Journal of Sport and Exercise Physiology
2025, 18(2): 87-100

Orginal Article

The Effect of TRX Suspension Training on PAX7 Muscle Protein Levels and Functional Markers in Elderly Women

Fatemeh Khazaili, Mojtaba Salehpour *, Arezu Eskandari

Department of Sports Physiology, Faculty of Sports Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

Abstract

Background and Purpose: Aging leads to a reduction in muscle fibers, the number of stem cells, and their regenerative potential Strength training is utilized as a factor to enhance muscle strength and performance. This study aimed to investigate the effect of six weeks of TRX training on paired box 7 (PAX7) protein levels and functional performance indices of upper and lower body strength, flexibility, agility, and cardiorespiratory endurance in elderly women.

Materials and Methods: This applied research utilized a pre-test/post-test design. Thirty-two elderly women (age, 62.5 ± 5.16 years; height,162.60 ± 4.68 cm; weight 73.92 ± 9.29 kg; body mass index, 27.97 ± 3.38 kg/m^2) were randomly assigned to either a training group (n = 16) or a control group (n = 16). The training protocol consisted of six weeks of TRX exercises, two sessions per week. Eight exercises, including various rows, assisted squats, biceps curls, chest presses, shoulder presses, squats, triceps extensions, and a squat-biceps curl-row combination, were performed for 50 minutes per session. Six Fullerton functional fitness tests were administered as dependent variables in both the pre-test and post-test. Blood samples were collected 48 hours before the first session and after the last session. PAX7 protein levels were measured using the ELISA method. Following confirmation of data normality using the Shapiro-Wilk test and homogeneity of variance using Leven's test, a one-way analysis of covariance (ANCOVA) was conducted using SPSS 26 to test the hypotheses.

Results: Six weeks of TRX resistance training significantly increased PAX7 protein levels in the training group compared to the control group (p= 0.001). Furthermore, the training program significantly improved upper body strength (p = 0.011), upper body flexibility (p = 0.001), lower body flexibility (p = 0.001), agility (p = 0.018), and cardiorespiratory endurance (p = 0.008) in the elderly women. However, six weeks of TRX resistance training did not significantly affect lower body strength (p = 0.479).

Conclusion: Six weeks of TRX training resulted in a significant increase in serum PAX7 protein levels in elderly women and improved functional performance indices of upper body strength, upper and lower body flexibility, and cardiorespiratory endurance. Based on these findings, TRX training can be utilized to enhance functional fitness in elderly individuals. However, given the lack of significant impact on lower

* Corresponding Author's E-mail: salehpour@sru.ac.ir
https://doi.org/10.48308/joeppa.2025.237854.1316
Received: 05/12/2024 Revised: 26/02/2025 Accepted: 02/03/2025

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

body strength and its critical role in preventing falls and improving quality of life, it is recommended to implement a modified protocol with more targeted lower body exercises to enhance lower limb strength, functional capacity, and postural control in elderly populations

Keywords: TRX Training, Elderly women, PAX7 Protein, Upper and Lower Body Functional Performance Indices.

How to cite this article: Khazaili F, Salehpour M, Eskandari A. The effect of TRX suspension training on Pax7 protein expression in muscle tissue and functional performance indicators in elderly women. J Sport Exerc Physiol. 2025;18(2):87-100.

نشریه فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی
۱۴۰۴، دوره ۱۸، شماره ۲، صفحه‌های ۸۷-۱۰۰

مقاله پژوهشی

تأثیر تمرین معلق TRX بر میزان پروتئین PAX7 ماهیچه و نشانگرهای عملکردی زنان سالمند

فاطمه خزائیلی ، مجتبی صالح‌پور* ، آرزو اسکندری

گروه فیزیولوژی ورزش، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: سالمندی موجب کاهش تارهای ماهیچه‌ای و شمار سلول‌های بنیادی و توان بازسازی آن می‌شود. تمرین قدرتی به‌عنوان عاملی برای افزایش قدرت و عملکرد ماهیچه‌ها استفاده می‌شود. هدف پژوهش بررسی تأثیر شش هفته TRX بر میزان پروتئین PAX7 و نشانگرهای عملکردی قدرت، انعطاف‌پذیری، چابکی و استقامت قلبی تنفسی بالا و پایین‌تنه در زنان سالمند است.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر به‌صورت کاربردی و شامل دو مرحلهٔ پیش آزمون و پس‌آزمون بود. ۳۲ زن سالمند با سن ۵/۱۶±۶۲/۵ سال، قد ۴/۶۸±۱۶۲/۶۰ سانتی‌متر، وزن ۹/۲۹±۷۳/۹۲ کیلوگرم و با نمایهٔ تودهٔ بدنی ۳/۳۸±۲۷/۹۷ کیلوگرم در متر مربع به‌صورت تصادفی در دو گروه تمرین (n= ۱۶) و کنترل (n= ۱۶) قرار گرفتند. تمرین شامل شش هفته تمرین TRX بود که در هر هفته دو جلسه دنبال می‌شد. هشت تمرین شامل انواع پارویی، اسکوات زیربغل، جلوبازو، پرس سینه، پرس سرشانه، اسکوات و جلوبازو، پشت‌بازو و اسکوات+زیربغل+جلوبازو به مدت ۵۰ دقیقه انجام گرفت. همچنین شش آزمون عملکردی فولرتون به‌عنوان متغیرهای وابسته به‌صورت پیش و پس‌آزمون ارزیابی شد. ۴۸ ساعت پیش از آغاز و پایان آخرین جلسهٔ تمرین، خون‌گیری انجام گرفت. میزان پروتئین pax7 به روش الایزا اندازه‌گیری شد. پس از اثبات طبیعی بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیروویلک، آزمون لوین برای همگنی و از آزمون تحلیل کوواریانس یکراهه به‌منظور تأیید فرضیه‌ها با نرم‌افزار SPSS26 انجام گرفت.

نتایج: شش هفته تمرین مقاومتی TRX میزان پروتئین Pax7 را در گروه تمرین افزایش داد که این مقدار افزایش در گروه تمرین نسبت به کنترل معنادار گزارش شد (P = ۰/۰۰۱). همچنین برنامهٔ تمرین سبب افزایش معنادار قدرت بالاتنه (P =۰/۰۱۱)، انعطاف بالاتنه (P =۰/۰۰۱)، انعطاف پایین‌تنه (P =۰/۰۰۱)، چابکی (P =۰/۰۱۸) و استقامت قلبی – تنفسی (P =۰/۰۰۸) زنان سالمند شد. همچنین شش هفته تمرین مقاومتی TRX بر قدرت پایین‌تنه (P =۰/۴۷۹) تأثیر معنادار نداشت.

