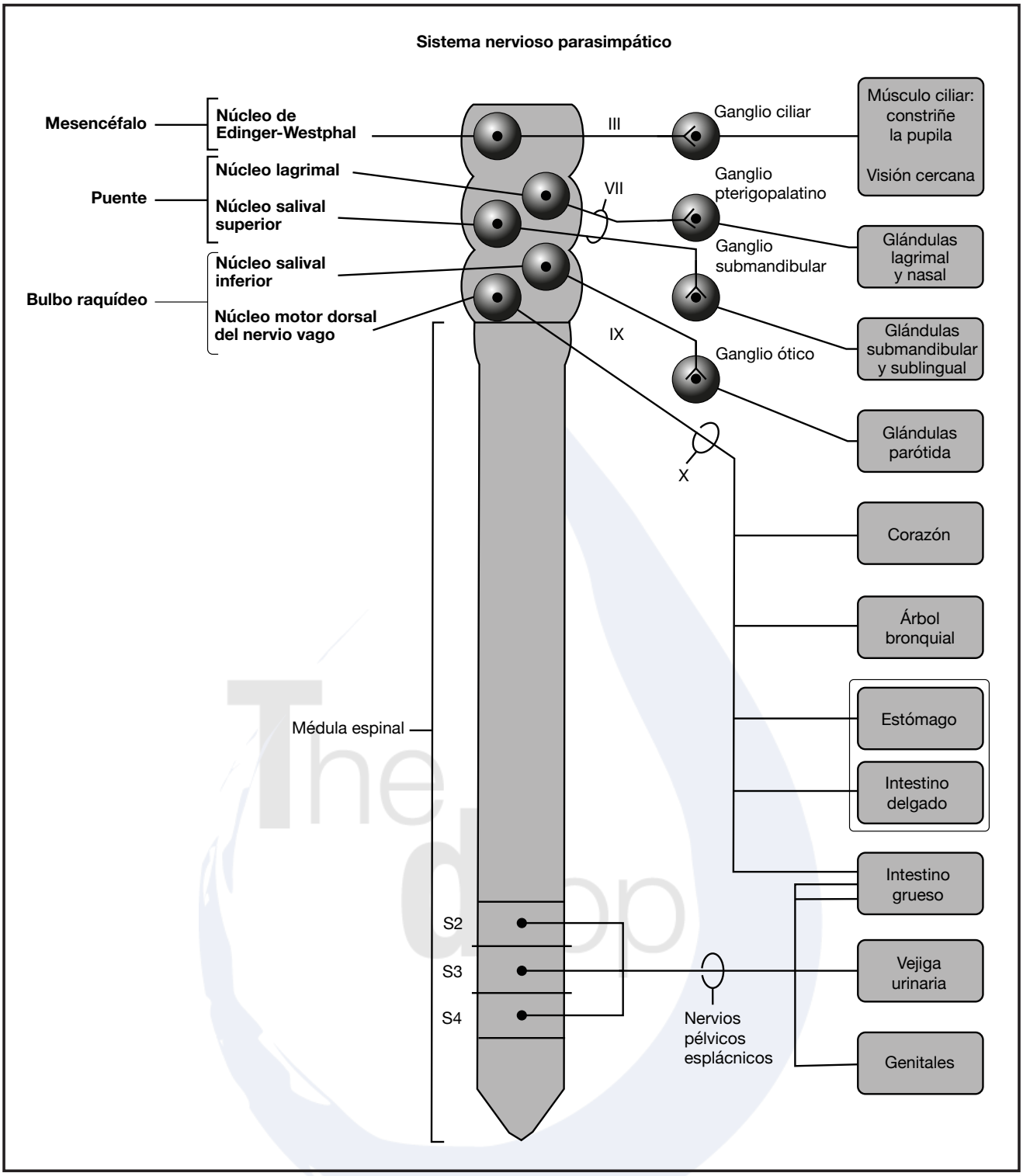


Fig. 9-6 Localización y distribución del sistema nervioso parasimpático

Los efectores doblemente inervados reciben de manera continua impulsos simpáticos y parasimpáticos, lo que se conoce como *tono simpático y tono parasimpático*, respectivamente. El resultado de sumar ambos efectos, opuestos o no, determinará el grado de actividad del órgano en cuestión. Pero, por otra parte, con sólo aumentar o disminuir el tono de uno de los sistemas puede regularse el funcionamiento del órgano inervado. Así, aumentando o disminuyendo el tono parasimpático sobre el tubo digestivo, se acelerará o retardará el peristaltismo intestinal. Si el tono simpático aumenta, la pupila se dilata, mientras que, si disminuye, se produce miosis.

