

مضامین بیومکانیک ورزشی

لوکاس لیل

مترجمان:

دکتر حمید طباطبائی

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب
دکتری تخصصی آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی

مهسا مصلحی

دانشجوی دکتری آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی دانشگاه تهران

اکرم اسکندری

دانشجوی دکتری آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی دانشگاه تهران

محمد کریمی زند

کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی و تندرستی

فهرست

فصل اول:

۵ مبانی مکانیک تمرین

فصل دوم:

۱۲ اصول نیروها و ویژگی‌های بار

فصل سوم:

۵۲ سیستم‌های اهرمی

فصل چهارم:

۱۳۰ عملکرد عضلانی و کنترل مفصل

مکانیک ورزش یکی از حوزه‌های کلیدی و بنیادین در علم ورزش و توانبخشی است که به بررسی نیروها، حرکات و تعاملات بدن انسان در حین فعالیت‌های فیزیکی می‌پردازد. این علم از طریق تجزیه و تحلیل علمی رفتار بدن در شرایط مختلف، به ما این امکان را می‌دهد که بهینه‌سازی عملکرد ورزشی، افزایش کارایی تمرینات، و پیشگیری از آسیب‌ها را به نحو موثری انجام دهیم. در دنیای ورزش، درک عمیق مکانیک بدن می‌تواند تفاوت قابل توجهی در عملکرد ورزشکاران و بهبود نتایج آنها ایجاد کند.

در فصل اول، ما به مبانی مکانیک ورزش می‌پردازیم و به تعریف نیروهای مختلف، از جمله نیروهای خارجی و داخلی و اثرات آنها بر بدن انسان خواهیم پرداخت. این فصل همچنین شامل یک بررسی جامع از انواع بارها و پاسخ‌های بدن به این نیروها است. ما به بررسی مفاهیم کلیدی مانند وکتورهای نیرو و نحوه تجزیه و تحلیل آنها در شرایط مختلف خواهیم پرداخت. درک این مبانی به ورزشکاران و مربیان کمک می‌کند تا بتوانند با آگاهی بیشتری به طراحی تمرینات بپردازند.

فصل دوم، به سیستم‌های اهرمی و نحوه کارکرد آنها در بدن انسان اختصاص دارد. ما به بررسی لینک‌ها و حرکات مفاصل و همچنین کینماتیک سیستم‌های اهرمی خواهیم پرداخت. این فصل نشان می‌دهد که چگونه می‌توانیم از اصول اهرم‌ها برای بهینه‌سازی حرکات ورزشی استفاده کنیم. به علاوه، ما به بررسی جنبه‌های مختلف کینماتیک، از جمله سرعت و شتاب در حرکات ورزشی خواهیم پرداخت و نحوه تأثیرگذاری این عوامل بر عملکرد کلی بدن را مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهیم داد.

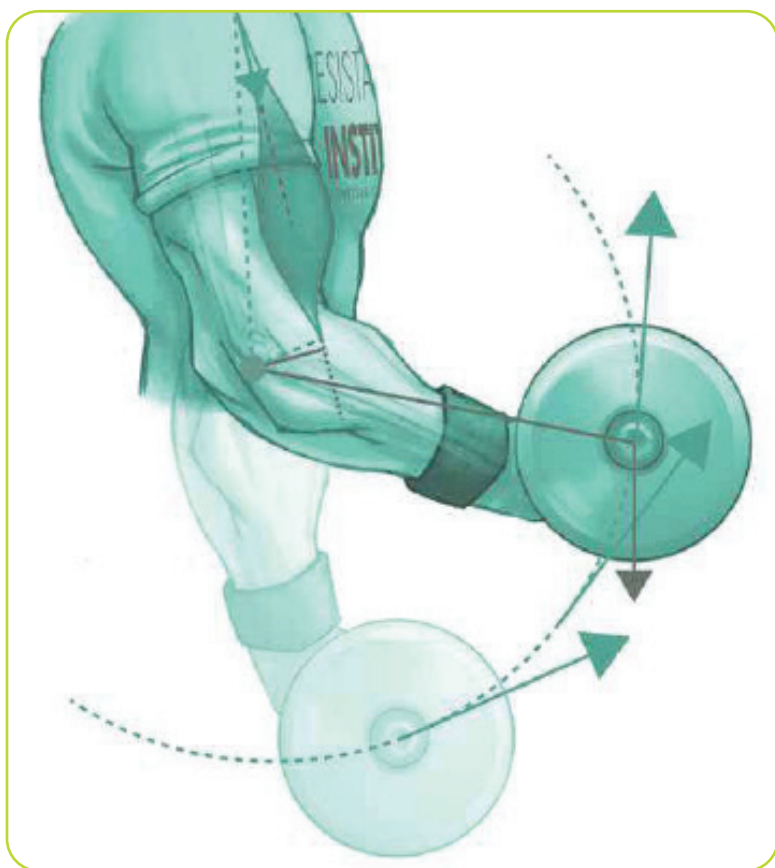
در فصل سوم، به عملکرد عضلات و کنترل حرکتی خواهیم پرداخت. این فصل به ساختار و عملکرد عضلات، کنترل عصبی و ویژگی‌های مکانیکی آنها می‌پردازد. ما اهمیت مشارکت عضلانی در تمرینات استقامتی و قدرتی را بررسی خواهیم کرد و به این نکته خواهیم پرداخت که چگونه کنترل حرکتی می‌تواند بر نتایج ورزشی تأثیر بگذارد. با درک این مفاهیم، ورزشکاران می‌توانند به بهبود تکنیک‌های حرکتی خود و افزایش عملکرد کلی خود بپردازند.

در نهایت، فصل چهارم به جنبه‌های کاربردی موضوعات مطرح شده می‌پردازد و به بررسی نحوه طراحی تمرینات بر اساس اصول مکانیک ورزش می‌پردازد. این فصل به مربیان و ورزشکاران کمک می‌کند تا با استفاده از دانش مکانیک، تمرینات مؤثرتری طراحی کنند و به بهبود عملکرد و سلامت عمومی دست یابند. ما به بررسی استراتژی‌های تمرینی، روندهای پیشرفته در طراحی برنامه‌های تمرینی و ارزیابی عملکرد خواهیم پرداخت.

این کتاب با هدف ارائه یک درک جامع از مکانیک ورزش و کاربردهای آن در حوزه‌های مختلف طراحی شده است. ما امیدواریم که این منابع به عنوان منبعی مفید برای دانشجویان، مربیان و علاقه‌مندان به ورزش عمل کند و الهام‌بخش نسل‌های آینده در فهم عمیق‌تر از علم مکانیک ورزش باشد. با استفاده از اصول علمی و تجربیات عملی، هدف ما ارتقاء کیفیت تمرینات و بهبود عملکرد ورزشی تمامی افراد است. در نهایت، ما بر این باوریم که علم مکانیک ورزش نه تنها به پیشرفت ورزشی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی افراد در تمامی سنین و سطوح توانایی نیز منجر شود.