نتیجه‌گیری: شش هفته تمرین TRX افزایش شایان توجهی در مقدار پروتئینPax7 سطح سرمی زنان سالمند داشت و همچنین موجب بهبود در نشانگرهای عملکردی قدرت بالاتنه، انعطاف‌پذیری بالاتنه و پایین‌تنه و استقامت قلبی – تنفسی پس از شش هفته برنامهٔ تمرینی شد. با توجه به نتایج این پژوهش در خصوص عوامل عملکردی، می‌توان از این روش تمرینی برای بهبود آمادگی عملکردی در افراد سالمند استفاده کرد. همچنین به‌دلیل عدم تأثیر این روش بر قدرت پایین‌تنهٔ زنان و با توجه به اهمیت زیاد قدرت پایین‌تنه در جلوگیری از زمین خوردن و بهبود کیفیت زندگی سالمندان پیشنهاد می‌شود تا از روش تعدیل‌شده با تمرین بیشتر و مؤثر بر اندام تحتانی جهت افزایش قدرت اندام تحتانی، ظرفیت عملکردی و کنترل وضعیتی سالمندان استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: تمرین TRX، زنان سالمند، پروتئین PAX7، نشانگرهای عملکردی بالاتنه و پایین‌تنه.

نحوه استناد به این مقاله: خزائیلی ف، صالح‌پور م، اسکندری آ. تأثیر تمرین معلق TRX بر بیان پروتئین PAX7 ماهیچه و نشانگرهای عملکردی زنان سالمند. نشریهٔ فیزیولوژی ورزش و فعالیت بدنی.۱۴۰۴؛۱۸(۲):۸۷-۱۰۰.

* رایانامه نویسنده مسئول: salehpour@sru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲

مقدمه

سالمندی فرایند زیستی پیچیده‌ای است که تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، اپی‌ژنتیکی، محیطی و اجتماعی قرار دارد. این فرایند با کاهش تدریجی عملکرد بدنی و افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن وابسته به افزایش سن مانند بیماری‌های قلبی-عروقی، بیماری‌های تخریب‌کنندهٔ عصبی سرطان و سارکوپنی همراه است (۱، ۲). سارکوپنی از دست دادن تدریجی تودهٔ ماهیچه‌ای، قدرت و عملکرد بدنی در طول پیری است (۳، ۴). سارکوپنی به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان عاملی برای وقوع پیامدهای منفی سلامت در اواخر زندگی (مانند زمین خوردن، عوارض، ناتوانی، از دست دادن استقلال و مرگ‌ومیر) شناخته شده است (، ۶). در واقع، سارکوپنی به‌عنوان یک نشانگر زیستی معتبر تأیید می‌شود (۷). نزدیک به ۱۰ درصد برای افراد مسن ۶۰ تا ۷۰ سال و ۳۰ درصد برای افراد بالای ۸۰ سال رخ می‌دهد که به کاهش و فرسودگی سلول‌های ماهواره‌ای[1] منجر می‌شود (۸، ۹). SCs در یک تاقچهٔ تخصصی در زیر لایهٔ پایهٔ تارهای ماهیچه‌ای قرار دارند که در حالت عادی غیرفعال‌اند و در سکون به‌سر می‌برند، اما در پاسخ به محرک‌های فیزیولوژیکی یا پاتولوژیک (مانند کشش، ورزش)، فعال می‌شوند و عامل رونویسی Pax7[2] را بیان می‌کنند تا تکثیر شوند و میوبلاست تولید کنند (۱۰-۱۲). عامل رونویسی Pax7 متعلق به گروهی از پروتئین‌هایی است که توسط ژن‌های Pax کدگذاری شده‌اند که نام آن‌ها از حوزهٔ اتصال به DNA به نام «جفت» گرفته شده است. این پروتئین‌ها عملکردهای مهمی در طول اندام‌زایی، تقسیم سلولی و تمایز دارند. این پروتئین وظیفهٔ تنظیم تقسیم و تمایز SCs را بر عهده دارد. تأثیرات Pax7 شامل تأثیر بر پروتئین تمایز میوژنیک[3](MyoD) و عامل میوژنیک ۵(Myf5) است که متعلق به عوامل تنظیم‌کنندهٔ میوژنیک[4](MRFs)، است (۱۳). اولین مرحله در فرایند ترمیم ماهیچه، فعال کردن SCs خاموش و بیان عامل Pax7 است که به تنظیم مجدد MyoD منجر می‌شود (۱۴). بدین‌ترتیب MuSCs به بیان Pax7 نیاز دارد، به این دلیل که مسئول بقای سلول‌های ماهواره‌ای است (۹). از آنجایی که Pax7 توسط هیچ نوع سلول دیگری در بافت ماهیچه‌ای بیان نمی‌شود، بنابراین، به‌عنوان نشانگر ارزشمندی برای MuSCs[5] در تارهای ماهیچه‌ای در بزرگسالی عمل کرده است (۱۲). این فرضیه وجود دارد که MuSCs ممکن است در توسعه و یا درمان سارکوپنی کلیدی باشند (۵).

با افزایش سن، شمار و فعالیت SCs کاهش می‌یابد و سبب افزایش بیشتر آتروفی ماهیچه‌ای می‌شود (۹). این پدیده به کاهش واحدهای حرکتی و به‌طور چشمگیری به از دست دادن توده و قدرت ماهیچه‌ای و در نتیجه کاهش آمادگی بدنی و عملکردی در سالمندان منجر خواهد شد (۱۵-۱۷) که به بروز ناتوانی جسمی، و در نتیجه از دست دادن آمادگی عملکردی در شاخص‌های قلبی- تنفسی، انعطاف‌پذیری، تولید نیرو و قدرت ماهیچه‌ای، چابکی و در نتیجه کاهش کیفیت زندگی می‌انجامد (۱۸).

با توجه به افزایش روزافزون جمعیت سالخوردهٔ جهان، شناسایی راهبردهای پیشگیری و درمان بیماری‌های وابسته به پیری به یک اولویت تبدیل شده است. بنابراین، تلاش‌های هماهنگ برای توسعهٔ درمان‌هایی که بتوانند پیری MuSCs را کاهش دهند و بیماری‌های وابسته به پیری را درمان کنند، ضروری است (۱۹). با افزایش سریع پژوهش‌های در زمینهٔ درمانی سارکوپنی، هیچ داروی خاصی برای درمان سارکوپنی تأیید نشده است (۲۰). ورزش همچنان درمان اولیهٔ سارکوپنی است (۲۱). خوشبختانه، ماهیچه‌های اسکلتی دارای قابلیت‌های بازسازی زیادی هستند و از دست دادن ماهیچه‌ها ناشی از افزایش سن را می‌توان به میزان

زیادی با ورزش کاهش داد (۱۶). می‌توان گفت MuSCs با بازسازی بافت ماهیچه، عملکرد محافظتی ناشی از ورزش در شرایط پاتولوژیک و پیری را دارند (۲۲).

