



مکانیک بدن انسان

ترجمه: معصومه خلیلی بروجنی
دبیر زیست‌شناسی منطقه‌ی ۱۹ تهران

اشاره

اهمیت و کاربرد تخصص‌های بین رشته‌ای روزبه‌روز در حال افزایش است. مطلبی که در پی می‌آید از یکی از کتاب‌های معتبر آموزشی انتخاب و ترجمه شده است و تلاقی دو رشته‌ی فیزیک و زیست‌شناسی در آن نمود یافته است.

اسکلت انسان بیش از ۲۰۰ استخوان دارد که در محل مفصل‌ها با رباط‌ها به هم متصل‌اند. لایه‌های غضروفی و مایع مفصلی، استخوان‌ها را در هر مفصل جدا می‌کند. حرکت، حاصل از انقباض ماهیچه‌هایی است که با زردپی‌ها (تاندون‌ها) به استخوان‌ها وصل شده‌اند. وارد شدن نیروی زیاد روی زردپی‌ها یا لایه‌های غضروفی، ممکن است سبب از کار افتادگی دائم شود. در این جا نیروهایی را که روی زردپی‌ها و لایه‌های غضروفی آرنج، مفصل لگنی، مفصل زانو و ستون مهره‌ها وارد می‌شود، بررسی می‌کنیم. حدود این نیروها را ویژگی‌های کشسانی زردپی‌ها، لایه‌های غضروفی و استخوان مشخص می‌کند. زردپی‌ها تحت کشش، مقاوم‌اند و می‌توانند فشارهای کششی^۱ تا 10^6Nmm^{-2} را تحمل کنند. غضروف تحت تراکم مقاوم است و می‌تواند فشارهای تراکمی^۲ تا حدود 10^8Nmm^{-2} را تاب بیاورد. استخوان تحت فشردگی خیلی

تبادل باشد، یک‌دیگر را خنثی می‌کنند. همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، مؤلفه‌های افقی وجود ندارند. نیرویی که روبه‌بالا وارد می‌شود (T ناشی از ماهیچه‌ی دوسر) با نیروهایی که به طرف پائین وارد می‌شود برابر است. یعنی:

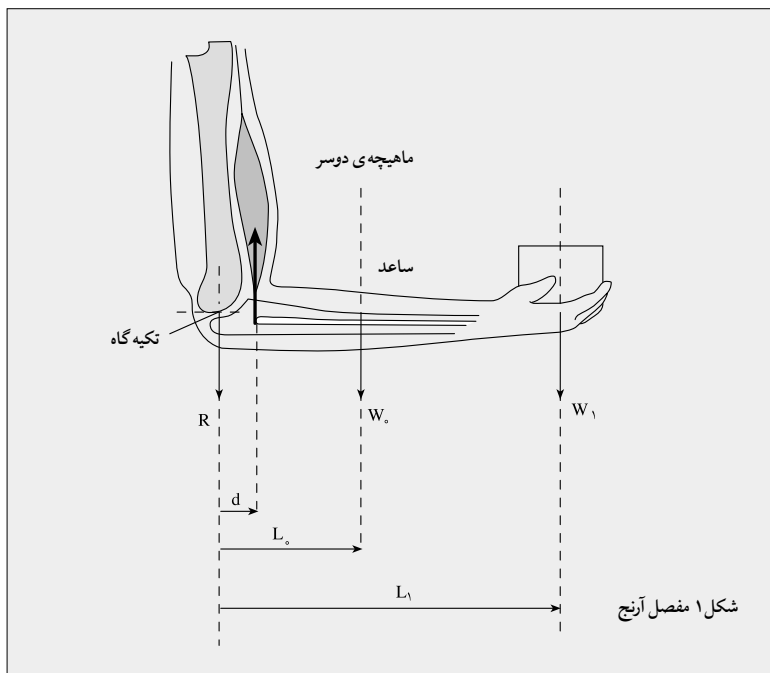
$$T = W_2 + W_1 + R$$

در این رابطه R نیروی واکنش بازو روی تکیه‌گاه، W_2 وزن ساعد و W_1 وزن جسمی است که توسط دست نگه داشته شده است. با استفاده از اصول گشتاورها حول

قوی‌تر از غضروف است، اما نه قوی‌تر از وقتی که در معرض تنش (فشار) برشی^۳ حدود 10^6Nmm^{-2} قرار می‌گیرد.