Cuando por cualquier circunstancia se produce la denervación (simpática o parasimpática) de un órgano se pierde el tono correspondiente, provocando una disregulación manifiesta. Con el paso del tiempo, el propio órgano es capaz de recuperar un tono basal de

confiaenlamarea@gmail.com

Tabla 9-5 Respuesta del SNS frente al estrés

Órgano, aparato o sistema	*Respuesta*
Cardiovascular	↑ Frecuencia y fuerza de contracción cardíaca ↑ Presión arterial ↑ Flujo sanguíneo al miocardio
Respiratorio	↑ Frecuencia y profundidad de la respiración Dilatación bronquial
Músculo	↑ Flujo sanguíneo al músculo en actividad ↑ Potencia muscular
Territorio esplácnico	↓ Flujo sanguíneo en riñones, aparato digestivo, glándulas y órganos no necesarios para actividad motora rápida
Metabolismo	↑ Metabolismo celular Hiperglucemia ↑ Glucólisis en hígado y músculo
Cerebro	↑ Actividad mental ↑ Riego sanguíneo
Sangre	Hipercoagulabilidad de la sangre Aumento de los eritrocitos circulantes
Glándulas sudoríparas	↑ Sudoración
Glándula suprarrenal	↑ Secreción de catecolaminas (adrenalina y NA) que perpetúan la respuesta nerviosa ↑ Activación del eje hipotálamo-hipofisosuprarrenal

NA: noradrenalina, SNS: sistema nervioso simpático.

funcionamiento, recuperación que es más rápida en la función simpática que en la parasimpática. Asimismo, se ha observado la denominada *hipersensibilidad por denervación*, que consiste en una respuesta progresivamente creciente de los órganos denervados frente a la misma concentración de neurotransmisor (simpático o parasimpático) y que se atribuye a un incremento del número de receptores o más bien a un incremento de su sensibilidad al neurotransmisor correspondiente.

Hay una serie de estructuras que únicamente están inervadas por el SNS: las glándulas sudoríparas, los músculos piloerectores, los adipocitos, los riñones y la mayor parte de los vasos sanguíneos; por lo tanto, sólo responderán ante estímulos procedentes de esta parte del SNA.

En general, el SNPa es *un sistema de conservación y recuperación de energía*, y su influjo predomina en condiciones de reposo (sin estrés). La inervación parasimpática supera a la simpática en los efectores autónomos. Así, los impulsos parasimpáticos sobre las glándulas digestivas y el músculo liso del tracto gastrointestinal favorecen la digestión y la posterior absorción de los alimentos que aportan energía. La acción sobre el corazón, disminuyendo la frecuencia cardiaca y la fuerza de contracción, permite el ahorro energético.

El SNS está relacionado con procesos que requieren gasto energético, como por ejemplo mantener el tono muscular liso de las paredes de los vasos sanguíneos y contrarrestar el influjo parasimpático sobre el corazón (frecuencia y fuerza de contracción). Ambos efectos están relacionados con el mantenimiento de la presión arterial y el ejercicio físico. Pero el SNS actúa de forma masiva cuando se produce una situación de estrés físico o psíquico que amenaza la homeostasia orgánica. En esta situación, se produce un importante aumento de la actividad simpática que produce una *descarga en masa* de neurotransmisores en todos los órganos diana. Se trata de una serie de respuestas, desencadenadas todas al mismo tiempo (recordar que el SNS presenta divergencia), que producen un elevado gasto energético, pero que son necesarias para afrontar la situación de estrés (tabla 9-5). El conjunto de todos estos cambios se denomina *reacción de lucha o huida*. En este estado, existen dos posibilidades: a) si hay probabilidad de ganar o resolver el problema,

de forma instantánea se plantea el enfrentamiento ante la situación; b) en caso contrario (sospecha de fracaso), se pone en marcha la huida.

