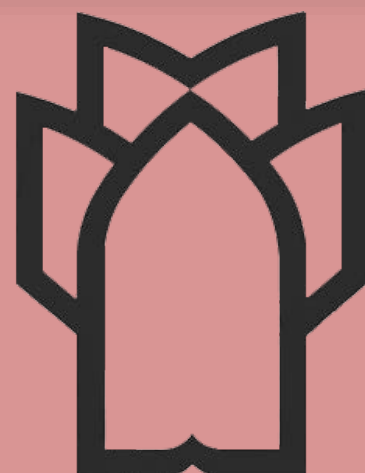


کنترل اعمال حرکتی به وسیله قشر و ساقه مغز



گردآورنده: بشرا الفتی



در این جلسه به اعمال حرکتی کورتکس، ساقه مغز و کنترل آن (فصل 56 گایتون) می پردازیم.

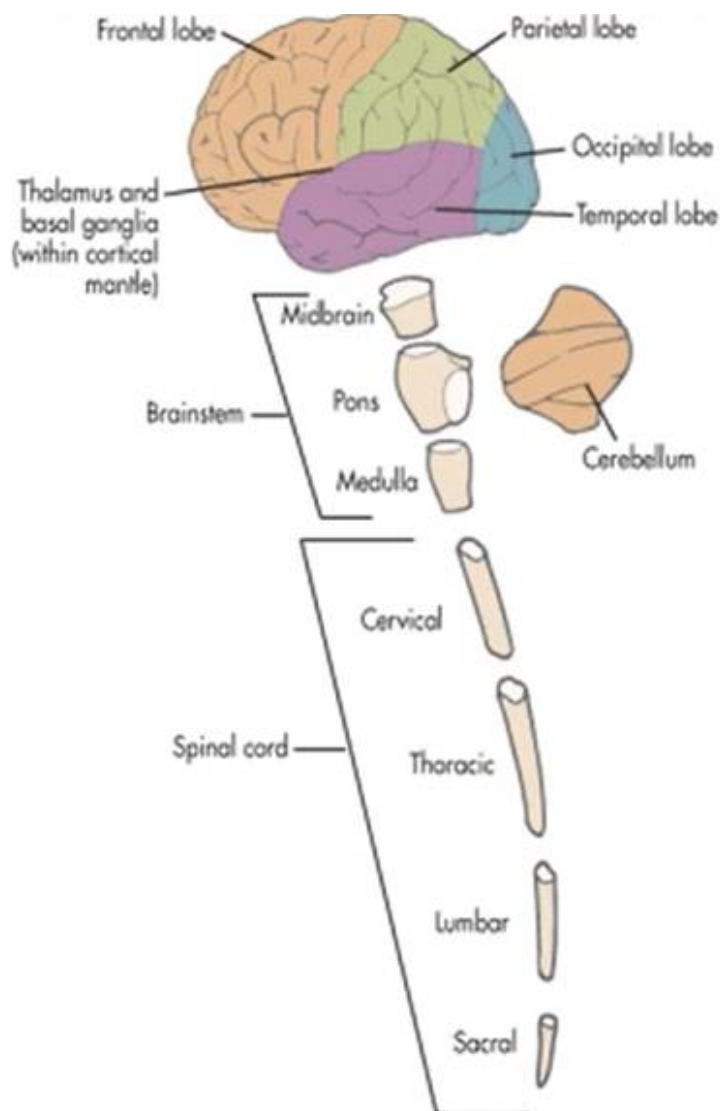
اعمال حرکتی کورتکس را به 3 قسمت تقسیم می کنیم:

+ هر سه ناحیه در قسمت فرونتال مغز
و قسمت قدامی شیار مرکزی (Central
Sulcus) قرار گرفته اند و به ترتیب از عقب
به جلو چیده شده اند.

1. قشر حرکتی اولیه (Primary motor cortex)

2. ناحیه پیش حرکتی (Premotor area)

3. ناحیه مکمل (Supplementary motor area)



ier. Levy et al: Berne and Levy Principles of Physiology 4e - www.studentcon

هر سه بلافاصله از قسمت قدامی شیار مغزی مرکزی (به ترتیب) به طرف جلو چیده شده اند.

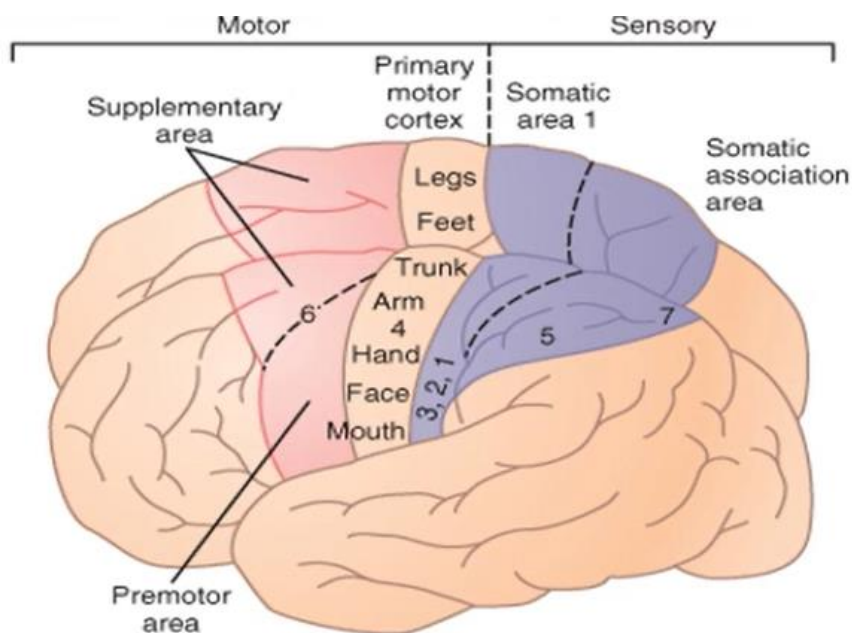
در این شکل بخش های مختلف سیستم حرکتی را می بینیم:

(1) Primary: وقتی این قسمت تحریک شود، طیف وسیعی از عضلات در سراسر بدن درگیر می شوند. تحریک این قسمت باعث انتقال فرامین حرکتی به بخشی از عضله، کل عضله یا دسته ای از عضلات می شود. در این ناحیه یک آدامک حرکتی داریم. (جلوتر کامل تر توضیح داده می شود).

(2) Premotor: در قسمت قدامی بخش primary است. با تحریک این ناحیه، دسته ای از عضلات به صورت هدفمند به تکمیل فعالیت های حرکتی می پردازند. معمولاً این دستورات به صورت غیر مستقیم به مقصد

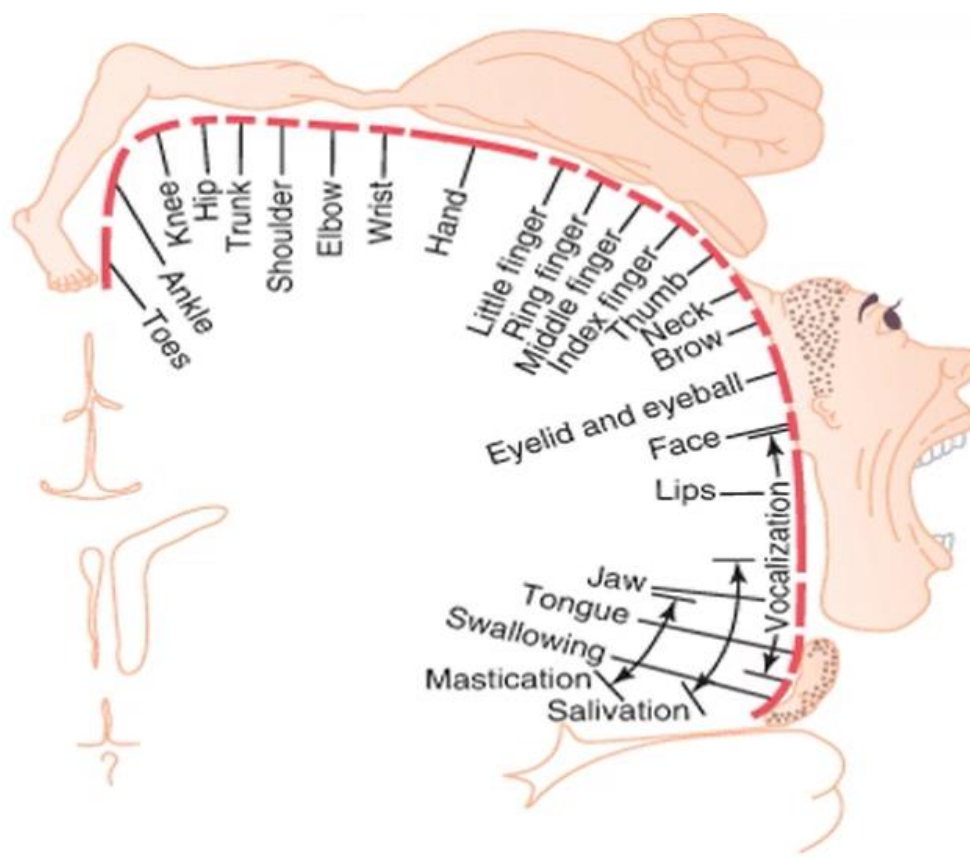
می رسند (به واسطه مثلاً basal ganglia ها و تالاموس و... به قسمت primary پیام می فرستند و دستورات اینگونه صادر می شود). این ناحیه بیشتر در برنامه ریزی حرکات نقش دارد

(3) Supplementary: این قسمت در قدام بخش پیش حرکتی است. با قسمت حرکتی اولیه فعالیت های مشترک زیادی دارد (ولی به نسبت آن به تحریک قوی تری احتیاج دارد). بیش تر مسئول فعالیت های 2 طرفه است؛ مثل: انقباض و تثبیت کمر بند شانه ای برای فعالیت خاص (انقباضات وسیع برای حرکات خاص).
بیشتر در حرکات پیچیده، توالی دار و ذهنی (مثل تصور انجام یک حرکت) فعال می شود
* اعمال هر 3 قسمت گفته شده ارادی هستند.

