

## سرفصل دروس فیزیولوژی ورزشی (۱) و (۲) جزوه آموزشی

### فیزیولوژی ورزش

مطالعه تاریخی و تحلیلی ادوار گذشته و بررسی اسناد و شواهدی که به جا مانده نشان می دهد که در مسیر عمومی تاریخ زندگانی انسان ، فرهنگ ها و تمدن های بسیاری بوجود آمده و برخی از آنها هم با به جا گذاشتن نشانه ها و مدارکی به دلایل مختلف از بین رفته اند. پیدایش اجتماعات و حرکت آنان اگر چه به ظاهر مستقل بوده ولی به حقیقت در یکدیگر تاثیرات متقابل داشته اند و تاریخ عمومی بشر را از جنبه های حرکت درونی و بیرونی به وجود آورده است . بخش مهمی از این تاریخ مربوط به انسان ، شناخت انسان و تربیت انسان است . علوم ورزشی بخش جدایی ناپذیری از زندگی و آموزش و تربیت او بوده است .

اگر چه علوم ورزشی و نقش اساسی آن در برآورده کردن نیازها و رشد و توسعه جسمی و روحی انسان در بین تمامی ملل و فرهنگها و تمدنهای گوناگون ، هنوز به مراحل رشد و کمال مطلوب نرسیده ولی بدین نتیجه نهایی رسیده است که اجتماعات انسانی پیوسته متحرک و رو به رشد بوده است . انسان در طول تاریخ فراز و نشیبهای فرهنگی ، تاریخی و اجتماعی بسیاری را تجربه کرده است. تحول و حرکت افراد اجتماع از جنبه های معنوی و درونی مورد مطالعه قرار گرفته شده است . برای رشد روحی و جسمی انسان با پیروی از تعالیم الهی و با استفاده از ابزارها و روشهای علمی ، شیوه های آموزشی مورد توجه قرار گرفته شده است که بطور فطری دوام سعادت‌مندانانه حیات و زندگی انسان را در دنیا و آخرت در بر داشته باشد . لازمه این آموزشها رشد و تعالی متعادل جسم و روح انسان و هماهنگی آنها با نظام خلقت است تا با توازن این دو پدیده ی محسوس و معقول سزاوار عدل آفرینش و محق به ادامه ی زندگی سالم و متعالی باشد .

حفظ سلامت و بهداشت و ایجاد تحول مطلوب در جوامع مختلف و با استفاده از علوم ورزشی ، همان قدر برای سرنوشت و زندگی اجتماعات انسانی مهم بوده است که سایر اکتشافات و اختراعات صنعتی مهم بوده اند .

توسعه علوم ورزشی با استفاده از علوم دیگر و تجارب پیشین در مدت بیش از دو قرن اخیر باعث شدند تا تربیت بدنی به صورت علم جداگانه ای درآمده و انجام ورزش برای مردم جوامع صنعتی جنبه ی حیاتی پیدا کند برای این که احتیاج جوامع کنونی ، به نیروی انسانی سالم بیش از هر زمان دیگر قابل لمس است ، در جوامعی که نارسائی های کمی و کیفی ورزش وجود دارد عقب افتادگی آن جامعه نیز چشم گیر است و از این روست که ورزش امروز در جوامع مترقی دنیا علاوه بر اثرات بهداشتی و نقش مهم آن در سلامت یک ملت به عنوان یک پدیده ی اجتماعی و عامل مهم اقتصادی مورد مطالعه و پژوهش علمی قرار می گیرد به این دلیل که ترقی دانش و فنون و پیشرفت تمدن مسائل تازه ای به وجود آورده است که در گذشته یا مورد نظر نبوده و یا آن که چندان توجهی به آن نمی شد . بررسی های عملی ورزش و تربیت بدنی در جوامع صنعتی امروز جدا از پژوهش های پزشکی ، آموزش و پرورش ، روانشناسی ، بهداشت ، جامعه شناسی ، اقتصاد و تاریخ نبوده بلکه با همه ی علوم فوق رابطه مستقیم دارد .

بخش مهمی از علوم ورزشی درک ساختار و عملکرد اندامها و ارگانهای داخلی بدن در شرایط گوناگون است .

فیزیولوژی یکی از قدیمی ترین رشته های علوم است و با عنایت به علم الابدان دانشمندان به این رشته توجه ویژه ای داشته اند. در ادواری که دانشمندان ایرانی تلاش می نمودند در همه حوزه های علمی بشری صاحب نظر شوند، همواره علم فیزیولوژی و نحوه عملکرد طبیعی اندامهای موجودات زنده یکی از زمینه های تحقیق، نگارش و تألیف کتب آموزشی و پژوهشی بوده است. به طوریکه دانشمند شهیر ایرانی، ابوعلی سینا، به شاخصهای فیزیولوژی نظیر نبض، حرکات تنفسی، دمای بدن برای تشخیص و شناسایی بیماریها استناد علمی می نموده است. از طرفی اهمیت این رشته در دنیا نیز تا حدی است که یکی از جوایز نوبل به یافته های شاخص پزشکی با عنوان جایزه نوبل «فیزیولوژی - پزشکی» اختصاص یافته است. با توجه به پیشرفتهای علمی در زمینه روشهای آموزش و گسترش مرز علم فیزیولوژی تا سطح ملکولی و نیاز به تلفیق زمینه های مشترک علوم پایه ، لازم است تا توجه ویژه ای به رشته فیزیولوژی معطوف گردد . شناخت صحیح عملکرد طبیعی اندامها در شرایط سلامت (فیزیولوژیک) به عنوان مقدمه ای برای درک صحیح شرایط بیماری (پاتولوژیک) الزامی می باشد. از طرف دیگر ترکیب دانش فیزیولوژی با استفاده از یافته های سایر علوم در باره تاثیر انواع فعالیت های بدنی و ورزشی بر بدن مجموعه دانشی را فراهم نموده است ، که محققان از آن به عنوان فیزیولوژی ورزشی

نام می برند. بررسی تاثیر شرایط مختلف حرکتی بر عملکرد طبیعی دستگاههای مختلف بدن و تجزیه و تحلیل عوامل موثر بر چگونگی این تغییرات از اصلی ترین مباحثی است که در فیزیولوژی ورزشی مورد بحث قرار می گیرند.

رشته فیزیولوژی ورزشی علمی است بین رشته ای و ترکیبی از علوم زیستی، حرکتی، فیزیک، شیمی و ریاضی که در آن فیزیولوژیست ورزشی با شناخت عملکرد طبیعی اندامها و دستگاههای مختلف بدن زمینه‌ای را برای فعالیتهای آموزشی و پژوهشی و نیز درک صحیح شرایط فیزیولوژیک بدن انسان در شرایط مختلف فراهم می‌نماید.

### تاریخچه رشته:

بسیاری از پیشرفت های فیزیولوژی ورزش را باید مرهون بهبود و پیشرفت در علوم پایه به خصوص علوم زیستی، شیمی، تغذیه و حتی تکنولوژی های فیزیک و مکانیک به کار رفته در تجهیزات آزمایشگاهی دانست. فیزیولوژی ورزش که در حال حاضر از مهم ترین مباحث علمی در تربیت بدنی است حاصل تلفیق علم فیزیولوژی و ورزش است و تغییرات فیزیولوژیکی بدن در هنگام فعالیت های بدنی را بررسی و به طور کلی در مورد فیزیولوژی بدن انسان در هنگام ورزش و تحرکات بدنی سخن می گوید. آگاهی از ضرورت فعالیت بدنی، نگرش عموم مردم را نسبت به اهمیت طب پیشگیری و ایجاد برنامه های بهزیستی تغییر داده است. فیزیولوژی ورزش علمی است که توانسته، فعالیت بدنی و ورزش را به عنوان یک نیاز در قالب زندگی روزمره برای حفظ تندرستی قرار دهد. فیزیولوژی ورزش به عنوان یک علم در موارد بیماری و حفظ سلامتی به افراد جامعه در شرایط مختلف کمک می کند. فیزیولوژی ورزش همواره مبنایی برای طب بالینی بوده است. به همین طریق، فیزیولوژی ورزش، دانش لازم را برای بسیاری از زمینه های دیگر علمی مانند تربیت بدنی، آمادگی جسمانی و بهداشت فراهم کرده است. فیزیولوژی ورزش با چگونگی سازگاری فیزیولوژیکی بدن، فشارهای کوتاه مدت و دراز مدت ناشی از فعالیت بدنی و ورزش مرتبط است. با وجود نو پا بودن گرایش فیزیولوژی ورزش، همکاری زیادی در زمینه طرح های تحقیقاتی با موسسات پژوهشی ورزشی و پزشکی انجام گرفته است که حاصل آن در مراکز ورزشی یا نشریات علمی- پژوهشی قابل مشاهده است. آزمایشگاههای فیزیولوژی ورزش به تدریج با امکانات پیشرفته علم روز مجهز می شوند به طوری که فیزیولوژیستها را قادر ساخته است تا تحقیقات تخصصی در سطوح سلامتی و حتی در حد سلولی مولکولی انجام دهند.

مهمترین مفاهیمی که دانشجویان تربیت بدنی در گرایش فیزیولوژی ورزش با آنها آشنا می شوند عبارتند از:

- ۱- ساختمان و عمل سلولهای عضلانی
- ۲- نیازهای انرژی و متابولیسم ورزش (متابولیسم ورزش)
- ۳- کنترل عصبی- عضلانی حرکت
- ۴- سازگاری کوتاه و بلند مدت قلب و تنفس با ورزش
- ۵- سازگاری کوتاه و بلند مدت هورمونی با ورزش
- ۶- سازگاری دوران رشد با ورزش
- ۷- تغذیه و ورزش
- ۸- علم تمرین
- ۹- طب ورزش
- ۱۰- فیزیولوژی بالینی
- ۱۱- فیزیولوژی ورزش و محیط (ارتفاع، گرما، عمق دریا)

- 
- ساختمان عضله
  - تارچه ها
  - شبکه سارکوپلاسمی
  - الیاف پروتئینی
  - تئوری لغزشی در انقباض عضلانی

- عمل عضله مخطط
- انواع تارهای عضلانی
- واحد حرکتی
- سلول عصبی
- تکانش سلول عصبی
- سیناپس و اتصال عصبی - عضلانی
- اندامهای حسی
- گیرنده های عمقی
- دوک عضلانی اندامهای وتری گلژی
- گیرنده های مفصلی دستگاه عصبی و مهارتهای حرکتی کنترل ارادی حرکت عضله

### انواع سلولهای عضلانی و ساختمان آنها:

به طور کلی بدن ما دارای ۳ نوع عضله می باشد :

- ۱- عضلات صاف
- ۲- عضلات قلبی (کاردیاک)
- ۳- عضلات اسکلتی یا مخطط

عضلات صاف :

این عضلات غیر ارادی اند و در رگها ، امعاء و احشاء قرار دارند

عضلات قلبی :

فقط در قلب وجود دارد برخی از ویژگی های عضله اسکلتی را دارد ولی مثل آن تحت کنترل نیست و تقریباً بصورت نیمه خودکار می باشد

**عضلات اسکلتی :**

این عضلات در کنترل ارادی ما قرار دارند و موجب حرکت اندامها می شوند. بدن بیش از ۲۱۵ جفت عضله اسکلتی دارد .

### هدف های کلی فصل

۱. آشنایی با ساختمان کلی و میکروسکوپی بافت عضلانی مخطط و مکانیزم انقباض
  ۲. آشنایی با ساختمان میکروسکوپی تار عضلانی اسکلتی.
  ۳. تغییرات ساختمانی ، الکتریکی ، شیمیایی و مکانیکی تار عضلانی را به هنگام عمل عضلانی.
  ۴. پدیده تکان عضلانی ، قانون همه یا هیچ و پدیده جمع انقباضات را دهید .
  ۵. روابط بین طول تار و تانسین ، طول تار عضلانی و سرعت و رابطه میان نیروی وارد به تار عضلانی و سرعت انقباض آن را هنگام عمل عضلانی.
  ۶. واحد حرکتی را تعریف و ساختمان صفحه محرک را مشخص کنید و چگونگی انتقال پیام عصبی به عضله و انجام اعمال عصبی ناشی از تحریکات عصبی.
- عضلات اسکلتی ۴۰٪ وزن بدن را و عضلات صاف تقریباً ۳٪ وزن بدن را تشکیل می دهند .
- هرچند تعداد تارهای عضله بر حسب اندازه و وظیفه آنها متفاوت است اما به نظر می رسد جنین هنگام ۴ تا ۵ ماهگی تعداد واقعی تارهای عضله او تشکیل میشود .
- غلافهایی از بافت همبند(پیوندی) تارهای قابل انقباض عضلانی را احاطه کرده اند.
  - بخشی از این بافت که یک تار عضلانی را می پوشاند به نام (آندومیوزوم) نامیده میشود.

- درون یاخته عضلانی از پروتوپلاسم ویژه ای به نام سارکوپلاسم اشغال شده است .
- تارها نیز در کنار هم قرار می گیرند تا دسته تار عضلانی یا (فاسیکول) را به وجود آورند.
- دسته تارها شامل تعدادی نا برابری تار عضلانی اند که بافت همبند مشخصی به نام (پری میوزوم) آنها را به هم پیوند می دهد.
- با مطالعه یک عضله کامل پی خواهیم برد که بافت همبند دیگری به نام (اپی میوزوم) در اطراف خارج آن را پوشانده است .
- ادامه بافتهای همبند به موازات تارهای عضلانی در انتهای عضله به شکل محکم و فشرده به یکدیگر میچسبد که (تاندون) نام دارد ، رابطه بین عضلات مخطط واستخوانها انجام وظیفه می کند .

### سلول عضلانی

سلولهای ما محل مصرف اکسیژن، تولید انرژی، سنز پروتئین، تشکیل CO<sub>2</sub> و بسیاری از کارهای دیگر است علاوه بر این ویژگیهای عمومی هر نوع سلول در بدن کارهای مخصوص به خود نیز دارد.

تشکیلات ساختمانی ویژه هر سلول به شکلی است که می تواند اعمال تخصصی منحصر به خود را انجام دهد. از نظر مطالعات ورزشی، شناخت اعمال طبیعی سلول عضلانی که واحد اصلی و بنیانی حرکت به شمار می آید دارای اهمیت ویژه ای است.

اصولاً تارهای عضلانی (سلولهای عضلانی) بطور موازی و در مجاور هم قرار دارند و نیروی انقباضی در امتداد محور طولی تار عضلانی اعمال می شود. نه تنها تارهای عضلانی بطور موازی و در مجاور هم هستند، بلکه عناصر انقباضی (میوفیبریلها) درون تار عضلانی نیز به طور موازی و در امتداد محور طولی تار قرار دارند. ساختار درون سلول عضله اسکلتی بسیار سازمان یافته است.

سازگاریهای اجزای ویژه سلولی

### غشای سلولی

غشای سلولی از دو قسمت تشکیل شده است: داخلی (پلاسمایی) و خارجی

غشای داخلی یا پلاسمایی که بلافاصله با سیتوپلاسم سلول در تماس است و برای ادامه حیات سلول ضروری است. غشای خارجی که نقش چندان مهمی ندارد و در ادامه حیات سلول ضروری نیست.

غشای پلاسمایی در ظاهر از دو لایه مولکولی پروتئین که در میان آنها یک لایه لیپوئید (کلسترول و فسفولیپیدها) قرار دارد تشکیل شده است. این دو لایه مولکولی پروتئین واحد غشایی نامیده می شود و ۷۰ تا ۱۰۰ آنگستروم ضخامت دارد.

از نظر فعل و انفعالات شیمیایی و شکل ساختمانی تفاوتهایی میان غشاء یک سلول با سلول دیگر وجود دارد. تفاوتهای میان غشاء اندامکهای درون سلولی (مانند میتوکندریها، ریکولوم سارکوپلاسمیک و توبولهای T) بسیار بیشتر است که از نظر فعالیت های آنزیمی بسیار بارزتر است. اختلاف میان غشاءها به ایجاد ویژگی در ساختار اندامکهای درون سلولی کمک می کند. پرزها و زائده های غیرلیپیدی (احتمالاً پروتئینی) که از یک سمت غشاء به سمت های دیگر ادامه دارند بر پیچیدگی ساختمان غشاء سلولی می افزایند که علاوه بر ایجاد استحکام در غشاء سلولی به یون ها و موادی که از نظر الکتریکی قطبی هستند اجازه می دهد تا از درون پرزهای پر از آب الکترواستاتیک عبور کنند.

غشاء محل جذب هورمون ها و تنظیم کننده های متابولیکی از طریق کنترل ورود و خروج مواد به داخل و خارج سلول است. نقش نفوذپذیری غشاء به عنوان عامل حساس و بلسیار مهم در شناخت فیزیولوژیکی سلولها از مدت ها قبل مورد توجه بوده است.

از نقطه نظر متابولیسم سلولی، لازم است که مولکول های بخصوصی از یک بخش سلول به بخش دیگر منتقل شوند. زیرا در بسیاری مواقع ماده تولید شده در یک اندامک به عنوان ماده اولیه اصلی برای متابولیسم در اندامک دیگر باید مورد استفاده قرار گیرد.

مکانیسم های انتقالی دیگر:

(۱) جابجایی یون های Na<sup>+</sup> و K<sup>+</sup>

امکان جریان تکانش های عصبی و هدایت ایمپالس های عضلانی را میسر می سازد.

