

فصل ۳ : دستگاه حرکتی

گفتار اول : استخوان ها و اسکلت



استفاده ما از دست و پا به قدری است که تصور زندگی بدون آنها برایمان بسیار سخت است. خوشبختانه امروزه افراد دارای نقص عضو نیز می‌توانند با استفاده از اعضای مصنوعی تا حدودی بر محدودیت‌های حرکتی چیره شوند. مطالعات دقیق ساختار ماهیچه‌ها، مفاصل و استخوان‌ها، به همراه پیشرفت در علوم مربوط به مواد و الکترونیک، مهندسان را قادر ساخته تا اندام‌های پیچیده را جایگزین بخش‌های آسیب‌دیده یا ناقص کنند. کارآمدی بعضی اندام‌های مصنوعی آن قدر بالاست که در پارالمپیک برای جلوگیری از رقابت نابرابر، قوانین سختگیرانه‌ای برای استفاده از این اندام‌ها وضع شده است.

استخوان‌ها بخشی از اسکلت انسان را تشکیل می‌دهند. اسکلت انسان شامل دو بخش محوری و جانبی است. بخش محوری همان طور که از نامش مشخص است، محور بدن را تشکیل می‌دهد و از ساختارهایی مانند مغز و قلب حفاظت می‌کند؛ گرچه بخش‌هایی از آن هم در جویدن، شنیدن، صحبت کردن و حرکات بدن نیز نقش دارند. استخوان‌های دست و پا از اجزای اسکلت جانبی‌اند. این استخوان‌ها نسبت به اسکلت محوری، نقش بیشتری در حرکت بدن دارند.

اسکلت انسان علاوه بر استخوان ، شامل مفاصل ، غضروف ، رباط و دندان هم می شود .

اسکلت محوری : بخش محوری اسکلت برای اتصال بخش جانبی اسکلت است و نقش حرکتی هم دارد ، حفاظت از اندام ها ، تکلم ، کمک به شنیدن و عمل جویدن از نقش های دیگر بخش محوری است .

صورت : ۱۴

کاسه سر : ۸

جمجمه

ستون مهره ها : ۳۳ مهره (۲۶ قطعه)

دنده ها : ۱۲ جفت (۲۴)

جناغ : ۱

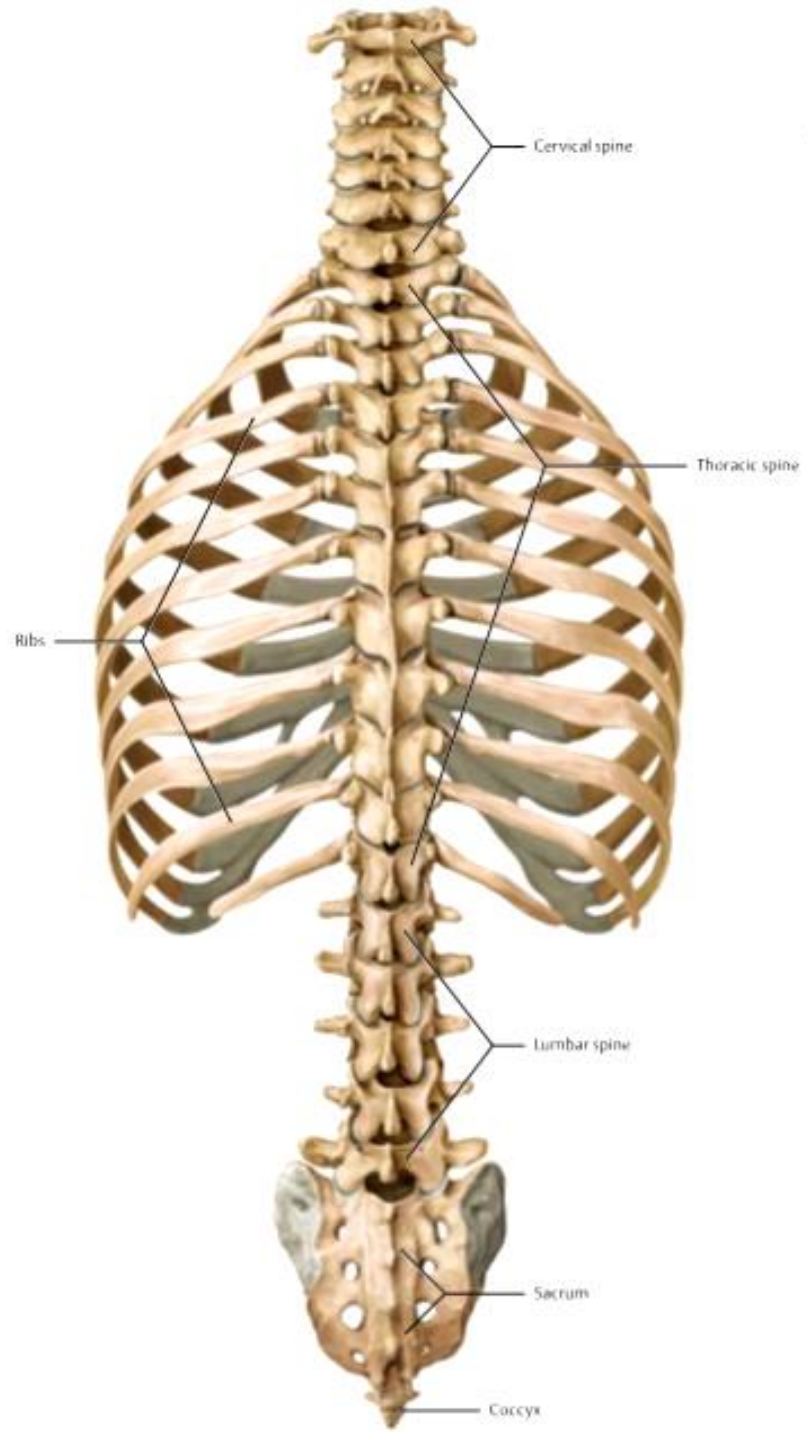
استخوان حنجره : ۱

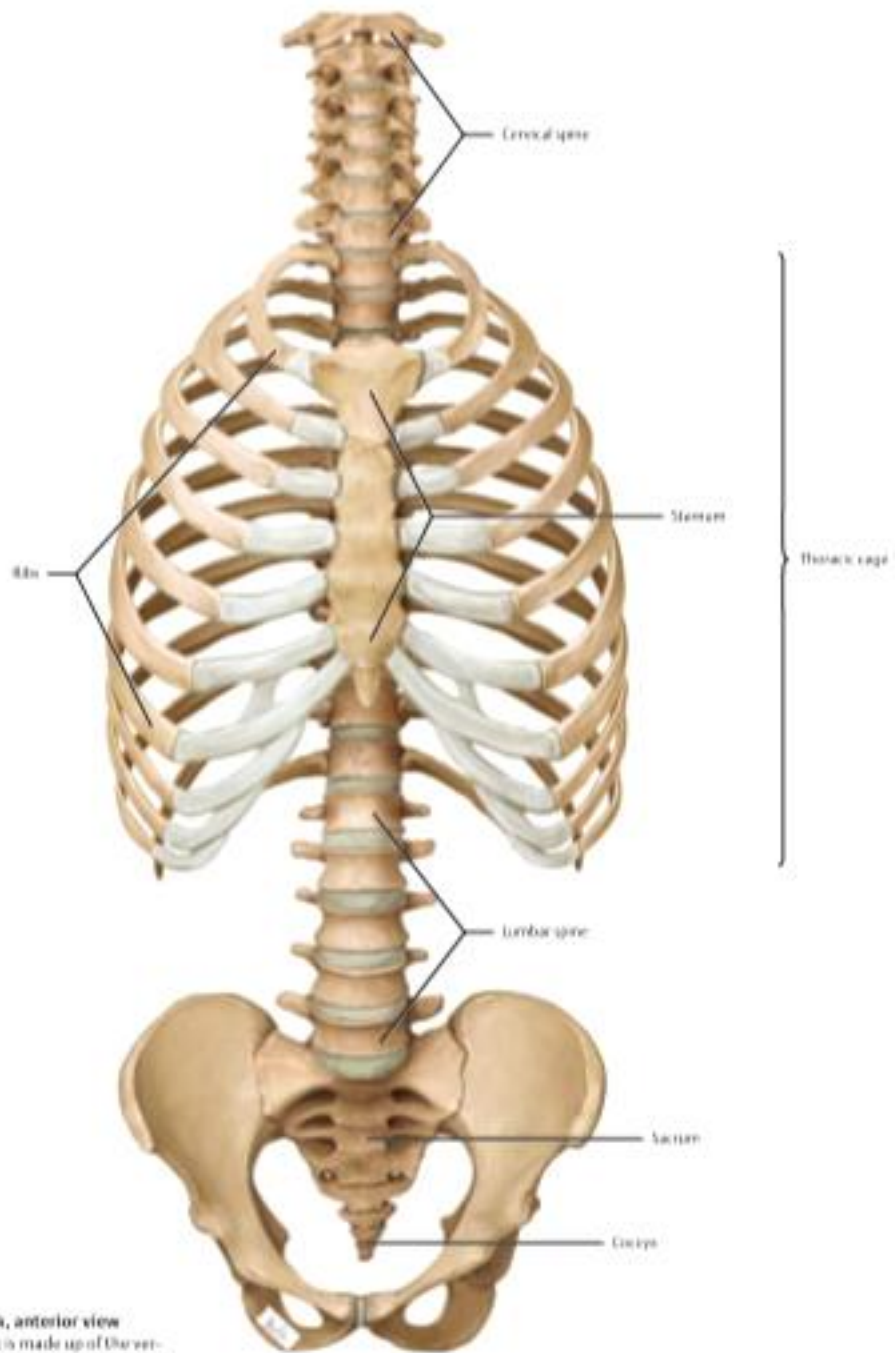
استخوانچه های گوش داخلی : ۶

اسکلت محوری :