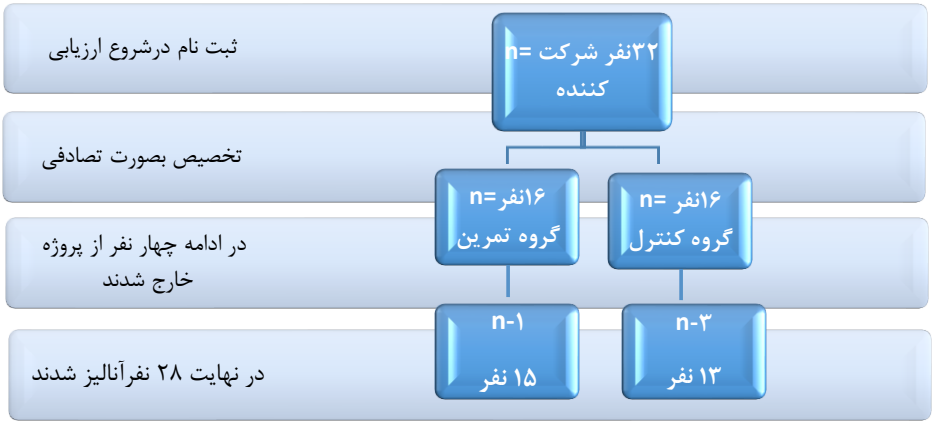
ورزش مقاومتی، به‌عنوان طب سالمندی در نظر گرفته شده است و قدرت و عملکرد ماهیچه‌ای را بهبود می‌بخشد (۲۳، ۲۴). در این بین تمرین TRX که به‌عنوان روش معتبری برای خنثی کردن اثر پیری بر تودۀ بدن پیشنهاد شده است (۲۵). این تمرین به فعال‌سازی سلول‌های ماهواره‌ای و افزایش بازسازی و عملکرد ماهیچه‌ها و در نتیجه بهبود فنوتیپ سارکوپنیک منجر می‌شود (۱۶). تمرین مقاومتی با فعال کردن آبشار پیام‌رسانی IGF1, IL-6/JAK/STAT3 به فعال‌سازی سلول‌های ماهواره‌ای و افزایش تکثیر MuSCs منجر می‌شود (۲۲، ۲۶) و نقش مهمی در سنتز پروتئین ماهیچه‌ای و در نتیجه بهبود تولید نیرو و قدرت ماهیچه‌ای ایفا می‌کند (۲۷). پروتئین PAX7 نقش مهمی در بازسازی و ترمیم بافت ماهیچه‌ای دارد. با افزایش سن، بیان این پروتئین کاهش می‌یابد که می‌تواند به سارکوپنیا (از دست دادن توده و قدرت ماهیچه‌ای) در سالمندان بینجامد. با توجه به پیری و زوال سلول‌های بنیادی ماهیچه‌ای در تشدید سارکوپنی و با در نظر گرفتن یافته‌های مبنی بر تأثیر فعالیت ورزشی به‌ویژه تمرین مقاومتی در پیشگیری از پیشرفت سارکوپنی در افراد مسن، پرسش اصلی این است که آیا تمرین معلق TRX می‌تواند بیان PAX7 را در ماهیچه‌های زنان سالمند افزایش دهد و آیا این تغییرات مولکولی با بهبود نشانگرهای عملکردی همراه است (۱۶، ۲۸). هدف ما از این پژوهش با توجه به کمبود تحقیقات در این باره، تعیین نقش TRX به مدت شش هفته به‌عنوان یک مداخلۀ غیردارویی کم‌هزینه نسبت به دستگاه‌ها و تجهیزات گران‌قیمت برای تمرین مقاومتی، به‌ویژه در ارتباط با میزان پروتئین Pax7 که در گسترش استخر SCs و تمایز آنها ایفای نقش می‌کند و نشانگرهای عملکردی در زنان سالمند است.

روش پژوهش

پژوهش حاضر به‌صورت کاربردی، با روش نیمه‌تجربی شامل پیش‌آزمون- پس‌آزمون با گروه کنترل است. جمع‌آوری داده‌ها به‌صورت میدانی و آزمایشگاهی بود. در این پژوهش ۳۲ نفر از سالمندان زن شهر تهران با سن ۵/۱۶±۶۲/۵ سال، قد ۴/۶۸±۱۶۲/۶۰ سانتی‌متر، وزن ۹/۲۹±۷۳/۹۲ کیلوگرم و با نمایۀ تودۀ بدنی ۹۷/۳۸±۲۷/۳ کیلوگرم در متر مربع انتخاب شدند و به‌صورت تصادفی در دو گروه تمرین (۱۶ نفر) و کنترل (۱۶ نفر) جای گرفتند. ملاک ورود به این پژوهش دارا بودن سن ۶۰ سال به بالا، عدم ابتلا به بیماری‌های قلبی- عروقی، دیابت، بیماری‌های خونی، کبدی، کلیوی، گوارشی، اختلالات هورمونی و سایر بیماری‌های مزمن بود. همچنین طی یک سال گذشته تحت عمل جراحی قرار نگرفته باشند. در ضمن هیچ ممنوعیت پزشکی برای انجام فعالیت ورزشی نداشته باشند و در طول مدت تمرین در هیچ فعالیت ورزشی دیگری شرکت نکنند. معیار خروج نیز عدم تمایل به شرکت در فعالیت، داشتن بیماری‌های خاص، عدم کسب امتیاز لازم در آزمون‌های عملکردی و غیبت بیش از یک جلسه بود. جلسات آموزشی و توجیهی نیز یک هفته پیش از آغاز تمرین انجام گرفت. با تکمیل رضایت‌نامه توسط شرکت‌کنندگان به آنها اطمینان داده شد که در هر مرحله از تمرین مجازند فرایند تمرین را ترک کنند. معیارهای ورود با استفاده از پرسشنامۀ آمادگی فعالیت بدنی (PAR-Q) و پرسشنامۀ سلامت/پیشینۀ پزشکی توسط پزشک ارزیابی شد. پس از تکمیل رضایت‌نامه و پرسشنامۀ آگاهی‌های پزشکی-ورزشی و تشریح روند پژوهش به آزمودنی‌ها توصیه شد که از هرگونه فعالیت بدنی شدید تا ۴۸ ساعت پیش از گرفتن نمونۀ خون خودداری کنند. پرسشنامۀ مربوط به یادآمد غذایی نیز

بررسی می‌شد.

