

تأثیر استفاده از دمبل/میله به ویبریشن حین حرکات بدنسازی بر ثبات مفصلی و فعال سازی عضلات تثبیت کننده (Core)

افسانه شیخی

کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران - ایران

چکیده

مقدمه و هدف: ثبات مفصلی و فعال سازی مطلوب عضلات تثبیت کننده ناحیه مرکزی بدن (Core) از پیش نیازهای اساسی اجرای ایمن و اثربخش حرکات بدنسازی و پیشگیری از آسیب های اسکلتی عضلانی محسوب می شوند. در سال های اخیر، استفاده از دمبل و میله های مجهز به ویبریشن به عنوان محرکی نوروفیزیولوژیک مکمل در کنار بارگذاری مقاومتی سنتی مورد توجه قرار گرفته است. مطالعه مروری حاضر با هدف سنتز و تحلیل انتقادی شواهد علمی موجود درباره تأثیر این ابزارها بر ثبات مفصلی و فعال سازی عضلات تثبیت کننده تنه انجام شد.

روش ها: این پژوهش یک مطالعه مروری روایتی-نظام مند است که با پیروی از اصول بیانیه PRISMA ۲۰۲۰ در پایگاه های اطلاعاتی PubMed، Web of Science، Scopus، SPORTDiscus و Cochrane Library انجام شد. جست و جو با ترکیب کلیدواژه های مرتبط با ارتعاش دستی، بازتاب تونیک ارتعاشی، تمرین مقاومتی، ثبات مفصلی و فعال سازی عضلات مرکزی صورت گرفت. کیفیت روش شناختی کارآزمایی های وارد شده با مقیاس PEDro ارزیابی و به دلیل ناهمگونی بالای مداخلات، سنتز یافته ها به صورت کیفی و موضوعی انجام شد.

یافته ها: شواهد به دست آمده نشان دادند که افزودن محرک ارتعاشی به حرکات مقاومتی آزاد، از طریق مکانیسم بازتاب تونیک ارتعاشی و افزایش فعالیت آوران های حسی نوع Ia، به طور معناداری فعالیت الکترومایوگرافیک عضلات آگونیست، آنتاگونیست و تثبیت کننده تنه را نسبت به اجرای همان حرکت بدون ارتعاش افزایش می دهد. این اثر به فرکانس و دامنه ارتعاش، نوع حرکت و ویژگی های جمعیت شناختی نمونه وابسته بود و با یافته های مستقل حوزه تمرین مقاومتی ناپایدار همسویی نشان داد. با این حال، محدودیت های روش شناختی مهمی از جمله مصنوعات حرکتی الکتروود حین ثبت الکترومایوگرافی، ناهمگونی پروتکل ها و کمبود شواهد مربوط به سازگاری های مزمن، در ادبیات موجود شناسایی شد.

نتیجه گیری: استفاده از دمبل و میله های مجهز به ویبریشن می تواند ابزاری مکمل و بالقوه اثربخش برای ارتقای فعال سازی عضلات تثبیت کننده و ثبات مفصلی در برنامه های بدنسازی و توان بخشی ورزشی باشد؛ اما استاندارد سازی پارامترهای فنی ابزار و انجام کارآزمایی های تصادفی سازی شده کنترل دار با پیگیری بلندمدت، برای تدوین توصیه های بالینی و کاربردی مبتنی بر شواهد قطعی، ضروری است.

واژگان کلیدی: تعاش (Vibration)؛ تمرین مقاومتی (Resistance Training)؛ ثبات مرکزی بدن (Core Stability)؛ الکترومایوگرافی (Electromyography)؛ بازتاب تونیک ارتعاشی (Tonic Vibration Reflex)

مقدمه

اصلاح و بهینه سازی روش های تمرین مقاومتی به منظور افزایش هم زمان قدرت عضلانی، ثبات مفصلی و فعال سازی عضلات تثبیت کننده تنه (Core Stabilizers) یکی از محورهای مهم پژوهش در حوزه فیزیولوژی ورزشی و علوم توان بخشی محسوب می شود. عضلات ناحیه مرکزی بدن، شامل عضلات راست شکمی، مایل داخلی و خارجی، عرضی شکمی و راست کننده های ستون فقرات، نقش بنیادین در انتقال نیرو میان اندام های فوقانی و تحتانی، حفظ راستای ستون فقرات و پیشگیری از آسیب های اسکلتی عضلانی ایفا می کنند. بر همین اساس، طراحی پروتکل های تمرینی که بتوانند فعالیت این عضلات را به صورت هدفمند افزایش دهند، از اولویت های پژوهشگران حوزه تمرین مقاومتی و باز توانی ورزشی بوده است. در دهه های اخیر، استفاده از ارتعاش (Vibration) به عنوان یک محرک نوروفیزیولوژیک مکمل در کنار بارگذاری مقاومتی سنتی، توجه گسترده ای را در ادبیات علمی به خود جلب کرده است. ارتعاش با فرکانس های مشخص قادر است از طریق تحریک دوک های عضلانی و افزایش فعالیت آوران های حسی نوع Ia، بازتاب تونیک ارتعاشی (Tonic Vibration Reflex) را برانگیزد و موجب افزایش هم انقباضی عضلات آگونیست و آنتاگونیست شود. مطالعات نشان داده اند که در فرکانس های بالاتر از آستانه معین (حدود ۱۲ هرتز برای صفحات ارتعاشی و حدود ۱۶ هرتز برای دمبل های ارتعاشی)، رفلکس کششی در عضله برانگیخته می شود و تعداد انقباضات متناسب با فرکانس ارتعاش افزایش می یابد؛ در فرکانس های بالاتر از حدود ۲۰ تا ۲۸ هرتز، تارهای عضلانی فرصت کافی برای تکمیل چرخه کامل انقباض-استراحت را نمی یابند و در وضعیت هم انقباضی مداوم قرار می گیرند که به افزایش نیرو و توان عضلانی منجر می شود [۱]. این یافته ها زمینه نظری محکمی برای بهره گیری از ابزارهای مجهز به ارتعاش، از جمله صفحات ارتعاشی تمام بدن و اخیراً دمبل ها و میله های ارتعاشی، در برنامه های تمرین مقاومتی فراهم کرده اند.