(۲) حمل اکسیژن از هموگلوبین به میتوکندری

سال‌های متمادی فیزیولوژیست‌های ورزشی تصور می‌کردند که حمل اکسیژن فقط انتقال ساده مولکول‌های اکسیژن از هموگلوبین به میتوکندری است. اکنون بطور عموم پذیرفته‌اند که حمل اکسیژن به کمک میوگلوبین (ماده‌ای شبیه هموگلوبین در عضله) که از غشاء به میتوکندری در رفت و برگشت است تسهیل می‌شود.

مولکول میوگلوبین که محتوی آهن است زنجیره‌ای متشکل از اسیدهای آمینه است که میل ترکیبی با  $O_2$  دارد در مقایسه با هموگلوبین، میوگلوبین همکاری کمتری بین پیوندهایش برای ترکیب با  $O_2$  دارد و تا زمانی که فشار سهمی  $O_2$  به مقدار زیادی کاهش پیدا نکرده باشد از میوگلوبین جدا نمی‌شود.

مولکول‌های میوگلوبین در سراسر سلول عضلانی پراکنده‌اند و این پراکندگی گسترده، امکان مکانیسم مناسبی را برای عمل رفت و برگشت آن به وجود می‌آورد. بسیلر بعید به نظر می‌رسد که هنگام فعالیت ورزشی مولکول‌های  $O_2$  بتوانند برای رسیدن به میتوکندری‌های نزدیک به مرکز سلول، بدون کمک سیستم رفت و برگشت میوگلوبین نیاز متابولیکی سلول را تأمین کنند. البته توده میتوکندری‌های مجاور غشاء سلولی برای دسترسی بیشتر به جذب  $O_2$  متراکم‌تر از سایر بخش‌های سلولی است. افزایش وسعت شبکه عروقی در اطراف تارهای عضلانی تمرین کرده یکی از آثار مفید تمرین‌های استقامتی است.

افزایش وسعت شبکه مویرگی در اثر تمرینات استقامتی، نسبت مویرگ‌ها به تار عضلانی را زیاد کرده در نتیجه فاصله‌های دیفوزیون به داخل سلول را برای  $O_2$  و  $CO_2$  کم می‌کند.

میوگلوبین نسبت به تغییر غلظت  $O_2$  واکنش نشان می‌دهد و  $O_2$  را از بخش‌های با فشار زیاد (نزدیک مویرگ‌ها) به بخش‌های با فشار کم (میتوکندری‌های فعال) منتقل می‌کند. در شرایطی که فعالیت ورزشی بسیار شدید باشد نیاز به  $O_2$  قدری افزایش پیدا می‌کند که مویرگ‌ها قادر به تأمین  $O_2$  کافی نخواهند بود در چنین شرایطی میوگلوبین از  $O_2$  اشباع نشده و سلول اغلب از طریق بی‌هوازی ATP تولید می‌کند.

۳) حمل ATP از محل تشکیل آن (میتوکندری) به محل مصرف (مکانیسم انقباضی)

هنگامی که عضله‌ای منقبض می‌شود تراکم ATP کاهش می‌یابد و انتقال باندهای فسفات پرانرژی از محل پر تراکم (میتوکندری‌ها) به محل کم تراکم (محل انقباض عضلانی) شروع می‌شود.

هسته

هسته یا مغز سلول همه اعمال سلولی از جمله سازگاری با تمرین‌های روزی را کنترل می‌کند. اصولاً هسته غالب سلول‌ها کروی شکل و هسته‌های تارهای عضلانی تقریباً استوانه‌ای‌اند.

اطراف هسته با یک غشای دولایه احاطه شده که در بعضی از قسمت‌ها به رتیوکولوم اندوپلاسمیک متصل می‌شود. پرزهای هسته‌ای بطور پراکنده در نقاط مختلف غشاء وجود دارند تعداد و محل این پرزها در غشای هسته‌ای احتمالاً به میزان فعالیت بیوسنتزی سلول بستگی دارد.

هسته از غشای هسته‌ای، مایع هسته‌ای و کروماتین، رشته‌های اسیدنوکلئیک بهم تابیده که شازنده مواد ژنتیکی هستند تشکیل شده. هسته بر اساس اطلاعاتی که از DNA و بوسیله RNA به سیتوپلاسم سلولی می‌فرستد سنتز پروتئین‌ها را کنترل می‌کند که امری مهم در روند سازگاری است.

هستک

هستک بخشی از مایع درون هسته است که قسمت زیادی از RNA سلول در آن بخش ساخته می‌شود. تعداد هستک‌های درون هر سلول متفاوت است (از یک تا هفت عدد در کبد). در مراحل اولیه رشد هنگامی که سنتز پروتئین‌ها به حداکثر می‌رسد تعداد هستک‌ها در هر هسته فراوان‌تر از سایر مراحل رشد است.

اطلاعات کمی درباره اثر فعالیت‌های بدنی روی تعداد و اندازه هستک‌ها در دست است.

سلول‌های ساتلیت

سلول‌های ساتلیت در اطراف سیتوپلاسم، میان پلاسم و مجاور غشای داخلی تار عضلانی قرار دارند. این سلول‌ها از یک هسته و مقدار کمی سیتوپلاسم تشکیل شده‌اند. نقش سلول‌های ساتلیت در اعمال یک سلول طبیعی روشن نیست، ولی تصور می‌شود که این سلول‌ها میوپلاست‌ها ی

غیرفعال باشند که بوسیله محرک‌های ویژه‌ای به تار عضلانی واقعی تبدیل می‌شوند. هنگام تشکیل مجدد عضله فعال می‌شوند و نقش فعالی را برعهده می‌گیرند. عمل این سلول‌ها هنگام ورزش روشن نیست اما احتمال درگیری آنها در روند سازگاری سلول وجود دارد.

سیتوپلاسم در تارهای عضلانی سارکوپلاسم گفته می‌شود.

سارکوپلاسم شامل تمام قسمت‌های اطراف هسته است که توسط غشای پلاسمایی احاطه شده که در عضله این قسمت‌ها عبارتند از: مکانیسم‌های انقباضی، سیستم سیتوتوبول و میتوکندری‌ها.

همچنین محتوی آنزیم‌ها و مواد محلول است که به غشاهای اندامک‌های دیگر متصل نیستند مانند میوگلوبین یک نوع از کراتین فسفاتاز. سیستم‌های سیتوتوبول

توبول‌های عرضی (T): از سارکولما با غشای سلول عضلانی با فاصله‌های معین به طرف داخل سلول کشیده شده‌اند. این توبول‌های T امواج دیلاریزه را از سارکولما به بخش‌های عمقی تار عضلانی هدایت می‌کنند.

رتیکولوم سارکوپلاسمیک: مانند شبکه‌ای در امتداد و در مجاور توبول‌های T قرار دارند. رتیکولوم سارکوپلاسمیک محل تجمع و ذخیره یون‌های کلسیم است که برای تحریک روند انقباضی ضروری‌اند.

رتیکولوم سارکوپلاسمیک در بعضی قسمت‌ها به غشای پلاسمایی و هسته‌ای متصل می‌شود و به دو شکل وجود دارد:

ناصاف ← دارای ریبوزوم ← در روند سنتز پروتئین نقش دارند.

صاف ← بدون ریبوزوم

علاوه بر سنتز پروتئین‌ها به نظر می‌رسد که آنزیم‌های متابولیسمی گلیکوکژن به سطح رتیکولوم سارکوپلاسمیک می‌چسبند ← مثل گلیکوکژن سینتاز، فسفوریلاز و گلیکوکژن

به نظر می‌رسد که واکنش رتیکولوم نسبت به فعالیت‌های ورزشی سنگین این بلشد که کیسه‌های پهن مجاری رتیکولوم بلافاصله پس از بروز خستگی متسع می‌شوند. تساع کیسه‌های پهن پس از رفع خستگی به حالت اولیه زمان استراحت برمی‌گردد.

بنابراین رتیکولوم سارکوپلاسمیک نه تنها به عنوان جایگاهی برای پیوند آنزیم‌ها و سنتز پروتئین‌ها مهم است بلکه به نظر می‌رسد که در امر سازگاری نسبت به فشارهای مکانیک و شیمیایی هم سهم بسزایی دارد. پیام‌هایی که بطور رتیکولوم منتشر می‌شوند سبب آزاد شدن یون‌های کلسیم به داخل سیتوپلاسم شده تا با پیوستن به فیلامان‌های انقباضی سبب انقباض‌های عضلانی شوند. جذب مجدد یون‌های کلسیم همراه با مصرف مجدد انرژی توسط رتیکولوم سارکوپلاسمیک موجب شل شدن عضله می‌شود. نقاطی که Ca در رتیکولوم سارکوپلاسمیک ذخیره یا آزاد می‌شود، متفاوت است. کیسه‌های پهن انتهایی رتیکولوم محل آزاد شدن یون‌های Ca و قسمت‌های توبولی میانی محل جذب مجدد آنهاست.

سرعت شل شدن تار عضلانی عامل تعیین کننده برای جذب مقدار یون‌های Ca است.

واحد انقباضی عملی

تعداد و نیروی اتصال‌های اکتین و میوزین می‌تواند روی حداکثر نیروی انقباضی تأثیر داشته باشد. برنامه‌های تمرینی که با موفقیت بتوانند در روند مراحل انقباض عضله اثر مناسب داشته باشند (مانند افزایش فعالیت آنزیم اکتومیوزین ATP ase) جزو برنامه‌های تمرینی هستند که ورزشکاران برای توسعه قدرت و توانایی بدنی خود به آنها نیاز دارند.

میتوکندری‌ها

احتمالاً یکی از تخصص عمل یافته‌ترین اندامک‌های درون سلولی است که محل اصلی تولید ATP و مصرف  $O_2$  و مواد غذایی است و به همین دلیل توجه اکثر بیولوژیست‌های ورزشی را به خود جلب کرده است. به عنوان یک واحد تولید انرژی آن را نیروگاه سلول می‌نامند. تعداد و اندازه میتوکندری‌ها در سلول‌های مختلف که دارای فعالیت گوناگون هستند باهم تفاوت دارد.

میتوکندری دو غشای مشخص دارد که از غشای داخلی آن چین‌هایی دولایه به طرف داخل میتوکندری کشیده شده است. برجستگی‌های انگشت ماندندی روی این چین‌ها وجود دارد که از نظر ساختاری و اعمال شیمیایی با سایر قسمت‌های میتوکندری فرق می‌کنند. یک مجموعه آنزیمی به خصوصی روی غشای داخلی و خارجی میتوکندری یافت می‌شود.

آنزیم‌های چرخه اسیدسیتریک، آنزیم‌های اکسایش اسید چرب و آنزیم‌های همراه با چرخه انتقال الکترونی مهمترین آنزیم‌های موجود بر روی غشای داخلی و خارجی میتوکندری هستند. افزایش تعداد و اندازه میتوکندری‌ها هنگام فعالیت‌های ورزشی استقامتی و مستمر یکی از بارزترین ویژگی‌های سازگاری این اندامک‌ها در عضله نسبت به تمرین است. ظاهراً این سازگاری سبب افزایش اتصال‌های پرانرژی فسفاتی برای انجام واکنش‌های شیمیایی و فعالیت‌های مکانیکی می‌شود.

میتوکندری‌ها توانایی افزایش اندازه، تغییر شکل، تقسیم شدن و چسبیدن به یکدیگر را دارند.

دستگاه سنتز پروتئین در میتوکندری همراه با مکانیزم سنتز پروتئین در هسته قادر به همانندسازی یک میتوکندری جدید هستند.

شناخت محرک درون سلولی که سبب بکار افتادن چنین مکانیسمی برای همانندسازی میتوکندری و اجزای داخلی آن می‌شود کلیدی برای پی‌بردن به رمز سازگاری بدن نسبت به فعالیت‌های بدنی استقامتی خواهد بود. یک چنین محرکی در صورت وجود داشتن، فقط در واکنش به فعالیت شدید بدنی و هنگام برگشت به حالت اولیه فعال می‌شود.

ذرات گلیکوژن

غالب ذرات گلیکوژن شبیه همدیگر بطور بی‌نظم درون سلول پراکنده‌اند. ذرات گلیکوژن به شکل خاصی به تیکولوم سارکوپلاسمیک عضلات اسکلتی می‌چسبند. تغییر بصورت توده‌های کوچک و بزرگ احتمالاً به کمک آنزیم فسفوریلاز و گلیکوژن سینتاز صورت می‌گیرد. ارتباط نزدیک بین آنزیم‌ها و ماده اولیه هنگام بروز خستگی شدید قطع می‌شود. مقدار گلیکوژن عضلاتی که در تمرین‌های استقامتی درگیر می‌شوند نسبت به قبل از تمرین افزایش پیدا می‌کند (توسط افزایش فعالیت آنزیم گلیکوژن سینتاز) که این موضوع سازگاری مهمی نسبت به فعالیت ورزشی جهت تسهیل در فراهم شدن انرژی است.

گرانول‌های چربی

اغلب اطراف میتوکندری‌ها و آماده برای اکسایش به آنها چسبیده‌اند. مواد چربی بخصوص هنگام فعالیت‌های ورزشی استقامتی مصرف می‌شوند. گرانول‌های چربی سلول در پاسخ به فعالیت ورزشی افزایش می‌یابند و افزایش ظرفیت مصرف چربی سازگاری سلول‌های عضلانی است که به علت افزایش توانایی آنها در انتقال اسیدهای چرب آزاد و افزایش ظرفیت آنها در اکسیداسیون چربی‌ها بوجود می‌آید.

### کنترل عضلانی حرکت

#### انواع عضلات و ساختمان آنها:

به طور کلی بدن ما دارای ۳ نوع عضله می‌باشد :

۴- عضلات صاف

۵- عضلات قلبی (کاردیاک)

۶- عضلات اسکلتی یا مخطط

عضلات صاف :

این عضلات غیر ارادی اند و در رگها ، امعاء و احشاء قرار دارند

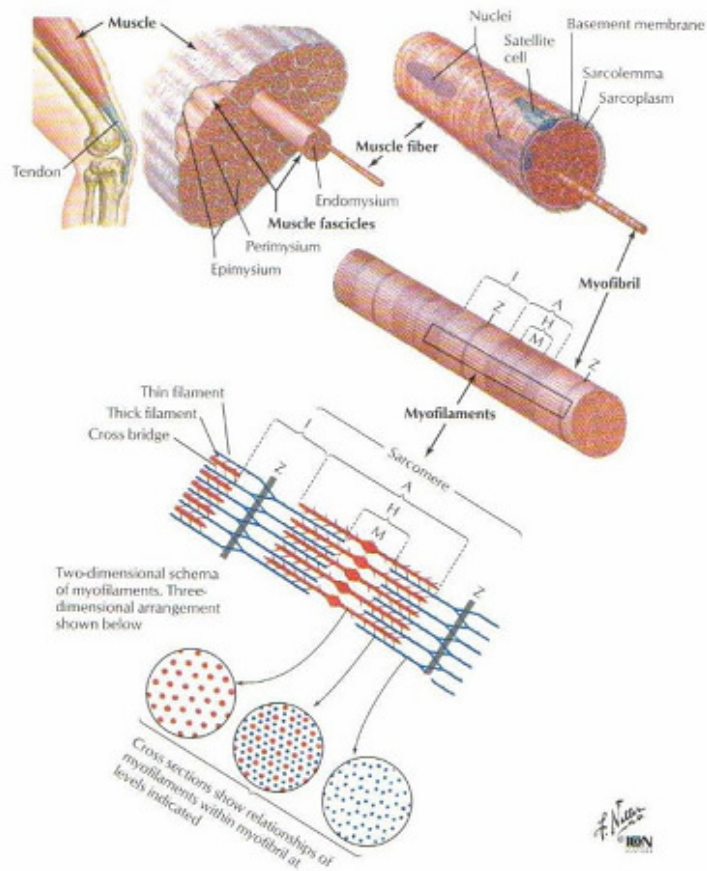
عضلات قلبی :

فقط در قلب وجود دارد برخی از ویژگی های عضله اسکلتی را دارد ولی مثل آن تحت کنترل نیست و تقریباً بصورت نیمه خودکار می باشد عضلات اسکلتی :

این عضلات در کنترل ارادی ما قرار دارند و موجب حرکت اندامها می شوند. بدن بیش از ۲۱۵ جفت عضله اسکلتی دارد .

ساختمان و کار عضلات اسکلتی :

عضله اسکلتی از ۳ لایه تشکیل شده است . ابتدا خارجی ترین لایه که بافتی است پیوندی و اطراف تمام عضله را پوشانده است اپی میزیوم نام دارد درون این لایه دسته های کوچکی از تارهای عضلانی بنام فاسیکول وجود دارد . و اطراف هر فاسیکول از بافتی پیوندی پوشانده شده که پری میزیوم نام دارد و باز در درون این لایه تارهای عضلانی که سلولهای عضلانی منفرد می باشند و اطراف این تارها را بافت پیوندی بنام آندو میزیوم پوشانیده است .



**FIGURE 3.1 ORGANIZATION OF SKELETAL MUSCLE**

Skeletal muscle is specialized for voluntary movement. The muscle fiber is a multinucleated cell that contains the contractile elements, called myofilaments. The myofilaments are organized as myofibrils within the fiber. Groups of muscle fibers are organized into muscle

fascicles, which in turn are grouped to form a muscle. The regular arrangement of the myofibrils gives skeletal muscle a striated appearance under the microscope.

