



## The Effect of Resistance Training on Unstable Surface with Blood Flow Restriction on Ankle Muscles' Co-contraction of Older Adults

Mehranian A<sup>1</sup>, Abdoli B<sup>2\*</sup>, Rajabi H<sup>3</sup>, Maleki A<sup>4</sup>

1- PhD student, Department of Cognitive and Behavioral Science and Technology in Sport, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2- Prof. Department of Cognitive and Behavioral Science and Technology in Sport, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

3- Prof. Faculty of Sport Sciences and Health, Kharazmi University, Tehran, Iran.

4- Assistant Prof. Faculty of Electrical and Computer Eng., Semnan University, Semnan, Iran.

**Corresponding Author:** Abdoli B, Department of Sport Sciences and Health, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

**E-mail:** B-Abdoli@sbu.ac.ir

Received: 9 March 2022

Accepted: 26 April 2022

### Abstract

**Introduction:** Older adults show high levels of co-contraction in lower extremities' muscles due to the deterioration of the neuromuscular and sensory motor systems. Increased co-contraction leads to disruption of daily motor activities, especially movements in which joint stability is critical; therefore, it is important to pay attention to training programs to strengthen muscles and increase intramuscular coordination in older adults. The aim of this study was to investigate the effect of unstable resistance training with and without blood flow restriction on ankle muscles' co-contraction of older adults.

**Methods:** 27 older adults (62 ± 1.5 years old) were assigned into three groups of unstable resistance training without blood flow restriction, unstable resistance training with blood flow restriction (72 ± 9 mm Hg) and control. The training program consisted of three to four sets of 15 repetitions of body weight squats for four weeks and three sessions per each week, which were gradually added to the program by 5% of each person's body weight. Pre- and post- intervention, the electromyography signals of Tibialis Anterior and soleus muscles were recorded during walking in order to determine the rates of agonist and antagonist activity and muscles' co-contraction. For data analysis, repeated measures analysis of variance and analysis of covariance tests with Bonferroni post hoc test were used at 0.05 of level of significance.

**Results:** The results showed that in post-test, the activity of the Tibialis Anterior muscle of both training groups was significantly increased compared to pre-test. Also, statistically significant difference was found in co-contraction rates of both groups in post-test (P=0.005). The results of Bonferroni post hoc test showed a statistically significant difference in reduction of co-contraction rates between the resistance training group with blood flow restriction and the control group (P=0.015) and between resistance training group without blood flow restriction with the control group (P=0.005). But no statistically significant difference was found between the two training groups (P=1.00).

**Conclusions:** The use of Resistance training on unstable surface with and without blood flow restriction is associated with increased agonist muscle activity, which leads to a decrease in co-contraction of the tibialis anterior and soleus muscles of the elderly while walking.

**Keywords:** Older adults, Co-contraction, Unstable resistance training, Blood flow restriction.



## اثر تمرین مقاومتی روی سطح ناپایدار همراه با محدودیت جریان خون بر هم انقباضی عضلات مج پا در سالمندان

آرزو مهرانیان<sup>۱</sup>، بهروز عبدلی<sup>۲\*</sup>، حمید رجبی<sup>۳</sup>، علی مالکی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم رفتاری، شناختی و فناوری ورزش، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- استاد، گروه علوم رفتاری، شناختی و فناوری ورزش، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳- استاد، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

۴- دانشیار، گروه مهندسی پزشکی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

**نویسنده مسئول:** بهروز عبدلی، استاد، گروه علوم رفتار حرکتی و شناختی در ورزش، دانشکده دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

ایمیل: [B-Abdoli@sbu.ac.ir](mailto:B-Abdoli@sbu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۸

### چکیده

**مقدمه:** سالمندان سطح بالایی از هم انقباضی را در عضلات اندام تحتانی به دلیل زوال سیستم های عصبی عضلانی و حسی-حرکتی نشان می دهند. افزایش هم انقباضی، اختلال در فعالیت های حرکتی روزانه به ویژه حرکاتی که ثبات مفصلی در آنها حیاتی است را به دنبال دارد؛ از این رو توجه به برنامه های تمرینی برای تقویت عضلات و افزایش هماهنگی بین عضلانی سالمندان حائز اهمیت می باشد. هدف از پژوهش حاضر، تأثیر تمرین مقاومتی ناپایدار با و بدون محدودیت جریان خون بر هم انقباضی عضلات مج پا در مردان سالمند بود.

