به نام خداوند جان و خرد

بیومکانیک دستگاه اسکلتی عضلانی

(جلد اول)

بیومکانیک پایه، بافت همبند، عضله

بیومکانیک ستون مهره ای، توراکس، مفصل فکی گیجگاهی

ویرایش سوم

مؤلفین :

دکتر قدمعلی طالبی

(دانشیار فیزیوتراپی دانشگاه علوم پزشکی بابل)

دکتر محمد تقی پور

(دانشیار فیزیوتراپی، مرکز تحقیقات اختلال حرکت دانشگاه علوم پزشکی بابل)

دانشگاه علوم پزشکی بابل

انتشارات ستایش هستی

۱۴۰۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: مفاهیم پایه ای بیومکانیک	
کینماتیک	۱
انواع جابجائی	۱
نیرو	۷
استاتیک و دینامیک	۱۳
▪ قانون اول نیوتون	۱۴
▪ گشتاور اینرسی جرم	۱۴
▪ قانون دوم نیوتن	۱۶
▪ حرکت انتقالی در سیستم نیرو	۱۷
▪ قانون سوم نیوتن	۲۰
نیروهای کششی	۲۲
دیستراکشن مفصل	۲۴
کمپرسیون و نیروی عکس العمل مفصل	۲۵
سیستم نیروی خطی افقی و عمودی	۲۶
اصطکاک استاتیک و جنبشی	۲۷
کینتیک	۳۰
تورک یا گشتاور نیرو	۳۰
سیستم های نیروی موازی	۳۲
گشتاور خمشی	۳۴
نیروی عضلانی	۳۵
قرقره های آناتومیک	۳۶
بازوی گشتاوری و بازوی اهرمی	۳۸
مفاهیک کار ، انرژی و توان	۴۰
شتاب زاویه ای همرا با تغییر گشتاور	۴۰
بازوی گشتاوری و زاویه اثر یک نیرو	۴۱
سیستم های اهرمی	۴۳

عنوان	صفحه
تغییر مزیت مکانیکی عضله با جراحی	۴۸
مولفه های نیرو	۴۹
مولفه های نیرو و زاویه اثر نیرو	۵۲
اثرات چرخشی مولفه های نیرو	۵۵
چرخش ایجاد شده به وسیله مولفه موازی	۵۶
آنالیز چند سگمانی نیرو (زنجیره بسته)	۵۶
فصل دوم: ساختار و عملکرد بافت همبند و مفصل	
شکل (فرم) تابعی از عملکرد است	۶۰
پیچیدگی طرح مفاصل انسانی	۶۳
تقسیم بندی مفاصل	۶۳
انواع مفاصل سینوویال	۷۱
حرکت مفصل	۷۴
زنجیره های کینماتیکی	۷۹
ترکیب بافت همبند	۸۱
ترکیب بافت همبند خاص	۸۵
▪ لیگامان ها	۸۶
▪ تاندون ها	۸۷
▪ غضروف	۹۰
▪ استخوان	۹۶
ویژگی های رفتاری بافت همبند	۹۹
استرس و استرین	۱۰۱
ویسکوالاستیسیتی	۱۰۵
ویژگی های وابسته به زمان و نرخ	۱۰۵
▪ کریپ	۱۰۵

عنوان	صفحه
▪ استرس ریلاکسیون	۱۰۶
▪ حساسیت به نرخ استرین	۱۰۶
ویژگی های بافت های خاص	۱۰۶
استخوان	۱۰۷
وابستگی رفتار استخوان به نرخ بارگذاری	۱۰۸
تاثیر فعالیت عضله بر توزیع استرس در استخوان	۱۰۹
تاثیر شکل هندسی استخوان بر رفتار بیومکانیکی	۱۰۹
تاندون	۱۱۲
لیگامان ها	۱۱۳
غضروف	۱۱۳
تغییرات عمومی همراه با بیماری و آسیب	۱۱۴
اثرات بی حرکتی	۱۱۵
اثرات تمرین	۱۱۷
اثرات استفاده بیش از حد	۱۱۹
خلاصه فصل	۱۲۱
فصل سوم: ساختار و عملکرد عضله	
اجزاء ساختار عضله	۱۲۲
▪ پروتئین های انقباضی	۱۲۲
▪ پروتئین های ساختاری	۱۲۳
واحد انقباضی	۱۲۴
تعامل پل عرضی	۱۲۵
تجمیع و انقباض تتانیک	۱۲۵
انواع انقباض عضلانی	۱۲۶

عنوان	صفحه
واحد حرکتی	۱۲۸
بسیج واحدهای حرکتی	۱۲۹
ساختار عضله (انواع فیبر)	۱۳۳
تاثیر معماری عضله ی اسکلتی	۱۳۴
تاثیر بازوی گشتاوری عضله روی دامنه حرکتی	۱۳۵
نکته بالینی: ملاحظات راجع به انتقال تاندون	۱۳۶
نکات مهم در خصوص تاثیر معماری عضله	۱۳۷
تعامل بین بازوی گشتاوری عضله و طول ..	۱۴۰
بافت همبند عضله	۱۴۰
اجزاء الاستیک موازی و سری عضله	۱۴۳
عملکرد عضله: تنشن عضلانی	۱۴۳
طول - تنشن ایزومتریک	۱۴۵
منحنی طول – تنشن کلی	۱۴۸
اندازه گیری حداکثر فعال سازی ارادی عضله	۱۵۲
استفاده از رابطه طول- تنشن	۱۵۲
رابطه نیرو – سرعت	۱۵۴
کار و توان	۱۵۶
انواع عمل عضلانی	۱۵۷
تولید گشتاور	۱۵۹
اثر متقابل عضله و تاندون	۱۵۹
تمرین و تست ایزوکینتیک	۱۵۹
تقسیم بندی عضلات	۱۶۲
▪ بر اساس نقش آنها در حرکت	۱۶۲
▪ بر اساس معماری عضله	۱۶۳

عنوان	صفحه
□ بر اساس طول بازوی گشتاوری	۱۶۴
عوامل موثر بر عملکرد عضله	۱۶۴
نوع مفصل و محل اتصالات عضله	۱۶۵
تعداد مفاصل	۱۶۶
بی کفایتی پاسیو	۱۶۷
گیرنده های حسی	۱۶۹
مقدمه ای بر الکترومیوگرافی	۱۷۱
ثبت الکترومیگرافی	۱۷۲
آنالیز و نرمالیزه کردن الکترومیوگرافی	۱۷۳
آمپلیتود الکترومیوگرافیک حین فعالیت عضله	۱۷۵
دلایل خستگی عضلانی در افراد سالم	۱۷۶
اثرات بی حرکتی	۱۷۹
اثرات آسیب	۱۸۲
تغییرات همراه با پیری	۱۸۳
فصل چهارم: بیومکانیک ستون مهره ای	
ساختمار ستون مهره ای	۱۸۶
سگمان حرکتی	۱۹۰
قوس های نرمال در ستون مهره ای	۱۹۳
شاخص دلماس	۱۹۵
نحوه عبور خط جاذبه	۱۹۶
حمایت های لیگامانی ستون مهره ای	۱۹۷
▪ لیگامان فلیووم	۱۹۷