نمونه‌گیری از سیاهرگ پیش‌آرنجی، ۴۸ ساعت پیش و پس از اجرای آزمایش انجام شد. اندازه‌گیری پروتئین PAX7به روش الایزا با استفاده از کیت پروتئین PAX7با شمارهٔ MBS2606278 از شرکت MyBioSourceو توسط دستگاه میکروپلیت ریدر در طول موج ۴۵۰ نانومتر صورت گرفت. همهٔ مراحل نمونه‌گیری در آزمایشگاه علوم پزشکی دانشگاه تهران انجام گرفت. کد اخلاق از پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی با شناسهٔ SSRI.REC-2309-2436 اخذ شد.



شکل ۱. دیاگرام جامعه آماری

پیش از آغاز روش توسط پزشک دانشگاه از شرکت‌کنندگان نمونه‌گیری از خون به مقدار ۳-۵ میلی‌لیتر از سیاهرگ پیش‌آرنجی انجام شد. سپس وزن بدن با استفاده از ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. قد با استفاده از استادیومتر اندازه‌گیری شد و در نهایت نمایهٔ تودهٔ بدنی (BMI) ارزیابی شد. در نهایت تست‌های عملکردی فولرتون[۶] ۴۸ ساعت پیش و پس از تمرین انجام گرفت. آزمون‌های فولرتون شامل نشستن و برخاستن از صندلی به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر در مدت ۳۰ ثانیه برای ارزیابی قدرت پایین‌تنه، جلوبازو در حالت نشسته روی صندلی ۴۰ سانتی‌متری با وزنهٔ ۲/۵ کیلوگرمی در مدت ۳۰ ثانیه برای ارزیابی قدرت بالاتنه، رساندن دست‌ها از پشت برای ارزیابی انعطاف‌پذیری بالاتنه، نشستن روی صندلی ۴۰ سانتی‌متری و رساندن دست‌ها برای ارزیابی انعطاف‌پذیری پایین‌تنه، طی کردن مسیر رفت و برگشت ۲/۲۴ متر از حالت نشسته روی صندلی برای ارزیابی چابکی و آزمون شش دقیقه راه رفتن (میزان مسافت طی‌شده به‌صورت راه رفتن با حداکثر سرعت ممکن بدون دویدن) به‌منظور ارزیابی استقامت هوازی شرکت‌کنندگان انجام شد. پیش از انجام آزمون‌های فولرتون گرم کردن سبک و اختصاصی انجام شد (۲۵).

برنامهٔ تمرینی به مدت شش هفته و هفته‌ای دو جلسه به مدت ۵۰ دقیقه انجام شد. در ابتدا به افراد آموزش‌های لازم در خصوص نحوهٔ درست انجام حرکات داده شد. افراد می‌بایست در هر جلسه هشت تمرین را در یک ست انجام می‌دادند؛ به‌طور معمول شرکت‌کننده‌ها در هر نوبت تمرین ۴۵ ثانیه‌ای، ۱۵-۲۰ تکرار را بسته به احساس راحتی که داشتند، در شدت‌های مختلف انجام می‌دادند. مناسب‌سازی شدت تمرین در طول این شش هفته به‌تدریج زاویهٔ قرارگیری بدن نسبت به نقطهٔ اتصال، شمار تکرارها و به‌طور کلی شدت تمرین اضافه می‌شد. البته در طول این مدت، شدت تمرین به‌طور نسبی افزایش می‌یافت آن هم از طریق ضربان قلب، شاخص خستگی بورگ، گفت‌وگو و حس انگیزشی که توسط تیم پژوهش بر شرکت‌کنندگان القا می‌شد، مناسب‌سازی می‌شد (۲۵).

نتایج

طبیعی بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیروویلک تأیید شد. برای آزمون فرضیه‌های پژوهش از تحلیل کوواریانس یکراهه و دو پیش‌فرض اصلی آن یعنی آزمون همگنی شیب رگرسیون و آزمون همگنی واریانس‌ها با آزمون لون استفاده شد. همچنین داده‌های حاصل به‌وسیلهٔ نرم‌افزار SPSS نسخهٔ ۲۶ تجزیه‌وتحلیل شد. جدول ۱ به مقایسهٔ میانگین نشانگرهای عمومی بین دو گروه تمرین و کنترل می‌پردازد.

نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، تفاوت‌های شایان توجهی را در متغیرهای مورد بررسی بین گروه تمرین و کنترل نشان داد. همان‌طورکه در جدول ۲ دیده می‌شود، میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای پژوهش در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون بیانگر تغییرات معناداری در گروه تمرین است.

نتایج آزمون تحلیل کوواریانس نشان داد که شش هفته تمرین TRX مقدار پروتئین Pax7 را در گروه تمرین افزایش داد که این مقدار افزایش در گروه تمرین نسبت به کنترل معنادار گزارش شد (P =۰/۰۰۱) (شکل ۲).

جدول ۱. میانگین نشانگرهای عمومی بین دو گروه تمرین و کنترل

متغیرها	گروه کنترل		گروه تمرین	
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	پیش‌آزمون	پس‌آزمون
وزن(kg)	۷۲/۶۹±۴/۹۵	۷۲/۷۶±۴/۹۸	۷۵±۱۱/۹۵	۷۱/۸۶±۷/۸۹
نمایهٔ تودهٔبدنی (kg/m2)	۲۸/۳۳±۲/۱۸	۲۸/۳۶±۲/۲۷	۲۷/۶۵±۴/۲۲	۲۶/۰۵±۴/۰۰۳
سن (سال)	۶۴/۳۸±۴/۰۳		۶۰/۸۶±۵/۶۰	
قد (cm)	۱۶۰/۳۰±۵/۶۷		۱۶۴/۶۰±۲/۳۵	
تعداد	۱۳		۱۵	

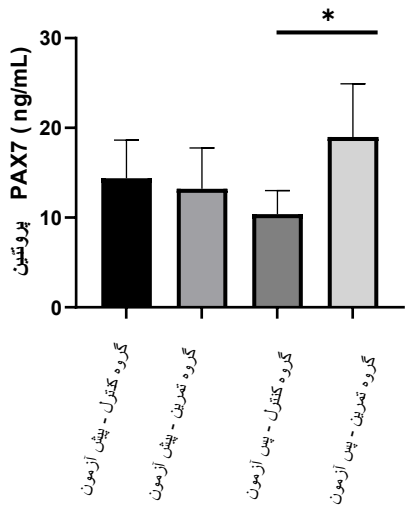
جدول۲. میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای دو گروه تمرین و کنترل در مراحل آزمون

