

Pengantar Sistem Saraf

Neuron Adalah Unit Fungsional Utama dari Sistem Saraf

- Unit fungsional utama sistem saraf adalah neuron, jenis sel yang bentuknya sangat bervariasi dengan lokasinya di sistem saraf.
- Hampir semua neuron memiliki area penerima informasi dari membran sel, biasanya disebut dendrit; badan sel, atau soma, yang mengandung organel untuk sebagian besar aktivitas metabolisme sel; perpanjangan pembawa informasi dari membran sel, yang disebut akson; dan terminal presinaptik di ujung akson untuk mengirimkan informasi ke sel lain.
- Akson sering kali dilapisi dengan lapisan lemak yang disebut selubung mielin yang meningkatkan kecepatan transfer informasi di sepanjang akson
- Neuron tidak ada dalam isolasi; mereka biasanya saling berhubungan dalam sirkuit atau jalur saraf yang melayani fungsi tertentu
- Sirkuit / jalur saraf yang terkait dalam fungsi sering secara kolektif disebut sebagai sistem saraf

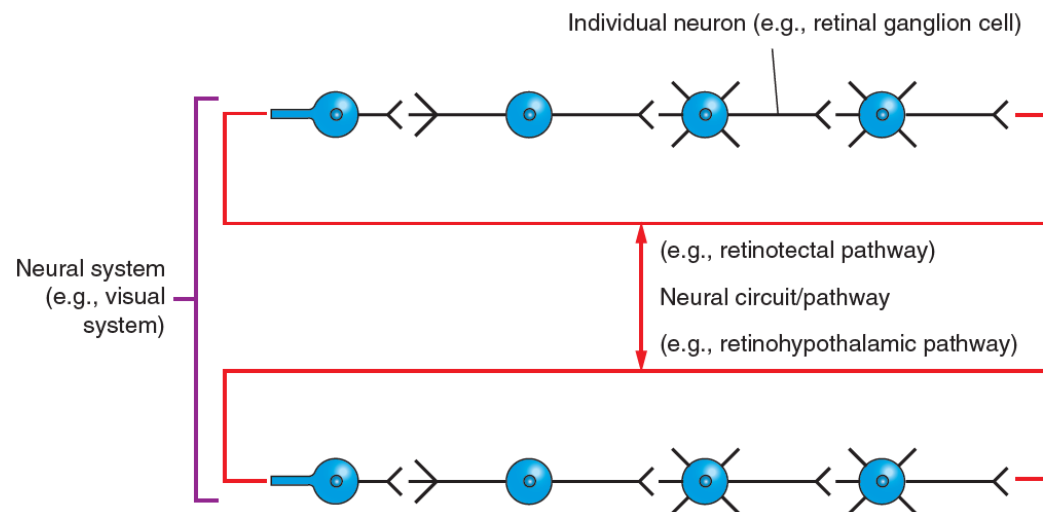


FIGURE 3-1 Individual neurons are usually interconnected within neural circuits or pathways. Neural circuits/pathways that are related in function are often collectively referred to as neural systems.

- Jenis sel lain dalam sistem saraf adalah sel glial. Sel glial memainkan peran penting dalam memproduksi selubung mielin akson, memodulasi pertumbuhan neuron yang sedang berkembang atau rusak, menyangga konsentrasi kalium dan neurotransmitter ekstraseluler, pembentukan kontak antara neuron (sinapsis), dan mereka berpartisipasi dalam respons imun tertentu dari sistem saraf. .
- Sel glial tidak menghasilkan potensial aksi, tetapi bukti yang berkembang menunjukkan bahwa mereka secara tidak langsung dapat memantau aktivitas listrik neuron dan menggunakan informasi ini untuk memodulasi efektivitas komunikasi saraf.
- Namun, tidak semua tindakan glial bermanfaat bagi sistem saraf. Respon peradangan saraf yang dimediasi glial telah terlibat dalam beberapa penyakit neurodegeneratif dan dalam perkembangan kondisi nyeri kronis.

Sistem Saraf Mamalia Memiliki Dua Subdivisi Utama: Sistem Saraf Pusat dan Sistem Saraf Tepi

- Sistem saraf pusat (SSP/CNS) dibagi menjadi otak dan sumsum tulang belakang
- Serangkaian tulang pelindung mengelilingi seluruh SSP/CNS. Otak dikelilingi oleh tengkorak, dan sumsum tulang belakang dikelilingi oleh serangkaian vertebra dan ligamen serviks, toraks, dan lumbal.
- Sistem saraf tepi (SST/PNS) terdiri dari saraf tulang belakang dan kranial yang membawa sinyal listrik, yang disebut potensial aksi, menjauh dari atau menuju SSP.
- Saraf ini adalah kumpulan akson PNS. Akson yang membawa potensial aksi menuju SSP disebut aferen, dan akson yang membawa sinyal tersebut adalah eferen.

BOX 3-1 Organization of the Nervous System

Central nervous system (CNS)

Brain
Spinal cord

Peripheral nervous system (PNS)

Efferent (motor)

Somatic—to skeletal muscle
Visceral—to cardiac muscle
—to smooth muscle
—to exocrine glands

Afferent (sensory)

Somatic—from skin
—from retina
—from membranous labyrinth
Visceral—from thoracic and abdominal organs
—from olfactory epithelium
—from taste buds

- Salah satu cara untuk mengelompokkan elemen PNS secara fungsional adalah menjadi subsistem sensorik dan motorik. Unsur-unsur saraf tulang belakang dan kranial yang melayani fungsi motorik adalah (1) akson dari neuron eferen somatik, yang membawa perintah potensial aksi dari SSP ke persimpangan, yang disebut sinapsis, pada otot rangka, dan (2) akson dari neuron eferen viseral, yang membawa potensi aksi menuju sinapsis dengan neuron perifer yang mengontrol otot polos, otot jantung, dan beberapa kelenjar.
- Komponen PNS yang melayani fungsi sensorik adalah akson dari neuron aferen yang membawa pesan potensial aksi ke SSP dari reseptor sensorik perifer. Reseptor ini secara langsung atau tidak langsung bertanggung jawab untuk mentransduksi energi dari lingkungan eksternal atau internal tubuh menjadi potensi aksi yang berjalan ke SSP
- Komponen sensorik saraf tulang belakang dan kranial adalah akson dari (1) neuron aferen somatik dan (2) neuron aferen viseral. Akson aferen somatik membawa potensi aksi yang dihasilkan dari stimulasi reseptor seperti fotoreseptor mata, reseptor pendengaran telinga, dan reseptor regangan otot rangka. Potensi aksi yang dihasilkan oleh reseptor regang atau kemoreseptor (misalnya, O₂, CO₂) yang terletak di dalam organ viseral dada dan perut dibawa ke SSP di sepanjang akson aferen viseral.
- Eferen viseral dan akson aferen adalah bagian dari sistem saraf otonom; bagian dari PNS dan SSP yang bertanggung jawab atas kendali tak sadar dari otot polos, otot jantung, beberapa kelenjar, dan banyak fungsi pendukung kehidupan fisiologis (misalnya, detak jantung, tekanan darah, pencernaan).
- PNS dan SSP berbeda dalam kemampuan regeneratif akson saraf mereka setelah cedera fisik. Akson saraf perifer perlahan dapat tumbuh kembali dan terhubung kembali ke target periferinya. Akson SSP yang rusak tidak dapat beregenerasi secara efektif, sebagian besar, karena fitur penghambatan lingkungan lokalnya. Manipulasi eksperimental dari lingkungan ini telah terbukti meningkatkan pertumbuhan kembali aksonal SSP.

Sistem Saraf Pusat Dapat Dibagi Menjadi Enam Wilayah Anatomi

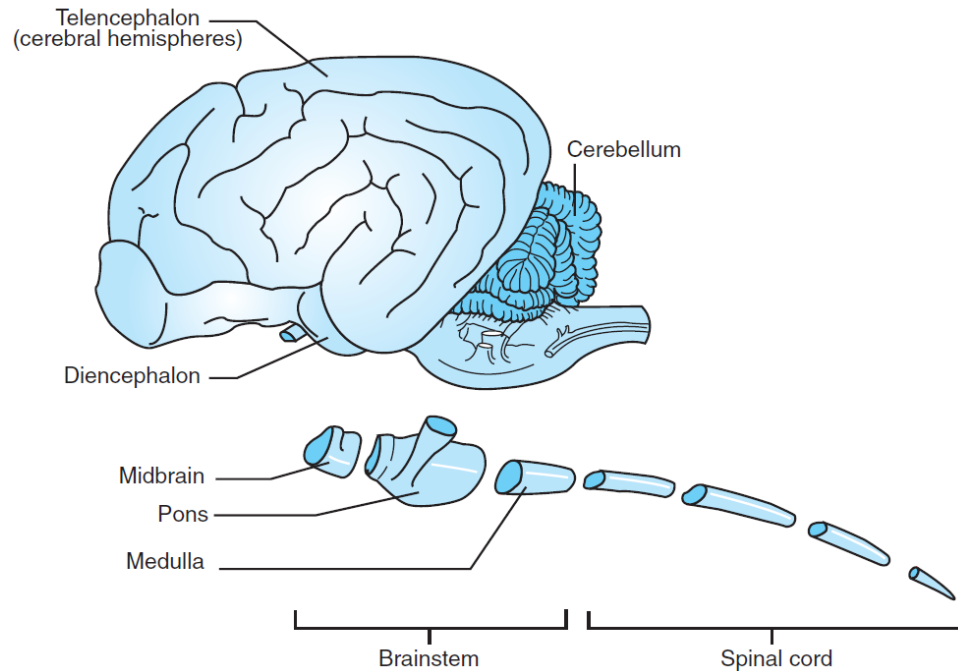


FIGURE 3-3 Central nervous system (CNS) has longitudinal organization in which the phylogenetically oldest parts are caudal and the newest parts are rostral. The CNS can be divided into six major regions: the spinal cord, medulla, pons, midbrain, diencephalon, and telencephalon (cerebral hemispheres).

- Sumsum tulang belakang menerima masukan sensorik dari dan memasok keluaran motorik ke batang tubuh dan anggota badan; batang otak melakukan fungsi ini untuk wajah dan kepala.
- Informasi sensorik yang memasuki batang otak diteruskan ke otak depan, di mana bentuk pemrosesan informasi yang paling canggih terjadi.
- Informasi sensorik yang memasuki sumsum tulang belakang diteruskan ke otak depan melalui batang otak.
- Otak depan juga merumuskan bentuk keluaran motor paling canggih. Output ini dikirim ke batang otak untuk melakukan gerakan wajah dan kepala atau untuk menyampaikan ke sumsum tulang belakang untuk melakukan gerakan batang dan tungkai.
- Otak depan juga mampu mengirimkan perintah motorik langsung ke sumsum tulang belakang. Kumpulan akson yang berjalan dari satu lokasi ke lokasi lain di SSP disebut traktat.