عنوان	صفحه
لیگامان های بین خاری	۱۹۹
▪ لیگامان های فوق خاری	۲۰۰
▪ لیگامان های بین عرضی	۲۰۰
▪ لیگامان طولی قدامی	۲۰۱
▪ لیگامان طولی خلفی	۲۰۱
▪ کپسول مفاصل آپوفیزیال	۲۰۱
ویژگی های استخوانی در نواحی مختلف	۲۰۲
اتصال بین مهره ای تیپیک	۲۰۵
ترمینولوژی توصیف حرکت	۲۰۶
ساختار و عملکرد مفاصل آپوفیزیال	۲۰۸
ساختار و عملکرد مفاصل بین اجسام مهره ای	۲۱۰
ساختار دیسک بین مهره ای	۲۱۰
عصب دهی و تغذیه دیسک های بین مهره ای	۲۱۴
دیسک یک توزیع کننده ی فشار هیدروستاتیک	۲۱۵
حالت پیش بارگذاری دیسک	۲۱۸
کینماتیک	۲۱۹
کینتیک	۲۲۲
زوج شدن حرکات در ستون مهره ای	۲۲۵
آناتومی، کینماتیک و کینتیک منطقه ای	۲۲۶
▪ ناحیه کرانیوسرویکال	۲۲۶
▪ ناحیه توراسیک	۲۴۵
▪ ناحیه کمری	۲۵۴
فاسیای توراکولومبار	۲۶۰
عملکرد ناحیه کمری	۲۶۴

عنوان	صفحه
ریتم کمری لگنی	۲۶۹
اثرات تیلت لگن روی کینماتیک فقرات کمری	۲۷۲
پوسچر نشسته و اثرات آن روی راستا	۲۷۴
کینتیک ناحیه کمری	۲۷۷
مفاصل ساکروایلیاک	۲۷۸
▪ لیگامان ها	۲۸۱
مفصل سمفزیس پوبیس	۲۸۳
کینماتیک ساکروایلیاک	۲۸۶
عملکردهای مفاصل ساکروایلیاک	۲۸۷
اثر وضعیت طاقباز روی کمربند لگنی	۲۸۹
مفاصل ساکروکوکسیژه آل	۲۹۰
اثرات سن روی ستون مهره ای	۲۹۰
خلاصه فصل	۲۹۲
فصل پنجم: عملکرد متقابل عضله و مفصل	
عصب دهی عضلات و مفاصل	۲۹۴
تولید گشتاور درونی	۲۹۶
عضلات تنه: آناتومی و عملکرد	۲۹۹
عضلات خلف تنه	۲۹۹
عضلات لایه عمقی پشت	۳۰۰
▪ گروه ارکتور اسپاین	۳۰۲
▪ عضلات Transversospinal	۳۱۱
▪ گروه عضلات سگمنتال کوتاه	۳۱۱
عضلات قدامی خارجی تنه (عضلات شکمی)	۳۱۲
عمل عضلات شکمی	۳۱۵
اکستانسورهای تنه به عنوان سینرژیست های	۳۱۷

عنوان	صفحه
حداکثر گشتاور فلکسوری و اکستانسوری تنه	۳۱۸
عضلات ایلیوپسوآس و کوآدراتوس لومباروم	۳۱۸
تعامل عملکردی عضلات تنه	۳۲۰
▪ ثبات تنه بر پایه عضلات	۳۲۱
▪ اجرای حرکت دراز و نشست	۳۲۵
عضلات ناحیه کرانیوسرویکال	۳۲۸
▪ عضلات قدامی – خارجی	۳۲۸
▪ عضلات خلفی	۳۳۳
تعامل عملکردی عضلات ناحیه کرانیوسرویکال	۳۳۷
تثبیت سازی ناحیه کرانیوسرویکال	۳۳۸
ایمبالانس عضلانی با پوسچر سر به جلو...	۳۳۹
وضعیت دهی مطلوب چشم ها، گوش ها	۳۴۱
بیومکانیک بلند کردن شی	۳۴۲
نقش افزایش فشار داخل شکمی حین	۳۴۶
دو تکنیک متضاد بلند کردن شی	۳۵۰
عضلات کف لگن	۳۵۳
عملکرد ثبات دهندگی عضلات شکمی و	۳۵۴
تمرین درمانی برای بهبود ثبات کمری لگنی	۳۵۷
فصل ششم: قفسه دنده ای و کینزیولوژی تنفس	
تنفس	۳۶۰
مفصل شناسی توراکس	۳۶۱
کینماتیک دنده ها و مانی بریواسترنال	۳۶۸
اثرات اسکولیوز روی قفسه دنده ای	۳۷۰

عنوان	صفحه
تغییرات در حجم داخل توراسیک حین تنفس	۳۷۰
اعمال عضلانی حین تنفس	۳۷۳
عضلات اولیه ونتیلاسیون	۳۷۳
▪ عضله دیافراگم	۳۷۳
▪ عضلات بین دنده ای	۳۷۸
▪ عضلات اسکالن	۳۸۱
عضلات فرعی ونتیلاسیون	۳۸۲
تنفس متناقض پس از آسیب نخاع گردنی	۳۸۳
عضلات بازدم با نیرو	۳۸۴
عملکردهای مهم فیزیولوژیک عضلات شکمی	۳۸۶
تغییرات تنفسی در اسکولیوز	۳۸۷
تفاوت های ساختاری و عملکردی در نوزادان	۳۸۷
تغییرات همراه با پیری	۳۸۸
تغییرات پاتولوژیک در ساختار و عملکرد	۳۸۹
▪ بیماری انسداد ریوی مزمن	۳۸۹
خلاصه فصل	۳۹۰
فصل هفتم: کینزیولوژی جویدن	
آناتومی سطحی	۳۹۲
مفصل تمپوروماندیبولار	۳۹۲
دیسک مفصل تمپوروماندیبولار	۳۹۵
کپسولی و لیگامان ها	۳۹۸
کینماتیک مفصل	۳۹۹
تعامل عضله و مفصل	۴۰۵
عضلات اولیه جویدن	۴۰۶
عضلات ثانویه جویدن	۴۰۹
تعامل عملکردی بین ماستر و پتریگوئید داخلی	۴۱۱
اختلال درونی دیسک	۴۱۱
کنترل عضلانی باز کردن و بستن دهان	۴۱۲
ارتباط با فقرات گردنی و پاسچر	۴۱۳
اختلالات تمپوروماندیبولار	۴۱۵
دیسفانکشن تنفسی و مفصل TM	۴۱۶
تغییرات تخریبی	۴۱۶
خلاصه فصل	۴۱۷
منابع مورد استفاده	۴۱۸