متغیرها	گروه کنترل		گروه تمرین	
	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	قبل مداخله	بعد مداخله
پروتئینPAX7 (ng/mL)	۳۸/۱۸ ± ۱۴/۱	۳۹/۷۲ ± ۱۰/۰	۲۱/۱۷ ± ۱۳/۱	۹۸/۵۴ ± ۱۸/۱
قدرت بالاتنه (شمار)	۴۶/۷۰ ± ۱۶/۱	۱۸/۲۵ ± ۱/۰	۴۰/۲۱ ± ۱۶/۱	۹۳/۱۱ ± ۲۱/۱
قدرت پایین‌تنه (شمار)	۳۸/۵۲ ± ۱۱/۰	۶۹/۹۹ ± ۱۳/۰	۸۰/۸۸ ± ۱۲/۰	۲۶/۶۰ ± ۱۵/۰
انعطاف بالاتنه(cm)	۱۷/۲۲ ± -۳/۰	۲۳/۷۶ ± -۲۱/۲	۸۹/۳۳ ± -۶/۰	۰۶/۶۹± -۱
انعطاف پایین‌تنه(cm)	/ ± -۸/۳	۳۸/۰۴ ± -۱۱/۴	۲۶/۰۳± -۲/۱	۴۰/۸۶ ± ۴/۰
چابکی (ثانیه)	۶/۹۵ ± ۷/۰	۹۰/۷۹ ± ۷/۰	۸۵/۴۶ ± ۴/۰	۸۴/۲۷ ± ۴/۰
استقامت هوازی (مسافت طی‌شده به متر)	۳۹۸/۳۲ ± ۱۵/۰۹	۳۹۸/۳۳ ± ۱۵/۲۴	۵۴۵/۸۶±۱۷/۳۹	۵۹۸/۶۶±۲۰/۷۶

جدول ۳. نتایج آزمون تحلیل کوواریانس در متغیر PAX7

متغیر	درجهٔ آزادی	میانگین مجذورات	F	سطح معناداری	اندازهٔ اثر
PAX7(ng/mL)	۱	۳۴۴/۱۳۷	۱۶/۱۴۱	۰/۰۰۱	۰/۴۱۲

سطح معناداری:P≥ ۰/۰۵



شکل ۲. اندازه گیری میزان پروتئین pax7 قبل و بعد از تمرین

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش‌ها بر روی SC به‌تازگی برای ارزیابی نقش آشکار آنها در رشد ماهیچه‌ای افزایش یافته است (۲۹). پژوهش حاضر جزء نخستین بررسی‌ها برای ارزیابی پاسخ‌های نشانگر مربوط به SC با برنامهٔ تمرینی TRX روی زنان سالمند است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که تمرین TRX می‌تواند راهبردی مؤثر برای بهبود مقدار پروتئین Pax7 نشانگر وابسته به سلول‌های ماهواره‌ای و نشانگرهای عملکردی مانند قدرت ماهیچه‌ای، انعطاف‌پذیری، چابکی و استقامت قلبی – تنفسی در زنان سالمند باشد. این یافته‌ها از توان تمرین TRX برای پیشگیری و درمان سارکوپنی در افراد مسن حمایت می‌کند. در تحقیق حاضر پس از شش هفته تمرین TRX مقدار پروتئین Pax7 در گروه تمرین افزایش یافت که مقدار این افزایش در گروه تمرین نسبت به کنترل معنادار گزارش شد. مقدم و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی نشان دادند هشت هفته تمرین مقاومتی پیش‌رونده در مردان سارکوپنیک مسن، افزایش بیان نشانگرهایPax7، MyoD و MRF را به‌دنبال دارد (۳۰). نتایج این پژوهش با نتایج تحقیق مقدم و همکاران در نمونه‌گیری و بررسی نمونه‌های خون و افزایش نشانگر Pax7 سلول‌های ماهواره‌ای همسو بود. همچنین اسنیجر[۷] و همکاران (۲۰۱۹) پاسخ سلول‌های ماهواره‌ای را به ۱۲ جلسه تمرین مقاومتی در مردان مسن ارزیابی کردند. ۱۴ مرد مسن (۸ ± ۷۴ سال) در یک برنامهٔ تمرینی ورزشی ۱۲ هفته‌ای (تمرین مقاومتی دو بار در هفته، تمرین تناوبی با شدت بالا یک بار در هفته) شرکت کردند. پیش و پس از تمرین، نمونه‌برداری از طریق پوست از ماهیچهٔ پهن خارجی پیش و پس از ۲۴ و ۴۸ ساعت ریکاوری پس از تمرین گرفته شد و افزایش زیادی در شمار سلول‌های ماهواره‌ای و بیان ژنPax7 و MyoD در پاسخ به تمرین مقاومتی مشاهده کردند (۲۸). یافته‌های این پژوهش با نتایج اسنیجر و همکاران نیز در پاسخ سلول‌های ماهواره‌ای و افزایش پروتئین Pax7 همسو بود. با توجه به اینکه در اثر تمرین مقاومتی، دامنهٔ وسیعی از محرک‌ها و عوامل رشدی مانند IGF1 و مایوکاین‌ها مانند IL6 و همچنین عوامل تنظیم‌کنندهٔ سوخت‌وساز ماهیچه مانند SIRT1 فعال شده و به‌صورت آبشاری منجر به فعال شدن SCs و در نتیجه بیان عامل رونویسی Pax7 و به‌دنبال آن بیان MRFs، که در تکثیر و تمایز میوبلاست نقش دارند، میوژنز رخ می‌دهد و به رشد و بازسازی ماهیچه‌ها می‌انجامد (۳۱، ۳۲). بر اساس نتایج این پژوهش، پس از شش هفته تمرین