Sistem Saraf Pusat Dilindungi oleh Meninges dan Cairan Serebrospinal

- Seluruh SSP dikelilingi oleh tiga lapisan pelindung yang disebut meninges: pia mater, arachnoid, dan dura mater
- Cairan serebrospinal (CSF) adalah cairan bening dan tidak berwarna yang ditemukan di dalam ruang subarachnoid, saluran sentral sumsum tulang belakang, dan sistem ventrikel otak.
- CSF diproduksi terutama di ventrikel otak, mengalir menuruni gradien tekanan dari ventrikel ke ruang subarachnoid, di mana ia memandikan permukaan SSP, dan dari ruang subarachnoid akhirnya masuk ke sistem vena

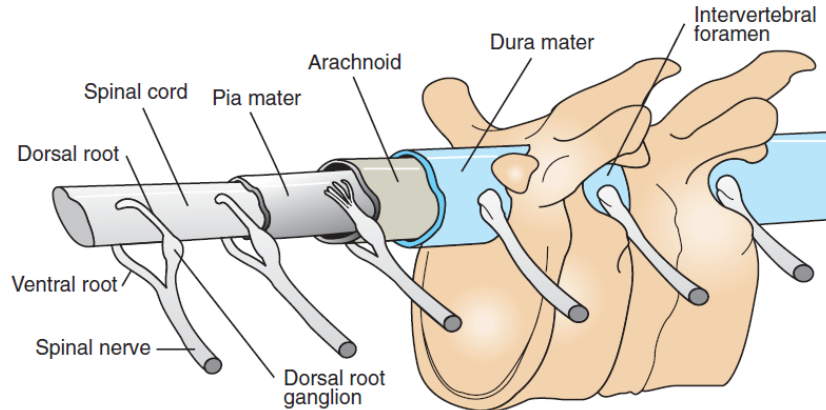
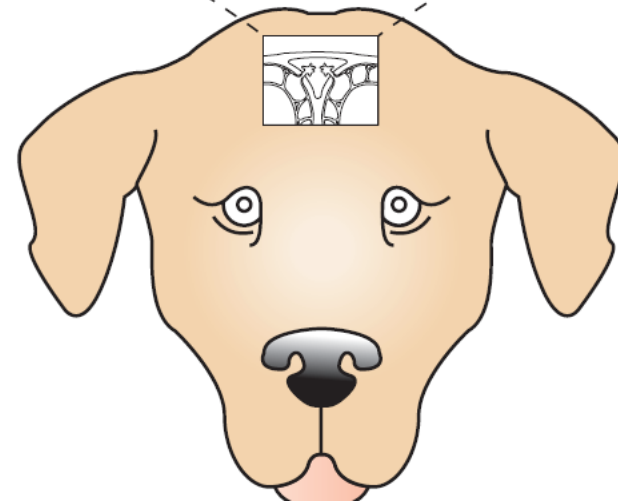
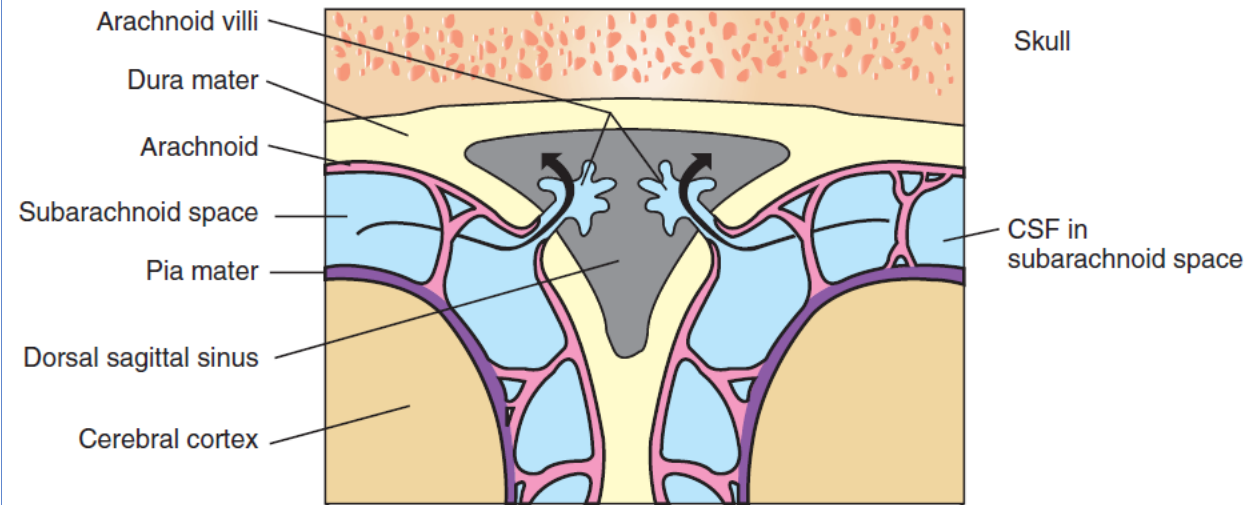
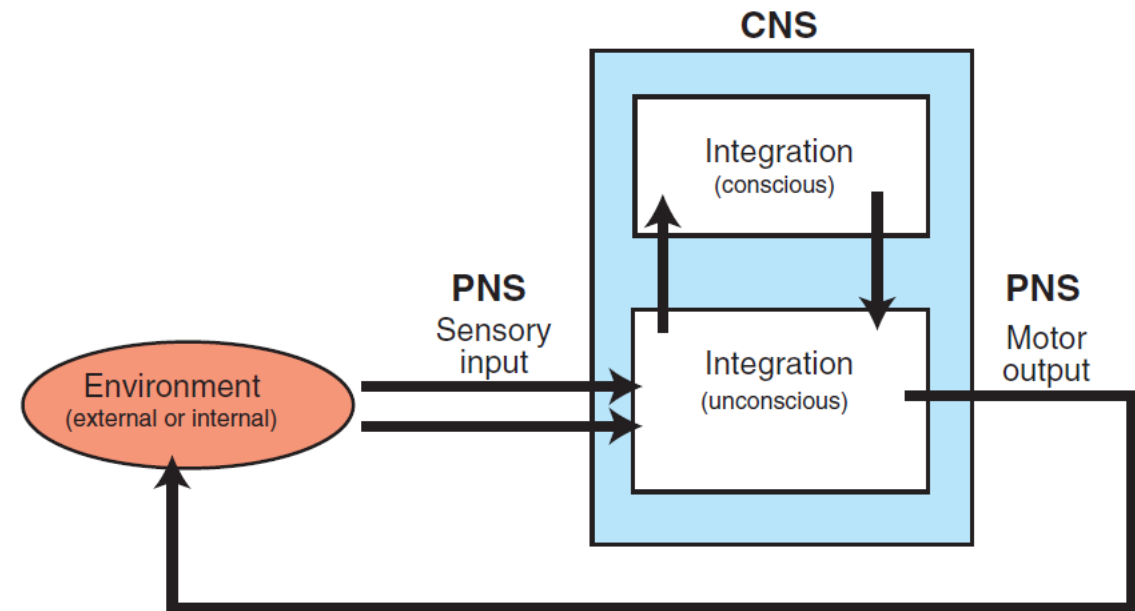


FIGURE 3-2 Spinal cord and the three layers of the meninges within the vertebral canal. Action potentials generated on sensory afferents enter the spinal cord along axons in the dorsal roots. Those generated on motor efferents exit the spinal cord along axons in the ventral roots. (Redrawn from Gardner E: *Fundamentals of neurology*, ed 3, Philadelphia, 1959, Saunders.)



Sistem Saraf Mengumpulkan dan Mengintegrasikan Informasi Sensorik, Merumuskan Rencana Respons, dan Menghasilkan Output Motor

- Sederhananya, sistem saraf :
- (1) mengumpulkan informasi sensorik dari lingkungan eksternal atau internal,
- (2) secara sadar atau secara tidak sadar mengintegrasikan berbagai masukan ini untuk merumuskan rencana tanggapan, dan
- (3) menghasilkan keluaran akhir motor yang dapat mengubah lingkungan (eksternal atau internal) atau menjaganya tetap konstan
- Mengumpulkan informasi sensorik dan melaksanakan keluaran motorik akhir adalah tanggung jawab utama dari PNS, sedangkan integrasi terutama dilakukan oleh SSP.



The Central Control of Movement

- tidak seperti sistem sensorik, yang sebagian besar mengubah energi fisik menjadi informasi saraf, sistem motorik mengubah informasi saraf menjadi energi fisik. Semua gerakan adalah hasil dari kontraksi sejumlah serat otot rangka ekstrasfusul yang bervariasi dalam jumlah unit motorik yang bervariasi.

Gerakan dapat dibagi menjadi dua bentuk umum:

- Yang pertama adalah bentuk yang banyak dipelajari, sukarela, sadar, dan terampil, sering didominasi oleh aktivasi otot fleksor.
- Bentuk kedua ditandai dengan postural, aktivitas otot antigravitasi yang umumnya berada di bawah sadar, tidak disengaja, dan didominasi oleh kontraksi otot ekstensor.
- Hasil gerakan terampil dari kontraksi yang cukup berbeda dari beberapa kelompok otot, banyak di antaranya distal ke tulang belakang.
- Pemeliharaan postur sering kali mencakup kontraksi jangka panjang dari kelompok otot yang lebih besar, banyak di antaranya terletak lebih dekat (proksimal) ke tulang belakang. Sejalan dengan itu, dalam materi abu-abu medula spinalis, neuron motorik α yang mengontrol otot yang lebih distal cenderung berlokasi lateral; mereka yang mengendalikan otot yang lebih proksimal dan aksial untuk postur terletak lebih medial.

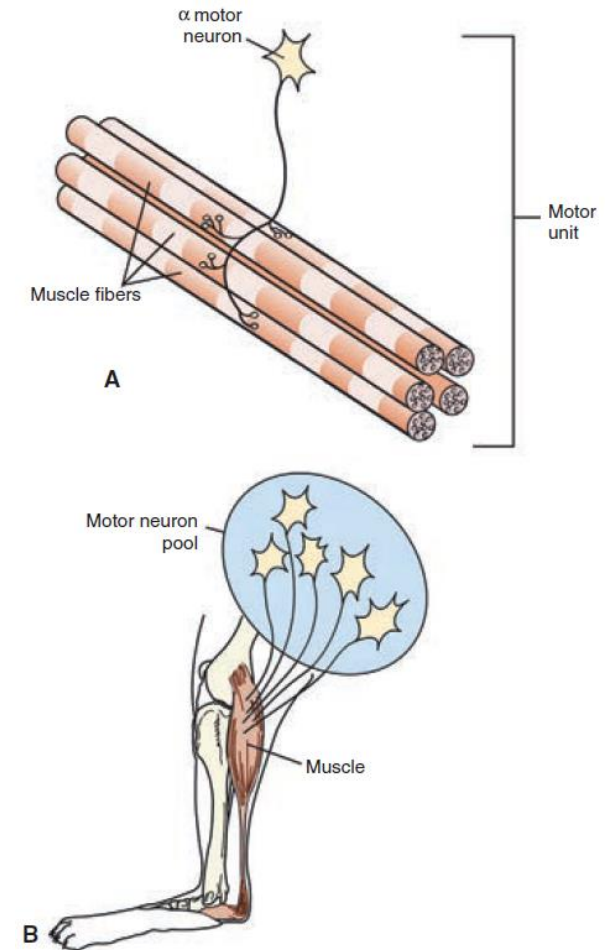


FIGURE 6-8 Innervation of skeletal muscle by α motor neurons of central nervous system (CNS). **A**, A motor unit is an α motor neuron and all the skeletal muscle fibers it innervates. **B**, Neuronal cell bodies of all the motor units from a single muscle form a cluster within the CNS called the *motor neuron pool* of that muscle. (Redrawn from Bear MF, Connors BW, Paradiso MA: *Neuroscience: exploring the brain*, ed 3, Philadelphia, 2007, Lippincott, Williams & Wilkins.)

