



## تکرارپذیری نرم افزار Synchronization در اندازه گیری پارامترهای ساختاری و نیروی عضله تیپالیسی انتریور: مطالعه اولتراسونوگرافی

سید مجید حسینی<sup>۱</sup>، فرزانه نوروزی نژاد<sup>۲</sup>، علی اصغر سلطانی<sup>۳\*</sup>، علیرضا اکبرزاده باغبان<sup>۴</sup>

۱. استادیار گروه فیزیوتراپی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۲. کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیوتراپی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۳. استاد گروه فیزیوتراپی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
۴. دکترای آمار زیستی، استاد گروه علوم پایه، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

\* دریافت مقاله ۱۳۹۵/۰۲/۲۹ بازنگری مقاله ۱۳۹۵/۰۵/۰۵ پذیرش مقاله ۱۳۹۵/۰۶/۱۹ \*

### چکیده

#### مقدمه و اهداف

مطالعه حاضر به منظور بررسی تکرارپذیری درون آزمونگر نرم افزار همزمان سازی (Synchronization) در بررسی همزمان عضله تیپالیسی انتریور از نظر پارامترهای سونوگرافی و دینامومتری در حین انقباض در افراد سالم غیرورزشکار انجام شد. این نرم افزار به منظور افزایش توانایی در ثبت همزمان تصاویر اولتراسونوگرافی و داده های دینامومتر استفاده شد.

#### مواد و روش ها

در مطالعه حاضر تکرارپذیری پارامترهای ساختاری و نیروی عضله تیپالیسی انتریور بکمک نرم افزار همزمان سازی در ۱۵ نفر مرد سالم غیرورزشکار در محدوده سنی ۱۸-۳۵ سال با میانگین BMI ( $23 \pm 1/8$ ) به روش Cross-Sectional انجام شد. جهت بررسی ساختار از اولتراسونوگرافی نوع B و برای بررسی میزان نیروی تولید شده حین انقباض از دینامومتر استفاده گردید. زاویه و طول فاسیکل و ضخامت و نیروی عضله تیپالیسی انتریور در سه حالت تحریک الکتریکی حداکثر قابل تحمل (ES)، انقباض ارادی ایزومتریک حداکثر (MVC) و ترکیب هر دو انقباض (ES+MVC) در افراد سالم غیرورزشکار اندازه گیری شد. سپس کلیه اندازه گیری ها یک ساعت بعد به منظور تکرارپذیری درون آزمونگر انجام گردید. از شاخص های آماری ICC (Interclass Correlation Coefficient) و SEM (Standard Error of Measurement) و MDD (Minimum Detectable Difference) منظور ارزیابی تکرارپذیری نسبی و مطلق استفاده گردید.

#### یافته ها

نرم افزار همزمان سازی، تکرارپذیری بالایی در اندازه گیری پارامترهای ساختاری و نیروی عضله تیپالیسی انتریور، در سه حالت تحریک الکتریکی حداکثر قابل تحمل، انقباض ارادی ایزومتریک حداکثر و ترکیب هر دو انقباض نشان داد. با فاصله اطمینان ۹۵٪ مقادیر ICC برای زاویه فاسیکل در حالت ES و حالت MVC و حالت MVC&ES به ترتیب ۸۸٪ و ۷۷٪ و ۷۵٪ بود و مقادیر ICC برای ضخامت عضله در حالت ES و MVC و حالت MVC&ES به ترتیب ۸۰٪ و ۹۸٪ و ۹۳٪ بود و برای طول فاسیکل در حالت ES و MVC و حالت MVC&ES به ترتیب ۹۵٪ و ۹۷٪ و ۹۱٪ بود. مقادیر ICC برای نیروی عضله تیپالیسی انتریور در حالت ES و حالت MVC و حالت MVC&ES به ترتیب ۸۲٪ و ۹۷٪ و ۹۸٪ بود.

#### بحث و نتیجه گیری

تصویربرداری اولتراسونوگرافی به کمک نرم افزار همزمان سازی جهت اندازه گیری پارامترهای ساختاری و نیروی عضله تیپالیسی انتریور، در سه حالت تحریک الکتریکی حداکثر قابل تحمل، انقباض ارادی ایزومتریک حداکثر و ترکیب هر دو انقباض تکرارپذیری بالایی را نشان داد. این روش در اندازه گیری پارامترهای ساختاری عضله و نیرو از روایی بالایی برخوردار می باشد.

