

Anatomi Sistem Saraf

by Mayang Indah Lestari

Submission date: 09-Mar-2021 07:36PM (UTC+0700)

Submission ID: 1528328050

File name: BAB_6_Anatomi_Sistem_Saraf.docx (7.06M)

Word count: 8908

Character count: 58369

ANATOMI SISTEM SARAF

Mayang Indah Lestari, Andi M. Takdir Musba

Pendahuluan

Sistem saraf tubuh manusia merupakan produk evolusi yang **4**ling kompleks¹. Kesadaran, pengalaman, pemikiran **13** perilaku dibentuk oleh aktivitas miliaran neuron dan glia. Jaringan saraf terdiri dari sel-sel saraf dan neuroglia². Sel saraf (neuron) terdiri dari badan sel, dendrit (proyeksi badan sel) dan akson (yang menghantarkan impuls dari dan ke badan sel)². Neuroglia merupakan jaringan non-eksitasi yang mendukung neuron secara struktural dan metabolik.²

11

Sistem saraf terdiri dari dua divisi utama. Secara struktural **5** sistem saraf dibedakan menjadi sistem saraf pusat dan sistem saraf perifer sedangkan secara fungsional dibedakan menjadi sistem saraf somatik dan sistem saraf otonom². Sistem saraf pusat terdiri dari otak dan medula spinalis². Sistem saraf **4** perifer terdiri dari semua jaringan di luar saraf pusat meliputi nervus kranialis dan spinalis, sistem saraf otonom dan indera khusus (rasa, penghidu, penglihatan, pendengaran dan keseimbangan)¹. Indera khusus tidak dibahas dalam tulisan ini. Pada sistem saraf pusat, kumpulan badan sel saraf membentuk *grey matter* (substansia grisea) dan jaringan saraf interkoneksi membentuk *white matter* (substansia alba)². Pada sistem saraf perifer, kumpulan badan sel saraf membentuk **18** ganglion dan jaringan (akson) interkoneksi membentuk nervus perifer². Selain sistem saraf pusat dan perifer, dalam bab ini juga akan dibahas mengenai selaput pelindung otak dan cairan serebrospinal secara singkat.

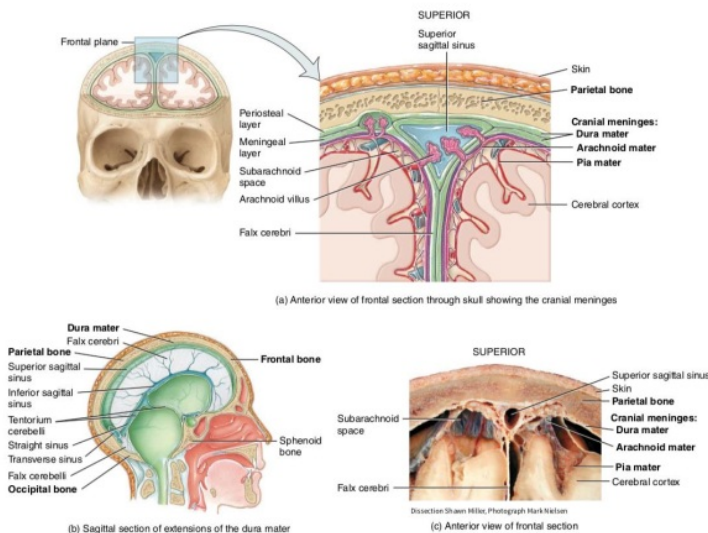
Selaput Pelindung Otak

Otak diproteksi oleh selaput pelindung (*cranial meninges*), selain oleh kranium. Selaput pelindung tersebut terdiri dari duramater (lapisan terluar), araknoid mater (lapisan tengah) dan piamater (lapisan terdalam)³. Selaput pelindung otak berlanjut menjadi selaput pelindung spinal dan mempunyai struktur yang sama kecuali duramater kranial yang mempunyai dua lapisan sementara duramater spinal satu lapisan. Dua lapisan duramater disebut *periosteal layer* (lapisan eksternal) dan *meningeal layer* (lapisan internal). Di otak, ruang epidural juga tidak ditemukan. Pemanjangan duramater memisahkan beberapa bagian otak³ yaitu:

1. Fals cerebri : lapisan yang memisahkan dua hemisfer serebrum
2. Fals cerebelli : lapisan yang memisahkan dua hemisfer serebelum
3. Tentorium serebelli : lapisan yang memisahkan serebrum dan serebelum

FIGURE 14.2 The protective coverings of the brain.

Cranial bones and cranial meninges protect the brain.



Q What are the three layers of the cranial meninges, from superficial to deep?

Gambar 6.1 Lapisan pelindung otak

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al¹

Cairan Serebrospinal (CSS)

CSS merupakan cairan jernih transparan yang sebagian besar terdiri dari air yang melindungi otak dan medula spinalis dari cedera kimia dan fisik. CSS membawa sejumlah oksigen, glukosa dan zat-zat kimia yang dibutuhkan dari darah ke neuron dan neuroglia³. CSS terus menerus bersirkulasi melalui kavitas-kavitas di dalam otak dan medula spinalis serta sekitar otak di ruang subaraknoid medula spinalis. Volume CSS total 80-150 mL pada dewasa³. CSS mengandung sedikit glukosa, protein, asam laktat, urea, kation (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^+), anion (Cl^- dan HCO_3^-), serta leukosit³.

CSS mengisi rongga dalam otak atau yang disebut juga ventrikel. Terdapat satu ventrikel lateral pada tiap hemisfer serebrum (anggap sebagai ventrikel 1 dan 2). Pada bagian anterior, ventrikel lateral dipisahkan oleh membran tipis yang dinamakan *septum pellucidum*. Ventrikel ke-3 merupakan rongga yang sempit seperti celah, pada garis tengah, di atas hipotalamus dan terletak di antara bagian kanan dan kiri dari talamus. Ventrikel ke-4 terletak di antara batang otak dan serebelum. CSS memiliki tiga fungsi dasar yang membantu memelihara homeostasis, yaitu³:

1. Proteksi mekanis: CSS berperan sebagai media peredam kejut yang melindungi jaringan otak dan medula spinalis yang rapuh dari gaya yang dapat menyebabkannya cedera saat bertabrakan dengan dinding tulang rongga kranium maupun kanalis vertebralis. CSS juga membuat otak mengapung sehingga menjadi “melayang” dalam rongga kranium.
2. Proteksi kimia: CSS berperan dalam membuat ruangan kimiawi yang optimal yang membantu dalam penghantaran sinyal neuron yang akurat. Sedikit saja perubahan komposisi ion pada CSS dalam otak dapat mengganggu produksi potensial aksi maupun potensial pasca sinaps.
3. Sirkulasi: CSS merupakan media dari pertukaran nutrisi dan produk sisa antara darah dengan jaringan saraf sekitarnya.

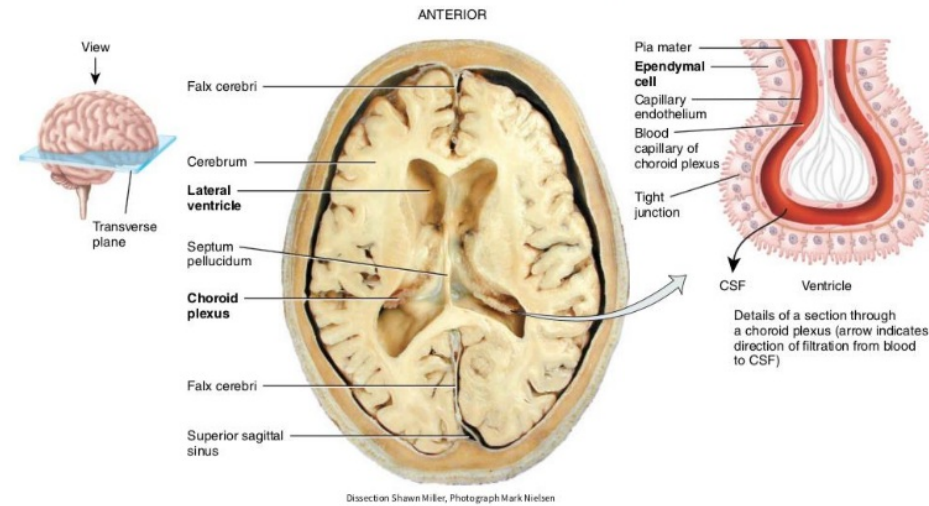
Sebagian besar CSS diproduksi oleh pleksus koroideus, suatu jaringan kapiler darah pada dinding ventrikel³. Kapiler dari pleksus koroideus dilapisi oleh sel endotelial yang diikat oleh *tight junction*. Substansi yang terpilih (sebagian besar adalah air) dari plasma darah, kemudian akan difiltrasi oleh kapiler dan disekresikan oleh sel endotelial untuk menghasilkan CSS. Kapasitas sekresinya memungkinkan untuk produksi CSS yang terus menerus serta transportasi metabolit dari jaringan saraf ke dalam darah. Karena adanya *tight junction* di antara sel-sel endotelial, material yang masuk dalam CSS melalui kapiler koroid tidak akan bocor keluar dari sel-sel tersebut, tetapi zat-zat tersebut akan dipandu melewati sel-sel endotelial. *Blood-cerebrospinal barrier* tersebut akan mengatur substansi apa yang dapat masuk dalam CSS, sehingga menjadi pelindung otak dan medula spinalis dari masuknya zat yang berpotensi bahaya yang terdapat dalam darah. Struktur pelindung tersebut berbeda dengan *blood-brain barrier* yang dibentuk oleh *tight junction* dari sel-sel endotelial kapiler otak.

CSS yang dibentuk di pleksus koroideus pada kedua ventrikel lateral kemudian akan mengalir ke ventrikel ke-3 melalui gerbang sempit berbentuk oval, yang dinamakan foramina interventrikular. Volume CSS kemudian bertambah oleh produk yang dihasilkan dari atap ventrikel ke-3. CSS kemudian mengalir melewati akuaduktus otak tengah (akuaduktus serebral) yang melewati otak tengah sampai ke ventrikel ke-4. Pleksus koroideus pada ventrikel ke-4 akan menambah volume CSS. CSS kemudian masuk ke ruang subaraknoid melalui tiga gerbang pada atap ventrikel ke-4, yaitu 1 aperture media dan 2 aperture lateral yang terdapat pada sisi kanan dan kiri. CSS kemudian bersirkulasi dalam kanalis sentralis pada medula spinalis dan di dalam rongga subaraknoid di sekitar permukaan otak dan medula spinalis.

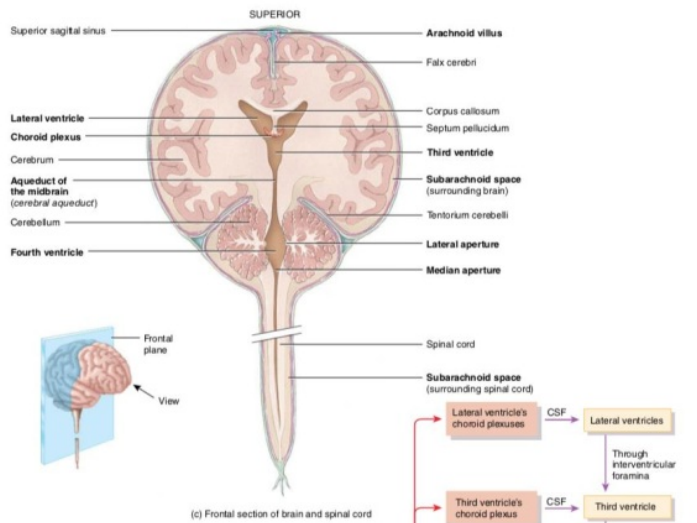
CSS kemudian di-reabsorpsi secara bertahap ke dalam darah melalui vili araknoid terutama pada sinus sagitalis superior. Pada umumnya, CSS diserap kembali dengan kecepatan yang serupa dengan produksinya, yaitu sekitar 20 mL/jam (480 mL/hari)³. Oleh karena kecepatan yang sama antara pembentukan dan reabsorpsi, maka tekanan CSS relatif konstan begitu pula dengan volumenya.

FIGURE 14.4 Pathways of circulating cerebrospinal fluid.

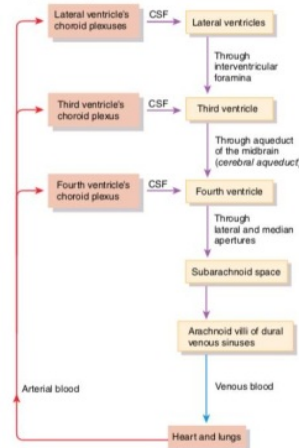
CSF is formed from blood plasma by ependymal cells that cover the choroid plexuses of the ventricles.



(a) Superior view of transverse section of brain showing choroid plexuses



(c) Frontal section of brain and spinal cord



(d) Summary of the formation, circulation, and absorption of cerebrospinal fluid (CSF)

Q Where is CSF reabsorbed?