Existe una relación especial entre el SNA y el sistema inmunitario, con repercusión clínica, y que muchas veces no se menciona en los manuales. Esta relación recíproca es uno de los eslabones que permite hablar del «sistema neuroendocrino-inmunitario» como sistema regulador «total» de la homeostasia del organismo. El SNA actúa sobre el sistema inmunitario modulando su respuesta, ya sea por medio del eje hipotálamo-hipófisis-glándula, que libera hormonas moduladoras de la respuesta inmunitaria, o mediante la inervación simpática o parasimpática de órganos linfoides. Las investigaciones demuestran que una estimulación simpática exagerada tiene efectos deletéreos sobre la respuesta inmunitaria frente a los tumores. Por el contrario, la estimulación parasimpática tiene efectos beneficiosos en la respuesta del sistema inmunitario contra la progresión de un tumor, o en la efectividad de ciertos tratamientos inmunosupresores.

En sentido contrario, la producción de citocinas por parte de los linfocitos en las reacciones inmunes (interleucinas, factor de necrosis tumoral, etc.), puede provocar la estimulación del SNA, sobre todo en el hipotálamo, desencadenando respuestas de tipo vegetativo como la activación del eje hipotálamo-hipofisosuprarrenal o el desarrollo de fiebre.

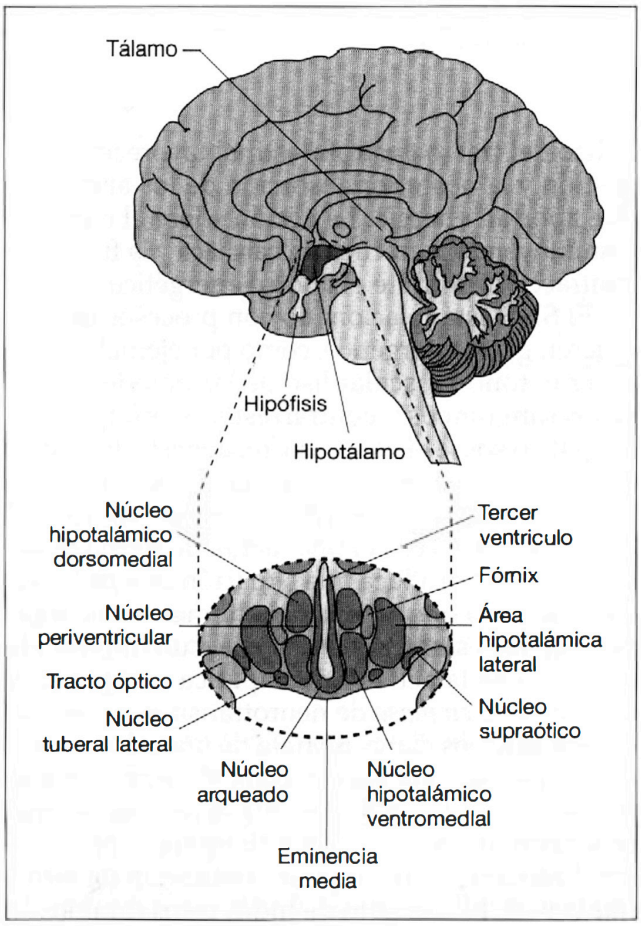


Fig. 9-7 Localización del hipotálamo y ubicación de algunos de los núcleos que lo integran.

CONTROL DEL SISTEMA NERVIOSO VEGETATIVO

El control central del SNA periférico se realiza por la corteza cerebral, el hipotálamo, el tronco en.cefálico y la médula espinal; estas cuatro estructuras pueden considerarse como el *sistema nervioso vegetativo central.*

Corteza cerebral

Existen dos zonas corticales con capacidad de regular la función autónoma hipotalámica: el lóbulo frontal y la porción límbica del lóbulo temporal. El primero está relacionado con la inhibición del reflejo de micción y con algunas funciones intestinales y sexuales autónomas. También ejerce control a través del hipotálamo sobre la termorregulación, la sudoración y el riego sanguíneo.