#### واژه های کلیدی

نرم افزار؛ عضله تیپالیسی انتریور؛ اولتراسونوگرافی؛ انقباض؛ ساختار عضله؛ تکرارپذیری

نویسنده مسئول: دکتر علی اصغر سلطانی. استاد گروه فیزیوتراپی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

آدرس الکترونیکی: arezasoltani@yahoo.com

## مقدمه و اهداف

تصویربرداری اولتراسونوگرافی Real-time به طور گسترده جهت ارزیابی پارامترهای ساختاری عضله به منظور تخمین نیرو استفاده شده است.<sup>[۱، ۲]</sup> روش تصویربرداری اولتراسونوگرافی ارزان، غیرتهاجمی، در دسترس، قابل اعتماد و تکرارپذیر جهت اندازه‌گیری پارامترهای ساختاری عضله در حالت استراحت و انقباض می‌باشد.<sup>[۳-۵]</sup> بنابراین به عنوان یک روش قابل قبول در ارزیابی غیرمستقیم نیرو به کار می‌رود.<sup>[۱]</sup> تکرارپذیری روش اولتراسونوگرافی در مطالعات متعددی در عضلات ناحیه کمر<sup>[۱۱]</sup>، ناحیه عمقی گردن<sup>[۱۲-۱۴]</sup> و عضلات شکم<sup>[۳]</sup> ثابت گردیده است. طی دهه گذشته، اولتراسونوگرافی به طور گسترده‌ای جهت ارزیابی غیرمستقیم نیروی عضلات سطحی و عمقی جهت ارزیابی میزان فعالیت آنها به کار رفته است.<sup>[۱۵-۱۸]</sup> Hodges<sup>[۱، ۲]</sup> و همکاران در مطالعه خود اولتراسونوگرافی را جهت بررسی تغییرات پارامترهای ساختاری شامل زاویه فاسیکل و ضخامت عضلات تیپالیس انتریور و کوادریسپس روشی با روایی بالا معرفی نمودند.<sup>[۲]</sup> Ruiz-Muñoz و همکاران در سال ۲۰۱۴، فعالیت الکترومیوگرافی عضله تیپالیس انتریور و در مقایسه با آن، تغییرات ساختاری عضله را با اولتراسونوگرافی طی انقباضات ارادی بررسی کردند.<sup>[۱۹]</sup> در مطالعه‌ی آنها، تست Reliability برای متغیرهای زاویه فاسیکل و ضخامت عضله مقادیر عالی را نشان داد. آنها اظهار داشتند که بین فعالیت الکترومیوگرافی و متغیرهای ساختاری عضله یعنی زاویه فاسیکل و ضخامت عضله توسط سونوگرافی، ارتباط متوسط تا قوی وجود دارد. به عبارت دیگر، ضخامت و زاویه فاسیکل متناسب با افزایش فعالیت الکتریکی طی انقباض عضله افزایش می‌یافت. لیکن مشکل مهم در استفاده عملی از دستگاه اولتراسونوگرافی وجود دارد. نیاز به Freeze نمودن تصاویر و به دنبال آن توقف پروسه و ثبت همزمان نیرو در همان فاصله زمانی انقباض، امری مهم و ضروری است، چرا که محققین با شیوه‌های قبلی فقط قادر به ثبت یک تصویر از یک دوره انقباض بوده و ثبت مقادیر نیرو نیز به طور چشمی انجام می‌شد که بدین ترتیب همزمانی آن دقیق به نظر نمی‌رسد. نرم‌افزار همزمان‌سازی جهت غلبه بر این محدودیت، توانایی تشخیص همزمان تصاویر اولتراسونوگرافی و داده‌های نیرو از عضله را به صورت Offline امکان‌پذیر می‌سازد.

## مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر به روش Cross-sectional انجام شد. شرکت‌کنندگان از میان دانشجویان مذکر دانشکده علوم توانبخشی از طریق پوستر به طرح فرا خوانده شدند. تعداد ۱۵ نفر مرد سالم (میانگین سنی  $22.5 \pm 3.7$ ) و (میانگین BMI  $23.2 \pm 1.8$ ) به طور داوطلبانه در این آزمون شرکت نمودند. هر گونه تاریخچه قبلی از وجود جراحی و شکستگی اندام تحتانی، ناهنجاری‌های اسکلتی، بیماری‌های سیستمیک مانند صرع و دیابت و روماتیسم، ضربه به ساق پا، زخم و جراحی در ساق، سابقه داشتن برنامه تقویت اندام تحتانی طی یک ماه گذشته و انجام ورزش‌هایی که در طی ۴۸ ساعت گذشته موجب خستگی شده بود و مصرف داروهای خواب‌آور طی ۴۸ ساعت گذشته، جزو معیارهای خروج از مطالعه محسوب گردید. توضیح کافی درباره مراحل و انجام یک بار آزمایش عملی جهت آشنایی با مراحل آزمایش روی شرکت‌کنندگان قبل از رضایت آگاهانه انجام شد.