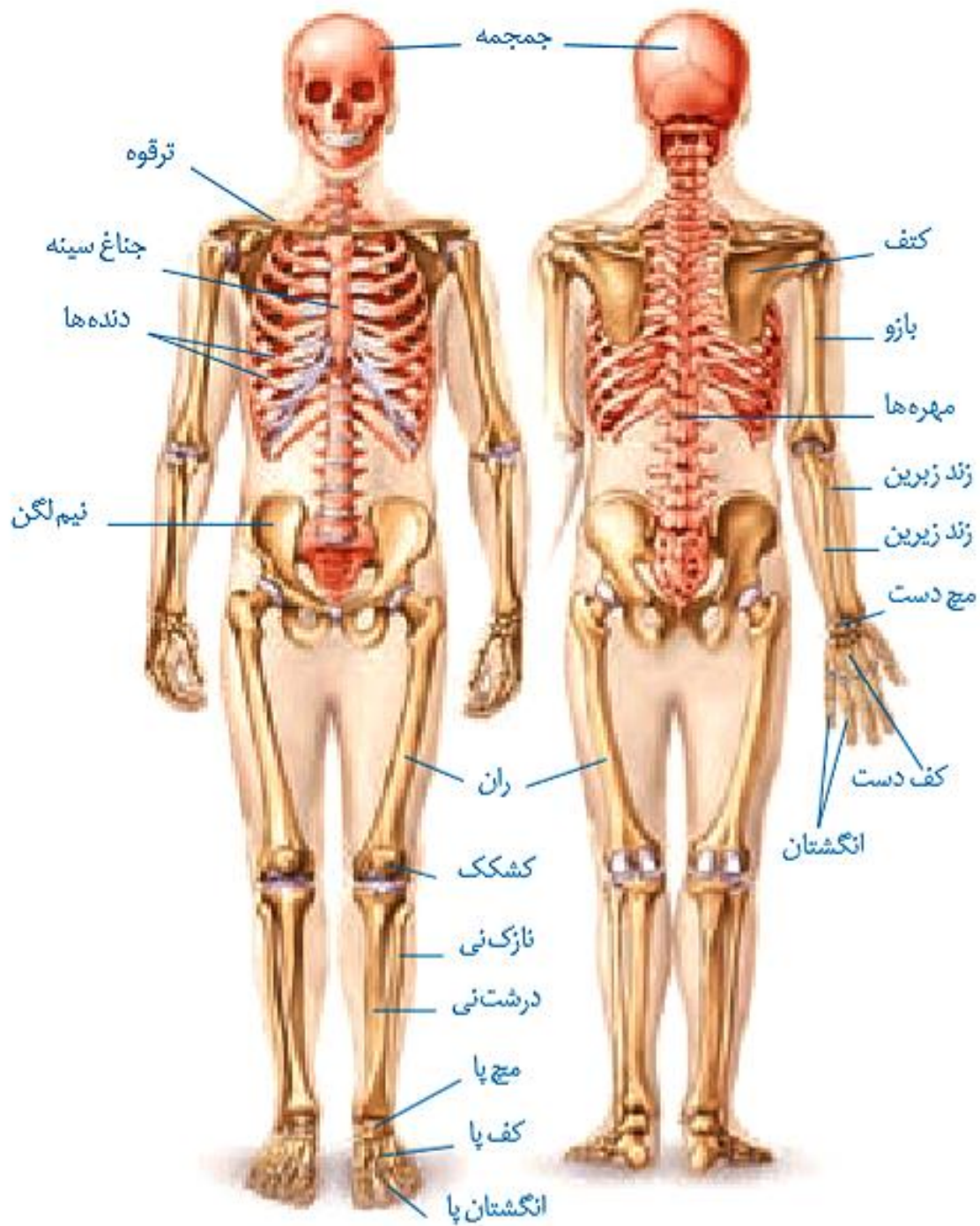
اسکلت جانبی : بخش جانبی اسکلت اهمیت بیشتری در حرکت بدن دارد :







A Skeleton of the trunk, anterior view
The skeleton of the trunk is made up of the vertebral column, ribs, and sternum. Details on the ribs and sternum are given on p. 106



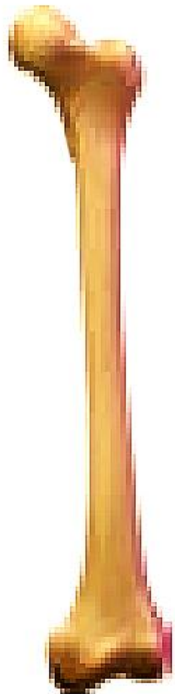
اعمال استخوان ها

استخوان ها علاوه بر حفاظت و پشتیبانی اندام ها، اعمال دیگری هم انجام می دهند؛ مثلاً استخوان های کوچک گوش در شنیدن دقیق مؤثرند. همچنین استخوان ها به کمک ماهیچه ها موجب حرکت بدن می شوند. سایر اعمال استخوان ها در جدول یک خلاصه شده است.

توضیح	وظیفه
استخوان‌ها شکل بدن را تعیین و نیز چارچوبی را ایجاد می‌کنند تا اندام‌ها روی آنها مستقر شوند.	پشتیبانی
اتصال ماهیچه‌های اسکلتی به استخوان‌ها و انقباض آنها باعث انتقال نیروی ماهیچه به استخوان و حرکت آن می‌شود.	حرکت
اسکلت استخوانی، بخش‌های حساسی، مانند نخاع، قلب، مغز و شش‌ها را حفاظت می‌کند.	حفاظت اندام‌های درونی
بسیاری از استخوان‌ها مغز قرمز دارند که یاخته‌های خونی را تولید می‌کند.	تولید یاخته‌های خونی
استخوان‌ها محل ذخیره مواد معدنی، مانند فسفات و کلسیم‌اند.	ذخیره مواد معدنی
استخوان‌های کوچک گوش در شنیدن و استخوان‌های آرواره در تکلم و جویدن نقش دارند.	کمک به شنیدن، تکلم و اعمال دیگر

انواع استخوان

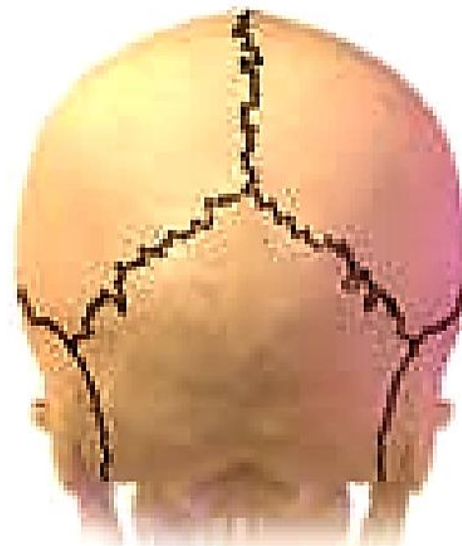
استخوان‌ها اشکال مختلفی دارند. استخوان ران و بازو از انواع استخوان‌های درازند، در حالی که استخوان‌های میچ از انواع استخوان‌های کوتاه‌اند. استخوان جمجمه از استخوان‌های پهن هستند. استخوان‌های ستون مهره از نوع استخوان‌های نامنظم‌اند (شکل زیر) استخوان‌های بدن اندازه‌های متفاوتی دارند، از استخوان‌های کوچک گوش میانی تا استخوان بزرگ لگن.