Gambar 6.2 Jalur Sirkulasi Cairan Serebrospinal (CSS)

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al¹

Sistem Saraf Pusat

Serebrum

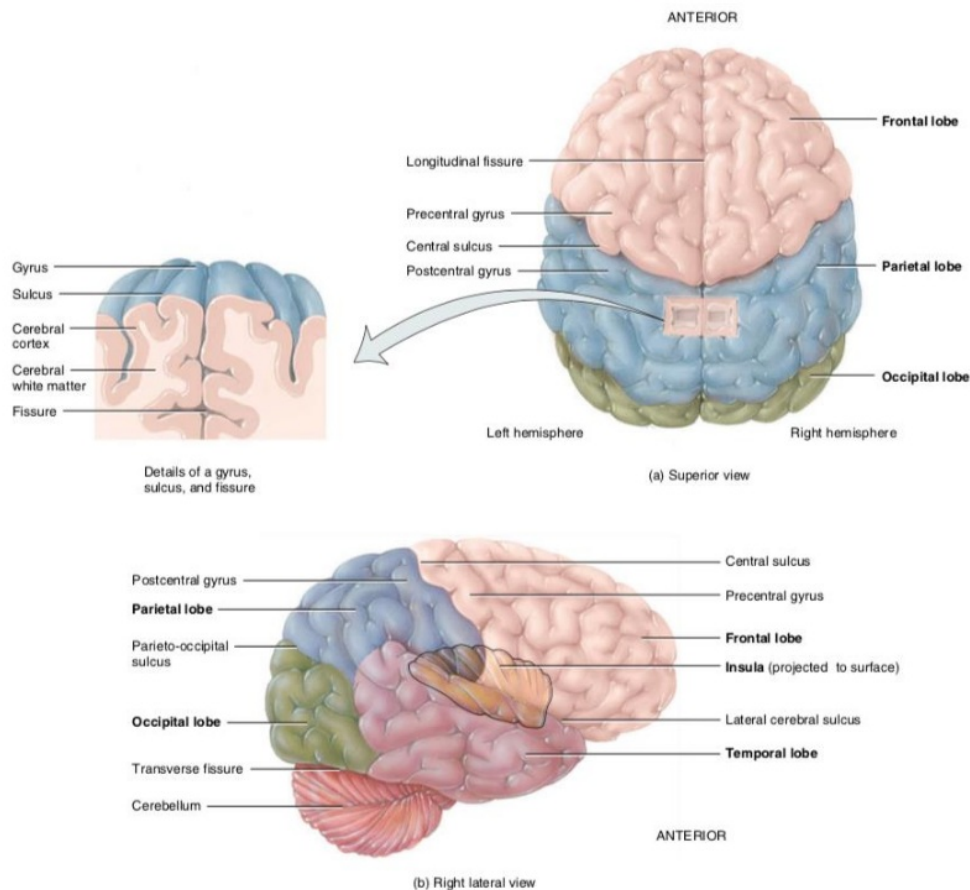
Serebrum merupakan pusat kecerdasan, di mana berkaitan dengan kemampuan untuk membaca, menulis, berbicara, berhitung, mengubah musik, mengingat, merencanakan, dan juga berimajinasi³. Serebrum dibentuk oleh korteks serebral luar, area interna substansia alba dan nuklei substansia grisea di dalamnya³.

Korteks Serebri

Korteks serebrum merupakan regio substansia grisea yang membentuk sisi luar dari serebrum. Sekali pun tebalnya hanya 2-4 mm (0.08-0.16 inchi), korteks serebrum memiliki milyaran neuron yang tersusun pada lapisan tertentu³. Saat perkembangan embrionik, saat ukuran otak meningkat dengan cepat, substansia grisea pada korteks membesar lebih cepat daripada substansia alba di dalamnya. Kemudian, regio kortikal akan berputar dan menggulung dengan sendirinya sehingga membentuk lipatan yang disebut girus. Parit terdalam antara lipatan disebut juga fissura, sementara yang dangkal disebut sulkus. Fissura yang paling dalam adalah fissura longitudinal yang memisahkan serebri menjadi bagian kanan dan kiri atau hemisfer serebrum. Di dalam fissura longitudinal terdapat falks serebri. Hemisfer serebri terhubung secara internal oleh struktur korpus kalosum, suatu pita substansia grisea yang memiliki akson yang memanjang di kedua hemisfer.

FIGURE 14.11 Cerebrum. Because the insula cannot be seen externally, it has been projected to the surface in (b).

The cerebrum is the "seat of intelligence"; it provides us with the ability to read, write, and speak; to make calculations and compose music; to remember the past and plan for the future; and to create.



Gambar 6.3 Serebri

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al¹

Lobus Serebri

Setiap hemisfer serebrum terbagi atas beberapa lobus. Lobus-lobus tersebut dinamakan dengan nama tulang yang melindunginya, seperti frontal, parietal, temporal, dan oksipital³. Sulkus sentralis memisahkan lobus frontal dari lobus parietal. Girus mayor, yaitu girus presentral, yang terletak tepat di depan sulkus sentralis, memiliki area motorik primer korteks serebrum. Girus mayor lainnya, yaitu girus postsentralis, yang terletak tepat di belakang sulkus sentralis, memiliki area somatosensorik korteks serebrum. Sulkus serebralis lateral (fissura) memisahkan lobus frontal dengan lobus temporal. Sulkus parieto-oksipital memisahkan lobus parietal dengan lobus oksipital. Bagian kelima serebrum, yaitu insula, tidak terlihat dari permukaan otak karena terletak di dalam sulkus serebralis lateral, di bawah lobus parietal, frontal, dan temporal.

Cerebral White Matter

Substansia alba serebrum (*cerebral white matter*) tersusun atas akson termielinisasi dalam tiga tipe jaras, yaitu³:

1. Jaras asosiasi yang memiliki akson yang dapat menghantarkan impuls saraf antar girus pada hemisfer yang sama.
2. Jaras komisura yang memiliki akson yang menghantarkan impuls dari girus pada salah satu hemisfer serebrum ke girus bersangkutan pada hemisfer serebrum yang lain. Tiga kelompok utama dari jaras komisura adalah korpus kalosum (ikatan serat otak paling besar, tersusun atas 300 juta serat), komisura anterior, dan komisura posterior.
3. Jaras proyeksi yang memiliki akson yang menghantarkan impuls saraf dari serebrum ke bagian bawah sistem saraf pusat (talamus, batang otak, atau medula spinalis) atau sebaliknya. Contohnya adalah kapsula interna, suatu pita tebal substansia alba yang memiliki akson ascenden maupun descendens.

Nuklei Basal

Di dalam setiap hemisfer serebrum terdapat tiga nuklei (massa substansia grisea), yang disebut juga nuklei basal (dahulu disebut *ganglia basalis*)³. Dua nuklei basal terletak pada sisi kanan dan kiri, tepat di samping talamus. Nuklei tersebut adalah globus pallidus, yang dekat dengan talamus, serta putamen, yang berada dekat dengan korteks serebrum. Kedua struktur tersebut membentuk nukleus lentiform. Nukleus ke-3, yaitu nukleus kaudatus, yang memiliki struktur menyerupai kepala yang terhubung dengan struktur yang menyerupai ekor, dengan bentuk "tubuh" yang menyerupai bentuk simbol koma. Nuklei lentiform dan kaudatus membentuk korpus striatum. Struktur sekitar yang fungsinya berhubungan dengan nuklei basal adalah substansia nigra mesensefalon dan nuklei subtalamus diensefalon. Akson-akson dari substansia nigra berakhir di nukleus kaudatus dan putamen. Nuklei subtalamus saling berhubungan dengan globus pallidus dan putamen. Nuklei subtalamus, suatu lembaran tipis substansia grisea, berada di samping putamen. Struktur tersebut dianggap sebagai subdivisi dari nuklei basal. Fungsi klaustrum pada manusia sendiri masih belum jelas, namun diduga berhubungan dengan perhatian visual.

Nuklei basal menerima input dari korteks serebrum dan memberikan *output* ke bagian motorik korteks lewat kelompok nuklei medial dan ventral dari talamus. Fungsi utama nuklei basal adalah membantu mengatur inisiasi dan terminasi gerakan³. Aktivitas neuron dalam putamen dapat mendahului maupun mengantisipasi gerakan tubuh, di mana aktivitas neuron pada nukleus kaudatus berhubungan dengan gerakan mata. Globus pallidus membantu dalam mengatur tonus otot yang dibutuhkan untuk gerakan tubuh tertentu³. Nuklei basal juga berfungsi mengendalikan kontraksi bawah sadar dari otot skeletal (contoh: gerakan ayunan tangan yang otomatis terjadi saat berjalan maupun menutup mulut saat tertawa mendengarkan lelucon).

Sebagai tambahan terhadap pengaruhnya pada fungsi motorik, nuklei basal juga memiliki peran lain, seperti membantu inisiasi dan terminasi proses kognitif tertentu, memperhatikan, memori, merencanakan, serta mengatur sistem limbik untuk regulasi terhadap emosi³. Gangguan seperti adanya penyakit Parkinson, gangguan obsesif kompulsif, skizofrenia, dan ansietas kronis diduga dapat menyebabkan disfungsi sirkuit antara nuklei basal dan sistem limbik.

Sistem Limbik

Struktur yang mengelilingi bagian atas batang otak dan korpus kalosum merupakan struktur berbentuk cincin pada sisi dalam serebrum dan lantai diensefalon, yang membentuk sistem limbik. Komponen utama sistem limbik adalah³:

1. Lobus limbik yang merupakan sisi dari korteks serebri pada bagian medial setiap hemisfer, mencakup girus cingulus (di atas korpus kallosum) dan girus parahippokampus, Hippokampus merupakan bagian dari girus parahippokampus yang meluas ke dasar ventrikel ke-3.
2. Girus dentatus berada di antara girus hippocampus dan parahippokampus.
3. Amigdala yang tersusun atas beberapa kelompok neuron yang terletak di dekat struktur “ekor” nukleus kaudatus.
4. Nuklei septalis yang terletak di dalam area septal yang dibentuk oleh regio di bawah korpus kallosum dan girus paraterminalis.
5. Badan mammillari hipotalamus yang tampak seperti dua buah massa bulat, berada dekat dengan garis tengah pedunkulus serebralis.
6. Dua macam nuklei talamus, nukleus anterior dan medial, yang menjadi bagian sirkuit limbik.
7. Bulbus olfaktorius yang berbentuk gepeng pada jaras olfaktorius dan terletak pada lempeng kribriiformis.
8. Fornix, stria terminalis dan medullaris, *medial forebrain bundle*, traktus mammillotalamus yang saling berhubungan lewat ikatan akson termieliniasi.

Sistem limbik terkadang disebut juga “bagian otak yang emosional” karena perannya dalam pengaturan emosi, yang berkaitan dengan nyeri, kesenangan, ketenangan, afeksi, dan kemarahan. Sistem tersebut juga terlibat dalam fungsi penghidu dan memori. Sistem limbik dan sebagian serebrum juga berperan terhadap fungsi memori seseorang. Salah satu bagian dari sistem limbik, yaitu hippocampus, ternyata memiliki fitur unik dibandingkan sistem saraf pusat lainnya, yaitu kemampuan untuk bermitosis, sehingga bagian tersebut mampu untuk menghasilkan neuron-neuron baru saat seseorang mempelajari hal baru, bahkan pada usia lanjut.

2 Batang Otak

Medula Oblongata

Medula oblongata merupakan bagian inferior batang otak dan superior dari medula spinalis. Medula oblongata bermula di foramen magnum sampai ke batas inferior pons dan berukuran sekitar 3 cm (1,2 inci)³. Substantia alba terdiri dari semua jaras sensorik ascenden dan motorik descenden yang berjalan ke medula spinalis dan bagian otak yang lain. Beberapa dari substantia alba tersebut membentuk tonjolan di bagian anterior yang disebut *pyramid* (piramida) yaitu oleh jaras (traktus) kortikospinal besar yang lewat dari serebrum menuju medula spinalis. Traktus kortikospinal mengatur pergerakan sadar dari ekstremitas dan tubuh. Superior dari persambungan medula oblongata dengan medula spinalis, 90% akson dari piramida kiri menyeberang ke sisi kanan begitu juga sebaliknya³. Persilangan ini disebut *decussation of pyramids* dan menjelaskan mengapa sisi otak yang satu mengatur pergerakan sadar sisi tubuh yang lain.

Medula oblongata juga terdiri dari beberapa nuklei, kumpulan badan sel saraf di dalam susunan saraf pusat. Beberapa nuklei mengatur fungsi-fungsi vital tubuh seperti aktivitas vital meliputi pengaturan pusat kardiovaskular dan ritme medula. Pusat kardiovaskular meregulasi kecepatan dan kekuatan denyut jantung dan diameter pembuluh darah. Pusat pernapasan menyesuaikan ritme dasar pernapasan. Selain itu, nuklei tersebut juga mengatur refleks-refleks muntah, bersin, batuk dan cegukan.