فصل اول: مفاهیم پایه ای بیومکانیک

کینماتیک

عبارتست از توصیف حرکت یا جابجائی یک سگمان بدون در نظر گرفتن نیرو. پنج متغیر کینماتیکی برای توصیف کامل حرکت یا جابجائی وجود دارد :

(۱) نوع جابجائی (حرکت)، (۲) محل جابجائی در فضا، (۳) جهت جابجائی، (۴) اندازه یا بزرگی جابجائی و (۵) سرعت جابجائی یا میزان تغییر سرعت (شتاب)[1]

انواع جابجائی

(۱) حرکت انتقالی[2]

(۲) حرکت چرخشی[3]

(۳) حرکت عمومی[4] که از ترکیب حرکات انتقالی و چرخشی ساخته می شوند

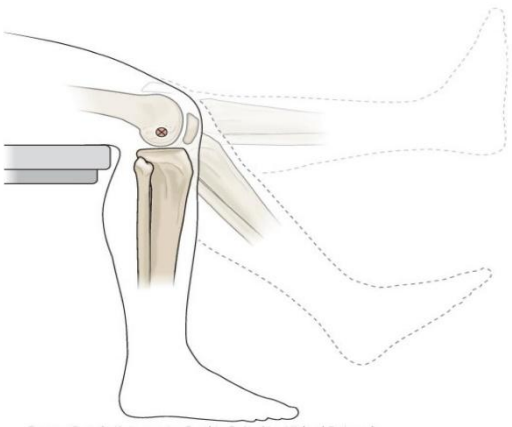
حرکت انتقالی یا جابجائی خطی[5]

حرکت انتقالی به عنوان حرکت یک سگمان در یک خط مستقیم تعریف می شود. هر نقطه روی سگمان در زمان یکسان، فاصله برابری را در مسیرهای موازی طی می کند. **در حرکت انسانی، حرکات انتقالی مجزا نادر هستند**. یک مثال بالینی از حرکت انتقالی، موبیلیزاسیون مفصل است که در آن، یک حرکت تقریبا خطی **(لغزش)**[6] **بین دو سطح مفصلی** توسط درمانگر اعمال می شود؛ مثلا لغزش طبق تیبیا روی فمور در مفصل زانو. در حقیقت، در حرکت انسانی، حرکت انتقالی یک سگمان بدن در یک مفصل سالم، بدون مقداری چرخش همراه (حرکت روتاتوری) آن سگمان به ندرت اتفاق می افتد (حتی اگر چرخش به سختی قابل رویت باشد).

1. Velocity or acceleration
2. Translatory Motion
3. Rotatory Motion
4. General motion
5. Linear displacement
6. Sliding

حرکت چرخشی یا جابجائی زاویه ای[7]

حرکت چرخشی (روتاتوری) عبارتست از: حرکت یک سگمان حول یک محور ثابت (مرکز چرخش یا CoR) در یک مسیر قوسی. در حرکت چرخش خالص، هر نقطه روی سگمان، در زمان یکسان، و با فاصله ثابت از مرکز چرخش، زاویه یکسانی را خواهد پیمود. **حرکت چرخشی خالص** فقط وقتی اتفاق می افتد که از جابجایی سگمان جلوگیری شده و وادار به چرخش حول یک محور ثابت گردد که **به ندرت در حرکت انسانی اتفاق می افتد**. در شکل ۱-۱، چنین به نظر می رسد که تمامی نقاط واقع بر روی سگمان ساق – پا، در زمان یکسان، حول آنچه که به نظر می رسد یک محور ثابت باشد، زاویه یکسانی را می پیمایند. در واقعیت هیچ یک از سگمان های بدن حول محور های ثابت واقعی حرکت نمی کنند، محور تمامی مفاصل حین حرکت حداقل کمی جابجا می شوند زیرا برای تولید چرخش خالص، سگمان ها به اندازه ی کافی مقید نیستند.



شکل ۱- ۱: حرکت چرخشی. هر نقطه روی قطعه ی ساق – پا، در زمان یکسان، در فاصله ثابتی (یا نسبتا ثابت) از مرکز چرخش یا محور، زاویه یکسانی را طی می کند.

7. Angular displacement

حرکت عمومی[1]

شامل ترکیبی از چرخش و جابجائی خطی است؛ گرچه واژه های دیگری نیز برای توصیف به کار برده می شوند. **حرکت منحنی الخط[2] (صفحه ای)**، ترکیب جابجائی خطی و چرخش یک سگمان در دو بعد (موازی با یک صفحه با حداکثر سه درجه آزادی حرکت) می باشد. وقتی حرکت منحنی الخط اتفاق می افتد، محوری که حول آن سگمان حرکت می کند ثابت نیست بلکه با حرکت شی، محور در فضا جابجا می شود. محوری که حول آن، سگمان در هر بخشی از مسیر حرکت می کند به عنوان مرکز لحظه ای چرخش (ICoR)[3] یا محور لحظه ای چرخش (IaR) [4] نامیده می شود. شی یا سگمانی که در مسیر منحنی الخط حرکت می کند به نظر می رسد که حول یک مرکز لحظه ای چرخش ثابت، اما کاملا دور، حرکت چرخشی انجام می دهد؛ به این ترتیب مسیر منحنی الخط را می توان سگمانی از یک دایره ی بسیار بزرگ تر با یک محور دور در نظر گرفت.

حرکت سه بعدی[5]، یک حرکت عمومی است که در آن، سگمان در هر سه بعد (صفحه) حرکت می کند. همانند حرکت منحنی الخط، که می توان آن را به عنوان حرکت شی حول یک مرکز چرخش منفرد دور در نظر گرفت؛ حرکت سه بعدی را می توان به عنوان حرکت حول یک محور حرکتی مارپیچ[6] در نظر گرفت. همان طور که قبلا گفته شد، حرکت یک سگمان بدن ندرتا به اندازه کافی به سیله ی لیگامان ها، نیروهای عضلانی یا دیگر نیروهای استخوانی موثر بر آن، مقید شده اند تا حرکت چرخشی خالص تولید کنند.

