

## خلاصه بیومکانیک پایه

### فصل اول: مفاهیم پایه ای بیومکانیک

تعریف کینماتیک: عبارتست از توصیف حرکت یا جابجایی یک سگمان بدون در نظر گرفتن نیرو.

پنج متغیر کینماتیکی برای توصیف کامل حرکت یا جابجایی وجود دارد:

(۱) نوع جابجایی (حرکت) (۲) محل جابجایی در فضا (۳) جهت جابجایی (۴) اندازه یا بزرگی جابجایی (۵) سرعت جابجایی یا سرعت تغییر جابجایی<sup>۱</sup>

**انواع جابجایی:** (۱) حرکت انتقالی (جابجایی خطی)؛<sup>۲</sup> (۲) حرکت چرخشی؛<sup>۳</sup> (۳) حرکت عمومی: ترکیب دو نوع حرکت پایه ای قبلی

#### • مقایسه حرکت ترنسلیتوری و چرخشی

حرکت ترنسلیتوری	حرکت چرخشی
حرکت سگمان در یک خط مستقیم صورت می پذیرد	حرکت سگمان حول یک محور ثابت (مرکز چرخش یا CoR) در یک مسیر قوسی صورت می پذیرد
هر نقطه روی سگمان، در زمان یکسان، فاصله برابری را طی می کند	هر نقطه روی سگمان در زمان یکسان، زاویه یکسانی را خواهد پیمود
موبیلیزاسیون مفصل با استفاده از لغزش (Slide or Glide) سطوح مفصلی یک مثال بالینی از حرکت انتقالی است	در واقعیت هیچ یک از سگمان های بدن حول محور های ثابت واقعی حرکت نمی کنند
آزمون کشویی قدامی (Ant. drawer test)، تست بررسی پارگی ACL، مثالی دیگر از حرکت ترنسلیتوری است.	محور تمامی مفاصل حین حرکت حداقل کمی جابجا می شود

**نیرو:** تمامی نیروها، کمیت های برداری<sup>۴</sup> هستند. برای توصیف کامل یک بردار در یک آنالیز بیومکانیکی باید اندازه، جهت گیری فضائی<sup>۵</sup>، جهت و نقطه اثر یا اعمال نیرو<sup>۶</sup> مشخص گردد.

**مرکز ثقل جسم:** نقطه اثر نیروی جاذبه روی یک جسم، مرکز ثقل<sup>۷</sup> آن جسم یا سگمان نام دارد. در یک جسم قرینه، مرکز ثقل در مرکز هندسی شی قرار می گیرد و در یک جسم غیر قرینه، مرکز ثقل به سمت انتهای سنگین تر آن واقع می شود.

• در واقعیت، یک شخص به صورت یک شی سخت نیست و در وضعیت آناتومیک ثابت باقی نمی ماند بلکه حین حرکت دائماً وضعیت سگمان ها نسبت به یکدیگر تغییر می کند؛ لذا موقعیت مرکز ثقل نیز ممکن است تغییر کند.

• برای آنکه یک جسم پایدار باشد خط جاذبه باید در داخل قاعده اتکاء قرار گیرد. هر چه قاعده اتکاء یک شی بزرگ تر باشد و مرکز ثقل به سطح اتکاء نزدیک تر باشد جسم پایدار تر خواهد بود.

• بردار هل دادن (Push vector) در جهت دور شدن از منبع مقاوم خارجی است (شکل ۷A-1) و بردار کشیدن (Pull vector) به سمت منبع مقاوم خارجی است

• وقتی سگمان های به هم متصل، جرم برابری نداشته باشند، مرکز ثقل جدید به سگمان سنگین تر نزدیک تر خواهد بود.

<sup>1</sup>. Velocity or acceleration

<sup>2</sup>. Translatory Motion

<sup>3</sup>. Rotatory Motion

<sup>4</sup>. Vector

<sup>5</sup>. Spatial Orientation

<sup>6</sup>. Point of Application

<sup>7</sup>. Center of Mass; CoM

## قوانین نیوتن

قانون سوم نیوتن (عمل - عکس العمل)	قانون دوم نیوتن (قانون شتاب) رابطه نیرو (گشتاور) - شتاب	قانون اول نیوتن (قانون اینرسی)
برای هر عملی، یک عکس العمل برابر و در جهتی مخالف وجود دارد	شتاب خطی (a) یا شتاب زاویه ای (α) یک شی به ترتیب با نیروهای بالانس نشده <sup>۱</sup> یا گشتاورهای بالانس نشده <sup>۲</sup> خالص <sup>۲</sup> روی جسم متناسب است.	شرایطی را تعریف می کند که یک جسم در تعادل باقی می ماند
هرگاه نیروهای عکس العمل از فشار یک جسم روی دیگری نشأت می گیرد اغلب از آنها به عنوان نیروهای تماسی (F <sub>c</sub> ) یاد می شود	شتاب خطی یک جسم مستقیماً با نیروی ایجاد کننده ی آن متناسب است و رابطه معکوس با جرم جسم دارد. این رابطه با فرمول $F = m \times \Sigma a$ بیان می شود.	یک شی در استراحت (سکون) یا حرکت یکنواخت (بدون تغییر) باقی خواهد ماند مگر آنکه تحت تاثیر یک نیروی بالانس نشده <sup>۳</sup> (خالص یا برآیند) قرار گیرد
وقتی دو شی با هم تماس داشته باشند هر دو با اندازه برابری یکدیگر را لمس می کنند	شتاب زاویه ای یک شی مستقیماً با گشتاور ایجاد کننده ی آن رابطه دارد و رابطه معکوس با گشتاور اینرسی جرم <sup>۴</sup> آن شی دارد. این رابطه که رابطه گشتاور- شتاب زاویه ای نام دارد با فرمول $\Sigma T = I \times \alpha$ بیان می شود.	بیان ریاضی قانون اینرسی نیوتن (یا قانون تعادل): برای آنکه یک جسم در تعادل باشد باید جمع جبری تمامی نیروها (F) یا جمع جبری تمامی گشتاورهای (τ) وارده بر آن جسم برابر با صفر باشد ( $\Sigma F = 0$ and $\Sigma \tau = 0$ )