پیشینه پژوهشی موجود عمدتاً بر اثربخشی ارتعاش تمام بدن بر عملکرد عضلات اندام تحتانی متمرکز بوده است. مرور نظام مند و فراتحلیلی که کارآزمایی های تصادفی سازی شده کنترل دار را در ورزشکاران بررسی کرده، نشان داده است که ارتعاش تمام بدن غالباً به عنوان مکمل یا جایگزین تمرین مرسوم برای ارتقای شاخص های قدرت و توان عضلانی به کار گرفته می شود [۲]. همچنین پژوهشی که الگوهای نیم اسکات ایستا و پویا را همراه با ارتعاش تمام بدن بررسی کرده بود، گزارش داد که این نوع تمرین می تواند فعالیت چندین عضله آگونیست و آنتاگونیست را بهبود بخشد و هماهنگی و ثبات مفصلی عضلات خم کننده و بازکننده را ارتقا دهد [۳]. فراتحلیل جدیدتری نیز با جست و جوی نظام مند در هفت پایگاه اطلاعاتی معتبر، اثربخشی ارتعاش تمام بدن را بر شاخص های عملکرد عضلانی در زنان سالم، بر پایه بیست و یک کارآزمایی تصادفی سازی شده، تأیید کرده است [۴].

در مقابل، پژوهش درباره ابزارهای دستی مجهز به ارتعاش، به ویژه دمبل و میله های ارتعاشی، هنوز در مراحل ابتدایی تری قرار دارد. مطالعه ای که فعالیت عضلانی حاصل از یک دستگاه ارتعاشی قابل نگه داشتن با دست را با دمبل استاندارد مقایسه کرد، نشان داد تحریک ارتعاشی تأثیر مؤثرتری بر بهبود هماهنگی و ثبات داشت، در حالی که دمبل معمولی ابزار مناسب تری برای تقویت عضلات آگونیست در حرکات خاص بود؛ فعال سازی عضلاتی مانند دلتوئید قدامی، دوسر بازویی و بازویی زندی در شرایط ارتعاشی به طور معناداری بیشتر از دمبل معمولی گزارش شد [۵]. کارآزمایی بالینی دیگری نیز پروتکل خانگی

مبتنی بر دمبل ارتعاشی را در برابر دمبل استاندارد آزمود که در آن شدت تمرین به صورت تدریجی، ابتدا از طریق افزایش فرکانس ارتعاش (حداکثر تا چهل هرتز) و سپس با افزودن بار، بر اساس ارزیابی های هفتگی تنظیم می شد [۶]. از منظر طراحی مهندسی، نسل جدید میله ها و دمبل های ارتعاشی با هدف انتقال ارتعاش هدفمند به گروه های عضلانی درگیر توسعه یافته اند، بدون آنکه ثبات وزنه و بازوی تمرین کننده مختل شود. در یکی از طراحی های ثبت شده این گونه ابزارها، وزنه ها در محفظه هایی مجزا از منبع ارتعاش قرار می گیرند تا از انتقال مستقیم نوسانات به وزنه جلوگیری شود و ارتعاش عمدتاً به عضلات درگیر در بالا و پایین بردن میله منتقل گردد، امری که می تواند اهمیت کاربردی این ابزارها را برای هدف گیری دقیق تر عضلات تثبیت کننده تقویت کند [۷].

از سوی دیگر، حجم قابل توجهی از ادبیات علمی مستقل، رابطه میان بی ثباتی مکانیکی حین اجرای تمرین مقاومتی و افزایش فعالیت عضلات مرکزی بدن را مستند کرده است. الگوی نظری بنیادین در این حوزه بیان می دارد که بی ثباتی می تواند برون داد نیروی قابل اندازه گیری بیرونی عضله را کاهش دهد، در حالی که سطح فعالیت عضلانی بالا باقی می ماند؛ این فعالیت بالا در اندام ها و تنه هنگام بی ثباتی، به افزایش عملکردهای تثبیت کنندگی نسبت داده شده است [۸]. فراتحلیل الکترومایوگرافیک اخیر نیز نشان داده که تمرین در شرایط ناپایدار به طور معنادار فعالیت عضلات مرکزی از جمله راست شکمی، مایل داخلی، مایل خارجی و راست کننده ستون فقرات را افزایش می دهد [۹]. مرور نظام مند دیگری نیز تأکید کرده است که تمرین مقاومتی ناپایدار می تواند عضلات عمقی و کوچک را فعال کند و بازخورد حس عمقی عصبی عضلانی را تقویت کرده و از این طریق بسیج نیرو و توانایی تعادل را ارتقا دهد [۱۰].

با وجود تجمیع این دو خط پژوهشی مستقل—از یک سو اثرات نوروفیزیولوژیک ارتعاش بر افزایش هم انقباضی و بازتاب تونیک ارتعاشی، و از سوی دیگر نقش بی ثباتی مکانیکی در افزایش فعال سازی عضلات مرکزی—خلاف پژوهشی مشخصی در ادبیات علمی وجود دارد: تاکنون مطالعات محدودی به طور اختصاصی به بررسی اثر ترکیبی استفاده از دمبل یا میله ی مجهز به ویبریشن، به طور هم زمان با اجرای حرکات بدنسازی متداول، بر شاخص های ثبات مفصلی و میزان فعال سازی الکترومایوگرافیک عضلات تثبیت کننده تنه پرداخته اند. بخش عمده پژوهش های موجود یا به ارتعاش تمام بدن اندام تحتانی محدود شده اند، یا بی ثباتی سطحی (مانند توپ سوئیزی و بوسو) را بدون مؤلفه ارتعاشی بررسی کرده اند، و مطالعاتی که هر دو مؤلفه—ارتعاش موضعی دستی و بارگذاری مقاومتی پویا—را هم زمان در بستر تمرینات بدنسازی رایج (پرس سینه، اسکات، ددلیفت، حرکات تک دست) بررسی کرده باشند، اندک و پراکنده اند.

از منظر کاربردی نیز، با توجه به گسترش روزافزون استفاده از تجهیزات نوآورانه در باشگاه های بدنسازی و مراکز توان بخشی ورزشی، فهم دقیق مکانیسم های نوروماسکولار زیربنایی و پیامدهای بالینی استفاده از ابزارهای مقاومتی مجهز به ویبریشن، هم برای مربیان بدنسازی در طراحی برنامه های تمرینی هدفمند و هم برای متخصصان توان بخشی در پیشگیری و درمان اختلالات ثبات مفصلی و کمردرد غیراختصاصی، اهمیت بالینی و کاربردی دارد.