۱ فصل

مبانی مکانیک تمرین



۱-۱. مقدمه ای بر مبانی مکانیک ورزش

با توجه به سن و سالم، پذیرش جهانی آنچه اکنون انجام می‌دهیم شاید در طول عمر من محقق نشود؛ اما قطعاً آن روزی زمان فرا می‌رسد، زیرا آنچه انجام می‌دهیم بر پایه‌ی قوانین ساده و بنیادی فیزیک استوار است که نمی‌توان آن‌ها را برای همیشه انکار کرد.

آرتور جونز

”در سال ۲۰۰۱، آغازگر رویکردی نوین در جست‌وجوی تمرینات ورزشی بودم و از تمرکز سنتی بر توانایی‌های پایه‌ای جسمانی و تمرینات مبتنی بر گروه‌های عضلانی فاصله گرفتم. درست از همان زمان، سفر من برای درک فیزیک و مهندسی حرکت انسان آغاز شد. در آن زمان، فهمیدم که تمرینات ورزشی و مهندسی، ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند و دیدگاه جدیدی نسبت به فعالیت‌های بدنی و علوم ورزشی در حال شکل‌گیری بود.“

لوکاس لیال

سفر شگفت‌انگیز من به سمت مکانیک تمرینات ورزشی، بیش از یک دهه پیش آغاز شد. نویسنده اکنون قصد دارد دیدگاه خود را درباره‌ی آمادگی جسمانی توضیح دهد و راهنمایی‌هایی ارائه کند تا به متخصصان کمک کند دانش خود را به شکل موثرتری به کار بگیرند.

نگاهی تازه به تمرینات ورزشی

هنگام فکر کردن به تمرینات ورزشی، بسیاری از افراد در حوزه‌ی ما ترجیح می‌دهند شواهد فیزیک را نادیده بگیرند. آن‌ها اغلب همچنین از چالش درک پیچیده‌ترین مهندسی موجود، یعنی مهندسی انسان، چشم‌پوشی می‌کنند. اگر بخواهیم به شاخه‌ای از بیومکانیک که کمتر مورد بررسی قرار گرفته است، یعنی مکانیک تمرینات ورزشی، به طور عمیق‌تر بپردازیم، درک این حوزه‌ها ضروری است. برای این کار، باید دانش دقیقی از نیروهایی که توسط سیستم بدن اعمال، تولید و تحمل می‌شوند، به دست آوریم. پاداش این تلاش، ارزشمند خواهد بود. درک عمیق از مکانیک تمرینات ورزشی، این امکان را فراهم می‌کند که متخصص تمرینات، به دیدگاهی کاملاً نو دست یابد. در این صورت، آن‌ها با چشمانی تازه خواهند دید و قادر خواهند بود تا «نامرئی‌ها» را تحلیل کنند؛ آنچه دیده نمی‌شود اما در واقع در هر حرکت، هر روش و هر وسیله‌ای حضور دارد. فیلم ماتریکس نمونه‌ی خوبی از آن چیزی است که هنگام دستیابی به درک و دانش عمیق‌تر رخ می‌دهد. حتی اگر تصور نیروها کار آسانی نباشد، این نیروها همیشه حضور دارند و مسئول هر تغییری هستند که بدن ما تجربه می‌کند.

متخصصان تمرینات ورزشی زمانی در مسیر درک مکانیک تمرینات ورزشی قرار می‌گیرند که:

- بتوانند نیروهای اعمال‌شده را تجسم کنند و قادر به دست‌کاری آن‌ها باشند،
- بدانند چه واکنش عصبی-عضلانی‌ای نسبت به آن نیروها مناسب است،
- توانایی ارزیابی ویژگی‌ها و اثرات نیروها را داشته باشند،
- میزان تحمل ساختارهای بدن نسبت به آن نیروها را درک کنند،



• و با ساختارهای انسانی و مکانیسم‌های کنترل نیرو در آن‌ها آشنا باشند.
در این صورت، متخصصان قادر خواهند بود تمرینات ورزشی را فراتر از افسانه‌ها و باورهای رایج درک کنند. چشمان تازه‌ی آن‌ها توان قضاوت بهتری به آن‌ها خواهد داد تا بتوانند پایه‌های فعالیت‌های بدنی را با دقت بیشتری تحلیل کنند.

نیروها و مکانیک تمرینات ورزشی

بدن انسان هیچ درکی از روش‌ها یا نام‌های تجاری ندارد. آنچه برای بدن اهمیت دارد، کنترل و حرکت سیستم عضلانی-اسکلتی است که بسته به چالش‌ها یا محرک‌هایی که با آن‌ها روبه‌رو می‌شود، واکنش نشان می‌دهد. بدن با نیروها سر و کار دارد تا بتواند ساختار خود را حفظ کند و به تحرک لازم دست یابد.
متخصصان تمرینات ورزشی باید کار خود را با پرسیدن این سؤال از خود آغاز کنند:

تمرین چیست؟

به‌عنوان متخصصان تمرینات ورزشی، تلاش برای پاسخ دادن به این پرسش از دیدگاه فیزیک می‌تواند منجر به ایجاد یک تغییر اساسی در نگرش ما شود و دیدگاهی نو نسبت به کارمان شکل دهد. پاسخ به این سؤال ممکن است ساده و بدیهی به نظر برسد (تعاریف زیادی برای آن وجود دارد)، اما همچنان می‌توان آن را ساده‌تر بیان کرد:

• **تمرین: نیرویی که به‌طور هدفمند به یک ساختار وارد می‌شود، در یک سناریوی خاص، با هدف ایجاد یک سازگاری است.**

با درک کامل از ابعاد این تعریف، تمرین به‌طور متفاوتی دیده خواهد شد. نیروها در هر نوع تمرینی دخیل هستند. این نیروها بر بدن ما و بدن شاگردان تأثیر می‌گذارند و همواره با امید به ایجاد یک سازگاری به کار گرفته می‌شوند. این دیدگاه بر پایه‌ی این اصل استوار است که تمرین به نیروها وابسته است؛ بنابراین، بدون نیرو، تمرینی وجود نخواهد داشت. از این رو، نیرو باید به‌عنوان تنها ابزار اصلی برای ایجاد ورودی و تولید سازگاری‌ها در نظر گرفته شود.