### □ چند نکته مهم:

- بنابراین جسمی که در تعادل است می تواند سرعتی با هر مقدار داشته باشد اما سرعت بدون تغییر باقی می ماند
- اگر فقط و فقط یک نیرو روی یک شی عمل کند جمع نیروها یا گشتاورها نمی تواند صفر باشد. وقتی جمع نیروها یا گشتاورهای عمل کننده روی یک شی صفر نباشد، آن شی باید دارای شتاب باشد.
- گشتاور اینرسی جرم (Mass moment of inertia) کمیتی است که بیانگر مقاومت یک شی در برابر تغییر در سرعت زاویه ای می باشد. برخلاف اینرسی (جزء خطی آن)، گشتاور اینرسی جرم نه فقط به جرم شی بلکه شاید مهم تر از آن به چونگی توزیع جرم آن نسبت به محور چرخش بستگی دارد
- هر چقدر جرم یا گشتاور اینرسی یک شی بیشتر باشد، به نیروی خالص یا گشتاور خالص بیشتری برای به حرکت در آوردن شی یا تغییر سرعت آن نیاز است
- کاهش گشتاور اینرسی جرم اندام تحتانی باعث کاهش گشتاور مورد نیاز عضلات هیپ جهت شتاب دادن و کم کردن شتاب اندام حین مرحله آونگی می شود (شکل ۱۳ - ۱)
- یک شیرجه زن در مرحله ابتدایی، گشتاور اینرسی جرم را کاهش می دهد، و این سرعت زاویه ای فقرات را افزایش می دهد. در مراحل بعدی، اندامها را به طور پیشرونده از محور دور تر می کند و در نتیجه سرعت سرعت زاویه ای مرتباً کاهش می یابد (شکل ۱۴ - ۱).

<sup>1</sup> . F unbalanced

<sup>2</sup> .T unbalanced

<sup>3</sup> . Unbalanced Force

<sup>4</sup> . Mass Moment of Inertia

## سیستم های نیرو

سیستم نیروی خطی <sup>۱</sup>	سیستم نیروی متقاطع <sup>۲</sup>	سیستم های نیروی موازی <sup>۳</sup>
دو یا چند نیرو در یک صفحه و در یک خط روی یک سگمان عمل می کنند	دو یا چند نیروی اعمال شده به یک جسم روی یک خط نیستند بلکه با زاویه ای یکدیگر را قطع نموده و روی جسم نقطه اثر <sup>۴</sup> یکسانی دارند. (شکل ۱۷ - ۱)	سیستم نیروی موازی زمانی وجود دارد که دو یا چند نیروی اعمال شده به یک جسم با یکدیگر موازی باشند. زوج نیرو بخشی از یک سیستم نیروی موازی است.
اثر خالص یا برآیند تمامی نیروهای تشکیل دهنده سیستم نیروی خطی از طریق جمع جبری اندازه نیروها و با در نظر گرفتن علامت مثبت و منفی آنها تعیین می شود.	اثر خالص یا برآیند نیروهای متقاطع در نقطه ی اثر مشترک (نقطه تقاطع) $F = \sqrt{[f_1^2 + f_2^2 - 2(f_1)(f_2)(\cos \beta)]}$ و $\beta = 180 - \alpha$ ، $\alpha$ = زاویه بین دو نیرو)	گشتاور خالص حاصل از نیروها در سیستم نیروی موازی با جمع زدن گشتاور مربوط به هر نیرو (همراه با علامت آن) بدست می آید

- وقتی بردار های اعمال شده بر سگمان یکسان، دارای خطوط عملی باشند که در یک صفحه و بر یک امتداد واقع شوند (اصطلاحاً Colinear و Coplanar)، این دو بردار به عنوان بخشی از یک سیستم نیروی خطی در نظر گرفته می شوند.
- اگر دو نیرو هم راستا<sup>۵</sup> باشند ولی هم صفحه<sup>۶</sup> نباشند، موازی با یکدیگر در نظر گرفته می شوند
- اگر دو نیرو هم صفحه باشند ولی هم راستا نباشند، با زاویه نسبت به هم قرار گرفته و سیستم نیروی متقاطع را می سازند

## انواع نیرو

تعریف	نوع نیرو
<ul style="list-style-type: none"> <li>• نیروهای کششی، در یک راستا<sup>۷</sup> و در یک صفحه<sup>۸</sup> هستند و به یک جسم اعمال می شوند، همیشه از لحاظ اندازه برابر و در جهت مخالف اند و موازی با محور بلند جسم اعمال می شوند</li> <li>• بردارهای کششی بخشی از یک سیستم نیروی خطی می باشند</li> </ul>	نیرو کششی
<ul style="list-style-type: none"> <li>• کشش یا حرکت یک سگمان استخوانی در جهت دور شدن از سگمان دیگر، دیستراکشن مفصل نام دارد</li> <li>• نیروهای دیستراکتیو بر سطح مفصلی که بر آن اعمال می گردند، عمود بوده و سعی در جدا شدگی سطوح مفصلی دارند</li> <li>• برای ایجاد تنش کپسولی لیگامانی یا عضلانی، در سطوح مفصلی به نیروهای دیستراکتیو نیاز است.</li> </ul>	جدا شدگی (دستراکشن) مفصل
روی هر یک از سگمان های مفصل نیرویی وارد می شود که بر سطح مفصلی عمود بوده و جهتی به طرف مفصل دارد.	نیروی عکس العمل مفصل
<ul style="list-style-type: none"> <li>• دو نیروئی که باعث نیروهای عکس العمل مفصلی می شوند نیروهای کمپرسیون نام دارند</li> <li>• برای هل دادن سطوح مفصلی به یکدیگر و ایجاد نیروهای عکس العمل مفصلی، به نیروهای فشارنده (کمپرسیو) نیاز است</li> </ul>	نیروی کمپرسیون مفصل