بر این اساس، مطالعه مروری حاضر با هدف جمع بندی، تحلیل انتقادی و سنتز شواهد علمی موجود درباره تأثیر استفاده از دمبل و میله های مجهز به ویبریشن حین اجرای حرکات بدنسازی بر ثبات مفصلی و میزان فعال سازی عضلات تثبیت کننده ناحیه مرکزی بدن انجام شده است. این مرور می کوشد ضمن تبیین مکانیسم های نوروفیزیولوژیک زیربنایی (شامل بازتاب

تونیک ارتعاشی، تسهیل حس عمقی و افزایش هم‌انقباضی عضلانی)، شواهد تجربی موجود را در قالب یک چارچوب مفهومی یکپارچه ارائه دهد و خلأهای پژوهشی موجود را جهت هدایت مطالعات آینده در این حوزه مشخص سازد.

روش تحقیق

پژوهش حاضر یک مطالعه مروری روایتی-نظاممند (Narrative-Systematic Review) است که با پیروی از اصول گزارش‌دهی بیانیه PRISMA نسخه ۲۰۲۰ طراحی و اجرا شده است؛ چارچوبی که به‌منظور ارتقای شفافیت گزارش‌دهی در خصوص چرایی انجام مرور، روش اجرای آن و یافته‌های به‌دست‌آمده تدوین شده و شامل یک چک‌لیست ۲۷ آیتمی برای هدایت مراحل شناسایی، غربالگری، ارزیابی کیفیت و سنتز مطالعات است [۱۱]. با توجه به ناهمگونی روش‌شناختی قابل‌توجه میان مطالعات موجود در حوزه ارتعاش موضعی دستی (Hand-transmitted Vibration) و تمرینات مقاومتی بدنسازی، از رویکرد سنتز روایتی-توصیفی به‌جای فراتحلیل کمی استفاده شد؛ رویکردی که راهنمای به‌روزرسانی شده نسخه جدید کتابچه کوکین برای مرورهای نظاممند نیز در شرایط ناهمگونی بالای مداخلات، ابزارهای اندازه‌گیری و جمعیت‌های مورد مطالعه، آن را توصیه می‌کند [۱۳].

جست‌وجوی نظاممند در پایگاه‌های اطلاعاتی معتبر بین‌المللی شامل PubMed/MEDLINE، Scopus، Web of Science، SPORTDiscus (EBSCOhost)، Cochrane Library و Google Scholar انجام شد. راهبرد جست‌وجو با ترکیب کلیدواژه‌های مرتبط با مفاهیم اصلی پژوهش و با استفاده از عملگرهای بولی AND/OR تدوین گردید. کلیدواژه‌های اصلی شامل «vibration dumbbell»، «vibrating barbell»، «hand-transmitted vibration»، «whole-body vibration»، «core muscle activation»، «trunk muscle EMG»، «joint stability» و «neuromuscular co-contraction» بودند. علاوه بر جست‌وجوی پایگاه‌های اطلاعاتی اصلی، فهرست منابع مقالات مرتبط (Reference/Citation Tracking) و پایگاه‌های ثبت کارآزمایی‌های بالینی نظیر ClinicalTrials.gov نیز به‌منظور شناسایی مطالعات در حال انجام یا منتشرنشده در مجلات نمایه‌شده، بررسی شدند تا احتمال سوگیری انتشار کاهش یابد.

معیارهای ورود بر پایه چارچوب مفهومی PICOS تدوین شدند: جمعیت (Population) شامل بزرگسالان سالم یا ورزشکاران بدون محدودیت خاص سنی یا جنسیتی؛ مداخله (Intervention) شامل استفاده از دمبل، میله یا هر ابزار مقاومتی دستی مجهز به مکانیسم تولید ارتعاش حین اجرای حرکات بدنسازی پویا یا ایستا؛ مقایسه (Comparison) شامل تمرین مقاومتی مشابه با ابزار غیرارتعاشی استاندارد یا گروه کنترل بدون مداخله؛ پیامد (Outcome) شامل شاخص‌های الکترومیوگرافیک فعالیت عضلات تثبیت‌کننده تنه، شاخص‌های ثبات مفصلی (مانند آزمون‌های تعادل پویا و ایستا، حس عمقی مفصلی) و متغیرهای عملکردی مرتبط؛ و طرح مطالعه (Study design) شامل کارآزمایی‌های تصادفی‌سازی شده کنترل‌دار، مطالعات نیمه‌تجربی، مطالعات مقطعی مقایسه‌ای و مرورهای نظاممند/فراتحلیل‌های پیشین مرتبط. مطالعات منتشرشده به زبان انگلیسی یا فارسی، بدون محدودیت زمانی سخت‌گیرانه اما با اولویت‌دهی به ادبیات ده سال اخیر، وارد فرایند غربالگری

شدند. معیارهای خروج شامل مقالات مروری بدون داده تجربی اولیه مستقل، گزارش های موردی با حجم نمونه بسیار محدود، چکیده های همایشی فاقد متن کامل، و مطالعاتی بود که صرفاً به ارتعاش تمام بدن (Whole-Body Vibration) بدون مؤلفه دستی/موضعی پرداخته بودند مگر آنکه یافته های آن ها برای تبیین مکانیسم های نظری زیربنایی ضروری تشخیص داده می شد.

فرایند غربالگری در دو مرحله انجام شد: نخست بررسی عنوان و چکیده مقالات بازبینی شده برای حذف موارد غیرمرتبط، و سپس مطالعه متن کامل مقالات باقی مانده برای ارزیابی نهایی واجد شرایط بودن بر اساس معیارهای از پیش تعیین شده. داده های استخراج شده از هر مطالعه شامل مشخصات نویسندگان و سال انتشار، طرح مطالعه، ویژگی های جمعیت نمونه، مشخصات فنی ابزار ارتعاشی (فرکانس، دامنه و جهت ارتعاش)، پروتکل تمرینی، ابزارهای اندازه گیری پیامد و یافته های کلیدی بود.

کیفیت روش شناختی کارآزمایی های بالینی وارد شده با استفاده از مقیاس PEDro ارزیابی شد؛ ابزاری معتبر و پایا برای رتبه بندی کیفیت روش شناختی کارآزمایی های تصادفی سازی شده کنترل دار در حوزه علوم توان بخشی و ورزشی که پایایی مطلوب آن در مطالعات پیشین تأیید شده است [۱۲]. مطالعاتی که فاقد گزارش شفاف از تصادفی سازی، کورسازی ارزیاب یا کنترل مخدوش کننده ها بودند، با احتیاط بیشتری در سنتز نهایی تفسیر شدند.