پیش از ادامه، باید این نکته را روشن کنیم که تمام تلاش‌ها برای دسته‌بندی تمرینات بر اساس هدف خاص آن‌ها (مانند تمرینات هوازی، تمرینات قدرتی، حرکات انفجاری و غیره)، صرفاً تجلی نیرو در شرایط مختلف است. زمانی که درک درستی از قوانین نیوتن به دست آوریم و اصول مکانیک را واقعاً به کار بگیریم، بسیاری از چیزها از زاویه‌ای جدید دیده خواهند شد. در این صورت، دیگر تمرینات را در قالب دسته‌هایی مانند انعطاف‌پذیری، کشش، استقامت یا حس عمقی نخواهیم دید، بلکه هر تمرین را به‌عنوان یک سناریوی نیروها تحلیل خواهیم کرد.

هر فردی که بتواند این تعریف را درک کرده و بپذیرد، به نگرشی کاملاً جدید نسبت به تمرینات ورزشی دست خواهد یافت. این نگرش، توانایی دست‌کاری تمام متغیرهای مکانیکی مؤثر بر محرک‌ها را فراهم می‌کند و در نتیجه، تمرینات را به شکل خاص‌تری تنظیم کرده و نتایج بهتری به دست خواهد آورد.

اگر این مسیر را دنبال کنیم، متخصصان تمرینات ورزشی قادر خواهند بود تمرینات جدیدی خلق کنند و مقاومت‌های اعمال‌شده را متناسب با نیازهای مراجعان خود تنظیم نمایند. اما تنها یک راه برای رسیدن به این هدف وجود دارد: باید اصول علمی و استدلال را به کار گرفت و اطلاعات را به‌صورت انتقادی بررسی کرد، زیرا

اغلب متناقض و فاقد پایه‌های علمی محکم هستند.

هیچ کتاب یا مقاله‌ای نباید عملکرد ما را به‌عنوان یک حقیقت مطلق تعیین کند. ما به اصول و پایه‌های علمی نیاز داریم تا بتوانیم محرک‌های مناسبی ایجاد کنیم. از آنجایی که هر محرک به نیروها وابسته است، متخصصان تمرینات ورزشی وظیفه‌ی اخلاقی دارند که تا حد امکان درباره‌ی آن‌ها بیاموزند. پس، بیایید شروع کنیم

آیا ممکن است هنگام کار با مراجعان، نیروها را «دید»؟

هر سناریوی تمرینی که تاکنون طراحی کرده‌اید، می‌تواند از نظر مکانیکی به اجزای مختلف تجزیه شود تا نیروهایی که باعث ایجاد محرک می‌شوند، قابل مشاهده و تحلیل شوند. درک و تحلیل سناریوهای مختلف نیرو، اولین گام برای رسیدن به درک واقعی از تمرینات ورزشی است. اگر بتوانیم متغیرهای مکانیکی مؤثر بر حرکت را درک و کنترل کنیم، به‌سختی می‌توانیم کار خود را بهینه کرده و خدمات مؤثری به مراجعان ارائه دهیم.

همان‌طور که گفته شد، گام نخست، تحلیل هر تمرین از دیدگاه فیزیک است. اما مهم‌تر از آن، توانایی دست‌کاری این متغیرها برای ایجاد بهترین شرایط متناسب با اهداف تمرینی است. نگاه تازه به تمرینات ورزشی یعنی اسیر دسته‌بندی‌های سنتی یا نام‌های تجاری نشدن؛ یعنی توانایی ارزیابی مستقل حرکات، تصمیم‌گیری آگاهانه، و تنظیم متغیرها بر اساس اصول علمی، نه کلیشه‌های رایج.

با این نگرش، دنیایی از فرصت‌های جدید پیش روی شما قرار می‌گیرد؛ فرصتی برای برتری در حرفه‌تان و لذت بردن از آن. آیا تا به حال هنگام خواندن یا شنیدن توصیه‌ها و موارد منع یک تمرین یا وسیله‌ی ورزشی، از این زاویه به موضوع فکر کرده‌اید؟

اگر تمرین را به‌عنوان نیروهایی که در یک سناریوی خاص اعمال می‌شوند در نظر بگیرید، آیا باز هم می‌توان به‌راحتی گفت که یک تمرین خوب یا بد است؟ با وجود اینکه چنین قضاوت‌هایی در دنیای تمرینات ورزشی رایج هستند، نام‌گذاری یک تمرین به‌عنوان مفید یا خطرناک، روش درستی نیست.

مل سی سیف (استاد پیشین مهندسی مکانیک در دانشگاه ویتواتر سرنرد در ژوهانسبورگ و نویسنده‌ی کتاب سوپر آموزش^۱ به همراه دکتر ورخوشانسکی) در این زمینه گفته است:

«باید از تعمیم‌های بی‌اساس و نامشخص درباره‌ی برتری یا ضعف، ایمنی یا خطرات یک تمرین خاص اجتناب کنیم، زیرا تأثیر هر تمرین به شرایط، موقعیت، زمان و فرد بستگی دارد».

همان‌طور که این عادت رایج شده است، مطالعه‌ی یک تمرین و سپس تعمیم دادن مزایای آن به‌طور کلی، غیرعلمی و نادرست است. اغلب نادیده گرفته می‌شود که هرگونه تعمیم، فاقد دقت لازم است و همیشه باید زمینه‌ی خاص تمرین را در نظر گرفت.

تمرین = نیروی اعمال‌شده‌ی هدفمند بر یک ساختار.

همچنین می‌توان این‌گونه بیان کرد:

تمرین = محرک هدفمندی که منجر به سازگاری می‌شود.

چه عواملی محرک‌های تمرینی را تعیین می‌کنند؟

- مقدار و نوع نیرویی که به هر یک از محورهای مفصلی وارد می‌شود.
- دامنه‌ی حرکتی مفصل^۲ و تغییرات آن در طول اعمال محرک روی هر یک از محورهای مفصلی.
- مدت‌زمان اعمال محرک.

- ریتم (تمپو) اعمال محرک، نسبت به هر یک از محورهای مفصلی.
 - فرکانس (تکرار) اعمال محرک.
 - این محرک به فرد وابسته است:
 - ژنوتیپ (به ویژه تأثیر آن بر سیستم عضلانی-اسکلتی)،
 - فنوتیپ (به ویژه تأثیر آن بر سیستم عضلانی-اسکلتی)،
 - عملکرد عصبی-عضلانی و حس عمقی،
 - بیماری‌ها، آسیب‌های بافتی، سن،
 - وضعیت ذهنی و روان‌شناختی.
- نکته‌ی مهم این است که دوز (مقدار و شدت) محرک اهمیت دارد، و این مقدار لزوماً برای هر فرد متفاوت خواهد بود. در واقع، حتی برای یک فرد خاص نیز، شرایط و زمینه‌ی تمرین تغییر خواهد کرد و در نتیجه دوز محرک نیز باید متناسب با آن تغییر کند.