مفصل آرنج

ماهیچه‌ی دو سر حدود ۵۰ mm از تکیه‌گاه مفصل آرنج، به استخوان ساعد وصل شده است. شکل ۱ نیروهای وارد شده بر ساعد در حالت افقی و بازو در حالت عمودی را نشان می‌دهد. نیروهای وارد شده به ساعد وقتی در

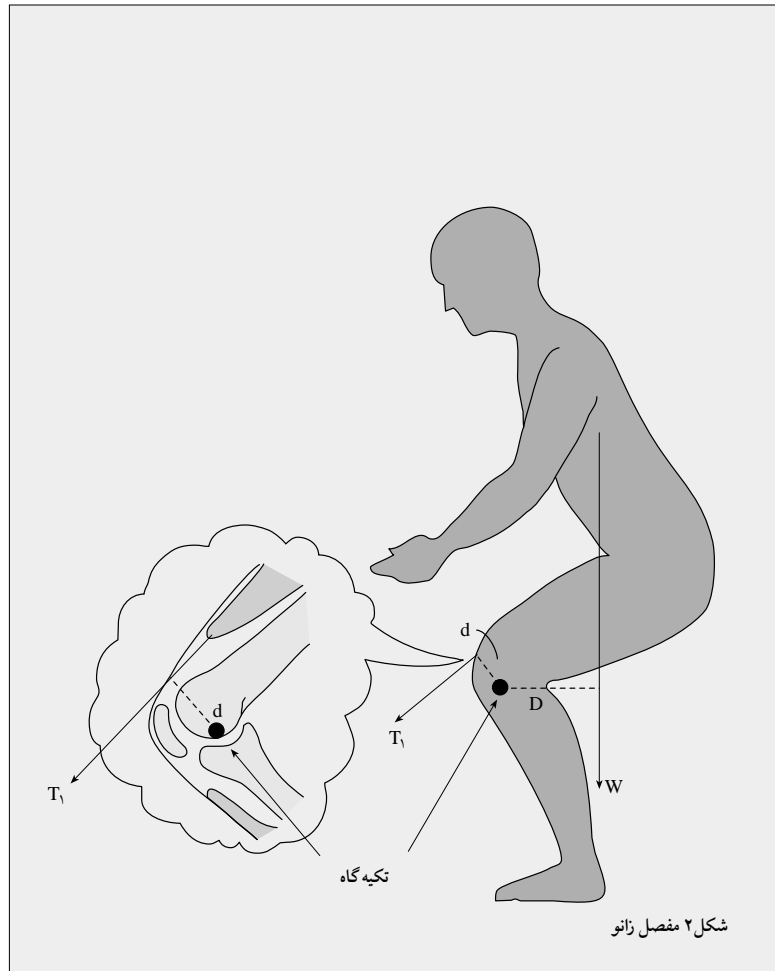


$$T_1 d = \frac{1}{2} WD$$

که در آن T_1 نیروی کششی در زردپی بالایی است، W وزن کل بدن بالای زانو و D و d باری که بدن حمل می‌کند، فاصله‌هایی هستند که در شکل ۲ نشان داده شده است. هر زانو $\frac{1}{2}W$ را تحمل می‌کند. برای نمونه، تقریباً $D = 5d$ و در نتیجه به طور تقریبی $T_1 = 2/5W$. به این ترتیب وزن بدن و بار $1000N$ مقدار $T = 250N$ به دست می‌دهد. مساحت سطح مقطع زردپی در مفصل زانو از مرتبه 100mm^2 است که نظیر نیروی کششی حدود $10000N$ برای بیشینه‌ی فشار 100Nmm^{-2} است. نیروی کششی در زردپی‌ها، دلیل نیروی تراکمی از همان مرتبه است که بر لایه‌های غضروفی در مفصل زانو وارد می‌شود. نیروی خیلی بزرگ می‌تواند به پاره شدن زردپی‌ها یا ساییدگی غضروف‌ها منجر شود.

مفصل لگنی

مفصل لگنی یک مفصل «گوی و کاسه‌ای» است که نیمی از وزن بالای تنه و نیمی از باری که به بدن اضافه شده است را تحمل می‌کند (شکل ۳).