## ثبت مقادیر نیروی حاصل از سه حالت انقباض

همانند آنچه که در تصویر ۱ دیده می‌شود یک عدد لود سل مدل ZEMIC-H3-100KG به انتهای بازوی افقی یک قسمت T شکل ساخته شده نصب گردیده و این قسمت به صندلی مخصوص طرح توسط پیچ‌هایی به بازوهای عمودی که به صندلی اتصال داشتند، محکم اتصال یافته بود. قسمت انتهایی بخش T شکل این امکان را فراهم می‌ساخت که توسط پیچ‌هایی روی ناحیه پشت پای شرکت‌کننده تنظیم شود. یک صندلی برای ثبت نیروی عضله تیپالیس انتریور در سه حالت تحریک الکتریکی حداکثر قابل تحمل، انقباض ارادی ایزومتریک حداکثر و ترکیب هر دو انقباض طراحی شد. از شرکت‌کننده خواسته شد که در صندلی مخصوص طرح در حالی که زاویه بین ران و زانو و همچنین زاویه بین ساق و مچ پا ۹۰ درجه بود، بنشیند و به پشتی صندلی که در زاویه ۹۰ درجه قرار داشت، راست تکیه دهد. سپس الکترودهای دستگاه استیمولاتور بر روی دو انتهای فوقانی و تحتانی عضله تیپالیس انتریور بسته شد.<sup>[۲]</sup> الکترودهای دستگاه استیمولاتور مدل 710L NOVIN که سیگنال‌های تحریکی از نوع فانکشنال الکتریکیال استیمولیشن (FES) با فرکانس 50 Hz و دیوریشن 200 میکروسکند را تولید می‌کرد، جهت ایجاد انقباض دورسی فلکشن به ناحیه‌ای در جلوی ساق بسته می‌شد، طوری که الکترودها با اندازه  $4 \times 3$  سانتی‌متر در ناحیه قدامی خارجی  $1/3$  فوقانی و  $1/3$  تحتانی تیپا و در مسیر ابتدا و انتهای عضله تیپالیس انتریور به روش پدگذاری با اتصال محکم قرار می‌گرفت.<sup>[۲۰]</sup> یک ناحیه آزاد در قسمت شکم عضله تیپالیس انتریور وجود دارد که محل قرارگیری پروب اولتراسوند به صورت طولی بود.<sup>[۲۱]</sup> طوری که هیچ تماسی با الکترودها نداشت. تصویربرداری از مولفه‌های ساختاری عضله تیپالیس انتریور شامل طول فاسیکل و زاویه فاسیکل و ضخامت عضله به همراه ثبت همزمان نیرو توسط نرم‌افزار هنگام اعمال تحریکات الکتریکی انجام می‌شد (شکل ۱). از آزمودنی خواسته شد تا به مدت ۱۰ ثانیه در جهت دورسی فلکشن نیروی خود را وارد کند در حالی که انگشتان پایش در حالت شل بوده و به سمت بالا فشار نیاورند. همچنین از آنها خواسته شد تا نیرو را به آرامی افزایش دهد و به حداکثر برسانند، به طوری که حداقل سه ثانیه در حالت انقباض حداکثر باشد. هر انقباض سه بار تکرار شد و در نهایت برای آنالیز داده‌ها از میانگین آنها استفاده شد.



تصویر ۱: سندی و قسمت T شکل طراحی شده جهت قرارگیری لود سل به منظور انجام و ثبت عمل دورسی فلکشن میچ پا حین هر سه حالت انقباض

در کلیه مراحل بین هر بار انقباض، آزمودنی سه دقیقه جهت جلوگیری از خستگی استراحت کرد. بین هر حالت انقباض ایزومتریک و تحریک الکتریکی و ترکیب هر دو نیز آزمودنی ۵ دقیقه استراحت کرد. لازم به ذکر است که ثبت نیرو از پای غالب آزمودنی‌ها که در مطالعه حاضر برای کلیه آنها سمت راست بود، انجام شد.