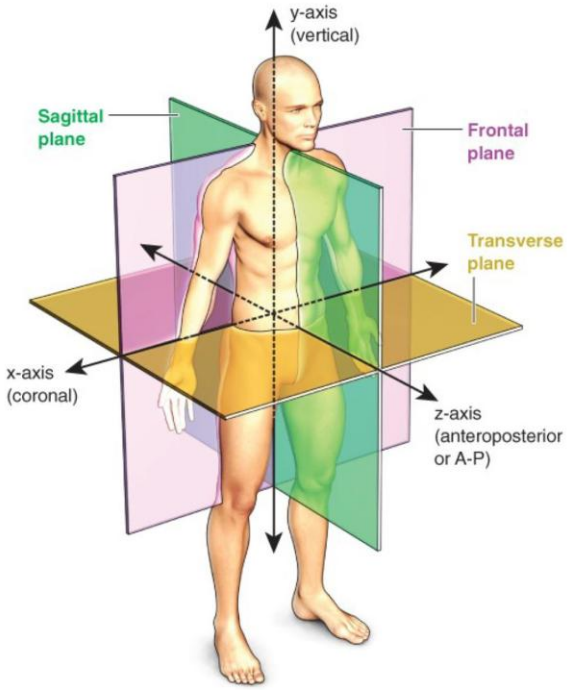
1. General motion
2. Curvilinear (plane or planar)
3. Instantaneous centre of rotation; ICoR
4. Instantaneous axis of rotation; IaR
5. Three-dimensional
6. helical axis of motion, or screw axis of motion

به جای آن، معمولا حداقل مقدار کمی جابجایی خطی (و اغلب یک چرخش ثانویه) اتفاق می افتد که حرکت چرخش اصلی یک سگمان در یک مفصل را همراهی می کند. بنابراین، اغلب چرخش های مفصلی حول مجموعه های از مراکز لحظه ای چرخش اتفاق اتفاق می افتند. چون بیشتر سگمان های بدن در حقیقت یک مسیر منحنی الخط را دنبال می کنند، مرکز چرخش واقعی نقطه ای است که حول آن حرکت چرخشی واقعی سگمان اتفاق می افتد و معمولا از مفصل کاملاً دور می باشد.

محل جابجائی در فضا

برای مشخص نمودن محل جابجائی در فضا، حرکت سگمان را در سیستم مختصات کارتزین تعریف می کنیم. مبداء محور x، محور y و محور Z دستگاه مختصات، برای توصیف حرکت انسانی، به طور سنتی در مرکز تقل (CoM) بدن انسان قرار داده می شود، با این فرض که بدن در وضعیت آناتومیک قرار دارد (ایستاده رو به جلو و کف پاها به جلو نگاه می کنند) (شکل ۲ – ۱). بر اساس سیستم توصیف شده به وسیله ی پنجابی، محور x، در بدن از یک سمت به سمت دیگر (با جهت گیری Side-to-side) کشیده می شود و محور کرونال نام دارد؛ محور Y، در بدن از بالا به پایین کشیده می شود و محور عمودی نام دارد؛ و محور Z، از جلو به عقب کشیده می شود و محور قدامی خلفی نام دارد. حرکت یک سگمان می تواند یا حول یک محور (چرخش) و یا در طول یک محور (جابجایی خطی) اتفاق افتد. یک سگمان بدون قید و بند (بدون محدودیت)[7] می تواند حول هر یک از سه محور بچرخد و یا جابجا شود؛ بنابراین برای حرکت آن سگمان، امکان ۶ انتخاب وجود دارد. انتخاب های حرکت یک سگمان، همچنین درجات آزادی[8] نامیده می شود.

7. Unconstrained
8. Degree of freedom



شکل ۲- ۱: بدن در وضعیت آناتومیک و محور های X، Y و Z دستگاه مختصات کارتزین (به ترتیب صفحات کرونال، ساژیتال، عرضی) نشان داده شده اند.

یک سگمان کاملا بدون محدودیت می تواند همواره ۶ درجه آزادی داشته باشد زیرا می تواند حول سه محور بچرخد (۳ درجه آزادی) و نیز در طول سه محور جابجا شود (۳ درجه آزادی دیگر). اما باید توجه داشت که سگمان های بدن بدون قید و محدودیت نیستند؛ فلذا اغلب کمتر از ۶ درجه آزادی دارند.

توصیف چرخش یک سگمان بدن با در نظر گرفتن دو مشخصه انجام می شود: الف- چرخش سگمان حول یکی از سه محور اتفاق می افتد و ب- یک سگمان در یکی از سه صفحه اصلی[1] (یا موازی با آن) اتفاق می افتد (شکل ۲ – ۱). زمانی که یک سگمان حول یک محور خاص می چرخد، آن سگمان در صفحه ای حرکت می کند که بر محور چرخش آن عمود است.

- چرخش یک سگمان بدن حول محور X یا محور کرونال، در **صفحه ساژیتال** اتفاق می افتد که می توان آن را به صورت حرکات سگمان در بعد جلو – عقب تجسم نمود (مثل فلکسیون / اکستانسیون اندام فوقانی در مفصل گلنوهومرال).
- چرخش یک سگمان بدن حول محور Y یا محور عمودی، در **صفحه عرضی**[2] اتفاق می افتد که می توان آن را به صورت حرکات سگمان موازی با زمین تجسم نمود (مثل چرخش داخلی / خارجی اندام تحتانی در مفصل هیپ). حرکات یک مفصل در صفحه عرضی، اغلب حول محوری اتفاق می افتند که از طول استخوان بلند در حال چرخش عبور می کند و محوری را می سازد که واقعا جهت گیری عمودی ندارد. به همین دلیل اغلب از واژه **محور طولی (یا بلند)**[3] به جای محور عمودی استفاده می شود.
- چرخش یک سگمان بدن حول محور Z یا محور قدامی – خلفی (A-P)، در صفحه فرونتال اتفاق می افتد. حرکات در صفحه فرونتال (همچنین صفحه کرونال خوانده می شود) را می توان به صورت حرکات سگمان در بعد طرفی (side-toside) تجسم نمود (مثل ابداکسیون / اداکسیون اندام فوقانی در مفصل گلنوهومرال).

چرخش و جابجایی خطی (ترنسلیشن) سگمان های بدن به حرکت در طول یا حول محور های اصلی یا در داخل صفحات اصلی محدود نمی شوند. صفحات و محور های اصلی برای ساده سازی حرکت انسانی هستند. آنچه که بیشتر در مورد سگمان بدن رایج است این نکته می باشد که یک سگمان در سه بعد با دو یا سه درجه آزادی حرکت می کند.

چند نکته از Neumann 2017

- حرکت کلی بدن انسان، اغلب به عنوان ترنسلیشن مرکز ثقل بدن (عموما قدام به ساکروم واقع است) توصیف می شود. گرچه مرکز ثقل فرد در فضا جابجا می شود، نیروی این کار به وسیله عضلات تامین می شود که اندام ها را می چرخانند.

[1] . Cardinal planes

[2] . Transverse plan

[3] . Longitudinal (or Long) axis

• متغیر های اصلی مرتبط با کینماتیک عبارتند از: وضعیت، سرعت و شتاب.