### تار عضلانی :

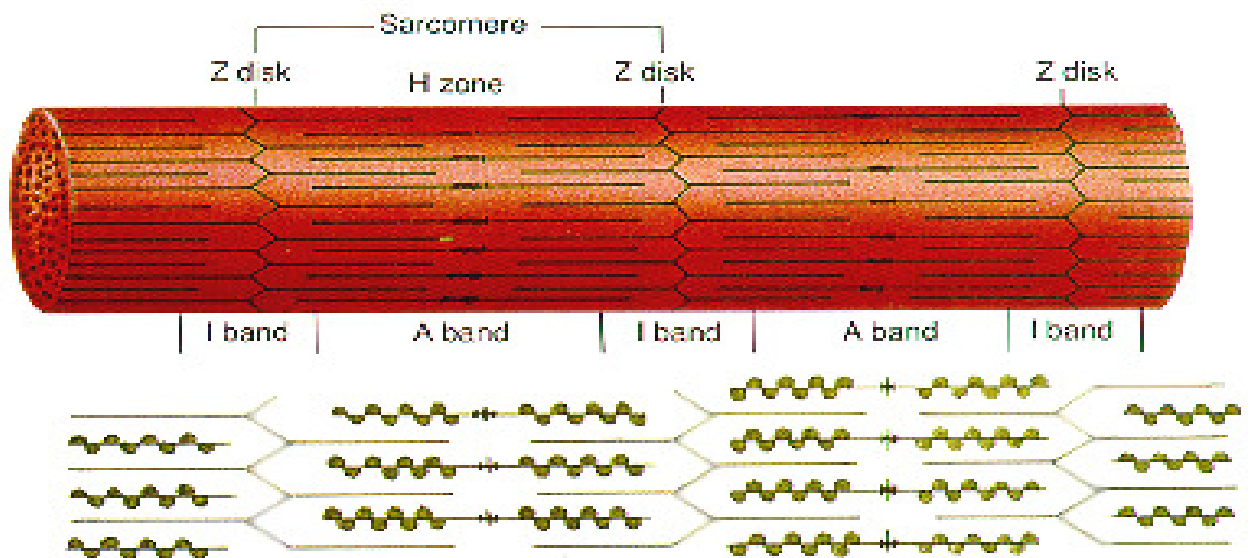
تعداد تارهای عضلانی در یک عضله به اندازه و کار آن بستگی دارد . غشای پلاسمایی تارعضلانی ، سارکولم نام دارد . هر تار عضله نهایتاً بوسیله تاندون به استخوان متصل می شود . سیتوپلاسم سلول عضلانی ، سارکوپلاسم نام دارد و شامل پروتئینهای محلول ، مواد معدنی ، گلیکوژن ، چربی ها و اندامکهای لازمه است . سارکوپلاسم با سیتوپلاسم اکثر سلولها متفاوت است ، چون شامل مقدار زیادی گلیکوژن ذخیره است و همچنین حاوی میو گلوبین است که اکسیژن به آن متصل می شود .

سارکو پلاسم همچنین دارای شبکه وسیعی به نام لوله های عرضی یا توبولهای T هستند که سبب ارتباط و انتقال مواد در تار عضلانی می شود . و نیز دارای یک شبکه طولی از لوله ها می باشد که شبکه سارکوپلاسمی نام دارد و محل ذخیره کلسیم که برای انقباض ضروری است ، می باشد.

### تارچه های عضلانی :



هر تار عضلانی شامل چند صد هزار تارچه عضلانی می باشد که عناصر انقباضی عضله اسکلتی می باشد تارچه های عضلانی از واحدهای کوچکتری بنام سارکومر تشکیل شده است. تارچه های عضلانی از مناطق روشن و تیره ای تشکیل شده اند ، مناطق روشن بنام نوار I و مناطق تیره بنام A معروفند . در وسط هر یک از نوارهای I خط تیره دیگری وجود دارد که به آن غشای Z گفته می شود . قسمتی از تارچه که بین دو خط Z قرار دارد سارکومر نامیده می شود و ناحیه وسط هر نوار A که دارای تراکم کمتری است منطقه H نامیده می شود . نوار I از جنس آکتین و رشته های H



از جنس میوزین می باشد .

پس هر تارچه عضلانی از رشته یا فیلامانهای نازکتر بنام آکتین و فیلامانهای ضخیم تر بنام میوزین تشکیل شده اند . هر فیلامان میوزین شامل چندین سر کروی شکل اند که به صورت زاویه جانبی از آنها جدا شده و بنام پلهای ارتباطی می باشند ، پلهای ارتباطی در هنگام عمل عضله به نقاط ویژه ای که روی فیلامان های آکتین است متصل می شوند . هر فیلامان آکتین از ۳ مولکول پروتئینی تشکیل شده است :: ۱- آکتین ۲- تروپومیوزین ۳- تروپونین

مولکولهای آکتین کروی اند و مانند دو رشته مروارید به هم پیچیده شده اند . تروپو میوزین پروتئینی لوله ای شکل است که به دور رشته های آکتین می پیچد و در شیار بین آنها جای می گیرد . تروپونین پروتئین پیچیده تری است که به فاصله های منظم به رشته های آکتین و تروپو میوزین متصل است.

### عمل تار های عضلانی :

هر عصب حرکتی منفرد و تارهای عضلانی مربوط به آنرا واحد حرکتی می نامند و در عضلات بزرگتر مثل عضلات پا ممکن است بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ تار عضلانی را تحت پوشش خود قرار دهد . واحد حرکتی اساس حرکت ارادی است . اتصال عصب به عصب دیگر را سیناپس می نامند و اتصال

عصب به عضله، سیناپس ویژه ای را بنام اتصال عصبی - عضلانی بوجود می آورد. در اینجا شکافی بین عصب و عضله وجود دارد که شکاف سیناپسی یا صفحه محرکه می نامند.

### تکانه حرکتی :

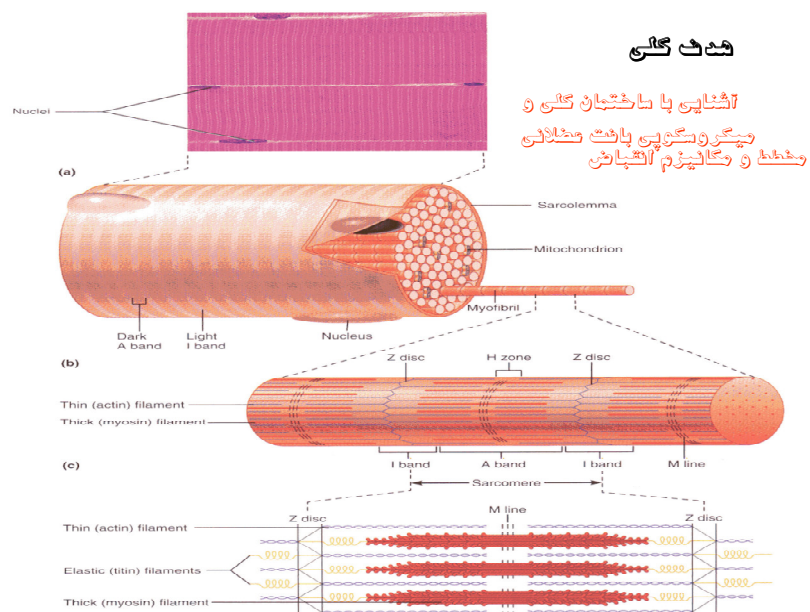
تکانه های عصبی به پایانه های عصبی می رسند که انتهای آکسونی نامیده می شوند و به سارکولوم بسیار نزدیک هستند. زمانی که تکانه می رسد، این پایانه های عصبی ماده میانجی سیناپسی به نام استیل کولین ترشح می کنند. که به گیرنده های روی سارکوپلاسم متصل می شوند، اگر به اندازه کافی استیل کولین به گیرنده ها متصل شود، یک بار الکتریکی در تمام طول تار عضلانی منتقل می شود. به این حالت، ایجاد یک پتانسیل عمل گفته می شود که باید قبل از عمل یک سلول عضلانی در آن تولید شود.

### نقش کلسیم :

تکانه های الکتریکی از طریق شبکه لوله ای (لوله های T و شبکه سارکوپلاسمی) به درون سلول منتقل می شوند. رسیدن یک بار الکتریکی منجر به آزاد شدن کلسیم ذخیره شده در سارکوپلاسم می گردد. کلسیم به تروپونین روی فیلامانهای آکتین متصل می شود. از آنجا بی کلسیم میل ترکیبی شدیدی با تروپونین دارد باعث بلند شدن ترومیوزین از روی نقاط فعال آکتین می شود. با بلند شدن تروپو میوزین از این نقاط فعال، سرهای میوزین به نقاط فعال فیلامانهای آکتین اتصال می یابند.

### نظریه لغزش فیلامانی :

وقتی که پل ارتباطی میوزین (سر میوزین) به فیلامان آکتین می چسبند، دو فیلامان بر روی یکدیگر سر می خورند. بین پلهای ارتباطی و سر میوزین یک کشش بین مولکولی قوی ایجاد می گردد و باعث می گردد که سر میوزین به طرف تنه چرخش داشته باشد و دو فیلامان آکتین میوزین در جهت مخالف هم کشیده شوند. سر میوزین بلافاصله پس از چرخش از نقطه فعال جدا شده و به حالت اولیه خود بر می گردد و به نقطه فعال بعدی در فیلامان آکتین متصل می شود. اتصالهای پیاپی موجب سر خوردن دو فیلامان بر روی یکدیگر می شود و نظریه لغزش فیلامانها را مطرح می سازد. این فرایند ادامه دارد تا دو صفحه Z به هم نزدیک شوند در این موقع منطقه H قابل مشاهده نیست. آنزیم ATPase که در سر میوزین قرار دارد، ATP را به ADP تجزیه می کند و انرژی آزاد شده برای اتصال سر میوزین به فیلامان آکتین مورد استفاده قرار می گیرد.



### پایان انقباض عضله :

با پایان یافتن کلسیم و تا ذخیره مجدد آن در شبکه سارکوپلاسمی بوسیله سیستم تلمبه فعال، انقباض عضله پایان می یابد. (ذخیره مجدد کلسیم نیز نیاز مند ATP می باشد) در نتیجه فیلامانهای میوزین و اکتین به حالت اولیه استراحت خود بر می گردند.

### عضله اسکلتی و ورزش

انواع تارهای عضلانی:

تارهای عضلانی به دو دسته ۱- تارهای کند انقباض یا قرمز (ST) و ۲- تارهای تند انقباض یا سفید (FT) تقسیم می شوند. علی رغم این که فقط یک نوع از تارهای کند انقباض یا تداومی شناسایی شده اما تارهای تند انقباض یا تناوبی به ۳ دسته دیگر یعنی FTa، FTb، FTc تقسیم بندی شده است.

به طور میانگین بیشتر عضلات از ۵۰ درصد تارهای ST و ۲۵ درصد تارهای FTa تشکیل شده اند و ۲۵ درصد باقیمانده اکثراً FTb همراه با ۱ تا ۳ درصد FTc هستند که بدلیل فقدان اطلاعات کافی از FTc کمتر از آن بحث خواهد شد. البته در عضلات ویژه ای در بدن نسبت یکی از انواع تارها بیشتر از نوع دیگری است، برای مثال عضله نعلی نسبت به سایر عضلات ساق پا دارای ۲۵ تا ۴۰ درصد بیشتر تار عضله از نوع ST می باشد. قهرمانان ورزشی استقامتی گرایش به داشتن نوع تارهای عضلانی ST می باشد و قهرمانان ورزشی سرعتی و پرتابی گرایش به داشتن تارهای عضلانی FT بیشتر می باشد.

### ویژگی ها و تفاوت های تارهای کند و تند انقباضی:

الف) تار عضلانی نوع I (کند انقباض)، SO

۱. قرمز رنگ هستند
۲. زمان انقباض آهسته است
۳. ATP با سرعت کم شکسته می شود
۴. سبب حرکتی کوچک می باشد
۵. مقاومت زیاد به خستگی دارند
۶. برای فعالیت های هوازی استفاده می شوند
۷. نیروی انقباضی کمی تولید می کنند
۸. میو گلوبین زیادی دارند
۹. تراکم میتوکندری آنها زیاد است
۱۰. تراکم مویرگی زیادی دارند
۱۱. ظرفیت اکسیداتیو زیادی دارند
۱۲. ظرفیت گلیکولیتیکی پایینی دارند
۱۳. بیشترین ماده ذخیره شده در آنها تری گلیسیرید است که در عضلات نگهدارنده گردن به وفور یافت می شوند

ب) تار عضلانی IIa (تند انقباضی a) یا FOG:

۱. قرمز رنگ هستند
۲. زمان انقباض آهسته است
۳. ATP با سرعت کم شکسته می شود
۴. سبب حرکتی کوچک می باشد
۵. مقاومت زیاد به خستگی دارند
۶. برای فعالیت های هوازی استفاده می شوند
۷. نیروی انقباضی کمی تولید می کنند

۸. میو گلوبین زیادی دارند
۹. تراکم میتوکندری آنها زیاد است
۱۰. تراکم مویرگی زیادی دارند
۱۱. ظرفیت اکسیداتیو زیادی دارند
۱۲. ظرفیت گلیکولیتیکی پایینی دارند
۱۳. بیشترین ماده ذخیره شده در آنها تری گلیسیرید است که در عضلات نگهدارنده گردن به وفور یافت می شوند

#### تارهای عضلانی نوع I یا FG :

- سفیدرنگ هستند
- زمان انقباض بسیار سریع است
- ATP با سرعت بسیار زیاد شکسته می شود
- سازه عصب حرکتی بسیار بزرگ است
- مقاومت کمی به خستگی دارند
- برای فعالیتهای بی هوازی کوتاه مدت استفاده می شود
- نیروی انقباضی بسیار زیادی تولید می کنند
- میوگلوبین کمی دارند
- تراکم میتوکندری کمی دارند
- تراکم مویرگی کمی دارند
- ظرفیت اکسیداتیو کمی دارند
- ظرفیت گلیکولیتیکی بالایی دارند
- بیشترین ماده ذخیره شده در آنها CP و گلیکوژن است
- در عضله بازو به مقدار زیادی وجود دارند

#### تعیین نوع تار :

ژنهایی که ما از والدین خود به ارث می بریم ، مشخص می کنند که کدام نرونهای حرکتی تارهای عضلانی را عصب رسانی کنند . بعد از اینکه عصب رسانی انجام گرفت ، تاهای عضلانی مطابق با نوع عصبی که آنها را تحریک می کند متمایز می شوند ولی این موضوع با گذشت زمان تغییر می کند. همزمان با افزایش سن ، عضلات تمایل به از دست دادن تارهای FT پیدا می کنند که باعث می شود تارهای ST افزایش یابد . در ضمن نسبت تارهای عضله که توسط یک عصب حرکتی منفرد تغذیه می شود بستگی به حجم و اندازه عضله ندارد . بلکه به دقت ، صحت و هماهنگی آن عضله وابسته است .

#### قانون همه یا هیچ :

یک تار عضله یا عصب در برابر تحریک معینی بترتیب کاملاً منقبض شده و یا هدایت تکانه های عصبی به اتمام می رساند و یا به محرک ، هیچ پاسخی نخواهد داد . به بیان دیگر عکس العمل تار عضله معینی نسبت به یک محرک ضعیف یا قوی یکسان است . این پدیده به قانون همه یا هیچ معروف است . از آنجایی که یک نرون حرکتی مفرد تعداد بیشماری تار عضله را تحت پوشش خود قرار می دهد طبعا چنین واحدی خواه نا خواه از قانون همه یا هیچ پیروی می کند . با وجود این که ، این قانون فیزیولوژی در باره هر یک از تارهای عضله و واحدهای حرکتی صادق است درباره

یک عضله کامل، صدق نمی کند. لذا احتمال دارد که عضله ای فشارهایی را با درجات مختلف قدرت که از یک انقباض بسیار تا یک انقباض بسیار شدید نوسان دارد اعمال نماید.

### رتیکولوم آندوپلاسمیک

رتیکولوم آندوپلاسمیک مجموعه ای از حفره های و مجراهایی است که فضای سلولی را در نقاط مختلف اشغال می کند و با غشای هسته و محیط خارجی سلول نیز ارتباط دارد. این شبکه توری مانند وظیفه انتقال مواد و انتشار تحریک را در داخل سیتوپلاسم عهده دار است.

### میتوکندری

میتوکندریها جزو تشکیلات غشایی اند و خود از دو غشا تشکیل شده اند تولید انرژی سلولی به عهده آنهاست. میتوکندریها را نیروگاه سلول نیز می نامند.

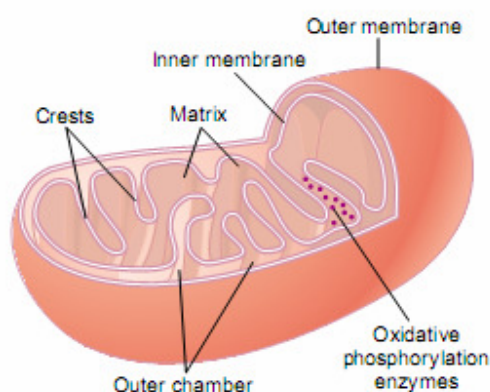


Figure 2-7

Structure of a mitochondrion. (Modified from DeRobertis EDP, Saez FA, DeRobertis EMF: Cell Biology, 6th ed. Philadelphia: WB Saunders, 1975.)