با توجه به ناهمگونی بالا در طراحی مداخلات (تنوع فرکانس و دامنه ارتعاش، نوع حرکت بدنسازی، مدت و تواتر برنامه تمرینی) و ابزارهای اندازه گیری پیامد (الکترومایوگرافی سطحی، آزمون های تعادل، پرسش نامه های عملکردی)، سنتز یافته ها به صورت کیفی و موضوعی (Thematic Synthesis) انجام شد. یافته ها در سه محور اصلی دسته بندی و تحلیل شدند: (الف) مکانیسم های نوروفیزیولوژیک زیربنایی اثر ارتعاش بر فعال سازی عضلانی، (ب) شواهد تجربی مربوط به فعال سازی عضلات تثبیت کننده تنه، و (ج) شواهد مربوط به شاخص های ثبات مفصلی و کاربردهای بالینی-تمرینی. این رویکرد امکان مقایسه انتقادی میان مطالعات با طراحی های متفاوت را فراهم آورد، بدون آنکه فرض همگونی آماری کاذبی بر داده ها تحمیل شود.

یافته ها

۱. فعال سازی عضلات تثبیت کننده مرکزی (Core) در پاسخ به بارگذاری ارتعاشی

شواهد الکترومایوگرافیک به دست آمده از مطالعاتی که مؤلفه ارتعاشی را به حرکات مقاومتی آزاد افزوده اند، به طور کلی افزایش فعالیت عضلات تثبیت کننده تنه را در مقایسه با اجرای همان حرکت بدون ارتعاش نشان می دهند. در مطالعه ای که ارتعاش را به صورت برهم نهاده (Superimposed) بر تمرینات تعلیقی پل خوابیده و کرل همسترینگ اعمال کرده بود، مدل خطی مختلط اثر ثابت معناداری برای ارتعاش با فرکانس های ۲۵ و ۴۰ هرتز بر فعالیت عضلانی گلوئئوس ماکسیموس، دوسر رانی، نیم وتری و دوقلو در حرکت پل تعلیقی نشان داد، هرچند این اثر در حرکت کرل همسترینگ تعلیقی معنادار نبود [۱۴]. این یافته اهمیت نوع و الگوی حرکتی را در تعیین اثربخشی ارتعاش بر فعال سازی عضلات تثبیت کننده برجسته

می سازد؛ به این معنا که حرکاتی با تقاضای تثبیت کنندگی بالاتر (مانند پل خوابیده که نیازمند کنترل ایزومتریک لگن و تنه است) پاسخ عضلانی بیشتری به محرک ارتعاشی نشان می دهند تا حرکات با الگوی حرکتی پویا و مفصل محور. در حوزه اندام تحتانی، بررسی الگوهای نیم اسکات ایستا و پویای همراه با ارتعاش تمام بدن نشان داد که فعالیت عضلات پهن داخلی، دوسر رانی و دوقلو در حضور محرک ارتعاشی به طور معناداری افزایش می یابد و این افزایش با بهبود هماهنگی بین عضلات خم کننده و بازکننده و در نتیجه ارتقای ثبات مفصلی مرتبط دانسته شده است [۳]. یافته های مشابهی در زنان میان سال و سالمند نیز گزارش شده است؛ در پژوهشی که سه موقعیت بدنی (نیم اسکات ایستا، نیم اسکات ایستا همراه با کش الاستیک، و نیم اسکات پویا) را در سه دامنه ارتعاشی متفاوت (صفر، دو و چهار میلی متر با فرکانس ثابت سی هرتز) مقایسه کرده بود، فعالیت عضلات پهن خارجی، دوسر رانی و دوقلو به طور معناداری در حضور ارتعاش نسبت به شرایط بدون ارتعاش افزایش یافت [۱۵].

در ارتباط مستقیم تر با ابزارهای دستی، مطالعه مقایسه ای میان دستگاه ارتعاشی قابل حمل و دمبل استاندارد در زنان نشان داد که فعال سازی عضلات دلتوئید قدامی، دوسر بازویی و بازویی زندی در شرایط ارتعاشی به طور معنادار ($P < 0.05$) بالاتر از شرایط دمبل معمولی بود [۵]؛ این الگو با نظریه بازتاب تونیک ارتعاشی همخوانی دارد که بر اساس آن، تحریک دوک های عضلانی موجب افزایش هم زمان فعالیت عضلات آگونیست، آنتاگونیست و سینرژیست اطراف مفصل درگیر می شود و از این طریق سطح تثبیت پویای مفصل ارتقا می یابد.

۲. یافته های مرتبط با ثبات مفصلی، حس عمقی و بی ثباتی مکانیکی

مستقل از مؤلفه ارتعاشی، خط پژوهشی مربوط به تمرین مقاومتی در شرایط ناپایدار (Instability Resistance Training) شواهد مکملی برای درک مکانیسم افزایش فعالیت عضلات تثبیت کننده در پاسخ به اغتشاش حسی-حرکتی فراهم کرده است. فراتحلیل الکترومایوگرافیک جامعی که مطالعات تمرین ناپایدار را سنتز کرده، افزایش معنادار فعالیت راست شکمی (اندازه اثر استاندارد ۰.۳۲)، مایل داخلی (۰.۳۸)، مایل خارجی (۰.۳۸) و راست کننده های ستون فقرات (۰.۶۰) را در مقایسه با شرایط پایدار گزارش کرده است [۹]. این یافته های کمی نشان می دهند که اندازه اثر تحریک بی ثباتی بر عضلات عمقی تنه (نظیر راست کننده های ستون فقرات) به طور قابل توجهی بزرگ تر از عضلات سطحی تر شکمی است، الگویی که با نقش تثبیت کنندگی عمقی این عضلات در حفظ راستای ستون فقرات همخوانی دارد.