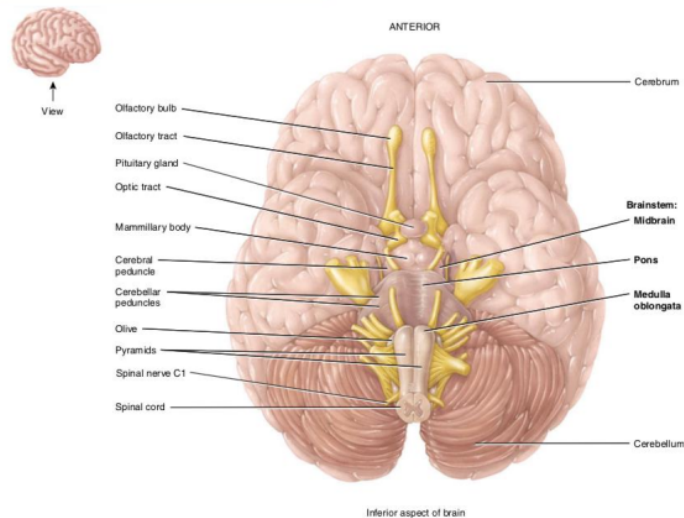
Di lateral dari *pyramids* terdapat penonjolan berbentuk oval yang disebut *olive* di mana di dalamnya terdapat nukleus *inferior olivary* yang menerima sinyal dari korteks serebri, *red nucleus* dari otak tengah, dan medula spinalis. Neuron-neuron dari nukleus *inferior olivary* memperluas aksonnya ke serebelum, di mana mereka meregulasi aktivitas neuron-neuron serebelum sehingga dapat memberikan instruksi pada serebelum untuk melakukan penyesuaian aktivitas otot saat seseorang mempelajari kemampuan motorik baru.

Nuklei yang berhubungan dengan sensasi sentuhan, tekanan, getaran, dan propioseptik terletak di bagian posterior dari medula. Nuklei tersebut adalah nukleus gracilis kanan dan kiri, serta nukleus kuneatus. Akson sensori *ascendens* dari fasikulus gracilis dan kuneatus, merupakan dua jalur pada kolumna posterior medula spinalis, yang kemudian membentuk sinaps pada nuklei tersebut. Neuron pascasinaps akan meneruskan informasi sensorik ke talamus pada sisi otak yang berlawanan. Akson yang naik ke talamus berada dalam pita substansia alba yang disebut juga lemniskus medial, yang memanjang melewati medula, pons, dan otak tengah. Jalur pada kolumna posterior dan akson pada lemniskus medial dikenal juga dengan nama jalur kolumna posterior lemniskus medial.

2
 Medula juga memiliki nuklei yang merupakan komponen dari jalur sensorik pengecapan, pendengaran, dan keseimbangan. Nukleus gustatorius medula merupakan bagian dari jalur pengecapan dari lidah ke otak, yang menerima input pengecapan dari *taste buds* yang berada pada lidah. Nuklei koklearis medula merupakan bagian dari jalur auditorius pada telinga dalam dan otak, yang menerima input auditorius dari koklea pada telinga tengah. Nuklei vestibularis medula dan pons merupakan komponen jalur keseimbangan, yang menerima informasi sensorik yang berhubungan dengan keseimbangan dari propioseptik (reseptor yang memberikan informasi mengenai posisi tubuh dan pergerakannya) pada komponen vestibularis telinga dalam.

FIGURE 14.5 Medulla oblongata in relation to the rest of the brainstem.

The brainstem consists of the medulla oblongata, pons, and midbrain.



Gambar 6.4 Medulla Oblongata dan Bagian Otak yang Lain

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al¹

Medula memiliki nuklei yang berhubungan dengan lima pasang nervus kranialis: nervus vestibulokoklearis (Nc. VIII), nervus glossofarineus (Nc. IX), nervus vagus (Nc. X), nervus aksesorius (Nc. XI – bagian kranial), dan nervus hipoglosus (Nc. XII)³. Pada nervus vestibulokoklearis, beberapa nuklei pada medula menerima *input* sensorik dan memberikan *output* motorik pada koklea yang terdapat pada telinga dalam lewat nervus vestibulokoklearis. Nervus ini meneruskan impuls yang berhubungan dengan pendengaran. Pada nervus glossofarineus, nuklei pada medula yang meneruskan impuls sensorik dan motorik yang berhubungan dengan pengecapan, refleks menelan, dan salivasi lewat nervus glossofarineal. Pada nervus vagus, nuklei pada medula menerima impuls sensorik serta memberikan impuls motorik ke faring dan laring dan beberapa visera torakal serta abdominal lewat nervus vagus. Pada nervus aksesorius, serat-serat tersebut sebenarnya merupakan bagian dari nervus vagus (Nc X). Nuklei pada medula merupakan asal dari impuls saraf yang mengendalikan refleks menelan lewat nervus vagus (bagian kranial dari nervus aksesorius). Pada nervus hipoglossus (Nc XII), nuklei pada medula merupakan asal impuls saraf yang mengendalikan gerakan lidah saat berbicara dan menelan lewat nervus hipoglosus.

3 Pons

Pons terletak tepat di atas medula dan anterior dari serebelum, dengan panjang lebih kurang 2.5 cm (1 inchi)³. Serupa dengan medula, pons memiliki nuklei dan juga traktus. Seperti arti nama latinnya (pons = jembatan) pons merupakan jembatan yang menghubungkan bagian-bagian otak satu dengan lainnya. Hubungan ini didukung oleh kumpulan akson. Beberapa akson pada pons menghubungkan bagian kanan dan kiri dari serebelum. Sisanya merupakan bagian dari traktus sensorik ascendens dan descendens dari traktus motorik.

Pons memiliki dua komponen struktural utama, yaitu bagian ventral dan dorsal. Bagian ventral pons membentuk stasiun hantaran sinaps besar yang memiliki nuklei pontinus. Traktus substansia alba masuk dan keluar dari nuklei tersebut, di mana masing-masing menghubungkan antara korteks hemisfer serebri ke hemisfer serebelum pada sisi

yang berlawanan. Sirkuit kompleks tersebut berperan dalam koordinasi dan memaksimalkan efisiensi dari output motorik volunter dari seluruh tubuh. Bagian dorsal pons serupa dengan bagian lain dari batang otak, medula, dan otak tengah yang mengandung traktus-traktus *ascenden* dan *descenden* bersama-sama dengan nuklei nervus kranialis. Selain itu, pada pons juga terdapat *pontine respiratory group* yang bersama-sama dengan *medullary respiratory center* mengatur pernapasan. Pons juga mengandung nuklei yang berhubungan dengan empat pasang nervus kranialis yaitu *nervus trigeminus* (V), *nervus abducens* (VI), *nervus fasialis* (VII), dan *nervus vestibulokoklear* (VIII). Pada *nervus trigeminus*, nuklei ini menerima impuls sensori untuk sensasi somatik yang berasal dari kepala dan wajah dan memberikan impuls motorik yang mengatur proses mengunyah melalui *nervus trigeminus*. Pada *nervus abducens*, nuklei ini memberikan impuls motorik yang mengatur pergerakan bola mata melalui *nervus abducens*. Pada *nervus fasialis*, nuklei ini menerima impuls sensorik untuk pengecapan dan memberikan impuls motorik yang mengatur sekresi saliva dan air mata serta kontraksi otot-otot pada ekspresi wajah melalui *nervus fasialis*. Pada *nervus vestibulokoklear*, nuklei ini menerima impuls sensorik yang berasal dari dan memberikan impuls motorik untuk apparatus vestibular melalui *nervus vestibulokoklearis*. Nervus-nervus ini menyampaikan impuls yang berkaitan dengan keseimbangan dan ekuilibrium.

Otak tengah

Otak tengah atau mesensefalon berawal dari pons sampai diensefalon dengan panjang sekitar 2,5 cm (1 inci)³. Akuaduktusnya (*cerebral aqueduct*) melewati otak tengah dan menghubungkan ventrikel ketiga di atas dan ventrikel keempat di bawah. Sama halnya dengan medula dan pons, otak tengah mengandung nuklei dan traktus. Di bagian anterior medula terdapat *cerebral peduncles* yang terdiri dari akson-akson traktus kortikospinal, kortikobulbar dan kortikopontin yang menghantarkan impuls saraf dari area motorik korteks serebral menuju ke medula spinalis, medula dan pons. Di bagian posteriornya terdapat *tectum* yang terdiri dari *superior colliculi* yang merupakan pusat refleks aktivitas visual tertentu (seperti melacak benda yang bergerak dan memindai benda yang diam) dan *inferior colliculi* yang merupakan bagian dari jaras auditori dan pusat refleks dari *startle reflex* yaitu refleks kepala, mata, tubuh yang bergeak tiba-tiba ketika terkejut. Selain itu, otak tengah juga mengandung beberapa nuklei lain seperti *substantia nigra* dan *red nuclei*. Pada *substantia nigra* terdapat neuron-neuron yang melepaskan dopamin dan membantu aktivitas otot bawah sadar. Jika neuron-neuron tersebut tidak berfungsi maka dapat terjadi penyakit Parkinson. Pada *red nuclei* terdapat akson-akson yang membantu mengatur pergerakan otot. Pada otak tengah juga terdapat nuklei-nuklei lain yang memiliki hubungan dengan dua pasang nervus kranialis yaitu *oculomotor* (nervus III), yang mengatur pergerakan bola mata dan otot polos yang meregulasi konstiksi pupil serta perubahan bentuk lensa, dan *troklearis* (nervus IV) yang mengatur pergerakan bola mata.

Formasio retikularis

Formasio retikularis merupakan daerah di mana *substantia alba* dan *grisea* membuat susunan seperti jaring. Daerah ini bermula dari medula spinalis superior, sepanjang batang otak, dan sampai ke bagian inferior dari diensefalon. Pada daerah ini terdapat neuron-neuron yang memiliki fungsi sensorik (*ascenden*) dan motorik (*descenden*). Pada bagian *ascenden* terdapat *reticular activating system* (RAS) yang paling penting dalam mengatur kesadaran. Inaktivasi dari RAS akan menyebabkan tidur dan jika terjadi kerusakan akan mengakibatkan koma. Selain itu, RAS juga mempunyai fungsi regulasi tonus otot, laju jantung, tekanan darah dan laju napas.

Serebelum

Serebelum, yang terletak di bagian inferior dan posterior kavitas kranialis, memiliki permukaan yang sangat terlipat sehingga memiliki area yang luas dan memungkinkan memuat banyak neuron (sama halnya dengan seberum). Serebelum memiliki massa sepersepuluh dari otak dan mengandung hampir setengah neuron di otak. Dilihat dari superior dan inferior, bentuknya seperti kupu-kupu. Di bagian tengah terdapat *vermis* dan di bagian lateral (sayap atau lobus) terdapat *cerebellar hemisphere*. Masing-masing hemisfer terdiri dari lobus-lobus: lobus anterior dan posterior mengatur gerakan otot bawah sadar; lobus flokulonodular (di inferior) mengatur ekuilibrium dan keseimbangan. Pada lapisan permukaan terdapat *cerebellar cortex* yang mengandung *folia* (*substantia grisea*). Di bagian dalamnya terdapat *arbor vitae* (*substantia alba*) yang menyerupai cabang-cabang pohon. Di bagian yang lebih dalam terdapat *cerebellar nuclei* (*substantia grisea*) yang memunculkan akson yang membawa impuls ke pusat-pusat otak lainnya. Tiga pasang *cerebellar peduncles* menempelkan serebelum ke batang otak: superior, tengah, dan inferior. *Cerebellar peduncles* superior mengandung akson-akson dari serebelum ke *red nuclei* pada otak tengah dan beberapa nuklei talamus.

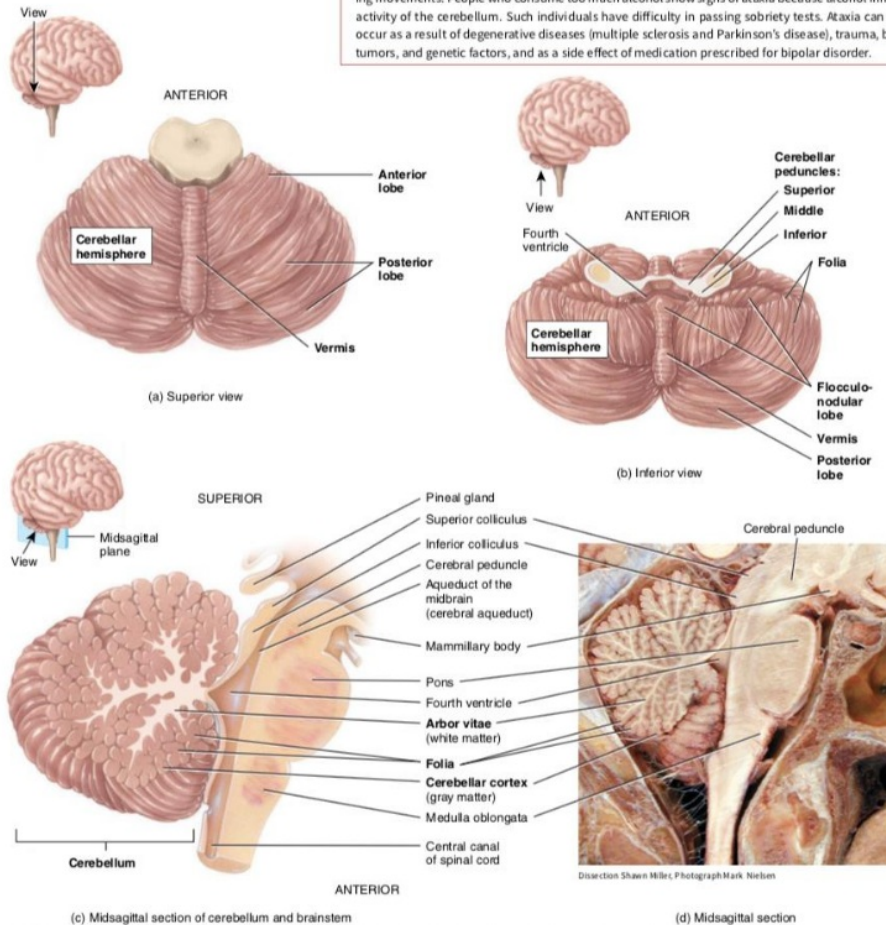
Cerebellar peduncles tengah membawa impuls untuk pergerakan sadar dari nuklei pontin dan korteks serebri ke serebelum. *Cerebellar peduncles* inferior terdiri dari akson traktus spinocerebellar (yang membawa impuls sensorik dari proprioceptor di *trunk* dan ekstremitas), akson dari apparatus vestibular telinga bagian dalam dan nuklei vestibular *medulla* dan pons (yang membawa impuls sensorik dari proprioceptor di kepala), akson dari nukleus *olivary* inferior (yang mengatur aktivitas neuron-neuron serebelum), akson yang menuju ke nuklei vestibularis medulla dan pons, dan akson yang menuju ke formasio retikularis.