TRX افزایش شایان توجهی در مقدار پروتئین Pax7سطح سرمی زنان سالمند گزارش شد که شاید از این روش تمرینی بتوان به‌عنوان راهبردی برای افزایش SCs، در شرکت‌کنندگان سالمند و افزایش توده و عملکرد ماهیچه‌ای آنها استفاده کرد. همچنین پس از شش هفته تمرین TRX، میزان قدرت بالاتنه، قدرت پایین‌تنه، انعطاف بالاتنه، انعطاف پایین‌تنه، چابکی و استقامت قلبی – تنفسی در گروه تمرین افزایش یافت که مقدار این افزایش در گروه تمرین نسبت به کنترل معنادار گزارش شد (P< ۰/۰۵). در این زمینه نتایج تحقیق پیرل و همکارانش (۲۰۲۲) نشان داد که برنامهٔ شش‌هفته‌ای تمرین TRX در سالمندان سبب بهبود زیاد در چهار مؤلفهٔ آمادگی بدنی از جمله ترکیب بدن، قدرت، ظرفیت عملکردی (در ثبات مرکزی) و تعادل کلی آنان می‌شود (۲۵). پژوهش حاضر به لحاظ مدت زمان شش هفته تمرین TRX و نتایج تحقیق در بهبود قدرت بالاتنه با نتایج تحقیق پیرل همسو بود.کامپا و همکاران (۲۰۱۸) نیز تحقیقی در زمینهٔ بهبود قدرت ماهیچه‌ای بالاتنه با تغییر زاویه/موقعیت بدن با یک روش تمرینی ۱۲ هفته‌ای تعلیق، با استفاده از شش تمرین، برای ۳۰ زن مسن انجام دادند. قدرت ماهیچه‌ای بالاتنه از طریق یک دینامومتر دستی ارزیابی شد. این محققان بیان کردند که برنامه‌های تمرینی TRX نمرات افراد مسن را در قدرت گرفتن دست و ترکیب بدن بهبود می‌بخشد (۳۳). یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیق کامپا همراستا بود و نشان‌دهندهٔ افزایش چشمگیر در قدرت بالاتنه زنان سالمند شرکت‌کننده در پژوهش بود. با توجه به افزایش در قدرت بالاتنه طی شش هفته تمرینTRX در زنان سالمند به‌نظر می‌رسد نقشی که SCs در پاسخ ماهیچه‌ای به تمرین TRX ایفا می‌کند، به پاسخ ماهیچه‌ای بدون هایپرتروفی شایان توجه منجر می‌شود و شاید افزایش در قدرت بالاتنه بر اثر سازگاری‌های عصبی ماهیچه‌ای از جمله فراخوانی بیشتر تارهای ماهیچه‌ای، به تعویق انداختن خستگی ماهیچه‌ای که منجر به تسهیل انقباض، افزایش هماهنگی ماهیچه‌ها آگونیست و آنتگونیست و در نتیجه افزایش توانایی ماهیچه برای تولید نیرو می‌شود (۳۴). همچنین عدم تأثیر این تمرین بر قدرت پایین‌تنه احتمالاً به چند دلیل از جمله شمار کمتر تمرین پایین‌تنه در این روش، فرصت زمانی کم، ماهیت تمرین TRX و دلیل دیگر آن ضعیف‌تر بودن ماهیچه‌های اندام تحتانی زنان سالمند به‌دلیل فیزیولوژیکی و فرایند یائسگی است که به مدت زمان بیشتری برای تأثیر این تمرین نیاز است (۳۵). کارنریو[8] و همکاران (۲۰۱۵) هم تأثیر RT بر انعطاف‌پذیری ۵۳ زن مسن (بیش از ۶۰ سال) را بررسی کردند. این برنامه شامل یک برنامهٔ کل بدن با هشت تمرین، متشکل از یک تمرین با وزنهٔ آزاد و هفت تمرین با دستگاه بود که به مدت ۱۲ هفته انجام شد و نشان داد که ۱۲ هفته RT سبب بهبود یا حداقل حفظ انعطاف‌پذیری حرکات مختلف مفصل در زنان مسن شد (۳۶). یافته‌های این پژوهش با نتایج کارنریو در افزایش و حفظ انعطاف‌پذیری در زنان سالمند همسو بود. شاید دلیل پیشرفت‌های چشمگیر در انعطاف بالاتنه و پایین‌تنهٔ شرکت‌کنندگان در این پژوهش تأثیر تمرین مقاومتی بر دامنهٔ حرکتی باشد که نشان می‌دهد دامنهٔ حرکتی، با این نوع تمرین افزایش می‌یابد و دلیل دیگر آن ماهیت تمرین TRX است که در آن ماهیچه‌ها افزون بر انقباض، تحت کشش نیز قرار می‌گیرند (۱۸). .فرناندز[9] و همکاران (۲۰۱۷) نیز تأثیر RT بر آمادگی قلبی تنفسی ۸۸ مرد و زن مسن (۳ ± ۶۹ سال) را بررسی کردند. نتایج تحقیق فرناندز نشان داد کهRT به بهبود شایان توجهی در آمادگی قلبی-تنفسی در طول دورهٔ تمرین منجر شد (۳۷). یافته‌های پژوهش حاضر با یافته‌های فرناندز در بهبود آمادگی قلبی- تنفسی همسوست. تمرین مقاومتی مبتنی بر تمرین دایره‌ای، با نسبت مناسب کار به استراحت، یک راهبرد مؤثر در

بهبود مصرف اکسیژن، تهویهٔ ریوی، قدرت و ظرفیت عملکردی است (۳۸). بنابراین، با توجه به ویژگی دایره‌ای تمرین TRX و نیز با توجه به افزایش در استقامت قلبی- تنفسی طی شش هفته تمرینTRX در زنان سالمند، به‌نظر می‌رسد این تمرین جهت افزایش استقامت قلبی-تنفسی مفید است. در تحقیق ردریگس و همکاران (۲۰۲۳) نیز تأثیرات یک برنامهٔ ورزشی ۲۴ هفته‌ای کم‌هزینه بر آمادگی عملکردی وابسته به سلامت در۴۸ فرد سالمند با میانگین سنی ۵/۹۳± ۶۴/۷۳ سال بررسی شد. نتایج آن‌ها نشان داد تمرین قدرتی می‌تواند با افزایش چابکی و تعادل همراه باشد، زیرا تمرین مقاومتی شامل حرکات تولید نیرو و لحظات انفجاری است، مانند کشش زانو در حالت ایستاده که مربوط به چابکی و تعادل است (۱۸). تحقیق حاضر نیز بهبودهایی را در مؤلفهٔ چابکی پس از شش هفته برنامهٔ تمرینی شناسایی کرد که می‌تواند هنگام طراحی یک برنامهٔ پیشگیری از پیامدهای منفی سلامت در جمعیت سالمند مفید باشد، زیرا این برنامهٔ تمرینی شامل تمرینی مشابه نیازهای فعالیت روزانه است، و احتمالاً به این دلیل شرکت‌کنندگان از تأثیر مفید تمرین چابکی بهره‌مند شدند (۱۸). پژوهش حاضر دارای محدودیت‌هایی است. اگرچه در این پژوهش مقدار پروتئین با استفاده از نمونه‌های بیوپسی اندازه‌گیری نشد، اما بهبود در مقدار پروتئین Pax7 به‌عنوان نشانگر وابسته به SC ها در گردش خون زنان سالمند نشان داده شد. افزون بر این، این پژوهش قادر به ارزیابی ضخامت ماهیچه یا سطح مقطع نبود، که می‌توانست تغییرات ترکیب بدن را نیز گزارش کند. همچنین شرکت‌کنندگان این پژوهش زنان سالمند بودند و ازاین‌رو نمی‌توانیم نتایج خود را به سایر جمعیت‌ها یا جنسیت‌ها تعمیم دهیم.