از منظر عملکردی، کارآزمایی ای که برنامه تمرینی ده هفته ای مبتنی بر توپ سوئیسی و وزن بدن را ارزیابی کرد، افزایش معنادار گشتاور اوج بازکنندگی تنه (۲۳.۶ درصد) و کار کلی انجام شده (۲۰.۱ درصد) را در گروه تمرین کرده در مقایسه با کاهش نسبی این شاخص ها در گروه کنترل نشان داد، همراه با بهبود هم زمان حس عمقی مفصل زانو [۲۴]. این یافته حاکی از آن است که افزایش حاد فعالیت الکترومایوگرافیک ناشی از بی ثباتی، در صورت تداوم برنامه تمرینی، به سازگاری های مزمن قدرت تنه و بهبود حس عمقی مفصلی نیز منتهی می شود، مسئله ای که در ارزیابی اثربخشی بلندمدت ابزارهای ارتعاشی نیز باید مدنظر قرار گیرد.

۳. رابطه دوز-پاسخ: نقش فرکانس و دامنه ارتعاش

شواهد موجود به وضوح نشان می دهند که پاسخ عضلانی به ارتعاش، وابسته به فرکانس و دامنه اعمال شده است و از یک رابطه دوز-پاسخ غیرخطی پیروی می کند. طبق پروتکل استاندارد کارآزمایی های بالینی مربوط به دمبل های ارتعاشی، فرکانس آستانه برانگیختن رفلکس کششی برای ابزارهای دستی حدود شانزده هرتز است و با افزایش فرکانس به بالاتر از بیست و هشت هرتز، تارهای عضلانی وارد وضعیت هم انقباضی مداوم می شوند که منجر به افزایش نیرو و توان پس از ارتعاش

می گردد [۶].

این آستانه های فرکانسی با یافته های مربوط به ارتعاش تمام بدن، که در آن فرکانس سی هرتز به طور مکرر به عنوان محرک مؤثر برای فعال سازی عضلات اندام تحتانی گزارش شده [۱۵،۳]، هم راستا هستند، هر چند آستانه های دقیق میان ابزارهای دستی و صفحات تمام بدن به دلیل تفاوت در مسیر انتقال مکانیکی ارتعاش به بافت عضلانی، یکسان نیستند. علاوه بر فرکانس، دامنه ارتعاش نیز عامل تعیین کننده ای در شدت پاسخ عضلانی است؛ در مطالعه ای که دامنه های دو و چهار میلی متر را با شتاب های تقریبی ۱.۸۳ و ۳.۱۷ جی مقایسه کرد، افزایش دامنه ارتعاش با افزایش متناظر در فعالیت عضلات هدف همراه بود [۱۵]. این یافته بر ضرورت گزارش شفاف پارامترهای فنی ابزار (فرکانس، دامنه و شتاب) در مطالعات آینده تأکید می کند، چرا که فقدان استاندارد سازی این پارامترها یکی از منابع اصلی ناهمگونی در ادبیات موجود است و مقایسه مستقیم نتایج میان مطالعات مختلف را با محدودیت مواجه می سازد.

۴. تفاوت های جنسیتی و ملاحظات جمعیت شناختی

شواهد اولیه حاکی از وجود تفاوت های جنسیتی در پاسخ عضلانی به بارگذاری ارتعاشی همراه با تمرین مقاومتی است. پژوهشی که اثر ارتعاش بر فعالیت عضلانی حین اسکات را در دو جنس بررسی کرده بود، گزارش داد زنان الگوی گسترده تری از تسهیل عضلانی را نشان دادند، به گونه ای که فعالیت گلوئئوس ماکسیموس و دوقلوی جانبی افزایش قابل توجهی یافت و این یافته پیشنهاد می کند که ترکیب ارتعاش با تمرین مقاومتی اینرسیایی ممکن است بیشترین کاربرد را در بهینه سازی جذب عصبی عضلانی زنجیره خلفی بدن، به ویژه در جمعیت زنان، داشته باشد [۴۰]. این تفاوت جنسیتی احتمالاً با تفاوت های آناتومیک و نوروفیزیولوژیک زمینه ای در حساسیت دوک های عضلانی و الگوی جذب واحدهای حرکتی مرتبط است، هر چند تعداد مطالعات موجود در این حوزه هنوز برای نتیجه گیری قطعی کافی نیست.

۵. ملاحظات ایمنی و عوارض احتمالی

در کنار شواهد مربوط به اثربخشی، بررسی جامع ادبیات ایمنی نشان می دهد که قرارگیری مزمن و طولانی مدت در معرض ارتعاش منتقل شده به دست (Hand-Transmitted Vibration) می تواند با اختلالات عروقی، عصبی و اسکلتی عضلانی همراه باشد؛ مؤلفه عروقی این سندرم با پدیده رنگ پریدگی نوبه ای انگشتان (که با اصطلاح انگشت سفید ارتعاشی نیز شناخته می شود) و مؤلفه عصبی آن با بی حسی، سوزن سوزن شدن و کاهش حساسیت لامسه ای مشخص می شود؛ آسیب شناسی زمینه ای این عارضه شامل اختلال عملکرد اندوتلیال، آسیب میکروواسکولار و فیبروز پیرامون عصبی است [۱۷]. اگرچه این شواهد عمدتاً از زمینه های شغلی و قرارگیری تکراری طولانی مدت (معمولاً چندین ساعت در روز، به مدت سال ها) با ابزارهای صنعتی به دست آمده و لزوماً قابل تعمیم مستقیم به جلسات کوتاه مدت تمرین مقاومتی با دمبل یا میله ارتعاشی نیستند، ضرورت رعایت اصول تدریجی سازی بار ارتعاشی، محدود سازی مدت و تواتر جلسات، و پایش علائم اولیه (نظیر بی حسی یا سرمای غیرعادی انگشتان) در طراحی پروتکل های تمرینی مبتنی بر ارتعاش دستی را برجسته می سازد. جمع بندی یافته ها: در مجموع، شواهد موجود به طور همگرا نشان می دهند که افزودن محرک ارتعاشی به حرکات مقاومتی آزاد، از طریق مکانیسم بازتاب تونیک ارتعاشی و افزایش هم انقباضی عضلانی، می تواند فعالیت عضلات تثبیت کننده تنه و اندام ها را به میزان قابل توجهی نسبت به تمرین مشابه بدون ارتعاش افزایش دهد؛ اثری که با یافته های مستقل حوزه تمرین ناپایدار در زمینه افزایش فعال سازی عضلات عمقی تنه هم راستا است. با این حال، شدت این اثر به طور قابل توجهی به پارامترهای فنی ابزار (فرکانس و دامنه)، نوع حرکت اجرا شده، و ویژگی های جمعیت شناختی نمونه وابسته است؛ عاملی که ضرورت استاندارد سازی پروتکل های آینده و توجه هم زمان به ملاحظات ایمنی را دوچندان می کند.