نتیجه‌گیری

- برای شروع درک پیچیدگی تمرینات ورزشی، باید به ریشه‌ها و اصول اولیه بازگردیم:
- مطالعه‌ی نیروها (درک مکانیک تمرینات)،
 - مطالعه‌ی بدن انسان (شناخت پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیومکانیکی)

نگاه به تمرین به عنوان یک واکنس

ما باید تمرین را مانند یک واکنس در نظر بگیریم: دوز نامناسب آن می‌تواند منجر به بیماری شود.

تمرین = محرک هدفمندی که منجر به سازگاری می‌شود.

نیروها عامل ایجاد محرک هستند، اما همین نیروها می‌توانند باعث آسیب نیز شوند. اگر نیروی اعمال‌شده متناسب با سطح تحمل فرد نباشد، می‌تواند به ساختار بدن آسیب برساند.

نیروها مانند یک «ویروس» عمل می‌کنند. بدن ما به آن‌ها سازگار می‌شود و سطح تحمل خود را افزایش می‌دهد. به همین دلیل، هدف اصلی هر مربی و متخصص سلامت، ایجاد یک محرک مناسب است، تا بدن را برای تحمل بهتر این «ویروس» آماده کند. چه چیزی باعث می‌شود یک تمرین «خوب» یا «بد» باشد؟

نسبت ریسک به فایده^۱

ریسک بالقوه‌ی هر تمرین، به رابطه‌ی میان نیروی اعمال‌شده بر ساختارهای بدن و واکنش مکانیزم‌های کنترلی بدن بستگی دارد. هیچ تمرینی کاملاً بدون ریسک نیست. نکته‌ی کلیدی، تحلیل دقیق متغیرها و توانایی در تنظیم و کنترل آن‌ها به منظور کاهش حداکثری خطرات احتمالی است.

واقعاً وظیفه‌ی عضلات چیست؟

وظیفه‌ی اصلی عضلات، تولید نیرو است. آن‌ها در پاسخ به نیروهای داخلی یا خارجی وارد بر مفاصل، واکنش نشان می‌دهند.

در حالی که فیزیولوژیست‌ها این فرایند را از دیدگاه زیستی بررسی می‌کنند، متخصصان تمرین باید بدانند که هدف از تولید تنش عضلانی، مقابله با نیروهایی است که تعادل فیزیولوژیکی (هموستاز) بدن را مختل می‌کنند. عضلات با تولید نیرو، از یکپارچگی ساختاری بدن محافظت می‌کنند. سایر عملکردهای عضلات، مانند هایپرتروفی، استقامت، عملکرد هوازی و... همگی مشتقاتی از همین توانایی در تولید نیرو هستند. "فیزیولوژی را می‌توان پاسخی به فیزیک دانست."

میچ سایمون، دکترای فیزیولوژی

در موسسه مقاومت^۱، باور داریم که این دیدگاه هنوز برای بسیاری از افراد روشن نیست. هدف ما، روشن‌سازی و تبیین مفاهیمی است که در زمینه‌ی تمرین و سلامت اغلب نادیده گرفته شده‌اند یا به‌درستی درک نشده‌اند.

نیرو و توانایی فیزیکی اصلی

وقتی در مورد توانایی‌های فیزیکی صحبت می‌کنیم، نیرو باید تنها توانایی متمرکزکننده در نظر گرفته شود.

در غیاب نیروها، ورزش نمی‌تواند انجام شود

مدارس و دانشگاه‌ها همچنان به تدریس نحوه آموزش این توانایی‌ها ادامه می‌دهند، بدون اینکه در نظر بگیرند که همه آنها در واقع تجلی نیرو در سناریوهای مختلف هستند. با انجام این کار، افراد تمایل دارند که این توانایی‌ها را از دیدگاهی مستقل درک و به کار گیرند. در عوض، توصیه می‌شود که عمیق‌تر به مطالعه نیروهای اساسی بپردازند. اکثر برنامه‌های آموزشی ورزشی همچنان به توسعه توانایی‌های فیزیکی اساسی نگاه می‌کنند، گویی که آنها به نوعی مستقل از تمرینات قدرتی هستند.

به همین دلیل است که در موسسه مقاومت، اغلب احساس می‌کنیم که شکاف قابل توجهی بین دیدگاه‌های ما و بسیاری از متخصصان تناسب اندام دیگر وجود دارد. برای ما، ضروری است که نیرو به عنوان تنها ابزار متمرکزکننده برای ایجاد سازگاری‌ها در نظر گرفته شود. از زمانی که شروع به تجسم نیروها در هر حرکت می‌کنید، همه چیز تغییر می‌کند. شما یک دیدگاه کاملاً جدید به دست می‌آورید و شروع به دیدن متفاوت ورزش می‌کنید. اولین چیزی که یک مکانیک ورزش متوجه می‌شود این است که هیچ تمایزی بین تمرینات قدرتی، استقامتی و انعطاف‌پذیری وجود ندارد. هیچ راهی وجود ندارد که هیچ یک از توانایی‌های فوق را بتوان آموزش داد. هیچ حرکت، تکنیک یا نام تجاری وجود ندارد که برای ایجاد محرک‌ها به نیروها به عنوان سنگ بنای خود نیاز نداشته باشد. اگر می‌خواهیم پیچیدگی کلمه ورزش را درک کنیم، چاره‌ای جز مراجعه به مبانی مکانیک ورزش نداریم.



”ما تمایل داریم بسیاری از گرایش‌ها را طبقه‌بندی کنیم تا خودمان را بهتر درک کنیم. اما پس از آن، دیدگاه و بینش خود را در درک نحوه عملکرد بدنمان از دست می‌دهیم“

لوکاس لیل

مقدار نیروی مناسب: دوزبندی در تمرین

تمرین باید همچون یک داروی تجویزی در نظر گرفته شود. همان‌طور که در برگه‌ی اطلاعات دارویی، موارد مصرف، منع مصرف، عوارض جانبی و تداخلات ذکر می‌شود، تمرین نیز باید با همین دقت تجویز و مدیریت شود. در صنعت تمرین، اغلب فقط مزایا تبلیغ می‌شوند، در حالی که متخصصان باید به این درک برسند که هر محرک فیزیکی می‌تواند بسته به شرایط فرد، اثرات جانبی و گاه خطرناکی به همراه داشته باشد. تمرین، ماهیتی تهاجمی دارد. ما به‌راحتی انتظار داریم نیروهایی که به بدن وارد می‌کنیم باعث هایپرتروفی یا بهبود متابولیسم شوند، اما به ندرت به احتمال آسیب ناشی از همین نیروها فکر می‌کنیم. هر فردی که به بدن دیگران نیرو وارد می‌کند، مربی، فیزیوتراپیست، استئوپات، یا مربی ورزشی، باید مسئولیت کامل نیروهای اعمال‌شده را بپذیرد. همان‌طور که یک جراح نسبت به آسیب‌های ناشی از مداخله‌ی خود پاسخگوست، متخصص تمرین نیز باید نسبت به آسیب‌های بافتی ناشی از تمرین پاسخگو باشد.