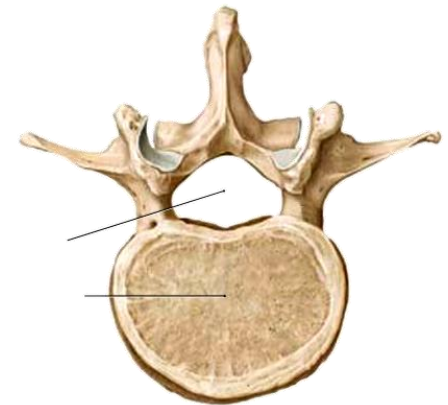
استخوان ران



استخوان‌های میچ دست

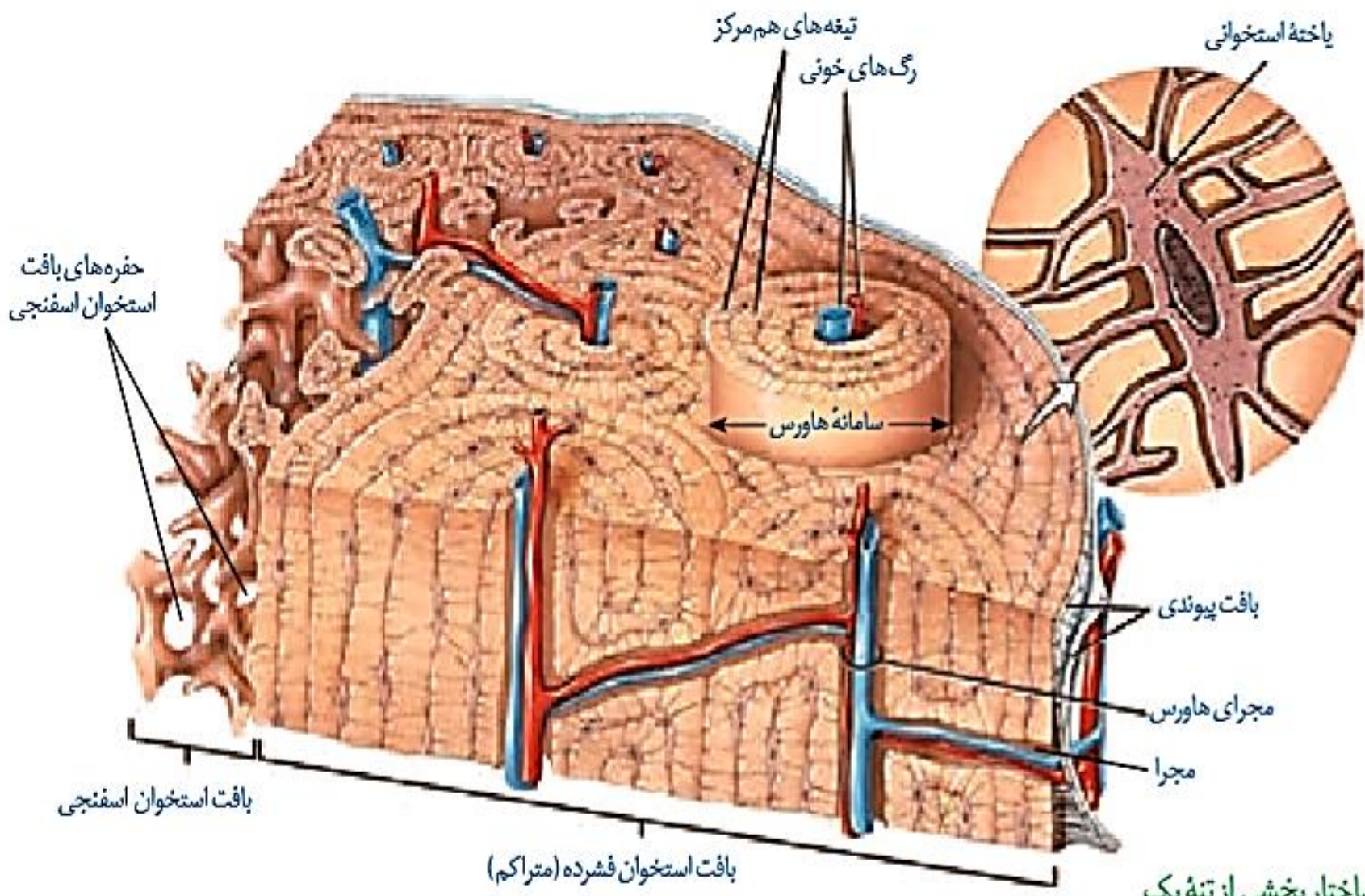


استخوان‌هایی از جمجمه



ساختار استخوان: هر استخوان از دو نوع بافت استخوانی فشرده و اسفنجی تشکیل شده است. میزان و محل قرارگیری هر نوع بافت استخوانی در استخوان‌های مختلف متفاوت است. مثلاً بافت استخوانی فشرده در طول استخوان ران، به صورت واحدهایی به نام سامانه هاورس قرار گرفته است (شکل) این سامانه‌ها به صورت استوانه‌هایی هم‌مرکز از تیغه‌های استخوانی اند که از یاخته‌های استخوانی، ماده زمینه‌ای و کلاژن در اطراف آنها تشکیل شده است. ماده زمینه‌ای از پروتئین‌ها و مواد معدنی تشکیل شده است. اعصاب و رگ‌های درون مجرای مرکزی هر سامانه، ارتباط بافت زنده را با بیرون برقرار می‌کنند. سطح درونی تنه این استخوان نیز بافت اسفنجی دارد. سطح خارجی این استخوان، توسط بافت پیوندی احاطه شده است و رگ‌ها و اعصاب از راه مجراهایی به بیرون ارتباط دارند.

انتهای برآمده استخوان ران از بافت اسفنجی پر شده است. بافت استخوانی اسفنجی، از میله‌ها و صفحه‌های استخوانی تشکیل شده است که بین آنها حفره‌هایی وجود دارد که توسط رگ‌ها و مغز استخوان پر شده‌اند. مغز استخوان در دو نوع زرد و قرمز وجود دارد. مغز زرد بیشتر از چربی تشکیل شده است و مجرای مرکزی استخوان‌های دراز را پر می‌کند. مغز قرمز استخوان در بافت استخوانی اسفنجی دیده می‌شود. در کم‌خونی‌های شدید، مغز زرد می‌تواند به مغز قرمز تبدیل شود.



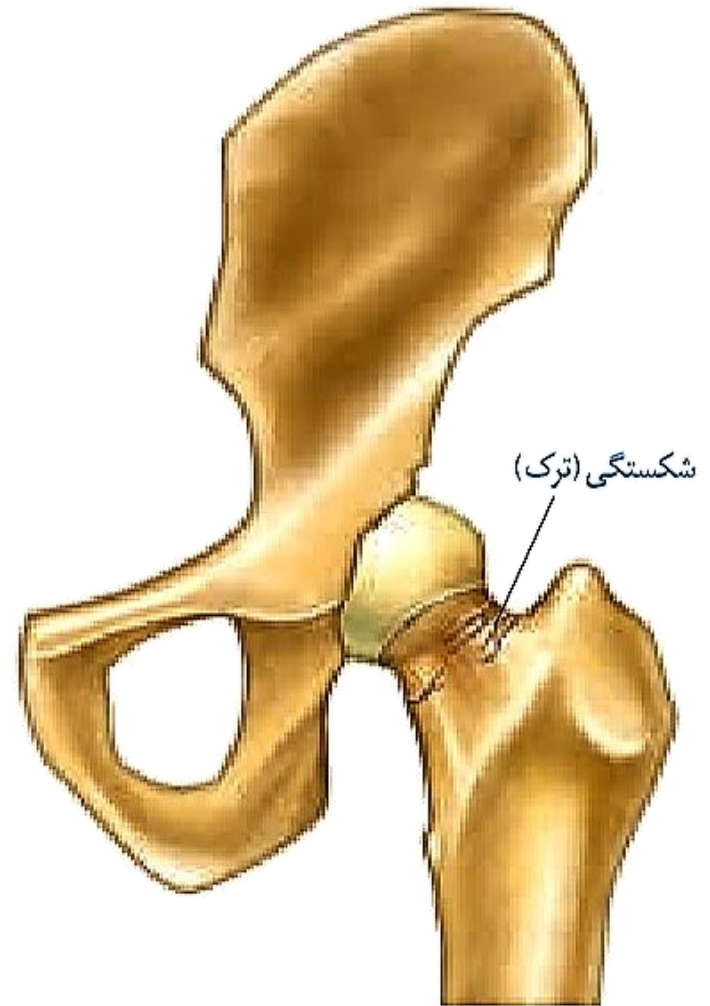
شکل ۳- ساختار بخشی از تنه یک استخوان دراز و اجزای آن

تشکیل و تخریب استخوان

در دوران جنینی، استخوان‌ها از بافت‌های نرمی تشکیل و به تدریج با افزودن نمک‌های کلسیم سخت می‌شوند. یاخته‌های استخوانی تا اواخر سن رشد، مادهٔ زمینه‌ای ترشح می‌کنند و بنابراین، تودهٔ استخوانی و تراکم آن افزایش پیدا می‌کند. با افزایش سن، یاخته‌های استخوانی کم‌کار می‌شوند و تودهٔ استخوانی به تدریج کاهش پیدا می‌کند. در همهٔ این مراحل، تغییرات استخوانی در حال انجام است. استخوان‌ها در اثر فعالیت بدنی مانند ورزش، یا با افزایش وزن ضخیم، متراکم‌تر و محکم‌تر می‌شوند و استخوان‌هایی که کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، ظریف‌تر می‌شوند. مشابه این حالت، در فضاوردان دیده می‌شود که در محیط بی‌وزنی تراکم استخوانشان کاهش می‌یابد.

استخوان‌های بدن به طور پیوسته دچار شکستگی‌های میکروسکوپی می‌شوند که نتیجه حرکات معمول بدن‌اند. شکستگی‌های دیگر می‌توانند ناشی از ضربه یا برخورد باشند.

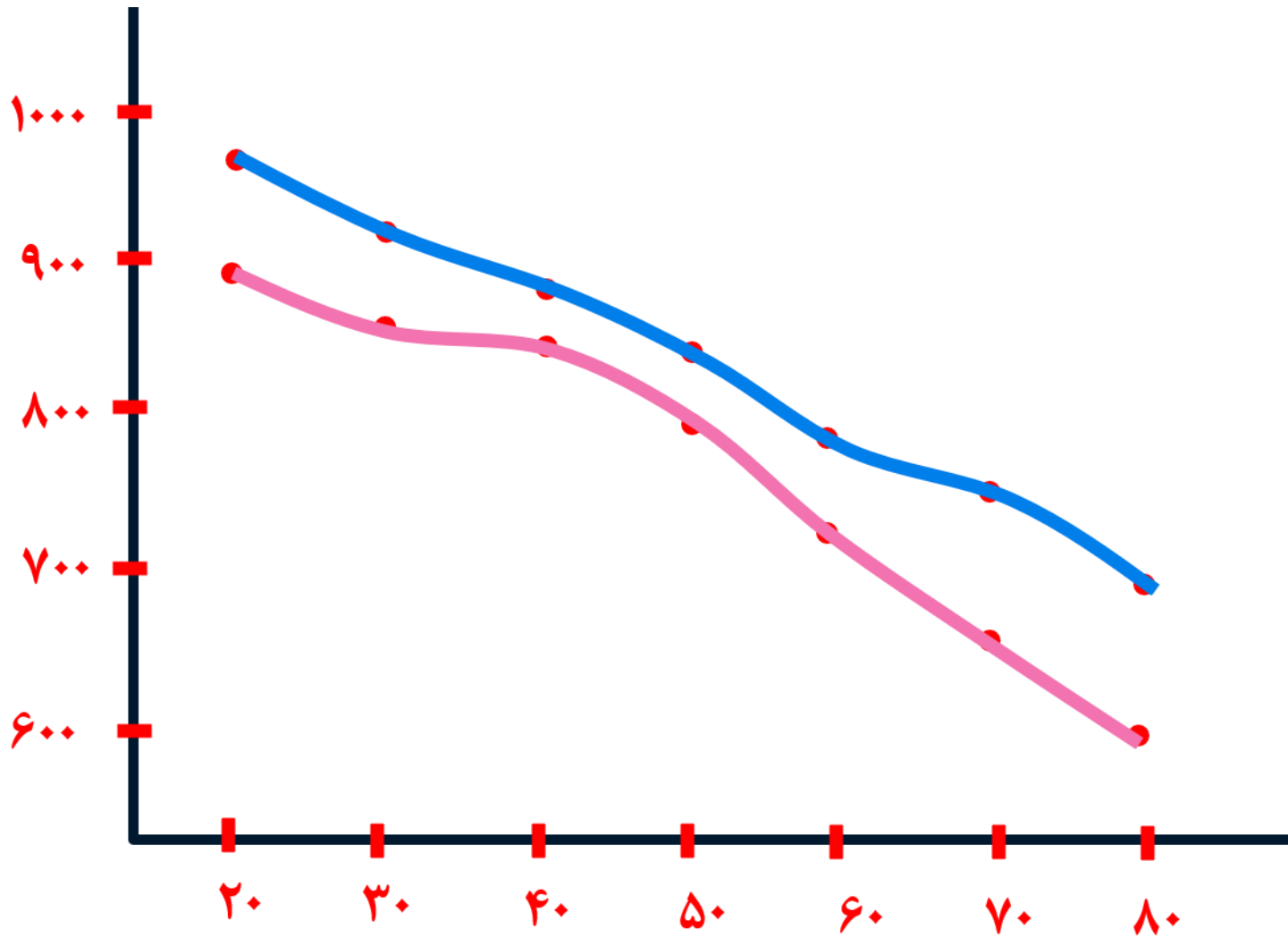
در این حالت، یاخته‌های نزدیک به محل شکستگی، یاخته‌های جدید استخوانی می‌سازند و پس از چند هفته آسیب بهبود پیدا می‌کنند.