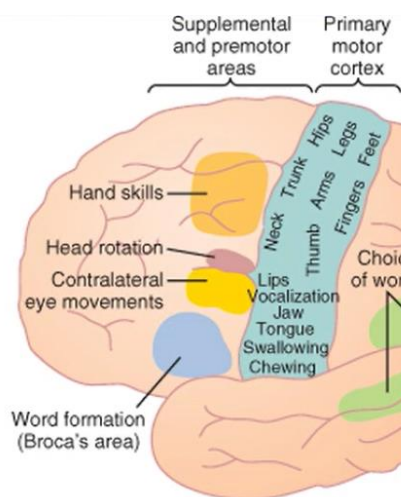


Elsevier, Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.co

+موتور کورتکس یا همان پرایمری موتور کورتکس سبب ایجاد انقباض می شود که می تواند در یک یا تعدادی عضله باشد اما با تحریک پرموتور و سابلیمنتاری یک انقباض هماهنگ و هدفدار ایجاد می شود



آدمک حرکتی: همانطور که گفتیم بخش اولیه دارای آدمک حرکتی است. این آدمک به صورت ژنی است و در همه انسان ها وجود دارد (ناحیه 4 برودمن). تراکم نورون های حرکتی متفاوت است؛ چون دقت حرکتی تفاوت دارد. مثلاً دست از پا خیلی ماهرانه تر حرکت می کند (چون اعصاب بیشتری دارد). همچنین صورت هم به دلیل نشان دادن صدا ها حالت چهره، نورون های حرکتی زیادی دارد و حرکات دقیقی را انجام می دهد.



آیا در Premotor و Supplementary هم آدمک وجود دارد؟

یک آدمک واضح به شکل Primary وجود ندارد، اما: نواحی Premotor و Supplementary نیز نقشه های سازمان یافته و عملکردی دارند.

این نقشه ها به جای عضله خاص، الگوهای حرکتی (movement patterns) را نمایش می دهند.

پس به طور غیررسمی شبیه آدمک هستند، ولی دقیقاً مثل ناحیه 4 برودمن نیستند.

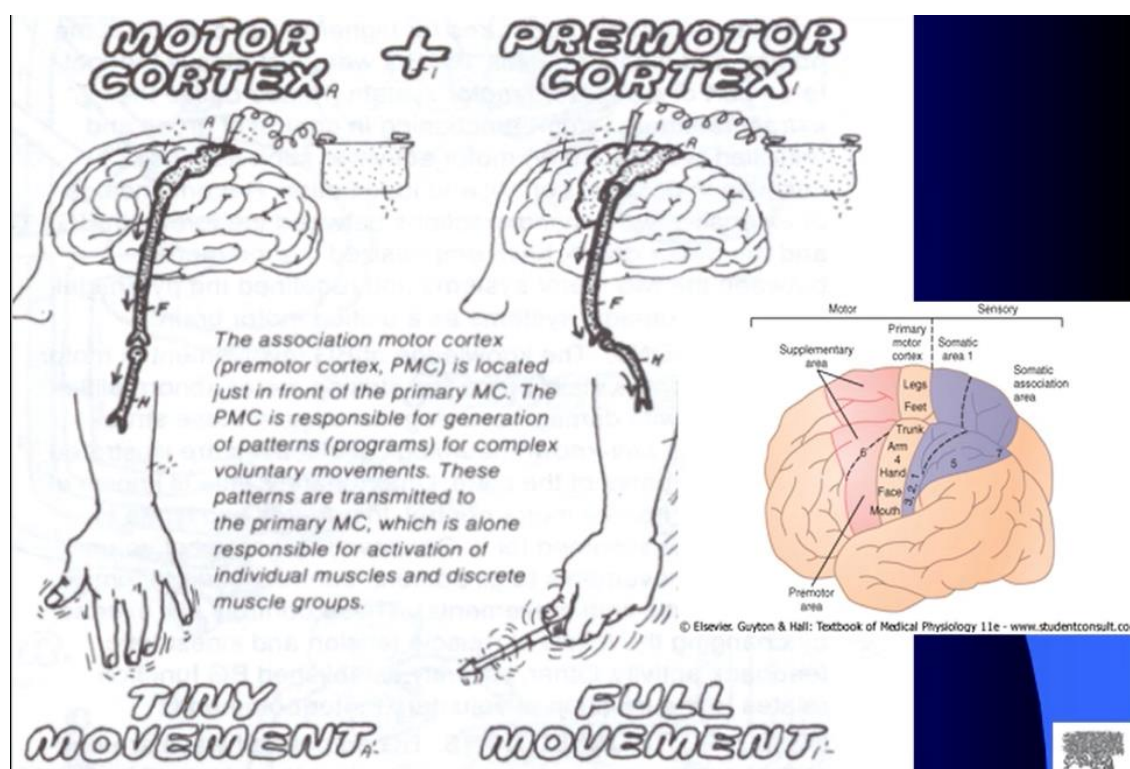
در قسمت پیش حرکتی و مکمل، تقریباً چیزی شبیه آدمک حرکتی در ناحیه اولیه داریم.

در این نواحی طرح های هدفمند حرکتی کنترل می شوند. به عنوان مثال در این قسمت ها چند ناحیه داریم:

(1) Broca's area یا Word formation: این ناحیه تحت عنوان مرکز گفتار یا کلمه سازی (تکلم یا کلمه فهمی با این قسمت فوق دارد)، اولین بار توسط بروکا توصیف شد. این ناحیه مرکز هماهنگی عضلات متعدد (با ظرافت و زمان بندی های دقیق) برای گفتار است. اگر این ناحیه آسیب ببیند، فرد نمی تواند خوب صحبت کند.

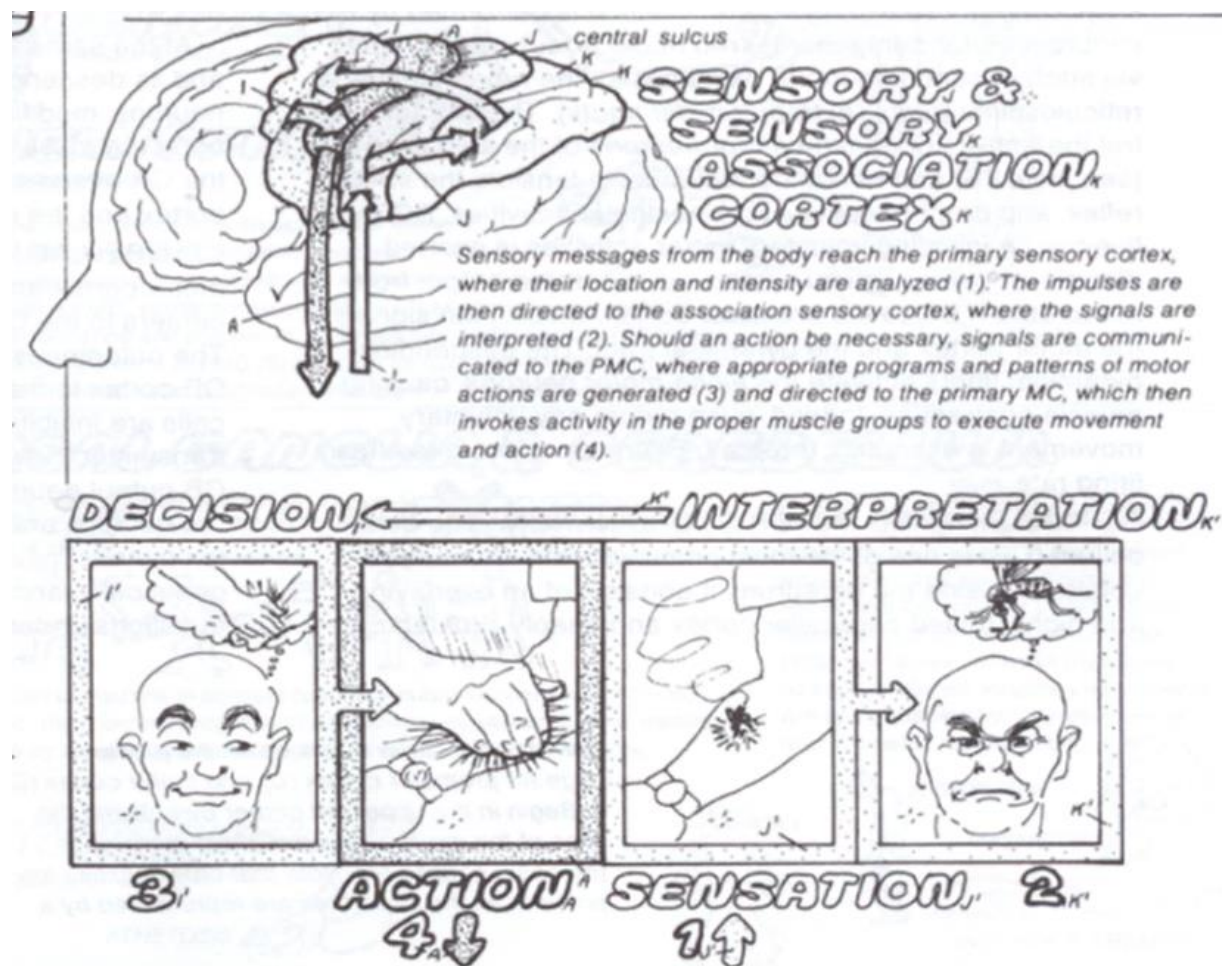
(2) قسمت بالاتر، حرکات چشم و سر را هماهنگ می کند. Contra lateral eye movement و Head rotation (این حرکات دقیق هستند).