La corteza temporal límbica, próxima a la amígdala, tiene efectos sobre la presión arterial, la dinámica respiratoria y la conducta relacionada con las situaciones de ira y miedo. Además, está relacionada con la supervivencia de la especie (*septum*) y del individuo (amígdala).

Hipotálamo

El hipotálamo, localizado en la parte inferior de diencéfalo, tiene una extraordinaria importancia fisiológica. Está considerado como e} origen del SNA y es sin duda su principal centro de control. Desde él se regulan las funciones de los demás centros autónomos (fig. 9-7). Además de las funciones vegetativas, organiza la mayoría de las endocrinas, y representa una estructura nerviosa de gran importancia dentro del sistema límbico (v. cap. 13).

Desde el punto de vista anatómico, en el hipotálamo se distinguen tres zonas: hipotalámica anterior o quiasmática, hipotalámica media o infundibular e hipotalámica posterior o mamilar, dentro de las cuales existen a su vez diversos núcleos o estructuras (tabla 9-6).

En el aspecto funcional, aunque sin unos límites precisos y claros, se habla de una zona hipotalámica

confiaenlamarea@gmail.com

lateral y una zona medial. Por otra parte, dentro de una concepción clásica, y siendo un tema que todavía está en discusión, cabe distinguir una parte posterior con actividad fundamentalmente simpática, y otra anterior con función parasimpática.

El hipotálamo puede considerarse el regulador por excelencia de la homeostasia corporal, ya que no sólo interviene en el control vegetativo, sino que además regula funciones metabólicas y endocrinas, y controla la expresión corporal de las emociones, haciendo que se active el sistema motor somático (actitudes de rabia, miedo, alegría, etc.).

Aquí se reciben informaciones procedentes del medio interno y se captan directamente señales de temperatura orgánica, glucemia, osmolaridad y concentración hormonal (eje hipotálamo-hipofisis-suprarrenal), cuya integración provoca respuestas mediadas por el SNA. Se regulan condiciones internas como la temperatura corporal, el volumen sanguíneo, la presión arterial, la frecuencia cardíaca, la ingesta de alimentos y agua, la reproducción, los ritmos circadianos, la respuesta al estrés, las funciones relacionadas con el comportamiento emocional, la función del sistema inmunitario, del endocrino, etc.

Todo esto lo puede llevar a cabo:

1. Por sus conexiones con tronco del encéfalo, hipófisis y centros superiores como el sistema límbico, donde se generan las emociones y las motivaciones.

El hipotálamo está conectado al tronco del encéfalo por el fascículo longitudinal dorsal.

También tiene conexiones con estructuras del sistema límbico a través del fórnix, y con zonas de la corteza por medio del tracto prosencefálico medial que se continúa con el fascículo longitudinal dorsal hasta el tronco del encéfalo. Coordina los reflejos autónomos integrados en los centros vegetativos vasomotor, cardiocirculatorio, respiratorio y digestivo (masticación, deglución, secreción, succión, etc.). También controla los reflejos vegetativos medulares, como los de la micción y defecación.

Por otra parte, está estrechamente relacionado con la hipófisis por medio del tallo hipotálamo-hipofisario formado por proyecciones axónicas, que facilitan su función neuroendocrina.

2. Por las señales o estímulos captados en el propio hipotálamo, como las concentraciones hormonales sanguíneas. Además, en hipotálamo existen receptores o sensores térmicos, ya que se ha comprobado que al estimular diferentes zonas hipotalámicas se producen reacciones como vasodilatación o escalofríos para disminuir o aumentar la temperatura corporal. También tiene sensores de concentración hidroelectrolítica (osmoceptores) y de concentración de glucosa, pues al estimular la zona lateral se provoca sensación de sed (centro de la sed), y sensación de hambre (centro del apetito), mientras que al estimular la zona medial (centro de la saciedad) se rechaza la comida.