**روش کار:** ۲۷ مرد سالمند (۶۲±۱/۵ سال) در سه گروه تمرین مقاومتی ناپایدار بدون محدودیت جریان خون، تمرین مقاومتی ناپایدار با محدودیت جریان خون (فشار ۷۲±۹ میلی متر جیوه) و کنترل قرار گرفتند. برنامه تمرینی شامل ۴ هفته، هر هفته سه جلسه تمرین اسکات با وزن بدن در سه الی چهار ست ۱۵ تکراری بود که به تدریج ۵٪ وزن بدن هر فرد به برنامه اضافه شد. قبل و بعد از مداخله، سیگنال های الکترومیوگرافی از عضلات تیبیالیس آنتریور و سولئوس در حین راه رفتن برای تعیین میزان فعالیت عضلات آگونیست، آنتاگونیست و هم انقباضی عضلات ثبت گردید. برای تحلیل داده ها از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری های مکرر و آزمون تحلیل کوواریانس با آزمون تعقیبی بونفرونی در سطح معنی داری ۰/۰۵ استفاده شد.

**یافته ها:** نتایج نشان داد که فعالیت عضله تیبیالیس آنتریور در پس آزمون به طور معناداری نسبت به پیش آزمون در دو گروه تمرینی افزایش می یابد. هم چنین بین گروه ها در نمرات هم انقباضی پس آزمون تفاوت معنادار آماری یافت شد ( $P=0/005$ ). نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی، تفاوت معنی دار آماری را در کاهش هم انقباضی بین گروه تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون با گروه کنترل ( $P=0/015$ ) و گروه تمرین مقاومتی بدون محدودیت جریان خون با گروه کنترل ( $P=0/005$ ) نشان داد. اما بین دو گروه تمرینی تفاوت معنادار آماری یافت نشد ( $P=1/00$ ).

**نتیجه گیری:** استفاده از تمرینات مقاومتی روی سطح ناپایدار با و بدون محدودیت جریان خون با افزایش فعالیت عضله آگونیست همراه بوده که منجر به کاهش هم انقباضی عضلات تیبیالیس آنتریور و سولئوس سالمندان حین راه رفتن می گردد.

**کلیدواژه ها:** سالمندان، هم انقباضی، تمرین مقاومتی ناپایدار، محدودیت جریان خون.

تمرین مقاومتی (بار خارجی یا وزن بدن) و سطح ناپایدار است (۱۳) که با ایجاد چالش بیش تر بر سیستم عصبی عضلانی منجر به افزایش قدرت و هماهنگی بین عضلات موافق و مخالف می گردد (۱۴). تحقیقات نیز نشان داده اند که تقویت ورودی های حس عمقی در نتیجه تمرینات مقاومتی ناپایدار منجر به بهبود تعادل و کاهش افتادن سالمندان شده است (۱۵). در همین راستا فریا و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی تمرینات مقاومتی روی سطح ناپایدار را بر هم انقباضی عضلات آگونیست و آنتاگونیست موثر دانسته و بهبود راه رفتن در سالمندان را گزارش کردند (۱۶). به هر حال، تعداد کمی از مطالعات، الگوهای فعال سازی عضلات اندام تحتانی سالمندان را در پاسخ به تمرین مقاومتی ناپایدار مورد بررسی قرار داده اند.