1. Linear force system

2. Concurrent force system

3. Parallel force

4. Point of application

5. Colinear

6. Coplanar

7. Co-linear

8. Co-planar

نیروی برشی	نیروئی که یک شی را روی دیگری حرکت می دهد یا سعی در حرکت دادن آن دارد یک نیروی برشی ( $F_s$ ) نام دارد
نیروی اصطکاک (شکل ۲۳-۱)	<ul style="list-style-type: none"> <li>هر وقت یک نیروی تماسی روی جسم وجود داشته باشد، نیروی اصطکاک (<math>F_f</math>) به صورت بالقوه روی آن جسم وجود دارد</li> <li>نیروی اصطکاک را می توان مورد خاصی از یک نیروی برشی در نظر گرفت زیرا هر دو موازی با سطوح تماسی هستند؛ اما اصطکاک، نیروئی است که همیشه در خلاف جهت حرکت یا حرکت ممکنه وجود دارد</li> </ul>

#### □ چند نکته:

- کپسول ها نمی توانند نیروی هل دادن یا Push ایجاد کنند
- نیرو های عکس العمل همیشه در یک خط واقع اند و به دو جسم مختلف اما در تماس با هم اعمال می شوند
- چون نقطه اثر نیرو های عکس العمل هرگز روی یک جسم نمی باشد نیروهای عکس العمل هرگز بخشی از یک سیستم نیرو یکسان نیستند و نمی توان آنها را ترکیب کرد
- زمانی که نیرو های عکس العمل از به هم هل دادن سطوح در تماس ایجاد می شود به این جفت نیرو، اغلب نیرو های تماسی ( $F_c$ )<sup>۱</sup> گفته می شود.
- زمانی که نیرو های تماسی بر سطوح ایجاد کننده عمود باشد از واژه نیروی نرمال ( $F_N$ ) نیز استفاده می شود. بنابراین نیرو های تماسی زیر مجموعه ای از نیرو های عکس العمل هستند.
- نیروهای تنشی (یا نیرو های کششی) به وسیله ی دو نیروی کشش (Pull) مخالف هم روی یک جسم تولید می شوند.

#### □ چند نکته در مورد نیروی اصطکاک :

- اندازه نیروی اصطکاک روی یک شی همیشه تابعی از اندازه نیروی تماسی بین اجسام و میزان لغزندگی<sup>۲</sup> یا زبری<sup>۳</sup> سطوح تماسی است.
- اندازه سطح تماس بر اندازه اصطکاک اثری ندارد.
- هرگز اندازه نیروی اصطکاک از اندازه نیرو یا نیروهای برشی فراتر نمی رود.
- اصطکاک می تواند با حرکت یک سگمان مخالفت کند اما حرکت را ایجاد نمی کند
- در شرایط استاتیک، حداکثر اندازه نیروی اصطکاک استاتیک ( $F_{fs}$ ) روی هر شی برابر است با حاصلضرب یک مقدار ثابت به نام ضریب اصطکاک استاتیک ( $\mu_s$ ) و اندازه نیروی تماسی ( $F_c$ ):  $F_{fs} \leq \mu_s F_c$
- وقتی که شی حرکت کند اندازه نیروی اصطکاک جنبشی ( $F_{fk}$ ) روی جسم، مقدار ثابتی بوده و برابر است با حاصل ضرب نیروی تماسی و ضریب اصطکاک جنبشی:  $F_{fk} = (\mu_k) (F_c)$
- در هر شرایط، همیشه ضریب اصطکاک جنبشی از ضریب اصطکاک استاتیک کوچک تر است. لذا اندازه نیروی اصطکاک درست قبل از به حرکت درآمدن شی بیشترین مقدار است، در این لحظه نیروی برشی با حداکثر مقدار اصطکاک استاتیک هم اندازه است.

#### نکات مهم درباره نیرو های اصطکاک و برشی

- هر وقت دو جسم در تماس باشند پتانسیل نیروهای برشی و اصطکاک وجود دارد.
- یک نیروی برشی، نیرویی است (یا مولفه ای از نیروست) که با سطح تماس جسم (یا تماس بر یک سطح منحنی)، موازی می باشد و سعی دارد بین دو جسم در تماس با هم، حرکت ایجاد کند و در جهت حرکت یا حرکت محتمل اعمال می شود.

<sup>1</sup> . Contact Forces

<sup>2</sup> . Slipperness

<sup>3</sup> . Roughness

- نیروی اصطکاک، موازی با سطح تماس (یا مماس بر سطح منحنی) یک جسم می باشد و همیشه در جهت مخالف با حرکت محتمل یا نسبی بین دو سطح در تماس می باشد.
- اصطکاک فقط زمانی دارای مقدار می باشد که یک نیروی برشی خالص (برآیند) روی جسم وجود داشته باشد.
- با تغییر دادن نیروی خالص برشی اعمال شده بر یک جسم، مقدار نیروی اصطکاک استاتیک می تواند تغییر کند؛ اما صرف نظر از اندازه نیرو یا نیروهای برشی وارده بر جسم یا سرعت جسم در حال حرکت، مقدار اصطکاک جنبشی یکسان باقی می ماند.
- بزرگی اصطکاک هرگز نمی تواند از اندازه ی نیروی خالص برشی وارده بر جسم بیشتر باشد.