FIGURE 14.8 Cerebellum.

The cerebellum coordinates skilled movements and regulates posture and balance.

Clinical Connection

Damage to the cerebellum can result in a loss of ability to coordinate muscular movements, a condition called **ataxia** (a-TAK-sé-á; *a* = without; *-taxia* = order). Blindfolded people with ataxia cannot touch the tip of their nose with a finger because they cannot coordinate movement with their sense of where a body part is located. Another sign of ataxia is a changed speech pattern due to uncoordinated speech muscles. Cerebellar damage may also result in staggering or abnormal walking movements. People who consume too much alcohol show signs of ataxia because alcohol inhibits activity of the cerebellum. Such individuals have difficulty in passing sobriety tests. Ataxia can also occur as a result of degenerative diseases (multiple sclerosis and Parkinson's disease), trauma, brain tumors, and genetic factors, and as a side effect of medication prescribed for bipolar disorder.



Q Which structures contain the axons that carry information into and out of the cerebellum?

Gambar 6.5 Serebelum

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al¹

Fungsi utama dari serebelum ialah untuk mengevaluasi seberapa baik pergerakan yang diinisiasi oleh area motorik serebri. Serebelum akan mendeteksi jika gerakan tersebut tidak dilaksanakan dengan benar kemudian mengirim sinyal umpan balik ke area motorik tersebut melalui talamus. Sinyal ini akan membantu memperbaiki kesalahan, menghaluskan gerakan, dan mengkoordinasikan urutan kompleks kontraksi otot lurik. Selain itu, serebelum juga mengatur postur dan keseimbangan sehingga memungkinkan dilakukannya gerakan otot yang terampil seperti menangkap bola, menari, dan berbicara. Serebelum juga memiliki fungsi nonmotorik seperti kognisi (memperoleh

pengetahuan) dan pemrosesan bahasa dengan adanya koneksi timbal balik antara serebelum dan area asosiasi korteks serebri. Serebelum juga dapat berperan dalam memproses informasi sensorik.

Diensefalon

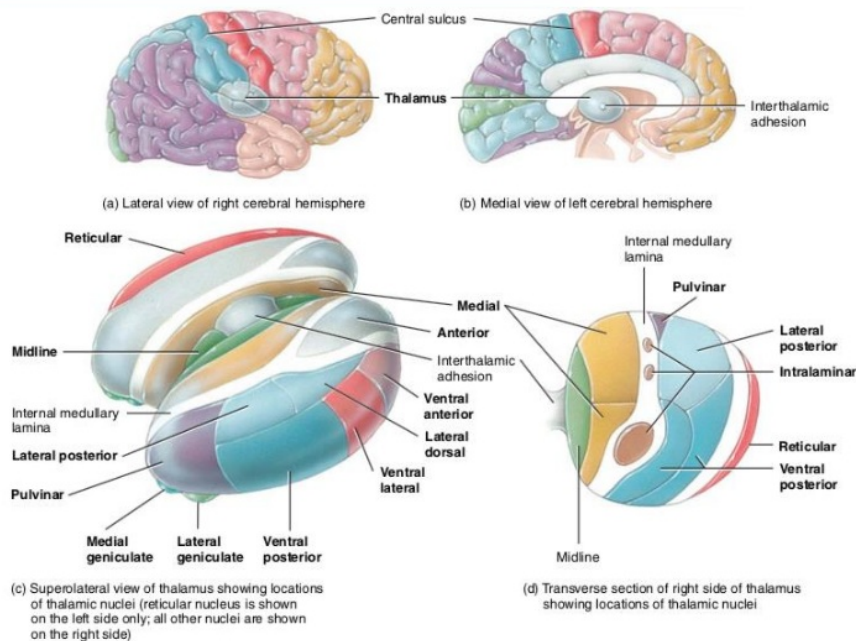
Diensefalon, yang membentuk inti pusat jaringan otak persis superior dari otak tengah, hampir seluruhnya dikelilingi oleh hemisfer serebri. Diensefalon mengandung banyak inti yang terlibat dalam berbagai pemrosesan sensorik dan motorik antara pusat otak yang lebih tinggi dan lebih rendah. Diensefalon membentang dari batang otak ke serebri dan mengelilingi ventrikel ketiga. Diensefalon meliputi thalamus, hipotalamus dan epitalamus.

Talamus

Talamus, yang merupakan 80% dari diensefalon, memiliki panjang sekitar 3 cm (1,2 inci)³. Talamus adalah stasiun *relay* utama untuk sebagian besar impuls sensorik sebelum mencapai area sensorik utama korteks serebri. Selain itu, talamus berkontribusi pada fungsi motorik dengan cara mentransmisikan informasi dari serebelum dan nuklei basal ke area motorik korteks serebri. Talamus juga menyampi impuls saraf di antara berbagai area serebri dan memainkan peran dalam pemeliharaan kesadaran.

FIGURE 14.9 Thalamus. Note the position of the thalamus in the lateral view (a) and in the medial view (b). The various thalamic nuclei shown in (c) and (d) are correlated by color to the cortical regions to which they project in (a) and (b).

The thalamus is the principal relay station for sensory impulses that reach the cerebral cortex from other parts of the brain and the spinal cord.



Gambar 6.6 Talamus

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al¹

Berdasarkan posisi dan fungsinya, masing-masing sisi talamus terdapat tujuh kelompok nuklei utama (nukleus anterior, medial, lateral, ventral, intralaminar, garis tengah, dan retikular)³:

1. Nukleus anterior, menerima input dari hipotalamus dan mengirimkan output ke sistem limbik, berfungsi dalam emosi dan memori.
2. Nuklei medial, menerima input dari sistem limbik dan nuklei basal dan mengirimkan output ke korteks serebri, berfungsi dalam emosi, pembelajaran, memori dan kognisi (proses berpikir dan mengetahui).
3. Nuklei lateral, menerima input dari sistem limbik, *superior colliculi* dan korteks serebri dan mengirimkan output ke korteks serebri, berfungsi dalam ekspresi emosi. Selain itu, nukleus di bagian ini juga membantu mengintegrasikan informasi sensorik.

- Nuklei ventral anterior, menerima input dari nuklei basal dan mengirimkan output ke area motorik korteks serebri, berfungsi dalam kontrol gerakan. Nuklei ventral lateral, menerima input dari serebelum dan nuklei basal dan mengirimkan output ke area motorik korteks serebri. Nuklei ini juga berfungsi dalam mengatur gerakan. Nuklei ventral posterior, menyampaikan impuls untuk sensasi somatik seperti sentuhan, tekanan, getaran, gatal, geli, suhu, nyeri, dan propriosepsi dari wajah dan tubuh ke korteks serebri. Nukleus genikulata lateral menyampaikan impuls visual ke area visual primer korteks serebri dan nukleus genikulata medial menyampaikan impuls pendengaran dari telinga ke area pendengaran utama korteks serebri.
- Nuklei intralaminar terletak di dalam lamina medula interna dan membuat koneksi dengan *formatio reticularis*, serebelum, nuklei basal dan area luas dari korteks serebri. Nuklei ini berfungsi dalam gairah (aktivasi korteks serebri dari formatio retikularis batang otak) dan integrasi informasi sensorik dan motorik.
- Nukleus garis tengah, yang membentuk pita tipis yang berdekatan dengan ventrikel ketiga, diduga berfungsi dalam memori dan penciuman.
- Nukleus reticular, yang mengelilingi aspek lateral talamus di sebelah kapsula interna, berfungsi memonitor, menyaring dan mengintegrasikan kegiatan nuklei talamus lainnya.

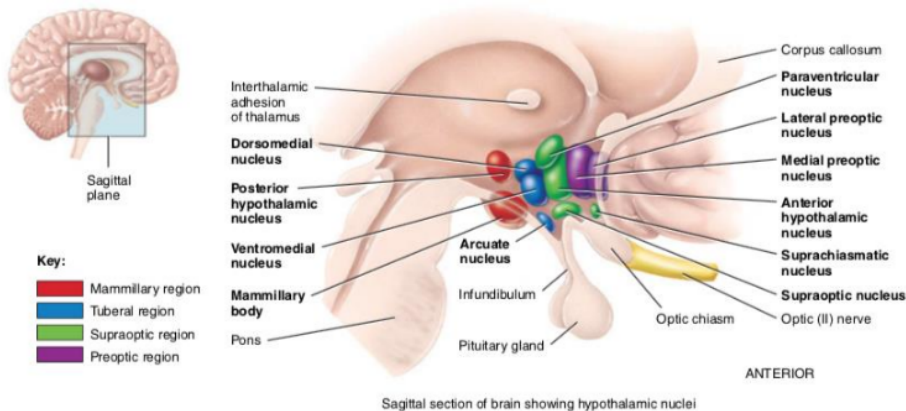
3 Hipotalamus

Hipotalamus merupakan bagian dari diensefalon yang terletak di bawah talamus. Struktur tersebut dibentuk atas banyak nuklei yang tersusun di empat area utama, yaitu³:

- Regio mamilaris yang meluas ke mesensefalon, merupakan bagian paling posterior dari hipotalamus. Pada regio tersebut terdapat badan mamilaris dan nuklei hipotalamus posterior. Badan mamilaris merupakan dua penonjolan bulat yang berperan sebagai stasiun penghantar refleksi yang berkaitan dengan sensasi penghidu.
- Regio tuberal merupakan bagian paling luas dari hipotalamus, di mana terdapat nukleus dorsomedial, ventromedial, dan arkuata, serta infundibulum, yang menghubungkan kelenjar pituitari dengan hipotalamus. *Median eminence* merupakan penonjolan bulat yang mengelilingi infundibulum.
- Regio supraoptik yang berada di atas kiasma optikus dan memiliki nukleus paraventrikular, supraoptik, hipotalamus anterior, dan suprakiasmatis. Akson dari nuklei paraventrikular dan supraoptik membentuk jaras hipotalamohipofiseal yang memanjang melewati infundibulum ke lobus posterior pituitari.
- Regio preoptik, anterior dari supraoptik juga dianggap sebagai bagian dari hipotalamus karena ikut membantu hipotalamus dalam mengatur aktivitas otonom tertentu. Regio preoptik memiliki nuklei medial dan lateral.

FIGURE 14.10 Hypothalamus. Selected portions of the hypothalamus and a three-dimensional representation of hypothalamic nuclei are shown (after Netter).

The hypothalamus controls many body activities and is an important regulator of homeostasis.



Gambar 6.7 Hipotalamus

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al¹

16 Hipotalamus mengatur banyak aktivitas tubuh dan merupakan salah satu dari regulator utama homeostasis. Impuls sensorik yang berhubungan dengan sensasi somatis dan viseral akan sampai ke hipotalamus, begitu juga dengan penglihatan, pengecapan, dan penghidu. Reseptor lain dalam hipotalamus sendiri akan terus memonitor tekanan

osmotik, level glukosa darah, konsentrasi hormon tertentu, dan temperatur darah. Hipotalamus juga memiliki beberapa hubungan penting dengan kelenjar pituitari dan menghasilkan berbagai hormon. Beberapa fungsi terkait dengan nuklei hipotalamus tertentu, tapi lainnya tidak jelas lokasinya. Fungsi penting dari hipotalamus mencakup³:

1. Kontrol terhadap sistem saraf otonom

Hipotalamus mengontrol dan mengintegrasikan aktivitas sistem saraf otonom, yang mengatur kontraksi otot polos dan otot jantung, serta sekresi berbagai kelenjar. Akson-akson keluar dari hipotalamus ke nuklei parasimpatis dan simpatis dari batang otak dan medula spinalis. Hipotalamus sendiri merupakan regulator utama dari aktivitas viseral, mencakup regulasi denyut jantung, pergerakan makanan di traktus gastrointestinal, dan kontraksi kandung kemih.