- Memulai gerakan yang dipelajari, terampil, dan sukarela dari otot distal sebagian besar merupakan tanggung jawab subkelompok saluran neuron motorik atas yang memproyeksikan melalui daerah yang lebih lateral dari materi putih sumsum tulang belakang dan berakhir di daerah lateral materi abu-abu sumsum tulang belakang.
- Memulai aktivitas antigravitasi dan otot postural adalah tanggung jawab dari traktus neuron motorik atas yang berhubungan dengan lebih banyak daerah medial dari materi putih dan abu-abu sumsum tulang belakang.
- Perbedaan lateralmedial ini adalah prinsip organisasi yang signifikan dalam kendali motorik sistem saraf pusat (SSP). Pergerakan otot distal yang terampil dan disengaja terutama dikendalikan oleh sistem lateral neuron motorik bawah dan traktus neuron motorik atas. Lebih banyak sistem medial dari neuron dan traktus seperti itu terutama mengontrol aktivitas postural dan antigravitasi dari otot proksimal dan aksial.

Struktur Sistem Saraf Pusat Yang Mengontrol Gerakan Memiliki Organisasi Hirarkis

- Prinsip organisasi lain dari kontrol saraf gerakan adalah bahwa ia terdiri dari hierarki. Umumnya, gerakan atau pola gerakan yang lebih sederhana diatur oleh bagian yang lebih ekor dari SSP dan pola yang lebih kompleks dan terampil diatur oleh wilayah yang semakin rostral.

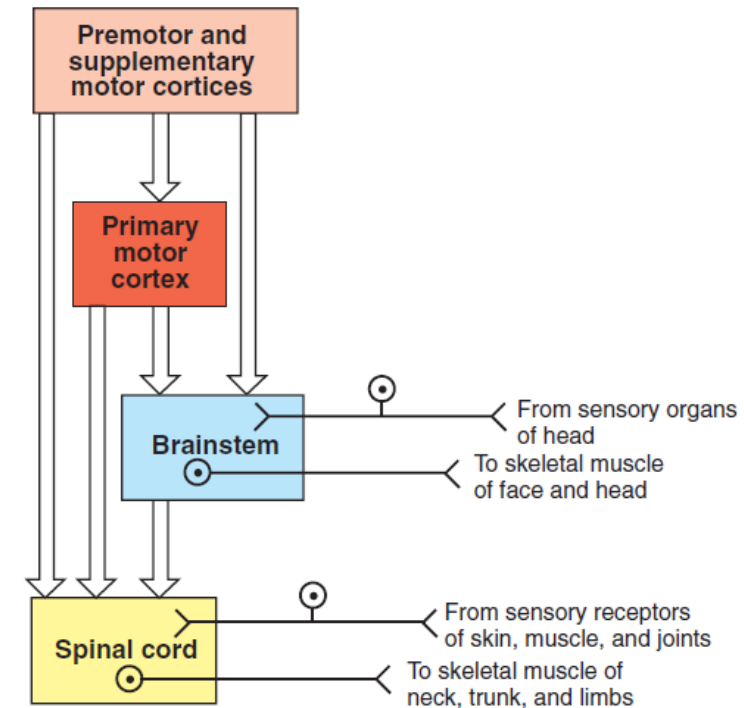


FIGURE 10-1 Motor system hierarchy.

Tulang Belakang Adalah Tingkat Paling Caudal dan Paling Sederhana dari Hirarki Kontrol Gerakan

- Sumsum tulang belakang berisi neuron motorik bawah yang bersinaps dengan otot-otot batang dan tungkai. sebuah neuron motorik bawah α mempersarafi beberapa serat otot ekstrasfasal dari satu otot, membentuk sebuah unit motorik. Badan sel saraf dari unit motorik dari otot tertentu dikelompokkan menjadi kumpulan neuron motorik yang terletak di tanduk ventral materi abu-abu sumsum tulang belakang.
- Kumpulan neuron motorik otot memiliki organisasi longitudinal berbentuk cerutu di medula spinalis, sering meluas secara rostrocaudal ke beberapa segmen medula spinalis. Kumpulan neuron motorik ini memiliki organisasi somatotopic di tanduk ventral; yaitu, posisi relatifnya di SSP sesuai dengan posisi tubuh relatif dari otot yang dipersarafi oleh neuronnya.
- Mengaktifkan neuron premotor di bagian lateral zona perantara di satu sisi tubuh umumnya akan mengaktifkan sejumlah kecil neuron motorik α , di bagian lateral tanduk ventral, di sisi tubuh yang sama. Ini pada gilirannya akan menghasilkan aktivasi sejumlah kecil otot ekstremitas distal yang umumnya akan digunakan untuk skill movement.
- neuron premotor dan motorik α tulang belakang yang sama yang berpartisipasi dalam refleksi tulang belakang sederhana dapat diaktifkan oleh otak untuk berpartisipasi dalam urutan skill movement

Batang Otak Jalur Saraf Motorik Atas Adalah Sumber dari Semua Input Sistem Motorik Turun ke Saraf Spinal, Kecuali untuk Satu Jalur Utama Lainnya

- Empat saluran akson utama berasal dari batang otak dan turun ke sumsum tulang belakang untuk mempengaruhi neuron motorik bawah tulang belakang: saluran vestibulospinal, saluran retikulospinalis, saluran tektospinal, dan saluran rubrospinal (**Gambar di slide selanjutnya**)
- Secara kolektif, tiga yang pertama terlibat dalam pemeliharaan dan penyesuaian postur tubuh yang tidak disengaja dan dalam orientasi refleks kepala.
- Oleh karena itu mereka terutama terlibat dalam pengendalian otot aksial dan proksimal. Saluran rubrospinal terutama terlibat dalam pengendalian otot-otot tungkai distal dari jenis yang memediasi skill movement. Keempat saluran ini (seringkali bersama dengan komponen ganglia basal dan otak kecil) kadang-kadang disebut sebagai sistem motorik ekstrapiramidal.
- Empat saluran dari batang otak ke sumsum tulang belakang secara bersama-sama disebut di sini sebagai jalur motorik batang otak yang turun.
- Batang otak, seperti sumsum tulang belakang, mengandung neuron motorik bawah yang secara sinaptik dapat mengaktifkan otot rangka, dalam hal ini otot wajah dan kepala.
- batang otak juga menyediakan sarana dimana masukan dari organ sensorik di wajah dan kepala dapat mencapai dan mengontrol neuron motorik bawah dari sumsum tulang belakang yang mengoperasikan otot-otot batang dan tungkai

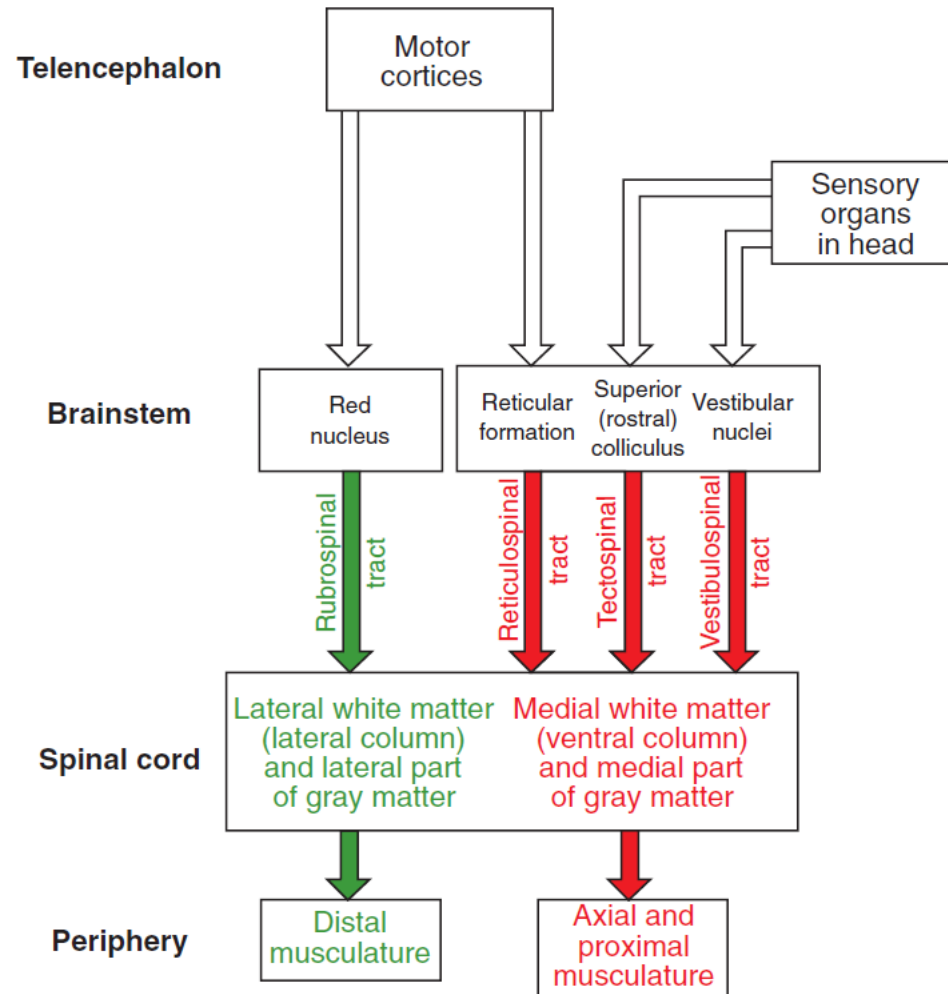


FIGURE 10-3 Organization of the descending brainstem motor pathways to the spinal cord. The medial brainstem motor pathways are the reticulospinal, vestibulospinal, and tectospinal tracts (*labeled red arrows*). They travel in more medial regions of the spinal cord white matter and synapse within more medial regions of the spinal cord gray matter controlling the axial and proximal musculature. The rubrospinal tract (*labeled green arrow*) is a lateral brainstem motor pathway that travels in more lateral regions of the spinal white matter and synapses within more lateral regions of the spinal gray matter controlling the distal limb musculature. Crossing of some of the pathways is not represented.