شکل ۲ مفصل زانو

است که ستون مهره‌های خود را تا حد امکان به صورت عمودی نگه داریم. در نتیجه بیش تر فشار، هنگام بلند کردن، از ستون مهره‌ها به مفصل زانو منتقل می‌شود. شکل ۲ نیروهای وارد شده به مفصل زانو را در حالت خمیده نشان می‌دهد. با به کار بردن اصول گشتاورها حول مرکز مفصل زانو داریم:

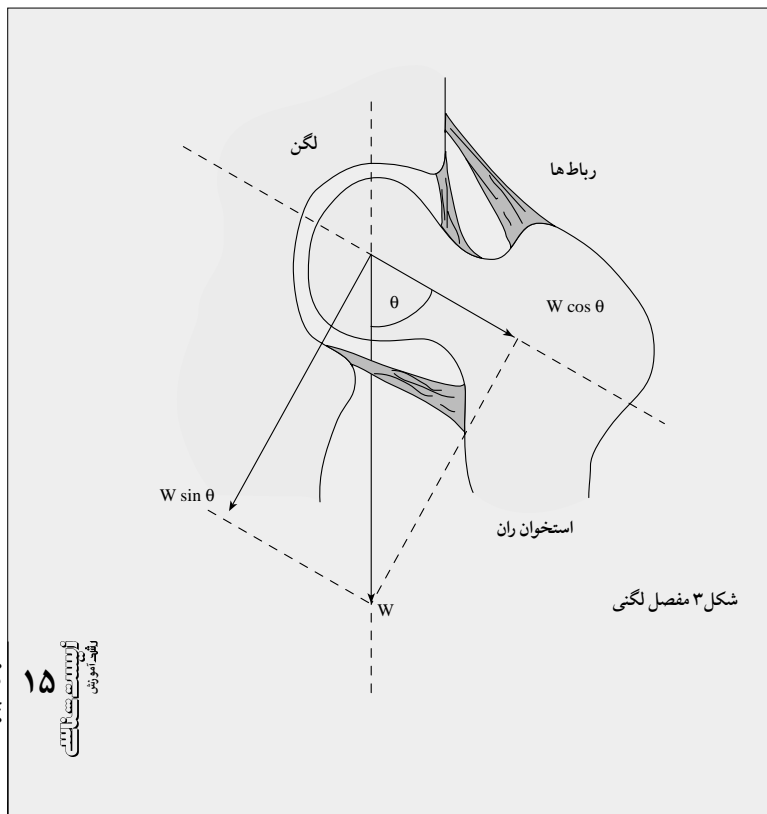
تکیه گاه این معادله به دست می‌آید:

$$Td = W_1 L_1 + W_2 L_2$$

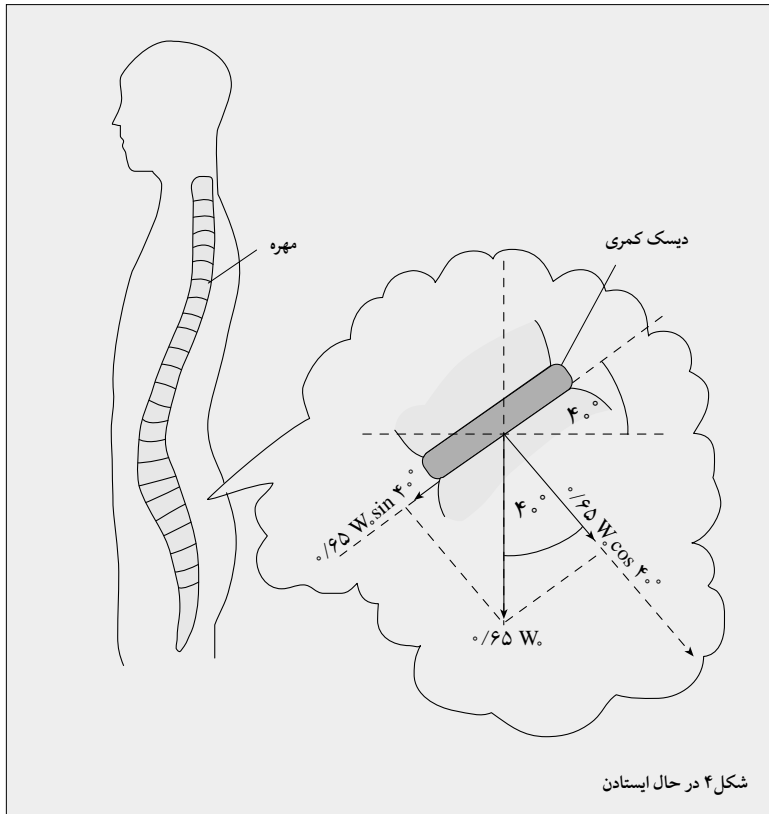
با دانستن مقادیر W_1 ، W_2 ، d ، L_1 و L_2 می‌توان از معادله‌ی گشتاورها برای محاسبه‌ی T استفاده کرد. از معادله‌ی اول می‌توان با دانستن W_1 ، W_2 و T برای محاسبه‌ی R استفاده کرد. به ازای مقادیر $W_1 = 20N$ ، $W_2 = 50N$ ، $d = 50\text{mm}$ ، $L_1 = 50\text{mm}$ و $L_2 = 20\text{mm}$ مقدار $T = 40N$ و $R = 330N$ به دست می‌آید. توجه کنید که با حذف W_1 مقدار $T = 200N$ و $R = 330N$ نتیجه می‌شود. با نگه داشتن کتابی به وزن $20N$ کشیدگی زردپی دوبرابر می‌شود و نیروی واکنش در محل تکیه گاه بیش از دوبرابر می‌شود. زردپی می‌تواند فشارکششی تا حدود 100Nmm^{-2} را تحمل کند. برای نمونه، مساحت سطح مقطع زردپی آرنج حدود 200mm^2 است که نظیر نیروی بیشینه‌ی $2000N$ است.

مفصل زانو

روش درست برای بلند کردن جسم، آن



شکل ۳ مفصل لگنی



وقتی در وضعیت طبیعی ایستاده ایم، محور مفصل گوی نسبت به عمود 50° متمایل است. به این ترتیب، نیروی تراکمی $W \cos 50^\circ$ و نیروی کششی $W \sin 50^\circ$ بر مفصل گوی وارد می شود و W کل وزنی است که مفصل تحمل می کند. نیروی خیلی بزرگ باعث می شود مفصل لگنی از گردن مفصل گوی شکسته شود، چون مقاومت استخوان در مقابل نیروی برشی به طور قابل ملاحظه ای ضعیف تر از نیروی تراکمی است. همچنین، مسن تر شدن و بیماری های خاصی می توانند باعث پوکی استخوان و به علاوه عدم تحمل تنش، به ویژه تنش برشی شود.

اثری های بلند کردن و خم شدن بر ستون مهره ها

ستون مهره ها شامل ۲۴ مهره ی جداگانه است که از نخاع محافظت می کند. غضروف های بین مهره ها (دیسک ها) سبب کاهش فشار مهره ها روی یک دیگر می شوند و آن ها را از هم جدا می کند.

وقتی در وضعیت طبیعی ایستاده ایم، مهره های کمری و دیسک ها حدود ۶۵ درصد از وزن بدن W را تحمل می کنند و در معرض تنش برشی هستند، زیرا آن ها 40° به طرف بالا نسبت به افق متمایل اند. شکل ۴ نیروهای وارد به یک دیسک کمری را نشان می دهد.

نیروی تراکمی (به طور عمودی بر دیسک وارد می شود)