### تصویربرداری اولتراسونوگرافی از عضله تیبیالیس انتریور

تصویربرداری توسط یک دستگاه Real-Time سونوگرافی Hunda 2100 با پروب خطی 5 سانتی‌متری و فرکانس 7.5 مگاهرتز انجام شد. از لحظه قبل از شروع انقباض ایزومتریک، تصویربرداری سونوگرافی به منظور ثبت تصویر پایه آغاز شد. سپس از آزمودنی خواسته شد تا به مدت ده ثانیه انقباض را به ماکزیمم آن برساند. در طول این مدت نیز تصویربرداری انجام گرفت. در کلیه حالات انقباض عضله از داوطلبان خواسته شد که انگشتان پای مورد تست را به سمت بالا فشار ندهند و در حالت شل نگهدارند. لذا جهت اجرای دقیق این نکته لود سل نیز بر روی ناحیه پشت پای فرد با فاصله از قاعده انگشتان پا قرار گرفت. لازم به ذکر است که تصویربرداری از عضله در کلیه حالات انقباض یعنی ارادی ایزومتریک، تحریک الکتریکی و ترکیب هر دو به همین ترتیب انجام شد. برای محاسبه ضخامت عضله تیبیالیس انتریور فاصله دو انتهای عضله از ناحیه فاسیای سطحی و عمقی در مرکز تصویر اندازه‌گیری شد.<sup>[۳۲]</sup> زاویه Pennation از طریق اندازه‌گیری زاویه بین محل تقاطع انعکاس حاصل از آپونوروز عمقی و انعکاس حاصل از فاسیکل‌های عضله در محل اتصال به آپونوروز عمقی در مرکز تصویر محاسبه شد.<sup>[۳۲]</sup> برای اندازه‌گیری طول فاسیکل‌ها که به علت بلند بودن، از تصویر خارج می‌شدند، از مدل مساحت عضله استفاده شد، که در آن از طریق فرمول {ضخامت عضله \*  $\sin \theta$ } محاسبه گردید که  $\theta$  همان زاویه Pennation است.<sup>[۳۳، ۳۴]</sup> جهت تصویربرداری همزمان از عضله حین انقباض، ابتدا فاصله بین سر استخوان فیولا تا قوزک خارجی اندازه‌گیری شد، سپس ۱/۳ فوقانی این ناحیه روی ساق پای آزمودنی علامت زده شد و از کناره ستیخ تیبیا ۲ سانتی‌متر به طرف خارج علامت زده شد. پروب اولتراسونوگرافی به طور طولی روی محل تلاقی این دو نقطه و موازی با صفحه ساژیتال ساق قرار گرفت. جهت افزایش وضوح تصویر، پروب اولتراسوند در جهت فیبر عضله اندکی متمایل گردید.<sup>[۳۲]</sup> لازم به ذکر است که ثبت مقادیر نیرو و تصاویر سونوگرافی از پارامترهای ساختاری به طور همزمان توسط نرم‌افزار صورت گرفت.

### نرم‌افزار همزمان سازی ثبت نیرو و تصاویر اولتراسوند

این نرم‌افزار به منظور دریافت و ثبت همزمان داده‌های نیرو و تصاویر اولتراسوند استفاده شد. نرم‌افزار مربوط با Sampling Rate پانزده داده در ثانیه، تصاویر دستگاه اولتراسوند و داده‌های حاصل از نیروی اعمالی دورسی فلکشن میچ پا را دریافت، ثبت و ذخیره کرد. تصاویر توسط یک کارت کپچر از دستگاه اولتراسونوگرافی گرفته شده و در کامپیوتر ثبت شد. صفحه اصلی نرم‌افزار از یک پانل تشکیل شده که به کاربر اجازه تعریف نام آزمودنی و عضله مورد مطالعه، جهت حرکت، نوع انقباض، سمت مورد ارزیابی و پخش مجدد تصاویر داده شده است. از لحظه شروع انقباض تا زمانی که آزمونگر ثبت داده‌ها را متوقف می‌کرد، نرم‌افزار داده‌های نیرو و تصاویر سونوگرافی را به طور همزمان ثبت می‌کرد. از آنجا که در این تحقیق از آزمودنی خواسته شد انقباض را به آرامی به حداکثر برساند، لذا این نرم‌افزار داده‌های نیرو را از صفر تا ۱۰۰٪ MVC همراه با تصاویر متناظر آنها ثبت کرد. پس از ثبت داده‌ها، آزمونگر توانست با انتخاب نام فرد مورد آزمون در هر یک از حالات انقباض (ایزومتریک ارادی، تحریک الکتریکی و غیره) مقدار مورد نظر نیرو که در این مطالعه ۱۰۰٪ MVC را شامل می‌شد، تصویر متناظر را انتخاب و مورد اندازه‌گیری قرار دهد. بدین معنی که این نرم‌افزار دارای این قابلیت ویژه است که تصاویر حاصل از دستگاه سونوگرافی را با نمودار تولید نیروی Load Cell همزمان‌سازی کرده، به نحوی که در هر لحظه و در هر میزان نیروی تولیدشده امکان رویت تصویر عضله و تعیین ابعاد آن فراهم بود. نرم‌افزار به کاربر اجازه می‌داد که ضخامت عضله را نشانه‌گذاری نموده و به صورت

خودکار با یک مقیاس از پیش تعیین شده ضخامت را بر حسب سانتی متر محاسبه کرده و ارائه دهد. همچنین این نرم افزار قادر به محاسبه زاویه فاسیکل بر حسب درجه است. کلیه اندازه گیری ها به صورت Offline بعد از انجام مراحل آزمون صورت گرفت (تصویر ۲).