• به عنوان یک تخمین خام و کلی، می توان فرض کرد که محور (یا نقطه محوری) از میان جزء محدب مفصل عبور می کند. برای مثال مفصل شانه به حرکت در سه صفحه اجازه می دهد؛ بنابراین ۳ محور چرخش دارد. گرچه سه محور عمود بر هم، به صورت ثابت و بی حرکت ترسیم شده اند؛ اما در واقعیت، همانند تمامی مفاصل، هر محور در طول دامنه حرکتی، کمی جابجا (شیفت) می شود .

• محور چرخش فقط در صورتی ثابت باقی می ماند که جزء محدب مفصل یک کره ی کامل باشد و با یک جزء کاملا مقعر متناظر مفصل شود. جزء محدب اغلب مفاصل، همانند سر هومروس در شانه، به شکل کره ی ناقص[1] هستند که انحناء سطح شان تغییر می کند.

• به تعداد جهت های حرکتی مستقل که در یک مفصل اجازه داده می شود، **درجات آزادی**[2] گفته می شود. برای مثال شانه دارای سه درجه آزادی حرکت زاویه ای، مچ دست دارای دو درجه آزادی، و آرنج فقط یک درجه آزادی است.

تمامی مفاصل سینوویال در بدن انسان حداقل مقداری ترنسلیشن دارند، که به شکل فعال توسط عضلات یا به شکل غیر فعال به دلیل شلی طبیعی در ساختار های مفصل، اتفاق می افتد. به این حرکات ترنسلیشن غیر فعال اندک، که در اغلب مفاصل اتفاق می افتند، **حرکات فرعی**[3] **(یا بازی مفصلی**[4]**)** گفته می شود.

جهت جابجائی

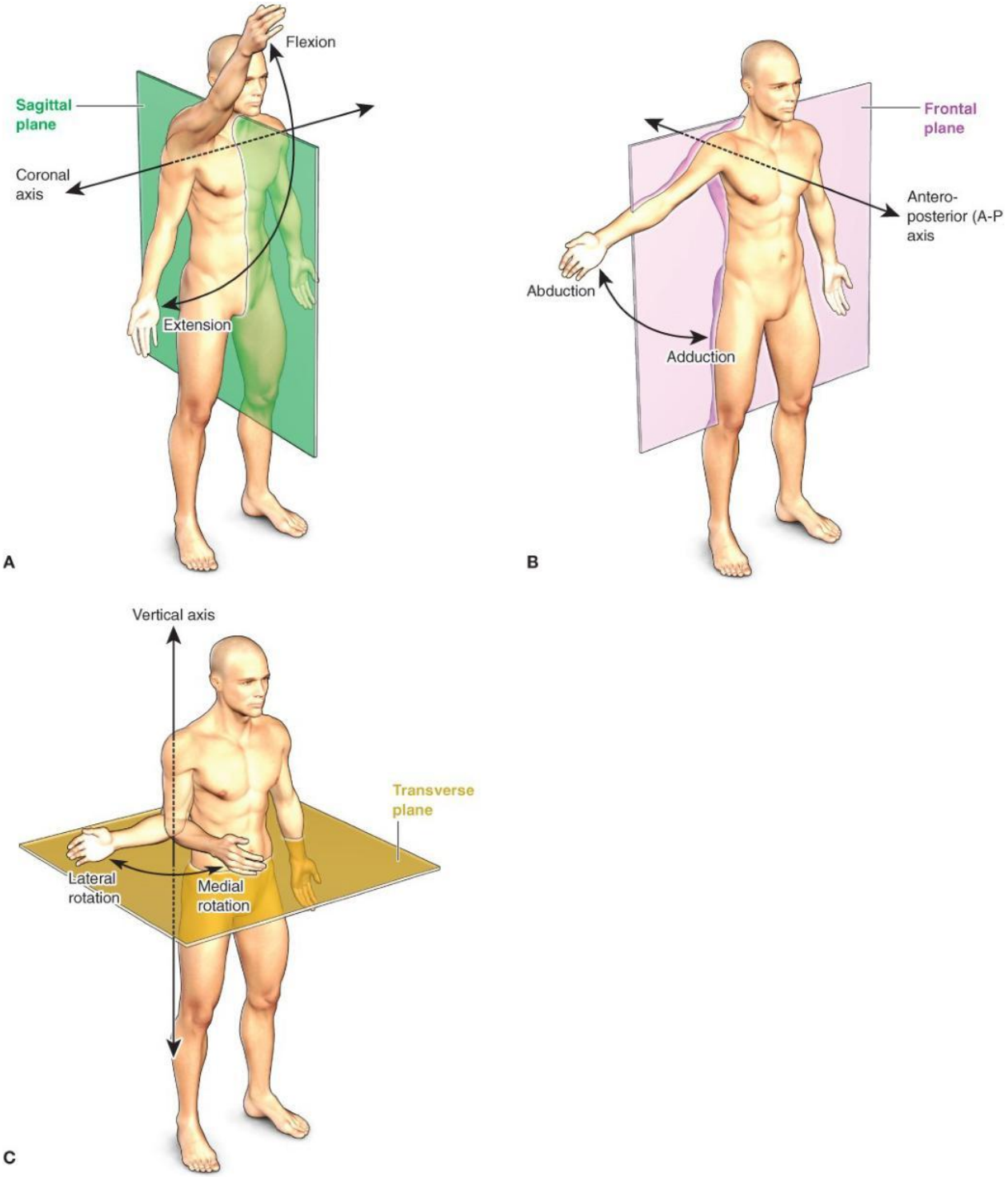
حتی اگر جابجائی یک سگمان به یک محور منفرد محدود باشد، حرکت چرخشی یا جابجائی خطی (ترنسلیتوری) یک سگمان می تواند حول یا در طول آن محور در دو جهت متفاوت انجام شود (شکل ۳ ۱-). در مورد حرکات چرخشی، جهت حرکت یک سگمان حول یک محور می تواند در جهت عقربه ساعت و یا در جهت خلاف عقربه ساعت تعریف شود. فلکسیون و اکستانسیون، حرکات یک سگمان هستند که حول محور یکسان و در صفحه یکسان (تک محوری یا تک صفحه ای) اما در جهات مخالف هم اتفاق می افتند (شکل A ۳ – ۱). عموما فلکسیون و اکستانسیون در صفحه ساژیتال و حول یک محور کرونال اتفاق می افتند؛ گرچه موارد مستثنی نیز وجود دارد مثل فلکسیون و اکستانسیون مفصل کارپومتاکارپ شست دست.