بحث

۱. تبیین مکانیسم های نوروفیزیولوژیک زیربنایی یافته ها

یافته های ارائه شده در بخش قبل را باید در پرتو دانش به روز فیزیولوژی عصبی-عضلانی مربوط به پاسخ های حاصل از ارتعاش تاندونی-عضلانی تفسیر کرد. بازتاب تونیک ارتعاشی، به عنوان بیان اصلی حرکتی جریان آوران هماهنگ حاصل از ارتعاش تاندون-عضله، از طریق تحریک هم زمان چندین گیرنده مکانیکی—شامل دوک های عضلانی، اندام های وتری گلژی و گیرنده های مکانیکی مفصلی نوع اول و دوم—شکل می گیرد و پیچیدگی آن فراتر از یک رفلکس ساده تک سیناپسی است [۱۸]. تخلیه های ریتمیک حس عمقی ابتدا نوروهای حرکتی آلفا را از طریق اتصالات تک سیناپسی تحریک می کنند، اما فعالیت پرفرکانس آوران های Ia به سرعت این مسیر را از طریق مکانیسم های هوموسیناپسی وابسته به فعالیت مهار می کند، پدیده ای که با سرکوب رفلکس هوفمن حین ارتعاش مستند شده است [۱۸]. این پیچیدگی نوروفیزیولوژیک توضیح می دهد که چرا پاسخ عضلانی به ارتعاش، بسته به فرکانس، دامنه، وضعیت مکانیکی عضله (کوتاه شدگی غیرفعال در برابر کشش یا انقباض ارادی) و محل اعمال محرک، می تواند به شدت متغیر باشد و صرفاً به یک الگوی «افزایش خطی فعالیت با افزایش فرکانس» تقلیل پذیر نیست.

شواهد تجربی مستقلی نیز نشان داده اند که ارتعاش تمام بدن، حتی در فرکانس های پایین تر از آنچه برای تحریک مستقیم دوک های عضلانی لازم دانسته می شود (کمتر از پنجاه هرتز در مقایسه با محدوده صد تا صدوپنجاه هرتز برای ارتعاش موضعی مستقیم تاندون)، همچنان قادر است بازتاب تونیک ارتعاشی را حین انقباض ارادی برانگیزد [۱۹،۲۰]. این یافته از اهمیت ویژه ای برای تفسیر مطالعات مربوط به دمبل و میله های ارتعاشی برخوردار است، زیرا نشان می دهد مکانیسم اثرگذاری این ابزارها احتمالاً ترکیبی از بازتاب تونیک ارتعاشی مستقیم و تسهیل غیرمستقیم انقباض ارادی از طریق افزایش ورودی حس عمقی به مراکز فوق نخاعی است، نه صرفاً یک رفلکس نخاعی منفرد. این دوگانگی مکانیسمی می تواند بخشی از تبیین همگرایی یافته های دو خط پژوهشی مستقل ارتعاش و بی ثباتی مکانیکی باشد که هر دو، علی رغم تفاوت در ماهیت محرک اعمال شده (نوسان مکانیکی در برابر اغتشاش سطح اتکا)، به افزایش هم گرای فعالیت عضلات تثبیت کننده منتهی می شوند؛ به بیان دیگر، هر دو محرک از طریق افزایش بار حسی-حرکتی وارد بر سامانه عصبی مرکزی، نیاز به تثبیت فعال مفصل و تنه را افزایش می دهند، هر چند مسیر آوران متفاوتی (گیرنده های عضلانی-تاندونی در برابر گیرنده های وستیبولار و برون حسی سطح اتکا) را درگیر می سازند.

۲. تلفیق یافته ها با پیشینه نظری تمرین ناپایدار و کاربردهای عملی

همسویی یافته های حاصل از مطالعات ارتعاشی با ادبیات غنی تر و پیشین تر تمرین ناپایدار [۸،۹،۱۰]، این فرضیه را تقویت می کند که اصل زیربنایی هر دو رویکرد—افزایش عمدی چالش حسی-حرکتی برای برانگیختن پاسخ تثبیت کنندگی فعال—مشترک است. از این منظر، دمبل و میله های ارتعاشی را می توان نسل جدیدی از ابزارهای «بی ثبات کننده فعال»

(Active Destabilizers) در نظر گرفت که برخلاف ابزارهای بی ثباتی مکانیکی سنتی (توپ سوئیسی، بوسو)، اغتشاش را نه از طریق کاهش سطح اتکا بلکه از طریق تزریق مستقیم انرژی نوسانی به زنجیره حرکتی اعمال می کنند. این تمایز مکانیکی می تواند از نظر کاربردی برای مربیان بدنسازی حائز اهمیت باشد، چرا که امکان افزایش تقاضای تثبیت کنندگی بدون کاهش هم زمان پایداری سطح اتکا (که در ابزارهای بی ثباتی سنتی می تواند خطر افت کنترل وضعیتی و آسیب حاد را افزایش دهد) را فراهم می آورد؛ ویژگی ای که به طور بالقوه می تواند کاربرد این ابزارها را برای جمعیت های ورزشکار حرفه ای، که نیازمند حفظ دقت فنی حرکت در حین اعمال بار مقاومتی سنگین هستند، ایمن تر از جایگزین های سنتی سازد. با این حال، تاکنون هیچ مطالعه مستقیمی این دو رویکرد را از منظر ایمنی یا کارایی مقایسه نکرده و این ادعا در حال حاضر ماهیتی نظری و استنتاجی دارد.

۳. محدودیت های روش شناختی ادبیات موجود

تفسیر یافته های این مرور مستلزم توجه دقیق به چندین محدودیت روش شناختی مهم در ادبیات زیربنایی است. نخست، اعتبار اندازه گیری های الکترومایوگرافیک سطحی حین اعمال محرک ارتعاشی خود محل تردید جدی است؛ مطالعه ای که به طور اختصاصی به این موضوع پرداخته، نشان داد که توان سیگنال الکترومایوگرافیک مرتبط با هارمونیک های فرکانس ارتعاش، از حدود سه درصد توان کل پیش از ارتعاش به حدود بیست و نه درصد حین ارتعاش افزایش می یابد؛ افزایشی که عمدتاً ناشی از مصنوعات حرکتی (Motion Artifact) الکترودها بر روی پوست است، نه لزوماً افزایش واقعی فعالیت میو الکتریکی [۲۱].