هیپوکسی موضعی از طریق ایجاد محدودیت جریان خون (BFR) (۱۷) به عنوان یک روش تمرینی نسبتاً جدید در صورت ترکیب با تمرینات مقاومتی، ضمن تقویت عضله موجب افزایش سازگاری های عصبی-عضلانی، سیگنالینگ آوران (IV) اعصاب عضلانی (۱۸)، افزایش درایوهای عصبی (۱۹) و افزایش به کارگیری واحدهای حرکتی می شود (۲۰). هم چنین تمرینات مقاومتی با محدودیت جریان خون منجر به افزایش فرکانس شلیک موتونرون ها و یا تحریک پذیری موتونرون ها و افزایش فعالیت عضلات آگونیست می گردد (۲۱، ۲۲). بنابراین استفاده از BFR توسط افراد سالمند نه تنها موجب کاهش فشار مکانیکی بر مفاصل شده بلکه نتیجه دلخواه را با انجام تمریناتی با حجم و شدت کم تر به همراه دارد (۲۳). بنابراین به نظر می رسد که استفاده از محدودیت جریان خون در ترکیب با تمرینات مقاومتی ناپایدار بتواند اثر بخشی بهتری داشته باشد.

باتوجه به بررسی مکانیزم های احتمالی تمرینات BFR این سوال مطرح می شود که آیا محدودیت جریان خون در ترکیب با تمرینات مقاومتی ناپایدار می تواند اثر بخشی تمرین مقاومتی ناپایدار را بر کاهش هم انقباضی عضلات سالمندان حین راه رفتن افزایش دهد؟

## روش کار

پژوهش حاضر نیمه تجربی با طرح پیش آزمون-پس آزمون با دو گروه آزمایشی و یک گروه کنترل بود که به بررسی تاثیر تمرین مقاومتی ناپایدار با و بدون محدودیت جریان خون بر هم انقباضی عضلات مچ پا در مردان سالمند

سالمندی روندی طبیعی، اجتناب ناپذیر و غیر قابل بازگشت است که با کاهش قدرت عضلانی، حس عمقی و تعادل مرتبط می باشد (۱). با افزایش سن و تغییر در سیستم های عصبی عضلانی و حسی حرکتی، کارآمدی الگوی راه رفتن کاهش یافته، که این امر می تواند منجر به افزایش سقوط در افراد مسن گردد (۲). سقوط علت اصلی آسیب و مرگ های ناشی از جراحت در میان سالمندان است که علاوه بر کاهش تحرک، استقلال و کیفیت زندگی، هزینه های پزشکی و اجتماعی بالایی را به همراه دارد. بنابراین توانایی راه رفتن کارآمد و ایمن برای کاهش خطر سقوط حائز اهمیت است (۱).

سالمندان معمولاً برای حفظ تعادل پویا در طول راه رفتن از راهبردهای انطباقی مختلفی مانند کاهش سرعت و طول گام استفاده می کنند (۳). هم انقباضی بیش از حد عضلات اندام تحتانی در حین راه رفتن، یکی دیگر از مکانیزم های جبرانی و راهکاری طبیعی برای کنترل حرکت سالمندان محسوب می شود (۴). افزایش هم انقباضی برای افزایش سفتی مفاصل از جمله مفصل مچ پا صورت می گیرد تا اختلالات عصبی - حرکتی مرتبط با افزایش سن مانند کاهش قدرت عضلانی دورسی فلکسور مچ پا و کاهش حس عمقی را جبران نماید (۵، ۶). در همین راستا، کروزارا و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که افراد سالمند در جبران کاهش قدرت، هم انقباضی عضلات اندام تحتانی را در حین راه رفتن افزایش می دهند (۷). با این حال، افزایش هم-انقباضی پیامدهای منفی مانند بالا بردن هزینه راه رفتن و خستگی زودرس را به دنبال دارد که منجر به افزایش افتادن افراد مسن می گردد. بنابراین استفاده از تمرینات مقاومتی و حس عمقی در توان بخشی (۸) و به منظور کاهش هم انقباضی عضلات اندام تحتانی برای بهبود بیومکانیک راه رفتن، تعادل و کاهش خطر افتادن سالمندان حائز اهمیت است (۹).