(3) قسمت بالاتر هم Hand skills، هماهنگ کننده حرکات دقیق و ظریف دست (مثل نقاشی یا طراحی) است.



سمت چپ: شامل یک سری انقباضات کوچک و محدود (Tiny Movements) است. این نوع حرکات توسط قشر حرکتی اولیه (Primary Motor Cortex) انجام می شود.

سمت راست: شامل انقباضات هماهنگ کامل و هدفمند (Full Movements) است. این حرکات توسط ناحیه پیش حرکتی (Premotor) و ناحیه حرکتی مکمل کنترل Supplementary Motor Area) می شوند.



(1) دریافت حس:

وقتی یک حشره روی دست می‌نشیند، پیام حسی از طریق اعصاب محیطی به مغز می‌رسد و وارد ناحیه سوماتوسنسوری اولیه (پشت شیار مرکزی) می‌شود. در این بخش ویژگی‌های حسی مانند: وزن و دما و محل تماس و نوع تحریک تحلیل اولیه می‌شود.

(2) تفسیر داده‌ها:

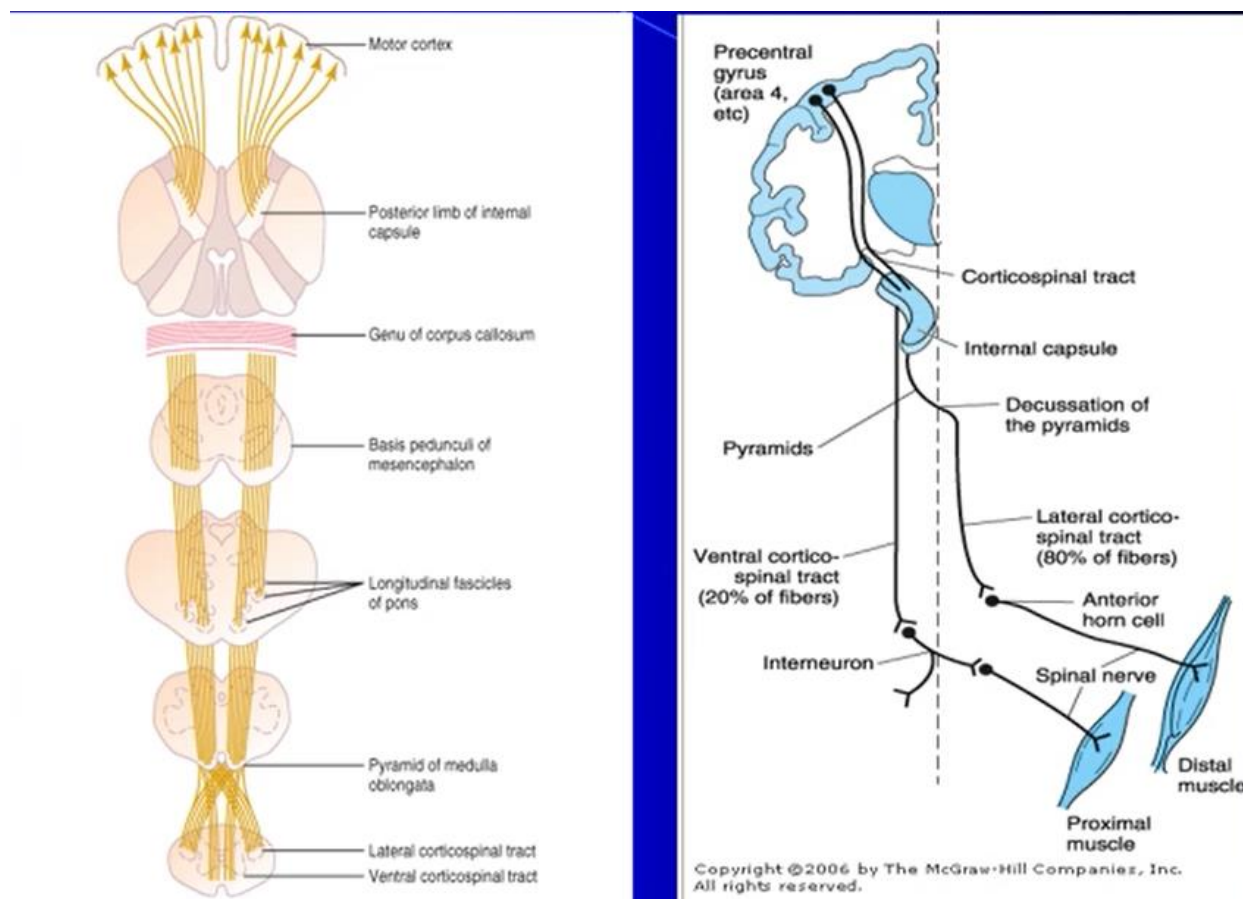
پیام حسی پردازش شده، به ناحیه‌های 5 و 7 برودمن می‌رود. در اینجا مغز معنی حس را تفسیر می‌کند (مثلاً: «چیزی روی دست افتاده»). سپس پیام به نواحی حرکتی ارسال می‌شود.

(3) برنامه‌ریزی حرکت:

در پرموتور و سابلیمنتاری طرح حرکتی لازم برای واکنش ریخته می‌شود؛ مثلاً: بالا بردن دست و ... این نواحی الگوی کلی حرکت را طراحی می‌کنند.

(4) عمل (Action):

طرح حرکتی به قشر حرکتی اولیه (Primary Motor Area – Brodmann area 4) فرستاده می‌شود. در اینجا فرمان نهایی صادر شده و عضلات فعال می‌شوند



pyramidal tract

کورتکس حرکتی به واسطه دسته فیبر های کورتیکواسپینال یا (پیرامیدال) پیام را به نخاع می فرستد (روی آلفا موتور نورون های مربوطه بمباران را سوار می کنند). عمده حرکات ارادی از این طریق انجام می گیرد. (استاد گفتند که اینجا دیگر آناتومی این قسمت را تکرار نمی کنند).

که شامل نواحی ۱ و ۳ برودمن

این دسته از کورتکس شروع می شود (30٪ قسمت اولیه، 30٪ قسمت پیش حرکتی و مکمل، 40٪ هم سوماتوسنسوری) و بعد از طی کردن مسیر به بصل النخاع (در قسمت پیرامید) می رسند و عمده شان تقاطع می کنند (از اینجا به 2 دسته تقسیم می کنیم).

1) Lateral corticospinal tract : که همان بخش عمده (80٪) ای که تقاطع می کند را شامل می شود.

2) Ventral corticospinal tract : که درصد کمتری که تقاطع نمی کنند (20٪) را شامل می شود و

این ها بعداً در نیمه مقابل باعث انقباض می شوند.

+اطلاعات حسی که از نواحی سوماتوسنسوری دریافت می شود با فیبرهای قوسی به

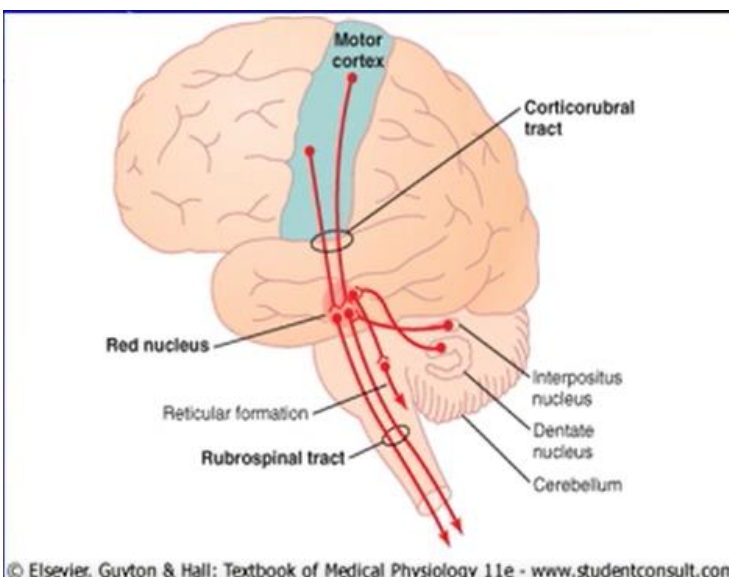
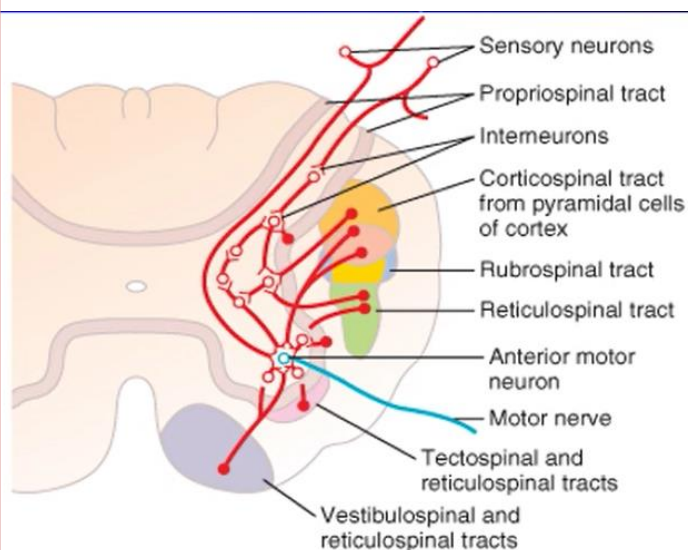
پرموتور و ساپمنتالی می روند و نقشه کشیده می شود و طرح ایجاد شده به پرایمری موتور

کورتکس ارسال می شود تا انقباض صورت گیرد

+سلول های Betz بسیار در دقت حرکتی موثر هستند و با نبودش فرد فلج نمی شود ولی دقت حرکات بسیار کاهش می یابد

این ها نقش اساسی در حرکات دقیق انسان دارند.

