

مقایسه فشار فیزیولوژیکی فعالیت مقاومتی جلو پا در دستگاه مقاومت متغیر توربینی و دستگاه متداول در مردان فعال

حسن مهرعلیان^۱ - حمید رجبی^{۲*} - پژمان معتمدی^۳ - علی عباسی^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۲. استاد، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۳. استادیار، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۴. دانشیار، گروه بیومکانیک و آسیب شناسی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۱، تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۰۶/۱۳)

چکیده

دستگاه‌های بدنسازی متداول توانایی فعال‌سازی حداکثری عضلات را ندارند. هدف تحقیق حاضر، ساخت دستگاه مقاومت متغیر توربینی و مقایسه فشار فیزیولوژیکی حرکت جلو پا در این دستگاه با دستگاه بدنسازی متداول بود. جهت ساخت دستگاه مقاومت متغیر توربینی علاوه بر وزنه از نیروی مقاومت آب در برابر حرکت چندین پروانه استفاده شد. ۱۲ مرد فعال (سن $28 \pm 5/72$ سال) به صورت تصادفی معکوس در دو جلسه جداگانه، فعالیت مقاومتی جلو پا (۳ نوبت ۱۰ تکراری چرخه‌ی کامل انقباض درون‌گرا و برون‌گرا) را با دستگاه توربینی یا دستگاه متداول انجام دادند. مقاومت اعمال شده در دستگاه توربینی در فاز برون‌گرا کمتر از دستگاه متداول بود. قبل و بعد از فعالیت مقاومتی حداکثر نیروی عضلانی (MVC)، احساس درد عضلانی (MPP) و در حین تمرین میزان درک تلاش (RPE) اندازه‌گیری شد، همچنین در حین تمرین EMG عضلات سطحی چهار سر ران ثبت شد. ریشه دوم میانگین (RMS) سیگنال EMG و RPE در حین تمرین و تغییرات MVC و MPP با استفاده از روش آماری تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر در سطح معناداری ($\alpha = 0.05$) در دو تمرین مقایسه شد. RPE به‌طور معناداری در تمرین با دستگاه توربینی بیشتر بود ($p=0.000$). اما در سایر متغیرها بین دو تمرین تفاوت معناداری مشاهده نشد ($p>0.05$). با وجود مقاومت کمتر در فاز برون‌گرای دستگاه توربینی، RMS دو تمرین اختلاف معنی‌داری نداشت، که نشان می‌دهد فشار فیزیولوژیکی در فاز درون‌گرای تمرین با دستگاه توربینی بیشتر بوده و RPE بالاتر در دستگاه توربینی مؤید این است. با این حال برای اثر بخشی بیشتر این برنامه در طولانی‌مدت، نیاز به تحقیقات دقیق و تکمیلی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

حرکت جلو پا، دستگاه توربینی، فشار فیزیولوژیکی.

مقدمه

اهمیت دارد. همچنین ادعا شده دستگاه‌های پنوماتیک، هیدرولیک و ماشین‌های قرقره‌ای توانایی فعال‌سازی عضلانی بیشتری در طول دامنه حرکتی دارند ولی گزارش قابل استنادی در این رابطه مطرح نشده است (۹). بنابراین برای پوشش این خلأ، ساخت دستگاه تمرین مقاومتی با مکانیزم جدید همراه با توانایی فعال‌سازی عضلانی بیشتر در فاز درون‌گرا احساس می‌گردد. در این راستا به نظر می‌رسد با توجه به نیروی مقاوم یا پسار آب می‌توان با قرار دادن توربین در داخل مخزن آب ماشین تمرین مقاومتی مبتنی بر حرکت توربین در آب طراحی کرد. در حقیقت می‌توان از ترکیب مقاومت وزنه و مقاومت آب، نیروی مقاوم در برابر حرکت اندام ایجاد کرد که متناسب با قدرت زاویه ای عضلات باشد. مطالعات گذشته برای طراحی و توسعه وسایل تمرین مقاومتی، شامل بریس‌های ایزوکتیک و ربات‌های فیزیوتراپی با قابلیت ارایه حرکات ایزوکتیک بوده است. تاکید این مطالعات بر کنترل ثبات مفاصل بیماران و کنترل سرعت زاویه‌ای از طریق منطق فازی، نیوماتیک، مغناطیسی و... بوده است (۱۰-۱۳).

از طرفی علاقه روزافزون به توسعه روش‌های تمرینی مؤثر برای فعالیت‌های مقاومتی در جهت سازگاری‌های ورزشی است (۱۴). به همین جهت محققان به مقایسه وسایل تمرینی مختلف برای کاربرد در محیط‌های تمرینی پرداخته‌اند. در این راستا به نظر می‌رسد، استفاده از ابزارهای تمرینی که چالش‌های بیشتری برای سیستم‌های بدن با توجه به "شدت" ایجاد کند، فشار فیزیولوژیکی بیشتری ایجاد می‌کند که در صورت ایمن بودن می‌تواند در طولانی‌مدت، سازگاری‌های بیشتری را فراهم آورد. فرض ما بر این است که استفاده از مقاومت آب به همراه مقاومت وزنه در دستگاه‌های بدنسازی می‌تواند سطح بالاتری از

هدف از تمرینات مقاومتی رفع نیازهای ویژه ورزشی (۱) پیشگیری از آسیب، افزایش حجم عضلانی، توانبخشی (۲، ۳) و یا کارایی حرکتی است. از آنجایی که نیروی تولیدی عضلات در طول دامنه حرکتی به دلیل تغییرات اهرم و مزیت‌های مکانیکی متفاوت است، توانایی بلند کردن وزنه در فاز درون‌گرا با ضعیف‌ترین زاویه در دامنه حرکتی، یعنی نقطه چسبندگی^۱ یا نقطه شکست^۲ در هنگام تمرین با ماشین‌های بدنسازی متداول محدود می‌شود (۴، ۵). از این رو مقاومتی که برای تمرین انتخاب می‌شود متناسب با ضعیف‌ترین زاویه حرکتی است و نمی‌تواند به فعال‌سازی بهینه زوایای قوی‌تر دامنه حرکتی مفصل بپردازد. محققان گزارش کرده‌اند که دستگاه‌های ایزوکتیک می‌تواند نقص دستگاه‌های ایزوتونیک را در این رابطه پوشش دهد. مشکل بزرگ این دستگاه‌ها قیمت بالا و هزینه بالای نگهداری و سرویس آنها است (۶). البته دستگاه‌های نظیر چرخ دوار^۳ و روش‌های دیگری چون استفاده از مقاومت کش مطرح شده‌است. ولی این روش‌ها کاستی‌های خود را دارند. به عنوان مثال ابودردا و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند فعال سازی عضلانی هنگام استفاده از کش‌های تمرینی در میانه انقباض درون‌گرا و برون‌گرا با دستگاه ایزوتونیک ناتلوس برابر است ولی در ابتدا و انتهای هر دو انقباض دستگاه ناتلوس فعال‌سازی عضلانی بیشتری به همراه دارد (۷). همچنین آلکنر و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که دستگاه چرخ‌دوار در برابر دستگاه‌های ایزوتونیک فقط در انقباض برون‌گرا فعال‌سازی عضلانی بیشتری نسبت به انقباض درون‌گرا به همراه دارد (۸). در صورتی که برای سازگاری‌های عملکردی فعال‌سازی در بخش درون‌گرا

4 Drag force

1. Sticking-point
2 Failure-point
3 Flywheel

مواد و روش‌ها

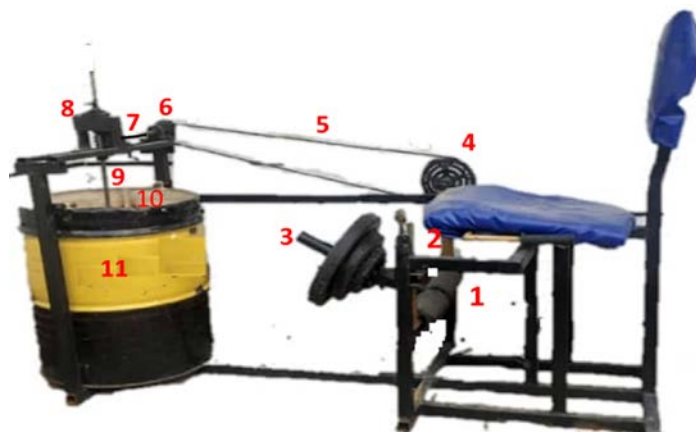
فاز ۱ مطالعه (ساخت دستگاه مقاومتی توربینی)