پایه‌های مکانیک تمرین

برای درک کامل مکانیک تمرین، سه عنصر اصلی باید بررسی شوند:

۱. نیروها

۲. ساختار سیستم اسکلتی-عضلانی

۳. مکانیزم‌های کنترلی (به‌ویژه سیستم عصبی)

متخصصان از گسترش دانش خود در این سه زمینه بسیار بهره‌مند خواهند شد. این امر آنها را قادر می‌سازد تا در اعمال نیروها به بدن انسان، چه در آموزش شخصی، فیزیوتراپی، به عنوان مربی ورزشی، توانبخشی یا سایر موارد، بهتر عمل کنند.

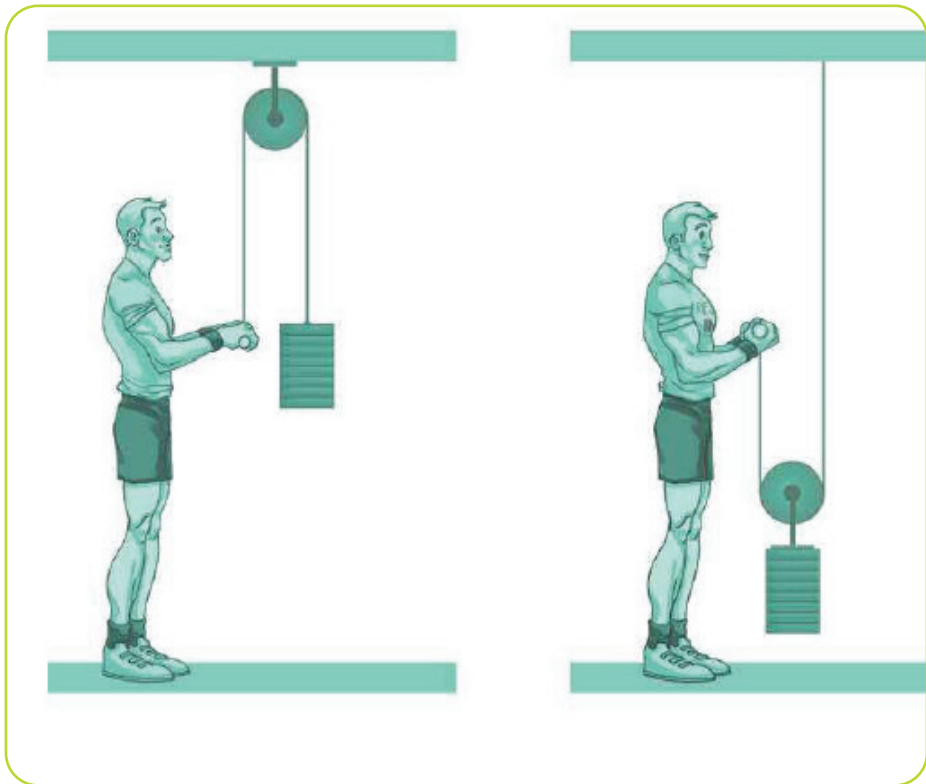
هدف این کتاب

این کتاب حاصل بیش از ۲۰ سال فعالیت در موسسه مقاومت^۱ است و هدف آن، بررسی عمیق مفاهیم پایه‌ای نیرو و تأثیر آن بر بدن انسان، به‌ویژه بر ساختار اسکلتی-عضلانی، می‌باشد. امیدوارم این اثر، راهنمای کاربردی برای درک نیروها، مفاصل و مکانیک عضلات باشد؛ چراکه این‌ها پایه‌های اساسی مکانیک تمرین به شمار می‌روند.

لوکاس لیل بارسلونا، ژوئن ۲۰۲۰

۲ فصل

اصول نیروها و ویژگی‌های بار





این فصل به یکی از ارکان مهم مکانیک تمرین می‌پردازد: یعنی نیرو. درک کامل این مفهوم ضروری است تا بتوانید مطالب توضیح داده شده در فصل‌های بعدی را ادغام کنید. اکنون خواهید فهمید که نیروها دقیقاً چه هستند، چگونه عمل می‌کنند و در چه زمینه‌هایی ممکن است وجود داشته باشند. در پایان فصل، تحلیلی از انواع مختلف بارهای موجود و ویژگی‌های آنها هنگام اعمال بر بدن انسان ارائه خواهد شد.

۲-۲. نیرو چیست؟

نیرو چیزی است که می‌تواند باعث تغییر در یک ساختار شود. می‌توان گفت که نیرو عامل تغییر است. از دیدگاه مکانیک تمرین، ما در مورد تغییرات در حالت حرکت صحبت می‌کنیم (نه در مورد تغییرات شکل، دما و غیره).

برای تعیین کمیت نیرو، ابتدا باید با چیزی تماس پیدا کند. به عبارت دیگر، نیرو باید یک جسم را بکشد یا هل دهد و بنابراین سعی کند تغییری در آن ایجاد کند. این فکر منجر به معادله‌ای می‌شود که امکان تعیین میزان نیرو بر یک جسم معین را فراهم می‌کند: نیرو = جرم \times شتاب. اگر هیچ جسمی درگیر نباشد، در مورد انرژی صحبت خواهیم کرد.

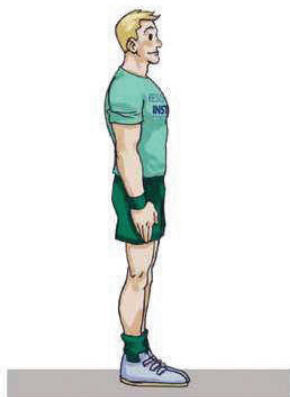
نیروها معمولاً به جرم و شتاب تقسیم می‌شوند، اما مردم به ندرت به این فکر می‌کنند که در جسمی که روی زمین ساکن است و شتابی ندارد، نیروهایی نیز دخیل هستند. این معادله هرگز قصد تجزیه نیرو را نداشته است. ما همچنین این را وقتی معادله را حل می‌کنیم می‌بینیم و به این نتیجه می‌رسیم:

$$M = f / a$$

آیا آنگاه می‌توان گفت که، چون m را می‌توان حل کرد، از نیرویی ساخته شده است که با شتاب مرتبط است؟ - پاسخ خیر است. جرم مقدار ماده‌ای است که یک جسم را تشکیل می‌دهد و بر حسب واحد جرم اندازه‌گیری می‌شود. نیرو عامل تغییر است و بر حسب واحد نیرو اندازه‌گیری می‌گردد. معادله فوق، رابطه واقعی بین این سه کمیت نیرو، جرم و شتاب را تعیین می‌کند. به طور مشابه، قانون اهم رابطه بین ولتاژ، جریان و مقاومت را تعریف می‌کند.