* در ناحیه 4 برودمن (یا همان حرکتی اولیه) یک سری سلول های خاص به اسم سلول های Betz وجود دارند. این سلول های غول پیکر (نورون های درشت و فیبر های درشت) فرامین را به آلفا موتور نورون ها انتقال می دهند. بسیاری از اعمال دقیق (مخصوصاً دست ها) به این ها وابسته هستند. با اینکه 3٪ مسیر کورتیکواسپینال را شامل می شوند اما اهمیت زیادی دارند.



راه های دیگر موتور کورتکس:

1) فیبرهایی که از موتور کورتکس خارج می شوند، فقط به نخاع نمی روند (ممکن است سر راه پخش شوند)؛ مثل همین سلول های Betz که کولترال هایی می دهند که با مهار جانبی باعث می شوند که سلول های کورتیکال مجاور کار نکنند تا دقت حرکتی به حداکثر برسد.

2) ممکن است به عقده های قاعده ای (basal ganglia) ها رونوشت بفرستند تا در آن جا پردازش بیشتری شود و دقت بالا برود.

3) هسته قرمز: در مزانسفال است. یک سری سیگنال ها تحت عنوان corticorubral tract، فرامین حرکتی را به هسته قرمز می آورند و آن را فعال می کنند. باعث می شود که rubrospinal tract ها پیام برسانند.

4) به هسته های مشبک از جمله هسته تعادلی هم فرامین حرکتی می رسد. نهایتاً راه رتیکولواسپینال و

راه های وستیبولواسپاینال شکل می گیرند. پس اطلاعات حرکتی به بخش های ساب کورتیکال به طور وسیع می رسد تا تکمیل شوند. اطلاعات از هسته های مشبک تحت عنوان راه های رتیکولوسربلار و راه های وستیبولوسربلار به مخچه می رود.

از این طریق رونوشت فرامین حرکتی حتماً به اطلاع مخچه می رسد.

Pontile nuclei (5)

Inferior olivary nuclei (6)

همینطور از طریق پل مغزی و هسته زیتون تحتانی، به مخچه می روند. اطلاعات زیادی هم به کورتکس حرکتی می آیند.

(1) **سوماتوسنسوری:** اطلاعات حسی را به سرعت منتقل می کنند (حتی فیدبک های حرکتی می تواند رخ دهد). در کورتکس فرونتال طرح ها می تواند پخته شود. همچنین از بخش بینایی و شنوایی می تواند اطلاعات حسی برسد.

(2) **Corpus callosum:** به واسطه این قسمت، اطلاعات از نیم کره مقابل به کورتکس حرکتی منتقل می شود.

+ **بخش Ventrolateral تالاموس** از بازال گانگلیا پالسهای اصلاحی و پردازش شده دریافت میکند و آنها را به کورتکس حرکتی به ویژه پره موتور و پرایمری موتور بر می گرداند

(3) از طریق تالاموس، سوماتوسنسوری مخ، اطلاعات را به بخش حرکتی می رساند. **ventrobasal complex**

(4) از عقده های قاعده ای مخچه، فیبرهای اصلاحی زیادی به کورتکس حرکتی منتقل می شود.

(5) فیبرهای اینترلامینار تالاموس، اساساً تحریک پذیری کورتکس حرکتی را تحت شعاع قرار می دهند و کورتکس حرکتی را فعال نگه می دارند (برای این کار، به لایه های 1 و 2 کورتیکال می رود).

+ **هسته های اینتر لامینار تالاموس** در حفظ بیداری هوشیاری و سطح برانگیختگی مغز نقش دارند و با ارسال ورودی گسترده به کورتکس آن را فعال و آماده پاسخ دهی نگه میدارند.

خروجی کورتکس حرکتی به طور عمده از لایه پنجم منشا می گیرد. (شکل قبل) هسته قرمز نقش مهمی دارد و راه های روبرواسپاینال را تشکیل می دهد و بخشی از سیستم حرکتی از اینجا منشا می گیرد و در اینجا هم یک آدمک حرکتی خام داریم که به واسطه کورتکس فعال می شود. اینجا یک هسته مهم حرکتی است؛ یعنی حتی اگر کورتکس حرکتی آسیب ببیند، فلج آنچنان نداریم؛ زیرا این مراکز می توانند حرکات را انجام دهند (با دقت خیلی کمتر).

Extrapyramidal tract

در کنار راه پیرامیدال (علت نام گذاری: چون در پیرامید های بصل النخاع تقاطع می کنند)، راه اکستراپیرامیدال هم داریم.

خیلی از عناصر حرکتی ای که به این مسیر کمک می کند (این مسیر را همراهی می کنند و فیدبک میدهند)، اتوماتیک هستند؛ مثل: basal ganglia، هسته های مشبکی که در brain stem عمده‌تاً در بصل الخاع و پل مغزی هستند مثل هسته تعادلی، هسته قرمز و... به مجموع این ها راه اکستراپیرامیدال می گویند.

در این قسمت هم مثل حسی پیکری، آرایش ستونی داریم.

نورون ها در دسته های چند هزارتایی به صورت ستونی (با قطر کسری از میلی متر)، فعالیت بخش های مختلف را تنظیم می کنند.

✚ نورون های داینامیک (باعث شروع حرکت می شوند).

✚ نورون های حرکتی استاتیک (باعث حفظ و تداوم حرکت می شوند).

فیدبک های سوماتوسنسوری به موتور کورتکس کمک می کند که واکنش های دقیق انجام بدهد. هنگامی که رفلکس های نخاعی برای کوتاه و بلند شدن عضله کفاف نکند، این فیدبک ها با قوس بلندتری از طریق حس پیکری به حرکتی انتقال می یابد و واکنش فرد هرچند طولانی تر ولی امکان حفظ کارایی را بیشتر می کند.

بسیاری از سیگنال های حرکتی در نخاع سامان دهی می شود. اما به وسیله کورتکس فعال می شوند. اگر در کورتکس حرکتی آسیب داشته باشیم:

1) ممکن است فلج نشویم ولی دقت حرکات خیلی کم می شود.

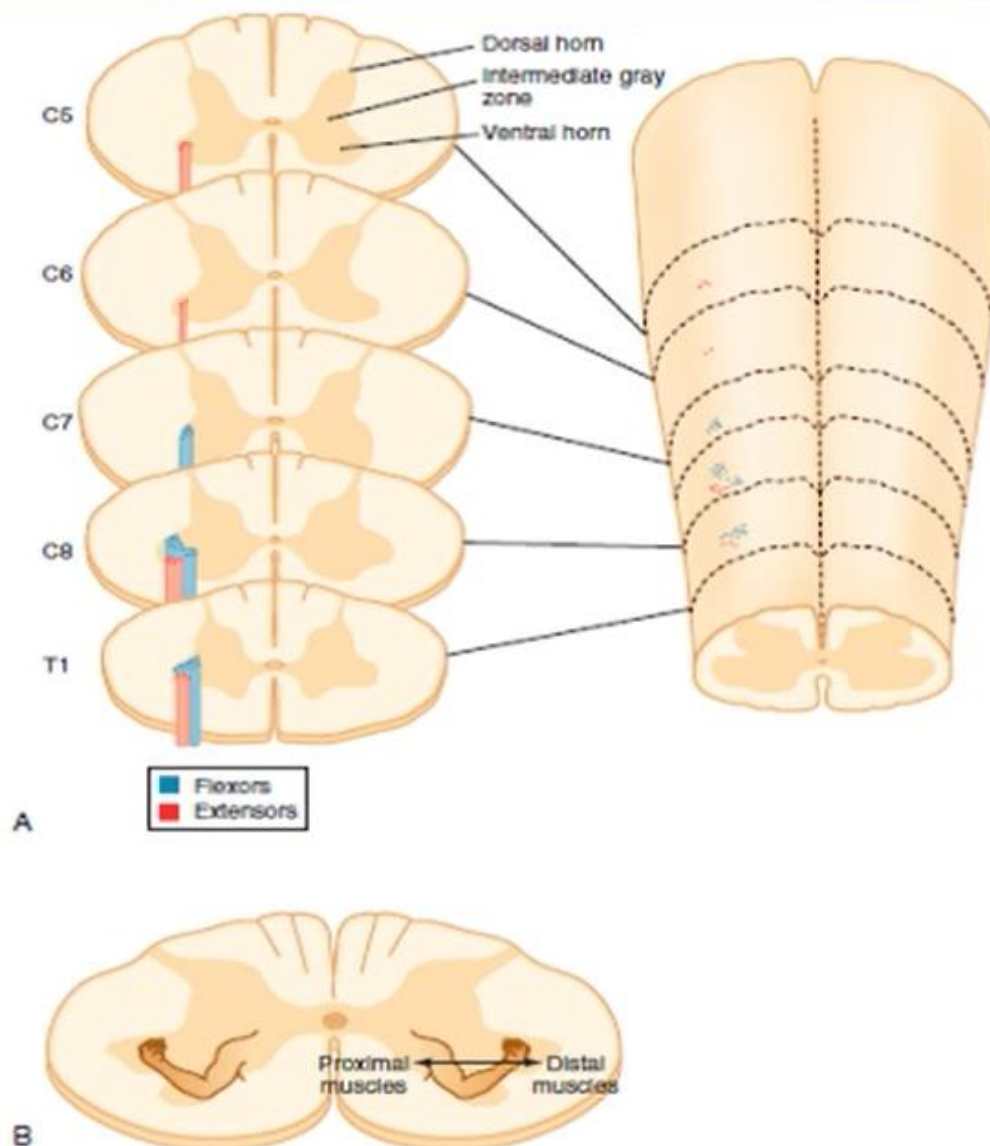
2) آسیب دیگر، هایپوتونیا: اگر فقط کورتکس حرکتی آسیب ببیند، چرا که این ها یک بمباران زمینه ای روی آلفاموتور نورون ها دارند.