مراحل ساخت دستگاه تمرین مقاومتی توربینی

پس از مرور استانداردهای مورد نظر در طراحی و ساخت دستگاه‌های تمرین مقاومتی، طراحی مدل اولیه دستگاه انجام گرفت و پس از چندین نوبت اصلاحات، به تأیید متخصصین بیومکانیک ورزشی و فیزیولوژی ورزشی رسید و سپس دستگاه ساخته شد (شکل ۱). این دستگاه از دو بخش اصلی و قاب فلزی است که توسط جوشکار ساخته شده است. بخش اصلی که نیرو را از پا به توربین انتقال می‌دهد، از جنس فلز با استحکام بالا، به ترتیب شامل؛

- ۱- رول پد (بافت اسفنجی که نیروی پا به آن وارد می‌شود)
- ۲- اهرم (از یک طرف به چرخ‌زنجیر بزرگ و در طرف دیگر به بلبرینگ مفصلی متصل و رول پد بر روی آن قرار دارد)
- ۳- میله‌ای روی اهرم که وزنه بر روی آن جای‌گذاری می‌شود
- ۴- چرخ‌زنجیر بزرگ ۵- زنجیر (جهت انتقال نیرو از چرخ‌زنجیر بزرگ به چرخ‌زنجیر کوچک)
- ۶- چرخ‌زنجیر کوچک (این قطعه مانند خودرو عقب دوچرخه به صورت یک طرفه عمل می‌کند)
- ۷- میله افقی ۸- ۲ چرخ دنده مخروطی (برای برقراری ارتباط و انتقال نیرو بین بخش‌های ۷ و ۹، این چرخ‌دنده‌ها طوری طراحی می‌شوند که نیرو را از محور افقی به محور عمودی یا برعکس انتقال می‌دهد)
- ۹- میله عمودی ۱۰- توربین و نهایتاً ۱۱- مخزن آب می‌باشد.

برانگیختگی عصبی-عضلانی و فشار فیزیولوژیکی را به همراه دارد. به هر حال این موضوع باید به روش‌های کنترل‌شده مورد مطالعه قرار بگیرد. از طرفی محققان با تأیید کاربرد و کارایی وسایل ورزشی از طریق روش‌های علمی و کنترل شده نقش مؤثری در میزان تولید و تجارت وسایل ورزشی دارند از این رو به نظر می‌رسد مطالعه و بررسی پاسخ‌های تمرینی با دستگاه ساخته شده به روش‌های علمی و کنترل شده، شتاب‌دهنده‌ها و استارت آپ‌های ورزشی را برای حمایت از تولید انبوه دستگاه ساخته شده مجاب خواهد کرد. همچنین بررسی ابعاد مختلف دستگاه و آگاهی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی حاصل از فعالیت مقاومتی با این دستگاه مربیان و درمانگرها ورزشی را در تجویز برنامه‌های تمرینی یاری خواهد کرد. از نقطه‌نظر دیگر طراحی یک وسیله تمرین مقاومتی جدید با استفاده از ترکیب نیروی پसार آب و وزنه منجر به افزایش تنوع تمرینی در تمرینات مقاومتی، فعال‌سازی حداکثری در همه زوایای حرکتی، وسیله‌ای ایمن برای تمرین مقاومتی افراد سالمند و یا داری مشکلات حرکتی، رویکردی جدید در حوزه مطالعات ورزشی و توانبخشی ورزشی باشد. از این رو در فاز "۱" این تحقیق، یک دستگاه مقاومت توربینی برای حرکت باز شدن پا (حرکت جلو پا) طراحی و ساخته شد و سپس در فاز "۲" برای تأیید فشار بیشتر کار با این دستگاه از EMG، RPE، MVC و احساس درد عضلانی (MPP) جهت مقایسه فشار فیزیولوژیکی فعالیت مقاومتی در دستگاه مقاومت متغیر توربینی در مقابل دستگاه متداول جلو پا پرداخته شد.



شکل ۱. دستگاه مقاومت متغیر توربینی

حرکت جلو پای تک‌پا ($37 \pm 7/4$ کیلوگرم) (۹ نفر) و تمرین نکرده ($29 \pm 6/8$ کیلوگرم) (۹ نفر) با هم مقایسه شد و نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که تفاوت معنادار بین دو گروه وجود داشت ($t_{16} = 7/70, p < 0/001$). در ادامه مطالعه پایلوت، میزان 10-RM این دو گروه در دستگاه مقاومت توربینی مقایسه شد و نتایج در دستگاه جدید هم نشان داد که افرادی که از نظر قدرت عضلات چهار سر قویتر هستند (بررسی با دستگاه متداول باشگاه‌های بدنسازی) توانایی فعالیت با وزنه‌های سنگین‌تری را با دستگاه ساخته شده دارند و افراد ضعیف‌تر توانایی کمتری را دارند (31 ± 6 برابر 26 ± 8) ($t_{16} = 4/02, p = 0/019$). هر چند اختلاف معنی دار در بین افراد قوی و ضعیف، روایی سازه در دستگاه توربینی را تأیید کرد اما برای اطمینان بیشتر از روش همبستگی پیرسون نیز برای گروه تمرین کرده استفاده شد. نتیجه نشان داد که بین میزان 10-RM به دست آمده از دستگاه متداول (میانگین $37 \pm 7/4$ کیلوگرم) و دستگاه جدید (31 ± 6 کیلوگرم) همبستگی مثبت و معناداری در وجود داشت ($t_{16} = 0/83, p < 0/001$). از این رو روایی سازه با قدرت بیشتری مورد تأیید قرار گرفت. برای اندازه‌گیری 10-RM بعد از گرم کردن از هر یک از آزمودنی‌ها خواسته شد با یک وزنه که حدس زده می‌شد همراه با مقاومت آب (آزمودنی‌ها در دستگاه تمرین مقاومتی توربینی باید هم

اندازه و ابعاد قسمت‌های مختلف از جمله توربین و مخزن از طریق پایلوت (استفاده از: توربین‌های آهنی ساخته شده توسط جوشکار، پروانه ماشین‌های مختلف، مخازن ساخته شده توسط جوشکار و آماده) به دست آمد. برای طراحی صندلی راحت‌ترین ارگونومی در نظر گرفته شد. برای راحتی کاربر یک پشتی و نشیمنگاه اسفنجی با روکش برزنت طراحی و برای این بخش به کار گرفته شد. برای ساخت توربین از چهار پروانه خنک کننده موتور کامیون خاور ۸۰۸ که از طریق پیچ‌های متری و مهره‌ها بر روی هم به فاصله ۱۳ سانتیمتر از همدیگر قرار داشتند به هم متصل شدند و نهایتاً به لوله‌ای که در مرکز این پروانه‌ها قرار گرفت جوش داده شد و از طریق پیچ‌مهره، لوله به میله عمودی متصل شد. پس از چندین نوبت آزمایش، بخشی از بشکه ۲۲۰ لیتری برای مخزن مناسب تشخیص داده شد. هنگام قرار دادن توربین و استفاده از دستگاه این دریافت شد که همزمان با چرخش توربین آب نیز می‌چرخد. برای مقابله با چرخش آب در حین حرکت توربین، در مجموع ۹ ورق آهن بر روی ۳ قوطی عمودی جوش داده شده بر جدار داخلی مخزن آب، کار گذاشته شد تا فاصله بین پروانه‌ها تا مرکز مخزن را پر کند. ابتدا در یک مطالعه پایلوت که از دستگاه‌های متداول باشگاه‌های بدنسازی استفاده شد، میزان 10-RM دو گروه تمرین کرده در