### غشای سلول

از سه لایه تشکیل شده است که دو تا از آنها تیره اند و لایه میانی روشن است. لایه های داخلی و خارجی از پروتئینهای کروی تشکیل شده اند و به پروتئینهای محیطی معروفند فقط به سطح غشا نفوذ نمیکنند. این پروتئینهای محیطی به صورت آنزیمی عمل می کنند. جنس لایه دو طبقه روشن میانی به طور کامل از فسفولیپید و کلسترول است

### هسته سلول

بزرگترین و واضحترین جزء سلول که به صورت شفاف قایل رؤیت است. هسته سلول با قشای نازک هسته ای از سیتوپلاسم جدا می شود. دو جسم کروی و دانه مانند در داخل هسته به نام هستک وجود دارد، که در داخل شیره هسته (نوکلئوپلاسم) غوطه ور است. شبکه توری مانند از رشته های باریک به نام شبکه کروماتین وجود دارد که در هنگام تقسیم سلولی به رشته های بلند و باریک که ابتدا و انتهای آنها مشخص است درمی آید که به آن کروموزوم گویند. در انسان تعداد کروموزوم ها ۲۳ جفت یا ۴۶ عدد است. هسته مرکز کنترل سلول است، هم کنترل واکنشهای شیمیایی را که در سلول انجام می شوند و هم تولید مثل را بر عهده دارند.

### پتانسیل عمل

هنگامی که سلول تحریک پذیر تحریک می شود، نفوذ پذیری آن تغییر می یابد تا اجازه دهد یونهای سدیم داخل و پتاسیم از آن خارج شوند، در نتیجه این عمل، بارهای الکتریکی به طور موقتی معکوس می شوند. در این حالت غشا دیپولاریزه شده و پتانسیل عمل بوجود می

آید.

### انتشار و اسمزی

حرکت ماده محلول از محلول غلیظتر به طرف محلول رقیقتر (انتشار یا دیفوزیون) نامیده می شود. حرکت آب از محلول رقیقتر به طرف محلول غلیظتر را (اسمز) می نامند .

	EXTRACELLULAR FLUID	INTRACELLULAR FLUID
Na <sup>+</sup>	142 mEq/L	10 mEq/L
K <sup>+</sup>	4 mEq/L	140 mEq/L
Ca <sup>++</sup>	2.4 mEq/L	0.0001 mEq/L
Mg <sup>++</sup>	1.2 mEq/L	58 mEq/L
Cl <sup>-</sup>	103 mEq/L	4 mEq/L
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	28 mEq/L	10 mEq/L
Phosphates	4 mEq/L	75 mEq/L
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1 mEq/L	2 mEq/L
Glucose	90 mg/dl	0 to 20 mg/dl
Amino acids	30 mg/dl	200 mg/dl ?
Cholesterol	0.5 g/dl	2 to 95 g/dl
Phospholipids		
Neutral fat		
PO <sub>2</sub>	35 mm Hg	20 mm Hg ?
PCO <sub>2</sub>	46 mm Hg	50 mm Hg ?
pH	7.4	7.0
Proteins	2 g/dl (5 mEq/L)	16 g/dl (40 mEq/L)

Figure 4-1

### هدف های کلی فصل

آشنایی با ساختمان کلی و میکروسکوپی بافت عضلانی مخطط و مکانیزم انقباض

انتظار می رود ساختمان میکروسکوپی تار عضلانی اسکلتی را شرح دهید .

تغییرات ساختمانی ، الکتریکی ، شیمیایی و مکانیکی تار عضلانی را به هنگام عمل عضلانی توضیح دهید .

پدیده تکان عضلانی ، قانون همه یا هیچ و پدیده جمع انقباضات را توضیح دهید .

روابط بین طول تار و تانسین ، طول تار عضلانی و سرعت و رابطه میان نیروی وارد به تار عضلانی و سرعت انقباض آن را هنگام عمل عضلانی توضیح دهید .

واحد حرکتی را تعریف و ساختمان صفحه محرک را مشخص کنید و چگونگی انتقال پیام عصبی به عضله و انجام اعمال عصبی ناشی از تحریکات عصبی را توضیح دهید .

عضلات اسکلتی ۴۰٪ وزن بدن را و عضلات صاف تقریباً ۳٪ وزن بدن را تشکیل می دهند . هرچند تعداد تارهای عضله بر حسب اندازه و وظیفه آنها متفاوت است اما به نظر می رسد جنین هنگام ۴ تا ۵ ماهگی تعداد واقعی تارهای عضله او تشکیل میشود .

- غلافهایی از بافت همبند (پیوندی) تارهای قابل انقباض عضلانی را احاطه کرده اند.
- بخشی از این بافت که یک تار عضلانی را می پوشاند به نام (آندومیوزوم) نامیده میشود.
- درون یاخته عضلانی از پروتوپلاسم ویژه ای به نام سارکوپلاسم اشغال شده است .
- تارها نیز در کنار هم قرار می گیرند تا دسته تار عضلانی یا (فاسیکول) را به وجود آورند.
- دسته تارها شامل تعدادی نا برابری تار عضلانی اند که بافت همبند مشخصی به نام (پری میوزوم) آنها را به هم پیوند می دهد.
- با مطالعه یک عضله کامل پی خواهیم برد که بافت همبند دیگری به نام (اپی میوزوم) در اطراف خارج آن را پوشانده است .
- ادامه بافتهای همبند به موازات تارهای عضلانی در انتهای عضله به شکل محکم و فشرده به یکدیگر میچسبند که (تاندون) نام دارد ، رابطه بین عضلات مخطط واستخوانها انجام وظیفه می کند .
- تار عضلانی را در زیر میکروسکوپ نگاه کنیم به مناطق تیره و روشنی که متناوباً به موازات یکدیگر قرار گرفته اند پی خواهیم برد . به علت همین مناطق ، عضله اسکلتی بعضاً به نام عضله مخطط یا راه راه خوانده می شود .مناطق روشن نوار I، مناطق تیره A، وسط نوار I، غشای Z، وسط نوار A، منطقه H، فاصله ی دو خط Z، را یک سارکومر می گویند .
- غشای Z به سارکولما چسبندگی دارد . همین باعث استحکام عمومی ساخت و احتمالاً حفظ الیاف اکتین در ردیفهای منظم می شود.
- همچنین غشای Z ممکن است نقش مهمی نیز در دریافت و ارسال تحریکات عصبی از سارکولما به تارچه ها داشته باشد .
- تغییرات ساختمانی :** به علت تغییرات سارکومر است که بر اثر آن عضله کوتاه می شود .هنگامی که عضله منقبض میشود رشته پروتئینی اکتین (نازک) و میوزین (ضخیم) بر روی یکدیگر می لغزند . رشته های اکتین به داخل فضای بین رشته های میوزین می لغزند و خط Z را که به آن چسبیده اند همراه با خود می کشند .در این حالت منطقه H کاملاً از بین می رود نوار I کوتاه می شود و نوار A هیچ تغییری نمی کند .

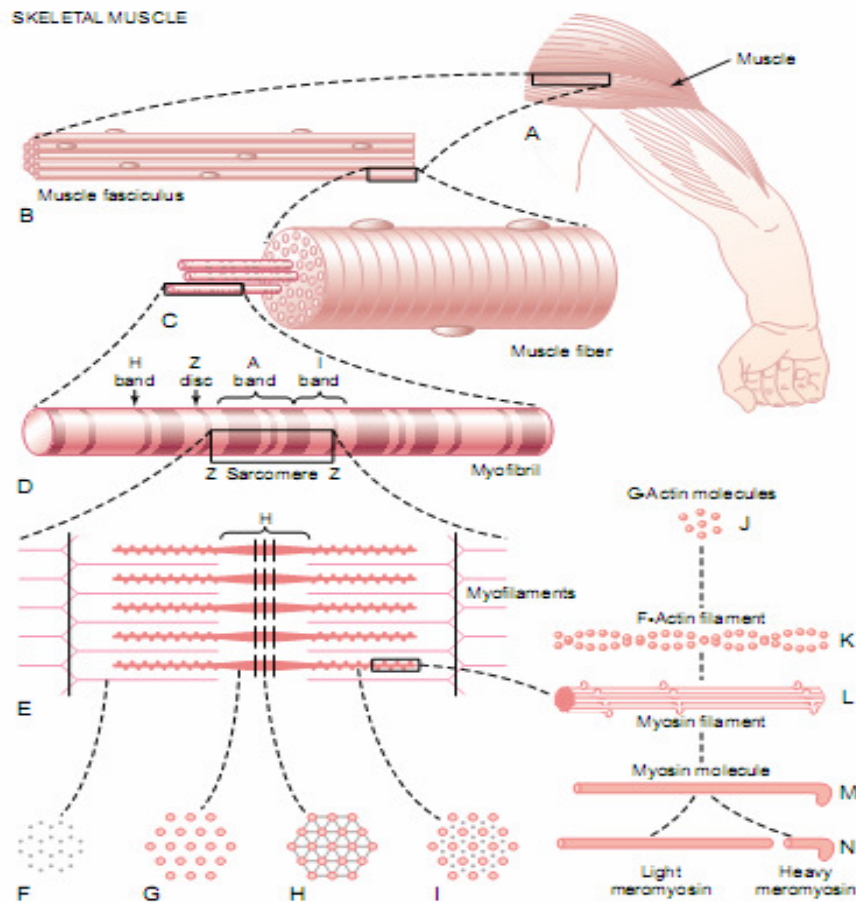


Figure 6-1

Organization of skeletal muscle, from the gross to the molecular level. F, G, H, and I are cross sections at the levels indicated. (Drawing by Sylvia Colard Keene. Modified from Fawcett DW: Bloom and Fawcett: A Textbook of Histology. Philadelphia: WB Saunders, 1986.)

**تغییرات الکتریکی:** اختلاف بار الکتریکی بین دو سوی غشای هر سلول وجود دارد. در سلول غیره فعال پتانسیل غشا (پتانسیل استراحت) نامیده میشود.

**پتانسیل عمل دارای دو قسمت است:** اول (پتانسیل نوک) که در زمان (دپولاریزاسیون) هنگامی که پتانسیل معکوس میشود. قسمت دوم در هنگام (رپولاریزاسیون) حادث میشود. بعد از پتانسیل نوک افزایش در قابلیت نفوذ غشا به یون های سدیم ایجاد و داخل سلول بار مثبت و افزایش خروج یون های پتاسیم باعث بار منفی در خارج سلول می شود. بلافاصله بعد از دپولاریزاسیون غشا دوباره به یون های سدیم غیر قابل نفوذ می شود. فعالیت الکتریکی انقباض عضلانی توسط دستگاه اسپلکوپ ثبت می شود که به الکترومیوگرافی معروف است.



**تغییرات شیمیایی :** انقباض عضلانی نیاز به انرژی دارد . عضله را ماشین تبدیل انرژی شیمیایی به انرژی مکانیکی نامیده اند . وجود پتانسیل عمل سبب تجزیه آدنوزین تری فسفات یا ATP میشود. انرژی آزاد شده از ATP نیروهایی بین رشته های آکتین و میوزین ایجاد میکند تا به طرف یکدیگر کشیده شوند . علاوه بر ATP ، کراتین فسفات (CP) ماده شیمیایی مهم دیگری است که بخشی از انرژی ذخیره را تأمین میکند .

**به هنگام انقباض عضلانی دو مرحله مهم تولید حرارت وجود دارد که عبارت اند از :**

۱. حرارت اولیه که به هنگام عمل انقباض واقعی آزاد میشود .
  ۲. حرارت ثانویه که پس از اینکه انقباض و انبساط خاتمه یافتند، تولید میگردد .
- حرارت اولیه شامل حرارت فعال شدن (ناشی از تجزیه ATP و PC) ، حرارت کوتاه شدن (در اثر کوتاه شدن ) ، حرارت منبسط شدن (در اثر بازگشت به حالت اولیه).  
و حرارت ثانویه در اثر روند دوباره سازی ATP در سلول عضلانی ایجاد می شود.

**تکان عضلانی :** در هر تار عضلانی ، به دنبال پتانسیل عمل منفرد ، انقباض کوتاه مدتی ایجاد میشود که به دنبال آن مرحله رفع انقباض یا شل شدن به وجود می آید .

مدت زمان لازم برای تکان عضلانی بستگی به نوع عضله و نوع تار بستگی دارد.

- عضله راست داخلی ۷/۵ هزارم ثانیه

- عضله نعلی ۰/۱ ثانیه

- عضله دوقلو ۰/۰۳ ثانیه

### قانون همه یا هیچ

- پاسخ تارهای عضلانی در برابر یک محرک یا به صورت حداکثر است و یا اصلاً به وجود نمی آید
- تارها نسبت به محرک با تمام نیرو یا اصلاً واکنش نمی دهند
- محرک باید دارای شدت آستانه تحریک باشد .

**جمع انقباضات :** افزایش انقباض تار عضلانی بر اثر دو محرک حداکثر با توالی سریع ایجاد میشود.

تحریک ناپذیری نسبی : زمانی که غشا در حالت رپلاریزه است ، تحریکی قویتری لازم است تا غشاء دپلاریزه شود . در این حالت جمع انقباضات میسر می شود و تانسینون افزایش میابد.

**تحریک ناپذیری مطلق :** هنگامی که غشاء دپلاریزه میشود محرک ثانوی بی اثر است (جمع انقباضات میسر نیست)

### رابطه طول و تانسینون

- طول تعادل : طول ابتدایی کوتاه ، تار عضله هنگام انقباض تانسینون زیادی تولید نخواهد کرد .

- طول استراحت : حالت کشیدگی عضله ، وضعیت بین ابتدا و انتهای اتصال حدود ۲۰٪ کشیده تر از حالت تعادل است ، بیشترین تانسینون مربوط به طول استراحت است.

رابطه بین طول و سرعت : سرعت انقباض در طول استراحت به حداکثر می رسد ، اگر از طول استراحت کوتاهتر یا درازتر شود سرعت انقباض کاهش می یابد .

اعصاب عضله :

- اعصاب حسی: مسئول انتقال تحریکات از عضلات به طرف دستگاه عصبی مرکزی است ، ۴۰٪ به عضله وارد میشود .

- اعصابی حرکتی: که از دستگاه مرکزی سرچشمه میگیرد و موجب انقباض عضلات می شود ، ۶۰٪ اعصابی که به عضله وارد میشود
  - صفحه حرکتی : انتهای یک عصب حرکتی که به یک تار عضله می رسد.
  - واحد حرکتی : هر عصب حرکتی منفرد و تار عضلانی مربوط به آن را گویند . تنها ۴۲۰،۰۰۰ عصب حرکتی وظیفه انتقال پیامها را به عضله دارند .
- عضلات بزرگ ۲۰۰ تا ۵۰۰ تار در یک واحد حرکتی .
- عضلات کوچک که حساس هستند ۱۰ تا ۱۵ تار یک واحد حرکتی یافت میشود .
- سیناپس : اتصال عصب به عصب دیگر را گویند و اتصال عصب به عضله سیناپس ویژه‌ای را به نام اتصال عصبی عضلانی گویند .
- انتهای آکسون که به تدریج به مقصد خود نزدیک میشود غلاف میلون خود را از دست می دهد و به تعدادی پایکهای انتهایی تقسیم میشود و این پایکها حاوی تعداد زیادی ویزیکولهای کوچک روشن اند که محتوی (استیل کولین) یعنی میانجی شیمیایی سیناپس هابند .
- کولین استراز: ممانعت از انقباض طولانی عضله و غیره فعال کردن استیل کولین توسط کولین استراز صورت می گیرد.
- کنترل محیط داخلی بدن(همکاری با سیستم غدد درون ریز)
- کنترل ارادی حرکات
- برنامه ریزی بازتابهای نخاعی
- تحلیل تجارب لازم برای به خاطر سپردن و فرا گرفتن
- جسم سلولی: مرکز عملیاتی هر نرون
- دندریتها: بخش دریافت کننده ایمپالسهای عصبی و انتقال آنها به جسم سلولی
- آکسون: انتقال پیامهای الکتریکی از جسم سلولی به سایر نرونها یا اندامهای عمل کننده
- آکسون تارهای عصبی بزرگ توسط لایه ای عایق از سلولهای شوان پوشیده شده اند. سلولهای شوان از مواد لیپو پرنئینی به نام میلین ساخته شده اند. فاصله میان غشاهای هر دو سلول شوان که مجاور یکدیگر هستند، گره رانویه نامیده می شود که نقش مهمی در انتقال پیامهای عصبی ایفا می کند.