### اثرات اعمال نیرو بر جسم

- (۱) اعمال یک نیروی ایزوله روی یک جسم (بدون قید و اتصال) به طوری که از مرکز ثقل آن رد شود باعث جابجائی خطی (حرکت انتقالی) شی در جهت نیروی خالص می گردد (شکل ۲۴-۱).
  - (۲) وقتی نیروی خالص وارده بر جسم (بدون قید و اتصال) از مرکز ثقل جسم رد نشود، ترکیبی از حرکت چرخشی و انتقالی جسم (حرکت عمومی) اتفاق می افتد (شکل ۲۵-۱).
  - (۳) هرگاه دو نیرو با اندازه برابر و در جهات مخالف به یک جسم اعمال شوند (تشکیل یک زوج نیرو می دهند) حول نقطه ای در میانه بین نیروها، ایجاد چرخش می کنند؛ به شرط آنکه هر دو نقطه اعمال نیرو برای حرکت آزاد باشند (شکل ۲۶-۱).
- گشتاور خالص یا برآیند حاصل از نیروها در سیستم نیروی موازی با جمع زدن گشتاور مربوط به هر نیرو (همراه با علامت آن) بدست می آید
- گشتاور خمشی:** زمانیکه نیروهای موازی به جسم به طریقی اعمال شوند که نه چرخش و نه جابجایی سگمان اتفاق افتد (تعادل رخ دهد)، گشتاورهای اعمال شده به نقطه ی خاص روی جسم، گشتاورهای خمشی ایجاد می کنند. در اینجا نیروی سومی به یک زوج نیرو اضافه می شود و موجب تعادل چرخشی و انتقالی می گردد اما تمایل به خم نمودن جسم حول نیروی مرکزی دارد. بنابراین زوج نیروها در موقعیت تعادل، را می توان به عنوان گشتاورهای خمشی در نظر گرفت.
- از اصل خمش سه نقطه ای در بسیاری از ارتزها برای محدود کردن حرکت (مانند بريس زانو که با هدف محدود کردن هیپراکستنسین زانو تجویز می شود (شکل ۳۱-۱) یا برای خم کردن (ایجاد تغییر شکل بافت در یک مفصل سفت) استفاده می شود
- گشتاور پیچشی<sup>۱</sup>:** نیروی تورشنال موجب چرخش، یا تمایل به ایجاد چرخش سگمان حول محور بلند آن دارد. گشتاور پیچشی (تورشنال) مستقیماً با اندازه نیرو و فاصله آن از محور طولی متناسب است.

### وظایف قرقه آنا تومیک

- زمانیکه جهت کشش یک عضله تغییر کند استخوان یا برجستگی استخوانی مسبب این تغییر جهت<sup>۲</sup>، یک قرقه آنا تومیک را تشکیل می دهد.
- قرقه ها (اگر بدون اصطکاک باشند)، بدون تغییر دادن اندازه نیروی اعمال شده، جهت نیرو را تغییر می دهند. تغییر در خط کشش (حتی بدون اثر روی نیرو) بر توانائی عضله جهت تولید گشتاور اثر می گذارد.
- عملکرد هر قرقه ای تغییر جهت نیرو برای آسان تر کردن وظیفه است، و این وظیفه در حرکت انسانی، همان چرخاندن یک سگمان بدنی است.
- قرقه های آنا تومیک در اغلب موارد با دور کردن خط عمل عضله از محور مفصل، بازوی گشتاوری نیروی عضله را افزایش می دهند. با افزایش بازوی گشتاوری، یک نیرو با همان اندازه (بدون صرف انرژی بیشتر)، گشتاور بزرگ تری تولید می کند.

مثال هایی از قرقه آنا تومیک

- (۱) سر هومروس و آکرومیون، به عنوان یک قرقه آنا تومیک عمل کرده و در نتیجه جهت فیبرهای عضله دلتوئید و عملکرد آن را تغییر می دهند. دیگر خط کشش دلتوئید میانی موازی با هومروس نیست.

<sup>1</sup>. Torsional moment

<sup>2</sup>. Deflection

(۲) پاتلا (که بین تاندون کوآدریسیپس و فمور واقع می شود) زاویه ای که تاندون پاتلا با تیبا می سازد را تغییر می دهد در نتیجه خط کشش عضله کوآدریسیپس را از محور مفصل زانو دور می سازد (شکل ۳۴ - ۱).

#### □ بازوی گشتاوری<sup>۱</sup> و بازوی اهرمی<sup>۲</sup> (شکل ۳۵ - ۱)

- بازوی گشتاوری هر نیرو چنین تعریف می شود: خطی که از مرکز چرخش مفصل بر بردار نیرو عمود می شود. بازوی گشتاوری همواره کوتاه ترین فاصله بین بردار نیرو و محور چرخش است.
- دقت داشته باشید که همیشه بازوی گشتاوری و بازوی اهرمی، یکی نیستند. فقط در حالتی که نیرو بر محور بلند یک سگمان عمود باشد بازوی گشتاوری موازی با اهرم استخوانی و در طول اهرم خواهد بود. در این حالت بازوی گشتاوری و بازوی اهرمی بر هم منطبق می شوند.
- بازوی اهرمی عبارتست از فاصله بین نقطه اثر نیرو و محور مفصل