زمان بر دو مقاومت غلبه می‌کرد که شامل؛ مقاومت آب به همراه مقاومت وزنه بود) 10-RM آزمودنی باشد با رعایت ریتم ۳ ثانیه (فاز درون‌گرا ۱/۵ ثانیه و فاز برون‌گرا ۱/۵ ثانیه) ۱۰ حرکت جلو پا را با دستگاه مقاومت توربینی انجام دهد (۱۵). این فرآیند به وسیله مترونوم به صورت بصری کنترل شد. اگر با رعایت موارد فوق تعداد تکرارها بیشتر از ۱۰ می‌شد با یک استراحت ۱۰ دقیقه‌ای مقداری وزنه به دستگاه اضافه می‌شد. تا آزمودنی ۱۰ تکرار (نه بیشتر) را با رعایت ۳ ثانیه در هر حرکت انجام دهد. و اگر آزمودنی توانایی انجام ۱۰ تکرار را نداشت از وزنه‌های روی دستگاه کاسته می‌شد تا آزمودنی بتواند ۱۰ تکرار (نه کمتر) را با رعایت ۳ ثانیه در هر حرکت انجام دهد. ۲ تا ۳ بار این فرآیند برای هر آزمودنی تکرار شد تا 10-RM در دستگاه تمرین مقاومت توربینی به دست آید. در این تحقیق از پروتکل برزیکی^۱ برای به دست آوردن 1-RM برای دستگاه متداول استفاده شد (معادله ۱). و سپس از ۷۰ درصد 1-RM برای 10-RM استفاده شد (۱۶) و اجرای آن (10-RM) در همان جلسه راستی آزمایی شد. در پایلوت‌ها مشخص شد که با هر اکستنشن زانو (از ۹۰ درجه تا ۰

درجه) توربین ۳۶۰ درجه می‌چرخد. همچنین مشخص شد که با سرعت متداول در باز شدن زانو (۹۰ درجه در ثانیه) در نیروسنجی که به‌طور متوالی بر روی زنجیر دستگاه کار گذاشته شده بود در حدود ۵۰ کیلوگرم نیرو به نمایش در می‌آید. همچنین زمانی که توربین از مدار خارج می‌شد (زمانی که پیچ روی لوله وسط توربین باز می‌شد و با حرکت اهرم توربین داخل آب نمی‌چرخید)، با باز شدن زانو (با سرعت ۹۰ درجه در ثانیه) نیروهایی حدود ۳ کیلوگرم توسط نیروسنج به نمایش در می‌آمد. در پایلوت‌ها مشخص شد که در این دستگاه با وزنه مشخص و رعایت ریتم ۳ ثانیه (فاز درون‌گرا ۱/۵ ثانیه و فاز برون‌گرا ۱/۵ ثانیه) تعداد تکرارها در ۲ نوبت (ست) با یک استراحت ۱۰ دقیقه‌ای بین ۲ نوبت برای هر فرد برابر است از این رو به نظر می‌رسد دستگاه از پایایی برخوردار است. دستگاه پس از ساخت و آزمایشات اولیه به آزمایشگاه فیزیولوژی دانشگاه خوارزمی منتقل شد. پس از تأیید روایی محتوایی و صوری دستگاه توسط متخصصین بیومکانیک، فیزیولوژی ورزش و بدنسازان حرفه‌ای (از نظر کارکرد) دستگاه وارد فاز دوم مطالعه شد.

$$\text{معادله ۱) (تعداد تکرارها} \times (0.0278 - (1/0.278) \div \text{وزنه جابه‌جا شده} = 1 - \text{RM}$$

فاز دوم مطالعه

آزمودنی‌ها

این تحقیق از نوع نیمه تجربی و توسعه‌ای است. ۱۲ نفر مرد فعال (سن $28 \pm 5/72$ سال) قد $178 \pm 4/64$ سانتی متر) وزن $77 \pm 6/16$ کیلوگرم) شاخص توده‌بدنی $1 \pm 24/69$ کیلوگرم / مترمربع)) به صورت دسترس انتخاب شدند. معیارهای ورود به پژوهش داشتن حداقل ۴ ماه سابقه فعالیت مقاومتی با دستگاه‌های بدنسازی، فعالیت

شدید دو جلسه‌ای در هر هفته در یکی از رشته‌های ورزشی فوتسال، والیبال، بسکتبال، دو و میدانی و بدنسازی و... بود و معیارهای خروج از روند پژوهش آسیب‌دیدگی، مصرف مواد نیروافزا، توانایی نداشتن برای اتمام پروتکل ورزشی بود. قبل از ورود به فرایند پژوهش، آزمودنی‌ها پرسشنامه سلامت را تکمیل کردند. همچنین در طول دوره جمع‌آوری داده‌ها، آزمودنی‌ها اجازه شرکت در تمرین مقاومتی و فعالیت شدید را نداشتند.

ملاحظات اخلاقی

آزمودنی در دستگاه توربینی نسبت به دستگاه متداول کمتر بود.

در جلسات دوم و سوم، ۲۰ دقیقه قبل از انجام فعالیت پرسش‌نامه مقیاس بصری آنالوگ^۱ برای اندازه‌گیری MPP توسط آزمودنی‌ها تکمیل شد. سپس آزمودنی‌ها به صورت عمومی و اختصاصی خود را گرم کردند. بعد از حذف موهای زائد محل نصب الکتروود، ناحیه به‌طور کامل توسط گاز استریل آغشته به الکل اتانول ۷۰٪ پاک‌سازی شد. الکتروودهای سطحی بی‌سیم با چسب دوطرفه بر طبق پروتکل SENIAM بر روی عضلات پهن خارجی، راست رانی و پهن داخلی دو پا نصب گردید (۱۷). بعد از آن آزمودنی‌ها فعالیت جلو پا را با یکی از دستگاه‌های مقاومت توربینی یا متداول در ۳ نوبت ۱۰ تکراری (چرخه کامل انقباض برون‌گرا و درون‌گرا (زمان فاز درون‌گرا ۱/۵ ثانیه و فاز برون‌گرا ۱/۵ ثانیه)) با مقاومت 10-RM با ۹۰ ثانیه استراحت بین هر نوبت انجام دادند (۱۸). پنج دقیقه قبل از فعالیت اصلی و ۲۰ ثانیه پس از آن از آزمودنی‌ها MVC ۵ ثانیه‌ای در حرکت جلو پا گرفته شد. همچنین در حین اجرای MVC قبل از فعالیت، EMG عضلات سطحی چهار سر ران (پهن خارجی، پهن داخلی و راست رانی) ثبت شد. پرسش‌نامه RPE برای هر آزمودنی با پرسش شدت فشار ادراک شده بعد از هر نوبت (سِت) ۱۰ تکراری در هر دو تمرین تکمیل گردید. ۲۴ ساعت بعد از فعالیت مقاومتی پرسش‌نامه مقیاس بصری آنالوگ توسط آزمودنی‌ها تکمیل شد (جدول ۱).

ثبت و نمونه برداری EMG عضلات دوپا توسط دستگاه Biometrics سطحی ۱۶ کاناله بی‌سیم ساخت شرکت LTD کشور انگلستان انجام شد و در نرم‌افزار متلب تحلیل گردید.

همه آزمودنی‌ها با رضایت شخصی در مطالعه شرکت کردند. به آزمودنی‌ها این اطمینان داده شد که هر وقت بخواهند می‌توانند از ادامه کار انصراف دهند. به تمامی اثرات فعالیت با دستگاه بدنسازی به صورت شفاف برای آزمودنی‌ها توضیح داده شد و رضایت‌نامه از آن‌ها اخذ گردید. در ضمن تحقیق حاضر دارای کد اخلاق با شماره IR.KHU.REC.1400.016 از کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه خوارزمی است.

چگونگی اجرا و جمع‌آوری داده‌ها

در این تحقیق آزمودنی‌ها در ۳ جلسه جداگانه در آزمایشگاه حضور یافتند، جلسه اول آشناسازی، جلسه دوم و سوم انجام پروتکل فعالیت مقاومتی با یکی از دو دستگاه بود و جمع‌آوری داده‌ها در جلسات دوم و سوم صورت گرفت. در جلسه اول؛ بعد از آشناسازی، 10-RM مطابق روش ذکر شده در فاز ۱ مطالعه در دو دستگاه توربینی و متداول در حرکت جلوپای دو پا اندازه‌گیری شد (در فاز دوم مطالعه دستگاه متداول همان دستگاه مقاومت متغیر توربینی بود با این تفاوت در هنگام استفاده، توربین به وسیله باز کردن پیچ روی لوله‌ای که بر روی میله عمودی بود از مدار خارج می‌شد و آزمودنی فقط بر مقاومت وزنه‌ها غلبه می‌کرد). ترتیب حضور آزمودنی‌ها برای فعالیت با دستگاه مقاومت متغیر توربینی یا دستگاه متداول در جلسات دوم و سوم به صورت تصادفی معکوس بود. نکته قابل ذکر این است که با توجه به ویژگی دستگاه مقاومت متغیر توربینی، مقاومت آب فقط در فاز درون‌گرای فعالیت مقاومتی اعمال می‌شد و عملکرد دو دستگاه در فاز برون‌گرا شبیه به هم بود. به همین دلیل وزنه استفاده شده برای 10-RM هر