### پتانسیل استراحتی غشا:

- یک نرون در حالت استراحت پلاریزه است که بدلیل اختلاف بار الکتریکی دو سوی غشا می باشد که برابر ۷۰ - میلی ولت است و بخش خارجی نرون نسبت به داخل آن دارای بار الکتریکی مثبت بیشتری است. این اختلاف بار به دو دلیل است:
- ۱- نفوذپذیر بودن غشا به یون پتاسیم نسبت به یون سدیم
  - ۲- شیب تراکم زیادتر پتاسیم از داخل به خارج سلول

### پتانسیل عمل:

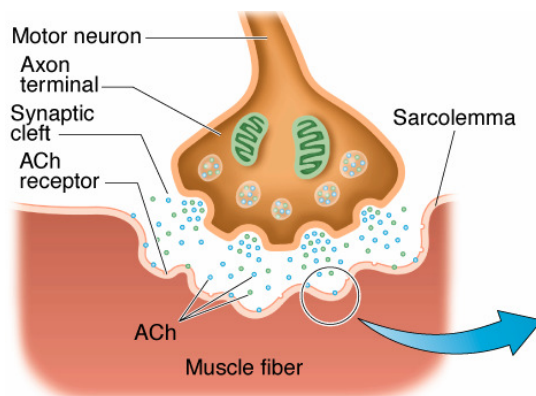
مثبت شدن بار الکتریکی داخل سلول و دپلاریزه شدن آن را پتانسیل عمل گویند که وقتی محرک نسبتا قوی به غشا وارد شود و یونهای سدیم از کانالهای سدیمی که در اثر اعمال محرک باز شده اند به داخل سلول سرازیر شوند پتانسیل عمل رخ می دهد.

### ایجاد پتانسیل عمل در اثر افزایش ورود سدیم به داخل نرون:

هنگامی که سدیم وارد سلول می شود بار الکتریکی به تدریج مثبت تر شده و یک پتانسیل عمل به وجود می آید.

سیناپس به محل اتصال یک نرون با نرون دیگر اطلاق می شود. ارتباط بین نرونها در محل سیناپس هنگامی رخ می دهد که مواد میانجی به اندازه کافی به داخل شکاف سیناپسی ریخته شود. مواد میانجی در داخل ویزیکولهایی در درون دکمه های پیش سیناپسی قرار دارند که با رسیدن ایمپالس عصبی در فضای سیناپسی رها می شوند.

میانجی های تحریکی EPSP که سبب دپلاریزه شدن غشا پس سیناپسی و وقوع پتانسیل عمل می شود.



میانجی های بازدارنده IPSP که سبب هایپرپلاریزه شدن غشا پس سیناپسی و افزایش مقاومت آن در برای دپلاریزه شدن می باشد وقتی یک ایمپالس عصبی به یک دکمه سیناپسی که در انتهای آکسون قرار دارد می رسد، وزیکولهای سیناپسی مواد درون خود را به داخل شکاف سیناپسی رها می کنند تا ایمپالس عصبی از غشا پیش سیناپسی به غشا پس سیناپسی هدایت شود. گیرنده های پیکری در واقع اندامهای حسی هستند که در داخل و خارج بدن قرار دارند و انرژی اعمال شده توسط محرکها را به پیام عصبی تغییر داده و توسط سلولهای عصبی حسی به CNS هدایت می کنند. قوس بازتابی از هدایت پیامها به وسیله گیرنده های حسی به CNS و برگشت پیامهای CNS از طریق نرونهای حرکتی به اندامای عمل کننده تشکیل شده است.

#### مسیر بازتاب عصبی عبارت است از:

ارسال پیام از طریق عصب حسی به نخاع

فعال شدن نرونهای واسطه در نخاع

تحریک شدن نرون حرکتی ویژه

یکی از اعمال نخاع بازتاب عصبی است

نخاع سهم مهمی را در کنترل حرکات از طریق آماده نمودن مراکز نخاعی برعهده دارد تا یک مهارت دلخواه اجرا شود مکانیسمی که از طریق آن یک حرکت ارادی به وسیله عضلات به اجرا گذاشته می شود میزان سازی نخاعی نامیده می شود. مراکز بالایی مغز مربوط به سیستم حرکتی فقط الگوهای کلی حرکت را نظارت می کنند جزئیات حرکات در سطح نخاعی پالایش و اصلاح می شوند. سیستم عصبی غیر ارادی نقش مهمی را در حفظ پایداری محیط داخلی بدن ایفا می کند.

عصبهای غیر ارادی به عضله قلب، غده، عضلات صاف مجرای تنفسی، روده و رگهای خونی می پیوندند. بطور کلی سیستم عصبی غیر ارادی در سطح زیرین آگاهی عمل می کند.

این سیستم غیر ارادی از نظر ساختاری و عملکردی به دو بخش تقسیم می شود:

سمپاتیک: تمایل به فعال کردن یک عضو

پاراسمپاتیک: تمایل به مهار فعالیت یک عضو

محیط داخلی بدن علی رغم تغییر شرایط محیط خارج به طور قابل توجهی ثابت باقی می ماند. در واقع حفظ محیط داخلی بدن در یک حالت نسبتاً پایدار، با وجود تاثیر عوامل مختلف مانند ورزش، گرما، سرما یا روزه یک امر تصادفی نیست بلکه سیستمهای کنترل پیچیده ای در این امر دخالت دارند.

## هومئوستاز : پویایی پایدار

واژه هومئوستاز بنا به اظهار والترکانون (۱۹۳۲) یعنی ابقاء یا بدون تغییر محیط داخلی . واژه حالت پایدار نیز اغلب به وسیله فیزیولوژیستهای ورزشی به جای هومئوستاز به کار می رود که مبین شرایط فیزیولوژی ثابت است . اگر چه واژه های « هومئوستاز » و « حالت پایدار » به جای یکدیگر به کار می روند ولی در اصل هومئوستاز به شرایطی اطلاق که محیط داخلی بدن در حالت معمولی و تحت هیچ فشاری نیست . بر عکس یک « حالت پایدار » لزوماً به این معنی نیست که محیط داخلی کاملاً در سطح معمولی است ، بلکه تنها مبین این است که شرایط محیط داخلی تغییری نمی کند . به عبارت دیگر ، در حالت پایدار میان نیاز ناشی از فشارهایی که بر بدن اعمال می شود و پاسخی که بدن به آن نیاز می دهد یک تعادل نسبی برقرار است . وضعیت دمای بدن به هنگام ورزش مثال بسیار مناسبی برای مشخص کردن تفاوت میان این دو واژه است . تغییرات دمای داخلی بدن به هنگام اجرای ۶۰ دقیقه فعالیت ورزشی زیر بیشینه و مستمر را در یک شرایط عادی ( رطوبت کم و گرمای کم ) نشان می دهد .

همان طور که مشاهده می کنید دمای داخلی بدن پس از ۴۰ دقیقه از شروع فعالیت به یک سطح پایدار رسیده است . این فلات دمای داخلی بدن نشانه یک « حالت پایدار » است ، زیرا که دما ثابت و بدون تغییر است ، در حالی که مقدار این دمای ثابت بالاتر از حد طبیعی است و با شرایط هومئوستاز که دمای مرکزی بدن در سطح معمولی ( ۳۷ درجه سانتیگراد ) است تفاوت دارد . بنابراین واژه هومئوستاز برای بیان شرایط داخلی بدن به هنگام فعالیت استفاده می شود که ممکن است هر یک از متغیرهای فیزیولوژیکی ثابت باشند ولی مقدار آنها با مقدار واقعی زمان استراحت متفاوت باشد .

گرچه مفهوم هومئوستاز به این معنی است که محیط داخلی بدن تغییر نمی کند، ولی نباید تصور کرد که به طور مطلق ثابت است . در واقع اغلب متغیرهای فیزیولوژیکی در یک دامنه تغییر معینی نوسان دارند و به این دلیل شرایط هومئوستاز نشانه یک حالت پویایی نسبتاً پایدار است . تراکم انیدرید کربنیک در خون شریانی

( تنش یا فشار هم نامیده می شود ) نشانه خوبی از یک حالت

« پویایی پایدار » است .

## سیستمهای کنترل بدن

تقریباً تمامی سیستمها در اندامهای مختلف بدن به حفظ و بقای شرایط هومئوستاز کمک می کنند . برای مثال ریه ها (سیستم تهویه ) و قلب ( سیستم گردش خود ) در جایگزینی اکسیژن مصرف شده و دفع انیدرید کربنیک تولید شده با یکدیگر همکاری دارند .

## ماهیت سیستمهای کنترل

برای درک بهتر از نقشی که بدن در حفظ و کنترل محیط داخلی دارد می توان عمل یک سیستم کنترل ساده غیر زیستی مانند دما پای را که برای تنظیم گرمای منزل به کار می رود مورد توجه قرار داد . فرض بر این است که دستگاه دما پای بر روی ۲۰ درجه سانتیگراد تنظیم شده است . هر تغییری که در گرمای منزل به وجود آید که با درجه تنظیم شده متفاوت باشد سبب میشود که دستگاه های گرما زا یا سرما زا شروع به کار کنند .

یک سیستم کنترل زیستی را می توان به مثابه یک رشته اجزاء به هم پیوسته تلقی کرد که در حفظ و بقای پارمترهای فیزیکی و شیمیایی بدن نقش دارند . اجزاء عمده یک سیستم کنترل زیستی شامل : ۱- گیرنده ، ۲- مرکز در هم آمیختن و ۳- عمل کننده است .

عاملی که سیستم کنترل را فعال می سازد یک محرک یا برانگیزنده مانند یک ردیاب تغییر شرایط محیطی مثل دمای بدن ، فشار خون و غیره است . یک محرک سبب برانگیخته شدن یک « گیرنده » ( جزئی که قادر به تشخیص تغییر عامل مورد نظر است ) می شود . این گیرنده پیامی را به « مرکز بر آمیختن » که مشابه یک جعبه کنترل عمل می کند ارسال می دارد .

شکل ۱-۳ یک دما پای که سیستم حرارتی را کنترل می کند ، افزایش گرما بیش از درجه تعیین شده پیامهایی را به دستگاه خنک کننده ارسال می دارد و آن را روشن می سازد . کاهش گرما کمتر از درجه معین سبب به کار افتادن دستگاه گرمازا میشود . این فرایند نشانگر کار سیستم کنترل غیر زیستی است

قدرت و شدت محرک پیامی را به جزء عمل کننده یا موثر می فرستد . جزء عمل کننده تغییراتی را که در محیط داخلی به وجود آمده است تنظیم و به حد طبیعی برمی گرداند .

برگشت شرایط محیط داخلی به حد طبیعی سبب میشود تا از قدرت و شدت محرک اولیه که آغازگر فعالیت سیستم کنترل زیستی بود کاسته شود . یک چنین فرایندی بازخورد منفی نامیده می شود که در ادامه مورد بحث قرار می گیرد .

### **باز خورد منفی**

غالب سیستمهای کنترل شرایط داخلی بدن نقش « باز خورد منفی » را بر عهده دارند . یک نمونه بارز از بازخورد منفی تنظیم تراکم انیدرید کربنیک مایع برون سلولی است .

در شرایطی که تراکم انیدرید کربنیک از حد طبیعی بالاتر برود گیرنده ای را تحریک می کند . این گیرنده اطلاعاتی را برای مرکز کنترل کننده تنفسی ( مرکز بر آمیختن ) ارسال می دارد تا بر شدت تنفس افزوده شود . عضلات تنفسی در این فرایند به عنوان کننده یا موثر عمل می کنند . افزایش تنفس از تراکم انیدرید کربنیک در مایع برون سلولی می کاهد و آن را به حد طبیعی بر می گرداند و حالت هومئوستاز را دوباره برقرار می سازد . این نوع بازخورد به این دلیل منفی نامیده می شود که پاسخ سیستم کنترل به محرک یک پاسخ منفی ( مخالف ) است .

### **بهره وری یک سیستم کنترل**

وقتی که یک سیستم کنترل به کار می رود تا شرایط هومئوستاز بدن را پایدار نگهدارد بهره وری آن سیستم نامیده میشود . « بهره وری » را می توان به مثابه قوت یک سیستم تلقی کرد . یک سیستم کنترل با بهره وری زیاد بهتر از یک سیستم کنترل با بهره وری کم ، قادر است که تغییرات هومئوستاز را اصلاح کند .

### **تنظیم فشار خون شریانی**

سیستم گیرنده فشار که در تنظیم فشار خون شریانی نقش دارد و از روند بازخورد منفی بهره می گیرد نمونه بسیار خوبی از کنترل هومئوستاز است . گیرنده های فشار که نسبت به اعمال فشار حساسند در شریانهای کاروتیدی و قوس آئورتی قرار دارند . وقتی فشار شریانی از مقدار طبیعی فزونی می یابد ، این گیرنده ها فعالی می شوند و ایмпالسهایی را از طریق تارهای عصبی به مرکز کنترل قلبی عروقی در پیاز مغز ارسال می دارند .

در نتیجه ، مرکز کنترل کننده سیستم قلبی عروقی از تعداد ایмпالسهایی که به قلب می فرستد می کاهد . این عمل موجب می شود که خون کمتری از قلب بیرون بریزد و فشار شریانی به مقدار طبیعی بر گردد .

### **تنظیم گلوکز خون**

سیستم غدد درون ریز نیز در حفظ هومئوستاز بدن نقش دارند . بدن دارای هشت غده درون ریز اصلی است که مواد شیمیایی تولید خود را که هورمون نامیده میشوند به داخل خون می ریزند هورمونها از طریق سیستم گردش خون به تمام قسمتهای بدن برده میشوند و بر تنظیم جریان مواد و مایعات و همچنین اعمال سوخت و سازی بافتها اثر می گذارند .

برای مثال ، انسولین جذب گلوکز و سوخت و ساز آن را به وسیله سلول تنظیم می کند . بنابر این میزان تراکم قند خون به وسیله این هورمون کنترل میشود . پس از خوردن یک غذای پرکربوهیدرات سطح گلوکز خون افزایش پیدامی کند و از حد طبیعی بالاتر می رود . افزایش سطح گلوکز خون غده لوزالمعده را تحریک و فعال می کند تا هورمون انسولین را به داخل خون رها سازد . این امر سبب میشود تا افزایش جذب قند خون به وسیله سلولها از تراکم آن کاسته شود . به همین ترتیب ، سطح گلوکز در خون موجب کاهش آزاد شدن انسولین میشود و در نتیجه گلوکز کمتری به وسیله سلولها از خون جذب میشود .

### **فعالیت : یک تست کنترل هومئوستازی**

فعالیت عضلانی را می توان به عنوان یک تست آزمایشی سیستمهای کنترل هومئوستازی بدن مورد توجه قرار داد . زیرا ، فعالیت عضلانی دارای پتانسیلی است که بسیاری از متغیرهای هومئوستازی را بر هم می زند . برای مثال ، هنگام اجرای فعالیت ورزشی سنگین عضلات اسکلتی مقدار زیادی اسید لاکتیک تولید می کنند که سبب افزایش حالت اسیدی درون و برون سلولی میشود . افزایش حالت اسیدی نشانه یک رشته تغییرات

مهم در سیستم کنترل تعادل اسیدی- بازی بدن است . علاوه بر این فعالیت ورزشی سنگین موجب مصرف مقدار زیادی اکسیژن و تولید انیدرید کربنیک میشود .

این تغییرات باید با افزایش تنفس ( تهویه ریوی ) و جریان خون برای تحویل اکسیژن به عضلات فعال و دفع انیدرید کربنیک حاصل از سوخت مواد به حالت طبیعی برگردد. مضافا اینکه هنگام فعالیت ورزشی سنگین عضلات در گیر مقدار زیادی گرما تولید می کنند که باید برای جلوگیری از گرمزدگی از بدن دفع شود .

شکل ۶-۱ جزایر لانگرهانس در این سیستم اندامهای حساسگر و عمل کننده هستند . این اندامها تغییر تراکم گلوکز خون را احساس می کنند و متناسب با میزان تغییر هورمون ، انسولین به داخل خون آزاد می سازند .

#### خلاصه

۱-هومئوستاز به عنوان یک محیط داخلی پایدار و بدون تغییر تعریف شده است . صدها سیستم کنترل در بدن برای بقای شرایط هومئوستاز فعالیت دارند . یک سیستم کنترل زیستی از یک گیرنده ، یک مرکز در هم آمیختن ، و یک عمل کننده تشکیل شده است . اکثر سیستمهای کنترل از طریق بازخورد منفی عمل می کنند .

۲- میزان توانایی یک سیستم کنترل در ثابت نگه داشتن هومئوستاز به عنوان بهره وری سیستم در نظر گرفته میشود .

- ورزش را می توان به عنوان شاخصی برای تعیین توانایی بدن در حفظ هومئوستاز در نظر گرفت . به طور کلی ، بسیاری از سیستمهای کنترل بدن قادرند که هنگام اجرای ورزشهای زیر بیشینه در محیط سرد حالت هومئوستاز را ثابت و پایدار حفظ کنند . با این وجود ، ورزش سنگین یا کار طولانی در یک محیط نامساعد ( یعنی گرم و مرطوب ) ممکن است بر توانایی سیستم کنترل « حالت پایداری » غلبه کند .

#### عضلانی

همه تارهای عضلات ارادی انسان و حیوانات از یک نوع نیستند . هر چند که تمام تارها می توانند در شرایط هوایی و غیر هوایی کار کنند ولی بعضی از آنها برای انجام کار غیر هوایی و بعضی دیگر برای انجام کارهای هوایی مناسب تر هستند .

تارهای ماهیچه ای را می توان بر پایه رنگ ظاهری به دو دسته قرمز و سفید تقسیم کرد . به عضلات گروه قرمز عضلات کند انقباض و به عضلات گروه سفید تند انقباض نیز گفته می شود . در عین حال این تقسیم بندی کامل نیست ، زیرا تعدادی دارای خصوصیات ویژه مخلوطی از هر دو نوع تار عضلانی می باشند .

#### ۱- ویژگیهای تارهای عضلانی کند انقباض ( ST )

عمده ویژگیهای این تارهای عضلانی عبارتند از :

۱- سرعت کوتاه شدن آنها کم است .