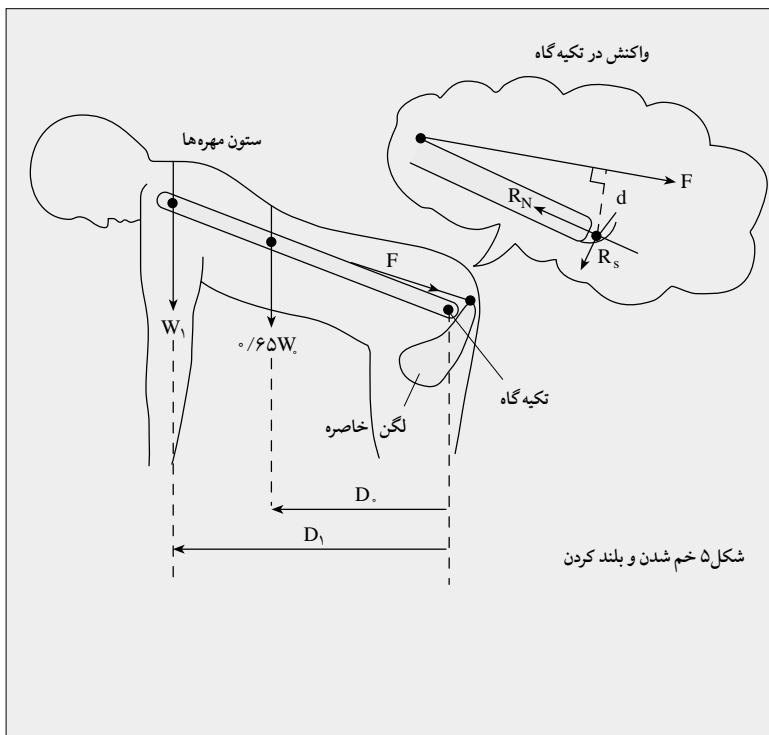
نیروی تنشی (در امتداد سطح دیسک وارد می شود) می توانید نشان دهید که تنش برشی که بر دیسکی به مساحت 500 mm^2 وارد می شود حدود 0.5 N/mm^2 برای شخصی به وزن 600 N است.

بلند کردن جسم هنگام خم شدن فشار خیلی زیادی را روی دیسک های کمری وارد

می کند. شکل ۵ نیروهای وارد شده بر ستون مهره ها را برای حالتی نشان می دهد که زاویه ی آن نسبت به عمود 70° و در حال بلند کردن جسمی است. توجه کنید ستون مهره ها حول پایه اش در لگن خاصره می چرخد. ماهیچه های پشت باید نیروی خیلی بزرگ F را برای چرخاندن بالاتنه، حول این تکیه گاه اعمال کنند.

● با به کارگیری اصول گشتاورها حول تکیه گاه معادله ی زیر به دست می آید:

$$Fd = 0.65W_1 D_1 + W_2 D_2$$



W. وزن بدن، W_1 وزنه‌ای که بلند شده است، فاصله‌های d ، D_1 و D_2 در شکل ۵ نشان داده شده‌اند.

● با تجزیه‌ی همه‌ی نیروهای وارد شده به ستون مهره‌ها بر حسب مؤلفه‌های موازی و عمودی معادله‌های زیر به دست می‌آید:

$$R_N = F \cos \theta_1 + (0.65W_0 + W_1) \cos 7^\circ$$

$$R_S = F \sin \theta_1 + (0.65W_0 + W_1) \sin 7^\circ$$

R_N و R_S مؤلفه‌های عمودی و برشی نیروی واکنش R روی ستون مهره‌ها ناشی از لگن خاصره است و θ_1 زاویه‌ی زردپی ماهیچه‌ی پشت با ستون مهره‌هاست.

به ازای مقادیر $\theta_1 = 1^\circ$ ، $W_1 = 800N$

$$D_1 = 1/2m, D_2 = 0/8m,$$

$$d = 0/12m, W_1 = 0 \text{ و } R_N, F \text{ مقادیر } 3/6KN, 3/5KN$$

و $1/1KN$ به دست می‌آید و به ازای

$W_1 = 200N$ (حدود وزن یک چمدان)

اعداد $5/5KN$ ، $5/6KN$ و $1/6KN$

به دست می‌آید. در مقایسه، وقتی صاف

ایستاده‌ایم، $F = 0$ و نیروهای تراکمی و

برشی روی دیسک‌های کمری برای شخصی

به وزن $800N$ که باری به وزن $200N$ را

حمل می‌کند به ترتیب $360N (= 0/5W)$ و

$300N (= 0/42W)$ است (که در آن

$$W = 0/65 \times 800 + 200 = 720N$$

این نتایج در جدول یک خلاصه شده

است. مقادیر فشار برای دیسکی به مساحت

$$50 \text{ mm}^2 \text{ حساب شده‌اند.}$$

دیسک‌های در معرض فشارهای تراکمی

تا حدود $2Nmm^{-2}$ کشسان‌اند و حدود

$30Nmm^{-2}$ دچار پارگی می‌شوند. پارگی

ناشی از فشارهای برشی در فشارهای خیلی

جدول ۱.