جدول 1. طرح مطالعه

مراحل	۲۰ دقیقه قبل از پروتکل اصلی	۲۰ دقیقه قبل از پروتکل اصلی	۵ دقیقه قبل از پروتکل اصلی	پروتکل اصلی	۲۰ ثانیه بعد از پروتکل اصلی	۲۴ ساعت پس از پروتکل اصلی
MPP	WARM UP	EMG+MVC	۳×۱۰ با ۹۰ ثانیه استراحت با دستگاه توربینی یا متداول EMG+RPE	MVC	MPP	

چگونگی محاسبه RMS

در حین اجرای هر فعالیت عضلانی داده‌ها به صورت بر خطبر روی نمایشگر رایانه قابل مشاهده بود. فعالیت الکتریکی عضلانی در MVC قبل از فعالیت و فعالیت اصلی که شامل ۳ نوبت ۱۰ تکراری فعالیت جلو پا (چرخه کامل انقباض برون‌گرا و درون‌گرا) در رایانه ذخیره شد. و بعد از آن به نرم‌افزار متلب منتقل شد. داده‌های فعالیت الکتریکی عضلات با استفاده از فیلتر باترورث^۱ میان‌گذر با فرکانس های برش ۱۰ و ۵۰۰ فیلتر شدند. سپس RMS فعالیت الکتریکی عضلات محاسبه شد و با تقسیم بر RMS در حین MVC این مقادیر نرمال‌سازی شدند.

RPE

برای اندازه‌گیری RPE از مقیاس ۱۰ سطحی بورگ^۲ استفاده شد. آزمودنی‌ها در پروتکل اصلی میزان فشار ادراک شده را در هر نوبت به وسیله اعداد ۱ تا ۱۰ گزارش می کردند. (عدد ۱ کمترین و عدد ۱۰ بیشترین فشار ادراک شده است).

MPP

برای اندازه‌گیری MPP از مقیاس احساس درد بصری آنالوگ استفاده شد (۱۹). در این معیار یک خط درجه بندی شده ۱۰ سانتی‌متری روی یک برگه رسم شده که در ابتدای آن عبارت بدون درد (صفر) و در انتهای آن عبارت

شدیدترین درد (۱۰) نوشته شده است. از آزمودنی‌ها خواسته شد، عضلات چهار سر ران را به آرامی تحت کشش قرار دهند و میزان احساس درد عضلانی خود را با عددی که بهترین توصیف کننده دردشان است نشان دهند (۲۰). اندازه‌گیری ۲۰ دقیقه قبل و ۲۴ ساعت بعد از فعالیت انجام شد.

MVC

پنج دقیقه قبل و ۲۰ ثانیه پس از فعالیت اصلی از آزمودنی‌ها در زاویه ۷۰ درجه یک MVC ۵ ثانیه‌ای حرکت جلو پا گرفته شد. زاویه ۷۰ درجه بدین جهت انتخاب شد که در مطالعات پیشین گزارش شده که بیشترین نیرو را در انقباض ایزومتریک تولید می‌کند (۲۱، ۲۲). با توجه به اینکه عضلات چهارسر ران در این زاویه در مقایسه با زوایای دیگر مفصل، نیروی بیشتری تولید می‌کند به نظر می‌رسید در این زاویه عضلات چهار سر در دستگاه مقاومت توربینی بیشتر درگیر شوند در نتیجه خستگی و کاهش نیرو بیشتر اتفاق بیفتد. برای آزمون MVC نیروسنجی به بدنه دستگاه وصل شد و سر دیگر نیروسنج توسط زنجیری به اهرمی که روی پا قرار می‌گرفت متصل شد. بیشترین نیرویی را که این نیروسنج با اعمال نیروی حداکثری آزمودنی نشان داد به عنوان MVC ثبت شد. در حین اجرای MVC قبل از

روش تحلیل داده‌ها

به‌منظور بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌های پژوهش حاضر از آزمون آماری شاپیرو-ویلک استفاده شد. همچنین به‌منظور مقایسه‌ی متغیرهای پژوهش از آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (۲×۳) و آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه جفت زوجی‌ها در دو دستگاه مقاومت متغیر توربینی و دستگاه متداول استفاده شد. سطح معناداری نیز $P < 0/05$ در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار Excel 24 SPSS برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و از نرم‌افزار برای ترسیم شکل‌ها استفاده شد.

نتایج

نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر (۲×۳) نشان داد که تفاوت معناداری بین دو دستگاه مقاومت توربینی و دستگاه متداول در سطح فعال‌سازی (RMS سیگنال EMG) عضلات در نوبت‌های مختلف وجود ندارد. مقادیر سطح فعال‌سازی بر حسب درصد MVC در جدول ۲ نشان داده شده‌است.

فعالیت اصلی EMG عضلات سطحی چهار سر ران ثبت شد. برای اندازه‌گیری مقدار MVC از نیروسنج کرین اسکیل ساخت کشور چین استفاده شد.

برنامه فعالیت مقاومتی

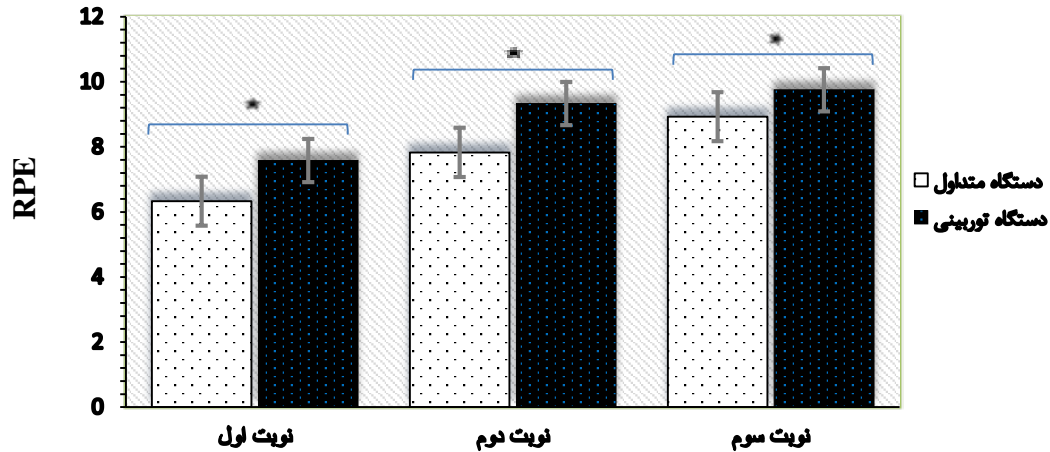
از آنجایی که هدف اصلی این تحقیق مقایسه فشار فیزیولوژیک دو وسیله برای کاربرد در محیط‌های تمرینی بود و از طرفی در تمرینات عموماً از فعالیت‌های ۳ نوبتی با ۱۰ تکرار استفاده می‌شود. برنامه فعالیت مقاومتی این پژوهش شامل ۳ نوبت فعالیت ۱۰ تکراری (با شدت 10- RM) جلو پا با ۹۰ ثانیه استراحت بین هر نوبت در ۲ دستگاه بود ریتم حرکت در هر دو دستگاه برای هر تکرار ۳ ثانیه بود (۱/۵ ثانیه بخش درون‌گرا و ۱/۵ ثانیه بخش برون‌گرا). قبل از اجرای هر برنامه فعالیت مقاومتی آزمودنی‌ها با حرکات جنبشی و کششی فعال به مدت ۱۰ دقیقه خود را به‌صورت عمومی گرم می‌کردند. و بعد از آن بر روی دستگاه قرار گرفته و با ۲۵ درصد 10-RM خود ۱۰ تکرار را با ریتم ۳ ثانیه (۱/۵ ثانیه بخش درون‌گرا و ۱/۵ ثانیه بخش برون‌گرا) خود را به‌طور اختصاصی گرم می‌کردند (جدول ۱).