به طور کلی تراکم توده استخوانی در زنان و مردان با هم تفاوت دارد. جدول زیر تراکم استخوانی زنان و مردان را در سنین مختلف نشان می دهد.

میانگین تراکم استخوان		
سن	زن	مرد
۲۰	۰/۸۹۵	۰/۹۷۹
۳۰	۰/۸۸۶	۰/۹۳۶
۴۰	۰/۸۵۰	۰/۸۹۴
۵۰	۰/۷۹۷	۰/۸۵۱
۶۰	۰/۷۳۳	۰/۸۰۹
۷۰	۰/۶۶۷	۰/۷۶۶
۸۰	۰/۶۰۷	۰/۷۲۴

- ۱- منحنی تغییر تراکم توده استخوانی را در دو جنس رسم کنید.
- ۲- در کدام جنس تراکم استخوان بالاتر است؟
- ۳- بین سنین ۲۰ تا ۵۰ سالگی شدت تغییرات تراکم استخوان در مردان بیشتر است یا زنان؟



- ۲) درستی یا نادرستی هر یک از جمله های زیر را تعیین کنید :
- الف) درون مجرای مرکزی سامانه هاورس ، سیاهرگ دیده می شود .
- ب) سطح استخوان های بدن را بافت پیوندی یک لایه می پوشاند .
- ج) یک استخوان محوری ، ممکن است از نوع بلند باشد .
- د) هر استخوانی در بدن دارای مغز قرمز است .
- ه) به همراه کلاژن ، پروتئین های دیگری در ماده زمینه استخوان وجود دارد .

۳) از نظر ساختار یا عمل ، ۴ مورد تفاوت چشم انسان و چشم زنبور عسل کدامند ؟

۴) به پرسش های زیر پاسخ دهید :

الف) آشفتگی آب گیرنده های کدام ساختار حسی را در ماهی تحریک می کند؟

ب) محل قرارگیری گیرنده های مادون قرمز در مار کجاست؟

ج) اولین سیناپس پیام های حس بویایی در کجا صورت می گیرد؟

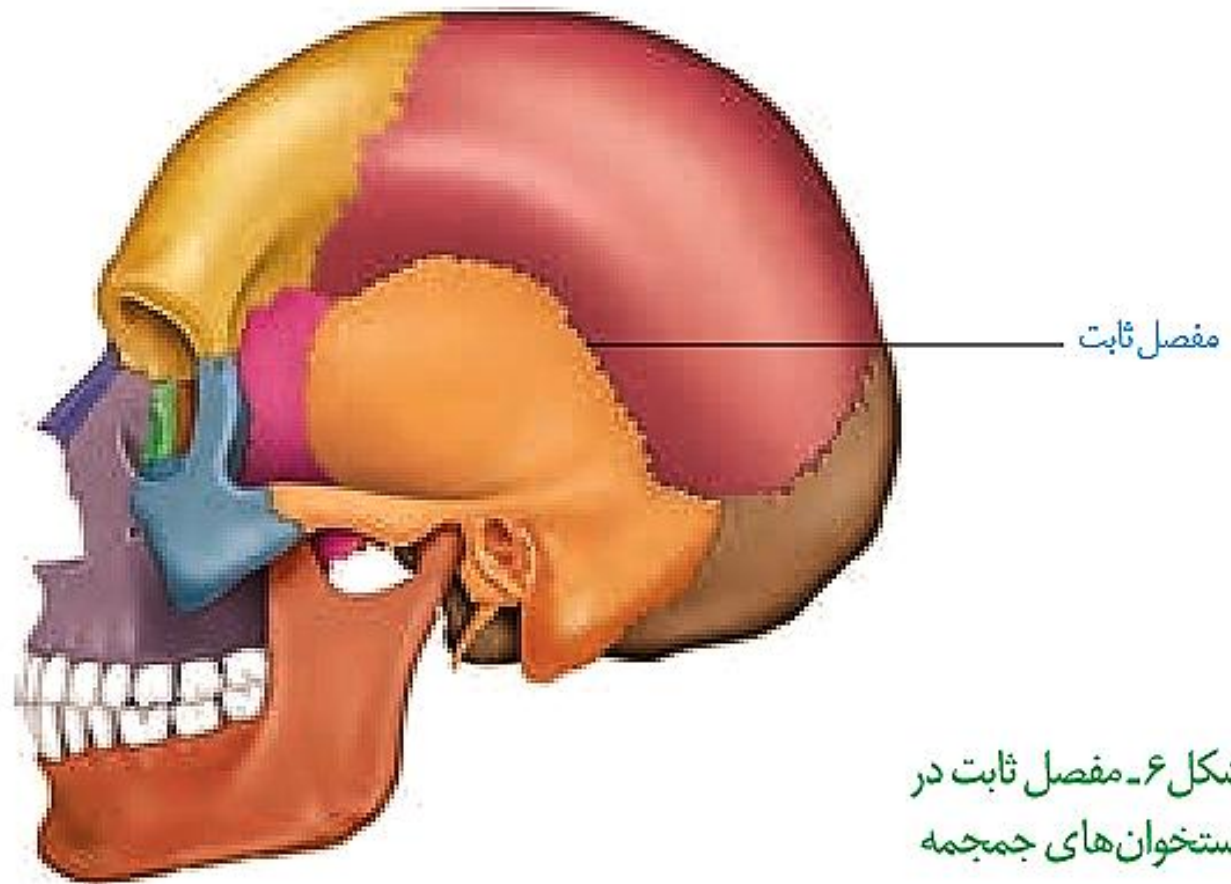
د) آیا در تحریک گیرنده های حسی زبان محرک های مکانیکی نقش دارند؟

۵) در مشاهده نزدیک چه تغییری در عدسی بوجود می آید؟ چگونه؟

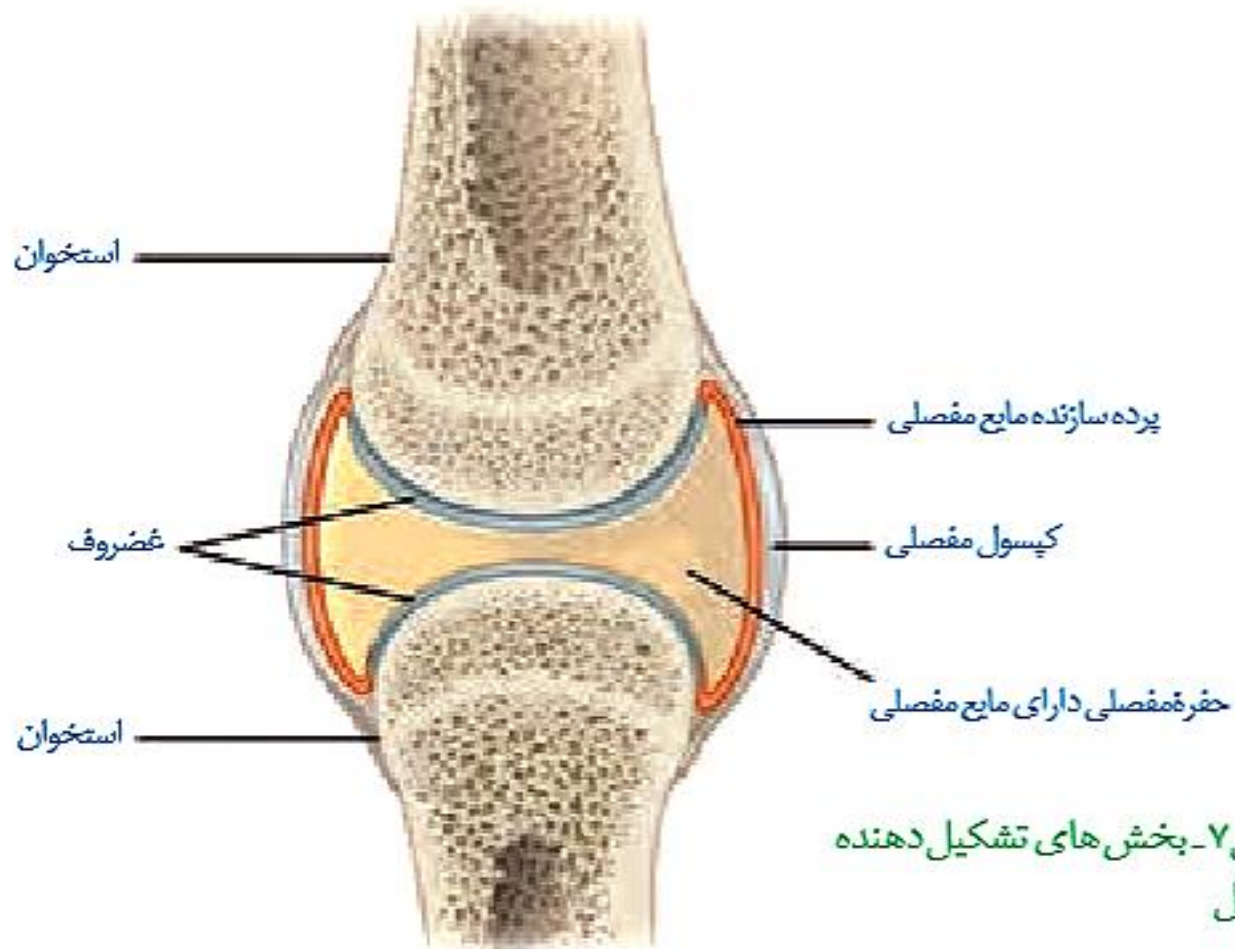
۶) یک پرتو نور با ورود به چشم و رسیدن به شبکیه از چند محیط شفاف می‌گذرد؟