$$F = m \times a$$

این بدان معناست که به لطف این فرمول، اگر داده‌های مربوط به شتاب و جرمی که بر آن تأثیر می‌گذارد را داشته باشیم، می‌توانیم مقدار نیرو را تعیین کنیم. به طور مشابه، اگر داده‌های مربوط به نیرو و شتاب را بدانیم، می‌توانیم جرم را محاسبه کنیم. یا اگر مقدار جرم و نیرو را بدانیم، می‌توانیم در مورد شتاب اطلاعات کسب کنیم. توجه داشته باشید که وقتی جسم بیش از یک نیرو دریافت می‌کند، همه چیز کمی پیچیده‌تر می‌شود. در این حالت، شتاب از جمع کردن تمام نیروهایی که بر جسم وارد می‌شوند (نیروی خالص) حاصل می‌شود. اما حتی در آن صورت، ما هنوز باید در نظر بگیریم که هر نیروی خاص چگونه بر جسم تأثیر می‌گذارد و بنابراین سعی می‌کند باعث شتاب گرفتن آن شود. به همین دلیل است که این معادله یکی از پایه‌های فیزیک نیوتنی را تشکیل می‌دهد. نیروها هرگز به تنهایی عمل نمی‌کنند، بلکه همیشه به صورت جفت هستند. البته این بدان معنا نیست که آنها یکدیگر را خنثی می‌کنند. برای اینکه دو نیرو یکدیگر را خنثی کنند، باید بر روی یک جسم، با بزرگی برابر، در یک خط اما در جهت مخالف عمل کنند.



شکل ۱-۱-۲. این شکل نشان می‌دهد که چگونه نیروی تماسی، نیروی گرانش را خنثی می‌کند. هر دو نیرو بر جسم اثر می‌گذارند و آن را متعادل نگه می‌دارند.

درک این موضوع مهم است، زیرا در غیر این صورت می‌تواند منجر به سوء تفاهم هنگام تجزیه و تحلیل تعادل یا عدم تعادل دو نیروی وارد بر یک جسم معین شود. به عنوان مثال، اگر جسم "M" نیرویی معادل ۲۰ کیلوپاسکال به تویی که «۵۰۰ گرم» وزن دارد وارد کند، توپ با ۲۰ کیلوپاسکال به آن جسم پاسخ خواهد داد. توپ نیروی نامتعادل کننده‌ای معادل ۲۰ کیلوپاسکال دریافت می‌کند و بسته به جرم آن، مقداری شتاب می‌گیرد. جسم «X» نیرویی معادل ۲۰ کیلوپاسکال دریافت خواهد کرد. نیروها به صورت جفت عمل می‌کنند، اما لزوماً این کار را بر روی یک جسم واحد انجام نمی‌دهند.

واحدهای اندازه‌گیری نیرو

سیستم بین‌المللی واحدها تعیین می‌کند که واحدهای نیرو باید با نیوتن (N) اندازه‌گیری شوند. یک نیوتن (N) برابر با نیرویی است که برای شتاب دادن به جرم ۱ کیلوگرم به اندازه ۱ متر بر مجذور ثانیه لازم است. با این حال، اکثر مردم از کیلوپوند (kp) استفاده می‌کنند. ۱ کیلوپوند برابر با نیرویی است که جرم ۱ کیلوگرم را تا ۹.۸ متر بر مجذور ثانیه شتاب می‌دهد. معمولاً، این واحد برای استفاده راحت‌تر است. بنابراین، یک کیلوگرم که تحت تأثیر شتاب گرانشی (۹.۸ متر بر مجذور ثانیه) قرار می‌گیرد، یک کیلوپوند است. با انجام این کار، یک معادل مستقیم بین یک واحد جرم و یک واحد نیرو به دست می‌آید. و به همین دلیل است که دینامومترهای خانگی از کیلوگرم به عنوان واحد نیرو استفاده می‌کنند، اگرچه باید از kp استفاده کنند.

۲-۳. نیروها و بردارها

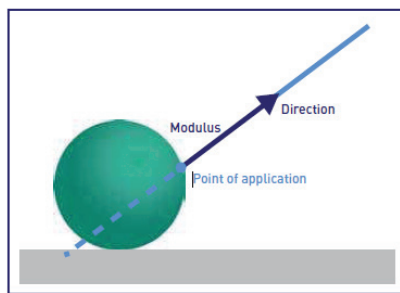
از آنجا که نیروها در واقع قابل مشاهده نیستند، آنها توسط بردارهای نیرو نمایش داده می‌شوند. بردارها نمایش‌های گرافیکی نیرو هستند و از یک خط و یک نوک پیکان تشکیل شده‌اند. بزرگی‌هایی مانند دما، جرم یا حجم - که به عنوان کمیت‌های اسکالر یا اسکالر شناخته می‌شوند - را می‌توان به سادگی با یک عدد نمایش

داد. در مقابل، نیرو یک کمیت برداری است که باید با یک بردار نمایش داده شود. به عبارت دیگر، برای نشان دادن یک نیرو، نمی‌توانید فقط از یک عدد (بزرگی) استفاده کنید، بلکه باید از مؤلفه‌های دیگری نیز برای تعیین دقیق آن استفاده کنید.

یک بردار موارد زیر را نشان می‌دهد:

- نقطه اعمال نیرو بر یک جسم.
- جهت نیرو.

اندازه نیرو. طول خط، بزرگی یا مقدار نیروی اعمال شده را نسبت به تمام نیروهای دیگر اعمال شده (بردارهای دیگر) نشان می‌دهد. به طور جایگزین، می‌توان بزرگی نیرو را با قرار دادن یک عدد روی خط/فلش نشان داد.

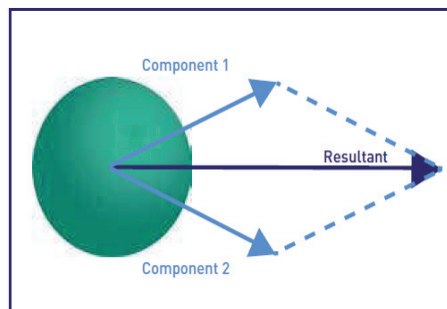


شکل ۱-۲-۲. شکل یک بردار نیرو و اجزای آن.

سیستم نیروها

یک سیستم نیرو مجموعه‌ای از نیروها است که همگی بر یک جسم وارد می‌شوند.

- هر یک از نیروهای موجود در سیستم، مؤلفه نامیده می‌شود.
- خطی که معادل تمام خطوط دیگر را نشان می‌دهد و جایگزین آنها در سیستم می‌شود، برآیند نامیده می‌شود. برآیند، هم بزرگی و هم جهت تمام نیروهای دیگر را می‌گیرد.