تصویر ۲: صفحه اصلی نرم افزار سینگروناویز که قادر به ثبت و نمایش مجدد تصاویر می باشد

## آنالیز آماری

در مطالعه حاضر، تکرارپذیری نتایج حاصل از دو بار تکرار آزمون در مطالعه متدولوژیک که بخشی از مطالعه مقدماتی بود، مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی تکرارپذیری در این مطالعه در یک گروه ۱۵ نفره بود که در کلیه حالات آزمون (انقباض ارادی ایزومتریک، تحریک الکتریکی و ترکیب هر دو) برای متغیرهای ضخامت، زاویه و طول فاسیکل و نیرو در همان روز توسط همان آزمونگر انجام گرفته است. تکرارپذیری از دو جنبه نسبی و مطلق مورد ارزیابی قرار گرفت. در این مورد شاخص مورد استفاده در مورد تکرارپذیری نسبی ضریب پایایی ICC است که در فاصله اطمینان ۹۵٪ انجام شد و دیگری تکرارپذیری مطلق که شاخص محاسبه خطای معیار اندازه گیری (SEM) می باشد. همچنین کمترین تفاوت قابل تشخیص (MDD) نیز محاسبه شد. در بخش آمار توصیفی از شاخص های پراکندگی مرکزی و حداکثر و حداقل استفاده گردید. نتایج تکرارپذیری مطلق و نسبی برای متغیرهای مورد مطالعه در جدول آمده است. تجزیه و تحلیل داده ها در سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ انجام گردید. از ضریب همبستگی پیرسون جهت ارتباط سنجی بین متغیرهای سونوگرافی و دینامومتری استفاده گردید.

## یافته ها

بر اساس طبقه بندی مونرو در مورد تکرارپذیری، تکرارپذیری بالایی برای اندازه گیری زاویه فاسیکل با ICC بین ۷۵-۸۸٪، SEM ۰/۴ تا ۰/۶۴ و MDD ۱/۱۳ تا ۱/۷۷ و برای طول فاسیکل با ICC بین ۹۵-۹۹٪، SEM ۰/۱۴ تا ۰/۱۲ و ۰/۳۳ تا ۰/۳۹ و برای ضخامت عضله با ICC بین ۸۰-۹۳٪، SEM ۰/۴ تا ۰/۳۱ و MDD ۱/۲۲ تا ۰/۸۸ به دست آمد (جدول ۱). علاوه بر آن میانگین زاویه فاسیکل در حالت استراحت ۹،۶۶ درجه بود که به ۱۶،۸۲ درجه در حالت ترکیب هر دو انقباض رسید. میانگین طول فاسیکل در حالت استراحت ۶/۰۰ سانتی متر بود که در حالت ترکیب دو انقباض کاهش یافت و به ۳/۹۲ رسید. میانگین ضخامت عضله از ۸/۲۳ سانتی متر در حالت استراحت به ۱۲،۸۷ در حالت ترکیب دو انقباض افزایش یافت. میانگین نیروی تولید شده در حالت تحریک الکتریکی، انقباض ارادی ایزومتریک و ترکیب هر دو روش به ترتیب ۳۷،۱۲، ۲۰۲،۱۴ و ۲۳۰،۰۹ نیوتن بود که در حالت ترکیب دو حالت انقباض بیشترین مقدار بود. کلیه داده های سونوگرافی در مورد تصاویر شامل زاویه و طول فاسیکل و ضخامت عضله و داده های مربوط به نیرو در جدول (۲ تا ۵) آمده است. شاخص آماری ضریب همبستگی پیرسون (r) رابطه آماری معناداری بین یافته های سونوگرافی و دینامومتری را نشان داد که نتایج آن در جدول (۶) آمده است.

جدول ۱: تکرارپذیری Intra-rater اندازه‌گیری زاویه و طول فاسیکل و ضخامت عضله و نیروی عضله تیپالیس انتریور  
حین سه حالت انقباض توسط نرم‌افزار همزمان‌سازی (n=۱۵)

ردیف	متغیر	گروه	ICC	SEM	MDD
۱	زاویه فاسیکل بر حسب درجه	ES	۰/۸۸	۰/۴۰	۱/۱۳
		MVC	۰/۷۷	۰/۵۰	۱/۳۹
		ES.MVC	۰/۷۵	۰/۶۴	۱/۷۷
۲	ضخامت عضله بر حسب سانتی‌متر	ES	۰/۸۰	۰/۴۰	۱/۱۲
		MVC	۰/۹۸	۰/۱۸	۰/۵۲
		ES.MVC	۰/۹۳	۰/۳۲	۰/۸۸
۳	طول فاسیکل بر حسب سانتی‌متر	ES	۰/۹۵	۰/۱۴۰	۰/۳۹۰
		MVC	۰/۹۷	۰/۰۶۹	۰/۱۹۲
		ES.MVC	۰/۹۱	۰/۱۲۰	۰/۳۳۲
۴	نیرو بر حسب نیوتن	ES	۰/۸۲	۱/۰۱	۲/۸۲
		MVC	۰/۹۷	۳/۲۸	۹/۱۱
		ES.MVC	۰/۹۸	۴/۹۲	۱۱/۹۸

نتیجه دیگر مطالعه حاضر مقادیر بسیار کم SEM و MDD برای مقادیر اندازه‌گیری شده است که نشانی از قدرت بالای تشخیص ابعاد توسط اولتراسونوگرافی است که در نرم‌افزار همزمان‌سازی به طور کامل به تصویر کشیده می‌شود.