2. Produksi hormon

Hipotalamus memproduksi beberapa hormon dan memiliki dua bentuk hubungan dengan kelenjar pituitari, suatu kelenjar endokrin yang terletak inferior dari hipotalamus. Pertama, hormon hipotalamus, yang dikenal juga dengan hormon pelepas dan penghambat, akan keluar ke kapiler pada *median eminence*. Aliran darah kemudian akan membawa hormon tersebut ke lobus anterior pituitari, di mana akan terjadi stimulasi maupun penghambatan sekresi dari hormon pituitari anterior. Kedua, akson-akson yang keluar dari nuklei paraventrikular dan supraoptik, melewati infundibulum, sampai ke lobus posterior pituitari. Badan sel dari neuron-neuron tersebut akan membuat salah satu dari dua hormon (oksitosin atau hormon antidiuretik). Akson-aksonnya akan membawa hormon tersebut ke bagian posterior pituitari, dimana mereka akan dilepaskan.

3. Regulasi pola emosional dan kebiasaan

Bersama dengan sistem limbik, hipotalamus berperan dalam ekspresi kemarahan, agresi, nyeri, dan rasa senang, serta gairah seksual.

4. Regulasi makan dan minum

Hipotalamus mengatur asupan makanan, dimana terdapat pusat makan, yang menginisiasi keinginan untuk makan, serta pusat kepuasan, yang mencetuskan sensasi kenyang dan ingin menghentikan makan. Hipotalamus juga mengatur pusat haus..

5. Kontrol suhu tubuh

Hipotalamus berfungsi sebagai termostat tubuh, dimana akan mendeteksi suhu tubuh dan akan dijaga pada temperatur tertentu.

6. Regulasi ritme sirkadian

Nukleus suprakiasmatik hipotalamus berfungsi sebagai jam biologis internal tubuh yang mengatur ritme sirkadian, suatu pola aktivitas biologis (contoh: aktivitas tidur dan bangun) yang terjadi dalam jadwal sirkadian (24 jam). Input visual yang diterima nukleus suprakiasmatik akan mensinkronisasi neuron pada nukleus tersebut dengan siklus terang-gelap yang berhubungan dengan siang dan malam.

Epitalamus

Epitalamus merupakan daerah kecil pada superior dan posterior talamus, yang tersusun atas kelenjar pineal dan nuklei habenular. Kelenjar pineal berukuran sebesar kacang dan menonjol dari posterior garis tengah ventrikel ke-3. Kelenjar pineal merupakan bagian dari sistem endokrin karena dapat mensekresi hormon melatonin³. Melatonin dapat membantu meregulasi ritme sirkadian, yang diinisiasi oleh nukleus suprakiasmatik hipotalamus. Sebagai respons dari input visual dari retina mata, maka nukleus tersebut akan menstimulasi kelenjar pineal (lewat persarafan simpatis) untuk mensekresi hormon melatonin pada pola ritmik, dengan rendahnya konsentrasi melatonin yang disekresi saat siang hari, dan sebaliknya pada malam hari. Nuklei habenular terlibat dalam fungsi penghidu, umumnya respons emosional pada bau tertentu (contoh: bau parfum pasangan atau masakan orang tua).

Circumventricular Organs (CVO)

Bagian dari diensefalon yang disebut CVO terletak pada dinding ventrikel ke-3, dan berfungsi memonitor perubahan kimiawi pada darah karena kurangnya *blood-brain barrier*. CVO merupakan bagian dari hipotalamus, kelenjar pineal, pituitari, dan beberapa struktur lain di sekitarnya. Regio tersebut berfungsi dalam mengatur aktivitas homeostasis endokrin dan sistem saraf, seperti regulasi tekanan darah, keseimbangan cairan, rasa lapar, dan haus. CVO juga diduga sebagai gerbang masuk HIV ke dalam otak, dan menginduksi AIDS, demensia, serta gangguan neurologis lainnya.

Medula spinalis

Medula spinalis berada di dalam kolumna vertebralis, di dua pertiga atas kanalis vertebralis dan di rostral berlanjut menjadi medulla oblongata batang otak¹. Kolumna vertebralis memiliki empat kurvatura: servikal dan lumbal (konkaf di posterior); torakal dan sacral (konveks di posterior)⁴. Kolumna vertebralis memiliki peran dalam transmisi berat badan melalui panggul, perlindungan medula spinalis, poros untuk kepala, dan fasilitasi gerakan⁴. Terdapat 33 tulang vertebra: 7 servikal, 12 torakal, 5 lumbal, 5 sakral dan 4 koksigeal.

Meninges

Meninges merupakan jaringan ikat pelindung yang menyelubungi medula spinalis (sama halnya dengan otak). Dari lapisan terluar sampai terdalam *meninges* terbagi atas duramater, araknoid mater, piamater. *Meninges* spinalis mengelilingi medula spinalis dan berlanjut dengan *meninges* kranialis, yang mengelilingi otak. Ketiga *meninges* menyelubungi nervus spinalis sampai mereka keluar dari kolumna spinalis lewat foramina intervertebralis. Medula spinalis juga dilindungi oleh bantalan lemak dan jaringan ikat yang terletak pada ruang epidural, suatu ruangan di antara duramater dan dinding dari kanalis vertebralis. Berikut merupakan deskripsi dari setiap lapisan *meninges*³:

1. Duramater
Duramater merupakan lapisan paling luar, tebal dan dibentuk oleh jaringan ikat padat yang tidak beraturan. Duramater membentuk kantung dari level foramen magnum pada tulang oksipital, dimana berlanjut dengan dura mater meningeal pada otak, sampai vertebra sakralis segmen ke-2. Duramater juga berhubungan dengan epineurium, suatu pelindung luar nervus spinalis dan kranialis.
2. Araknoid mater
Duramater merupakan lapisan tipis yang bersifat avaskular dan tersusun atas jaringan longgar kolagen serta serat elastis. Lapisan ini dinamakan seperti itu karena susunannya yang mirip jaring laba-laba. Letaknya di bawah duramater, dan lewat foramen magnum juga berhubungan dengan lapisan yang terdapat pada otak. Di antara lapisan ini dan duramater terdapat rongga subdural yang berisi cairan interstitial.
3. Piamater
Piamater merupakan lapisan *meninges* paling dalam, tipis transparan dan tersusun atas jaringan ikat yang melekat pada permukaan medula spinalis dan otak. Lapisan ini tersusun atas sel skuamos dan kuboid dalam jalinan serat kolagen dan serat elastis. Dalam piamater, terdapat banyak pembuluh darah yang memasok oksigen dan nutrisi terhadap medula spinalis. Perluasan membran berbentuk segi tiga dari piamater menggantungkan medula spinalis pada pertengahan dari lapisan dural. Perluasan ini disebut juga ligamen dentikulatus, yang merupakan penebalan dari piamater. Struktur tersebut juga bersatu dengan araknoid mater dan permukaan dalam dari duramater, di antara akar nervus spinalis anterior dan posterior pada kedua sisinya. Ligamen tersebut juga berfungsi melindungi medula spinalis terhadap dislokasi mendadak yang dapat menyebabkan syok. Di antara araknoid mater dan piamater terdapat rongga subaraknoid yang memiliki cairan serebrospinal yang berfungsi sebagai peredam kejutan.

Anatomi Eksternal

Potongan medula spinalis berbentuk agak oval, di mana sedikit datar pada bagian anterior dan posteriornya. Pada orang dewasa, medula spinalis memanjang dari medula oblongata, di bagian inferior otak, sampai batas superior dari vertebra lumbal ke-2³. Pada bayi, struktur tersebut memanjang sampai segmen ke-3 atau ke-4 dari vertebra lumbal³. Saat usia anak, baik medula spinalis dan kolumna vertebralis akan tumbuh lebih panjang daripada pertumbuhan tubuh keseluruhan. Pemanjangan medula spinalis akan berhenti pada usia 4 atau 5 tahun, tetapi pertumbuhan kolumna vertebralis akan tetap berlanjut³. Oleh karena itu, medula spinalis tidak akan berukuran lebih panjang daripada kolumna vertebralis. Panjang medula spinalis pada dewasa adalah sekitar 42–45 cm (16–18 inchi)³. Diameter maksimalnya adalah sekitar 1.5 cm (0.6 inchi) pada regio servikal bawah, dan lebih kecil lagi pada bagian torakal serta ujung inferiornya³.

Saat medula spinalis dilihat secara eksternal, terdapat dua pembesaran mencolok (*enlargement*) yang dapat terlihat³. Pembesaran superior, disebut juga pembesaran servikal, memanjang dari vertebra servikal ke-4 (C₄) sampai vertebra torakal ke-1 (T₁)³. Nervus yang menuju maupun yang berasal dari ekstremitas atas tumbuh dari pembesaran servikal ini. Pembesaran inferior, disebut juga pembesaran lumbal, memanjang dari vertebra torakal ke-9 sampai ke-12³. Nervus yang menuju maupun yang berasal dari ekstremitas bawah tumbuh dari pembesaran tersebut.

Di bawah pembesaran lumbal, medula spinalis berakhir menjadi struktur berbentuk kerucut yang dinamakan konus medullaris, yang berujung di setinggi diskus intervertebralis antara vertebra lumbal ke-1 dan ke-2 (L₁-L₂) pada orang dewasa³. Struktur yang muncul dari konus medullaris dinamakan juga filum terminale, suatu pemanjangan pia mater ke arah inferior, dan menyatukan araknoidmater serta duramater, dan menetapkan medula spinalis pada koksigeus.

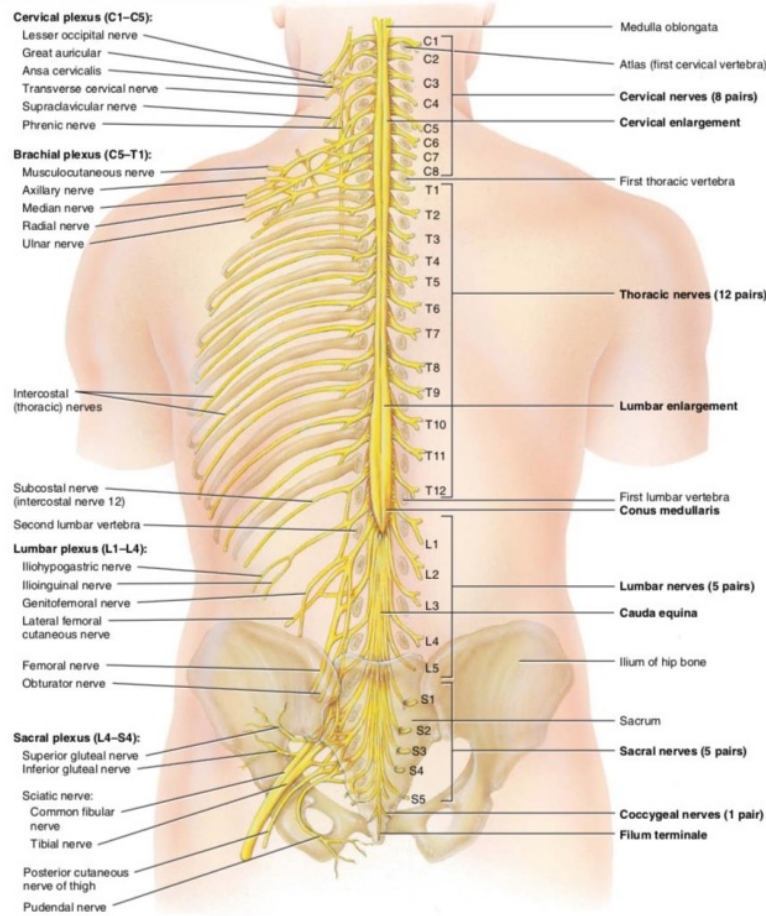
Medula spinalis tampak bersegmen karena dibentuk oleh 31 pasang nervus spinalis yang muncul dari foramina intervertebralis. Setiap pasangannya muncul dari segmen spinal yang bersangkutan. Di dalam medula spinalis tidak ditemukan adanya segmentasi tertentu, tetapi pemberian nama nervus spinalis berkaitan dengan segmen tempat lokasinya masing-masing. Terdapat delapan pasang nervus servikal (C₁-C₈), 12 pasang nervus torakal (T₁-T₁₂), lima pasang nervus lumbal (L₁-L₅), lima pasang nervus sakral (S₁-S₅), serta satu pasang nervus koksigeal³.

Terdapat 2 ikatan akson, disebut juga “akar”, yang menghubungkan setiap nervus spinalis ke segmen korda tertentu oleh ikatan yang lebih kecil yang disebut juga *rootlets*. Akar posterior (dorsal) dan juga *rootlet* nya memiliki akson sensorik saja, dimana dapat menghantarkan impuls saraf dari reseptor sensorik pada kulit, otot, dan organ internal ke sistem saraf pusat. Di setiap akar posterior terdapat pembengkakan¹² yang disebut juga ganglion akar posterior. Akar anterior (ventral) beserta *rootlet* nya memiliki akson motorik yang menghantarkan impuls dari sistem saraf pusat ke efektor pada otot dan kelenjar.