شکل ۱-۲-۲. سیستم نیرو. برآیند نیرو می‌تواند از اجزای نیروهاش محاسبه شود.

تحلیل یک سیستم نیرو

۱. ترکیب نیرو

۲. تجزیه نیروها

۱. ترکیب نیروها

دو یا چند نیرو که بر یک جرم و در یک نقطه تماس اثر می‌گذارند، می‌توانند با یک نیروی منفرد جایگزین شوند که همان اثر را ایجاد کند. برای یافتن نیروی برآیند در سیستمی که مؤلفه‌های آن مشخص هستند، از ترکیب نیروها استفاده می‌شود.

سه حالت مختلف ممکن است رخ دهد:

الف. ترکیب نیروهایی که در یک جهت قرار دارند؛

ب. برکیب نیروهای همگرا که در یک نقطه اثر می‌کنند (بین آن‌ها زاویه تشکیل می‌شود)

ج. ترکیب نیروهای موازی.

نیروهایی که در یک صفحه قرار دارند، نیروهای هم‌صفحه^۱ نامیده می‌شوند و در این کتاب به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

الف. ترکیب نیروها در یک جهت

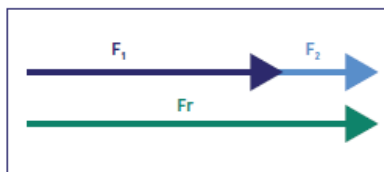
ب. نیروها روی یک خط و در یک جهت

ج. نیروها روی یک خط و در جهت‌های مخالف

ترکیب نیروها در یک جهت

الف. ۱. نیروها در یک خط و یک جهت

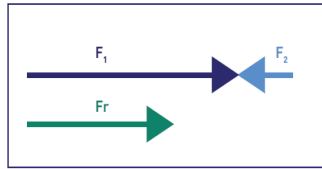
طول نیروی (F_1) و نیروی (F_2) با هم جمع می‌شوند. آنچه از اعمال هر دو نیرو در یک نقطه حاصل می‌شود، نیروی برآیند (Fr) نامیده می‌شود. (شکل ۳-۲-۲ a).



شکل ۳-۲-۲ a .

a. نیروها در یک راستا و در خلاف یکدیگر

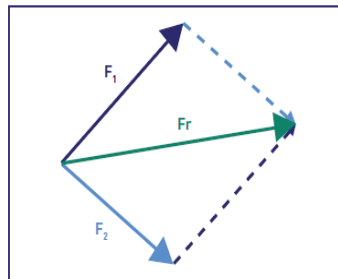
در این حالت، طول نیروی ۲ (F_2) از نیروی ۱ (F_1) کم می‌شود. در نتیجه، نیروی حاصل (Fr) کاهش می‌یابد.



شکل b ۳-۲-۲.

b. ترکیب نیروهای همسو (آنها یک زاویه تشکیل می‌دهند):

وقتی بردارهایی که باید جمع شوند روی یک خط نباشند، از قانون متوازی‌الاضلاع نیروها استفاده می‌شود. برای یافتن نیروی برآیند، یک متوازی‌الاضلاع ساخته می‌شود که بردارهای F_1 و F_2 به عنوان اضلاع آن عمل می‌کنند و F_r به عنوان بردار حاصل که قطر آن است، ظاهر می‌شود. (شکل ۳-۲-۳ c).



شکل c ۳-۲-۲.

c. ترکیب نیروهای موازی

مبحث در محدوده این کتاب قرار نمی‌گیرند و بنابراین مورد بحث قرار نخواهند گرفت.

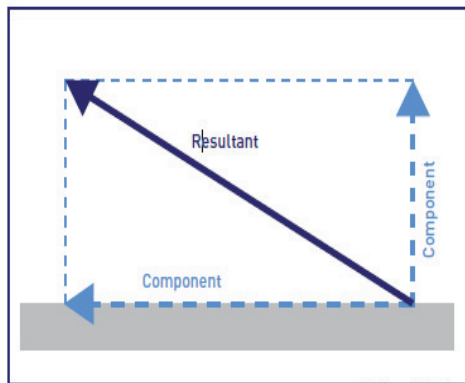
۲. تجزیه نیروها

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، می‌توان یک نیروی برآیند جایگزین را از ترکیب دو یا چند نیرو محاسبه کرد. باین‌حال، گاهی ممکن است عکس این فرایند مورد نیاز باشد؛ یعنی یک نیروی واحد را به دو یا چند نیروی دیگر که همان اثر برآیند را ایجاد می‌کنند، جایگزین کنیم (یعنی یک سیستم نیرویی بسازیم). این نیروها نیروهای مؤلفه نامیده می‌شوند. با تغییر تعداد مؤلفه‌ها، مقدار و جهت آنها، می‌توان یک نیرو را به بی‌نهایت ترکیب مختلف از مؤلفه‌ها تجزیه کرد.

مؤلفه‌های مستطیلی یک نیرو

این بخش به خواننده کمک می‌کند تا مؤلفه‌های یک نیروی اعمال‌شده را درک کرده و پایه‌های لازم را برای فهم سیستم‌های اهرمی و عملکرد عضلانی در ادامه فراهم سازد.

متخصصان باید توانایی تجزیه‌ی یک نیرو به دو مؤلفه‌ی عمود بر هم را داشته باشند تا بتوانند بارها را به درستی اعمال کنند. شکل ۲-۲-۴. مستطیلی را نشان می‌دهد که از تجزیه‌ی یک نیرو حاصل شده است.



شکل ۲-۲-۴. این نمودار، تجزیه‌ی بردار به مؤلفه‌های مستطیلی را نشان می‌دهد.

روش‌های تجزیه یا ترکیب نیرو

- روش گرافیکی: نیروها به صورت بردار در یک نمودار برداری نمایش داده می‌شوند. این روش در تصاویر قبلی نشان داده شده است.
- روش جبری: از معادلات جبری و مفاهیم مثلثات برای محاسبه استفاده می‌شود. سیستم‌های مختلف برای تجزیه‌ی نیرو، در این کتاب به‌طور مفصل بررسی نمی‌شوند. برای اطلاعات بیشتر در این زمینه می‌توانید به کتاب‌های مثلثات و جبر پایه مراجعه کنید. این دانش به درک بهتر اصول مکانیک تمرین کمک خواهد کرد.

۲-۴. نیروهای خارجی و داخلی

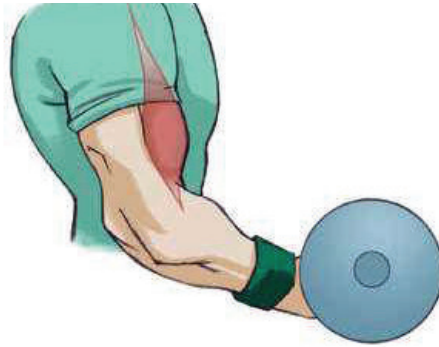
نیروهایی که از خارج به بدن وارد می‌شوند، مانند وزنه‌های آزاد، باندها و توپ‌ها، معمولاً به عنوان نیروهای خارجی شناخته می‌شوند. نیروهایی که از داخل بدن سرچشمه می‌گیرند، اساساً نیروی عضلات - به عنوان نیروهای داخلی شناخته می‌شوند.