کم‌تر رخ می‌دهد. روشن است، خم شدن برای بلند کردن یک کیف دستی توصیه نمی‌شود!

راه رفتن و دویدن

شکل ۶ نیروهای وارد بر پای شما را در

دو وضعیت مختلف، وقتی که پای شما

هنگام پرش با زمین در تماس است و به آن

وارد می‌شود، نشان می‌دهد.

تعداد می‌رسند.

تحلیل برای عدم سر خوردن در هر دو

مورد، مشابه است. تجزیه‌ی P به مؤلفه‌های

عمودی و افقی $F = P \sin \theta$ و

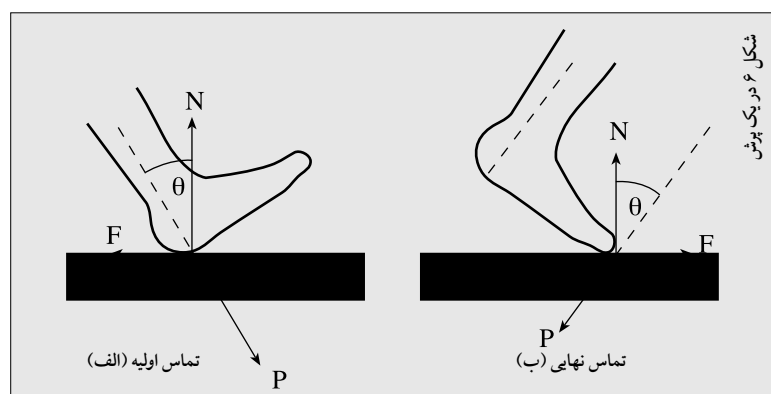
$N = P \cos \theta$ را به دست می‌دهد که در آن

θ زاویه‌ی پا با عمود است.

به ازای $F \leq \mu N$ سر خوردن رخ نمی‌دهد،

در اینجا μ ضریب اصطکاک بین پاشنه‌ی

پا و سطح است. در نتیجه داریم:



$$P \sin \theta \leq \mu P \cos \theta$$

بیشینه‌ی زاویه برای سر نخوردن توسط

$\sin \theta = \mu \cos \theta$ به دست می‌آید.

$\tan \theta \leq \mu$ شرط زیر را برای سر نخوردن به

دست می‌دهد.

وقتی راه می‌رویم، برای اجتناب از سر

خوردن باید قدم‌های کوتاه برداریم. وقتی

می‌دویم، برای رسیدن به سرعت زیاد باید

مقادیر θ بزرگ باشند، به این ترتیب

اصطکاک زیاد و در نتیجه تماس خوب بین

سطح زمین و کفش‌های ورزشکار دوندۀ

ضروری است.

● وقتی برای نخستین بار پا با زمین تماس

پیدا می‌کند، پاشنه‌ی پا زمین را به طرف جلو

هل می‌دهد (شکل ۶-الف). اصطکاک بین

زمین و پاشنه‌ی پا، پاشنه‌ی پا را از سر

خوردن باز می‌دارد. نیروی فشاری P از طرف

پاشنه‌ی پا با نیروی اصطکاک F و نیروی

واکنش N بین زمین و پا به تعادل می‌رسند.

● وقتی پا در حال جدا شدن از زمین است

(شکل ۶-ب)، پنجه‌ی پا زمین را به طرف

عقب هل می‌دهد. دوباره، اگر اصطکاک

مانع سر خوردن شود نیروی فشاری P از

طرف پا با نیروی اصطکاک F (که در جهت

جلو به پا وارد می‌شود) و نیروی واکنش N به

زیرنویس

1. Tensile stresses
2. Compressive stresses
3. Shear stress

منبع

Jim Breithaupt, Understanding physics for Advanced Level, Fourth Edithior, Nelson Thornes Ltd, 2000.

فشار برشی	فشار تراکمی			F(kN)	حالت
0/44	0/52	0/22	0/26	0	ایستادن بدون بار
0/6	0/72	0/3	0/36	0	ایستادن با بار
2/2	7/2	1/1	3/6	3/5	خم شدن بدون بار
3/2	11/2	1/6	5/6	5/5	خم شدن با بار