ابداکسیون و اداکسیون یک سگمان حول محور قدامی خلفی و در صفحه فرونتال، اما در جهات مخالف، اتفاق می افتند؛ هر چند که ابداکسیون و اداکسیون مفصل کارپومتاکارپ شست دست مستثنی است (شکل B ۳- ۱). به لحاظ آناتومیک، با ابداکسیون، سگمان از خط میانی بدن دور می شود در حالیکه با اداکسیون، سگمان به سمت خط میانی بدن آورده می شود. زمانی که سگمان متحرک، بخشی از خط میانی بدن باشد (مثلا تنه یا سر)، عموما حرکت چرخشی به عنوان فلکسیون جانبی[5] (به راست یا چپ) نام گذاری می شود.

حرکت چرخش به داخل یا چرخش به خارج، حرکات مخالفی هستند که عموما حول یک محور عمودی (یا طولی) در صفحه عرضی اتفاق می افتند (شکل C ۳ – ۱). به لحاظ آناتومیکی، چرخش داخلی وقتی اتفاق می افتد که سگمان موازی با زمین و به طرف خطی میانی حرکت می کند؛ درحالیکه چرخش خارجی در جهت مخالف با آن اتفاق می افتد. زمانی که سگمان، بخشی از خط میانی باشد (مانند سر یا تنه)، چرخش در صفحه عرضی، به سادگی تحت عنوان چرخش به راست یا چرخش به چپ تعریف می شوند.

---

1. Imperfect sphere
2. Degres of freedom
3. Accessory movements
4. Joint play
5. Lateral flexion



شکل ۳ – ۱: تعاریف آناتومیکی حرکت. A: فلکسیون و اکستانسیون، به ترتیب، حرکات به جلو (قدام) و عقب (خلف) هستند که به طور معمول حول محور کرونال و در صفحه ساژیتال انجام می شوند. B: حرکات ابداکسیون و اداکسیون، به ترتیب، در جهت دور شدن از خط میانی بدن و به سمت خط میانی بدن هستند که به طور معمول حول یک محور قدامی خلفی و در صفحه فرونتال انجام می شوند. C: چرخش داخلی و خارجی، به ترتیب، حرکات غلتشی به طرف خط میانی بدن و در جهت مخالف خط میانی بدن هستند که حول محور عمودی (یا طولی) و در صفحه عرضی انجام می شوند.

اندازه جابجائی

اندازه ی حرکت چرخشی (یا جابجایی زاویه ای)، که یک سگمان بدن می تواند در آن حرکت نماید، **دامنه حرکتی (ROM)**[1] نامیده می شود. مرسوم ترین روش کلینیکی مورد استفاده برای اندازه گیری دامنه حرکتی موجود مفصل، گونیامتر است و واحد آن، درجه می باشد. اگر یک شی در طول یک دایره کامل بچرخد، یعنی ۳۶۰ درجه حرکت داشته است. حرکت ترنسلیتوری یک سگمان با اندازه جابجائی خطی آن بیان می شود. واحد های توصیف حرکت ترنسلیتوری، همان واحد های طول می باشند.

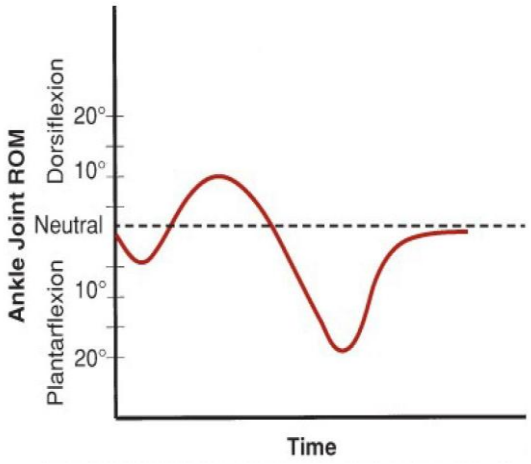
جابجایی های خطی کل بدن، اغلب به صورت کلینیکی اندازه گیری می شود. مثلا تست راه رفتن به مدت ۶ دقیقه (یک تست از وضعیت عملکردی در افراد مبتلا به مشکلات قلبی عروقی)، فاصله ی پیموده شده بر حسب فوت یا متر در مدت ۶ دقیقه را اندازه گیری می کند.

سرعت جابجائی

گرچه بزرگی یا اندازه ی جابجایی اهمیت دارد، سرعت تغییر در وضعیت سگمان (جابجایی در واحد زمان) به همان اندازه اهمیت دارد. جابجایی در واحد زمان، صرف نظر از جهت، **تندی**[2] نام دارد؛ در حالیکه جابجایی در واحد زمان در یک جهت معین، **سرعت**[3] نامیده می شود. اگر سرعت در طول زمان تغییر کند، به تغییر سرعت در واحد زمانی، **شتاب**[4] گویند.

در سیستم SI، سرعت خطی[5] (سرعت سگمان در حال ترنسلیشن) ترنسلیشن) بر حسب متر بر ثانیه و در سیستم آمریکایی بر حسب فیت بر ثانیه بیان می شود. واحد های متناظر برای شتاب عبارتند از: متر بر مجذور ثانیه و فیت بر مجذور ثانیه.

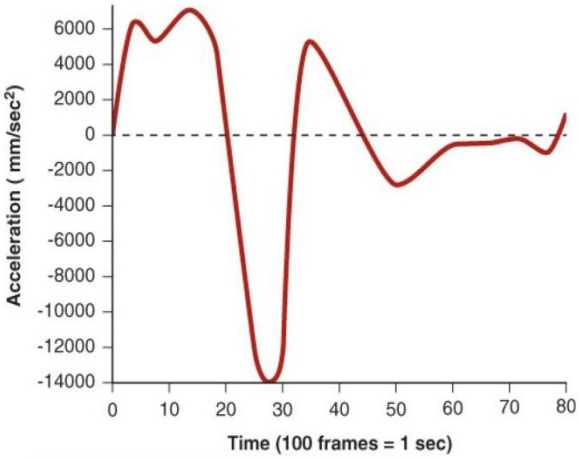
سرعت زاویه ای[6] (سرعت سگمان در حال چرخش) بر حسب درجه بر ثانیه بیان می شود؛ در حالیکه شتاب زاویه ای بر حسب درجه بر مجذور ثانیه بیان می شود. برای تعیین تغییرات در جابجایی با گذشت زمان از یک الکتروگونیامتر یا سیستم آنالیز حرکت سه بعدی استفاده می شود. نمودار تغییرات بر حسب زمان، که به وسیله کامپیوتر تولید می شود، به شکل گرافیکی زایه بین دو سگمان استخوانی (یا چرخش یک سگمان در فضا) در هر نقطه از زمان و نیز جهت حرکت را ترسیم می کند (شکل ۴ – ۱). اندازه ی شیب منحنی بیانگر سرعت زایه ای است. در شکل ۵– ۱، تغییر در شتاب خطی یک سگمان بدنی (یا نقطه ای روی بدن) در طی زمان، بدون توجه به تغییرات در زاویه مفصل، نشان داده شده است.