#### □ تغییر در بازوی گشتاوری یک نیرو

- طول بازوی گشتاوری یک عضله مرتباً در تمام طول دامنه حرکتی تغییر می کند
- وقتی که نیرو با سگمان زاویه ۹۰ درجه بسازد، بازوی گشتاوری نیرو بیشترین مقدار خواهد بود
- با افزایش زاویه اثر<sup>۳</sup> یک نیرو، بازوی گشتاوری نیرو افزایش می یابد (شکل ۳۶ - ۱).
- با افزایش بازوی گشتاوری یک نیرو، پتانسیل آن برای تولید گشتاور افزایش می یابد
- زمانی که خط عمل یک نیرو از مرکز چرخش سگمان مربوطه (که نیرو بر آن اعمال می شود) بگذرد، بازوی گشتاوری نیرو کمترین مقدار خواهد بود.
- به واسطه تغییر گشتاور نیرو، شتاب زاویه ای منتج از آن نیز در طول دامنه حرکتی مفصل تغییر می کند.
- با چرخش یک سگمان حول محور مفصلی اش و تغییر جهت گیری سگمان در فضا، بازوی گشتاوری یک نیرو تغییر می کند.
- طول بازوی گشتاوری با زاویه اثر نیرو روی سگمان رابطه مستقیم دارد.
- زاویه اثر یک بردار عبارتست از زاویه ای که به وسیله تقاطع بردار نیرو و سگمان مورد نظر، در سمت محور مفصل مربوطه، تشکیل می گردد.
- در وضعیتی که نیرو عمود بر سگمان باشد بازوی گشتاوری حداکثر خواهد بود و در وضعیتی که نیرو به حالت موازی با سگمان نزدیک تر می گردد، بازوی گشتاوری آن کمترین مقدار خواهد بود.
- زمانی که یک سگمان نسبت به زمین، افقی قرار گرفته باشد، نیروی جاذبه با زاویه ۹۰ درجه بر سگمان اعمال می شود. زمانی که سگمان به صورت عمودی قرار گرفته باشد، نیروی جاذبه با زاویه صفر درجه بر آن سگمان اعمال خواهد شد (شکل ۳۷ - ۱).
- زمانی که بازوی گشتاوری یک نیرو به موازات محور بلند سگمان قرار گرفته باشد می توان از واژه ی بازوی اهرمی نیز برای اشاره به کوتاه ترین فاصله ی بردار نیرو تا محور مفصل استفاده نمود.
- در تمرین دراز و نشست با قرار دادن بازو ها در وضعیت های مختلف، جرم<sup>۴</sup> و در نتیجه مرکز ثقل بدن جابجا می شود و در نتیجه بازوی گشتاوری نیروی جاذبه تغییر می کند (شکل ۳۸ - ۱)
- اساس تغییر زاویه ی اثر نیروی جاذبه ای در مقایسه با نیروی عضله متفاوت است. نیروی جاذبه همیشه عمود به سمت پایین اعمال می شود. بنابراین جهت گیری سگمان در فضا<sup>۵</sup> باعث تغییر در زاویه اثر جاذبه می شود و نه زاویه مفصل.

1. Moment arm

2. Lever arm

3. Angle of application

4. Mass

5. Orientation of segment in space

- زمانی که سگمان در فضا حرکت می کند، اندازه ی نیروی جاذبه روی سگمان تغییر نمی کند؛ بنابراین گشتاور تولید شده به وسیله ی وزن (W) سگمان مستقیماً تابعی از وضعیت سگمان در فضا می باشد تا این که زاویه مفصل.
- صرف نظر از زاویه مفصل، زاویه اثر (و بازوی گشتاوری) جاذبه بسته به جهت گیری سگمان در فضا تغییر می کند.
- راستای قرار گیری بیشتر عضلات به گونه ای است که نسبتاً موازی با سگمان های استخوانی اند که به آنها می چسبند؛ بنابراین عضلات با زاویه ی اثر نزدیک به ۹۰ درجه استثناء هستند و نه یک قانون.

### مقایسه سیستم های اهرمی (شکل ۳۹ - ۱)

اهرم نوع ۱	اهرم نوع ۲	اهرم نوع ۳
<ul style="list-style-type: none"> <li>• محور بین نقطه اعمال نیروی محرک و نقطه اعمال نیروی مقاوم قرار دارد</li> <li>• بسته به محل قرار گیری لولا یا محور، بازوی محرک می تواند مساوی، بزرگ تر یا کوچک تر از بازوی مقاوم باشد.</li> <li>• مثالی از اهرم نوع ۱ در بدن انسان، عضلات اکستانسور سر و گردن می باشد که پوسچر سر را در صفحه سائیتال کنترل می کنند.</li> <li>• کشش سوپرااسپیناتوس روی هومروس نمونه ای از کار عضلانی در اهرم نوع ۱ است (صرف نظر از اینکه عضله کانستریک یا اکستریک کار کند)</li> <li>• از آنجائیکه اتصال دیستال یک عضله، در مقایسه با نقطه اثر یک نیروی بیرونی مثل نیروی جاذبه، معمولاً به محور مفصل نزدیک تر است؛ بنابراین عضلات عمل کننده در اهرم نوع ۱ (مانند عضلات عمل کننده در اهرم نوع ۳) معمولاً در یک عدم مزیت مکانیکی هستند.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• نقطه اثر نیروی مقاوم بین محور و نقطه اثر نیروی محرک قرار دارد</li> <li>• همیشه بازوی محرک از بازوی مقاوم بزرگ تر است؛ در نتیجه همواره مزیت مکانیکی این اهرم بزرگتر از ۱ خواهد بود</li> <li>• در بدن انسان، زمانی که جاذبه یا دیگر نیروهای بیرونی به عنوان نیروی محرک بوده و عضله به عنوان نیروی مقاوم باشد، عضلات عموماً در اهرم نوع ۲ کار می کنند. در این حالت عضله انقباض طولیل شونده (انقباض اکستریک) انجام خواهد داد و این نشان دهنده آن است که عضله به عنوان نیروی مقاوم عمل می کند.</li> <li>• مثال: وقتی در حالت نشسته از لبه تخت، نیروی جاذبه (وزن ساق) زانو را خم می کند و عضله کوآدریسسپس خم شدن زانو را با فعالیت اکستریک کنترل می کند.</li> <li>• مثالهای محدودی وجود دارد که در آن عضله در اهرم نوع ۲ به عنوان نیروی محرک روی سگمان دیستال (انقباض کانستریک) عمل کند.</li> <li>• وقتی عضله عضله تریسپس سوره بدن را حول محور انگشتان (مفاصل MTP) بلند می کند در اهرم نوع ۲ و به صورت کانستریک کار می کند (شکل ۴۰ - ۱).</li> <li>• برخلاف اهرم نوع ۳، به ازای هر واحد جابجایی نیروی محرک، جابجایی و سرعت زاویه ای بخش انتهایی سگمان کم است (شکل ۴۲ - ۱).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• نقطه اعمال نیروی محرک بین محور و نقطه اعمال نیروی مقاوم قرار دارد</li> <li>• همیشه بازوی محرک از بازوی مقاوم کوچک تر است؛ در نتیجه همواره مزیت مکانیکی این اهرم کوچک تر از ۱ خواهد بود</li> <li>• در بدن انسان، وقتی عضله ای باعث چرخش سگمان دیستال خود در جهت کشش می شود عضله نیروی محرک بوده و اغلب در سیستم اهرم نوع ۳ عمل می کند.</li> <li>• مثال: وقتی عضله کوآدریسسپس، زانورا از حالت خمیده در برابر مقاومت وزن ساق و پا به اکستنشن می برد.</li> <li>• اهرم نوع ۳ رایج ترین نوع اهرمی است که در سیستم عصلاتی اسکلتی استفاده می شود.</li> <li>• هدف عملکرد عضله در اهرم نوع ۳، به حداکثر رساندن جابجایی زاویه ای بخش دیستال سگمان در فضا است</li> <li>• یک اهرم نوع سوم که به لحاظ مکانیکی ناکارآمد است، اما به ازای حرکت نقطه اثر نیروی محرک در یک کمان کوچک، قسمت دیستال اهرم در یک دامنه بزرگ جابجا می شود (شکل ۴۲ - ۱).</li> <li>• عضلات نیروی نسبتاً بزرگی را با یک سرعت انقباضی نسبتاً آهسته تولید می کنند؛ اما بار بیرونی با یک سرعت بسیار تند تر بلند می شود.</li> </ul>