۲- دارای شبکه مویرگی وسیع ، گسترده و پرتراکم می باشند .

۳- میتوانند برای مدت طولانی فعالیت انقباضی داشته باشند .

۴- دیر خسته می شوند .

۵- دارای تارهای عصبی میلین دار ( غلاف عصبی ) هستند ( با سرعت هدایت عصبی پایین )

۶- معمولاً دارای تارهای عضلانی باریکند .

۷- دارای میوگلوبین ( عامل انتقال اکسیژن در عضله ) زیاد هستند .

۸- دارای ذرات چربی ذخیره شده زیاد و ذخیره گلیکوژن اندک هستند .

۹- توانایی استفاده از همه انواع مواد انرژی را مخصوصاً چربیها را دارند .

## ۲- ویژگیهای تارهای عضلانی تند انقباض ( FT )

عمده ویژگی های این تارهای عضلانی عبارتند از :

۱- سرعت کوتاه شدن آنها زیاد است .

۲- دارای شبکه مویرگی با وسعت تراکم می باشند .

۳- می توانند با سرعتی زیاد مقدار قابل ملاحظه ای نیروی انقباضی تولید کنند ( زمان فعالیت انقباض آنها کوتاه است ) .

۴- زود به دوره خستگی خود میرسند .

۵- دارای تارهای عصبی با سرعت هدایت عصبی بالا می باشند .

۶- معمولاً دارای تارهای عضلانی قطورترند .

۷- دارای ذخیره گلیکوژن زیاد هستند .

۸- بخش اعظم انرژی مورد نیاز خود را از راه تجزیه بی هوازی گلیکوژن یا گلوکز و تبدیل آن به اسید لاکتیک تامین میکنند .

## ۳- تارهای عضلانی تند انقباض خستگی ناپذیر ( FTG )

با توجه به اینکه در میان عضلات تند انقباض گروهی از عضلات مورد شناسایی قرار گرفته اند که در مقابل خستگی بسیار مقاوم می باشند دانشمندان این علم آنها را تحت عنوان « تارهای عضلانی تند انقباض خستگی ناپذیر » در گروه سوم تارهای عضلانی قرار داده اند . این گروه از تارهای عضلانی نیز قرمز رنگ بوده و شبکه مویرگی وسیعی دارند . توانایی آنها در جذب اکسیژن زیاد و همانند تارهای عضلانی کند انقباض است و میتوانند چربیها و کربوهیدراتها را در حضور اکسیژن به خوبی مصرف کننده سرعت انقباض و نیروهای حاصل از آن در این تارهای عضلانی به نحو قابل ملاحظه ای بالا است .

این تارهای عضلانی تنها وقتی خسته میشوند که دریافت اکسیژن آنها کم شده و یا برای مدتی طولانی در حالت انقباض نگهداشته شوند. بنابراین در شرایط نرمال نسبت به خستگی مقاومند.

تحقیقات نشان داده است که رابطه جالبی بین انواع فیبرها و قابلیت‌های خاص ورزشی وجود دارد. بعنوان مثال دوندگان سرعت در سطح جهانی دارای درصد بالایی (تا حدود ۷۵ درصد) از تارهای تند انقباض در عضلات پای خود می‌باشند در حالیکه دوندگان استقامت در سطح جهانی صاحب درصد بالاتری از تارهای کند انقباض در عضلات پای خویش نسبت به افراد تمرین نکرده هستند.

### انقباض عضلانی

ثابت شده است که توسعه قدرت و استقامت عضلانی نتیجه تغییراتی است که در عضله پدید می‌آید. در واقع توسعه قدرت عضلانی نتیجه افزایش قطر فیبرهای عضلانی است در حالیکه توسعه استقامت موضعی عضلات ارتباط بسیار نزدیکی با افزایش تعداد مویرگهای عضله در نتیجه تمرین دارد. تحقیقات نشان داده است که یکی از بهترین روشهای توسعه قدرت و استقامت، تمرینات با وزنه است اما آگاهی از این موضوع که در برنامه تمرینات با وزنه برای کسب قدرت و استقامت کدامیک از فعالیتهای انقباضی باید مورد استفاده قرار گیرند از اهمیت فوق العاده برخوردار است. بطور کلی در هر انقباض عضلانی مقدار نیرویی که یک عضله کامل می‌تواند تولید کند به دو عامل بستگی دارد:

- ۱- تعداد تارهای عضلانی موجود در یک عضله که در حال تحریک شدن و انقباض هستند.
- ۲- مقدار نیروئی که هر یک از تارهای عضلانی می‌تواند به تنهایی در موقع انقباض تولید کند.

### انواع انقباض

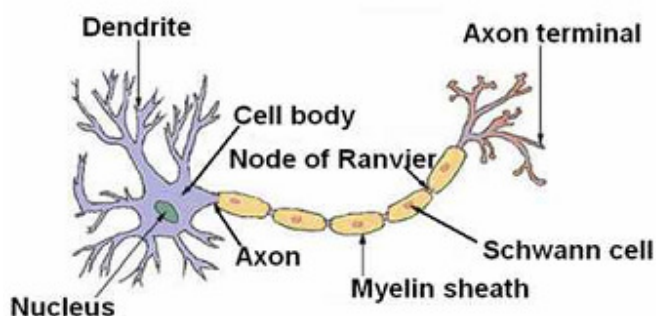
انقباض عضلانی را به چهار گروه تقسیم میکنند:

- ۱- انقباض هم تنش (ایزوتونیک)
- ۲- انقباض هم طول (ایزومتریک)
- ۳- انقباض هم جنبش (آیزوکنتریک)
- ۴- انقباض برون گردان (اسنتریک)

### کنترل عصبی حرکتی



## Structure of a Typical Neuron



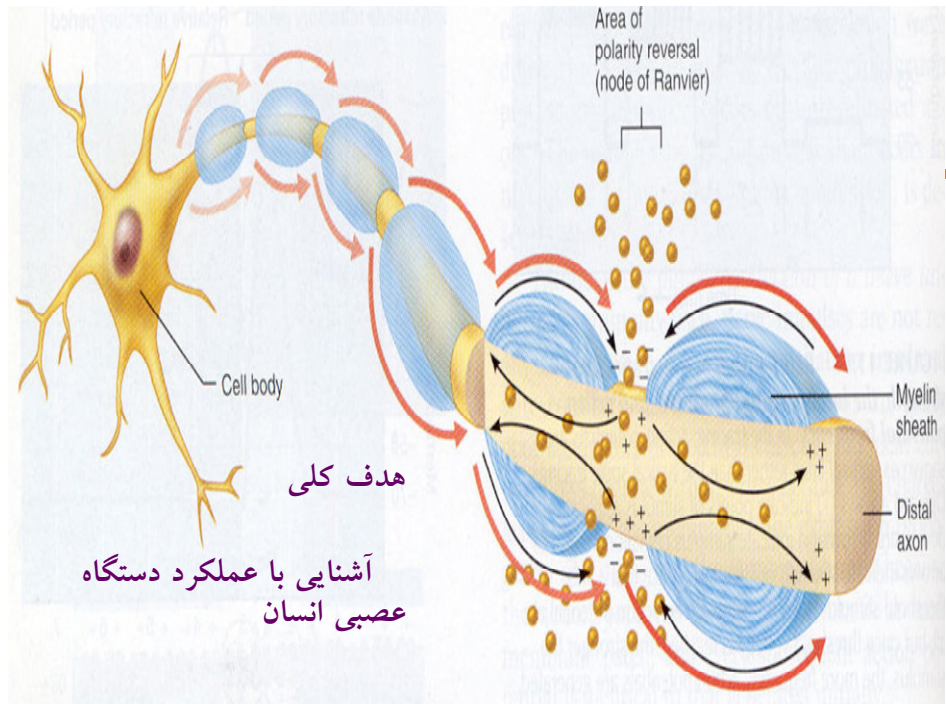
### بخشهای مختلف دستگاه عصبی:

دستگاه عصبی انسان یکی از پیچیده ترین و سازمان یافته ترین سیستمهای بدن است که تمام فعالیتهای فیزیولوژیکی انسان را تحت تاثیر قرار می دهد . **دستگاه عصبی مرکزی بیش از ۱۰۰ میلیارد نورون دارد .**

نورونها مسیرهایی را به وجود می آورند که از طریق آنها تکانه های الکتریکی از تمامی بخشهای بدن دریافت و یا به آنها ارسال می شود. مغز مانند یک پردازشگر بزرگ ، اطلاعات رسیده را یکپارچه کرده ، پس از انتخاب پاسخ مناسب ، بخشهای در گیر بدن را از طریق فرستاده پیامی شیمیایی یا الکتریکی برای عملکرد مناسب هدایت می کند . به عبارت دیگر ، دستگاه عصبی شکل دهنده یک زنجیره حیاتی وسیع است که ارتباط و هماهنگی اعمال درونی بافتهای مختلف بدن را با استفاده از اطلاعات رسیده از محیط پیرامونی، امکان پذیر می سازد .

دستگاه عصبی را می توان به بخشهای عصبی زیر تقسیم بندی کرد :

۱ - دستگاه عصبی مرکزی ( CNS ) شامل قسمتهای مختلف مغز و نخاع است ، که مغز در داخل حفره جمجمه ای جای دارد و توسط کپسولی استخوانی محافظت می شود. نخاع نیز در داخل حفره نخاعی جای دارد که از پایه جمجمه تا دومین مهره کمری گسترده شده و توسط ستون مهره ها حمایت می شود. هم مغز و هم نخاع در داخل پوششی بنام مننژ قرار دارند و مایع مغزی نخاعی نیز فضای بین این اعضا و مننژ را پر کرده است اصلی ترین وظایف دستگاه عصبی مرکزی ذخیره کردن اطلاعات ، تولید فکر، تنظیم حرکات ارادی و اجرای اعمال حرکتی است.



تقسیم بندی بخشهای مغزبر اساس وضعیت آناتومیکی و عملکردی

مغز: مغز در داخل استخوان جمجمه و نخاع در داخل ستون فقرات جای گرفته است. سه پرده که در مجموع مننژ نامیده می شوند، مغز و نخاع را از اطراف محافظت می کنند.

دو نوع بازتابی که به کنترل عملکرد عضلانی کمک می کند (۱) دوک های عضلانی

حساسیت به کشش (موجب انقباض )

مثال: فردی که عضله دو سر بازویی را منقبض می کند موجب کشش تار های عضلانی شده و این کشش به دوک عضلانی منتقل شده و موجب ارسال تکانه از نرون های حسی مربوطه به نخاع گردیده و در نتیجه تحریک نرون های حرکتی باعث ایجاد فرآیند انقباض و افزایش آن می گردد .

(۲) اندام های وتری گلژی

حساسیت به کشش زیاد (وقفه در انقباض )

دوکهای عضلانی

SKELETAL MUSCLE عضله

اسکلتی

تارهای برون دوکی

کنترل از طریق نرونهای حرکتی آلفا

MUSCLE SPINDLE دوکهای

عضلانی

تارهای درون دوکی (۴ تا ۲۰ تار)

پایانه های عصبی حسی و حرکتی

کنترل از طریق نرونهای حرکتی گاما

(انقباض بخش انتهایی این تارها) (انقباض کامل عضلانی)  
 عدم وجود اکتین و میوزین در بخش وجود اکتین و میوزین  
 میانی

اعصاب حرکتی و ابران به نيزدو دسته به ۲ دسته سیستم عصبی خودکار ( سمپاتیک و پارا سمپاتیک) و سیستم عصبی پیکری دسته بندی می شود

اعصاب حسی عهده دار دریافت تحریکات و اطلاعات می باشد و آنها را از مناطقی مانند پوست ، چشم ، گوش و ... به سیستم عصبی مرکزی انتقال می دهد .

اعصاب حرکتی ، امواج عصبی را از دستگاه عصبی مرکزی خارج ، و به عضلات و غدد منتقل می سازد . سازمان کلی دستگاه عصبی عهده دار

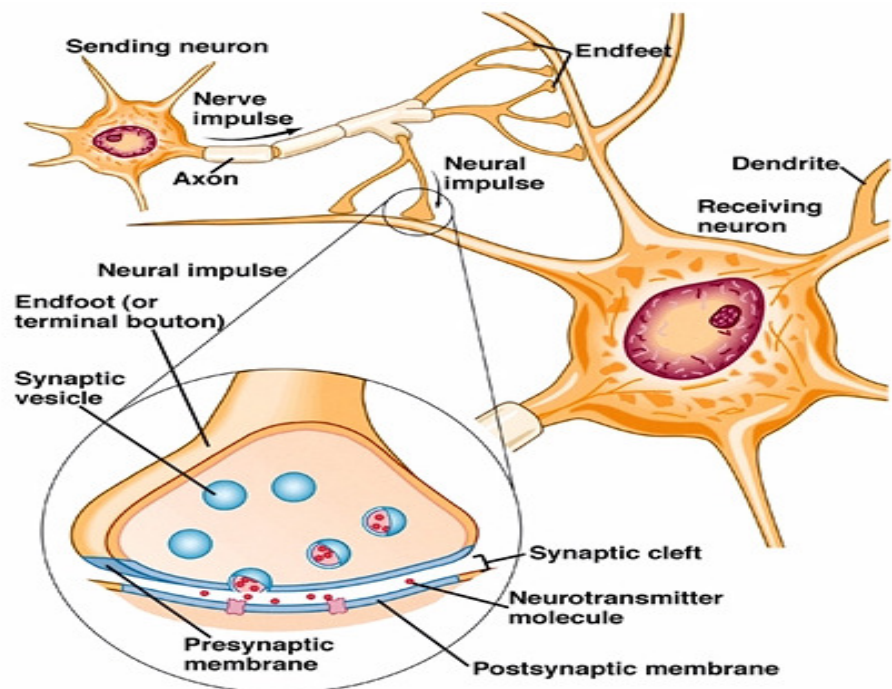
۳ وظیفه مهم است :

۱- تحریک پذیری

۲- هدایت

۳- کامل کردن و تنظیم کردن پیامها

واحد دستگاه عصبی ، سلول عصبی ویژه ای بنام نورون است و هر نورون از ۳ بخش ۱- جسم سلولی ۲- دندریتها ۳- آکسون یا تار عصب



وظیفه نورون و قسمت‌های مختلف آن:

جسم سلولی (تنه یاخته ای) دارای هسته است ، از جسم سلولی زائده های سلولی خاصی بنام دندریتها و آکسون ها منشعب می شوند ، دندریتها تکانه های عصبی را به تنه یاخته ای منتقل می کنند . در حالی که آکسون این تکانشها را از جسم سلولی دور می کند . آکسونها در بخش انتهایی خود به شاخه های متعدد تقسیم می شوند که پایانه های آکسون نامیده می شوند . نوک پایانه ها به صورت پیازهای کوچکی در می آیند که به گره های سیناپسی موسومند این گره ها حاوی مواد شیمیایی به نام میانجی های عصبی اند که برای برقراری ارتباط بین نورون و یک سلول دیگر مورد استفاده قرار می گیرند در تارهای عصبی بزرگ ، آکسون توسط غلاف میلین که از جنس لیپید و پروتئین است ، پوشانده می شود . غلاف

میلین در طول تار عصبی به صورت کامل و یکنواخت ادامه نداشته بلکه به صورت قطعه ای و توسط فضاهای کوچکی بنام گره رانویه از هم جدا می شوند. برخی از تارهای عصبی بدون غلاف میلین هستند که به عنوان تارهای بی غلاف خوانده می شوند.

### اساس عمل عصب:

عمل اعصاب را با یک مثال تو ضیح می دهیم:

وقتی انگشت خود را به طور اتفاقی روی یک شمع بر افروخته می گذارید، گیرنده های حساس به حرارت در پوست، اطلاعاتی را از طریق اعصاب حسی به دستگاه عصبی مرکزی ارسال می کند در دستگاه عصبی مرکزی اطلاعات پردازش شده و این اطلاعات را به اعصاب حرکتی متناسب، منتقل می کند و این عصب نیز به نوبه خود اطلاعات را به دست می فرستد. با انقباض عضلات و انگشتان، دست به صورت خودکار و سریع از روی شعله به عقب کشیده می شود.

### نحوه انقباض عضله:

اطلاعاتی که توسط اعصاب حسی و اعصاب حرکتی به اندامها یا دستگاه عصبی مرکزی منتقل ویا تقویت می شوند و به صورت یک بار الکتریکی می باشند تحت عنوان تکانش عصبی نام دارد. یک تکانش عصبی نوعی اختلاف الکتریکی در نقطه تحریک یک عصب است که به صورت خود انتشاری در طول کامل آکسون حرکت می کند.

اختلاف پتانسیل در دو سوی غشا در حال استراحت  $-70$  میلی ولت است و برای آنکه پیام از یک نورون به نورون دیگر منتقل شود بایستی غشا  $15$  الی  $20$  میلی ولت تغییر کند. این موضوع نشان می دهد که پتانسیل غشاء باید به  $50$  تا  $55$  میلی ولت برسد. نورون به صورت قانون همه یا هیچ عمل می کند یعنی تحریک زمانی صورت می گیرد که پتانسیل  $15$  الی  $20$  میلی ولت تغییر کند (آستانه تحریک) و اگر تغییرات کمتر باشد، هیچ گاه پتانسیل عمل صورت نمی گیرد. یون سدیم ( $Na^+$ ) و پتاسیم ( $K^+$ ) دو عنصر مهم در روند سیستم عصبی است. در حالت استراحت یون سدیم در بیرون و یون پتاسیم در داخل تجمع پیدا کرده است. در حال استراحت درون سلول منفی و بیرون آن مثبت است در این حالت، بار الکتریکی دو سوی غشا در حال تعادل است.