اما به دلیل سکتة مغزی و گرفتگی عروق، معمولاً عناصر ساب کوتیکال به همراه کورتکس آسیب می بینند.

ساب کوتیکال: این عناصر بیشتر فعالیت مهاري دارند و بیشتر با مهار ساقه مغز تاثیر مهاري کلی روی سیستم

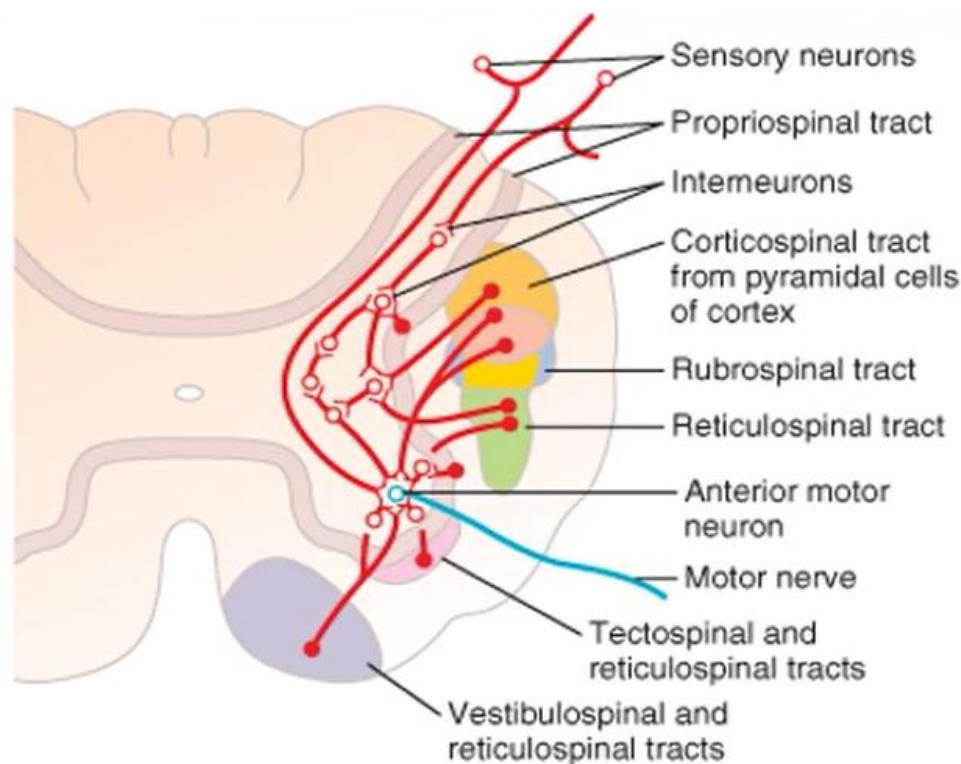
حرکتی اعمال می کنند.

وقتی آسیب هم کورتکس و هم ساب کورتیکال را دربرگیرد، ساقه مغز رها می شود و یک بمباران اضافه روی آلفا موتور نورون ها باعث اسپاسم زمینه ای می شود و اسپاسیتی را می بینیم. این اسپاسیتی باعث می شود فرد یک جور فلج شود؛ اما انقباض زمینه ای باعث می شود عضلات فرد دچار آتروفی نشوند. فردی که سکنه مغزی می کند، دست و پای خودش را می کشد.



• **Fig. 9.1** Musculotopic Organization of Motor Neurons in the Ventral Horn of the Spinal Cord. **A**, Schematic view of the cervicothoracic spinal cord and associated cross-sections, showing the locations of motor neurons that innervate a flexor (blue dots) and an extensor (red dots). **B**, Spinal cord cross-section, with locations of different muscles represented by a drawing of the arm. (Redrawn from Purves D, et al [eds]. Neuroscience. 3rd ed. Sunderland, MA: Sinauer; 2004.)

در نخاع هم آدمک حرکتی داریم: عضلات پروکسیمال و محوری به وسیله راه های وستیبولواسپاینال و رتريکولواسپاینال کنترل می شوند؛ راه کورتیکواسپاینال، عضلات اندام ها و انتهایی ها را برای ما کنترل می کنند.



راه های وستیبولواسپاینال و رتريکولواسپاینال (که به عنوان **medial descending system** می شناسیم)، عضلات محوری را با بمباران آلفا موتور نورون ها کنترل می کنند و نهایتاً باعث حفظ تعادل و کنترل عضلات محوری می شوند. کورتیکواسپاینال ترکت (**lateral descending system**) یا همان پیرامیدال و راه روبرواسپاینال، بیشتر اندام ها و انتها ها را کنترل می کنند. نهایتاً همه این ها، روی آلفا موتور نورون ها اثر می گذارند.

عملکرد ساقه مغز در قسمت حرکتی:

✚ کنترل تنفس

✚ سیستم قلبی عروقی

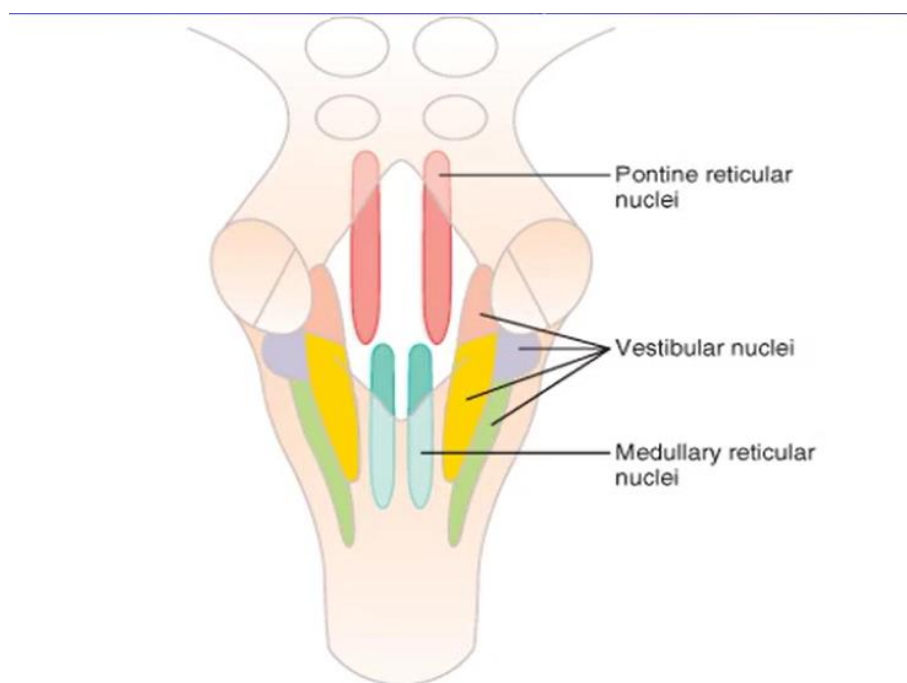
✚ فشارخون

گوارش

بسیاری از اعمال حرکتی مثل تعادل

حرکات چشم

تخریب ساقه مغز باعث سریع ترین مرگ می شود؛ زیرا کنترل کننده بسیاری از اعمال حرکتی در ساقه مغز قرار دارد.



همانطور که میبینید، ما 3 دسته هسته مشبک در ماده مشبک ساقه مغزی داریم:

1) Pontine Reticular Nuclei (هسته های مشبک پلی): این ها محور اصلی کار هستند که عضلات ضد

نیروی ثقل را با نیروی زیادی بمباران می کنند. (به آلفاموتور نورون ها) **حفظ ایستادن و مقاومت در برابر گرائش از طریق عضلات اکستنسوری**

2) Medullary Reticular (هسته های بصل النخاعی): این بخش، اعمال بخش پلی را مهار می کند. از

کورتکس و ساب کورتیکال تحریکات زیادی دریافت می کند و به همان آلفاموتور نورون هایی که بخش پلی بمباران کرده، پالس مهاری میفرستند و باعث مهار انقباض زمینه ای ضد نیروی ثقل می شوند.