مفصل

مفصل محل اتصال استخوان‌ها با هم است. در بعضی مفصل‌ها، استخوان‌ها حرکت نمی‌کنند. نمونه آن مفصل ثابت در استخوان‌های جمجمه است. جمجمه از چندین استخوان تشکیل شده است که در محل مفصل‌های ثابت لبه‌های دندانه‌دار آنها در هم فرو رفته و محکم شده‌اند



در بیشتر مفاصل ها، استخوان ها قابلیت حرکت دارند. سر استخوان ها در محل این مفاصل ها توسط بافت غضروفی پوشیده شده است. نمونه آن مفاصل های زانو، انگشتان و لگن است. استخوان ها در محل این نمونه ها توسط یک کپسول از جنس بافت پیوندی رشته ای احاطه شده اند که پر از مایع مفصلی لغزنده است. مایع مفصلی و سطح صیقلی غضروف به استخوان ها امکان می دهد که سالیان زیادی در مجاور هم لیز بخورند و اصطکاک چندانى نداشته باشند



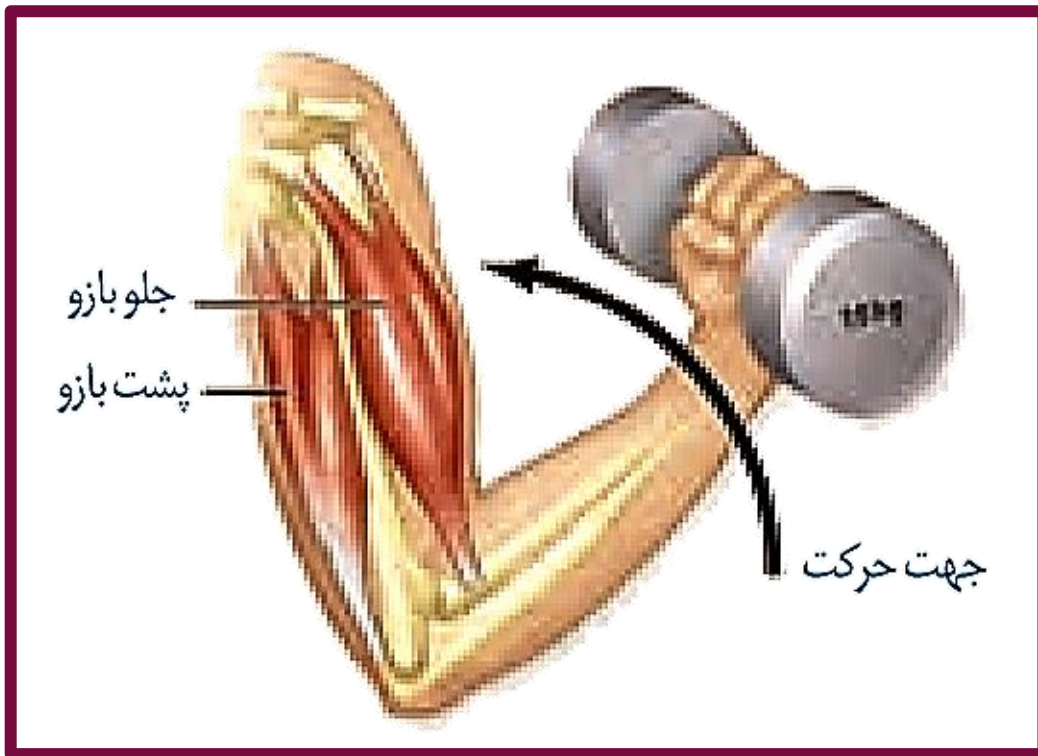
علاوه بر کپسول مفصلی، رباطها و زردپیها هم به کنار یکدیگر مانند استخوانها کمک می کنند. رباط، بافت پیوندی رشته ای محکمی است که استخوانها را به هم متصل می کند. بعضی انواع مفصل های متحرک را در شکل مشاهده می کنید. با توجه به شکل نحوه حرکت هر نوع مفصل را مقایسه کنید.

بخش صیقلی غضروفها در اثر کارکرد زیاد، ضربات، آسیبها و بعضی بیماریها تخریب می شود، ولی بدن دوباره آن را ترمیم می کند. اگر سرعت تخریب بیش از ترمیم باشد، می تواند باعث بیماری های مفصلی شود.



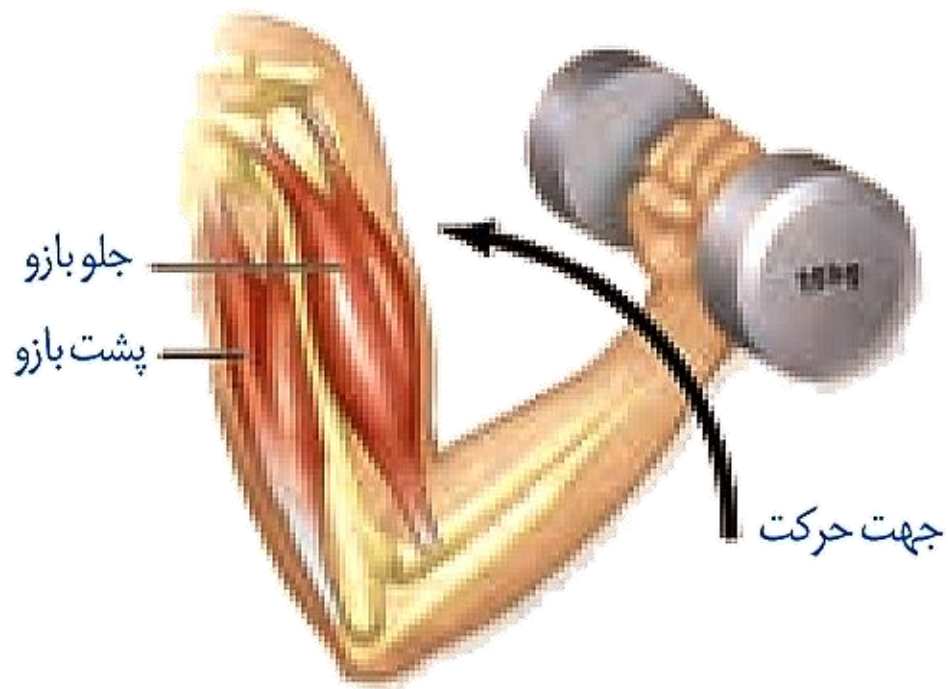
فصل ۳ : دستگاه حرکتی

گفتار دوم : ماهیچه و حرکت





بسیاری از ماهیچه‌ها به صورت جفت باعث حرکات اندام‌ها می‌شوند؛ زیرا ماهیچه‌ها فقط قابلیت انقباض دارند. انقباض هر ماهیچه فقط می‌تواند استخوانی را در جهتی خاص بکشد، ولی آن ماهیچه نمی‌تواند استخوان را به حالت قبل برگرداند، این وظیفه بر عهدهٔ ماهیچهٔ متقابل آن است. برای مثال، ماهیچه روی بازو می‌تواند ساعد را به سمت جلو یا بالا بیاورد، ولی نمی‌تواند آن را به حالت قبل برگرداند و این حرکت توسط ماهیچه پشت بازو انجام می‌شود. بنابراین، هنگامی که یکی از جفت ماهیچه‌های متقابل در حالت انقباض است، ماهیچهٔ دیگر در حال استراحت است (**شکل زیر**) همهٔ ماهیچه‌های اسکلتی باعث حرکت استخوان نمی‌شوند. شما چه ماهیچه‌های اسکلتی را می‌شناسید که به استخوان متصل نیستند؟