محدودیت آنالیز نیروها از طریق سیستم های اهرمی: در بحث سیستم های اهرمی، این واقعیت نادیده گرفته شده که چرخش یک اهرم به حداقل یک زوج نیرو نیاز دارد. یک نیروی محرک و یک نیروی مقاوم، یک زوج نیرو نیستند زیرا نیروهای محرک و مقاوم، چرخشی در جهت مخالف ایجاد می کنند و نه در یک جهت.

□ تغییر مزیت مکانیکی عضله با جراحی (شکل ۴۳ - ۱):

- با افزایش مزیت مکانیکی عضله، به ازای سطح معینی از نیروی عضله، گشتاور بزرگ تری تولید می گردد؛ اما در این شرایط به ازای مقدار معینی از کوتاه شدن عضله، جابجائی زاویه ای مفصل کمتر خواهد بود.
- بنابراین ممکن است در اثر انقباض کامل عضله گشتاور زیادی تولید گردد اما ممکن است مفصل دامنه حرکتی خود را کامل نکند. فلذا ممکن است در نتیجه ی تغییر مزیت مکانیک عضله، اندازه جابجائی و سرعت سگمان دیستال مفصل کاهش یابد و این ممکن است پیامدهای عملکردی منفی در پی داشته باشد.

### مولفه های نیرو

وقتی که نیرو با زاویه ای غیر از ۹۰ درجه (بیشتر یا کمتر از ۹۰ درجه) به اهرم اعمال می شود با استفاده از تجزیه نیرو، دو مولفه ایجاد می شود: (۱) مولفه Y یا چرخشی<sup>۱</sup> یا جزء عمودی نیرو: مولفه ای از نیرو است که بر سگمان عمود می باشد. این بخش از نیروی اصلی سعی در ایجاد چرخش سگمان (گشتاور) دارد.

(۲) مولفه X یا انتقالی<sup>۲</sup> یا مولفه موازی: مولفه ای از نیرو که موازی با محور بلند سگمان ترسیم می شود. این مولفه سعی در ایجاد حرکت ترنسلیتوری دارد.

- چون یک مولفه نیرو (مثل F<sub>y</sub>) ممکن است هم چرخش و هم جابجائی خطی (ترنسلیشن) ایجاد کند لذا نامگذاری مولفه ها به روتاتوری (چرخشی) و ترنسلیتوری (انتقالی) ممکن است گیج کننده باشد
- معمولاً خط مرجع، محور بلند سگمان است و ضرورتاً محور X در نظر گرفته می شود
- وقتی یک نیرو با زاویه ۹۰ درجه به اهرم اعمال می گردد در این حالت فقط مولفه عمودی خواهیم داشت و بیشترین گشتاور تولید می شود
- مولفه عمودی نیرو (F<sub>y</sub>) ممکن است هم چرخش و هم جابجائی خطی (ترنسلیشن) ایجاد کند
- با استفاده از قواعد مثلث الزاویه می توان اندازه مولفه های نیرو را بدست آورد (شکل ۴۵ - ۱):

$$\text{ضلع مقابل} = \text{وتر} \times \sin \theta \quad \text{ضلع مجاور} = \text{وتر} \times \cos \theta$$