Saat nervus spinalis bercabang dari medula spinalis, struktur tersebut berjalan di bagian lateral dan keluar dari kanalis vertebralis lewat foramina intervertebral di antara vertebra yang berdekatan. Tetapi, karena medula spinalis berukuran lebih pendek dari kolumna vertebralis, nervus yang berasal dari lumbal, sakral, dan koksigeal tidak meninggalkan kolumna vertebralis pada ketinggian yang sama saat struktur tersebut keluar dari korda. Akar dari nervus spinalis inferior membentuk sudut di sepanjang filum terminale pada kanalis vertebralis dan tampak seperti ikatan rambut, sehingga dinamakan juga kauda ekuina.

FIGURE 13.2 External anatomy of the spinal cord and spinal nerves.

The spinal cord extends from the medulla oblongata of the brain to the superior border of the second lumbar vertebra.



(a) Posterior view of entire spinal cord and portions of spinal nerves

Q What portion of the spinal cord connects with nerves of the upper limbs?

Gambar 6.8 Anatomi Eksternal Medula Spinalis dan Nervus Spinalis

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al¹

Anatomi Internal

Potongan transversal dari medula spinalis menunjukkan adanya regio substansia alba yang dikelilingi oleh inti dalam dari substansia grisea. Substansia alba medula spinalis tersusun atas ikatan-ikatan akson neuron termielinisasi³. Dua parit memasuki substansia alba medula spinalis dan membaginya menjadi sisi kanan dan kiri³. Fissura median anterior merupakan parit lebar pada sisi anterior (ventral) sedangkan sulkus median posterior merupakan parit sempit pada sisi posterior (dorsal)³. Substansia grisea medula spinalis berbentuk seperti huruf “H” atau seperti kupu-kupu, dimana struktur tersebut tersusun atas dendrit dan badan sel neuron, akson-akson tak termielinisasi, dan neuroglia. Komisura abu-abu membentuk jembatan penghubung pada kedua sisi struktur tersebut. Pada pertengahan komisura tersebut, terdapat ruang kecil yang disebut juga kanalis sentralis, yang meluas di sepanjang medula spinalis dan diisi oleh cairan serebrospinal. Pada ujung superiornya, kanalis sentralis berhubungan dengan ventrikel ke-4 pada medula oblongata. Di depan komisura tersebut terdapat komisura putih anterior (ventral), yang menghubungkan substansia alba antara sisi kanan dan kiri medula spinalis.

Pada substansia grisea medula spinalis dan otak, terdapat kumpulan badan sel neuron yang membentuk grup fungsional yang dinamakan nuklei. Nuklei sensorik menerima input dari reseptor lewat neuron sensorik, sedangkan neuron motorik memberikan output ke jaringan efektor lewat neuron motorik. Substansia grisea pada setiap sisi

medula spinalis dibagi menjadi beberapa regio yang disebut juga tanduk. Tanduk abu-abu posterior (dorsal) tersusun atas akson-akson dari neuron sensorik yang datang, serta badan sel dari akson-akson interneuron. Tanduk abu-abu anterior (ventral) tersusun atas nuklei motorik somatis, yang merupakan kumpulan badan sel neuron motorik somatis yang memberikan impuls saraf untuk kontraksi otot skeletal. Di antara tanduk abu-abu anterior dan posterior terdapat tanduk abu-abu lateral, yang hanya terdapat pada segmen torakal dan lumbal atas dari medula spinalis. Struktur tersebut tersusun atas nuklei motorik otonom, yang merupakan kumpulan badan sel neuron motorik somatis yang mengatur aktivitas otot jantung, otot polos, dan kelenjar.

Substansia alba pada medula spinalis juga terbagi dalam beberapa regio. Tanduk abu-abu anterior dan posterior membagi substansia alba pada tiap sisinya menjadi tiga area luas yang dinamakan kolumna, yaitu anterior (ventral), posterior (dorsal), dan lateral. Setiap kolumna tersusun atas ikatan akson-akson yang memiliki tujuan maupun asal yang sama, serta membawa informasi yang serupa. Ikatan-ikatan tersebut dapat meluas sepanjang medula spinalis, baik ke arah atas maupun bawah, dan struktur ini dinamakan traktus. Traktus sensorik tersusun atas akson-akson yang menghantarkan impuls saraf ke otak. Traktus yang tersusun atas akson-akson yang membawa impuls dari otak dinamakan juga dengan traktus motorik. Kedua struktur tersebut saling berhubungan baik yang terdapat pada medula spinalis dengan yang terdapat pada otak.

Sistem Saraf Perifer

Sistem Saraf Spinalis

Sistem saraf spinalis merupakan nervus yang menyampaikan informasi dari dan ke sistem saraf pusat untuk mengatur aktivitas, tubuh (*trunk*) dan ekstremitas¹. Nervus spinalis terdiri dari 31 pasang nervus: 8 nervus servikal, 12 torakal, 5 lumbal, 5 sakral, dan 1 koksigeal^{1-3,5}. Nervus tersebut merupakan campuran dari serabut saraf sensorik dan motorik (dijelaskan pada anatomi eksternal medula spinalis).

Sistem Saraf Kranialis

Saraf kranialis dinamakan dengan istilah tersebut karena struktur tersebut menjalar melewati bermacam foramina pada tulang kranium, serta berasal dari otak di dalam rongga kranium. Seperti 31 pasang nervus spinalis, 12 pasang saraf kranialis juga merupakan bagian dari sistem saraf perifer¹⁻³.

Tiga nervus kranialis (I, II, dan VIII) memiliki akson neuron sensorik yang disebut juga nervus sensorik spesialis. Nervus tersebut berbentuk unik pada struktur kepalanya, dan berkaitan dengan sensasi penghidu, penglihatan, dan pendengaran. Badan sel dari kebanyakan neuron sensorik berada pada ganglia di luar otak.

Lima nervus kranialis (III, IV, VI, XI, dan XII) diklasifikasikan menjadi nervus motorik karena hanya tersusun atas neuron motorik sekali pun sudah keluar dari batang otak. Badan sel neuron motorik berada pada nuklei dalam otak.

Empat nervus kranialis lainnya (V, VII, IX, dan X) merupakan nervus campuran, dimana nervus tersebut memiliki akson neuron sensorik maupun motorik yang masuk dan keluar ke dan dari batang otak.

Tabel 6.1 Nervus Kranialis

Nervus Kranialis	Komponen	Fungsi Utama
Olfaktorius (I)	Sensorik spesial	Penghidu
Optikus (II)	Sensorik spesial	Penglihatan
Okulomotorius (III)	Motorik Somatis	Pergerakan bola mata dan kelopak mata atas
	Motorik	Pengaturan lensa untuk akomodasi dan konstiksi pupil
Troklearis (IV)	Motorik (somatis)	Pergerakan bola mata
Trigeminalis (V)	Campuran Sensorik	Sensasi sentuhan, nyeri, dan suhu dari kulit kepala, wajah, dan rongga mulut (mencakup gigi dan dua pertiga anterior lidah)
	Motorik (brankialis)	Mengunyah dan kontrol otot telinga tengah
Abdusens (VI)	Motorik (somatis)	Pergerakan bola mata
Fasialis (VII)	Campuran Sensorik	Pengecapan dari dua pertiga anterior lidah; Sensasi sentuhan, nyeri, dan suhu dari kulit pada liang telinga luar
	Motorik (brankialis)	Kontrol otot ekspresi wajah dan otot telinga tengah
	Motorik (otonom)	Sekresi air mata dan liur

Vestibulokoklearis (VIII)	Sensorik spesial	Pendengaran dan keseimbangan
Glossofaringeus (IX)	Campuran Sensorik	Pengecapan dari sepertiga posterior lidah; Propioseptik pada otot mengunyah; Monitor tekanan darah, oksigen, dan karbon dioksida dalam darah; Sensasi sentuhan, nyeri, dan suhu dari kulit pada telinga luar dan faring superior
	Motorik (brankialis)	Membantu dalam menelan
	Motorik (otonom)	Sekresi air liur
Vagus (X)	Campuran Sensorik	Pengecapan dari epiglotis; Propioseptik dari tenggorok dan otot pita suara; Monitor tekanan darah, oksigen, dan karbon dioksida dalam darah; Sensasi sentuhan, nyeri, dan suhu pada kulit telinga luar; Sensasi dari organ toraks dan abdomen
	Motorik (brankialis)	Menelan, bersuara, dan batuk
	Motorik (otonom)	Motilitas dan sekresi organ gastrointestinal; Konstriksi traktus respiratorius, Penurunan denyut jantung
Aksesorius (XI)	Motorik (brankialis)	Pergerakan kepala dan pektoralis
Hipoglossus (XII)	Motorik (somatis)	Berbicara, manipulasi makanan, dan menelan

Tabel diadaptasi dari Tortora GJ, et al¹.

4 Sistem Saraf Otonom

Sistem saraf otonom, bagian dari sistem saraf yang mengatur otot jantung, otot polos dan kelenjar, sering juga disebut sebagai efektor viseral karena biasanya dihubungkan dengan visera (organ internal) tubuh³. Sistem ini terdiri dari neuron-neuron motorik otonom yang mengatur aktivitas viseral dengan cara meng-eksitasi atau meng-inhibisi aktivitas yang sedang berlangsung di jaringan efekturnya misalnya perubahan ukuran pupil, perubahan diameter pembuluh darah, penyesuaian laju dan kekuatan detak jantung. Jaringan yang diinervasi oleh sistem saraf otonom seringkali tetap berfungsi sampai batas tertentu meskipun telah terjadi kerusakan pada sarafnya misalnya jantung terus berdenyut saat diambil untuk ditransplantasikan ke orang lain.

Sistem saraf otonom terdiri dari divisi utama: simpatis dan parasimpatis^{1,3,6}. Sebagian besar organ tubuh menerima persarafan dari keduanya (inervasi ganda). Sistem ini juga memiliki divisi ketiga yaitu sistem saraf enterik yang terdiri dari jutaan neuron pada plexus yang tersebar di hampir seluruh saluran cerna. Sistem ini terdiri dari neuron sensorik (memantau perubahan kimia dalam saluran cerna dan peregangan dindingnya), motorik (mengatur kontraksi otot polos dan sekresi kelenjar saluran cerna), dan interneuron (mengintegrasikan informasi dari neuron sensorik dan memberikan input pada neuron motorik)³. Sistem ini, selain berdiri sendiri, dapat juga diatur oleh divisi sistem saraf otonom yang lain.

Baik sistem saraf simpatis dan parasimpatis menghantarkan impulsnya melalui dua neuron secara seri: (1) prasinaps atau praganglion yang memiliki badan sel di substansia grisea sistem saraf pusat dan hanya bersinaps dengan neuron kedua; (2) postsinaps atau postganglion yang memiliki badan sel di ganglion otonom di luar sistem saraf pusat². Neurotransmitter antara pra- dan postganglion adalah asetilkolin². Neurotransmitter antara postganglion dan efektor adalah asetilkolin untuk parasimpatis dan noradrenalin untuk simpatis².

Komponen Anatomis

Neuron Praganglion

Pada saraf simpatis, neuron praganglion memiliki badan sel pada sisi lateral substansia grisea pada 12 segmen torakal dan dua segmen pertama lumbal di medula spinalis. Maka dari itu, saraf simpatis juga dikenal juga dengan sebutan divisi torakolumbal^{2,3}. Badan sel dari neuron praganglion saraf parasimpatis terletak pada nuklei empat nervus kranialis di batang otak (III, VII, IX, dan X), serta di substansia grisea pada segmen sakral ke-2 sampai ke-4 di medula spinalis, sehingga dikenal juga dengan sebutan divisi kraniosakral^{2,3}.

Ganglia Otonom (Simpatis, Parasimpatis)

Terdapat dua kelompok utama dari ganglia otonom, yaitu ganglia simpatis dan ganglia parasimpatis.

1. Ganglia simpatis

Ganglia simpatis merupakan tempat sinaps antara neuron simpatis praganglion dan postganglion. Terdapat 2 tipe utama ganglia simpatis, yaitu ganglia trunkus simpatetikus dan ganglia pravertebralis. Ganglia trunkus simpatetikus terdapat pada baris vertikal dari kedua sisi kolumna vertebralis. Ganglia-ganglia tersebut keluar dari basis kranii ke koksigis. Akson-akson postganglion dari ganglia trunkus simpatetikus fungsi utamanya adalah menginervasi organ di atas diafragma, seperti kepala, leher, bahu, dan jantung³.

Kelompok kedua dari ganglia simpatis adalah ganglia pravertebral yang terletak di anterior kolumna vertebralis dan dekat dengan arteri abdominalis. Secara umum, akson-akson postganglion dari ganglia pravertebral menginervasi organ di bawah diafragma..

2. Ganglia parasimpatis

Akson praganglion dari saraf parasimpatis bersinaps dengan neuron postganglion di ganglia terminal (intramural)³. Kebanyakan dari ganglia ini terletak dekat atau bahkan di dalam dinding organ viseral.

Neuron Postganglion

Setelah akson praganglion simpatis melewati ganglia trunkus simpatetikus, struktur tersebut kemudian berhubungan dengan neuron postganglion. Suatu serat praganglion simpatis memiliki banyak akson kolateral (cabang) dan dapat bersinaps dengan 20 atau lebih dari neuron postganglion. Pola ini merupakan suatu contoh dari divergensi dan ini membantu dalam menjelaskan mengapa banyak respons simpatis akan mempengaruhi hampir keseluruhan tubuh secara bersamaan. Setelah keluar dari ganglianya, akson-akson postganglion kemudian akan berakhir pada beberapa efektor viseral.