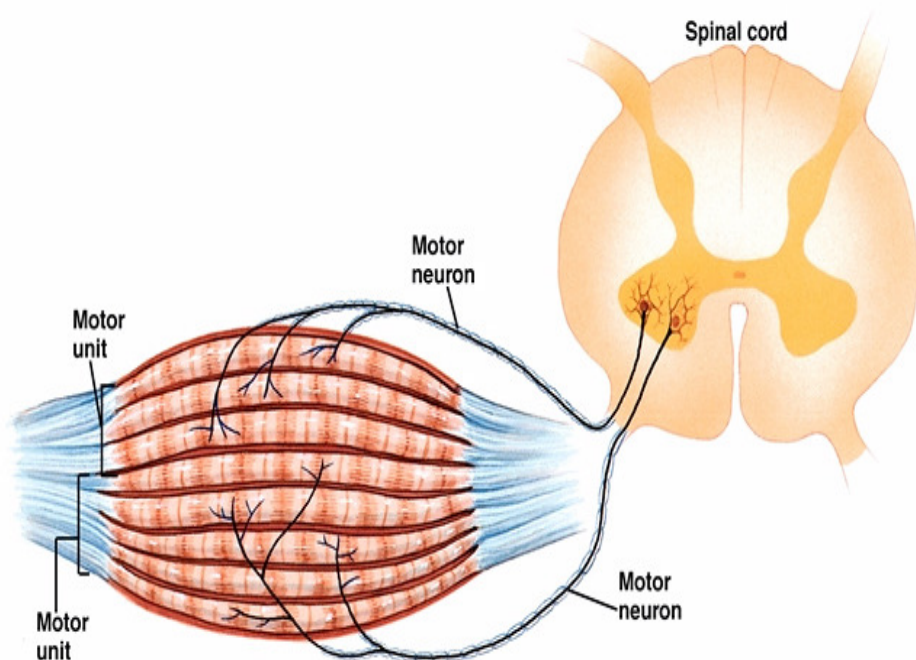
ولی در زمان انجام تحریک برعکس می شود. دلیل آن ورود سدیم به درون سلول است که آنرا دی پلاریزاسیون می نامند، بنابراین دی پلاریزاسیون زمانی روی می دهد که اختلاف بار کمتر از  $70$  شده و به صف نزدیکتر می شود. این حالت نتیجه تغییر در نفوذپذیری غشا نسبت به یون سدیم بوجود می آید.

با ورود سدیم به داخل سلول پتانسیل غشاء به صفر نزدیک می شود و کم و کم ورود سدیم کاهش می یابد، بعد از انجام تکان عصبی، خروج پتاسیم افزایش می یابد و باعث می شود تا خارج سلول باز نسبت به داخل سلول مثبت تر شود و دوباره پتانسیل غشاء به  $70$  میلی ولت برسد، و این فرایند ری پلاریزاسیون نام دارد.

### اتصال عصبی - عضلانی:

همانگونه که نورونها در محل سیناپس با نورونهای دیگر ارتباط برقرار می کنند نورونهای حرکتی در محلی که اتصال عصبی - عضلانی یا صفحه محرکه نامیده می شود با تارهای عضلانی پیوند حاصل می کند.

فضای بین نورون و تار عضلانی شکاف سیناپسی نام دارد. میانجی های عصبی رها شده از پایانه های آکسونی نورون حرکتی، در طول شکاف سیناپسی انتشار می یابند و توسط گیرنده های موجود در سارکولم تار عضلانی گرفته می شوند. و فرایندهای مشابه اتصال عصب به عصب (نورون به نورون دیگر) در اینجا نیز مشاهده می شود.



### میانجی های عصبی :

استیل کولین و نورا اپی نفرین دو میانجی عصبی اصلی هستند که تکانه های عصبی را در طول سیناپس ها و شکافهای سیناپسی منتقل می کنند . استیل کولین به طور کلی یک میانجی عصبی تحریک کننده می باشد ، اما در بعضی از پایانه های عصبی پاراسمپاتیک مانند قلب می تواند تاثیر بازدارنده بیشتر داشته باشد . بعد از آنکه تکانه عصبی قطع شود استیل کولین استراز ترشح می شود و باعث جمع کردن میانجی استیل کولین می شود. نورا اپی نفرین ، میانجی عصبی بعضی از نورونهای سمپاتیکی است که بستگی به نوع گیرنده های در گیر ، می تواند نقش تحریک کننده یا بازدارندگی داشته باشد .

### دستگاه عصبی محیطی ( PNS ) :

دستگاه عصبی محیطی از ۴۳ جفت عصب شامل ۱۲ جفت عصب جمجه ای و ۳۱ جفت عصب نخاعی تشکیل می شود . و دارای دو بخش حسی و حرکتی می باشد که به تفکیک توضیح می دهیم .

الف ) بخش حسی :

اطلاعات حسی را به سمت دستگاه عصبی مرکزی هدایت می کند . نورونهای حسی (آوران ) از نواحی زیر شروع می شوند : ۱- رگهای خونی و

لنفی ۲- اندامهای داخلی ۳- اندامهای حسی ۴- پمست ۵- عضلات و تاندونها

بخش حسی PNS اطلاعات را از ۵ نوع گیرنده اصلی دریافت می کند :

- ۱- گیرنده های مکانیکی که به نیروهای مکانیکی مانند فشار ، لمس و کشش پاسخ می دهند.
- ۲- گیرنده های حرارتی که به تغییرات درجه حرارت پاسخ می دهند .
- ۳- گیرنده های درد که به محرکهای دردناک پاسخ می دهند
- ۴- گیرنده های نوری که به نور به منظور دیدن پاسخ می دهند
- ۵- گیرنده های شیمیایی که به محرکهای شیمیایی مانند غذا و بوها و ... پاسخ می دهند

تعدادی از این گیرنده ها در تمرین و ورزش دارای اهمیت خاصی اند که از جمله می توان به ۱- گیرنده های حس حرکت مفاصل ۲- دوکهای عضلانی ۳- اندامهای وتری گلژی اشاره کرد که در ادامه توضیح داده خواهد شد .

اندام هدف	تأثیرات سمپاتیک	تأثیرات پاراسمپاتیک
عضله قلب	افزایش ضربان و قدرت انقباضی قلب	کاهش ضربان قلب
رگهای کرونری قلب	گشاد شدن رگها	تنگ شدن رگها
ششها	گشاد شدن برونشها و تنگ شدن ملایم رگهای خونی	تنگ شدن برونشها
رگهای خونی	افزایش فشار خون ، تنگ شدن رگها در اندامهای احشایی و پوست برای انحراف خون در مواقع ضروری ، گشاد شدن رگهای خونی عضلات اسکلتی و قلب در جریان ورزش	تأثیر کم یا بدون تأثیر
کبد	تحریک آزاد شدن گلوکز	بدون تأثیر
متابولیسم سلولی	افزایش متابولیسم سلولی	بدون تأثیر
بافت چربی	تحریک تجزیه چربی ها	بدون تأثیر
غدد عرق	افزایش تعرق	بدون تأثیر
بخش مرکزی غده فوق کلیوی	تحریک ترشح اپی نفرین و نورا اپی نفرین	بدون تأثیر
دستگاه گوارش	کاهش فعالیت غدد و عضلات و تنگ شدن اسفنکترها	افزایش حرکات دودی و ترشح غدد ، شل شدن اسفنکترها
کلیه	گشاد شدن رگها و کاهش تشکیل ادرار	بدون تأثیر

گیرنده های عمقی :

#### ۱- دوکهای عضلانی :

در وسط عضله قرار دارد و باعث انقباض غیرارادی عضله می گردد. نورونهای حرکتی برای تارهای درون دوکی ، نورونهای گاما می باشند . و بایستی گفت که وسط تارهای درون دوکی از اکتین و میوزین خبری نیست . همچنین باید گفت که دوکهای عضلانی به کشش عضله حساس می باشند و در برابر کشش عضله ، انقباض غیر ارادی را نشان می دهند تا از پارگی عضلات جلوگیری بکنند .

## ۲- اندامهای وتري گلژی :

به صورت کپسولی از گیرنده های حسی اند که در بخش ابتدایی اتصال تارهای وتري به تارهای عضلانی قرار دارند و زمانی که عضله بیش از حد منقبض می شود و امکان پارگی تاندون یا وتر وجود داشته باشد وترهای گلژی باعث توقف انقباض عضله می گردد. بنابراین یک عملکرد محافظتی دارد.

## ۳- گیرنده های مفصلی :

در وتر ، غضروف ، ضریع استخوان ، عضله ، کپسولهای مفاصل یافت می شوند. وظیفه این گیرنده ها ارسال اطلاعات درباره زاویه مفصل ، سرعت ، و درجه تغییر شکل مفصل توسط فشار وارده به آنها به دستگاه عصبی مرکزی است. شایع ترین این گیرنده ها عبارتند از : پیازهای انتهایی کروز ، اجسام پاسینی ، و اندامهای انتهایی رافینی ، همه این اطلاعات و نیز سایر اطلاعات دیگر گیرنده ها (مثل بینایی و شنوایی) به منظور دادن احساس آگاهی نسبت به وضعیت و موقعیت بدن و اعضا ، مورد استفاده قرار گرفته و همچنین ما را با بازتابهای خودکار مربوط به حالت قامت مجهز می سازد.

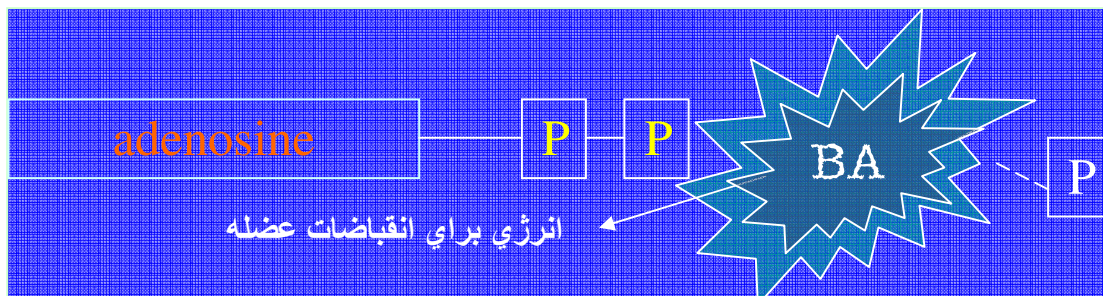
## فراخوانی ترتیبی تارهای عضلانی :

فعالیت عصبی بر اساس ترتیب فراخوانی یکنواخت واحدهای حرکتی موجود درجه بندی میشود اگر برای اجرای حرکتی معین ، نیروی بیشتری مورد نیاز باشد واحدهای حرکتی به ترتیب ، بیشتر فراخوانده می شود . واحدهای حرکتی که نورونهای کوچکتری دارند ( واحدهای کند انقباض) قبل از واحدهای حرکتی با نورونهای بزرگتر (واحد تند انقباض) فراخوانده می شوند .

## انرژی و منابع آن :

انرژی یعنی ظرفیت یا توانایی انجام کار ، شکلهای مختلف انرژی بصورت زیر می باشند:

۱- انرژی شیمیایی ۲- انرژی الکتریکی ۳- انرژی الکترو مغناطیسی ۴- انرژی حرارتی ۵- انرژی مکانیکی ۶- انرژی هسته ای  
تمام اشکال انرژی قابل تبدیل به یکدیگر می باشند همه انواع انرژیها از خورشید بعنوان انرژی نورانی سرچشمه می گیرند. گیاهان بوسیله فتوسنتز نور را به انرژی شیمیایی ذخیره ، تبدیل می کنند و ما بوسیله خوردن گیاهان و یا حیواناتی که از گیاهان تغذیه می کنند انرژی بدست می آوریم انرژی در مواد غذایی به شکل کربو هیدرات ، چربیها و پروتئینها ذخیره می شود که این ترکیبات می توانند در بدن تجزیه شده و تولید انرژی بکنند . صورت قابل استفاده در بدن ATP می باشد که از یک قند بنام آدنوزین و سه فسفات (P) تشکیل شده است بهنگام جدا شدن یکی از شاخه های فسفات از ATP انرژی ایجاد می شود



هر جایی از بدن که انرژی لازم داشته باشد ATP در آن ذخیره میشود .

واحد اندازه گیری انرژی کالری است و یک کالری عبارتست از مقدار گرمایی که دمای یک گرم آب را یک درجه سانتی گراد بالا ببرد .



پیوندهای موجود در مواد غذای نسبتاً ضعیف اند و بهنگام شکستن انرژی کمتری تولید می کنند در نتیجه مواد غذایی بطور مستقیم برای اعمال سلولی مورد استفاده قرار نمی گیرند در واقع انرژی موجود در پیوندهای مولکولی مواد غذایی بصورت شیمیایی در درون سلولها آزاد می شود و سپس به شکل یک ترکیب پر انرژی بنام آدنوزین تری فسفات ATP ذخیره می شوند.

مواد غذایی که تولید انرژی می کنند عبارتند از کربوهیدراتها ، چربیها، پروتئین ها

انرژی آزاد شده سلولها: ۱- برای رشد و ترمیم بافتهای بدن ۲- برای انتقال فعال ۳- انقباض عضله و تولید نیرو بکار می رود و البته مقداری از انرژی نیز در سلولها برای ادامه حیات خود باقی می ماند حدود شصت درصد انرژی آزاد شده از ATP صرف تولید گرما می شود.

### کربوهیدراتها :

وابستگی عضلات به کربوهیدرات در جریان ورزش با قابلیت دسترسی به کربوهیدراتها و سیستم توسعه یافته عضله برای متابولیسم آن ارتباط دارد. کربوهیدراتها، سرانجام به گلوکز تبدیل می شوند که یک مونوساکارید (قند ساده) است و به وسیله خون به تمامی بافتهای بدن انتقال می یابند. در حال استراحت ، کربوهیدرات مصرفی بوسیله عضلات و کبد گرفته می شود و به مولکول قند پیچیده تری بنام گلیکوژن تبدیل می شود گلیکوژن تا زمان بکار گیری توسط سلولها برای تشکیل ATP در سیتوپلاسم سلول ذخیره می شود. گلیکوژن ذخیره شده در کبد در مواقع نیاز به گلوکز تبدیل می شود و به وسیله خون به بافتهای فعال ، جایی که عمل متابولیسم رخ می دهد، انتقال می یابد. ذخایر گلیکوژن در کبد و عضلات محدود هستند و می توانند بطور کامل تخلیه شوند مگر اینکه مواد غذایی مصرفی حاوی مقادیر قابل توجهی کربوهیدرات باشد. بدون مصرف کربوهیدرات به حد کافی عضلات و کبد نمی توانند بطور مناسب دوباره سازی منابع اولیه انرژی را انجام دهند ذخیره کل گلیکوژن عضلات نسبت به کبد بیشتر است اما بطور نسبی در کبد بیشتر است.

### چربیها:

چربیها و پروتئین ها نیز به عنوان منابع انرژی اند ، بدن انسان مقادیر بسیار زیادی از چربیها و سپس کربوهیدراتها را ذخیره می کند ذخایر انرژی بدن به شکل چربی، بسیار بیشتر از کربوهیدراتها ست. برای شرکت در متابولیسم سلولی ، چربیها کمتر در دسترس هستند چون ابتدا باید از شکل پیچیده خود یعنی تری گلیسرید به اجزای سازنده آن شامل گلیسرون و اسیدهای چرب آزاد (FFA) تبدیل شوند برای تشکیل ATP فقط اسیدهای چرب آزاد مورد استفاده قرار می گیرند. انرژی آزاد شده از یک گرم چربی ۹ کیلو کالری و انرژی آزاد شده از یک گرم کربوهیدرات ۴ کیلو کالری می باشد.

### پروتئینها :

فرایند تبدیل پروتئین و چربی به گلوکز گلوکونئوژنز نامیده می شود . همچنین پروتئینها می توانند بوسیله یک سلسله واکنشهای شیمیایی به اسیدهای چرب تبدیل شوند این فرایند لیپوژنز نام دارد . پروتئینها می توانند ۱۰ تا ۱۵ درصد از انرژی مورد نیاز فعالیتهای روزانه را تامین کنند. برای تولید انرژی تنها اسیدهای آمینه به عنوان واحدهای ساختمانی پروتئین ها ، می توانند مورد استفاده قرار گیرند . پروتئین بمنظور تولید انرژی کمتر مورد استفاده قرار می گیرد. چربی بدلیل داشتن هیدروژن زیاد در ساختمان خود نسبت به کربوهیدراتها و پروتئینها بیشتر تولید انرژی می کنند .

### تولید ATP :

زمانی که ATP تحت تاثیر آنزیم آدنوزین تری فسفاتاز (ATPase) قرار می گیرد آخرین گروه فسفات از مولکول ATP جدا می شود . ومقدار زیادی انرژی تولید می کند . این فرایند ATP را به ADP ( آدنوزین دی فسفات ) و Pi تبدیل می کند .