Medial and Lateral Descending Brainstem Motor Pathways Respectively Control Proximal Muscles of Posture and More Distal Muscles of Skilled Movement

- jalur motor batang otak medial memproyeksikan ke daerah medial dari sumsum tulang belakang materi abu-abu yang neuronnya mengontrol otot ekstensor posisi medial (aksial dan proksimal), sedangkan jalur motor batang otak lateral memproyeksikan ke daerah lateral materi abu-abu tulang belakang yang neuronnya mengontrol otot fleksor yang lebih lateral (distal) dari skill movement.

Reticulospinal dan Vestibulospinal Tracts Merupakan Jalur Motor Batang Otak Medial yang Penting untuk Menjaga Tubuh Tetap Tegak Terhadap Tarikan Gravitasi.

- Tanggung jawab utama jalur motor batang otak medial yang turun adalah untuk menjaga tubuh secara tidak sadar dalam posisi tegak melawan tarikan gravitasi.
- Traktus retikulospinal dan vestibulospinal memainkan peran utama dalam kendali tak sadar dari otot ekstensor aksial dan proksimal yang mencegah hewan jatuh ke tanah.
- Traktus retikulospinalis sangat penting dalam mengontrol besarnya tingkat kontraksi keadaan mapan, atau tonus otot, dari otot-otot antigravitasi ini.
- Saluran vestibulospinal memainkan peran penting dalam mengaktifkan otot antigravitasi sebagai respons terhadap destabilisasi tubuh sehubungan dengan gravitasi
- Pengaruh dari daerah lain dari batang otak, otak kecil, dan sumsum tulang belakang memberi inti retikuler pontine dengan aktivitas spontan tingkat tinggi. Efek dari aktivitas rangsang spontan pada tonus otot antigravitasi dapat diredakan dengan aktivasi inti retikuler meduler penghambat.

- Proyeksi kortikal yang menurun ke asal-usul saluran retikulospinal memberikan saluran itu dengan dua fungsi motorik yang penting, di samping peran pentingnya dalam modulasi bawah sadar tonus otot antigravitasi.
- Fungsi pertama terkait dengan skill movement yang membutuhkan latar belakang postur tubuh yang stabil, seperti disebutkan sebelumnya. Tepat sebelum pelaksanaan skill movement semacam itu, saluran retikulospinalis secara tidak sadar mengaktifkan otot aksial dan proksimal yang sesuai yang akan mengkompensasi destabilisasi postural yang akan dihasilkan oleh gerakan sukarela yang dimaksudkan (biasanya otot distal). Traktus retikulospinalis juga berperan dalam eksekusi sukarela dari gerakan kasar (tidak terbunuh), sering kali gerakan stereotip dari otot tungkai proksimal, seperti yang terlibat dalam gerakan menunjuk atau bergerak sederhana.
- Seperti pada traktus retikulospinalis, akson sinaps traktus vestibulospinalis di dalam regio medial dari materi abu-abu medial spinalis yang utamanya mengontrol otot ekstensor aksial dan proksimal. Juga seperti traktus retikulospinalis, akson traktus vestibulospinalis secara kolektif memproyeksikan ke hampir semua level rostrocaudal medula spinalis. Ketika alat vestibular mendeteksi adanya gangguan keseimbangan, alat ini merangsang otot antigravitasi untuk melawan gangguan tersebut. Meskipun saluran vestibulospinal prinsipnya fungsi untuk menghasilkan penyesuaian kompensasi untuk gangguan postural, tampaknya membuat beberapa kontribusi untuk otot anti-gravitasi juga.

- traktus reticulospinal dan vestibulospinal memberikan kontribusi penting untuk mengontrol otot aksial dan proksimal untuk menjaga tubuh tetap tegak. Namun, to-and-fro rhythmicity dari berjalan dan berlari diatur oleh sirkuit interneuron tulang belakang yang mengontrol neuron motorik bawah dengan cara yang berulang dan berosilasi. Meskipun jaringan saraf tulang belakang ini mampu menghasilkan perilaku osilasi sederhana ini tanpa kontrol oleh bagian yang lebih rostral dari hierarki sistem motorik, saluran retikulospinalis memainkan peran penting dalam memulai perilaku lokomotor ini dan dalam mengontrol kecepatannya.
- The *tectospinal tract* is a medial brainstem motor pathway that is principally involved in reflex orientation of the head toward environmental stimuli. The cells of origin of the tectospinal tract are located in the superior colliculus of the midbrain (often called *rostral colliculus* in quadrupeds). Like the other two medial brainstem motor pathways to the spinal cord, the tectospinal tract axons synapse within medial regions of the spinal cord gray matter that primarily control the axial and proximal musculature. However, these axons only project as far as the upper cervical regions of the cord. This is consistent because the tectospinal tract principally controls the musculature that moves the head. The superior colliculus processes visual, auditory, and somatosensory information about the relative position of stimuli in the environment with respect to the organism. The superior colliculus can also control rapid reflex movements (saccades) of the eyes to the stimulus. The tectospinal tract is involved in producing a movement of the head toward the stimulus that corresponds with the rapid eye movement so that the animal's gaze is fixated directly on the stimulus.

The Rubrospinal Tract Is a Lateral Brainstem Motor Pathway That Can Control Distal Limb Musculature Associated with Skilled Movement

- the reticulospinal, vestibulospinal, and tectospinal Tracts . This region of the spinal gray matter exerts extensive, often bilateral control of the axial and proximal musculature involved in postural control and head orientation
- the *rubrospinal tract*, This region of the spinal gray matter exerts unilateral control over a limited complement of muscles of the distal limbs, often flexors, associated with skilled movements of the extremities.
- The red nucleus receives a very significant descending input from higher levels of the motor system hierarchy in the cerebral cortex. This corticorubrospinal route provides a means for the motor cortices to influence indirectly the spinal lower motor neurons that operate the distal limb flexor musculature. Therefore the corticorubrospinal route is involved in the voluntary control of musculature that participates in skilled, often manipulative movements of the extremities (although not in the most dexterous movements of the digits). The rubrospinal tract is more important for these types of movements in quadrupeds compared with primates. In primates, direct projections from motor cortices to the spinal cord (the corticospinal tract, described next) are more important than the rubrospinal tract in the control of voluntary skilled movement of the extremities

The Corticospinal (Pyramidal) Tract Is a Direct Projection from Cerebral Cortex to Spinal Cord Responsible for the Most Skilled Voluntary Movements of Mammals

- Pada mamalia, ada sistem yang lebih efisien untuk kontrol kortikal neuron motorik bawah tulang belakang: proyeksi langsung dari sel-sel di korteks motorik ke materi abu-abu di sumsum tulang belakang. Saluran kortikospinal langsung ini, juga disebut sebagai saluran piramidal, bertanggung jawab atas urutan skill movement yang paling rumit dan cekatan di mana mamalia mampu, terutama gerakan yang melibatkan ekstremitas. Namun, saluran ini juga berpartisipasi dalam gerakan otot distal yang tidak terlalu rumit dan dapat menggunakan beberapa kontrol atas otot postural juga.

Saluran Kortikospinalis Memiliki Komponen Lateral Masif yang Mengontrol Otot Distal dan Komponen Medial Kecil yang Mengontrol Otot Aksial dan Proksimal

- The corticospinal tract axons primarily originate from cells located in the motor cortices of the frontal lobe of the cerebral hemisphere
- Semua sel yang berkontribusi pada saluran terletak di lapisan 5 dari enam lapisan histologis jaringan kortikal
- Ketika akson traktus kortikospinalis mencapai batas spinomedulla, sebagian besar (75% pada taring hingga 90% pada primata) melintasi garis tengah pada struktur yang disebut dekusasi piramidal
- The crossing axons then form the *lateral corticospinal tract*, located in the lateral spinal cord white matter, and synapse within lateral regions of the spinal cord gray matter
- the lateral regions of the spinal gray matter contain premotor and α motor neurons that primarily control the distal flexor musculature of the extremities that participate in skilled, manipulative, usually voluntary movements
- Mengingat organisasi ini, kerusakan pada korteks motorik di satu sisi tubuh memiliki efek yang menghancurkan pada kontrol pergerakan otot fleksor distal di sisi berlawanan dari tubuh. Persentase yang jauh lebih kecil dari akson yang berjalan di piramida meduler tidak melewati garis tengah pada dekusasi piramidal dan tetap berada di sisi yang sama dari tubuh untuk membentuk saluran kortikospinal ventral yang jauh lebih kecil.
- The ability of the corticospinal tract to control the most dexterous, skilled movements of the body derives from the synaptic termination pattern of several of its axons. The greater the number of synapses between a neuron in the motor cortices and an α motor neuron in the spinal cord ventral horn, the greater is the number of α motor neurons activated and the less precise the control of the musculature

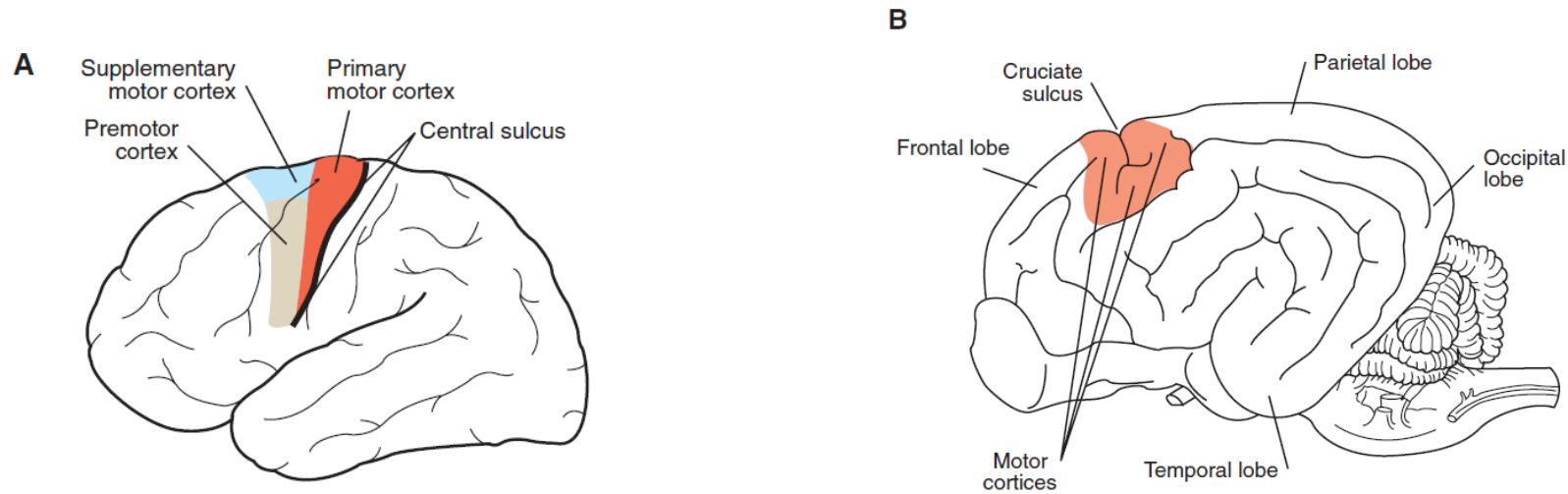


FIGURE 10-6 Motor cortices. **A**, Location of primary motor, supplementary motor, and premotor cortices in the human brain. **B**, Vicinity of the motor cortices in the canine brain.