بررسی‌ها نشان داد که تمرین مقاومتی به‌طور شایان توجهی قادر به بهبود قدرت و عملکرد ماهیچه‌ای در جمعیت سالمند است و به‌عنوان رویکردی درمانی در طب سالمندی محسوب می‌شود (۲۳،۳۹). تمرین TRXبه‌عنوان روشی مقاومتی مبتنی بر وزن بدن، در دسترس و کم‌هزینه به‌منظور مقابله با تغییرات فیزیولوژیکی ناشی از پیری پیشنهاد شده است (۲۵). سازوکار احتمالی اثرگذاری شامل فعال‌سازی سلول‌های ماهواره‌ای، افزایش بازسازی، هایپرتروفی و بهبود عملکرد ماهیچه‌ای با هدف اصلاح فنوتیپ سارکوپنیک است (۱۶).

مطالعهٔ مداخله‌ای شش‌هفته‌ای TRX نشان داد که این روش تمرینی به افزایش معنادار سطح پروتئین Pax7 (نشانگر سلول‌های ماهواره‌ای) در گردش خون شرکت‌کنندگان زن سالمند منجر شد. همچنین بهبودهای چشمگیری در شاخص‌های عملکردی شامل قدرت ماهیچه‌ای بالاتنه، انعطاف‌پذیری بالاتنه و پایین‌تنه و استقامت قلبی-تنفسی مشاهده شد. با وجود پیشرفت‌های مذکور، نتایج نشان داد که شش هفته تمرین TRX تأثیر معناداری بر قدرت اندام تحتانی زنان سالمند نداشته است. این عدم پاسخ شاید ناشی از تعامل پیچیدهٔ عوامل فیزیولوژیکی وابسته به فرایند یائسگی، محدودیت‌های ذاتی تمرین تعلیقی و کوتاه بودن دورهٔ مداخله است. از آنجا که پیری فرایندی برگشت‌ناپذیر است که تغییرات ساختاری و عملکردی در ترکیب و قدرت بدن ایجاد می‌کند، توصیه می‌شود افراد مسن در تمرین مقاومتی منظم مشارکت جویند. استفاده از ابزار تعلیق در محیط خانگی توان کاهش آثار منفی پیری را از طریق بهبود معیارهای ترکیب بدن و قدرت داراست و می‌تواند جایگزین مناسبی برای تمرین‌های مقاومتی سنتی باشد. با توجه به نتایج حاصل در زمینهٔ عوامل عملکردی، این روش تمرینی می‌تواند راهکاری مؤثر برای ارتقای آمادگی عملکردی در جمعیت سالمند به‌شمار رود. با نظر به اهمیت حیاتی قدرت اندام

تحتانی در پیشگیری از سقوط و بهبود کیفیت زندگی سالمندان، پیشنهاد می‌شود روش‌های آتی با تمرکز بر تمرین تخصصی اندام تحتانی، مدت زمان طولانی‌تر و شدت مناسب طراحی شوند تا قدرت، ظرفیت عملکردی و کنترل وضعیتی سالمندان را به‌طور مؤثرتر ارتقا بخشند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از همهٔ عزیزانی که ما را در اجرای این پژوهش یاری کردند، کمال تشکر و سپاسگزاری را داریم.

حمایت مالی

این پژوهش به‌عنوان بخشی از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد با تلاش و تعهد پژوهشگر انجام شده و هیچ‌گونه حمایت مالی از آن صورت نگرفته است.

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان این پژوهش به‌صورت برابر در طراحی تحقیق، جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل نتایج و نگارش مقاله مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

نویسندگان این پژوهش با اطمینان کامل اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در زمینهٔ این تحقیق وجود ندارد.

پی‌نوشت‌ها

[1] Satellite cells (SCs)
[2] Paired Box 7 (Pax 7)
[3] Myogenic differentiation protein (MyoD)
[4] Myogenic regulatory factors (MRFs)
[5] Muscle satellite cells (MuSCs)
[6] Fullerton Functional Test
[7] Tim Snijders
[8] Carneiro
[9] Fernández

منابع

1. Sen P, Shah PP, Nativio R, Berger SL. Epigenetic mechanisms of longevity and aging. Cell. 2016;166(4):822-39.

2. Maldonado E, Morales-Pison S, Urbina F, Solari A. Aging Hallmarks and the Role of Oxidative Stress. Antioxidants. 2023;12(3):651.

3. Zhu Y, Chen X, Geng S, Li Q, Li Y, Yuan H, et al. Identification of the cuproptosis-related hub genes and therapeutic agents for sarcopenia. Frontiers in Genetics. 2023;14:1136763.

4. Cruz-Jentoft AJ, Sayer AA. Sarcopenia. The Lancet. 2019;393(10191):2636-46.

5. Ziaaldini MM, Marzetti E, Picca A, Murlasits Z. Biochemical pathways of sarcopenia and their modulation by physical exercise: a narrative review. Frontiers in Medicine. 2017;4:167.

6. Landi F, Calvani R, Cesari M, Tosato M, Martone AM, Ortolani E, et al. Sarcopenia: an overview on current definitions, diagnosis and treatment. Current Protein and Peptide Science. 2018;19(7):633-8.

7. Marzetti E, Calvani R, Lorenzi M, Marini F, D'Angelo E, Martone AM, et al. Serum levels of C-terminal agrin fragment (CAF) are associated with sarcopenia in older hip fractured patients. Experimental gerontology. 2014;60:79-82.

8. Mijnarends DM, Koster A, Schols JM, Meijers JM, Halfens RJ, Gudnason V, et al. Physical activity and incidence of sarcopenia: the population-based AGES—Reykjavik Study. Age and ageing. 2016;45(5):614-20.

9. Verdijk LB, Snijders T, Drost M, Delhaas T, Kadi F, Van Loon LJ. Satellite cells in human skeletal muscle; from birth to old age. Age. 2014;36:545-57.

10. Parker MH. The altered fate of aging satellite cells is determined by signaling and epigenetic changes. Frontiers in genetics. 2015;6:59.

11. Domingues-Faria C, Vasson M-P, Goncalves-Mendes N, Boirie Y, Walrand S. Skeletal muscle regeneration and impact of aging and nutrition. Ageing research reviews. 2016;26:22-36.