جدول ۲: جدول شاخص‌های تمایل مرکزی و پراکندگی برای متغیر زاویه فاسیکل در سه گروه مورد مطالعه بر حسب درجه

حالت	شاخص آماری	میانگین	انحراف استاندارد	حد اقل	حداکثر
حالت استراحت	۹/۶۵	۰/۲۲	۸	۱۲	
تحریک الکتریکی	۱۳/۵۱	۰/۲۶	۱۲	۱۶/۳۳	
انقباض ایزومتریک ارادی	۱۵/۹۸	۰/۲۳	۱۴	۱۸/۳۲	
ترکیب هر دو انقباض	۱۶/۸۲	۰/۲۸	۱۲/۰۷	۱۸/۶۷	

جدول ۳: جدول شاخص‌های تمایل مرکزی و پراکندگی متغیر طول فاسیکل در سه گروه مورد مطالعه بر حسب سانتی‌متر

حالت انقباض	شاخص آماری	میانگین	انحراف استاندارد	حداقل	حداکثر
حالت استراحت	۶/۰۰	۰/۱۲	۵/۱۰	۷/۲۶	
تحریک الکتریکی	۵/۴۱	۰/۱۶	۳/۵۳	۵/۹۳	
انقباض ایزومتریک ارادی	۴/۴۵	۰/۰۹	۳/۳۴	۵/۰۷	
ترکیب هر دو انقباض	۳/۹۲	۰/۱۱	۳/۰۰	۵/۰۰	

جدول ۴: شاخص‌های تمایل مرکزی و پراکندگی برای متغیر ضخامت عضله در حالات انقباض بر حسب سانتی‌متر

حالت	شاخص آماری	میانگین	انحراف استاندارد	حداقل	حداکثر
حالت استراحت	۸/۱۹	۰/۱۱	۷/۴۵	۸/۹۹	
تحریک الکتریکی	۱۰/۰۰	۰/۱۲	۸/۲۸	۱۰/۸۹	
انقباض ایزومتریک ارادی	۱۲/۱۸	۰/۲۱	۱۰/۰۰	۱۳/۹۹	
ترکیب هر دو انقباض	۱۲/۷۰	۰/۱۶	۱۱/۰۱	۱۴/۱۰	

جدول ۵: جدول شاخص‌های تمایل مرکزی برای متغیر نیرو در سه گروه انقباض مورد مطالعه

شاخص آماری	میانگین	انحراف استاندارد	حداقل	حداکثر
تحریک الکتریکی	۳۷/۱۲	۰/۸	۳۲/۲۳	۴۲/۴۵
انقباض ایزومتریک ارادی	۲۰۲/۱۴	۴/۲۴	۱۷۰/۰۰	۲۳۰/۲۲
ترکیب هر دو انقباض	۲۳۰/۰۹	۶/۷۰	۱۹۰/۱۰	۲۸۰/۰۰

جدول ۶: ارتباط نیروی ثبت شده حاصل از حداکثر هر سه حالت انقباض و متغیرهای زاویه و طول فاسیکل و ضخامت عضله تیبیالیس انتریور حین عمل دورسی فلکشن مچ پا

متغیر	تحریک الکتریکی		انقباض ارادی		ترکیب هر دو	
	r	سطح معنادار	r	سطح معنادار	r	سطح معنادار
زاویه فاسیکل	۰/۸۲۰	۰/۰۰۲	۰/۶۱۰	۰/۰۰۵	۰/۵۳۸	۰/۰۱۴
طول فاسیکل	-۰/۶۶۲	۰/۰۱۲	-۰/۵۴۴	۰/۰۱۴	-۰/۵۴۵	۰/۰۱۴
ضخامت عضله	۰/۵۹۴	۰/۰۱۴	۰/۶۰۴	۰/۰۰۵	۰/۶۴۳	۰/۰۰۲

بررسی ارتباط بین پارامترهای ساختاری عضله تیبیالیس انتریور و حداکثر نیروی تولید شده دورسی فلکشن در هر سه حالت انقباض نشان داد که بین تغییرات حاصل در پارامترهای ساختاری و نیروی تولید شده در سه حالت انقباض ارتباط آماری معناداری وجود داشت که در مورد پارامترهای زاویه فاسیکل این ارتباط مستقیم و در مورد طول فاسیکل معکوس بود. نرم افزار همزمان سازی در ثبت همزمان مقادیر نیرو و پارامترهای ساختاری امکان این ارتباط سنجی را با دقت بیشتر فراهم کرد.

### نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که همه اندازه گیری‌های مربوط به ابعاد و نیروی عضله تیبیالیس انتریور که توسط نرم افزار همزمان سازی انجام شد، از مقادیر تکرارپذیری درون آزمونگر بالایی برخوردار بود. مطالعه حاضر تکرارپذیری بالایی متغیر زاویه فاسیکل را در هر سه حالت انقباض نشان داد. Hodges و همکاران<sup>[۲]</sup> تکرارپذیری بالایی اولتراسونوگرافی را برای اندازه گیری زاویه فاسیکل عضله تیبیالیس انتریور حین انقباض ایزومتریک در سطوح متفاوت انقباض گزارش نمودند. مطالعه حاضر نشان داد که اندازه گیری طول فاسیکل عضله انتریور در هر سه حالت انقباض با استفاده از نرم افزار همزمان سازی که برای اولین بار جهت انجام مقایسه ساختاری بین سه حالت انقباض انجام شد، از تکرارپذیری بالایی برخوردار است. تعدادی مطالعات تکرارپذیری متغیر طول فاسیکل و ضخامت عضله را طی انقباض ایزومتریک بررسی کرده اند<sup>[۲، ۴]</sup>، لیکن مطالعه‌ای که به مقایسه ساختاری سه حالت انقباض ایزومتریک، تحریک الکتریکی و ترکیب دو انقباض و بررسی تکرارپذیری اندازه گیری‌ها بپردازد، به دست نیامده است. در مطالعه حاضر این امکان فراهم گردید که به طور همزمان داده‌های حاصل از دستگاه سونوگرافی و دینامومتری در حالت انقباض ایزومتریک، تحریک الکتریکی و ترکیب دو انقباض توسط نرم افزار همزمان سازی ثبت گردد و تکرارپذیری بالایی داده‌ها در هر سه حالت انقباض به دست آمد.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کلیه اندازه گیری‌های پارامترهای ساختاری و نیروی عضله تیبیالیس انتریور در عمل دورسی فلکشن که توسط سونوگرافی و دینامومتری انجام شد، از مقادیر بالا و عالی تکرارپذیری درون آزمونگر حین انقباضات ایزومتریک، تحریک الکتریکی و ترکیب هر دو انقباض در افراد سالم برخوردار است. اولتراسونوگرافی با قابلیت اندازه گیری ابعاد می‌تواند روش تشخیصی مناسبی برای وضعیت عضله باشد، چرا که با استفاده از این ابزار می‌توان عضلات را هم در حالت استاتیک و هم در حالت دینامیک به صورت Real-time مورد بررسی قرار داد.<sup>[۷]</sup> اولتراسونوگرافی روشی پایا و تکرارپذیر در به تصویر کشیدن ابعاد عضلات اسکلتی می‌باشد.<sup>[۱۷]</sup> در مطالعه حاضر نیز نشان داده شد تکرارپذیری روش اولتراسونوگرافی جهت بررسی ابعاد عضله تیبیالیس انتریور حین انقباضات ایزومتریک و تحریک الکتریکی و ترکیب هر دو در افراد سالم، در حد خوب تا عالی می‌باشد. در مطالعه Brancaccio و همکاران ارزیابی تکرارپذیری ضخامت عضلات کوادریسپس و واستوس اینترمدیوس را طی انقباض ایزوتونیک با تکرارپذیری متوسط به دست آوردند که می‌تواند مربوط به نوع انقباض دینامیک عضله و محدودیت تجهیزات آزمایشگاهی باشد.<sup>[۱۲۸]</sup> در مطالعه حاضر تکرارپذیری ارزیابی نیروی عضله تیبیالیس انتریور در هر سه حالت انقباض در ۱۵ نفر مرد سالم غیرورزشکار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ICC و SEM و SDD نشان داد که ارزیابی نیروی

عضله در هر سه حالت انقباض از تکرارپذیری بالا و خطای اندازه‌گیری کمی برخوردار است.

## تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیوتراپی فرزانه نوروزی نژاد با راهنمایی دکتر سید مجید حسینی و علی اصغر سلطانی و مشاوره دکتر علیرضا اکبرزاده باغبان می باشد، که در مرکز آزمایشگاه تحقیقات دانشکده علوم توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی انجام شد.