برای اینکه بدن حرکات متنوع داشته باشد، باید تعادل بین این دو بخش حفظ شود که کورتکس این وظیفه را بر عهده دارد. (اما باید بدانیم که در این برهم کنش ها، هسته های مشبک دست بالاتر را دارند).

ایجاد انعطاف و تنوع حرکتی، جلوگیری از اسپاسم بیش از حد

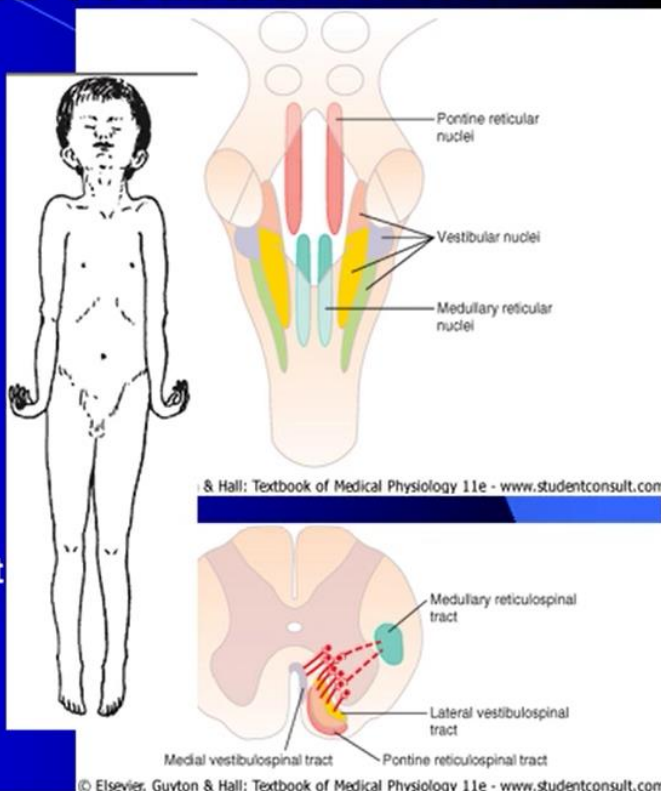
Vestibular Nuclei (3): علاوه بر کورتکس، هسته های تعادلی هم در تعادل بین هسته های مشبک و هسته بصل النخاعی نقش دارد. (بیشتر روی قسمت Pontine اثر می گذارند و عضلات ضد نیروی ثقل را در جهت تعادل تقویت می کنند).

Support of the Body Against Gravity-Roles of the Reticular and Vestibular Nuclei

Excitatory-Inhibitory Antagonism Between Pontine and Medullary Reticular Nuclei

Role of the **Vestibular Nuclei** to Excite the **Antigravity Muscles**
The **Decerebrate** Animal Develops **Spastic Rigidity** >

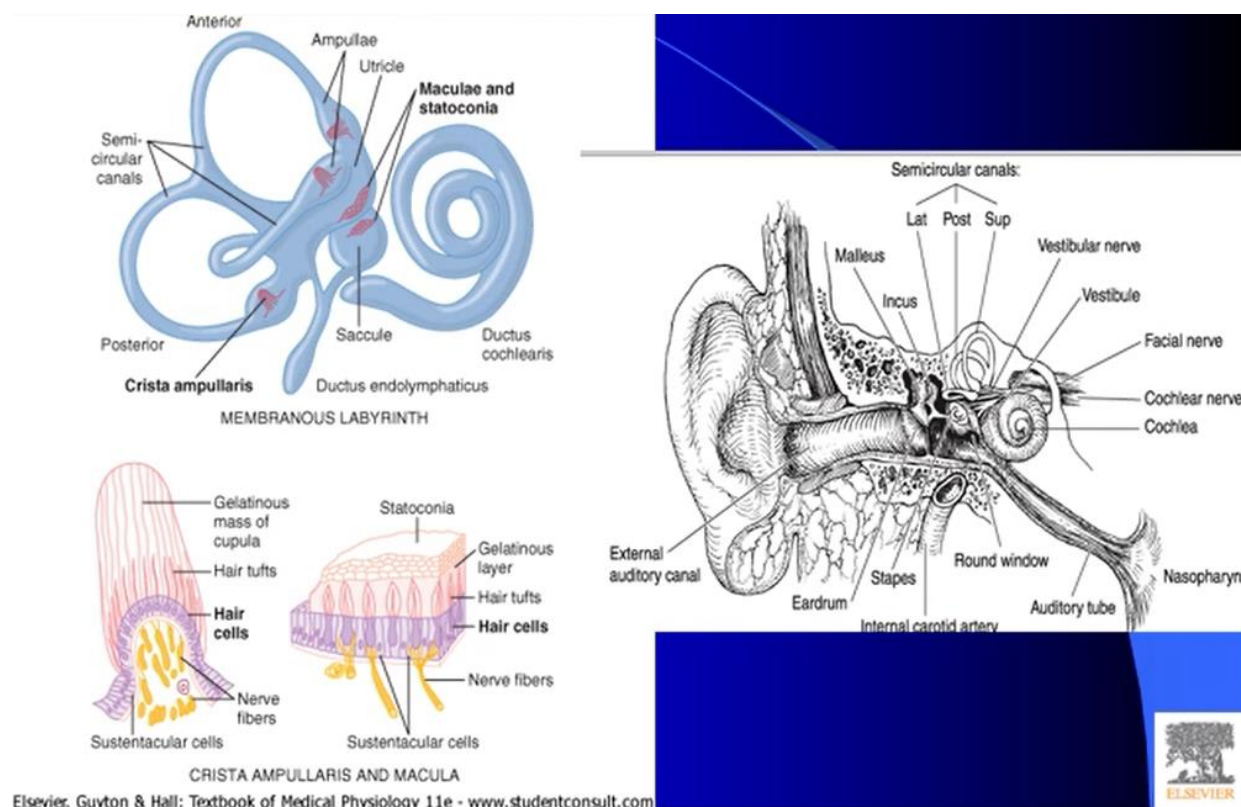
Vestibulospinal and reticulospinal tracts descending in the spinal cord to excite (solid lines) or inhibit (dashed lines) the **anterior motor neurons** that control the body's **axial musculature**.



اگر از مزانسفال به بالا قطعی داشته باشیم یا کورتکس آسیب ببیند (یا عناصر ساب کورتیکال)، اتفاقی که می افتد: چون دیگر پالس های تنظیم کننده و متعادل کننده این 3 هسته از بین رفته اند (و همانطور که گفتیم دست بالا را هسته های پل دارند) بخش پل، عضلات ضد نیروی ثقل را به شدت تحریک و منقبض می کند. (حتی گاماموتور نورون ها را هم تسهیل می کند) این باعث اسپاسم این چینی که در شکل می بینید می شود. (Spastic Rigidity)

این در حالت فقدان مغز یا Decerebrate اتفاق می افتد و یک اسپاسم سراسری از عضلات ضد نیروی ثقل را شاهد هستیم.

تعادل: حس های مختلفی (مثل بینایی، لامسه، وضعیت و ...) به تعادل ما کمک می کند؛ اما بحث ویژه این جلسه در مورد گوش داخلی است. بحث در مورد لابیرینت غشایی (Membranous Labyrinth) است که شامل 2 حباب اوتریکول (Utricle) و ساکول (Saccule) و مجاری نیم دایره است.



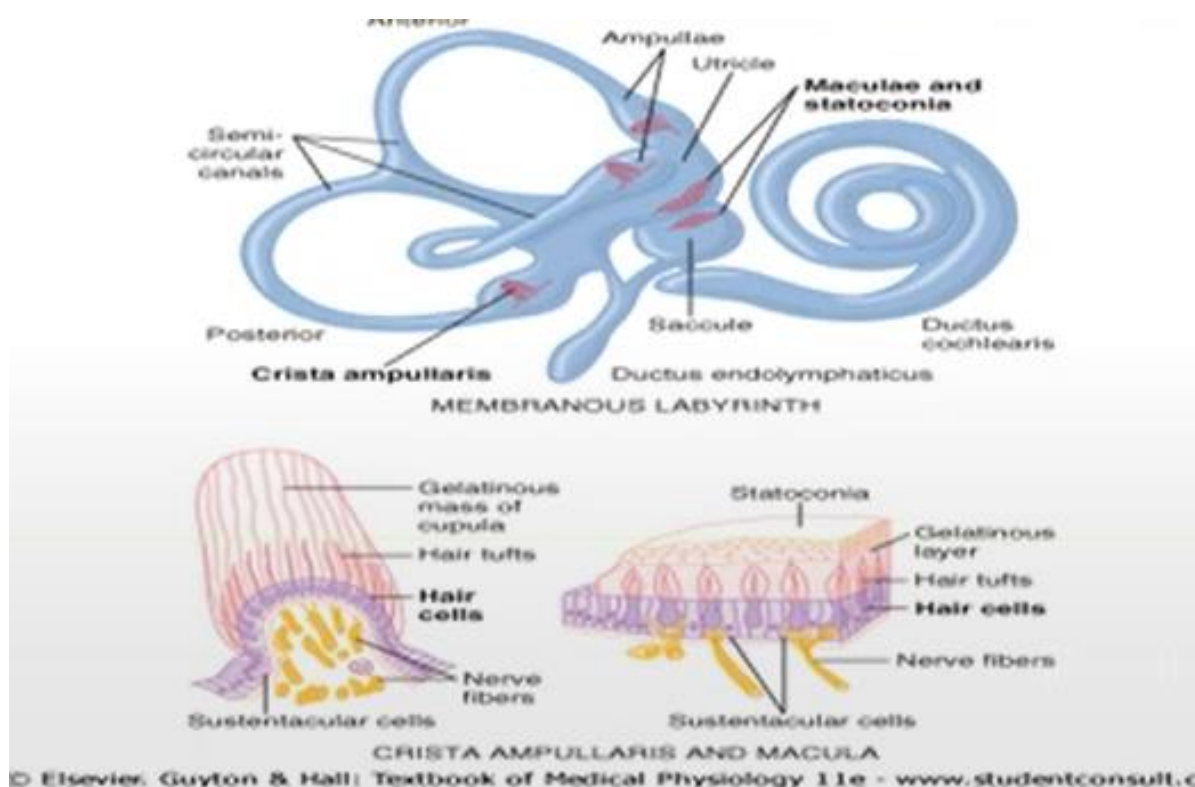
Elsevier. Guyton & Hall: Textbook of Medical Physiology 11e - www.studentconsult.com