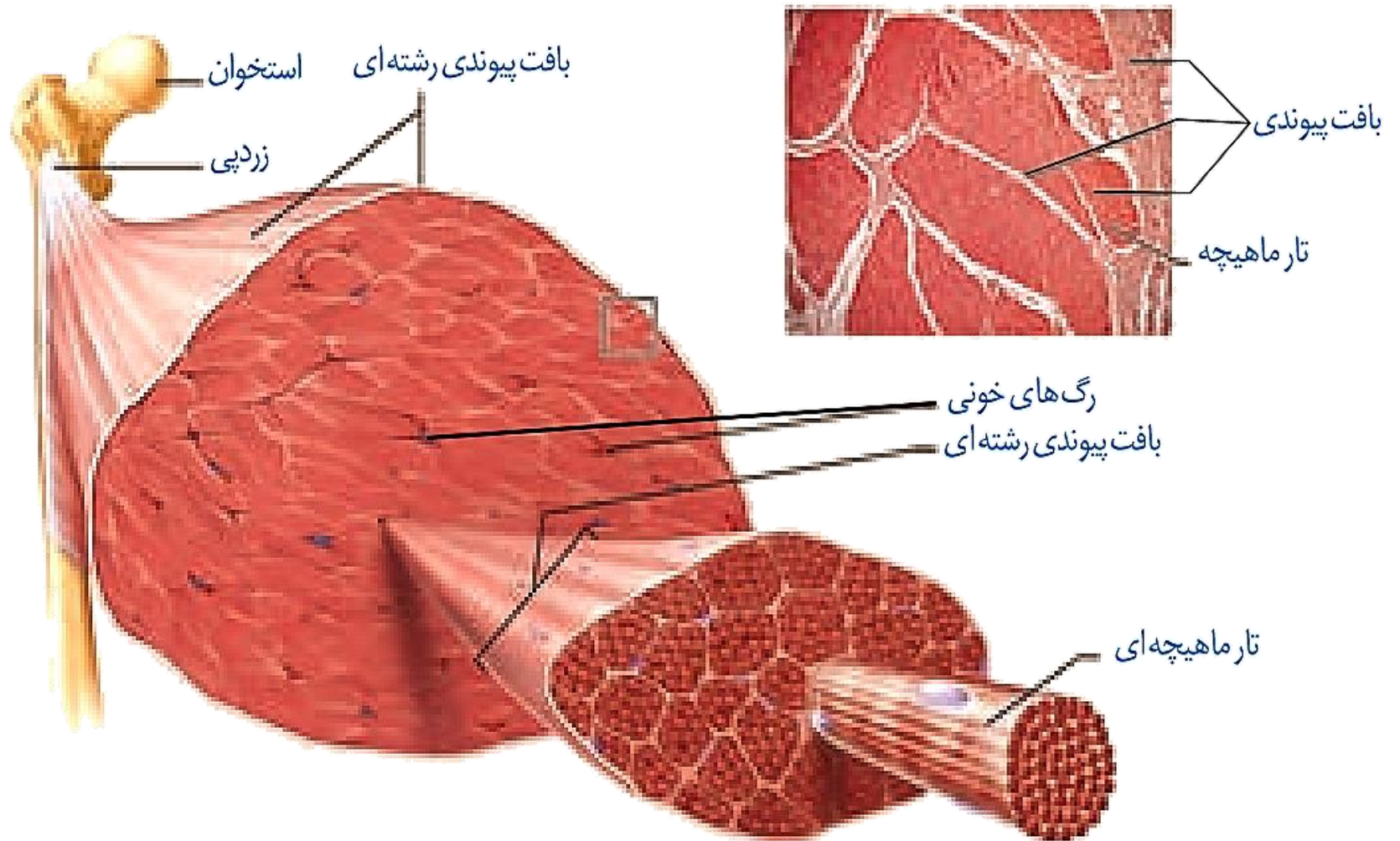


گرچه ماهیچه‌های اسکلتی تحت کنترل ارادی، هستند، ولی بعضی از این ماهیچه‌ها به صورت غیر ارادی هم منقبض می‌شوند. انقباض ماهیچه‌ها در اثر انعکاس نمونه‌ای از این انقباض‌هاست که با آنها در گذشته آشنا شدید. ماهیچه‌ها همچنین با انقباض خود در حفظ شکل و حالت بدن و ایجاد حرارت مؤثرند

وظیفه	توضیح
حرکات ارادی	ماهیچه‌ها با اتصال به استخوان‌ها باعث ایجاد حرکت ارادی می‌شوند.
کنترل دریچه‌های بدن	ماهیچه‌های اسکلتی نوعی کنترل ارادی برای دهان، مخرج و پلک‌ها ایجاد می‌کنند.
حفظ حالت بدن	ماهیچه‌ها با اتصال به استخوان‌ها و انقباض خود باعث اتصال استخوان‌ها به هم و نگهداری بدن به صورت قائم می‌شوند.
ارتباطات	ماهیچه‌های اسکلتی با کمک به سخن گفتن، نوشتن یا رسم شکل و ایجاد حالات مختلف چهره، در برقراری ارتباط ایفای نقش می‌کنند.
حفظ دمای بدن	فعالیت‌های سوخت و ساز در یاخته‌های ماهیچه‌ای باعث ایجاد گرمای زیادی می‌شود که می‌تواند در حفظ دمای مناسب بدن مؤثر باشد.

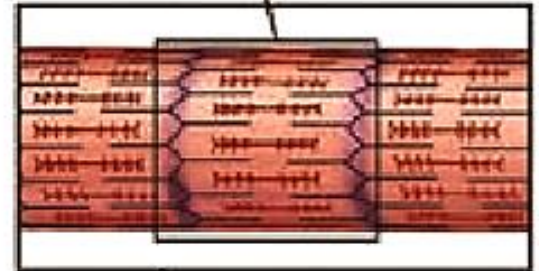
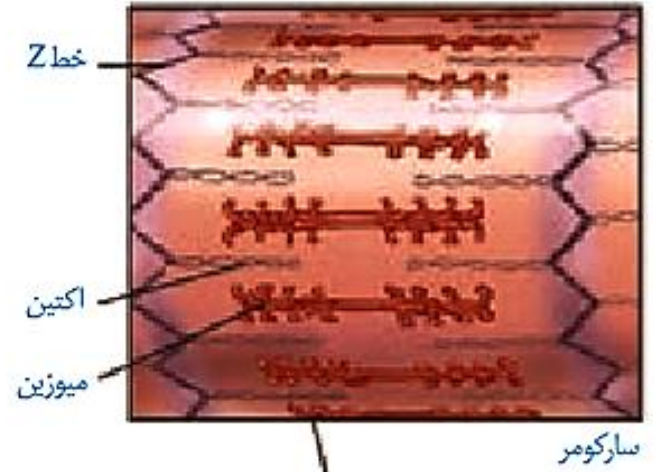
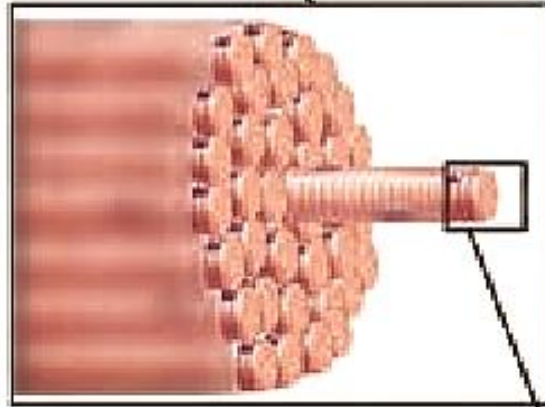
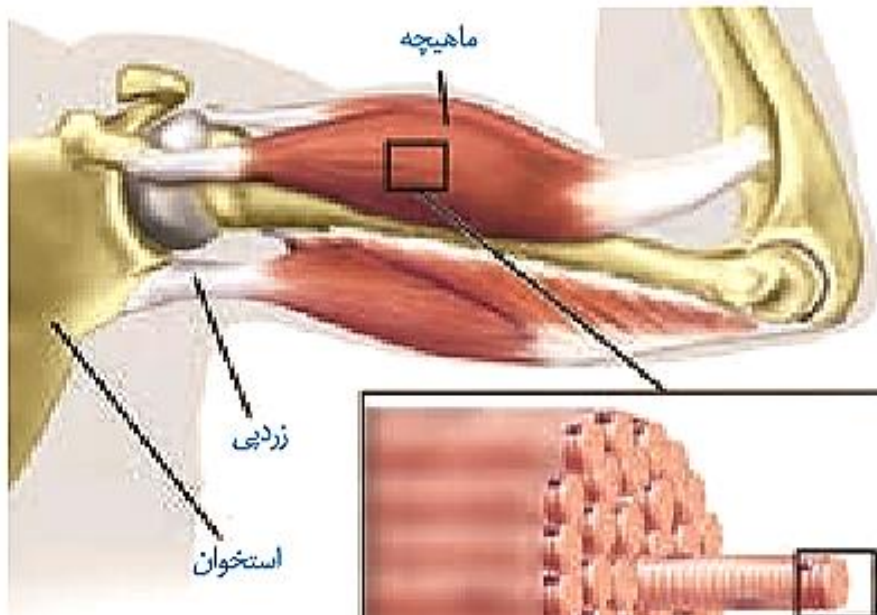
ساختار ماهیچه اسکلتی

یک ماهیچه اسکلتی مانند آنچه که در شکل زیر دیده می‌شود از چندین دسته تار ماهیچه‌ای تشکیل شده است. هر دسته تار ماهیچه‌ای از تعدادی یاخته یا تار ماهیچه‌ای تشکیل شده است. این دسته تارها با غلافی از بافت پیوندی رشته‌ای محکم احاطه شده است. این غلاف‌های پیوندی در انتها، به صورت طناب یا نواری محکم به نام **زردپی** در می‌آیند (**شکل زیر**) زردپی‌های دو انتهای ماهیچه، به استخوان‌های مختلف متصل می‌شوند. با انقباض ماهیچه، دو استخوان به طرف هم کشیده می‌شوند. نحوه اتصال ماهیچه به استخوان طوری است که معمولاً با تغییر کوتاهی در طول ماهیچه، استخوان به اندازه زیادی جابه‌جا می‌شود. مثلاً با کوتاه شدن حدود یک سانتی‌متر ماهیچه جلوی بازو، ساعد دست به اندازه زیادی حرکت می‌کند.

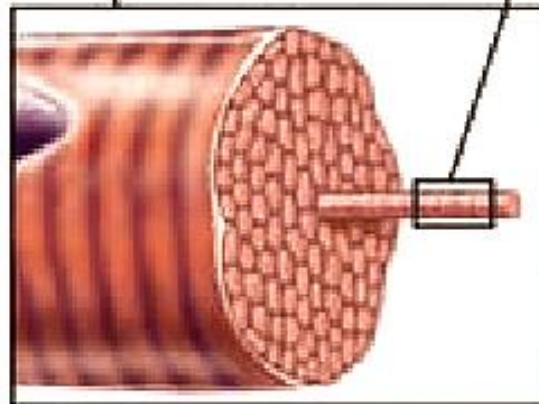


یاخته (تار) ماهیچه اسکلتی: در شکل زیر، یاخته‌های ماهیچه‌ای مانند استوانه‌ای با چندین هسته دیده می‌شوند. در واقع هر یاخته از به هم پیوستن چند یاخته در دوره جنینی ایجاد می‌شود و به همین علت چند هسته دارد. درون هر یاخته، تعداد زیادی رشته به نام **تارچه ماهیچه‌ای** وجود دارد که موازی هم در طول یاخته قرار گرفته‌اند