شکل ۴ – ۱: زمانی که دامنه حرکتی مفصل روی محور Y (محور عمودی) و زمان روی محور X (محور افقی) نشان داده شود، نمودار ترسیم شده بیانگر تغییر در وضعیت مفصل در طی زمان می باشد. شیب نمودار ترسیم شده بیانگر آن است که سرعت مفصل تغییر می کند

[1] . ROM
[2] . Speed
[3] . Velocity
4. Acceleration
[5] . Linear velocity

[6] . Angular velocity



شکل ۵ – ۱: حرکت نقطه ای روی یک سگمان را می توان با ترسیم شتاب سگمان (محور Y) در طی زمان (محور X) نشان داد. شیب و ترند خط نشان دهنده ی افزایش یا کاهش اندازه شتاب، در زمانی که حرکت ادامه می یابد، است.

نیرو

• توصیف های کینماتیک از حرکت انسانی به ما اجازه می دهد که حرکت را تجسم کنیم اما درکی از این که چرا حرکت در حال وقوع است، به ما نمی دهد. این مطلب به مطالعه ی نیرو نیاز دارد.

این که آیا یک جسم یا قطعه ای از جسم (یا بدن) در حرکت است یا در استراحت، به نیرو های خارجی وارده بر آن جسم بستگی دارد. در یک بیان ساده، می توان یک نیرو را چنین تعریف کرد: **هل دادن یا کشیدن**[1] که یک جسم (یا ماده) روی جسم دیگر اعمال می کند. هر گاه دو شی با یکدیگر تماس یابند، آنها بر روی یکدیگر مقداری نیرو (به شکل هل دادن یا کشیدن) اعمال می کنند.

واحد نیرو (هل دادن یا کشیدن) در سیستم SI، نیوتن (N) و در سیستم US، پوند(Ib) است. ایده ی یک نیرو به شکل هل دادن یا کشیدن را می توان به راحتی برای توصیف نیرو های مواجه شده در ارزیابی حرکت انسانی استفاده نمود.

گرچه در ساده ترین حالت، یک نیرو به عنوان هل دادن یا کشیدن توصیف می شود؛ همچنین به عنوان یک مفهوم تئوریک توصیف می شود زیرا فقط اثرات آن (شتاب) را می توان اندازه گرفت. نیروی وارده بر یک جسم را می توان توصیف نمود اگر به این درک برسیم که: نیرو (F) به طور مستقیم با شتاب (a) و جرم (m) آن جسم رابطه دارد. واحد نیرو، کیلوگرم- متر بر مجذور ثانیه یا همان نیوتن است.

جرم جسم × شتاب= نیرو (F= m.a)

یک نیوتن عبارتست از: مقدار نیروی لازم برای شتاب دادن جسم یک کیلو گرمی به اندازه ی یک متر بر مجذور ثانیه

($1N = 1\ Kg \times 1\ m/sec^2$)

نیرو های خارجی[2]، نیرو هایی هستند (هل دادن یا کشیدن) که از منابع خارج از بدن منشاء می گیرند. جاذبه (گراویتی)، جاذبه ی جرم زمین برای جرم دیگر، یک نیروی خارجی است که در شرایط طبیعی مداوما بر همه ی اشیاء اثر می گذارد. وزن (W) یک شی عبارتست از کشش جاذبه روی جرم جسم با شتاب ۹ / ۸ متر بر مجذور ثانیه (یا ۳۲ فوت بر مجذور ثانیه) در شرایط نبود هر گونه مقاومت.

$w = (m)\ (g)$ ؛وزن = (جرم) (جاذبه)

چون وزن، یک نیرو محسوب می شود واحد مناسب آن، نیوتن یا پوند می باشد. با این وجود به طور رایج می بینیم که عده ای وزن را با واحد کیلوگرم بیان می کنند؛ گرچه به طور صحیح، کیلوگرم (kg)، واحد جرم جسم است.

• اغلب در گویش محاوره ای، از واحد های نیرو و جرم به نادرستی استفاده می کنند. عده ای از افرادی که از سیستم متریک استفاده می کنند بر این تصورند که ترازو وزن را به کیلوگرم نشان می دهد (تا این که به نیوتن).

[1] . a push or a pull

[2] . External forces

چون عموما مردم، جرم را بر مبنای وزن تصور می کنند (نیرویی که زمین روی جرم یک شی وارد می سازد)، اغلب در آمریکا از پوند برای اشاره به جرم یک شی استفاده می شود. کیلوگرم واحد جرم جسم بوده و تحت تاثیر جاذبه، یک جرم یک کیلوگرمی حدود ۹/۸ نیوتن (۲/۲ پوند) وزن دارد. تمایز بین مقیاس جرم و مقیاس نیرو اهمیت دارد زیرا جرم یک کمیت نرده ای یا اسکالر (فاقد خط عمل یا جهت) است در حالیکه نیوتن یا پوند، مقیاس نیرو بوده و خصوصات برداری دارد. دائمی ترین نیرویی که یک جسم با آن مواجه می شود جاذبه است، بنابراین هنگام تعیین نیرو های احتمالی وارده بر یک جسم، اولین نیرویی که باید در نظر گرفته شود جاذبه است. البته جاذبه فقط یکی از نیرو هایی خارجی است که می تواند روی بدن یا سگمان های آن تاثیر گذارد. از جمله نیرو های خارجی دیگر که ممکن است روی بدن انسان نیرو (هل دادن یا کشیدن) اعمال کنند عبارتند از: آب (فشار آب روی بدن)، باد (فشار هوا روی بدن انسان)، فرد دیگر (هل دادن یا کشیدن آزمونگر روی بدن) و اشیاء دیگر (فشار دادن زمین روی پا، و کشش وزن مچ پا روی سگمان ساق).

یک نکته مهم آن است که نیرو های وارده بر بدن یا سگمانی از بدن، باید از چیزی منشاء گیرند که با بدن یا سگمان تماس دارد. یک استثناء بزرگ برای این قاعده، نیروی جاذبه است. از طرف دیگر، هر چیزی که با یک سگمان در تماس باشد می بایست روی آن سگمان، نیرو وارد کند؛ هر چند ممکن است به قدری کوچک باشد که از آن صرف نظر کنیم.

نیرو های داخلی[1]، نیرو هایی هستند که روی ساختار های بدن عمل می کنند و از خود ساختار های بدن منشاء می گیرند (یعنی از تماس دو ساختار در بدن). چند مثال در این زمینه عبارتند از: نیروی حاصل از عضلات (کشش عضله دو سر بازویی روی رادیوس)، لیگامان ها (کشش یک لیگامان بر روی استخوانی که به آن وصل است) و استخوان ها (هل دادن یا فشار دادن استخوان روی استخوان دیگر در یک مفصل). نیرو های خارجی می توانند حرکت را تسهیل نموده یا در برابر آن مقاومت اعمال کنند. اغلب نیرو های درونی را به عنوان نیرو هایی می شناسیم که برای شروع حرکت ضروری هستند. البته، واضح است که نیرو های درونی می توانند حرکت تولید شده به وسیله ی نیرو های خارجی را کنترل یا با آن مخالفت کنند، و همچنین می توانند با نیرو های درونی دیگر مقابله کنند.