اوتریکول و ساکول مناطق حساس به نام ماکولا (Maculae) دارند. این ماکولا صفحه چند میلی متری است که در واقع می تواند شبیه گل آفتابگردان در نظر شود. این ناحیه حساس به طور افقی در اوتریکول و به طور عمودی در ساکول قرار گرفته است. ساقه این گل آفتابگردان عصب شنوایی است و صفحه گل آفتابگردان (که پر از دانه است) دارای مقادیر زیادی Hair cell است. این سلول های بویی، قاعده شان در ارتباط با عصب تعادلی است و مداوم به آن قسمت پالس میفرستند و راس آن (که حاوی مژک است) در یک ماده شناور است. (Gelatinous Layer) این ماده ژلاتینی حاوی Statoconia (بلورهای کربنات کلسیم که اینرسی متفاوت دارند و مقدار این اینرسی چند برابر محیط است) به این استاتوکونیا، سنگ های گوشه اتولیت هم می گویند.

در این قسمت (شکل سمت چپ) یک Hair cell میبینیم. همانطور که میبینید، در راس یک سری مژک میبینیم که به مجموعه آن استروسیلیا می گوئیم. (50 تا 70 مژک که به ترتیب قد، بزرگ و قد بزرگ تر

می شوند) این مژک ها که به انتها می رسند، کینوسیلیوم (بزرگترین مژک) را داریم. راس همه این مژک ها به هم وصل هستند و نهایتاً به کینوسیلیوم میرسد. این ماکولا (که در سمت راست میبینید) به حفظ تعادل کمک میکند.

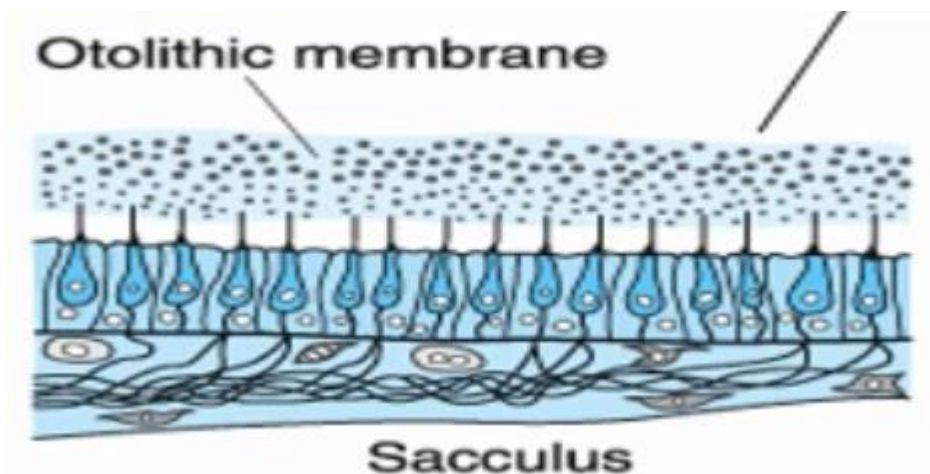
یک فرد ایستاده را تصور کنید، اگر سر این فرد کج شود، ماکولا کج می شود، بلور های کربنات کلسیم به دلیل اینرسی متفاوت، حرکت میکنند و به کینوسیلیوم ها می خورند و آن ها را منحرف می کنند. در حالت طبیعی، ما بمباران زمینه ای و پالس زمینه ای را داریم؛ حالا خم شدن کینوسیلیوم باعث دپولاریزاسیون Hair cell و افزایش پالس ریت می شود و خم شدن برعکس باعث هایپرپلاریزاسیون و کاهش پالس زمینه ای می شود. مغز و هسته های تعادل با پردازش این اطلاعات، متوجه تغییر زاویه سر فرد می شوند و فرد یک تعادل استاتیک را تجسم می کند. دقت این سیستم بسیار بالاست؛ به طوری که حتی متوجه 0.5 درجه اختلاف زاویه عمودی هم می شود.



سوال: درست است که دقت خیلی بالاست اما مغز چگونه جهت تغییر زاویه را متوجه می شود؟

در آن صفحه گل آفتابگردانی که گفتیم، کینوسیلیوم هر سلول در یک زاویه خاصی قطبی شده (مثلاً یکی سمت

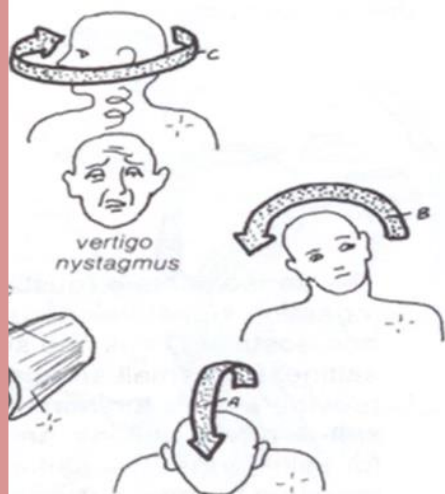
راست است یکی چپ) و فرد در هر زاویه ای بچرخد، یک سری از این ها هایپرپلاریزه و یک سری دیپلاریزه می شوند و مغز اینگونه متوجه جهت می شود و این همان Static Equilibrium یا تعادل ستونی است. توجه کنید که مثلاً اگر گردن را خم کنیم یا کل بدن را، با هم فرق می کند و مغز تشخیص می دهد.



یک اتوبوس را در نظر بگیرید که دو صندلی (صندلی ها به کف اتوبوس پیچ شده اند) دارد. روی یک صندلی یک فرد و روی صندلی دیگر یک مجسمه قرار دارد. (صندلی ها پشتی ندارد) وقتی اتوبوس شروع به حرکت می کند، یک شوک حرکتی به فرد وارد می شود و بدن فرد به عقب کشیده می شود. با حرکت بدن، سر، ماکولا و لایه ژلاتینی، یک لحظه استاتوکونیا (بلورها) به دلیل اینرسی بیشتر جا میماند و به Hair cell ها فشار می آورد و کینوسلیوم ها را خم می کند و پالس به سمت مغز می رود. مغز متوجه می شود که فرد دارد از تعادل خارج می شود و قبل از اینکه انحراف سنگین بشود، انقباض اصلاحی انجام میدهد و فرد روی چهار پایه می ماند. همزمان مجسمه روی کف اتوبوس می افتد. به این موضوع، درک شتابی خطی می گوئیم که از وظایف ماکولا

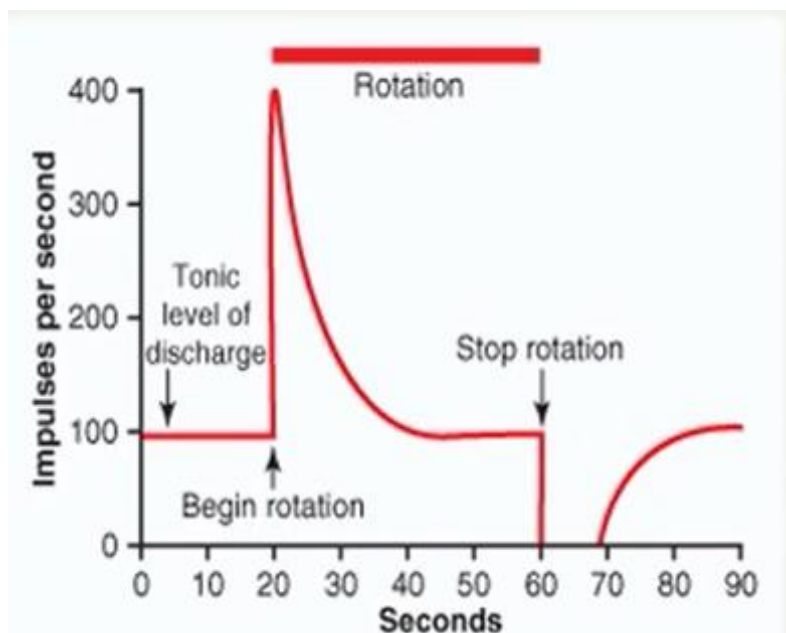
است. (در ساکول درک این شتاب عمودی است و در اوتریکول افقی) اگر اتوبوس با سرعت ثابت حرکت کند، همه چیز ثابت می ماند و اتفاقی نمی افتد و هنگام ترمز کردن، تمام این اتفاقات به صورت برعکس می افتد و مغز با انقباض اصلاحی نمگذارد فرد به جلو بیفتد. (در حالی که مجسمه می افتد) در این مثال، اهمیت ماکولا در درک شتاب (نه سرعت) را متوجه می شویم.