برای درک نهایی اثرات بارهای اینرسی، مهم است که نیروی گرانش را به عنوان یک نیروی خارجی در نظر بگیرید، حتی زمانی که نیروی بدن خودتان باشد. برای انجام یک ارزیابی مکانیکی، آنچه واقعاً مهم است این است که بتوانید نحوه عملکرد این نیروها بر بدن انسان را تجزیه و تحلیل کنید. مهم نیست که از کجا سرچشمه می‌گیرند، همه آنها در نهایت بر مفاصل تأثیر می‌گذارند. و این همان چیزی است که باید هنگام تجزیه و تحلیل اثرات بر روی اهرم‌های مفصلی، مورد توجه متخصص ورزش باشد. تمام نیروها چه داخلی، چه خارجی - در



نهایت عملکرد مفاصل را تحت تأثیر قرار می دهند، و این دقیقاً موضوعی است که یک متخصص تمرین باید به آن مسلط باشد.

نیروها ممکن است از داخل یا خارج بدن ایجاد شوند، اما آنچه واقعاً اهمیت دارد، توانایی محاسبه اثرات آنها بر مفاصل و سایر بخش های بافت همبند مانند استخوان ها، تاندون ها و لیگامان ها است.



شکل ۱-۳-۲. این شکل نمونه ای از نیروهای داخلی (عضله بایسپس) و نیروهای خارجی (وزنه) را نشان می دهد. هر دو نیروی خارجی و داخلی در نهایت بر سیستم اسکلتی-عضلانی تأثیر می گذارند.

۲-۵. نیروها: نام های مختلف بسته به زمینه

تمام اصطلاحاتی که در ادامه توضیح داده می شوند، نیرو را به عنوان وجه مشترک دارند، اما در موقعیت ها و زمینه های مختلف بیان می شوند.

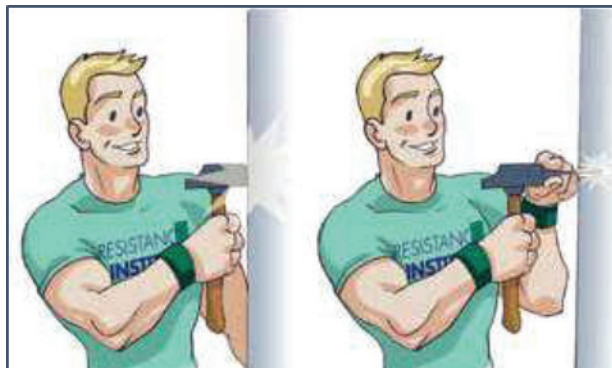
تنش و یا استرس مکانیکی^۱

تنش مکانیکی نسبت نیروی است که بر یک ساختار اعمال می شود، نسبت به مساحت سطح تماس آن. طبق سیستم بین المللی یکاها (SI)، این کمیت با نیوتن بر متر مربع (N/m^2) اندازه گیری می شود. معادله آن به صورت زیر است:

$$\text{تنش مکانیکی} = \text{نیرو (N)} / \text{سطح (m}^2\text{)}$$

از دیدگاه مکانیکی، اصطلاح تنش مکانیکی تنها به نسبت بین یک نیرو و سطحی که نیرو روی آن اعمال می شود اشاره دارد. با توجه به این موضوع، تنش مکانیکی را نمی توان به طور ذاتی خوب یا بد دانست، بلکه زمینه و شرایط اعمال آن تعیین می کند که اثرات آن مثبت یا منفی باشد.

- اگر تنش مکانیکی بیش از حد باشد، ممکن است به ساختار آسیب برساند.
- اگر تنش خیلی کم باشد، تغییر کافی ایجاد نمی شود و در نتیجه هیچ فایده ای نخواهد داشت.



شکل ۱-۴-۲. کوبیدن یک میخ تیز در دیوار باعث افزایش تنش مکانیکی می‌شود، بدون اینکه نیروی اعمال شده افزایش یابد.

شکل ۱-۴-۲، در سمت A شخصی را نشان می‌دهد که با اعمال نیروی ۱۰ نیوتن مستقیماً با چکش به دیوار ضربه می‌زند، در حالی که سطح تماس نسبتاً وسیع است. در سمت B همان شخص دقیقاً همان مقدار نیرو را اعمال می‌کند، اما این بار جسمی که به دیوار ضربه می‌زند تیزتر است و در نتیجه سطح تماس بسیار کوچک‌تر شده است. هر دو جسم با نیروی برابر به دیوار ضربه می‌زنند، اما از آنجایی که در سمت B سطح تماس بسیار کوچک‌تر است، تنش مکانیکی وارد شده بر دیوار در این سمت بیشتر خواهد بود. هر نیرویی که با یک جسم تماس پیدا می‌کند، باعث ایجاد تنش مکانیکی در آن می‌شود. برای هر مقدار مشخصی از نیرو، میزان تنش مکانیکی ایجاد شده به اندازه سطح تماس بستگی دارد. به همین دلیل، هنگام اعمال نیرو، در نظر گرفتن سطح تماس یک مسئله اساسی است.

فشار مکانیکی

از نظر مکانیکی، فشار و تنش مکانیکی هر دو با یک واحد اندازه‌گیری می‌شوند و بنابراین می‌توان آن‌ها را معادل یکدیگر دانست. فشار مکانیکی به مقدار نیرویی گفته می‌شود که بر واحد سطح وارد می‌شود. اصطلاح فشار معمولاً برای اندازه‌گیری نیروی گاز یا مایع بر یک سطح مشخص در شرایط مختلف به کار می‌رود. نمونه‌هایی از این موارد عبارت‌اند از:

- فشار جو
- فشار آب در اعماق مختلف

تا سال ۱۹۷۱، رایج‌ترین واحد اندازه‌گیری نیوتن بر متر مربع (N/m^2) بود، اما امروزه از پاسکال (Pa) استفاده می‌شود که ۱ پاسکال برابر با ۱ نیوتن بر متر مربع (N/m^2) است.

فشار استاندارد اتمسفری (atm) برابر با ۱۰۱۳.۲۵ هکتوپاسکال (hPa) است. بنابراین، اگرچه فشار و تنش مکانیکی معمولاً با واحدهای مختلف بیان می‌شوند، اما مقدار مورد بحث در هر دو مورد، یعنی نیرو و سطح تماس، یکسان است.