جدول ۲. نتایج آماری سطح فعال‌سازی عضلانی

EF	P	F	df	Normalized RMS (% of max)		MAX RMS (mvc)		عضلات
				mean±SD	mean±SD	mean±SD	mean±SD	
				دستگاه متداول	دستگاه توربینی	دستگاه متداول	دستگاه توربینی	
۰/۳۰	۰/۳۸۲	۱/۰۰	(۲,۲۲)	۵۹±۱۱	۶۹±۸	۶۱±۱۸۸	۷۵±۱۶۲	پهن داخلی چپ
۰/۱۵	۰/۷۷۲	۰/۲۶۲	(۱/۳۰,۱۴/۳۵)	۵۷±۱۶	۶۳±۱۴	۹۸±۲۱۹	۱۱۹±۱۹۳	پهن خارجی چپ
۰/۰۳	۰/۹۸۴	۰/۰۱۶	(۲,۲۲)	۶۲±۱۴	۶۴±۱۷	۱۰۳±۱۴۷	۲۰۹±۱۹۵	پهن خارجی راست
۰/۲۴	۰/۴۴۶	۰/۶۷۶	(۱/۱۴,۱۲/۶۳)	۶۰±۲۲	۶۶±۱۳	۷۰±۱۶۲	۶۴±۱۳۴	راست رانی چپ
۰/۳۵	۰/۲۷۴	۱/۳۷	(۲,۲۲)	۵۵±۱۷	۶۶±۱۴	۱۰۳±۱۸۸	۹۹±۱۷۹	پهن داخلی راست
۰/۱۳	۰/۸۲۲	۰/۱۹۸	(۲,۲۲)	۵۷±۱۲	۶۳±۸	۴۰±۱۱۶	۹۱±۱۲۶	راست رانی راست

بونفرونی نشان داد که در هر سه نوبت میزان RPE در دستگاه مقاومت توربینی بالاتر از دستگاه متداول بود ($p < 0/05$). مقادیر RPE در شکل ۲ نشان داده شده‌است.

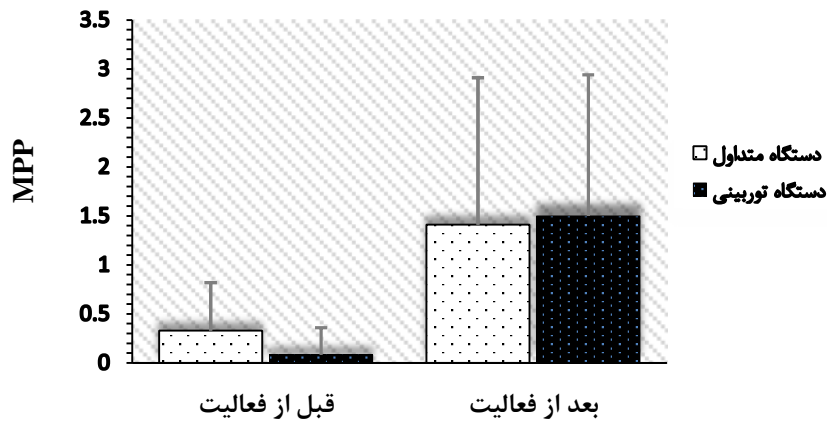
نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد که تفاوت معناداری در میزان RPE بین دو دستگاه مقاومت توربینی و دستگاه متداول در سه نوبت وجود دارد ($F_{(1/13, 12/48)} = 15/22, p = 0/000$). نتایج آزمون تعقیبی



شکل ۲. میانگین RPE (و انحراف استاندارد) در دو دستگاه مقاومت توربینی و دستگاه متداول در سه نوبت فعالیت مقاومتی. علامت * نشان دهنده تفاوت معنادار بین دو دستگاه است.

بین قبل و بعد فعالیت در هر دو دستگاه تفاوت معناداری از نظر زمانی در MPP وجود ندارد ($p > 0.05$). مقادیر MPP در شکل ۳ نشان داده شده است.

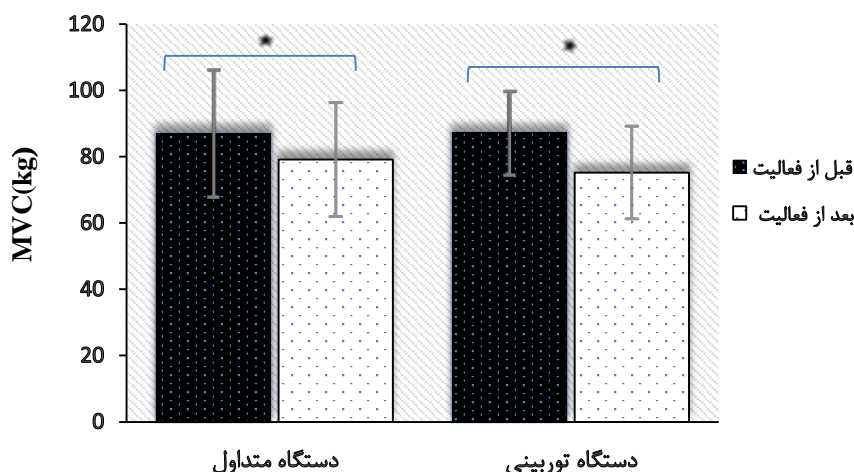
نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد که تفاوت معناداری بین دو دستگاه مقاومت توربینی و دستگاه متداول در MPP قبل و بعد فعالیت وجود ندارد ($F_{(1,11)} = 1/449, p = 0/517$). همچنین نتایج نشان داد که



شکل ۳. میانگین (و انحراف استاندارد) MPP قبل و بعد فعالیت جلو پا در دو دستگاه مقاومت توربینی و دستگاه متداول

بعد از فعالیت مقاومتی در هر دو دستگاه میزان MVC کاهش معنادار داشت. مقادیر MVC عضلات چهار سر ران در شکل ۴ نشان داده شده است.

نتایج آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد که تفاوت معناداری بین دو دستگاه مقاومت توربینی و دستگاه متداول در MVC قبل و بعد فعالیت وجود ندارد ($F_{(1,11)} = 3/56, p = 0/086$). با وجود این نتایج نشان داد که



شکل ۴. میانگین MVC (و انحراف استاندارد) در قبل و بعد از فعالیت مقاومتی در دو دستگاه مقاومت توربینی و دستگاه متداول. علامت * نشان دهنده کاهش معنادار MVC نسبت به قبل فعالیت است.

نیست مقاومت را قطع می‌کند. از طرفی تمرین با وزنه و انتخاب وزنه مناسب برای برخی از افراد به دلیل ضعف شدید عضلانی یک چالش است، این افراد با استفاده از این دستگاه ساخته شده بدون اینکه وزنه‌ای را بر روی دستگاه قرار دهند می‌توانند تمرینات مقاومتی متناسب با توانایی خود با اهداف مختلف (افزایش قدرت، کاهش وزن و...) را انجام دهند.

با توجه به بررسی‌های اولیه محقق (انجام حرکت جلو پا بر روی این دستگاه توسط محقق و تعدادی ورزشکار در فاز ساخت)، این دریافت شد که دستگاه ساخته شده می‌تواند فشار لازم را بر روی عضلات چهار سرران داشته‌باشد. همچنین زمانی که کاربر بر روی دستگاه با سرعت بالاتری اهرم را به حرکت در می‌آورد گزارش می‌کرد که فشار وارده بر عضلات به‌طور مضاعف افزایش پیدا می‌کند. با این حال نیاز بود به روش‌های علمی و کنترل‌شده، این دستگاه با دستگاه‌های دیگر مورد مقایسه قرار گیرد تا شرکت‌های شتاب دهنده و استارت آپ‌های ورزشی را مجاب به همکاری در جهت تجاری‌سازی و تولید انبوه این دستگاه کند. از طرفی تجویز تمرین بدون مطالعه پاسخ‌های تمرینی

بحث و نتیجه‌گیری

به‌طور کلی هدف از پژوهش حاضر در فاز "۱" طراحی و ساخت دستگاه مقاومت متغیر توربینی و در فاز "۲" مقایسه فشار فیزیولوژیکی فعالیت این دستگاه با دستگاه متداول در حرکت جلو پا جهت کاربرد در باشگاه‌های ورزشی و مراکز توانبخشی بود. به نظر می‌رسد یکی از اصول اساسی تمرین برای حفظ ماندگاری و پایبندی ورزشکاران، تنوع در تمرین و وسایل تمرین مقاومتی است. بنابراین دستگاه ابداعی با مکانیزم جدید به تنوع وسایل تمرینی موجود می‌افزاید. از طرفی با این دیدگاه غالب که هر دستگاه تمرین مقاومتی تحریک مکانیکی و فیزیولوژیکی منحصر به فرد عضلانی دارد، انجام چندین نوع تمرین مقاومتی به‌همراه تمرین با این دستگاه می‌تواند توسعه بهتر عملکرد عضلانی را تسهیل کند. همچنین در توانبخشی عضلات بیماران از این دستگاه می‌توان برای ایمنی بیشتر استفاده کرد چرا که در هنگام استفاده از این دستگاه اگر بیمار به هر دلیلی از جمله درد انقباض عضلانی را متوقف کند، دستگاه بلافاصله مقاومت تحمیلی را زمانی که وزنه بر روی دستگاه است می‌کاهد و زمانی که وزنه‌ای روی دستگاه