Tabla 9-6 Distribución anatómica del hipotálamo

Zonas hipotalámicas	*Núcleos y áreas hipotalámicas*
Hipotálamo anterior o quiasmático	Área hipotalámica anterior Núcleo preóptico posterior o dorsal Núcleo preóptico medial-lateral Núcleo paraventricular
Hipotálamo medio o infundibular	Área hipotalámica lateral Núcleo ventromedial Núcleo dorsomedial Núcleos del tuber
Hipotálamo posterior o mamilar	Área hipotalámica posterior Núcleos mamilares

Tronco del encéfalo

También existen en esta localización reflejos autónomos que se inician por señales procedentes de las vías sensoriales periféricas o centrales, con respuestas motoras que se producen por la vía simpática o parasimpática. Entre ellos pueden citarse reflejos de presión arterial, de frecuencia cardíaca, la salivación, la deglución, el vómito, el peristaltismo gastrointestinal, la respiración, los reflejos pupilares, la acomodación del cristalino, etc.

Médula espinal

La médula coordina los reflejos autónomos que incluyen vías aferentes somáticas o viscerales procedentes de sus receptores y hacen sinapsis con las interneuronas de la médula. Las ramas eferentes están formadas por fibras simpáticas y parasimpáticas. Entre estos reflejos están los de micción, defecación y los reflejos sexuales. El componente simpático procede de la médula lumbar y el parasimpático de la médula sacra. Los centros superiores proporcionan un control importante de estos reflejos, ya sea facilitándolos o inhibiéndolos.

MÉDULA SUPRARRENAL

Durante el desarrollo embrionario, algunas células primitivas del SNS invaden la corteza suprarrenal en desarrollo, produciendo la médula suprarrenal primordial. Son células cromafines, porque se tiñen con diluciones de dicromato potásico, gracias a su capacidad de sintetizar y almacenar catecolaminas. La médula suprarrenal totalmente desarrollada está envuelta por la corteza suprarrenal, conformando ambas las glándulas suprarrenales que se apoyan, en sentido medial, sobre el polo superior de cada riñón. El estudio de la corteza corresponde al capítulo 47, limitándonos aquí a exponer los aspectos más destacados de la función medular por su relación con el SNA en su vertiente adrenérgica o simpática.

En 1895 Oliver y Schafer demostraron el efecto de los extractos de las glándulas suprarrenales sobre la presión arterial. A esta observación siguió rápidamente el aislamiento y caracterización de la adrenalina. Como las funciones del SNS y el de la médula suprarrenal son paralelas, frecuentemente reciben el nombre de *sistema simpaticosuprarrenal.*

Las células cromafines sintetizan NA y adrenalina (catecolarninas) en una proporción de 1 a 4. La NA es además un neurotransmisor del SNC, de las terminales de las neuronas simpáticas posganglionares (nervios simpáticos periféricos) y aparece en tejido cromafín extrasuprarrenal. Por su parte, la adrenalina es una hormona de la circulación, sintetizada, acumulada y liberada por la médula suprarrenal. De hecho, en los mamíferos se localiza casi exclusivamente en las células cromafines suprarrenales en donde se acumula a elevadas concentraciones y donde se sintetiza a partir de la NA

Los procesos de acumulación y liberación son parecidos, tanto en las terminaciones nerviosas adrenérgicas como en la médula suprarrenal. En ella, las catecolaminas se acumulan en forma de partículas llamadas gránulos cromafines, donde son fisiológicamente inactivas y se encuentran protegidas de la degradación metabólica. En general, se supone que las catecolaminas almacenadas actúan principalmente como reserva para los períodos de intensa estimulación. Así, bajo determinadas condiciones fisiológicas, en respuesta a los impulsos nerviosos del SNS, se liberan catecolaminas procedentes tanto de las terminaciones nerviosas adrenérgicas como de la médula suprarrenal. Esta liberación de catecolaminas depende del influjo de Ca++ secundario a las alteraciones de la permeabilidad de la membrana inducidas por la ACh (neurotransmisor de los nervios simpáticos preganglionares). Hay que señalar que la médula suprarrenal no es funcional si se seccionan los nervios esplácnicos.