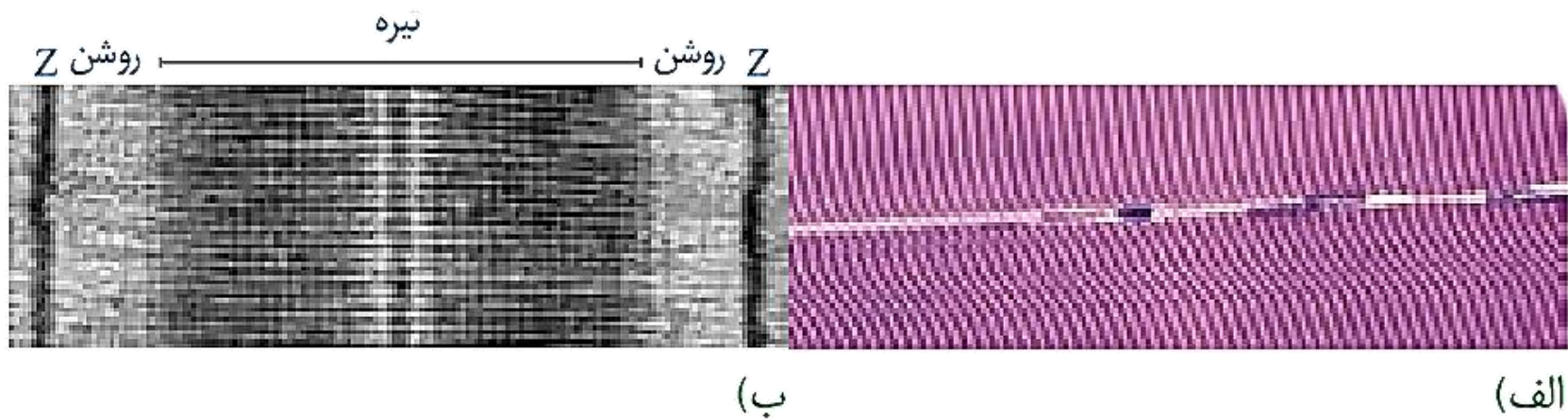
تارچه‌ها از واحدهای تکراری به نام **سارکومر** تشکیل شده‌اند که به تار ماهیچه‌ای ظاهر مخطط (خط خط) می‌دهند. دو انتهای هر سارکومر خطی به نام **خط Z** دیده می‌شود. آیا با توجه به شکل می‌توانید علت این نام‌گذاری را حدس بزنید؟ ظاهر مخطط این یاخته‌ها به دلیل وجود دو نوع رشته پروتئینی اکتین و میوزین است که با آرایش خاصی در کنار هم قرار گرفته‌اند. رشته‌های اکتین نازک و از یک طرف به خط Z متصل‌اند. این رشته‌ها به درون سارکومر کشیده شده‌اند. رشته‌های میوزین، ضخیم و بین رشته‌های اکتین جاگرفته‌اند. این رشته‌ها سرهایی برای اتصال به اکتین دارند. آیا می‌توانید با توجه به شکل زیر و نحوه قرارگیری رشته‌های اکتین و میوزین در شکل زیر علت تیره و روشن دیده شدن این تارهای ماهیچه‌ای را بیان کنید؟



تارچه ماهیچه‌ای



تار ماهیچه‌ای



تصویر میکروسکوپی از
 (الف) ساختار ماهیچه مخطط و (ب) سارکومر



بخش‌های مختلف مولکول میوزین

مکانیسم انقباض ماهیچه

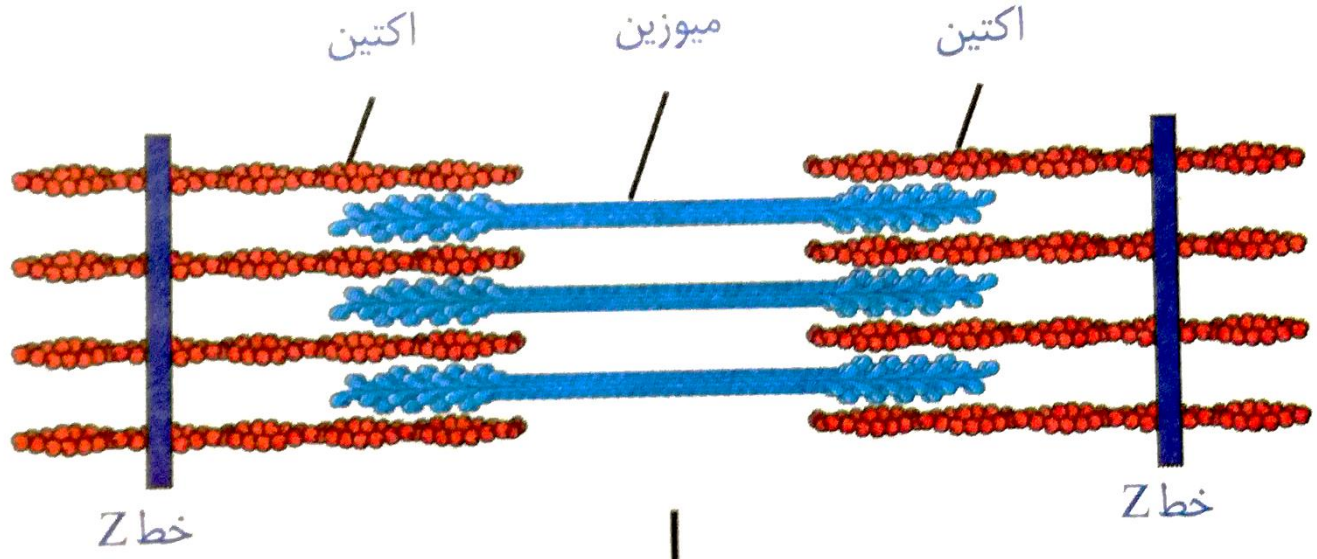
با رسیدن پیام از مراکز عصبی، تحریک از طریق همایه ویژه‌ای از یاخته عصبی به یاخته ماهیچه‌ای می‌رسد و ناقل عصبی از پایانه یاخته عصبی آزاد می‌شود. با اتصال این ناقلین به گیرنده‌های خود در سطح یاخته ماهیچه‌ای، یک موج تحریکی در طول غشای یاخته ایجاد می‌شود. با تحریک یاخته ماهیچه‌ای، یون‌های کلسیم از شبکه آندوپلاسمی آن آزاد می‌شود. در نتیجه این عمل، سرهای پروتئین‌های میوزین به رشته‌های اکتین متصل می‌شوند.

با اتصال پروتئین‌های میوزین به اکتین و تغییر شکل آن، خطوط Z سارکومر به هم نزدیک می‌شوند. نزدیک شدن خطوط Z باعث کوتاه شدن سارکومرها و در کل، کاهش طول ماهیچه می‌شود.

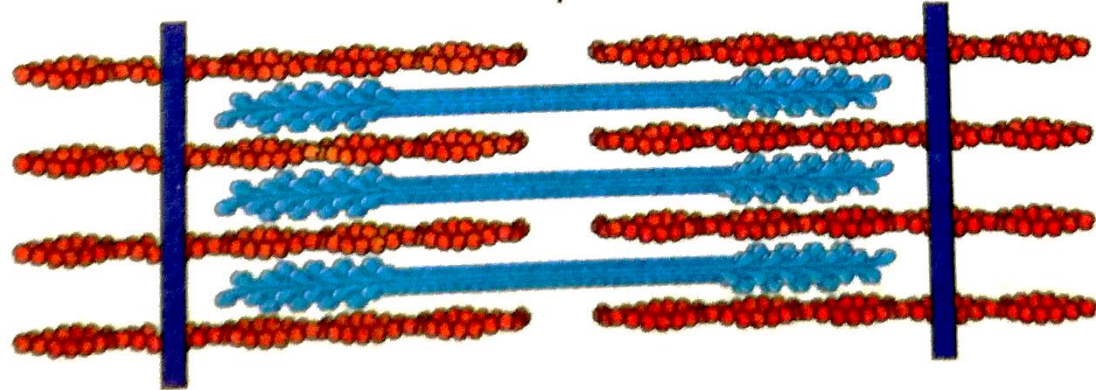
لغزیدن میوزین و اکتین در مجاورت هم به انرژی نیاز دارد. برای این کار، باید پل های اتصال میوزین و اکتین دائماً تشکیل و با حرکتی مانند پارو زدن، خطوط Z به سمت هم کشیده شوند؛ سپس سرهای متصل جدا و به بخش جلوتر وصل شوند. این لیز خوردن، اتصال و جدا شدن سرهای میوزین صدها مرتبه در ثانیه تکرار و در نتیجه ماهیچه اسکلتی منقبض می شود .

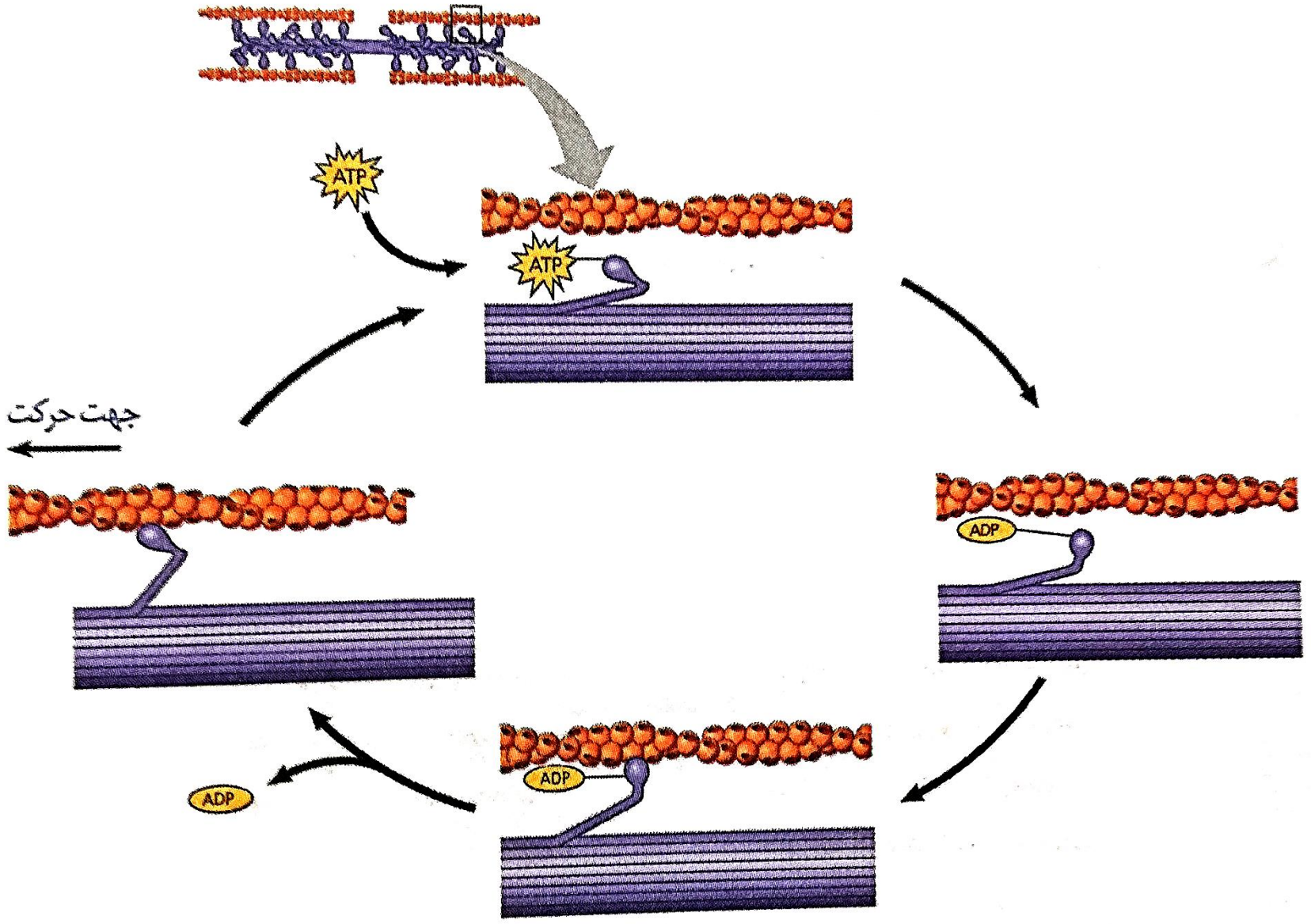
توقف انقباض: با توقف پیام عصبی انقباض، یون های کلسیم به سرعت با انتقال فعال به شبکه آندوپلاسمی بازگردانده و در نتیجه اکتین و میوزین از هم جدا می شوند. در این حال، سارکومر تا زمان رسیدن پیام عصبی بعدی در حالت استراحت می ماند.