فرآیند ذخیره انرژی با تشکیل ATP از منابع شیمیایی دیگر ، فسفوریلاسیون نامیده می شود . در فرایند فسفوریلاسیون ، بوسیله واکنشهای شیمیایی مختلف یک گروه فسفات به ترکیب کم انرژی ADP اضافه می شود و آنرا به ATP تبدیل می کند . زمانی که این واکنشها به کمک اکسیژن روی می دهد فرایند را متابولیسم هوازی و تبدیل هوازی ADP به ATP را فسفوریلاسیون اکسایشی می گویند ، سلولها در بدن به کمک مواد غذایی کلا" به سه روش زیر تولید انرژی می کنند و بدن مارا به حرکت در می آورند یا برای نیازهای دیگر بدن مورد استفاده قرار می گیرند:

۱- دستگاه ATP-CP (دستگاه فسفاژن)

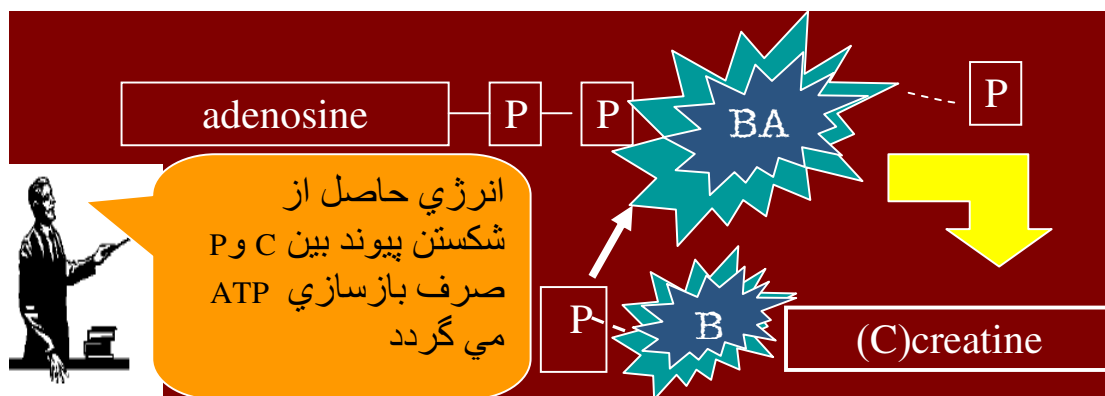
۲- دستگاه اسید لاکتیک

۳- دستگاه هوازی یا دستگاه اکسیژن

دو دستگاه اول بی هوازی اند ( یعنی می توانند بدون حضور اکسیژن در فرایند دستگاه تولید انرژی کنند) ولی دستگاه سومی در حضور اکسیژن تولید انرژی می کند. مواد اولیه دستگاه فسفاژن ، کراتین فسفات می باشد ، سوخت دستگاه اسید لاکتیک کربو هیدرات است ولی دستگاه هوازی از هر سه نوع ماده غذایی می تواند تولید انرژی بکند.

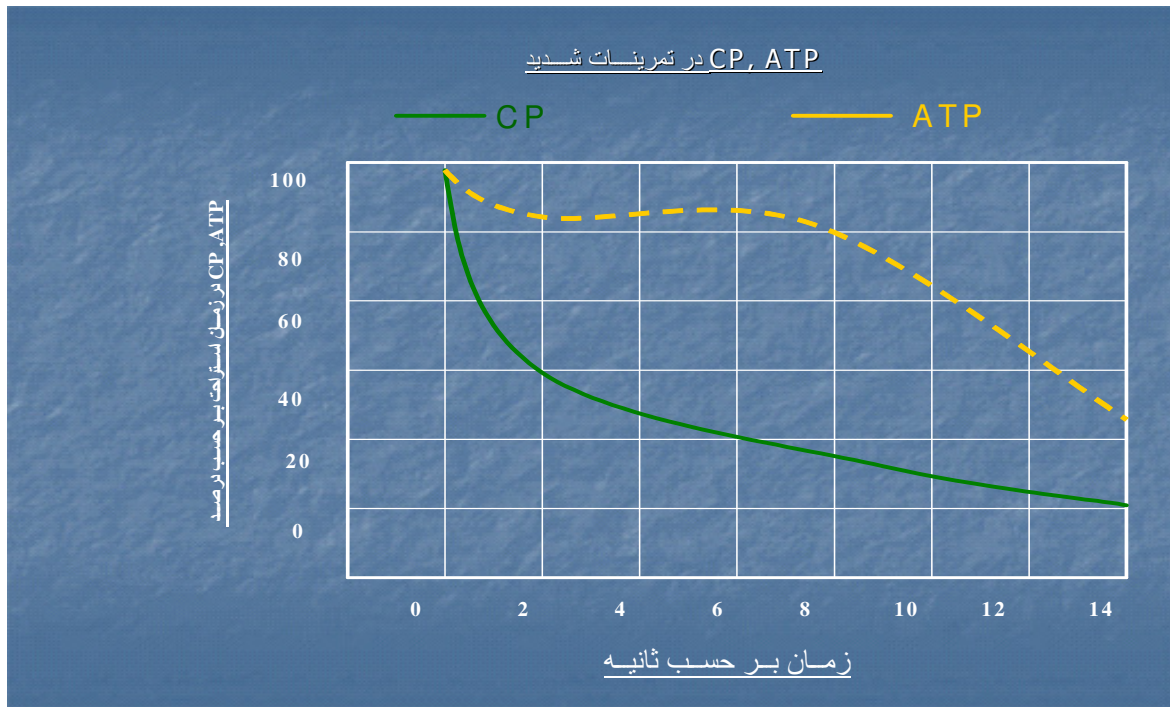
### الف ( دستگاه فسفاژن :

ساده ترین و فوری ترین دستگاه تولید انرژی می باشد چون در کمترین زمان ممکن می تواند انرژی تولید بکند. ماهیچه ها فقط مقدار محدودی ATP که به اندازه زمانی ۲ ثانیه است در درون خود ذخیره دارند ، بعد از گذشت ۲ ثانیه ATP از طریق یکی از دستگاههای تولید انرژی مجددا" تولید می شود. انرژی که دستگاهها تولید می کنند برای ترکیب مجدد ADP و Pi بکار می رود تا مجددا ATP ایجاد شود . اگر فعالیت بدنی بیش از ۲ ثانیه طول بکشد تولید مجدد ATP به اتکای ماده ای موسوم به فسفو کراتین (PC) انجام می شود . PC به طور نا محدودی در عضلات ذخیره شده است و وقتی که گروه فسفاژن (P) برداشته می شود انرژی آزاد می گردد و این انرژی مستقیما" مورد استفاده قرار نمی گیرد بلکه برای باز سازی ATP ، مورد استفاده قرار می گیرد. آزاد سازی انرژی از PC بوسیله آنزیم کراتین کیناز (CK) تسهیل می شود. با این دستگاه سلولها می توانند همزمان با جدا شدن یک گروه فسفات و آزاد شدن انرژی از ATP، با تجزیه PC و تولید انرژی برای تشکیل



ATP بیشتر ، از تخلیه ذخایر ATP جلوگیری کنند. این فرایند دارای سرعت زیادی است و می تواند با حضور اکسیژن نیز انجام پذیرد ولی چون زمان کافی برای رسیدن اکسیژن به دستگاه وجود ندارد ، لذا بدون حضور اکسیژن انجام می گیرد بنا براین این دستگاه یک دستگاه بی هوازی است ، در جریان چند ثانیه اول فعالیت عضلانی شدید مانند دوهای سرعت ، پرش ، وزنه برداری ، سطح ATP به طور نسبی ثابت باقی می ماند اما سطح PC به عنوان ترکیب مورد

استفاده در دوباره سازی ATP تخلیه شده بطور یکنواخت کاهش می یابد (به شکل زیر توجه کنید)



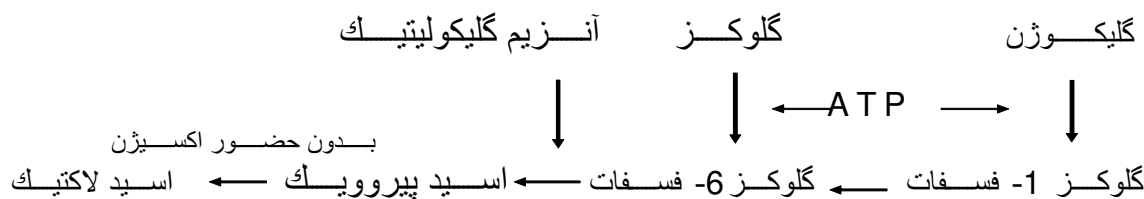
با این حال به هنگام واماندگی سطوح ATP و PC کاملاً پایین است و توانایی تولید انرژی برای انقباض و انبساط عضلانی بیشتر را ندارد. ظرفیت حفظ سطوح ATP به وسیله انرژی حاصل از تجزیه PC محدود است. بنابراین ذخایر ATP، PC می توانند نیازهای انرژی عضلات را تنها به مدت ۳ تا ۱۵ ثانیه در دوی سرعت تامین کنند.

### دستگاه اسید لاکتیک یا دستگاه گلیکولیتیک:

روش دیگر تولید ATP آزادسازی انرژی از تجزیه گلوکز است. در این دستگاه برای تولید انرژی از کربو هیدرات استفاده می شود. کربو هیدراتها در ماهیچه به شکل گلیکوژن ذخیره می شود گلیکوژن به طور نا محدودی در عضلات ذخیره می شوند. و برای فعالیتهایی استفاده می شوند که حدود ۳ دقیقه طول می کشند. در این سیستم از فرایند گلیکولیز استفاده می شود (گلیکولیز تجزیه گلوکز توسط آنزیمهای گلیکولیتیک ویژه است).

در فرایند گلیکولیز از گلوکز و گلیکوژن استفاده می شود اگر از گلوکز استفاده شود ۲ ATP تولید می شود و اگر از گلیکوژن استفاده شود ۳ ATP تولید می گردد فرآورده نهایی گلیکولیز اسید پیروویک است. این فرایند نیاز به اکسیژن ندارد اما در چنین شرایطی، اسید پیروویک به اسید لاکتیک تبدیل می شود و یک عامل محدود کننده این سیستم به حساب می آید. همه فرایندهای بی هوازی در محدوده سارکوپلاسم سلول رخ می دهد ولی فرایندهای هوازی در میتوکندری رخ می دهد.

تکیه عمده ورزشهایی مثل ۴۰۰ متر که با شدت و سرعت ۴۳ تا ۶۰ ثانیه طول می کشد بر دستگاه اسید لاکتیک است در دوی ۸۰۰ متر بیشترین اسید



لاکتیک تولید می گردد.

### دستگاه هوازی :

آخرین دستگاه تولید انرژی سلولی ، دستگاه هوازی است و بسیار پیچیده می باشد بعلمت مصرف اکسیژن ، این سیستم یک فرایند هوازی است این دستگاه بر خلاف دو دستگاه دیگر انرژی بسیار زیادی تولید می کند بنابراین در فعالیتهای استقامتی ، متابولیسم هوازی روش اصلی تولید انرژی است تولید هوازی ATP ۳ فرایند را در بر می گیرد ۱- گلیکولیز هوازی ۲- چرخه کربس ۳- زنجیره انتقال الکترونی ۱- گلیکولیز هوازی :

زمانی که از کربو هیدرات استفاده می کنیم در حضور اکسیژن ماده نهایی اسید پیروویک می باشد و عدم حضور اکسیژن در گلیکولیز منجر به اسید لاکتیک می گردد . اسید پیروویک در حضور اکسیژن به استیل کوآنزیم A تبدیل می شود ۲- چرخه کربس:

هر ماده ای برای وارد شدن به چرخه کربس باید تبدیل به استیل کوآنزیم A گردد چرخه کربس شامل سلسله واکنشهای شیمیایی پیچیده ای که اکسیداسیون کامل استیل کو آ را ممکن می سازد در پایان چرخه کربس دو مول ATP تشکیل شده و سوبسترا به کربن و هیدروژن تجزیه می شود ( سوبسترا ترکیبی است که آنزیمها روی آن عمل می کنند تا وارد این چرخه بشوند و در این مورد کربو هیدراتها می باشد) کربن تولید شده با اکسیژن ترکیب می شود و دی اکسید کربن می سازد. دی اکسید کربن به آسانی از سلول خارج می شود و بوسیله خون برای دفع ششها انتقال می یابد .

نکته: در دستگاه اسید لاکتیک از سوختن یک مولکول گلوکز ۲ مولکول ATP و از سوختن یک مولکول گلیکوژن ۳ مولکول ATP بدست می آید در حالی که در دستگاه هوازی از سوختن یک مولکول گلوکز ۳۸ و از سوختن یک مولکول گلیکوژن ۳۹ مولکول ATP بدست می آید ۳-زنجیره انتقال الکترون:هیدروژن آزاد شده از گلیکو لیز هوازی و چرخه کربس با دو کوآنزیم NAD (نیکوتین آمیدادونین دی نوکلئوتید) و FAD (فلاوین آدونین دی نوکلئو تید ) ترکیب شده و وارد این سیستم می گردند، تا در آنجا به پرو تونها و الکترو نها تجزیه شوند در پایان زنجیره  $H^+$  با اکسژن ترکیب شده و آب تشکیل می دهد و از اسیدی شدن سلول جلو گیری می کند الکترونهای جدا شده از هیدروژن از یک سلسله واکنشها بنام زنجیره انتقال الکترون گذر می کنند و انرژی لازم را برای فسفو ریلایسیون ADP و تشکیل ATP را فراهم می سازند از آنجا که این فرایند به اکسیژن بسته است فسفو ریلایسیون هوازی نامیده می شود .

اکسیداسیون چربیها ، کربو هیدراتهاو پرو تئینها در دستگاه هوازی یکسان می باشد و فقط تفاوت در مرحله اول دستگاه هوازی می باشد در بالا به اکسیداسیون کربو هیدرات و گلیکولیز آن اشاره شد اکنون به **بتا اکسیداسیون چربیها می پردازیم :**

چربی ذخیره شده در عضلات می توانندحدود هفتاد هزار تا هفتادو پنج هزار کیلو کالری انرژی فراهم بکنند و فقط تری گلیسریدها ذخایر اصلی انرژی می باشند . تری گلیسریدها برای تولید انرژی ابتدا باید به واحدهای سازنده خود یعنی یک مولکول گلیسرول و ۳ مولکول اسید چرب آزاد تجزیه شونداین فرایند لیپولیز نامیده می شود و بوسیله آنزیمهایی بنام لیپاز صورت می پذیرد اسید های چرب منابع اصلی انرژی هستند . اسید های چرب آزاد با ورود به تار های عضلانی بوسیله و با استفاده از انرژی حاصل از ATP فعال شده و برای تجزیه به میتوکندری می روند که به بتا اکسیداسیون معروف می باشند در این فرایند ، زنجیره کربن ، اسید چرب به واحدهای دو کربنی اسید اسیتیک تجزیه میشوند و سر انجام اسید

استیک به استیل کو آ تبدیل شده و وارد چرخه کربس می شود متابولیسم چربی می تواند انرژی بیشتری نسبت به متابولیسم گلوکز تولید کند.

## ATP تولید

	ATP/mole
بی هوازی	
فسفاژن	1
glycolysis	
گلیکوژن	3
گلوکز	2
هوازی	
گلیکوژن	37-39
گلوکز	36-38
اسید چرب	138

### منابع انرژی هوازی ( *Aerobic Energy Sources* )

وقتی بدن در یک حالت پایدار مشغول انجام تمرینی با شدت کم و مدت زمان زیاد ( مثل کوهپیمایی و دوی ماراتن ) باشد از سیستم هوازی برای تامین ATP مورد نیاز ماهیچه هایش استفاده می کند.

انرژی مورد نیاز این سیستم از دو منبع گلیکوژن ( موجود در ماهیچه ها و کبد و گلوکز خون ) و چربی حاصل می شود. گلیکوژن دم دست ترین و اولین منبع انرژی مورد استفاده می باشد اما پس از حدود ۳۰ دقیقه ذخایر چربی بدن مورد استفاده قرار می گیرند. علیرغم ذخایر محدود گلیکوژن بدن ، چربی ها یک منبع نامحدود تامین انرژی هستند. بطور مثال یک پوند چربی توانایی تولید انرژی برای دویدن 50 km را دارد. هرچند که باید در نظر داشت که چربی ها بدون حضور گلیکوژن درون ماهیچه ، نمی توانند کاری انجام دهند. پس در صورت تمام شدن ذخایر گلیکوژن عضله ها ، چربی بدن علیرغم وجودشان نمی توانند مورد استفاده قرار گیرند. این همان چیزی است که دوندگان های دوی ماراتن در نزدیکی های پایان مسابقه هایشان بعنوان مشت کوبیدن به دیوار تعبیر می کنند. از این روست که هیچ وقت دوندگان های ماراتن مسابقه خود را با سرعت زیاد آغاز نمی کنند تا ذخایر گلیکوژن ماهیچه خود را زود از دست ندهند. حتی این دوندگان ها سعی می کنند که گلوکز از دست داده خود را با نوشیدن مایعات شیرین در طول مسیر جبران کنند.

در تمریناتی که بیش از ۴ ساعت طول بکشد و به اصطلاح زمانی که دیگر کف گیر به کف دیگ خورده باشد ، پروتئین بافت عضله ای بدن به عنوان منبع انرژی به کار گرفته می شود. هر چند که این انرژی بی نهایت ناکافی است اما آخرین تلاش بدن برای زنده ماندن می باشد.