- primary motor cortex (MI), Stimulasi listrik tingkat rendah dari wilayah MI yang sangat kecil mampu mengaktifkan sejumlah kecil yang terkait secara fungsional otot. Wilayah yang digambarkan sebagai yang lebih besar memiliki area MI yang lebih besar yang dikhususkan untuk kontrol otot sukarela mereka, dan dengan demikian pergerakan wilayah itu umumnya akan jauh lebih tepat dan terpecah.
- The *supplementary motor cortex* and the *premotor cortex*, motorik tambahan dan korteks premotor mengirim akson ke sinaps di dalam MI dan dengan demikian dapat mewakili area "supramotor", dengan status yang lebih tinggi dalam hierarki kontrol motorik daripada MI; area ini dapat menginstruksikan MI untuk mengatur tindakan otot yang cukup terpisah menjadi pola gerakan yang lebih rumit. Konsep ini didukung oleh fakta bahwa, untuk gerakan sukarela, neuron di area supramotor menjadi aktif sebelum neuron pada MI.

- Menggunakan analogi bermain piano, kita dapat melihat MI sebagai yang bertanggung jawab atas aktivasi otot paling sederhana yang diperlukan untuk menekan satu tuts piano, korteks motorik tambahan bertanggung jawab untuk merencanakan dan mengatur urutan gerakan jari yang diperlukan untuk memainkan melodi, dan korteks premotor yang bertanggung jawab untuk mengarahkan lengan dan tangan ke area keyboard yang benar untuk memainkan berbagai urutan

Corticospinal Tract Co-Activation of Both Alpha (α) and Gamma (γ) Lower Motor Neurons May Help with Small Automatic Corrections of Voluntary Movements

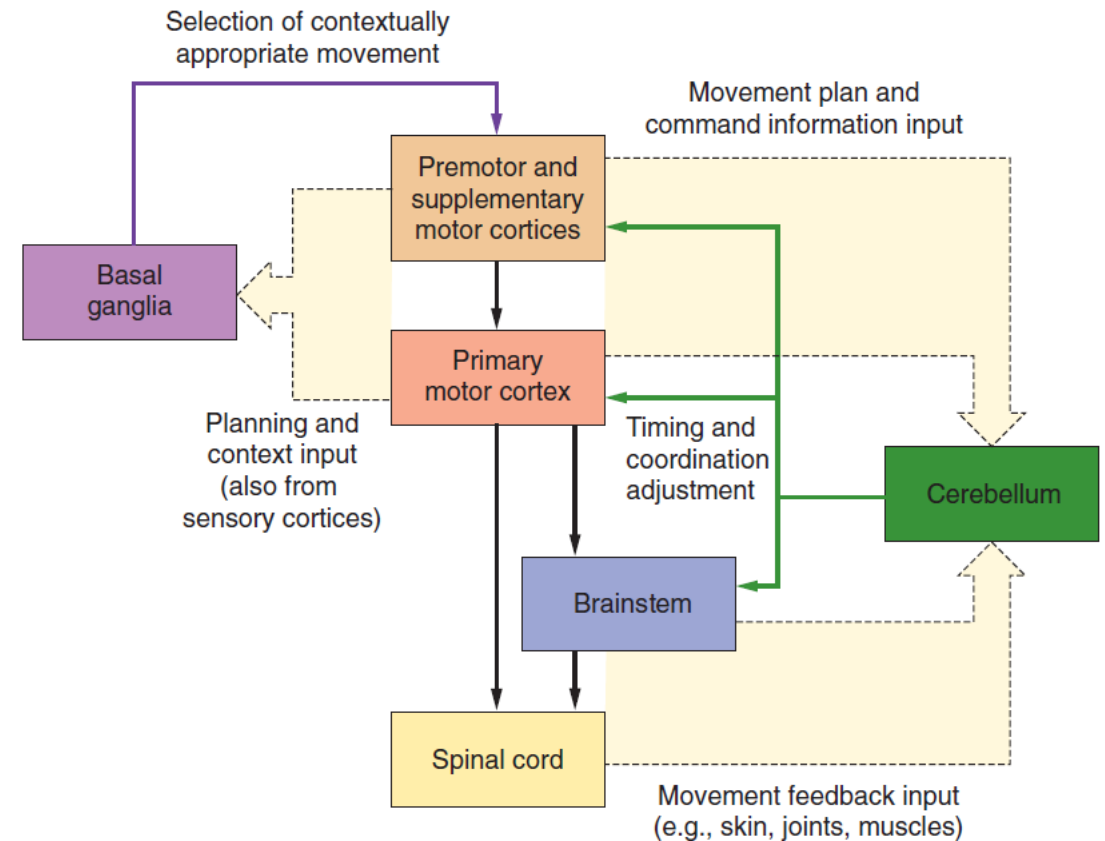
- α - γ co-activation is a principle common to the excitation of lower motor neurons by upper motor neurons. It has been suggested that such co-activation may permit the muscle spindle to function as an “automatic error correction system” when voluntary movement against a load results in a small deviation from the intended result.
- the activation of γ motor neurons along with α motor neurons ensures that the intrafusal muscle fibers remain taut enough to transduce stretch even as the muscle reaches a shorter length on contraction of the extrafusal fibers. The γ motor neuron activation tightens the intrafusal fibers by causing contraction of their polar ends, resulting in adjustment of the muscle spindle sensitivity to the new length of the muscle

The Motor System Shares Some Organizational Principles with Sensory Systems

- Topographic organization also exists in many sensory systems, except it is the peripheral receptor surface that is topographically mapped. For example, CNS components of the somatosensory (touch) system, such as primary somatosensory cortex, contain an organized somatotopic map of the different regions of the skin surface.
- Two other principles of organization shared by the motor system and sensory systems are serial and parallel processing of nervous system information. In sensory systems, *serial processing* generally refers to the passage of information from the periphery to successively more rostral regions of the nervous system, in a serial fashion
- *Parallel processing* refers to the different pathways within a given sensory system operating in parallel, respectively, to carry qualitatively different forms of information. Again, using the somatosensory system as an example, there are separate pathways to cerebral cortex to carry information about gentle touch of the skin and about intense skin contact usually perceived as painful

The Basal Ganglia and Cerebellum Modulate the Activity of Motor System Components for the Respective Selection and Adjustment of Movement

- The *basal ganglia* are a group of nuclei, the majority of which are deep within the cerebral hemispheres. They include the caudate nucleus and putamen (known collectively as the striatum), the globus pallidus, the substantia nigra, and the subthalamic nucleus.
- The internal neural circuitry of this multinuclear functional unit is extremely complex and participates in several parallel pathways running through the basal ganglia.
- The basal ganglia receive input from the motor cortices and many other areas of cerebral cortex and, by way of the thalamus, project output back to the motor cortices, particularly the supplementary motor and premotor cortices. Again, these regions are important in the planning and preparation for movement.
- Some basal ganglia output projects directly to brainstem nuclei controlling movement.



- the basal ganglia use the information received from the cortex, including information about the movement plan and the context of the situation, to *help select the appropriate movement pattern while suppressing less appropriate, competing patterns*. Two principal circuits within the basal ganglia play an important role in this process. One circuit acts to facilitate inhibitory output of the basal ganglia, presumably acting to suppress the inappropriate, competing movement pattern. The other circuit acts to reduce inhibitory output of the basal ganglia, presumably “removing the brakes” from the appropriate movement pattern.
- The structure and function of the *cerebellum* and its role in motor control.
- The cerebellum’s importance in motor control is indicated by the earlier observation that virtually all the nuclei giving rise to the brainstem motor pathways receive output from the cerebellum. Also, the cerebellum indirectly receives input (through pontine nuclei) from the motor cortices (MI, supplementary motor cortex, premotor cortex)
- As with the basal ganglia, the cerebellum not only receives information from the motor cortices, but indirectly sends information back to them as well.
- the cerebellum receives much sensory information from the skin, joints, muscles, vestibular apparatus, and even the visual system. Therefore the cerebellum receives information about the planning and initiation of movement, as well as continuous sensory feedback about the progress of the movement
- The cerebellum in turn can influence activity in the motor cortices and in the brainstem motor pathways to the spinal cord.

The Concept of a Reflex

- Refleksi adalah contoh perilaku paling sederhana dari fungsi umum sistem saraf: pengumpulan masukan sensorik, integrasi, dan keluaran motorik. Refleksi sering kali penting untuk kelangsungan hidup dan komponen perilaku yang lebih kompleks. Anatomi dan fungsi busur refleksi sering kali berkembang sepenuhnya saat lahir.

A Reflex Arc Contains Five Fundamental Components

- Semua busur refleksi dimulai dengan **reseptor sensorik**. Reseptor sensorik sangat bervariasi di dalam tubuh tetapi memiliki fungsi yang sama: mereka mentransduksi berbagai energi lingkungan, atau keberadaan bahan kimia lingkungan, menjadi respons seluler yang secara langsung atau tidak langsung menghasilkan potensial aksi di sepanjang neuron sensorik
- Dengan kata lain, reseptor ini mengumpulkan sinyal lingkungan dan mengubahnya menjadi format yang dapat dipahami oleh sistem saraf

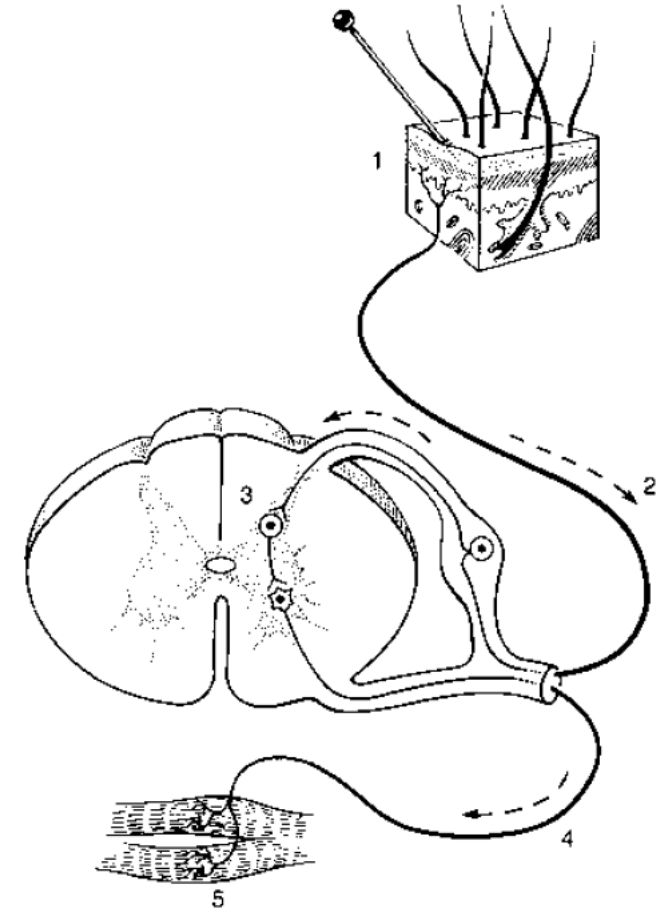


FIGURE 7-1 A reflex arc contains five fundamental components: 1, a receptor; 2, a sensory neuron; 3, one or more synapses in the CNS; 4, a motor neuron; and 5, a target organ, usually a muscle. (From De Lahunta A, editor: *Veterinary neuroanatomy and clinical neurology*, ed 2, Philadelphia, 1983, Saunders.)