+ ماکولا تغییرات شتاب خطی (تغییرات سرعت) را متوجه می شود و سرعت ثابت چه زیاد و چه کم باشد سبب تحریکش نمی شود پس شروع و خاتمه حرکت مهم است نه سرعت ثابت این میان



مجاری نیم دایره: ما در انتهای مجاری نیم دایره، یک حباب هایی داریم به نام آمپولا کریستا آمپولا ریزی که در شکل میبینید، این Hair cell دارد. این Hair cell ها گیرنده های حساس هستند و باز هم ژلاتینوس دارند و مجموعه این ها، Capula (کاپولا) است که در شکل میبینید. مجاری نیم دایره ای 3 تا هستند و مجموعاً هر طرف را پوشش می دهند؛ در واقع فرد در هر جهتی حرکت کند، حول یکی از این مجاری چرخیده است. در کل این مکانیسم خیلی شبیه ماکولا است.

در مجاری نیم دایره، اندولف وجود دارد. وقتی که چرخش حول یکی از مجاری انجام شود، آن مجرا شروع به چرخش می کند، اما اندولف برای لحظاتی جا می ماند. اندولف که جا ماند، فشار می آورد و کاپولا را منحرف می کند و Hair cell ها تحریک می شوند و پالس عصب تعادلی عوض می شود. این تغییرات ممکن است در یکی دو تا یا حتی هر سه مجرا (بسته به زاویه چرخش) اعمال شود.



در این شکل مثال توضیحات قبل آورده شده است.

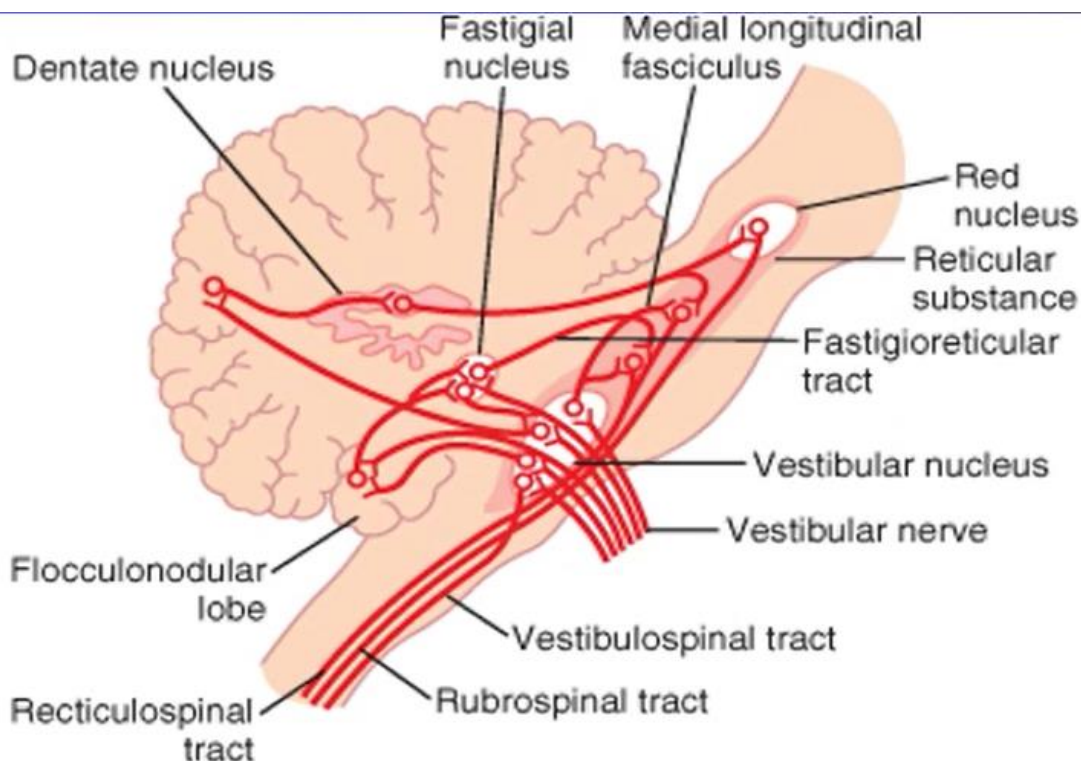
خب ابتدا دارد یک پالس زمینه ای (مثل 100 پالس در ثانیه) را منتقل می کند. (توجه داشته باشید مجرای نیم دایره ای چپ و راست با هم قرینه هستند و هر زاویه ای این ها را به طور قرینه درگیر می کند.

هنگام چرخش، یکی از این ها (منظور چپ و راست است) شروع می کند به افزایش پالس و دیگری کاهش پالس (با مکانیسم هایی که قبلاً گفته شد) بعد از یک مدت که روتیشن با یک سرعت ثابتی صورت گیرد،

اندولنف به سرعت مجرای نیم دایره می رسد و دیگر انحراف کاپولا اتفاق نمی افتد؛ در این حالت پالس اصلاحی نداریم بلکه پالس زمینه ای داریم. پس در واقع چیزی که توسط مجاری نیم دایره درک شد، شتاب زاویه ای بود و اگر چرخش زاویه ثابت باشد، این سیستم فاقد کارایی است (مثلاً باید با بینایی حس کنیم)، حالا هنگام ایستادن، روند برعکس است؛ مجرا می ایستد ولی اندولنف تا مدتی به حرکت خود ادامه می دهد و کاپولا در جهت عکس، خم می شود و الگوی پالس ها معکوس می شود. کار Static Equilibrium با ماکولا بود (حرکت فرد در آسانسور با ساکول و مثلاً حرکت در ماشین با اوتریکول) همینطور شتاب های خطی، با ماکولا درک می شود.

* شتاب زاویه ای با مجاری نیم دایره فهمیده می شود.

نکته بالینی: هر عاملی که بتواند اندولنف را به حرکت در بیاورد، می تواند به فرد احساس چرخش زاویه ای دهد. (مثلاً در بیمارستان اگر از آب سرد برای شستشوی گوش استفاده شود، فرد دچار سرگیجه می شود؛ چون این آب سرد باعث حرکت اندولنف شده و به فرد احساس چرخش می دهد).



همانطور که در شکل میبینید، عصب تعادلی و هسته های تعادلی، ارتباط بسیار نزدیکی با مخچه دارند. (Vestibular Nerve, Vestibular Nucleus) در واقع شتاب زاویه ای را به مخچه هم منتقل می کند و مخچه اطلاعات را پردازش می کند.

در مثال اتوبوس، فرد با انقباضات اصلاحی خود، از افتادن جلوگیری می کند اما در مورد شتاب زاویه ای به نحو دیگری است؛ هنگامی که شتاب زاویه ای شروع می شود، اطلاعات به مخچه می رود و مخچه با پردازش اطلاعات، امکان محاسبه انحراف های آینده را برای مغز فراهم می کند. این پیش بینی برای آینده خیلی کمک کننده است؛ در واقع با استفاده از اطلاعات گذشته، آینده پیش بینی می شود و فرد می تواند تعادل خود را هنگام چرخش زاویه ای حفظ کند.

این جمع بندی خیلی واضح تره حتما مطالعه کنین

2 شتاب زاویه ای (Angular Acceleration)

- تعریف: تغییر سرعت چرخش یا حرکت دورانی حول یک محور
- گیرنده: Ampullary Crista در مجاری نیم دایره (Semicircular Canals)
- سنسور: Hair cells + Cupula در Ampulla
- مکانیزم:
- چرخش سر → اندولف به دلیل اینرسی عقب می ماند → خم شدن Cupula → تغییر نرخ پالس → مغز و مخچه شتاب زاویه ای را تشخیص می دهند
- مثال بالینی: سرگیجه با چرخش سریع، کالریک تست (آب سرد یا گرم در گوش)
- ویژگی: شتاب زاویه ای توسط تغییر سرعت چرخش حس می شود، حرکت با سرعت ثابت بعد از مدتی توسط مجاری نیم دایره دید ↓ اسایی نمی شود

1 شتاب خطی (Linear Acceleration)

- تعریف: تغییر سرعت در یک خط مستقیم (افقی یا عمودی).
- گیرنده: ماکولا در Utricle (افقی) و Saccule (عمودی)
- سنسور: Hair cells + Statoconia (Otoliths) در ژلاتینوس لایه
- مکانیزم:
- شروع حرکت یا توقف → Statoconia به دلیل جرم نسبت به ژلاتینوس عقب می ماند → خم شدن Hair cells → دیپولاریزاسیون یا هایپرپلاریزاسیون → پالس به مغز
- مثال بالینی: حرکت آسانسور، ترمز ناگهانی خودرو، شتاب خطی اتوبوس
- ویژگی: سرعت ثابت تحریک کننده نیست، فقط شروع و پایان حرکت مهم است ↓