- گفته شد که تغییر بازوی گشتاوری تابعی از تغییر زاویه اثر<sup>۳</sup> نیرو بر سگمان است. چون مولفه عمودی (F<sub>y</sub>) یک نیرو، بخش موثر آن نیرو در ایجاد گشتاور است لذا تغییر در گشتاور حاصل از یک نیرو به این معنی خواهد بود که اندازه F<sub>y</sub> نیز تغییر می کند.
- هم بازوی گشتاوری و هم مولفه عمودی یک نیرو زمانی بیشترین مقدار را دارند که نیرو در زاویه ۹۰ درجه به سگمان اعمال شود
- زمانی که سگمان اندام موازی با زمین باشد گشتاور جاذبه همیشه بیشترین مقدار خواهد بود
- زاویه اثر (زاویه کشش) اغلب عضلات کوچک است و خط عمل شان با اهرم استخوانی موازی تراست تا این که عمود بر اهرم استخوانی.
- در اغلب عضلات، مولفه ی موازی (F<sub>x</sub>) نیروی عضلانی از مولفه ی عمودی (F<sub>y</sub>) بزرگ تر است. مولفه موازی (F<sub>x</sub>) اغلب عضلات به کمپرسیون مفصل کمک می کند و در نتیجه عضله را به یک ثابت دهنده ی مهم مفصل تبدیل می کند.
- صرف نظر از این که گشتاور یک نیرو با استفاده از رابطه ی F<sub>TOT</sub> × MA یا رابطه ی F<sub>y</sub> × MA محاسبه شود مقدار گشتاور یکسان خواهد بود.
- بازوی گشتاوری بزرگ تر و قابلیت تولید نیروی گلوئوس ماگزیموس، در مقایسه با کوآدریسیس، سبب می شود که در تمرین پرس پا، احتمالاً عضله گلوئوس ماگزیموس در تولید گشتاور اکستانسیون زانو نقش بیشتری داشته باشد (شکل ۴۹ - ۱).

<sup>1</sup>. Rotatory or Y component

<sup>2</sup>. Translatory or x component

<sup>3</sup>. Angle of application



## فصل دوم: ساختار و عملکرد بافت همبند و مفصل

- بافت همبند دارای ۴ قسم است: (۱) بافت همبند اصلی، (۲) غضروف، (۳) استخوان و (۴) خون.
- ساختارهای مفصل به سه گروه اصلی بافت همبند شامل استخوان، غضروف و بافت همبند متراکم طبقه بندی می شوند
- ساختار بافت همبند متشکل از سلولها (جزء سلولی) و حجم زیادی از ماتریکس خارج سلولی است. در سطح میکروسکوپی، ماتریکس خارج سلولی شامل اجزاء بین فیبریلی<sup>۱</sup> (قبلاً به عنوان ماده زمینه ای<sup>۲</sup> اشاره می شد) و فیبریلی (فیبروس)<sup>۳</sup> است.
- بافت های همبند در بین ساختارهای بدن از این لحاظ منحصر به فرد هستند که عملکرد آنها عمدتاً به وسیله جزء خارج سلولی تعیین می گردد، برخلاف بافت های دیگر مانند عضله و عصب که رفتار سلولی عمدتاً عملکرد را تعیین می کند.
- جزء سلولی بافت همبند: فیروبلاست، سلول پایه ای اغلب بافت های همبند است. بسته به محیط آن، فیروبلاست ممکن است تخصصی شده و به کوندروبلاست یا استئوبلاست تبدیل شود
- ماتریکس خارج سلولی: تقریباً تمام حجم بافت را شامل شده و عملکرد بافت را تعیین می سازد. ماتریکس خارج سلولی عمدتاً شامل پروتئین ها و آب بوده و به اجزاء فیبریلی و بین فیبریلی سازمان دهی شده است:

### **الف - جزء بین فیبریلی:** جزء بین فیبریلی بافت همبند از آب و پروتئین ها (عمدتاً گلیکوپروتئین ها و پروتئوگلیکان ها) تشکیل می شود.

- در گذشته از پروتئوگلیکان ها تحت عنوان موکوپلی ساکارید ها و از ماتریکس بین فیبریلی به عنوان ماده زمینه ای یاد می شده است. بخش کربوهیدرات پروتئوگلیکان ها شامل زنجیره های بلندی از واحد های دی ساکارید تکرار شونده به نام گلیکوز آمینوگلیکان (GAGs) است.
- انواع اصلی گلیکوز آمینوگلیکان سولفات عبارتند از کوندروئیتین ۴ سولفات و کوندروئیتین ۶ سولفات، کراتان سولفات، هیپارین، هیپاران سولفات و درماتان سولفات.
- نسبت پروتئوگلیکان ها در ماتریکس خارج سلولی یک بافت خاص، از طریق اثرات گلیکوز آمینوگلیکان های متصله، روی هیدراتاسیون آن تاثیر می گذارد. زنجیره های گلیکوز آمینوگلیکان آب را جذب می کنند و با ایجاد یک فشار تورمی اسموزی، باعث می شوند تا آب به داخل ماتریکس خارج سلولی جاری شود. آب جذب شده، ماتریکس بین فیبریلی را متورم ساخته و یک استرس کششی روی شبکه کلاژنی اطراف بوجود می آورد. فیبرهای کلاژن نیز در برابر این فشار تورمی مقاومت می نمایند، لذا سختی ماتریکس خارج سلولی و توانائی آن برای مقابله با نیروهای کمپرسیو را افزایش می دهند؛ همچنین سلولها را حمایت می کنند.
- نقش پروتئوگلیکان ها: علاوه بر نقش آنها در جذب آب (که در بالا گفته شد)، مخزنی را برای مواد مغذی و فاکتورهای رشد متصل به مولکولهای پروتئوگلیکان می سازند. پروتئوگلیکان ها به فیبرهای کلاژن متصل می شوند و به قدرت کلاژن کمک می کنند؛ همچنین در جهت دهی یا محدود کردن اندازه فیبرهای کلاژن نقش دارند.
- بافت هائی که در معرض نیروهای فشاری بالائی قرار دارند در مقایسه با بافت هائی که در برابر نیروهای کششی مقاومت می کنند، از محتوای پروتئوگلیکان بیشتر، با GAG متفاوت، برخوردارند.
- بسته به اینکه آیا بافت در معرض نیروهای کششی قرار دارد یا کمپرسیو، نوع گلیکوز آمینوگلیکان نیز ممکن است تغییر کند. بافت هائی که در معرض نیروهای فشاری قرار دارند (مانند دیسک ها) مقادیر بیشتری از کوندروئیتین سولفات و کراتان سولفات دارند؛ اما بافت هائی که در معرض تنش قرار دارند (مانند تاندون) محتوی درماتان سولفات بیشتری دارند.