- **neuron sensorik** (afere SSP). Neuron ini membawa potensial aksi, yang dihasilkan dari aktivasi reseptor, ke SSP.
- Dalam beberapa kasus reseptor hanyalah suatu daerah khusus, biasanya perifer, dari neuron sensorik (reseptor primer). Dalam kasus lain reseptor secara fisik terpisah dari dan sinapsis pada neuron sensorik (reseptor sekunder).
- Neuron sensorik memasuki sumsum tulang belakang melalui akar punggung atau masuk ke otak melalui saraf kranial.
- **sinaps di SSP**. Sebenarnya, untuk kebanyakan busur refleks, lebih dari satu sinapsis terjadi secara seri (polisinaptik). Namun, beberapa busur refleks yang berasal dari gelendong otot bersifat monosinaptik. Dalam refleks polisinaptik, di mana satu atau lebih neuron terletak di antara masukan neuron sensorik ke SSP dan keluaran neuron motorik, neuron sela ini disebut interneuron dan dapat dianggap sebagai bagian dari komponen ketiga busur refleks ini.

- *motor neuron (CNS efferent)*, yang membawa potensial aksi dari SSP menuju sinaps dengan organ target (efektor). Neuron motorik meninggalkan sumsum tulang belakang melalui akar ventral, dan neuron motorik meninggalkan otak melalui saraf kranial
- **organ target** (organ efektor) yang menyebabkan respons refleks. Ini biasanya otot, seperti serat otot rangka dari otot paha depan kaki, dalam kasus refleks "sentakan lutut" (peregangan otot), atau otot polos iris dalam refleks cahaya pupil. Sasarannya juga bisa berupa kelenjar, seperti kelenjar ludah pada refleks saliva.

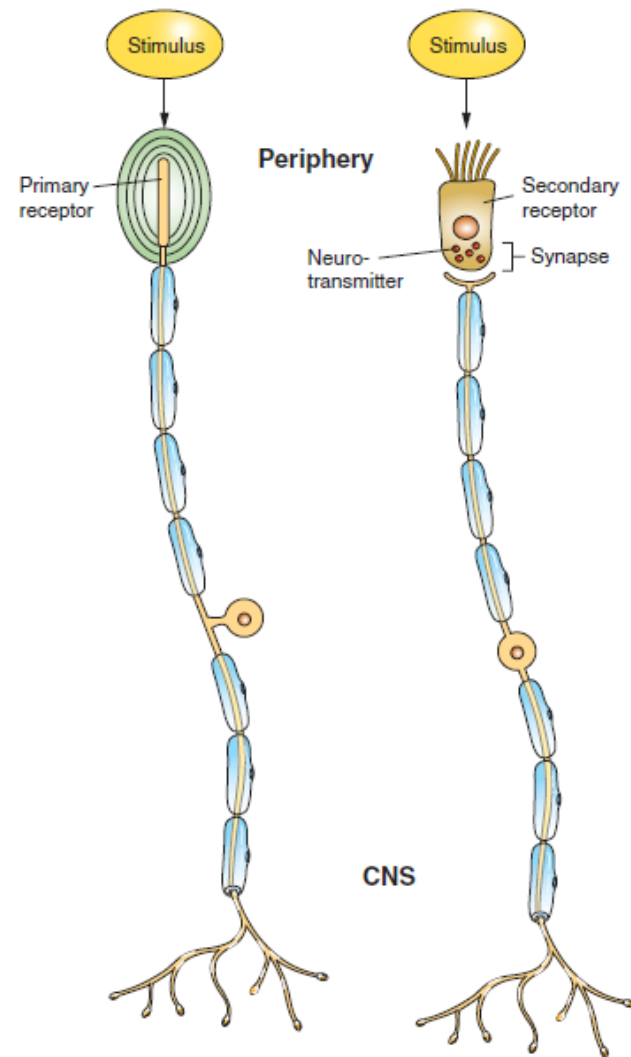


FIGURE 7-2 Primary and secondary sensory receptors. A primary sensory receptor (*left*) is a neuron with a peripheral ending specialized for stimulus transduction. In this particular case, the encapsulated peripheral ending of the neuron transduces the stimulus. The secondary receptor (*right*) is a nonneural cell designed for stimulus transduction, which subsequently releases neurotransmitter onto an adjacent neuron.

Reflex Arcs Can Be Segmental or Intersegmental

- **Refleks segmental** adalah refleks yang dilewati oleh busur refleks hanya sebagian kecil rostrocaudal dari SSP
- Dalam kasus seperti itu, pintu masuk neuron sensorik ke SSP, sirkuit SSP, dan pintu keluar neuron motorik semuanya memiliki lokasi rostrocaudal yang serupa. Refleks peregangan **paha depan (refleks sentakan lutut)** dan **refleks cahaya pupil** adalah contoh refleks segmental karena masing-masing hanya menggunakan **sejumlah kecil segmen sumsum tulang belakang (misalnya, L4-L6)** atau **daerah rostrocaudal kecil batang otak**.
- Dalam refleks intersegmental, busur refleks melintasi banyak segmen sumsum tulang belakang atau beberapa divisi utama otak (misalnya, medula ke otak tengah). Dalam satu kelas refleks intersegmental, pintu keluar neuron motorik terletak, atau meluas, jarak rostral atau ekor yang cukup dari lokasi pintu masuk neuron sensorik ke SSP
- Untuk beberapa refleks intersegmental, pintu masuk neuron sensorik dan pintu keluar neuron motorik berada di lokasi rostrocaudal yang serupa, tetapi sirkuit SSP terletak di antara perjalanan ke dan kembali dari daerah adistant SSP.

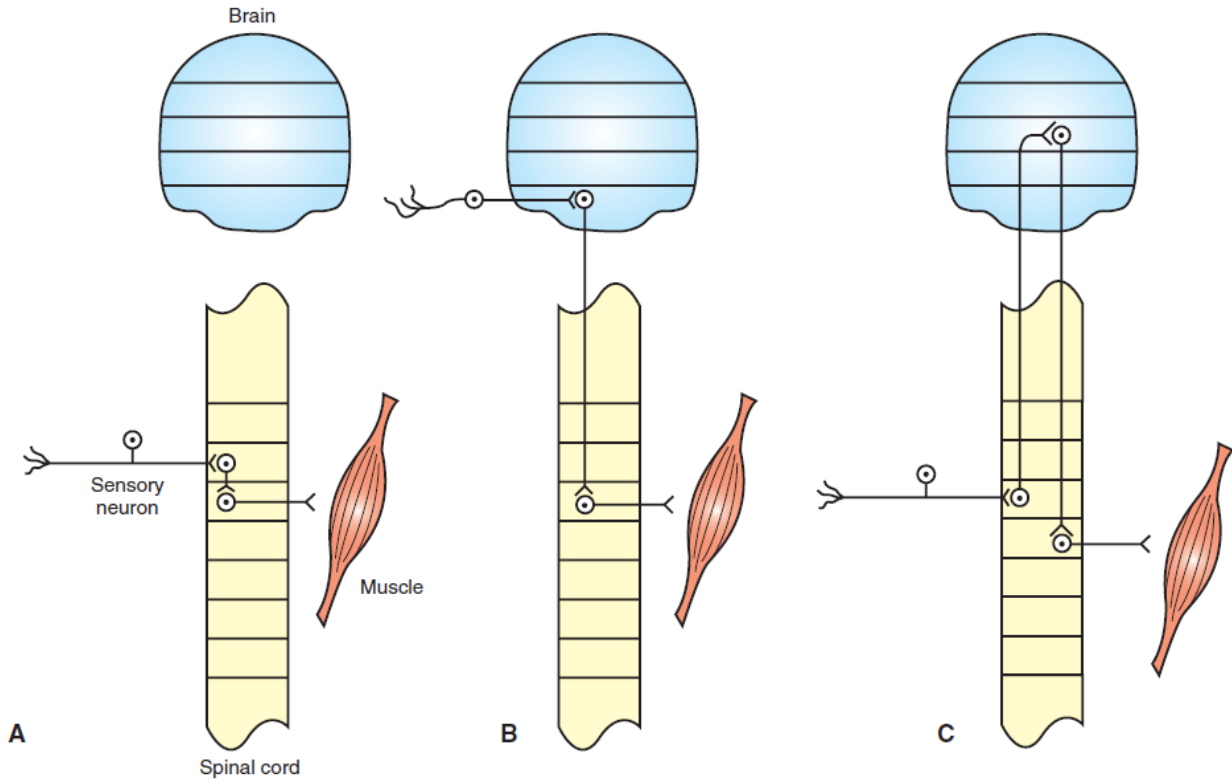


FIGURE 7-3 Segmental and intersegmental reflexes. **A**, In the segmental reflex the sensory neuron input, CNS circuitry, and motor neuron output traverse only a small number of rostrocaudal segments of the CNS. **B**, Intersegmental reflex arcs traverse several CNS segments. In some intersegmental reflexes the sensory neuron input and motor neuron output are separated by several segments. **C**, The long-loop intersegmental reflex arc traverses several CNS segments, even though the sensory input and motor output are located in close rostrocaudal proximity. Horizontal lines delimit either spinal cord segments (e.g., L1, L2) or major brain divisions (e.g., medulla, pons).