Akson-akson dari neuron praganglion saraf parasimpatis akan lewat ke ganglia terminal atau masuk ke dalam suatu efektor viseral. Dalam ganglion, neuron prasinaps umumnya akan bersinaps dengan empat atau lima neuron postsinaps, di mana semuanya memasok suatu efektor *visceral* tertentu, menyebabkan respons parasimpatis hanya terlokalisir pada salah satu efektor.

Pleksus Otonom

Pada toraks, abdomen dan pelvis, akson-akson saraf simpatis maupun parasimpatis akan membentuk hubungan yang saling terikat, yaitu pleksus otonom, yang terletak di sepanjang arteri mayor. Pleksus otonom juga memiliki beberapa ganglia simpatis dan akson-akson dari neuron otonom. Pleksus-pleksus mayor pada toraks adalah pleksus kardiak, yang memasok jantung, dan pleksus pulmonal, yang memasok percabangan bronkial.

Abdomen dan pelvis juga memiliki pleksus-pleksus otonom mayor, dan umumnya pleksus-pleksus tersebut memiliki nama yang serupa dengan arteri-arteri tempat mereka terdistribusi. Pleksus solaris (seliaka) merupakan pleksus otonom terbesar yang mengelilingi trunkus seliaka. Struktur tersebut memiliki dua ganglia seliaka mayor, dua ganglia aortikorenal, dan banyak hubungan dengan akson-akson otonom, serta terdistribusi pada perut, limpa, pankreas, hati, empedu, ginjal, medula adrenal, testes, dan ovarium. Pleksus mesenterikus superior tersusun atas ganglion mesenterikus superior dan memasok usus halus serta usus besar. Pleksus mesenterikus inferior memiliki ganglion mesenterikus inferior, yang menginervasi usus besar. Akson-akson dari neuron postganglion simpatis dari ganglion mesenterikus inferior juga memanjang melewati pleksus hipogastrikus, yang terdapat di anterior vertebra lumbal ke-5 dan menginervasi visera pelvis. Pleksus renal tersusun atas ganglion renal dan menginervasi arteri renalis dalam ginjal dan ureter.

Struktur Simpatis

Jaras dari Medula Spinalis ke Ganglia Trunkus Simpatetikus

Badan sel neuron simpatis praganglion merupakan bagian dari substansia grisea dari seluruh segmen torakal dan dua segmen teratas lumbal dari medula spinalis. Akson-akson praganglion keluar dari medula spinalis bersama dengan neuron motorik somatis pada segmen yang sama dari medula spinalis. Setelah keluar melewati foramina intervertebral, akson-akson praganglion simpatis termieliniasi akan lewat dari akar anterior nervus spinalis dan masuk ke dalam jaras pendek yang disebut rami putih sebelum keluar ke ganglion trunkus simpatetikus terdekat pada sisi yang sama.

Pengurutan Ganglia Trunkus Simpatetikus

Ganglia trunkus simpatetikus yang berpasangan tersusun di anterior dan lateral dari kolumna vertebralis. Terdapat 3 ganglia servikal, 11 atau 12 torakal, 4 atau 5 lumbal, 4 atau 5 sakral, dan 1 trunkus simpatetikus koksigeal³. Ganglia koksigeal kanan dan kiri bersatu dan umumnya berada pada garis tengah. Walaupun, ganglia trunkus simpatetikus memanjang dari inferior leher, dada, dan abdomen sampai koksigis, mereka mendapatkan akson-akson praganglion hanya dari segmen torakal dan lumbal medula spinalis.

Bagian servikal dari setiap trunkus simpatetikus terletak di leher dan terbagi menjadi ganglia superior, media, dan inferior³. Neuron postganglion keluar dari ganglion servikalis superior dan menginervasi kepala dan jantung. Struktur tersebut terdistribusi ke kelenjar keringat, otot polos mata, pembuluh darah wajah, kelenjar air mata, kelenjar pineal, mukosa nasal, kelenjar liur (submandibula, sublingual, dan parotis), serta jantung. Neuron-neuron postganglion keluar dari ganglion servikalis media dan ganglion servikalis inferior serta menginervasi jantung dan pembuluh darah leher, bahu, dan ekstremitas superior.

Bagian torakal dari trunkus simpatetikus berada di anterior dari leher pada setiap iga. Bagian trunkus simpatetikus ini sebagian besar berasal dari akson-akson praganglion simpatis. Neuron-neuron postganglion dari trunkus simpatetikus torakal menginervasi jantung, paru-paru, bronki, dan visera torakal lainnya. Pada kulit, neuron-neuron tersebut menginervasi kelenjar keringat, pembuluh darah, dan otot erektor pili folikel rambut.

Jaras dari Ganglia Trunkus Simpatetikus ke Efektor Visceral

Akson-akson keluar dari trunkus simpatetikus dengan empat cara, yaitu (1) masuk ke nervus spinalis; (2) membentuk nervus sefalik periarterial; (3) membentuk saraf simpatis; dan (4) membentuk nervus splanknikus³.

1. Nervus Spinalis

Akson-akson dari neuron postganglion keluar dari trunkus simpatetikus dan masuk ke dalam jaras pendek yang disebut ramus abu-abu, kemudian bersatu dengan ramus anterior nervus spinalis. Ramus abu-abu komunikantes memiliki struktur yang tersusun atas akson-akson postganglion simpatis yang berhubungan dengan ganglia trunkus simpatetikus nervus spinalis. Istilah "abu-abu" diberikan karena struktur tersebut memiliki akson-akson yang tidak termielinisasi³. Akson-akson neuron postganglion keluar dari trunkus simpatetikus dan masuk ke medula spinalis untuk memberikan inervasi simpatis pada efektor viseral di kulit leher, trunkus, dan ekstremitas, mencakup kelenjar keringat, otot polos pembuluh darah, serta otot erektor pili folikel rambut³.

2. Nervus Periarterial Sefalik

Beberapa neuron praganglion simpatis yang masuk ke trunkus simpatetikus akan naik ganglion servikalis superior, dimana kemudian bersinaps dengan neuron postganglion. Akson-akson dari beberapa neuron postganglion kemudian meninggalkan trunkus simpatetikus dengan membentuk nervus periarterial sefalik yang memanjang ke kepala dan berada pada jalur yang berdekatan serta menyelubungi arteri tertentu (contoh: arteri karotis) yang lewat dari leher ke kepala. Nervus periarterial sefalik memasok inervasi simpatis terhadap efektor viseral kulit wajah (kelenjar keringat, otot polos pembuluh darah, otot erektor pili folikel rambut), begitu pula dengan efektor viseral lainnya dari kepala (otot polos mata, kelenjar air mata, kelenjar pineal, mukosa nasal, dan kelenjar liur).

Nervus Simpatis

Beberapa neuron simpatis perganglionik bersinaps dengan neuron postganglion pada satu atau lebih ganglia trunkus simpatetikus³. Akson-akson neuron postganglion kemudian meninggalkan trunkus dengan membentuk nervus simpatis yang memanjang sampai efektor viseral rongga toraks. Nervus simpatis memasok inervasi simpatis terhadap jantung dan paru-paru.

1. Nervus simpatis jantung. Inervasi simpatis pada jantung tersusun atas akson-akson neuron praganglion yang masuk ke trunkus simpatetikus dan membentuk sinaps dengan neuron postganglion pada ganglia servikal superior, media, dan inferior, serta ganglia torakal pertama sampai ke-4 (T₁-T₄)³. Dari ganglia tersebut, akson-akson neuron postganglion kemudian keluar dari trunkus simpatetikus dengan membentuk pleksus kardiak untuk memberi pasokan terhadap jantung.
2. Nervus simpatis paru-paru. Inervasi simpatis terhadap paru tersusun atas akson-akson neuron praganglion yang masuk ke trunkus simpatetikus dan membentuk sinaps dengan neuron postganglion pada ganglia torakal ke-2

sampai ke-4 (T₂-T₄)³. Dari ganglia tersebut, akson-akson neuron postganglion simpatis kemudian keluar dari trunkus dengan membentuk nervus simpatis yang memasuki pleksus pulmonal untuk memberi pasokan terhadap otot polos bronkial dan bronkioli paru-paru.

3. Nervus splanknik. Akson-akson praganglion simpatis melewati trunkus simpatetik tanpa berakhir pada struktur tersebut³. Di atas trunkus simpatetik, akson-akson tersebut membentuk nervus splanknikus yang memanjang sampai ganglia prevertebral.
4. Nervus splanknik sampai organ abdominopelvis. Sebagian besar akson-akson praganglion simpatis yang memasuki nervus splanknikus akan bersinaps dengan neuron postganglion simpatis pada ganglia pravertebralis yang memberi pasokan terhadap organ-organ di rongga abdominopelvis. Akson-akson praganglion dari ganglia torakal ke-5 sampai ke-9/ke-10 (T₅-T₉ atau T₁₀) membentuk nervus splanknikus mayor³. Struktur tersebut menembus diafragma dan memasuki ganglion seliak pada pleksus seliak. Kemudian, neuron postganglion akan mengikuti dan menginervasi pembuluh darah ke perut, limpa, hati, ginjal, dan usus halus. Akson-akson praganglion dari ganglia torakal ke-10 dan ke-11 (T₁₀-T₁₁) akan membentuk nervus splanknikus minor³. Struktur tersebut kemudian menembus diafragma dan melewati pleksus seliak dan memasuki ganglion aortikorenal dan ganglion mesenterikus superior pada pleksus mesenterikus. Neuron-neuron postganglion membentuk ganglion mesenterikus superior, kemudian mengikuti dan menginervasi pembuluh darah usus halus dan kolon proksimal. Nervus splanknikus yang terbawah, umumnya tidak selalu ada, dibentuk oleh akson-akson praganglion dari ganglia torakal ke-12 (T₁₂) atau cabang dari nervus splanknikus minor³. Struktur tersebut menembus diafragma dan memasuki pleksus renalis untuk memasok arteriol ginjal dan ureter. Akson-akson praganglion yang membentuk nervus splanknikus lumbalis dari ganglia lumbal pertama sampai ke-4 (L₁-L₄) memasuki pleksus mesenterikus inferior dan berakhir di ganglion mesenterikus inferior, dimana kemudian akan bersinaps dengan neuron-neuron postganglion³. Akson-akson dari neuron postganglion berjalan melewati pleksus mesenterikus inferior untuk memasok kolon distal dan rektum, serta ke pleksus hipogastrik untuk memberi pasokan terhadap pembuluh darah di kolon distal, rektum, kandung kemih, dan organ genital. Akson-akson postganglion kemudian meninggalkan ganglia pravertebralis bersama beberapa jalur arteri ke efektor viseral abdomen dan pelvis.
5. Nervus splanknik sampai ke medula adrenal. Beberapa akson-akson praganglion simpatis berjalan, tanpa bersinaps, melewati trunkus simpatetik, nervus splanknikus mayor, dan ganglion seliak, kemudian sampai ke sel kromafin pada medula adrenal pada kelenjar adrenal. Pada perkembangannya, medula adrenal dan ganglia simpatis berasal dari jaringan yang sama, yaitu krista neural. Medula adrenal merupakan perkembangan dari ganglia simpatis, dimana sel-sel kromafinnya serupa dengan neuron postganglion simpatis, kecuali kurangnya dendrit dan akson. Sel-sel tersebut memproduksi dan melepas hormon ke aliran darah. Pada rangsangan oleh neuron praganglion simpatis, sel-sel kromafin pada medula adrenal kemudian akan melepaskan campuran hormon katekolamin, sekitar 80% epinefrin, 20% norepinefrin, dan sedikit dopamin³. Hormon-hormon tersebut kemudian bersirkulasi di aliran darah dan meningkatkan respons yang diinisiasi oleh neuron postganglion simpatis.

Struktur Parasimpatis

Badan sel dari neuron praganglion parasimpatis dapat ditemukan pada nuklei batang otak dan substansia grisea lateral pada segmen sakral ke-2 sampai ke-4 dari medula spinalis³. Jaras parasimpatis kranial tersusun atas akson-akson praganglion yang memanjang dari batang otak ke 4 nervus kranialis³. Jaras parasimpatis sakral tersusun atas akson-akson praganglion pada akar anterior dari segmen sakral ke-2 sampai ke-4 nervus spinalis³. Akson-akson praganglion dari jaras kranial dan sakral kemudian berakhir di ganglia terminalis, di mana mereka bersinaps dengan neuron postganglion.

Jaras kranial memiliki empat pasang ganglia, serta ganglia yang berhubungan dengan nervus vagus (Nc X)³. Keempat pasang ganglia parasimpatis menginervasi struktur pada kepala dan terletak dekat dengan organ tempat mereka memberikan inervasi.