و شناخت از دستگاه‌های بدنسازی معقول نیست. از این رو در فاز دوم مطالعه به بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیکی دستگاه ساخته شده و مقایسه آن با دستگاه متداول پرداخته شده است. از آنجایی که مطالعه حاضر اولین پژوهشی است که به طراحی و ساخت دستگاه مقاومت متغیر توربینی و سپس مقایسه فشار فیزیولوژیکی این دستگاه با دستگاه‌های متداول پرداخته‌است؛ از این رو به مقایسه یافته‌های این مطالعه با یافته‌های پژوهش‌هایی که تا حدی در برخی ابعاد مشابه است، پرداخته می‌شود.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که هنگام فعالیت با دستگاه مقاومت متغیر توربینی در مقایسه با دستگاه مقاومتی متداول فعال‌سازی عضلانی در همه عضلات سطحی چهار سر ران دو پا بیشتر بود. ولی این تفاوت از نظر آماری معنادار نبود. این نتایج با نتایج پژوهش آلکتر و همکاران (۸) پارک و همکاران (۲۳) که فعال‌سازی بیشتر و با نتایج هاکینن (۲۴) که فعال‌سازی کمتری را در تمرین مقاومتی در دستگاه‌های مقاومت متغیر مشاهده کردند ناهمسو است. آلکتر و همکاران نشان دادند که فعال‌سازی عضلات چهارسر ران در فعالیت با دستگاه ایزوکنتیک و چرخ دوار نسبت به سایر وسایل بیشتر است. و این تفاوت در مرحله برون‌گرا بیشتر مشهود است، در مطالعه آنها فعال‌سازی عضلانی در فاز درون‌گرا کمتر بود. همچنین مطالعه پارک و همکاران نشان داد که دستگاه‌های ایزوکنتیک فعال‌سازی عضلانی بیشتری دارند. در مطالعه آنها فعال‌سازی عضلانی در فعالیت مقاومتی در دو دستگاه ایزوتونیک و ایزوکنتیک مقایسه شد. آنها آمپلی‌تود عضله تحت‌خاری را در دو دستگاه مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند فعالیت با دستگاه ایزوکنتیک، فعال‌سازی عضلانی بیشتری نسبت به فعالیت مقاومتی ایزوتونیک دارد. ولی نتایج هاکینن و همکاران نشان داد فعالیت مقاومتی با دستگاه بدنسازی ایزوتونیک فعال‌سازی عضلانی بیشتری نسبت به

دستگاه ایزوکنتیک دارد. آنها گزارش کردند که یکی از علل کم بودن فعالیت عضلانی در دستگاه ایزوکنتیک آگاهی آزمودنی از حداکثر تلاش در طول دامنه حرکتی بوده، که باعث شده کمتر به خود فشار بیاورند. همچنین موریتانی و همکاران (۱۹۸۷) RMS بیشتری را در یک فعالیت ایزوکنتیک درون‌گرا نسبت به برون‌گرا گزارش کردند چرا که در انقباضات برون‌گرا بخشی از نیروی تولیدی ناشی از بافت‌های ارتجاعی است و نیاز به فعال‌سازی کمتر در این نوع انقباض است (۲۵). از آنجایی که در تحقیق حاضر سیگنال EMG برای اندازه‌گیری RMS در کل فعالیت مقاومتی ثبت شد. علت اصلی عدم تفاوت معنادار فعالیت عضلانی در دستگاه مقاومت متغیر توربینی در مقایسه با دستگاه متداول، می‌تواند مربوط به مقاومت اعمال شده کمتر، در مرحله انقباض برون‌گرا باشد چرا که مقدار وزنه قرار داده شده بر روی دستگاه مقاومت متغیر توربینی برای هر فرد نسبت به دستگاه مقاومتی متداول کمتر بود (کمتر بودن مقاومت در فاز برون‌گرا) و همین امر منجر به عدم معناداری تفاوت فعالیت عضلانی دو تمرین شده‌است. با این حال می‌توان نتیجه گرفت که فشار فیزیولوژیک در بخش درون‌گرای فعالیت مقاومتی در دستگاه مقاومت متغیر توربینی بیشتر بوده که منجر به RMS برابر دو دستگاه با وجود مقاومت کمتر در بخش برون‌گرای دستگاه مقاومت متغیر توربینی شده است و RPE بالاتر در دستگاه مقاومت متغیر توربینی مؤید این نتیجه‌گیری است. از این رو از این وسیله می‌توان برای تمریناتی که با هدف توسعه سازگاری‌های بخش درون‌گرای حرکت است بهره برد. در این راستا به نظر می‌رسد دستگاه ساخته شده می‌تواند برای افزایش عملکرد ورزشکاران پرش ارتفاع، والیبالیست‌ها، بسکتبالیست‌ها و... که نیاز به فعال‌سازی حداکثری برای پرش بیشتر هستند به طور مؤثرتر از دستگاه‌های معمول مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در مطالعه الستاد و

نشان دهنده فشار داخلی و ظرفیت تمرین خود فرد است (۲۹). گزارش شده هنگام تمرین با دستگاه مقاومت متغیر نظیر چرخ دوار مقاومت متناظر با قدرت هر زاویه بر عضلات اعمال می‌شود و این باعث گزارش RPE بیشتر توسط آزمودنی می‌شود (۳۰). همچنین نتایج تحقیق اکبرنیا و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد فعالیت مقاومتی برون‌گرا نسبت به درون‌گرا در دستگاه ایزوکتیک RPE کمتری را به دنبال دارد (۳۱). از آنجایی که در فاز برون‌گرا بخشی از نیروی تولیدی مربوط به نیروی ذخیره‌ای در بافت‌های ارتجاعی است نیاز به فعال‌سازی عضلانی کمتری است و در نتیجه RPE کمتری گزارش می‌شود. نتایج پژوهش تیمون و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که علاوه بر اینکه RPE در دو گروه اسکات با دستگاه مقاومت متغیر چرخ دوار و اسکات با هالتر تفاوتی نداشت، متغیرهای دیگری از جمله لاکتات، MVC، ضربان قلب و پرش عمودی تفاوتی معناداری نداشت (۳۰). به نظر می‌رسد یکی از علل عدم تفاوت در متغیرهای یاد شده از جمله RPE در پژوهش آنها مربوط به کنترل تعادل وزنه توسط آزمودنی‌ها در قسمت بالاتنه و فشار به عضلات دیگر غیر از عضلات اصلی بوده است. در این راستا به نظر می‌رسد جهت تفسیر RPE باید به جنبه‌های مختلف توجه کرد. در دو تمرینی که با وضعیت آغیر مشابه انجام می‌شود ممکن است RPE مشابه باشد ولی فشار فیزیولوژیکی و سازگاری‌ها متفاوت است. با توجه به اینکه در پژوهش حاضر آزمودنی‌ها در دو تمرین وضعیتی کاملاً مشابه داشتند RPE پارامتری مناسب برای بررسی فشار فیزیولوژیکی عضلات چهارسران بود. از این رو و با توجه به کمتر بودن مقاومت در فاز برون‌گرا در دستگاه مقاومت متغیر توربینی به نظر می‌رسد فعال‌سازی بیشتر عضلانی در فاز درون‌گرا و درگیری بیشتر دستگاه عصبی-عضلانی و سیستم‌های انرژی منجر به گزارش بیشتر RPE