Reflex Arcs Are Widespread in the Nervous System, and Reflexes Underlie a Major Portion of the Neurological Examination

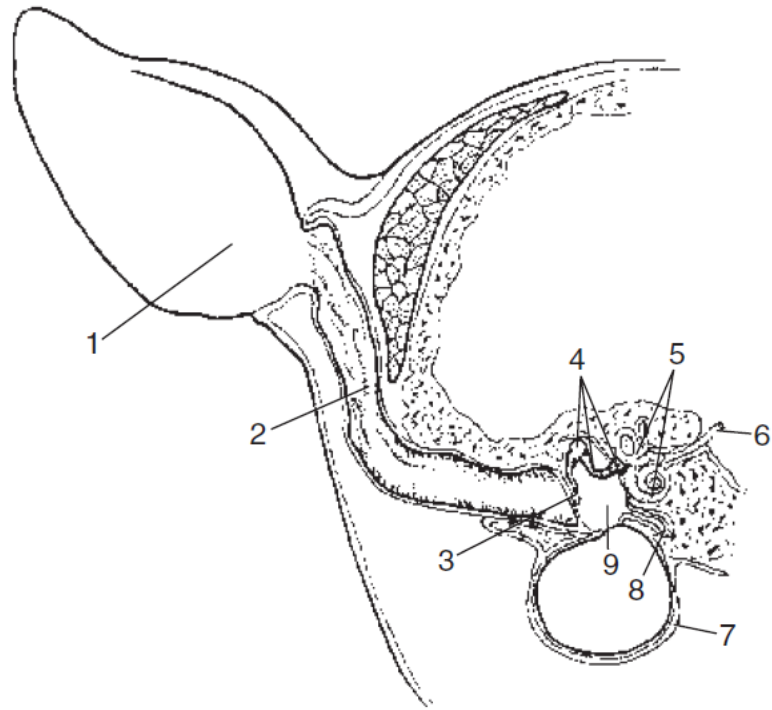
- Busur refleksi ada di mana-mana dalam sistem saraf dan merupakan dasar dari sebagian besar alam bawah sadar hewan, respons tak sadar terhadap lingkungannya. Sebagian besar pemeriksaan klinis sistem saraf oleh dokter hewan melibatkan membangkitkan respons refleksi, seperti refleksi cahaya pupil, refleksi peregangan otot (sentakan lutut), dan refleksi flektor.
- Jika salah satu dari lima komponen kegagalan fungsi busur refleksi, respons refleksi yang diharapkan diubah atau tidak terjadi.
- Penting untuk mengetahui anatomi umum, fisiologi, dan respon klinis normal yang diharapkan dari refleksi umum untuk melakukan pemeriksaan neurologis sehingga lesi dapat dilokalisasi.
- Misalnya, hilangnya penyempitan pupil terhadap cahaya sehubungan dengan respons normal terhadap rangsangan visual lainnya, seperti menghindari objek yang datang dengan cepat, menunjukkan bahwa masalahnya mungkin bukan pada reseptor sensorik atau komponen neuron sensorik dari busur refleksi.

Hearing

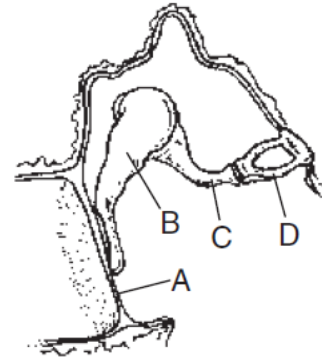
- Banyak spesies mamalia memiliki indra pendengaran yang sangat tajam. Pendengaran bergantung pada sifat luar biasa dari reseptor sel rambut di koklea yang memediasi transduksi suara menjadi potensi aksi yang kemudian dikirim ke otak

Sound Waves Are Alternating Phases of Condensation and Rarefaction (Pressure Waves) of Molecules in the External Environment

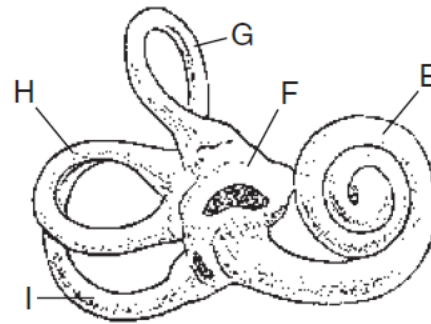
- *Sound waves* are longitudinal vibrations of molecules in the external environment characterized by alternating phases of condensation and rarefaction (increases and decreases in pressure).
- These alternating changes in pressure produce the sensation of sound after they strike the tympanic membrane and are subsequently transduced into neural signals that ultimately reach the cerebral cortex.
- Sound waves reaching the tympanic membrane can be expressed as changes in sound pressure as a function of time
- the subjective loudness of the sound is correlated with the amplitude of a sound wave; the subjective pitch is correlated with the frequency of the wave.
- The amplitude of a sound is usually quantified according to the logarithmic decibel scale, which expresses the energy of the sound relative to the energy of a standard reference sound. This standard sound, representing 0 decibels (dB), is the threshold for human hearing where the sound of the background movement of air molecules can almost be heard. Normal conversation is about 60 dB, and the loudest tolerable sound for humans is about 120 dB, about 1 million times the threshold amplitude.
- The loudest reported dog barking has been recorded as 108 dB. Sound frequency, the number of pressure oscillation cycles per unit time, is usually expressed in units called hertz (Hz), where 1 Hz equals 1 cycle per second



Schematic section through the left ear



The auditory ossicles



The bony labyrinth

FIGURE 17-2 Schematic diagrams of a section through the left ear, the auditory ossicles, and the bony labyrinth. 1, Pinna; 2, ear canal; 3, tympanic membrane; 4, auditory ossicles; 5, bony labyrinth; 6, eighth cranial nerve; 7, tympanic bulla; 8, eustachian tube; 9, middle ear; A, tympanic membrane; B, malleus; C, incus; D, stapes; E, cochlea; F, utricle; G, H, and I, semicircular canals. (From Getty R: *Atlas for applied veterinary anatomy*, ed 2, Ames, Iowa, 1964, Iowa State University Press.)

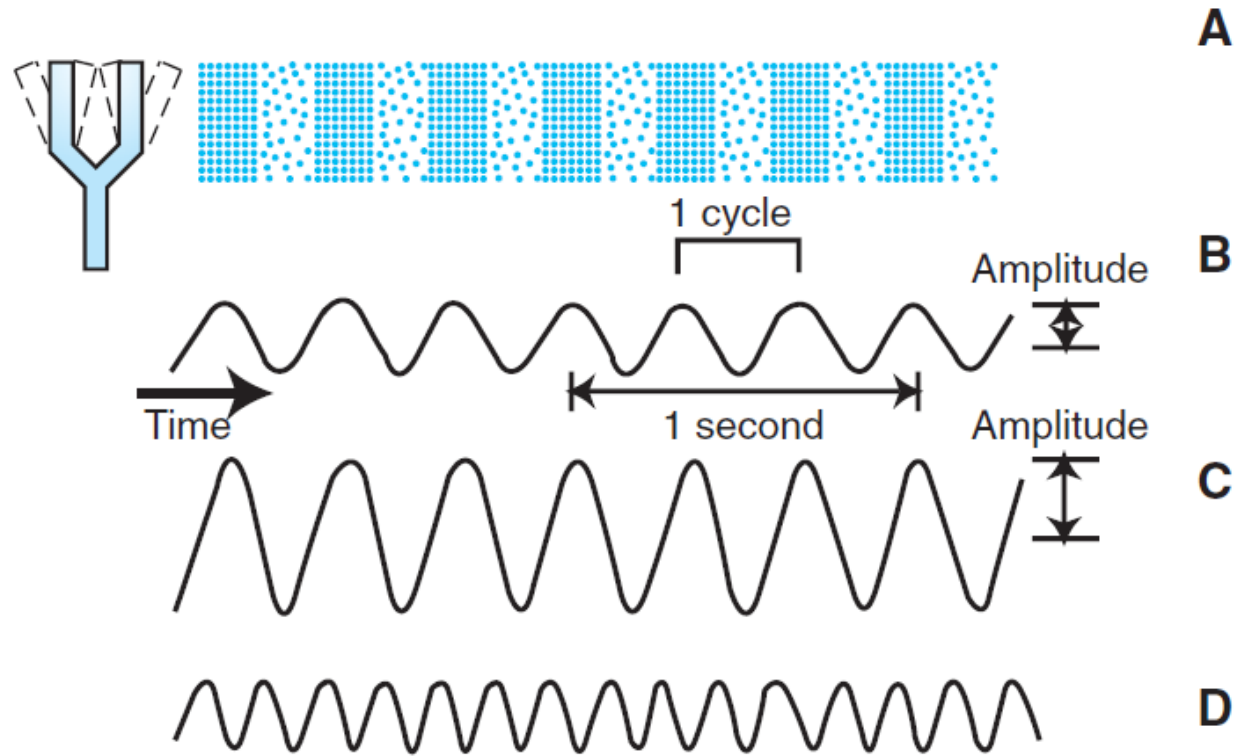


FIGURE 17-1 Characteristics of sound waves. **A**, Cyclical expansion and contraction of the tuning fork produce a cyclical compression and rarefaction of air molecules and a cyclical change in air pressure. **B**, Cyclical change in air pressure corresponding to a pure tone. The number of cycles per second is the frequency of the tone and is expressed in hertz (Hz). The frequency of the tone in *B* is 3 Hz. The amplitude of the wave reflects the magnitude of the pressure increase and is usually expressed in decibels (dB). **C**, Tone with a greater amplitude is perceived as louder than *B*. **D**, Tone with a greater frequency is perceived as having a higher pitch than *B* and *C*.

Outer and Middle Ears Funnel Sound Waves to the Cochlea

- The outer ear, composed of the fleshy part (pinna) and the ear canal, funnels sound waves to the *tympanic membrane*, or eardrum
- Some animals can move the pinna to more effectively collect sound waves, and the natural shape of the pinna can act to selectively filter certain sound frequencies.
- The eardrum is a membrane between the outer and the middle ear.
- The middle ear is an air-filled cavity in the temporal bone and is connected to the nasopharynx by the auditory (eustachian) tube.
- Three tiny bones—the malleus, incus, and stapes—collectively called the *ossicles*, are connected to each other and are located in the middle ear.
- The ossicles transfer vibration of the eardrum to the oval window in a manner that avoids a significant loss of energy as the sound wave is transferred from the air-filled outer ear to the fluid-filled inner ear.
- Two small skeletal muscles are also located in the middle ear, with one attached to the malleus and one attached to the stapes.
- Their contraction reduces the transfer of vibration between the eardrum and the oval window. This can function to protect the inner ear from very loud sounds.

The Cochlea Is Located in the Inner Ear

- The inner ear (labyrinth) contains the receptor organs of two sensory systems: (1) the vestibular system, which detects acceleration and static tilt of the head. and (2) the auditory system, which detects and analyzes sound.

The Cochlea Transduces Sound Waves to Action Potentials of the Eighth Cranial Nerve

- Sound waves in the external environment are collected by the outer ear and cause vibrations of the tympanic membrane.
- These vibrations are transmitted through the middle ear by movement of the ossicles and result in similar vibrations of the oval window of the cochlea. As the oval window vibrates, sound energy is transferred down through the perilymph of the scala vestibuli and down through the endolymph of the scala media to the basilar membrane. This energy produces a series of traveling waves that begin near the base of the basilar membrane (closest to the oval window) and move along its length.
- The situation is analogous to whipping the free end of a rope that is stationary at the opposite end.
- The movement of the traveling wave causes portions of the flexible basilar membrane to move up and down. Because the organ of Corti sits atop the basilar membrane, this up-and down motion causes the hair cell cilia to be sheared back and forth against the anchored, overlying tectorial membrane
- This, in turn, changes the release of transmitter from the hair cells onto the eighth nerve neurons, which in turn alters the action potential firing rate of these neurons. It is at this point that the organ of Corti has transduced the sound wave energy into neural activity.