1. Ganglia siliaris terletak pada lateral nervus optikus (Nc. II), dekat dengan bagian posterior orbita. Akson-akson praganglion melewati nervus okulomotorius (Nc. III) sampai ke ganglia siliaris. Akson-akson postganglion dari ganglia menginervasi serat otot polos pada bola mata.
2. Ganglia pterigopalatina terletak di lateral foramen sfenopalatina, di antara tulang sfenoid dan palatina. Struktur tersebut mendapatkan akson-akson praganglion dari nervus fasialis (Nv. VII) dan mengirimkan akson-akson postganglion ke mukosa nasal, palatum, faring, dan kelenjar lakrimal.

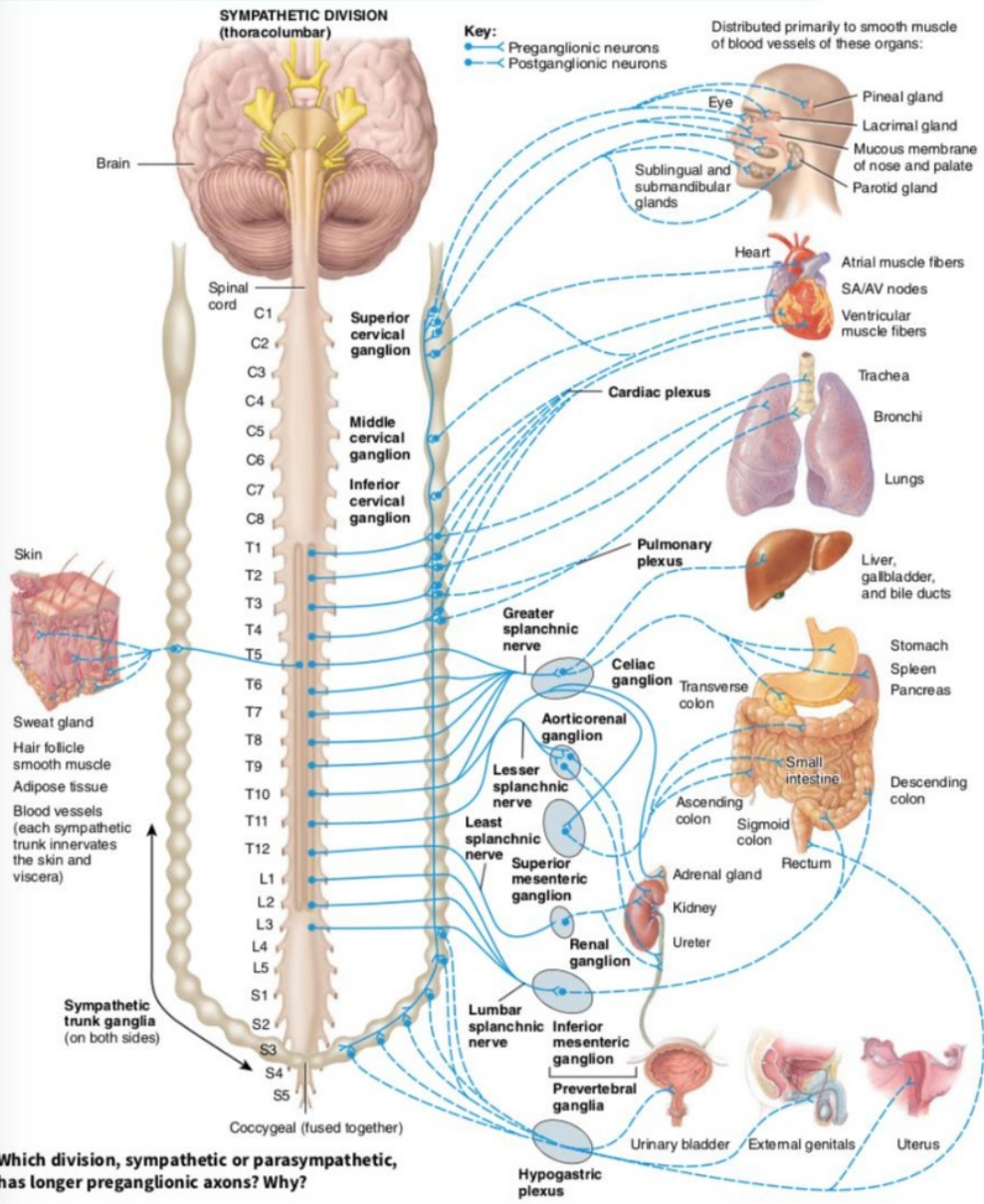
3. Ganglia submandibula dapat ditemukan dekat dengan duktus kelenjar liur submandibula. Struktur tersebut mendapatkan akson-akson praganglion dari nervus fasialis dan mengirimkan akson-akson postganglion ke kelenjar liur submandibular dan sublingual.
4. Ganglia otikus terletak tepat di inferior foramina ovale. Struktur tersebut menerima akson praganglion dari nervus glossofaringeal (Nc. IX) dan mengirimkan akson-akson postganglion ke kelenjar liur parotis.

Akson-akson praganglion yang meninggalkan otak sebagai bagian dari nervus vagus (Nc. X) membawa sekitar 80% dari keseluruhan jaras kraniosakral³. Akson-akson vagal meluas ke berbagai ganglia terminalis pada toraks dan abdomen. Saat nervus vagus melewati toraks, struktur tersebut mengirimkan akson-akson ke jantung dan jalan napas, yaitu paru-paru. Pada abdomen, struktur tersebut memasok hati, empedu, perut, pankreas, usus halus, dan sebagian usus besar.

Jaras parasimpatis sakral tersusun atas akson-akson praganglion dari akar anterior segmen sakral ke-2 sampai ke-4 dari medula spinalis³. Saat akson-akson praganglion berjalan dalam nervus spinalis sakralis, struktur tersebut kemudian bercabang dan membentuk nervus splanchnikus pelvis. Nervus tersebut kemudian bersinaps dengan neuron postganglion parasimpatis di ganglia terminalis pada dinding dari visera yang terinervasi. Dari ganglia terminalis, akson-akson postganglion parasimpatis menginervasi otot polos dan kelenkar dari dinding kolon, ureter, kandung kemih, dan organ reproduktif.

FIGURE 15.2 Structure of the sympathetic division of the autonomic nervous system. Solid lines represent preganglionic axons; dashed lines represent postganglionic axons. Although the innervated structures are shown for only one side of the body for diagrammatic purposes, the sympathetic division actually innervates tissues and organs on both sides.

Cell bodies of sympathetic preganglionic neurons are located in the lateral horns of gray matter in the 12 thoracic and first two lumbar segments of the spinal cord.

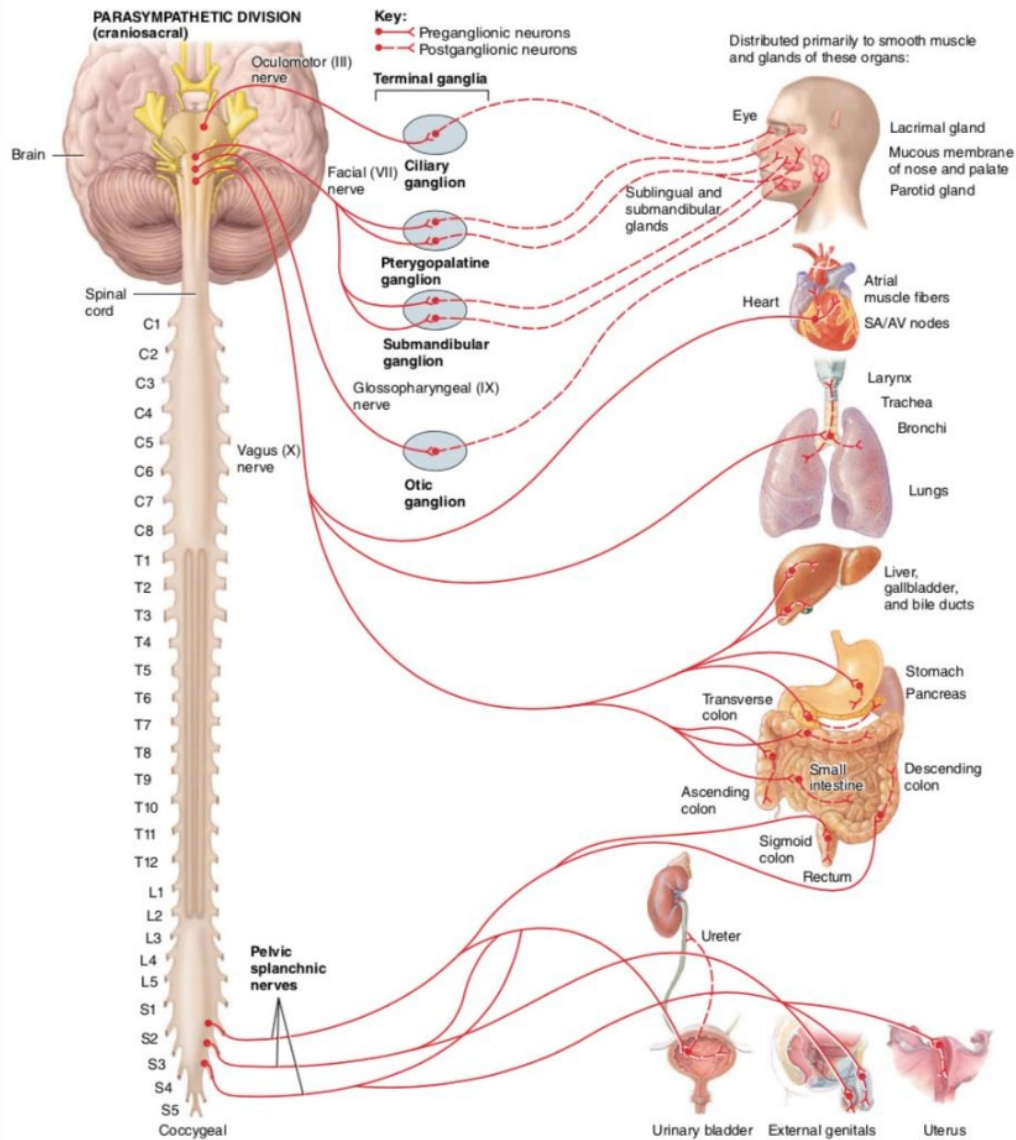


Gambar 6.9 Sistem Saraf Simpatik

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al¹

FIGURE 15.3 Structure of the parasympathetic division of the autonomic nervous system. Solid lines represent preganglionic axons; dashed lines represent postganglionic axons. Although the innervated structures are shown only for one side of the body for diagrammatic purposes, the parasympathetic division actually innervates tissues and organs on both sides.

Cell bodies of parasympathetic preganglionic neurons are located in brainstem nuclei and in the lateral gray matter in the second through fourth sacral segments of the spinal cord.



Q Which ganglia are associated with the parasympathetic division? Sympathetic division?

Gambar 6.10 Sistem Saraf Parasimpatis

Gambar diadaptasi dari Tortora GJ, et al¹

Referensi

1. Standring S, editor. Neuroanatomy. In: **Gray's Anatomy The Anatomical Basis of Clinical Practice**. Edisi ke-41. London: Elsevier; 2016. p. 227–398.
2. Georgiou A, Thompson C, Nickells J. Organisation of the nervous system. In: **Applied Anatomy for Anaesthesia and Intensive Care**. Cambridge: Cambridge University Press; 2014. p. 1–11.
3. Tortora GJ, Derrickson B. **Principles of Anatomy and Physiology**. Edisi ke-15. Recter P, Guarascio M, Rama L, Myers L, Skidmore M, editors. United States of America: Wiley; 2017.

4. Georgiou A, Thompson C, Nickells J. The Spine. In: *Applied Anatomy for Anaesthesia and Intensive Care*. Cambridge: Cambridge University Press; 2014. p. 12–31.
5. Ellis H, Lawson A. The Peripheral Nerves. In: *Anatomy for Anaesthetists*. 9th ed. Wiley Blackwell; 2014. p. 147–55.
6. Ellis H, Lawson A. The Autonomic Nervous System. In: *Anatomy for Anaesthetists*. Edisi ke-9. New Delhi: Wiley Blackwell; 2014. p. 225–41.

Anatomi Sistem Saraf

ORIGINALITY REPORT

8%

SIMILARITY INDEX

8%

INTERNET SOURCES

1%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

repository.maranatha.edu

Internet Source

2%

2

sandiapriadi.blogspot.com

Internet Source

2%

3

neuronisc11.blogspot.com

Internet Source

1%

4

qdoc.tips

Internet Source

<1%

5

www.scribd.com

Internet Source

<1%

6

Submitted to Queen Mary and Westfield College

Student Paper

<1%

7

harlan_johan.staff.gunadarma.ac.id

Internet Source

<1%

8

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

<1%

9

checool.blogspot.com

Internet Source

<1%

10

Submitted to Universitas Islam Indonesia

Student Paper

<1%

11

www.sridianti.com

Internet Source

<1%

12

idoc.pub

Internet Source

<1%

13

quatrebombon.wordpress.com

Internet Source

<1%

14

eprints.umm.ac.id

Internet Source

<1%

15

staff.ui.ac.id

Internet Source

<1%

16

pt.scribd.com

Internet Source

<1%

17

repository.usd.ac.id

Internet Source

<1%

18

doku.pub

Internet Source

<1%

19

senjadisoreitu.blogspot.com

Internet Source

<1%

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On