12. Fuchs E, Blau HM. Tissue stem cells: architects of their niches. Cell stem cell. 2020;27(4):532-56.

13. Kaczmarek A, Kaczmarek M, Ciałowicz M, Clemente FM, Wolański P, Badicu G, et al. The role of satellite cells in skeletal muscle regeneration—the effect of exercise and age. Biology. 2021;10(10):1056.

14. Feige P, Brun CE, Ritso M, Rudnicki MA. Orienting muscle stem cells for regeneration in homeostasis, aging, and disease. Cell stem cell. 2018;23(5):653-64.

15. Rodrigues F, Domingos C, Monteiro D, Morouço P. A review on aging, sarcopenia, falls, and resistance training in community-dwelling older adults. International journal of environmental research and public health. 2022;19(2):874.

16. Cisterna B, Giagnacovo M, Costanzo M, Fattoretti P, Zancanaro C, Pellicciari C, et al. Adapted physical exercise enhances activation and differentiation potential of satellite cells in the skeletal muscle of old mice. Journal of anatomy. 2016;228(5):771-83.

17. Wiedmer P, Jung T, Castro JP, Pomatto LC, Sun PY, Davies KJ, et al. Sarcopenia–Molecular mechanisms and open questions. Ageing research reviews. 2021;65:101200.

18. Rodrigues F, Jacinto M, Figueiredo N, Monteiro AM, Forte P. Effects of a 24-Week Low-Cost Multicomponent Exercise Program on Health-Related Functional Fitness in the Community-Dwelling Aged and Older Adults. Medicina. 2023;59(2):371.

19. Liu B, Qu J, Zhang W, Belmonte JCI, Liu G-H. A stem cell aging framework, from mechanisms to interventions. Cell reports. 2022;41(3).

20. Cho M-R, Lee S, Song S-K. A review of sarcopenia pathophysiology, diagnosis, treatment and future direction. Journal of Korean Medical Science. 2022;37(18).

21. Dent E, Morley J, Cruz-Jentoft A, Arai H, Kritchevsky S, Guralnik J, et al. International clinical practice guidelines for sarcopenia (ICFSR): screening, diagnosis and management. The journal of nutrition, health & aging. 2018;22:1148-61.

22. Liu C, Wu X, Vulugundam G, Gokulnath P, Li G, Xiao J. Exercise Promotes Tissue Regeneration: Mechanisms Involved and Therapeutic Scope. Sports Medicine-Open. 2023;9(1):27.

23. Izquierdo M, Merchant R, Morley J, Anker S, Aprahamian I, Arai H, et al. International exercise recommendations in older adults (ICFSR): expert consensus guidelines. The journal of nutrition, health & aging. 2021;25(7):824-53.

24. Merchant RA, Chan YH, Hui RJY, Lim JY, Kwek SC, Seetharaman SK, et al. Possible

sarcopenia and impact of dual-task exercise on gait speed, handgrip strength, falls, and perceived health. Frontiers in medicine. 2021;8:660463.

25. Pierle C, McDaniel AT, Schroeder LH, Heijnen MJ, Tseh W. Efficacy of a 6-Week Suspension Training Exercise Program on Fitness Components in Older Adults. International Journal of Exercise Science. 2022;15(3):1168.

26. Dewi L, Lin Y-C, Nicholls A, Condello G, Huang C-Y, Kuo C-H. Pax7+ Satellite Cells in Human Skeletal Muscle After Exercise: A Systematic Review and Meta-analysis. Sports Medicine. 2023;53(2):457-80.

27. Bjersing JL, Larsson A, Palstam A, Ernberg M, Bileviciute-Ljungar I, Löfgren M, et al. Benefits of resistance exercise in lean women with fibromyalgia: involvement of IGF-1 and leptin. BMC musculoskeletal disorders. 2017;18:1-9.

28. Snijders T, Nederveen JP, Bell KE, Lau SW, Mazara N, Kumbhare DA, et al. Prolonged exercise training improves the acute type II muscle fibre satellite cell response in healthy older men. The Journal of physiology. 2019;597(1):105-19.

29. Bazgir B, Fathi R, Valojerdi MR, Mozdziak P, Asgari A. Satellite cells contribution to exercise mediated muscle hypertrophy and repair. Cell Journal (Yakhteh). 2017;18(4):473.

30. Moghadam B, Bagheri R, Ashtary-Larky D, Tinsley G, Eskandari M, Wong A, et al. The effects of concurrent training order on satellite cell-related markers, body composition, muscular and cardiorespiratory fitness in older men with sarcopenia. The journal of nutrition, health & aging. 2020;24:796-804.

31. Chen W, Datzkiw D, Rudnicki MA. Satellite cells in ageing: use it or lose it. Open biology. 2020;10(5):200048.

32. Snijders T, Nederveen JP, McKay BR, Joanisse S, Verdijk LB, Van Loon LJ, et al. Satellite cells in human skeletal muscle plasticity. Frontiers in physiology. 2015;6:283.

33. Campa F, Silva AM, Toselli S. Changes in phase angle and handgrip strength induced by suspension training in older women. International journal of sports medicine. 2018;39(06):442-9.

34. Emerson NS, Stout JR, Fukuda DH, Robinson EH, Scanlon TC, Beyer KS, et al. Resistance training improves capacity to delay neuromuscular fatigue in older adults. Archives of gerontology and geriatrics. 2015;61(1):27-32.

35. Lee D-K, Kang M-H, Lee T-S, Oh J-S. Relationships among the Y balance test, Berg Balance Scale, and lower limb strength in middle-aged and older females. Brazilian journal of physical therapy. 2015;19:227-34.

36. Carneiro NH, Ribeiro AS, Nascimento MA, Gobbo LA, Schoenfeld BJ, Achour Junior A, et al. Effects of different resistance training frequencies on flexibility in older women. Clinical interventions in aging. 2015:531-8.

37. Fernández-Lezaun E, Schumann M, Mäkinen T, Kyröläinen H, Walker S. Effects of resistance training frequency on cardiorespiratory fitness in older men and women during intervention and follow-up. Experimental Gerontology. 2017;95:44-53.

38. Romero-Arenas S, Martínez-Pascual M, Alcaraz PE. Impact of resistance circuit training on neuromuscular, cardiorespiratory and body composition adaptations in the elderly. Aging and disease. 2013;4(5):256.

39. Brook MS, Wilkinson DJ, Tarum J, Mitchell KW, Lund JL, Phillips BE, et al. Neither myonuclear accretion nor a myonuclear domain size ceiling is a feature of the attenuated hypertrophic potential of aged human skeletal muscle. GeroScience. 2023;45(1):451-62.