La organización funcional y anatómica del sistema simpaticosuprarrenal es perfecta para producir una amplia descarga simpática, como resultado de los impulsos nerviosos preganglionares y de la liberación simultánea de catecolaminas en la médula. Además, son dos sistemas que se potencian, pero que también pueden sustituirse de forma recíproca cuando existe alguna deficiencia en uno de ellos. En este sentido, los órganos con escasa o nula inervación adrenérgica cubren este «déficit» con las catecolaminas que les llegan por vía circulatoria. Por ejemplo, a pesar de que la inervación simpática del corazón y de los vasos es más importante que las catecolaminas sanguíneas en la regulación circulatoria, estas últimas compensan parcialmente cualquier inervación simpática defectuosa, a la vez que refuerzan los efectos fisiológicos nerviosos durante una descarga simpaticosuprarrenal masiva.

En el terreno metabólico, la presencia de adrenalina de origen suprarrenal en la circulación sanguínea se ha considerado como el mecanismo fisiológico, a través del cual este sistema influye en el metabolismo de los hidratos de carbono. Así, la hipoglucemia provoca un notable incremento de la secreción de adrenalina en la médula, mecanismo reflejo mediado en gran medida por las neuronas centrales (glucoceptores hipotalámicos), importantes en la percepción e iniciación de la respuesta refleja a la hipoglucemia.

Las funciones que ejercen las catecolaminas suprarrenales, además de las descritas, se recogen la tabla 9-4. El control de su secreción depende de estímulos como el ejercicio, el frío, la hipotensión, la hipoglucemia o las hemorragias, o circunstancias emocionales (dolor, excitación, miedo, ira, cólera, hipoxia fetal, etc.).

Los efectos biológicos de las catecolaminas quedan rápidamente interrumpidos por su catabolismo que genera los derivados ortometilados. Más del 75 % de las catecolaminas circulantes quedan inactivadas por un solo paso a través del corazón o del hígado, aunque los efectos permanecen mucho más tiempo que los mediados por vía nerviosa. Sufren una desaminación oxidativa, una 3-orto-metilación y una conjugación con sulfato o glucurónido. Los productos del catabolismo, así como las pequeñas cantidades de catecolaminas no alteradas se excretan en la orina.

confiaenlamarea@gmail.com

ESQUEMA CAPÍTULO

SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO

Funciones involuntarias
Regulación del medio interno

Neuronas pre y posganglionares

SISTEMA SIMPÁTICO toracolumbar

Localización
- Asta intermediolateral
- Ganglios paravertebrales
- Ganglios prevertebrales
- Médula suprarrenal

Neurotransmisor
- Preganglionar acetilcolina (ACh)
- Posganglionar noradrenalina (NA)
- Posganglionar colinérgica
- Divergencia

Receptores
- Posganglionar nicotínico
- Órgano efector α_1, α_2, β_1, β_2
- Órgano efector muscarínico

SISTEMA PARASIMPÁTICO craneosacro

Localización
- Núcleos troncoencefálicos
- Segmentos sacros S2-S4
- Ganglios próximos a órgano
- Pares craneales III, VII, IX y X
- Nervios esplácnicos pelvianos

Neurotransmisor
- Preganglionar acetilcolina
- Posganglionar acetilcolina
- No divergencia

Receptores
- Posganglionar nicotínico
- Órgano efector muscarínico

Funciones (ver tabla) antagónicos y complementarios

- Tono simpático
- Gasto energético
- Descarga en masa
- Reacción de lucha y huida

- Tono parasimpático
- Conservación y recuperación de energía

Sistema neuroendocrinoinmunitario

CONTROL DEL SISTEMA NERVIOSO VEGETATIVO

Corteza cerebral
- Lóbulo frontal
- Lóbulo temporal
- Sistema límbico

Hipotálamo
- Origen del sistema
- Coordinación vegetativa
- Regulación hormonal

Tronco del encéfalo
- Actividad refleja vegetativa

Médula espinal
- Reflejos micción, defecación
- Reflejos sexuales

MÉDULA SUPRARRENAL

Neurotransmisor
- Noradrenalina 20%
- Adrenalina 80%

Sistema simpatosuprarrenal se potencian y se complementan