همکاران (۲۰۱۶) گزارش شد که در شنای قورباغه در مرحله باز شدن زانو فعالیت عضلات چهار سر ران خیلی بیشتر از فعالیت آن در مرحله جمع شدن زانو است (۲۶)، با توجه به اینکه ما در انقباض درون‌گرا فعالیت عضلانی بیشتری مشاهده کردیم و همچنین دستگاه ساخته شده این قابلیت را دارد که بتوان مقاومت را در فاز برون‌گرا حذف کرد به نظر می‌رسد از این نقطه‌نظر، تمرین با دستگاه ساخته شده نسبت به دستگاه‌های متداول از ویژگی بیشتری برای شنای قورباغه برخوردار است. از این رو دستگاه ساخته شده می‌تواند در اواخر فصل آمادگی برای تمرینات شنای قورباغه مورد استفاده قرار گیرد. البته این نکته قابل‌ذکر است در این پژوهش امکان استفاده از الکتروگونیا متر برای افتراق دقیق سطح فعال‌سازی عضلانی در دو بخش درون‌گرا و برون‌گرا و همچنین طول دامنه حرکتی میسر نشد. مطالعات آینده با استفاده از الکتروگونیا متر به همراه EMG اطلاعات دقیق‌تری از سطح فعال‌سازی عضلانی را در طول دامنه حرکتی و هر دو انقباض درون‌گرا و برون‌گرا در دستگاه تمرین مقاومتی توربینی گزارش خواهند کرد. همچنین می‌توان با استفاده از تصویربرداری رزونانس مغناطیسی عملکردی عضلانی^۱ (mfMRI) به عنوان یک روش مکمل با EMG به بررسی سطح درگیری عضلات بخصوص عضلات عمقی پرداخت (۲۷). هر چند امکان افتراق انقباض درون‌گرا و برون‌گرا در روش mfMRI وجود ندارد.

با بررسی مطالعات گذشته، به نظر می‌رسد که RPE با شدت فعالیت مرتبط است. همچنین با افزایش شدت بار بر حسب درصد 1-RM منجر به افزایش متناظر در RPE در طول فعالیت می‌شود (۲۸). بعضی از منابع گزارش کرده اند که RPE یک روش بسیار معتبری نسبت به شاخص‌های دیگر نظیر حجم، شدت، مدت، ضربان قلب و... است و

توربینی در مقایسه با دستگاه مقاومتی متداول معنادار نیست. این نتایج با نتایج مطالعات کرویزیر و همکاران (۱۹۹۶) همسو است. آنها به دنبال تمرینات برون‌گرا با دستگاه ایزوکنیتک درد عضلانی بیشتری را نسبت به تمرینات درون‌گرا با دستگاه ایزوکنیتک مشاهده کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که تمرینات درون‌گرا نسبت به تمرینات برون‌گرا MPP کمتری پس از ۲۴ ساعت خواهد داشت (۳۵). به خوبی ثابت شده است که تمرینات برون‌گرای شدید بیشتر از تمرینات درون‌گرا یا ایزومتریک در ایجاد آسیب عضلانی منجر به MPP مؤثر هستند (۳۶). و اینکه یک تمرین غیر آسیب‌زا، با شدت کمتر - تکرار کم - حجم کم می‌تواند یک اثر محافظتی در جلسات بعدی ایجاد کند (۳۷). در این راستا به نظر می‌رسد عدم تغییرات معنادار MPP در دستگاه مقاومت متغیر توربینی در مقایسه با دستگاه متداول ناشی از مقاومت کم در فاز برون‌گرا است. تقریباً همه مطالعات انجام حرکات ناآشنا و جلساتی که تمرینات برون‌گرا نقش بیشتری را دارد عامل اصلی MPP گزارش کرده‌اند (۳۸). از منظر دیگر عدم ایجاد MPP نشان دهنده غیر آسیب‌زا بودن دستگاه مقاومت توربینی با وجود فشار فیزیولوژیکی بیشتر است. از این رو به نظر می‌رسد این دستگاه با این ویژگی مناسب تمرینات توانبخشی و تمرینات سالمندان باشد.

به‌طور کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که دستگاه ساخته شده فشار فیزیولوژیکی بیشتری نسبت به دستگاه‌های متداول در مرحله درون‌گرا دارد و احتمالاً در سازگاری‌های بخش درون‌گرا مؤثر است. از این رو به نظر می‌رسد دستگاه ساخته شده برای افزایش عملکرد ورزش کارانی که نیاز به قدرت بیشتر در طول دامنه حرکتی مفصل زانو هستند مفید باشد و از نقطه‌نظر دیگر دستگاه مقاومت توربینی مناسب‌تر از دستگاه‌های معمول برای کاهش وزن می‌باشد. همچنین عدم مشاهده درد پس از تمرین به‌همراه

در دستگاه مقاومت متغیر توربینی شده است. در این راستا با توجه به اینکه در فعالیت درون‌گرا فعال‌سازی عضلانی بیشتری اتفاق می‌افتد و به دنبال آن سیستم‌های انرژی بیشتر درگیر می‌شوند به نظر می‌رسد دستگاه توربینی با تأکید بر بخش درون‌گرا برای تمرینات کاهش وزن، نسبت به دستگاه‌های متداول مناسب‌تر است.

همچنین کاهش توانایی نیروی تولیدی به‌خوبی برای خستگی مدل‌سازی شده است (۳۲) و برای توصیف و محاسبه خستگی استفاده شده است (۳۳). نشان داده شده است که میزان کاهش نیروی MVC خم‌کننده‌های آرنج ۴۰ تا ۶۰ درصد بلافاصله پس از فعالیت برون‌گرا با نیروی زیاد است و این اختلال می‌تواند برای دو هفته یا بیشتر پس از تمرین برون‌گرا باقی بماند (۳۴). در بررسی‌های انجام شده، ما به مطالعه‌ای برخورد نکردیم که به بررسی تغییرات MVC به دنبال فعالیت با دستگاه مقاومت متغیر پرداخته باشد با این حال درصد تغییرات MVC در تمرین با دستگاه مقاومت متغیر توربینی نسبت به دستگاه متداول بیشتر بود (۴/۷۵ درصد). به نظر می‌رسد این کاهش به‌همراه RPE بیشتر، نشان دهنده فشار فیزیولوژیکی بیشتر در فاز درون‌گرا در تمرین با دستگاه مقاومت توربینی باشد. از طرفی به نظر می‌رسد اگر بلافاصله اندازه‌گیری‌های MVC صورت می‌گرفت احتمالاً نتایج اختلاف MVC بین دو تمرین معنادار می‌شد که این مورد به دلیل زمان‌بر بودن آماده‌سازی نیروسنج و کنارگذاری وزنه‌های دستگاه مقدور نبود. در این راستا به نظر می‌رسد مطالعات آینده با کار گذاشتن نیروسنج با قابلیت ثبت گراف نیرو در قسمت اهرم دستگاه در هنگام تمرین می‌تواند قضاوت دقیق‌تری از نیروی مقاومت دستگاه متغیر توربینی نسبت به پارامتر MVC داشته باشند.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد تغییرات MPP پس از ۲۴ ساعت از فعالیت مقاومتی در دستگاه مقاومت متغیر

کاربردهای ورزشی و توانبخشی افزوده‌است. همچنین با توجه به بالاتر بودن RPE در دستگاه تمرین مقاومتی توربینی و ارتباط آن با استرس فیزیولوژیکی (۳۹) و از طرفی برابر بودن فعالیت عضلات در دستگاه مقاومت متغیر توربینی با وجود مقاومت کمتر در فاز برون‌گرا به نظر می‌رسد فشار فیزیولوژیکی در تمرین با دستگاه مقاومت متغیر توربینی در فاز درون‌گرا بیشتر است. با این حال برای توصیه‌های تمرینی در رابطه با این دستگاه نیاز به پژوهش‌های تکمیلی است.

تشکر و قدردانی

از کلیه افرادی که در این پژوهش به ما یاری رساندند کمال سپاس‌گزاری را داریم.

ویژگی نیروی مقاومت کمتر در مرحله برون‌گرا این دستگاه در تمریناتی که تأکید بر عدم بروز DOMS است می‌تواند مفید واقع گردد. با این حال پژوهش‌های آینده با استفاده از دستگاه‌های mfMRI، الکتروگونیامتر^۱ به همراه ثبت EMG و کارگذاری نیروسنج در قسمت اهرم این دستگاه و همچنین مقایسه این دستگاه با دستگاه‌های ایزوکنتریک و بررسی سایر متغیرهای بیوشیمیایی استرس فیزیولوژیکی می‌تواند اطلاعات دقیق‌تری از فشار فیزیولوژیکی و ویژگی‌های دیگر این وسیله ابداعی در اختیار قرار دهد.