قواعد اولیه نیرو

۱- تمامی نیروهای وارده بر یک سگمان باید از چیزی نشات گیرند که با آن سگمان در تماس باشد.

۲- هر چیزی که با یک سگمان تماس داشته باشد می بایست نیروئی بر آن سگمان اعمال نماید. (هر چند ممکن است این نیرو به قدری کوچک باشد که از آن صرف نظر شود)

۳- جاذبه را باید چیزی در نظر گیریم که با تمامی اجسام تماس دارد

بردار نیرو

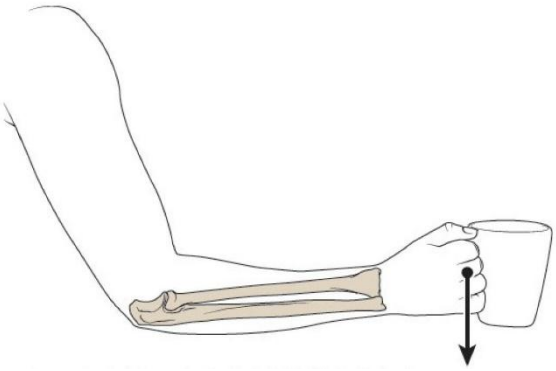
تمامی نیروها، کمیت های برداری[2] هستند. برای توصیف کامل یک بردار در یک آنالیز بیومکانیکی باید اندازه[3]، جهت گیری فضائی[4]، جهت[5] و نقطه اثر یا اعمال نیرو[6] مشخص گردد. اندازه بردار نیرو به وسیله طول فلش مشخص می شود. جهت گیری فضائی بردار نیرو به وسیله وضعیت بدنه فلش معلوم می شود. همچنین جهت گیری فضائی یک نیرو را می توان به وسیله زاویه تشکیل شده بین بدنه فلش و یک سیستم مختصات مرجع نشان داد. جهت بردار نیرو به وسیله سر فلش مشخص می شود. مثلا ممکن است نیروی عضله به سمت بالا (مثبت روی محور ۷) و نیروی جاذبه به سمت پائین (منفی روی محور ۷) باشد.

---

1. Internal forces

2. Vector
3. Magnitude
4. Spatial Orientation
5. Direction
6. Point of Application

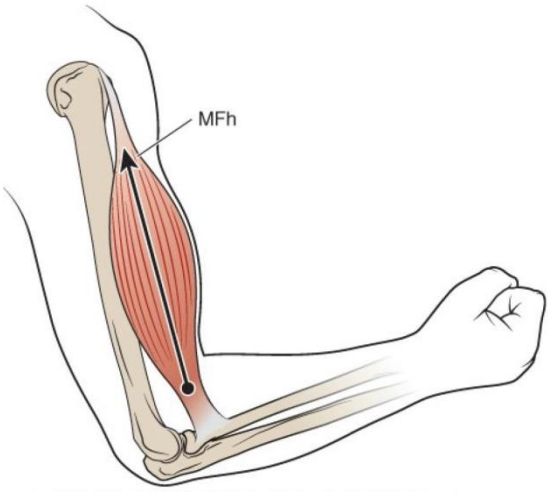
نقطه اثر یک بردار عبارتست از قاعده فلش که با بخشی از بدن تماس دارد. نقطه اثر نیروی عضله، جائی است که عضله به استخوان می چسبد. **زاویه چسبندگی**[1] عبارتست از زاویه بین تاندون یک عضله و محور بلند استخوانی که تاندون به آن چسبیده است. در نامگذاری نیرو، بخش اول همیشه منبع نیرو را مشخص می سازد و بخش دوم نیرو همیشه شی یا سگمانی را مشخص می سازد که نیرو روی آن عمل می کند. تماس یک لیوان قهوه روی ساعد – دست و کشش یک عضله روی ساعد – دست، به ترتیب مثال هایی از نیرو های خارجی و درونی هستند.



شکل ۵- ۱: نمایش بردار کشش وزن لیوان روی سگمان ساعد – دست (MFh)، با اندازه ی متناسب با جرم و برابر با وزن فنجان.

در شکل ۶- ۱، نیروی کشش یک عضله فلکسور (یک نیروی داخلی) روی سگمان ساعد – دست نشان داده شده است. نقطه ی اثر، اتصال عضله روی ساعد است و جهت گیری و جهت آن به سمت مرکز عضله می باشد (نیروی کشش همیشه به سمت منبع نیرو است). این نیرو، نیروی عضله روی ساعد – دست نامیده می شود (که با بردار MFh نشان داده شده است). گرچه مشخص کردن یک نیرو به عنوان نیروی داخلی یا خارجی، ممکن است در برخی زمینه ها مفید باشد؛ اما قوانین ترسیم (یا تجسم) نیرو ها برای نیرو های خارجی، مثل یک لیوان، یا نیرو های داخلی، مثل عضله، یکسان است.

1. Angle -of- insertion



شکل ۶ – ۱: بردار نیروی عضله روی ساعد – دست که بیانگر کشش عضله روی سگمان ساعد – دست می باشد.

بسته به نقطه اعمال (یا اثر) و منبع نیرو، بردار را می توان به صورت هل دادن (فشار وارد کردن) یا کشیدن روی سگمان نشان داد. در شکل ۷ – ۱، بردار نیروی هل دادن و نیز کشدن حاصل از مقاوم خارجی روی ساعد نشان داده شده است. بردار هل دادن[2] در جهت دور شدن از منبع مقاوم خارجی است (شکل ۷ A – ۱) و بردار کشیدن[3] به سمت منبع مقاوم خارجی است (شکل ۷ B – ۱). هر دو بردار یکسان به نظر می رسند و اگر اندازه نیرو یکسان باشد، هر دو بردار، اثر یکسانی روی سگمان ساعد – دست خواهند داشت.

نیروی جاذبه

همان طور که پیشتر بیان شد، نیروی جاذبه، یکی از دائمی ترین و موثر ترین نیرو هایی است که بدن انسان در پاسچر و حرکت با آن مواجه می شود. به همین دلیل، هنگام بررسی نیرو ها، مفید است که ابتدا نیروی جاذبه را در نظر بگیریم. به عنوان یک کمیت برداری، می توان نیروی جاذبه را با نقطه ی اثر، خط عمل / جهت / جهت گیری و اندازه توصیف نمود.

2. Push vector
3. Pull vector