این یافته هشدار روش شناختی مهمی است که بخشی از افزایش های گزارش شده در دامنه یا مجذور میانگین مربعات سیگنال الکترومایوگرافیک حین ارتعاش، ممکن است بازتاب مصنوعی حرکت الکترو و نه فعال سازی عصبی عضلانی واقعی باشد؛ مسئله ای که در بسیاری از مطالعات پیشین حوزه ارتعاش، از جمله برخی از مطالعات مرور شده در این پژوهش، به طور صریح کنترل یا گزارش نشده است.

دوم، ناهمگونی چشمگیر در طراحی مداخلات—شامل تنوع فرکانس (از شانزده تا چهل هرتز برای ابزارهای دستی)، دامنه، نوع حرکت، مدت مواجهه و ابزار اندازه گیری پیامد—مقایسه مستقیم و تجمیع کمی یافته ها را با محدودیت جدی مواجه می سازد. سوم، بخش قابل توجهی از شواهد مستقیم مربوط به دمبل و میله ارتعاشی (بر خلاف ادبیات غنی تر ارتعاش تمام بدن) از کارآزمایی های با حجم نمونه محدود یا پروتکل های ثبت شده هنوز در حال اجرا استخراج شده اند، که قدرت آماری و تعمیم پذیری یافته ها را کاهش می دهد. چهارم، اغلب مطالعات موجود به بررسی اثرات حاد (Acute) فعال سازی عضلانی حین یک جلسه واحد پرداخته اند و شواهد مربوط به سازگاری های مزمن (نظیر تغییرات ساختاری در قدرت تثبیت کنندگی تنه پس از یک دوره تمرینی چند هفته ای با ابزار ارتعاشی) هنوز اندک است؛ در حالی که شواهد حوزه تمرین ناپایدار نشان داده اند که پاسخ حاد الکترومایوگرافیک همواره به طور خطی به سازگاری مزمن قدرت تبدیل نمی شود [۲۴].

۴. تناقضات و ملاحظات نقادانه

باید توجه داشت که افزایش فعالیت الکترومایوگرافیک حین اجرای یک حرکت، لزوماً به معنای برتری کیفی آن حرکت از منظر اهداف تمرینی نیست. در ادبیات حوزه تمرین ناپایدار، برخی مطالعات افزایش فعالیت عضلات مرکزی را با کاهش همزمان برون داد نیروی بیرونی و توان تولیدی همراه دانسته اند [۳۰]، بدین معنا که به کارگیری بی ثباتی—اعم از مکانیکی یا ارتعاشی—در حرکات با هدف اولیه توسعه حداکثر قدرت یا توان (نظیر اسکات با بار سنگین در ورزشکاران قدرتی)، ممکن است با اصل تخصصی سازی تمرین (Training Specificity) در تعارض باشد. از این رو، کاربرد ابزارهای ارتعاشی احتمالاً برای اهداف خاص (نظیر مراحل آماده سازی عمومی، بازتوانی، یا تمرینات مکمل با بار پایین تا متوسط با هدف اولویت دهی به ثبات مفصلی) مناسب تر از مراحل تخصصی توسعه حداکثر قدرت است که در آن ها ثبات بیرونی بیشتر (نظیر استفاده از میله ثابت غیرارتعاشی) ممکن است اجرای تکنیکی دقیق تر و بارگذاری ایمن تر را تسهیل کند.

۵. جهت گیری های پیشنهادی برای پژوهش های آینده

با توجه به محدودیت های یادشده، پژوهش های آینده در این حوزه لازم است: (الف) از روش های کنترل مصنوعات حرکتی الکترومایوگرافی (نظیر الکترودهای شتاب سنج مکمل یا فیلترهای طیفی هارمونیک) به طور استاندارد استفاده کنند [۲۱]؛ (ب) پارامترهای فنی ابزار ارتعاشی (فرکانس، دامنه، شتاب) را به طور شفاف و یکنواخت گزارش کنند تا امکان فراتحلیل کمی در آینده فراهم شود؛ (ج) به بررسی اثرات مزمن برنامه های تمرینی چند هفته ای بر شاخص های عملکردی ثبات مفصلی (نظیر آزمون های تعادل پویا، خطای بازسازی زاویه مفصلی) بپردازند، نه صرفاً پاسخ حاد الکترومایوگرافیک؛ (د) تفاوت های جنسیتی و سنی را با حجم نمونه کافی و به طور هدفمند بررسی کنند؛ و (ه) کارآزمایی های تصادفی سازی شده کنترل دار با پیگیری بلندمدت طراحی کنند که به طور مستقیم دمبل/میله ارتعاشی را با ابزارهای بی ثباتی مکانیکی سنتی و با تمرین مقاومتی استاندارد مقایسه نمایند تا برتری نسبی یا مکمل بودن این رویکردها روشن شود.

نتیجه گیری

مرور حاضر شواهد علمی موجود درباره تأثیر استفاده از دمبل و میله های مجهز به ویبریشن حین اجرای حرکات بدنسازی بر ثبات مفصلی و فعال سازی عضلات تثبیت کننده ناحیه مرکزی بدن را به طور نظام مند سنتز کرد. شواهد به دست آمده نشان می دهند که افزودن محرک ارتعاشی به بارگذاری مقاومتی آزاد، از طریق مکانیسم های نوروفیزیولوژیک بازتاب تونیک ارتعاشی و افزایش فعالیت آوران های حسی نوع Ia، می تواند فعال سازی الکترومایوگرافیک عضلات آگونیست، آنتاگونیست و به ویژه عضلات تثبیت کننده تنه و مفاصل درگیر را نسبت به اجرای همان حرکت بدون مؤلفه ارتعاشی به طور معناداری افزایش دهد. این یافته ها با پیشینه پژوهشی مستقل حوزه تمرین مقاومتی ناپایدار، که افزایش فعالیت عضلات عمقی و سطحی تنه را در پاسخ به اغتشاش حسی—حرکتی مستند کرده است، همسو بوده و از فرضیه اشتراک مکانیسمی زیربنایی—افزایش عمدی تقاضای تثبیت کنندگی فعال عصبی عضلانی—پشتیبانی می کند.