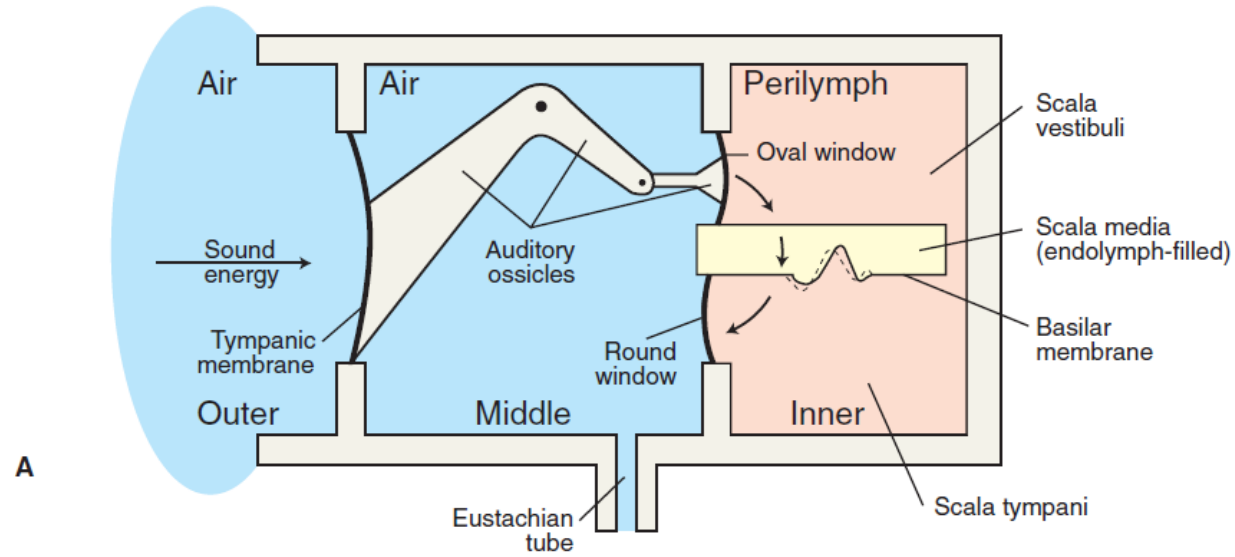
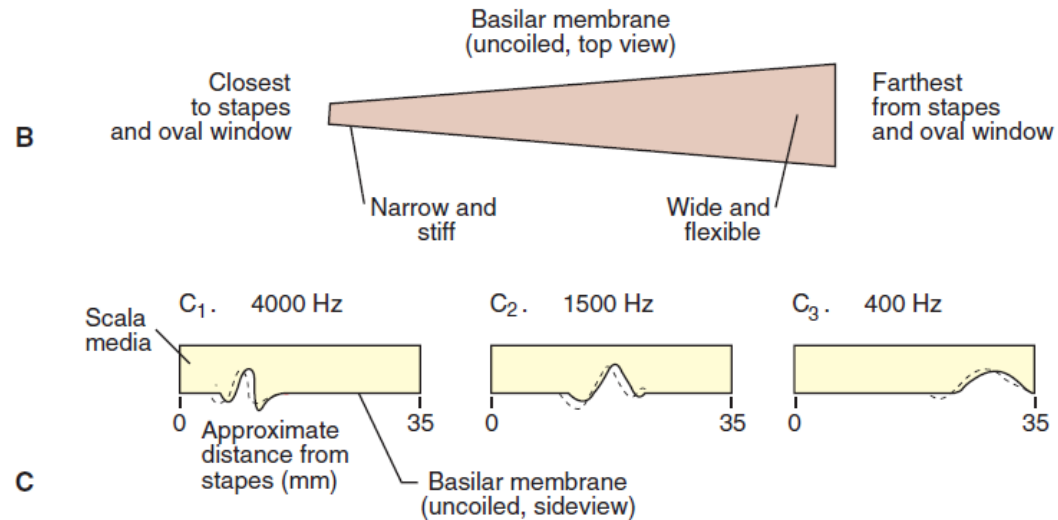


FIGURE 17-4 Schematic representation of the transmission of sound energy from the outer ear to the inner ear. **A**, Sound energy enters the air-filled outer ear and vibrates the tympanic membrane, which produces movement of the ossicles in the air-filled middle ear. Ossicular movement displaces the oval window of the fluid-filled inner ear, resulting in a traveling wave on the basilar membrane. **B**, Basilar membrane is narrow and stiff at the base and wider and more flexible farther from the base. **C**, As the frequency of a sound decreases, the region of maximum displacement of the basilar membrane, produced by the traveling wave, is located progressively farther from the base. (Redrawn from Lippold OCJ, Winton FR: *Human physiology*, ed 6, New York, 1972, Churchill Livingstone.)

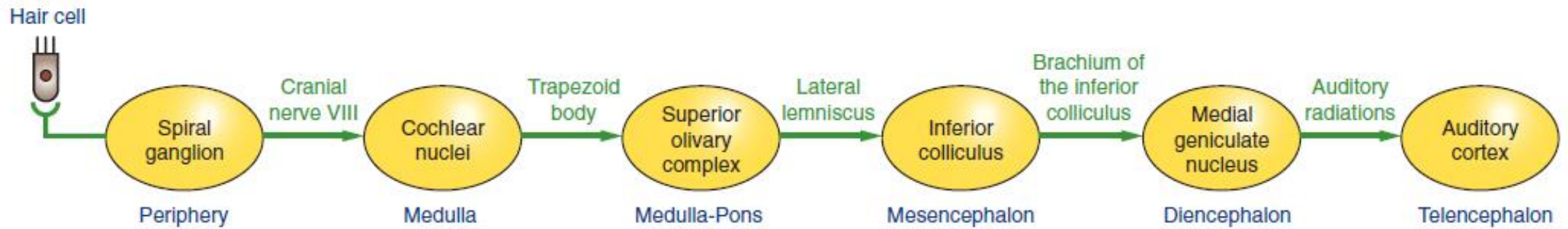


Deciphering of Sound Wave Frequency Begins in the Cochlea

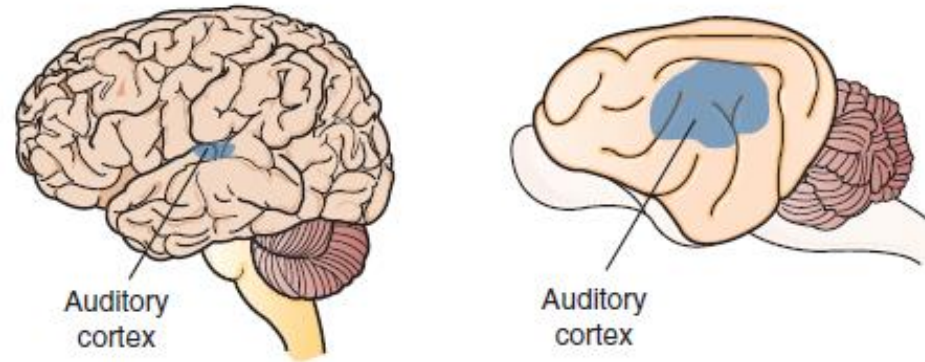
- Because the organ of Corti sits atop the basilar membrane, high-frequency sounds are most likely to affect hair cells and their associated eighth nerve neurons near the base of the membrane. As frequency decreases, the hair cells and neurons that are activated are located progressively closer to the apex. Given this orderly relationship between the frequency of a sound wave and the region of the cochlea that is activated by that frequency, the cochlea is said to have a *tonotopic organization*.
- Therefore a principal means by which the nervous system begins to decipher the frequency of a sound is through the location of the hair cells and neurons that are most affected by that sound.
- Among species, there is a rough positive correlation between **the number of coils or turns in the cochlea and the size of the frequency range for hearing**, although there are exceptions for some species with specialized cochleas (e.g., horseshoe bat, kangaroo rat). The upper frequency range of hearing appears to be negatively correlated with the distance between the two ears

Action Potentials from the Cochlea Are Transmitted Up Through the Brainstem to the Cerebral Cortex

- Potensi aksi yang timbul di koklea berjalan di sepanjang bagian koklea dari saraf kranial kedelapan ke inti koklea di medula oblongata.
- Dari sana, aktivitas saraf diteruskan secara sinaptis, secara berurutan, ke kompleks olivari superior (sekelompok nukleus yang mencakup wilayah perbatasan pontomedulla), colliculus inferior otak tengah, nukleus genikulata medial dari talamus, dan akhirnya ke korteks pendengaran dari lobus temporal
- Persepsi suara secara sadar terjadi di korteks serebral. Karena koneksi yang luas dari neuron auditori sentral melintasi garis tengah, informasi yang berasal dari inti koklea di satu sisi dapat mencapai inti pendengaran lainnya di kedua sisi otak.
- Namun, informasi yang berasal dari koklea tertentu sebagian besar dilakukan ke korteks pendengaran kontralateral. Setiap nukleus di jalur pendengaran memiliki representasi tonotopik dari frekuensi suara tetapi dikhususkan untuk memproses fitur suara tertentu



A



Human

Cat

B

FIGURE 17-6 Principal components of the auditory pathway from hair cell to cerebral cortex. **A**, *Ovals* represent ganglia (peripheral nervous system) or nuclei (central nervous system) and *arrows* represent named axonal connections between them. Major brain divisions (e.g., medulla, pons, etc.) where the structures reside are also noted. **B**, The temporal lobe location of auditory cortex in the human and cat brains. (Modified from Bear MF, Connors BW, Paradiso MA: *Neuroscience: exploring the brain*, ed 3, Philadelphia, 2007, Lippincott, Williams & Wilkins.)

Ketuliaan Akibat Gangguan dalam Proses Pendengaran

- Tuli klinis dapat terjadi akibat hilangnya transmisi suara di telinga luar atau tengah, yang disebut tuli konduksi, atau karena kerusakan. Dari sel rambut koklea atau serabut saraf kedelapan, yang disebut tuli saraf atau tuli sensorineural.
- Mengingat informasi pendengaran dari satu telinga didistribusikan secara signifikan ke kedua sisi sistem saraf pusat, kerusakan sepihak pada sistem pendengaran di otak seringkali sulit dideteksi atau dilokalisasi dengan tes pendengaran tradisional
- Dalam kedokteran hewan, inflammatory lesions and neoplasms telinga luar atau tengah sering menjadi penyebab tuli konduksi.
- Terkadang peradangan dapat menyebar ke telinga bagian dalam untuk juga menyebabkan tuli sensorineural.
- Ketuliaan pada hewan muda biasanya disebabkan oleh cacat bawaan di koklea (tuli sensorineural bawaan), sering dikaitkan dengan warna bulu putih.
- Antibiotik, diuretik, dan agen antineoplastik tertentu memiliki sifat ototoksik yang mampu merusak struktur koklea (tuli sensorineural didapat).
- Seperti manusia, anjing dan kucing juga rentan terhadap gangguan pendengaran terkait usia (presbycusis).

Tugas

- Translate BAB II (Neurophysiology) buku Veterinary Physicologi (Introduction to the Nervous System, The Physiology of Muscle, The Concept of a Reflex, The Central Control of Movement, Hearing)
- Penilaian sama seperti tugas sebelumnya
- Dikumpulkan UTS