### **ب - جزء فیبریلی (شکل ۱۶ - ۲)**

- جزء فیبریلی یا فیبروس ماتریکس خارج سلولی شامل دو گروه اصلی پروتئین های ساختاری (کلاژن و الاستین) است. کلاژن ماده اصلی بافت همبند است و در تمامی ارگانسیم های چند سلولی یافت می شود. کلاژن فراوان ترین پروتئین موجود در بدن انسان است

<sup>1</sup> Extra Cellular Matrix; ECM

<sup>2</sup> Interfibrillar

<sup>3</sup> Ground substance

<sup>4</sup> Fibrillar (Fibrous)

- کلاژن مسئول یکپارچگی عملکردی بافت های همبند و مقاومت آنها در برابر نیروهای کششی است.
- کلاژن نوع ۱، ۹۰ درصد کل کلاژن بدن را تشکیل می دهد و در اغلب بافت های همبند منجمله تاندون، لیگامان ها، استخوان، لابروم، منیسک ها، غضروف لیفی، کپسول مفصل، سینوویوم و پوست وجود دارد.
- کلاژن نوع ۱ عنصر اصلی تحمل بار در بافت هائی است که در معرض نیروهای کششی قرار دارند. کلاژن نوع ۲ عمدتاً در غضروف مفصلی هیالین و نوکلئوس پولپوسوس در مرکز دیسک بین مهره ای یافت می شود؛ یعنی در جایی که نیروهای کمپرسیو رایج می باشد، یافت می شود
- کلاژن نوع II مشخصاً بسیار نازک تر از کلاژن نوع I بوده و از قدرت کششی کمی کمتر برخوردار می باشد.
- بافت هائی که سهم بالائی از الاستین دارند پس از تغییر شکل زیاد، به راحتی به شکل اولیه ی شان بازمی گردند. این ویژگی در ساختارهای مانند غضروف هیالین یا الاستیک و لیگامان های خاصی از ستون مهره ای (مانند لیگامان فلیووم) مفید است که کمک می کنند تا مهره ها پس از خم شدن به جلو به وضعیت اولیه ی شان بازگردند.
- Ligamentum Nuchae فقرات گردنی شامل ۷۵٪ الاستین و ۱۵٪ کلاژن و تاندون آشیل شامل ۴/۴٪ الاستین و ۸۶٪ کلاژن است.
- تعامل<sup>۱</sup> بین فیبرهای بازدارنده (فیبرهای کلاژن و الاستین) و پرتئوگلیکان های متورم، یک ساختار نیمه مایع متورم را به وجود می آورند که با کمپرسیون مقابله می کند.

### بافت همبند اطراف مفصل

- به طور کلی سه نوع بافت همبند اطراف مفصلی به درجات مختلف در تمامی مفاصل یافت می شود: (۱) بافت همبند متراکم<sup>۲</sup>، (۲) غضروف مفصلی و (۳) غضروف لیفی.
- بافت همبند متراکم شامل اغلب بافت های نرم غیر عضلانی اطراف یک مفصل یعنی لایه فیبروس (خارجی) کپسول مفصل، لیگامان ها و تاندون ها است. این بافت ها از تعداد کمی سلول (فیبروبلاست)، پروتئوگلیکان و الاستین نسبتاً کم تا متوسط، و فیبرهای کلاژن نوع I به مقدار فراوان (که محکم بسته بندی شده اند) برخوردارند.
- همانند اغلب بافت های همبند اطراف مفصل؛ لیگامان ها، تاندون ها و کپسول از تدارک خونی محدودی برخوردارند و در نتیجه از متابولیسم نسبتاً کمی دارند.
- اگر فیبروبلاست های داخل ماده زمینه ای تحت استرین قرار گیرند برای افزایش سنتز کلاژن و GAGs تحریک می شوند؛ و این می تواند ساختار بافت و ویژگی های ماده ای<sup>۳</sup> آن مانند سفتی یا نقطه نهائی شکست بافت را تغییر دهد.
- لیگامان ها، ساختارهای ناهمگن (هترورنوس) هستند و شامل مقادیر کمی سلول (حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد حجم بافت، عمدتاً فیبروبلاست) و ماتریکس خارج سلولی زیاد (حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد حجم بافت) هستند. لیگامان ها عمدتاً شامل کلاژن نوع ۱ با مقادیر متفاوتی از الاستین می باشند.
- نحوه قرارگیری<sup>۴</sup> فیبرهای کلاژن و نسبت کلاژن / الاستین در لیگامان های مختلف تعیین کننده قابلیت نسبی این ساختارها در تامین ثبات و اجازه دادن به حرکت در یک مفصل خاص می باشد
- در مقایسه با لیگامان ها، تاندون ها از کلاژن نوع ۱ کمی بیشتر و کلاژن نوع ۳ کمی کمتر برخوردار هستند. در شرایط بارگذاری کششی، درماتان سولفات GAG رایج تر است. غلاف بافت همبندی شل اندوتندون عمدتاً شامل فیبریل های کلاژن نوع ۳ می باشد
- برخلاف لیگامان ها، نیروی های وارده بر تاندون ها عمدتاً در یک جهت اعمال می شوند به همین دلیل فیبرهای کلاژن در تاندون ها مستقیم تر و موازی تر می باشند

1. Interaction  
2. Dense Connective Tissue  
3. Material Properties  
4. Arrangement