به‌طور کلی ساخت دستگاه مقاومت متغیر توربینی با عملکرد متفاوت و در نتیجه تحریک فیزیولوژیکی منحصر به فرد بر تنوع وسایل تمرین مقاومتی برای

References

1. Bompa TO, Buzzichelli C. Periodization-: theory and methodology of training: Human kinetics; 2018.
2. Kraemer WJ, Ratamess NA, French DN. Resistance training for health and performance. Current sports medicine reports. 2002;1(3):165-71.
3. Kraemer W, Ratamess N. Physiology of resistance training: current issues. Orthopaedic Physical Therapy Clinics of North America. 2000;9(4):467-514.
4. Kompf J, Arandjelović O. Understanding and overcoming the sticking point in resistance exercise. Sports Medicine. 2016;46(6):751-62.
5. Norrbrand L. Acute and early chronic responses to resistance exercise using flywheel or weights: Institutionen för fysiologi och farmakologi/Department of Physiology and ...; 2008.
6. da Silva Rosa F, Saldias DAP, Martins D, de Mello Roesler CR, Moré ADO, Martin C. CONCEPTUAL DESIGN OF ISOKINETIC DYNAMOMETER: MODELING AND SIMULATION. 2013.
7. Aboodarda SJ, Shariff MA, Muhamed AMC, Ibrahim F, Yusof A. Electromyographic activity and applied load during high intensity elastic resistance and nautilus machine exercises. Journal of human kinetics. 2011;30:5.

8. Alkner BA, Bring DK-I. Muscle activation during gravity-independent resistance exercise compared to common exercises. *Aerospace Medicine and Human Performance*. 2019;90(6):506-12.
9. Schwanbeck SR, Cornish SM, Barss T, Chilibeck PD. Effects of training with free weights versus machines on muscle mass, strength, free testosterone, and free cortisol levels. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2020;34(7):1851-9.
10. Moughamir S, Zaytoon J, Manamanni N, Afilal L. A system approach for control development of lower-limbs training machines. *Control Engineering Practice*. 2002;10(3):287-99.
11. Oda K, Isozumi S, Ohyama Y, Tamida K, Kikuchi T, Furusho J, editors. Development of isokinetic and iso-contractile exercise machine "MEM-MRB" using MR brake. 2009 IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics; 2009: IEEE.
12. Deaconescu T, Deaconescu A, editors. Pneumatic muscle actuated isokinetic equipment for the rehabilitation of patients with disabilities of the bearing joints. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists*; 2009.
13. Nikitzuk J, Weinberg B, Canavan PK, Mavroidis C. Active knee rehabilitation orthotic device with variable damping characteristics implemented via an electrorheological fluid. *IEEE/ASME transactions on Mechatronics*. 2009;15(6):952-60.
14. Zebis MK, Andersen LL, Pedersen MT, Mortensen P, Andersen CH, Pedersen MM, et al. Implementation of neck/shoulder exercises for pain relief among industrial workers: a randomized controlled trial. *BMC musculoskeletal disorders*. 2011;12(1):1-9.
15. Jakobsen MD, Sundstrup E, Andersen CH, Bandholm T, Thorborg K, Zebis MK, et al. Muscle activity during knee-extension strengthening exercise performed with elastic tubing and isotonic resistance. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2012;7(6):606.
16. Chestnut JL, Docherty D. The effects of 4 and 10 repetition maximum weight-training protocols on neuromuscular adaptations in untrained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 1999;13(4):353-9.
17. Gonzalez AM, Ghigiarelli JJ, Sell KM, Shone EW, Kelly CF, Mangine GT. Muscle activation during resistance exercise at 70% and 90% 1-repetition maximum in resistance-trained men. *Muscle & nerve*. 2017;56(3):505-9.
18. Izquierdo M, Gonzalez-Izal M, Navarro-Amezqueta I, Calbet JA, Ibanez J, Malanda A, et al. Effects of strength training on muscle fatigue mapping from surface EMG and blood metabolites. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2011;43(2):303-11.
19. Ebbeling CB, Clarkson PM. Muscle adaptation prior to recovery following eccentric exercise. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. 1990;60(1):26-31.

20. Miles M, Clarkson P. Exercise-induced muscle pain, soreness, and cramps. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 1994;34(3):203-16.
21. Zabik RM, Dawson ML. Comparison of force and peak EMG during a maximal voluntary isometric contraction at selected angles in the range of motion for knee extension. *Perceptual and motor skills*. 1996;83(3):976-8.
22. Newman S, Jones G, Newham D. Quadriceps voluntary activation at different joint angles measured by two stimulation techniques. *European journal of applied physiology*. 2003;89(5):496-9.
23. Park J-H, Chung SW, Lee S-J, Lee J-W, Oh K-S. Evaluation of the Electromyographic Amplitude-to-Work Ratio in the Infraspinatus Muscle During External Shoulder Rotation Exercises: A Comparison of Concentric Isotonic and Isokinetic Exercises. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2020;8(7):2325967120932459.
24. Häkkinen K, Komi PV, Kauhanen H. Scientific Evaluation of Specific Loading of the Knee Extensors with Variable Resistance, 'Isokinetic' and Barbell Exercises. *Muscular function in exercise and training*. 26: Karger Publishers; 1987. p. 224-37.
25. Moritani T, Muramatsu S, Muro M. Activity of motor units during concentric and eccentric contractions. *American journal of physical medicine*. 1987;66(6):338-50.
26. Olstad BH, Vaz JR, Zinner C, Cabri JM, Kjendlie P-L. Muscle coordination, activation and kinematics of world-class and elite breaststroke swimmers during submaximal and maximal efforts. *Journal of sports sciences*. 2017;35(11):1107-17.
27. Cagnie B, Elliott J, O'Leary S, D'hooge R, Dickx N, Danneels L. Muscle functional MRI as an imaging tool to evaluate muscle activity. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*. 2011;41(11):896-903.
28. Morishita S, Tsubaki A, Takabayashi T, Fu JB. Relationship between the rating of perceived exertion scale and the load intensity of resistance training. *Strength and conditioning journal*. 2018;40(2):94.
29. Sobolewski EJ. The relationships between internal and external load measures for Division I college football practice. *Sports*. 2020;8(12):165.
30. Timón R, Ponce-González JG, González-Montesinos JL, Olcina G, Pérez-Pérez A, Castro-Piñero J. Inertial flywheel resistance training and muscle oxygen saturation. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 2017;58(11):1618-24.
31. Akbarinia A, Ahmadizad S, Ebrahim K, Basami M, Shemshaki A, Karami R. Effects of different types of isokinetic contraction on hemodynamic parameters in men. *Modern Rehabilitation*. 2013;7(2).
32. Ma L, Chablat D, Bennis F, Zhang W. A new simple dynamic muscle fatigue model and its validation. *International journal of industrial ergonomics*. 2009;39(1):211-20.

33. Ma L, Zhang W, Hu B, Chablat D, Bennis F, Guillaume F. Determination of subject-specific muscle fatigue rates under static fatiguing operations. *Ergonomics*. 2013;56(12):1889-900.
34. Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-induced muscle damage in humans. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 2002;81(11):S52-S69.
35. Croisier J-L, Camus G, Deby-Dupont G, Bertrand F, Lhermerout C, Crielaard J-M, et al. Myocellular enzyme leakage, polymorphonuclear neutrophil activation and delayed onset muscle soreness induced by isokinetic eccentric exercise. *Archives of physiology and biochemistry*. 1996;104(3):322-9.
36. McHugh MP, Connolly DA, Eston RG, Kremenec IJ, Nicholas SJ, Gleim GW. The role of passive muscle stiffness in symptoms of exercise-induced muscle damage. *The American journal of sports medicine*. 1999;27(5):594-9.
37. Paddon-Jones D, Abernethy PJ. Acute adaptation to low volume eccentric exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2001;33(7):1213-9.
38. Croisier J-L, Camus G, Forthomme B, Maquet D, Vanderthommen M, Crielaard J-M. Delayed onset muscle soreness induced by eccentric isokinetic exercise. *Isokinetics and exercise science*. 2003;11(1):21-9.
39. Lagally KM, Gallagher KI, Robertson RJ, Gearhart R, Goss FL. Ratings of perceived exertion during low-and high-intensity resistance exercise by young adults. *Perceptual and motor skills*. 2002;94(3):723-31.