استراحت



انقباض





تأمین انرژی انقباض

بیشتر انرژی لازم برای انقباض ماهیچه‌ها از سوختن گلوکز به دست می‌آید. در ماهیچه‌ها گلیکوژن به صورت ذخیره وجود دارد و در صورت لزوم به گلوکز تجزیه می‌شود. در صورت وجود اکسیژن، تجزیه گلوکز می‌تواند تا چند دقیقه انرژی لازم برای ساخت ATP را فراهم کند. برای انقباض طولانی‌تر، ماهیچه‌ها از اسیدهای چرب استفاده می‌کنند.

ماده‌ی دیگر کراتین فسفات است که طبق واکنش زیر می‌تواند با دادن فسفات خود، مولکول ATP را به سرعت بازتولید کند.



ماهیچه‌ها برای تجزیه‌ی کامل گلوکز به اکسیژن نیاز دارند. در فعالیت‌های شدید که اکسیژن کافی به ماهیچه‌ها نمی‌رسد، تجزیه‌ی گلوکز به صورت بی‌هوازی انجام می‌شود. در اثر این واکنش‌ها لاکتیک اسید تولید می‌شود که در ماهیچه انباشته می‌شود. انباشته شدن لاکتیک اسید پس از تمرینات ورزشی طولانی، باعث گرفتگی و درد ماهیچه‌ای می‌شود. لاکتیک اسید اضافی به تدریج تجزیه می‌شود و اثرات درد و گرفتگی ماهیچه‌ای کاهش می‌یابد.

انواع یاخته‌های بافت ماهیچه‌ای

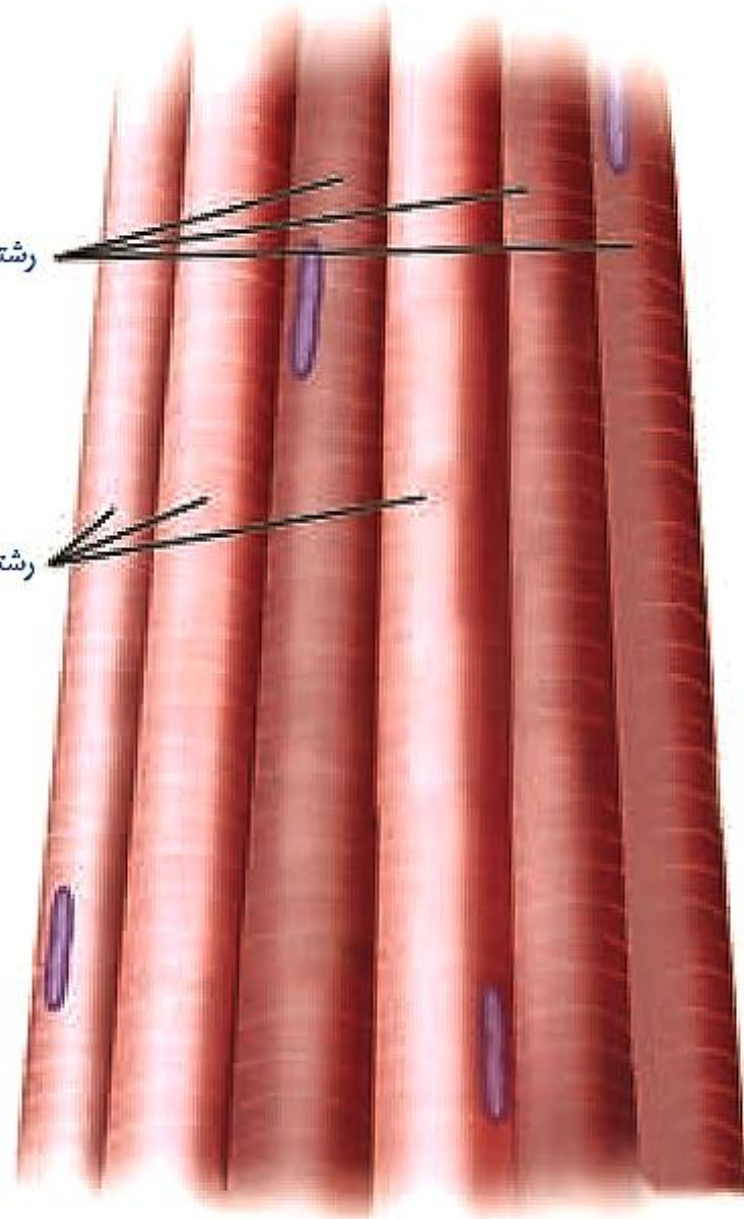
یاخته‌های ماهیچه‌ای را می‌توان به دو نوع یاخته‌های تند و کند تقسیم کرد. این تقسیم‌بندی براساس سرعت انقباض است. بسیاری از ماهیچه‌های بدن هر دو نوع یاخته را دارند. تار ماهیچه‌ای نوع کند، برای حرکات استقامتی مانند شنا کردن ویژه شده‌اند. این تارها مقدار زیادی رنگ دانه قرمز به نام **میوگلوبین** (شبيه هموگلوبین) دارند که می‌توانند مقداری اکسیژن را ذخیره کنند. این تارها بیشتر انرژی خود را به روش هوازی به دست می‌آورند

تارهای ماهیچه‌ای تند (یا سفید) سریع منقبض می‌شوند. این تارها مسئول انجام انقباضات سریع مثل دوی سرعت و بلند کردن وزنه‌اند. این تارها تعداد میتوکندری کمتری دارند و انرژی خود را بیشتر از راه تنفس بی‌هوازی به دست می‌آورند. مقدار میوگلوبین این تارها هم کمتر است. این تارها سریع انرژی خود را از دست می‌دهند و خسته می‌شوند. افراد کم تحرک، دارای تار ماهیچه‌ای تند بیشتری هستند که با ورزش، تارهای نوع تند به نوع کند تبدیل می‌شوند

رشته‌های ماهیچه‌ای کند

رشته‌های ماهیچه‌ای تند

تارهای ماهیچه‌ای تند و کند



تار کند	تار تند	
زیاد	کم	تعداد میتو کندی
قرمز تیره	روشن	رنگ
کم	زیاد	سرعت انقباض
هوازی	بیشتر بی هوازی	نوع تنفس
زیاد	کم	مقدار میوگلوبین
زیاد	کم	استقامت

الف) به نظر شما چه تفاوت‌هایی بین دوندگان دوی صدمتر و ماراتن از نظر تعداد و درصد تارهای ماهیچه‌ای تند و کند وجود دارد؟

ب) کدام گروه هنگام فعالیت ورزشی حرفه‌ای خود به اکسیژن نیاز بیشتری دارند؟

پ) مقدار میوگلوبین ماهیچه‌های مؤثر در ورزش حرفه‌ای این ورزشکاران چه تفاوتی دارد؟

حرکت در جانوران

جانوران حداقل در بخشی از زندگی خود می‌توانند از جایی به جای دیگری حرکت کنند. شیوه‌های حرکتی در جانوران بسیار متنوع است. شناکردن، پروازکردن، دویدن و خزیدن، نمونه‌هایی از این حرکات اند. با این وجود، اساس حرکت در جانوران مشابه است؛ برای حرکت در یک سو، جانور باید نیرویی در خلاف آن وارد کند. برای انجام حرکت، جانوران نیازمند ساختارهای اسکلتی و ماهیچه‌ای هستند.

ساختار اسکلت در جانوران متفاوت است، ولی می‌توان انواع اسکلت در جانوران را به سه گروه آب‌ایستایی^۱، بیرونی و درونی طبقه‌بندی کرد. اسکلت آب‌ایستایی در اثر تجمع مایع درون بدن به آن شکل می‌دهد. عروس دریایی اسکلت آب‌ایستایی دارد. ضمناً در این جانوران، با فشار جریان آب به بیرون، جانور به سمت مخالف حرکت می‌کند. این حالت مانند حرکت بادکنک هنگام خالی شدن هوای آن است و باعث رانده شدن بادکنک در خلاف جهت خروج هوا می‌شود.

حشرات و سخت‌پوستان نمونه‌هایی از جانوران دارای اسکلت بیرونی هستند. در این جانوران، اسکلت علاوه بر کمک به حرکت، وظیفهٔ حفاظتی هم دارد. با افزایش اندازهٔ جانور، اسکلت خارجی آن هم باید بزرگ‌تر و ضخیم‌تر شود. بزرگ بودن اسکلت خارجی، باعث سنگین‌تر شدن آن می‌شود که در حرکات جانور محدودیت ایجاد می‌کند. به همین علت، اندازهٔ این جانوران از حدّ خاصی بیشتر نمی‌شود.

مهره‌داران اسکلت درونی دارند. در انواعی از ماهی‌ها مانند کوسه‌ماهی، جنس این اسکلت از نوع غضروفی است، ولی در سایر مهره‌داران استخوانی است که غضروف نیز دارد. ساختار استخوان در این جانوران بسیار شبیه ساختار استخوان انسان است.

پایان فصل ۳