## منابع

- 1.Rezasoltani A, Ylinen J, Vihko V. Isometric cervical extension force and dimensions of semispinalis capitis muscle. *Journal of rehabilitation research and development*. 2002;39(3):423-8.
- 2.Hodges P, Pengel L, Herbert R, Gandevia S. Measurement of muscle contraction with ultrasound imaging. *Muscle & nerve*. 2003;27(6):682-92.
- 3.Beazell JR, Grindstaff TL, Hart JM, Magrum EM, Cullaty M, Shen FH. Changes in lateral abdominal muscle thickness during an abdominal drawing-in maneuver in individuals with and without low back pain. *Research in Sports Medicine*. 2011;19(4):271-82.
- 4.Noorkoiv M, Stavnsbo A, Aagaard P, Blazevich AJ. In vivo assessment of muscle fascicle length by extended field-of-view ultrasonography. *Journal of applied physiology*. 2010;109(6):1974-9.
- 5.Loram ID, Maganaris CN, Lakie M. Use of ultrasound to make noninvasive in vivo measurement of continuous changes in human muscle contractile length. *Journal of applied physiology*. 2006;100(4):1311-23.
- 6.Adsuar JC, Olivares PR, Parraca JA, Hernández-Mocholí MA, Gusi N. Applicability and test-retest reliability of isokinetic shoulder abduction and adduction in women fibromyalgia patients. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2013;94(3):444-50.
- 7.Arimi SA, Rezasoltani A, Sakhaei SY, Tabatabaei SM, Khalkhali M. Reliability of Ultrasonographic Measurement of Cervical Multifidus Muscle Dimensions during Isometric Contraction of Neck Muscles. *Rehabilitation Medicine*. 2013;1(2).
- 8.Cadogan A, Laslett M, Hing W, McNair P, Williams M. Interexaminer reliability of orthopaedic special tests used in the assessment of shoulder pain. *Manual therapy*. 2011;16(2):131-5.
- 9.Cagnie B, Derese E, Vandamme L, Verstraete K, Cambier D, Danneels L. Validity and reliability of ultrasonography for the longus colli in asymptomatic subjects. *Manual therapy*. 2009;14(4):421-6.
- 10.Khalkhali M, Tabatabaei SM, Sakhaei SY, Rezasoltani A, Arimi SA. Reliability of Ultrasonographic Measurement of Cervical Multifidus Muscle Dimensions during Isometric Contraction of Neck Muscles. 2012.
- 11.Koppenhaver SL, Hebert JJ, Fritz JM, Parent EC, Teyhen DS, Magel JS. Reliability of rehabilitative ultrasound imaging of the transversus abdominis and lumbar multifidus muscles. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2009;90(1):87-94.
- 12.Kristjansson E. Reliability of ultrasonography for the cervical multifidus muscle in asymptomatic and symptomatic subjects. *Manual therapy*. 2004;9(2):83-8.
- 13.Lin Y-J, Chai H-M, Wang S-F. Reliability of thickness measurements of the dorsal muscles of the upper cervical spine: an ultrasonographic study. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*. 2009;39(12):850-7.
- 14.Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2005;19(1):231-40.
- 15.Peolsson AL, Peolsson MN, Jull GA. Cervical muscle activity during loaded arm lifts in patients 10 years postsurgery for cervical disc disease. *Journal of manipulative and physiological therapeutics*. 2013;36(5):292-9.
- 16.Lee J-P, Tseng W-YI, Shau Y-W, Wang C-L, Wang H-K, Wang S-F. Measurement of segmental cervical multifidus contraction by ultrasonography in asymptomatic adults. *Manual therapy*. 2007;12(3):286-94.
- 17.Manal K, Roberts DP, Buchanan TS. Optimal pennation angle of the primary ankle plantar and dorsiflexors: variations with sex, contraction intensity, and limb. *Journal of applied biomechanics*. 2006;22(4):255.
- 18.Zhou Y, Li J-Z, Zhou G, Zheng Y-P. Dynamic measurement of pennation angle of gastrocnemius muscles during contractions based on ultrasound imaging. *Biomed Eng Online*. 2012;11:63.
- 19.Ruiz-Muñoz M, Cuesta-Vargas AI. Electromyography and sonomyography analysis of the tibialis anterior: a cross sectional study. *J Foot Ankle Res*. 2014;7:11.
- 20.Doucet BM, Lam A, Griffin L. Neuromuscular electrical stimulation for skeletal muscle function. *The Yale journal of biology and medicine*. 2012;85(2):201.
- 21.Ruiz-Muñoz M, Cuesta-Vargas AI. Electromyography and sonomyography analysis of the tibialis anterior: a cross sectional study. *Journal of foot and ankle research*. 2014;7(1):11.
- 22.Lieber RL. *Skeletal muscle structure, function, and plasticity*: Lippincott Williams & Wilkins; 2002.
- 23.Pasquet B, Carpentier A, Duchateau J. Change in muscle fascicle length influences the recruitment and discharge rate of motor units during isometric contractions. *Journal of neurophysiology*. 2005;94(5):3126-33.
- 24.Reeves ND, Narici MV. Behavior of human muscle fascicles during shortening and lengthening contractions in vivo. *Journal of Applied Physiology*. 2003;95(3):1090-6.
- 25.Çelik D, Dirican A, Baltaci G. Intrarater reliability of assessing strength of the shoulder and scapular



muscles. *J Sport Rehabil.* 2012;29:1-5.

26. Carter R, Lubinsky J, Domholdt E. *Rehabilitation research: principles and applications: Elsevier Health Sciences;* 2013.

27. Kwah LK, Pinto RZ, Diong J, Herbert RD. Reliability and validity of ultrasound measurements of muscle fascicle length and pennation in humans: a systematic review. *Journal of Applied Physiology.* 2013;114(6):761-9

28. Brancaccio P, Limongelli FM, D'Aponte A, Narici M, Maffulli N. Changes in skeletal muscle architecture following a cycloergometer test to exhaustion in athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport.* 2008;11(6):538-41.