با این حال، این جمع بندی باید با احتیاط علمی قابل توجهی همراه باشد. شدت و جهت اثر ارتعاش به طور قابل ملاحظه ای به پارامترهای فنی ابزار (فرکانس، دامنه و شتاب اعمال شده)، نوع و الگوی حرکت اجرا شده، سطح تجربه تمرینی و

ویژگی های جمعیت شناختی (به ویژه جنسیت) نمونه مورد مطالعه وابسته است؛ عدم استانداردسازی این پارامترها در ادبیات موجود، همراه با نگرانی های روش شناختی معتبر درباره سهم مصنوعات حرکتی الکتروود در افزایش های گزارش شده سیگنال الکترومایوگرافیک حین ارتعاش، از قطعیت نتیجه گیری های کمی می کاهد. علاوه بر این، اکثریت قریب به اتفاق شواهد موجود به پاسخ های حاد یک جلسه ای محدود بوده و داده های مربوط به سازگاری های مزمن ناشی از برنامه های تمرینی چند هفته ای مبتنی بر دمبل یا میله ارتعاشی، به ویژه از منظر پیامدهای بالینی نظیر کاهش نرخ آسیب یا بهبود پایدار ثبات مفصلی، هنوز کمیاب است.

از منظر کاربردی، یافته های این مرور پیشنهاد می کند که ابزارهای مقاومتی مجهز به ویبریشن می توانند به عنوان مکملی هدفمند در کنار پروتکل های تمرین مقاومتی متداول، به ویژه در مراحل آماده سازی عمومی، برنامه های پیشگیری از آسیب و توان بخشی ورزشی که در آن ها اولویت با ارتقای هماهنگی عصبی عضلانی و ثبات تثبیت کنندگی است، مورد استفاده مربیان بدنسازی و متخصصان توان بخشی قرار گیرند؛ در حالی که برای مراحل تخصصی توسعه حداکثر قدرت و توان، ثبات بیرونی بیشتر همچنان ممکن است ارجحیت داشته باشد. به کارگیری این ابزارها باید با رعایت اصل تدریجی سازی بار ارتعاشی و توجه به ملاحظات ایمنی مرتبط با مواجهه دستی-بازویی با ارتعاش همراه باشد.

در مجموع، پژوهش حاضر خلأ پژوهشی روشنی را در ادبیات علمی حوزه فیزیولوژی ورزشی و تمرین مقاومتی آشکار می سازد: نبود کارآزمایی های تصادفی سازی شده کنترل دار با کیفیت روش شناختی بالا، حجم نمونه کافی، استانداردسازی پارامترهای ارتعاشی و پیگیری بلندمدت که به طور مستقیم اثر دمبل و میله های ارتعاشی را با جایگزین های سنتی (تمرین مقاومتی استاندارد و تمرین ناپایدار مکانیکی) بر شاخص های عینی ثبات مفصلی و پیامدهای بالینی مقایسه کنند. رفع این خلأ می تواند مبنای شواهد محکم تری برای طراحی پروتکل های تمرینی مبتنی بر ارتعاش در بدنسازی و توان بخشی ورزشی فراهم آورد.

منابع

۱. Effect of Vibration Exercise on Upper Limb Strength, Function, and Pain [Internet]. ClinicalTrials.gov Protocol NCT۰۲۹۹۸۰۲۱.
۲. Peng YC, Guo YT, Wu JC, Hou WH. Effects of Whole-Body Vibration on Exercise Performance among Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. J Hum Kinet. ۲۰۲۴ Dec ۱۹;۹۷:۲۷-۵۰.
۳. Effects of whole-body vibration training in static and dynamic semi-squat patterns on the lower limb muscle activity. Sci Rep. ۲۰۲۳ Sep ۲.
۴. Effects of whole-body vibration training on muscle performance in healthy women: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. PLoS One. ۲۰۲۰.
۵. Impact of Smovey Vibration Versus Dumbbell Resistance on Muscle Activation in Women. Med Sci Monit. ۲۰۲۵.
۶. Effect of Vibration Exercise on Upper Limb Strength, Function, and Pain [Internet]. ClinicalTrials.gov Protocol NCT۰۲۹۹۸۰۲۱ (Study arms/protocol details).
۷. Klasen H. Vibrating barbell. United States Patent US۵۸۶۸۶۵۳A.
۸. Behm DG, Anderson KG. The role of instability with resistance training. J Strength Cond Res. ۲۰۰۶;۲۰(۳):۷۱۶-۷۲۲.
۹. Effects of unstable training on muscle activation: a systematic review and meta-analysis of electromyographic studies. PeerJ. ۲۰۲۰.
۱۰. The effect of instability resistance training on balance ability among athletes: a systematic review. Front Physiol. ۲۰۲۴ Dec ۱۳.
۱۱. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA ۲۰۲۰ statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ. ۲۰۲۱;۳۷۲:n۷۱.
۱۲. Maher CG, Sherrington C, Herbert RD, Moseley AM, Elkins M. Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. Phys Ther. ۲۰۰۳;۸۳(۸):۷۱۳-۲۱.
۱۳. Cumpston M, Li T, Page MJ, Chandler J, Welch VA, Higgins JP, et al. Updated guidance for trusted systematic reviews: a new edition of the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. Cochrane Database Syst Rev. ۲۰۱۹;۱۰(۱۰):ED۰۰۱۴۲.
۱۴. s.EMG Activity in Superimposed Vibration on Suspended Supine Bridge and Hamstring Curl. [PMC۸۳۸۵۴۳۷].
۱۵. Effects of Whole-Body Vibration Training with Different Body Positions and Amplitudes on Lower Limb Muscle Activity in Middle-Aged and Older Women. [PMC۹۲۸۹۹۱۴].
۱۶. [مطالعه EMG اثر ارتعاش/بار اینرسیایی بر عضلات اسکات؛ Bollinger L, et al.
۱۷. Hand-Arm Vibration Exposure and Occupational Health Effects [Internet]. Nature Index Topic Overview.
۱۸. Amiez C, et al. Muscle tendon vibration revisited: Why tonic vibration reflex and kinaesthetic illusions matter. J Physiol. ۲۰۲۶.
۱۹. Whole body vibration activates the tonic vibration reflex during voluntary contraction. [PMC۱۰۲۳۱۹۶۷].

۲۰. Experimental Evidence of the Tonic Vibration Reflex during Whole-Body Vibration of the Loaded and Unloaded Leg. [PMC۳۸۷۵۵۳۶]
۲۱. Fratini A, et al. Relevance of motion artifact in electromyography recordings during vibration treatment. J. Electromyogr Kinesiol. ۲۰۰۸