اگرچه تمرین مقاومتی یکی از شیوه های تمرینی برای افزایش قدرت عضلات، کاهش هم انقباضی (۱۰، ۱۱) و هماهنگی کارآمد عضلات آگونیست و آنتاگونیست در افراد سالمند محسوب می شود (۱۲)؛ ولیکن تمرین مقاومتی ناپایدار به دلیل ایجاد اثر هم افزایی در سیستم عصبی عضلانی و تقویت حس عمقی گزینه بهتری برای افراد سالمند می باشد. تمرین مقاومتی ناپایدار ترکیبی از روش های

پرداخت. این پژوهش توسط کمیته اخلاق دانشگاه حکیم سبزواری (IR.HSU.REC.1400.010) تایید شد.

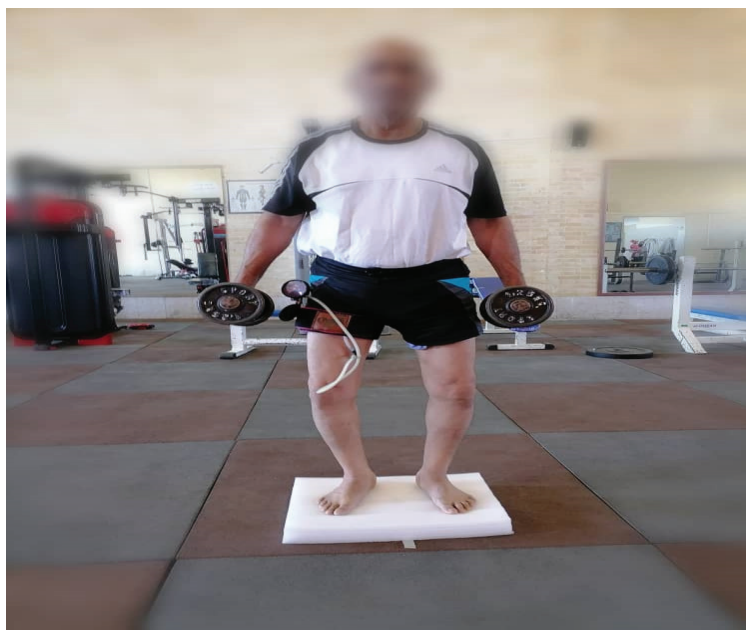
۲۷ مرد سالمند ۶۰ سال به بالا در پژوهش حاضر شرکت کردند. عدم ابتلا به بیماری های حاد و پیشرفته قلبی عروقی، عدم ابتلا به بیماری های خاص (دیابت، پرفشاری خون)، آسیب ارتوپدی و عصبی عضلانی، عدم استفاده از واکر و عصا، عدم شرکت در برنامه ورزشی منظم در طی شش ماه گذشته به عنوان معیارهای ورود و غیبت در تمرینات، عدم تمایل شخصی برای ادامه تمرینات، آسیب دیدگی و فعالیت های خارج از برنامه تمرین نیز به عنوان معیارهای خروج در این پژوهش در نظر گرفته شد (۲۴-۲۶). امکان کنترل خواب و تغذیه آزمودنی ها وجود نداشت. پس از توضیح در مورد نحوه انجام مداخله های تمرینی و دردهای عضلانی احتمالی، هریک از آزمودنی ها رضایت نامه کتبی را به صورت کاملا آگاهانه تکمیل کردند.

سپس آزمودنی ها به صورت کاملا تصادفی در دو گروه آزمایشی ۱ (تمرین مقاومتی بدون محدودیت جریان خون روی سطح ناپایدار)، آزمایشی ۲ (تمرین مقاومتی با محدودیت جریان خون روی سطح ناپایدار) و یک گروه کنترل (عدم انجام تمرینات) قرار گرفتند. پس از برگزاری یک جلسه آشنایی با مداخله های پژوهش برای گروه های آزمایشی، پیش آزمون انجام شد. در این مرحله متغیرهای قد و وزن آزمودنی ها اندازه گیری شد و فعالیت الکتریکی عضلات تیبیالیس آنتریور و سولئوس در ۵ چرخه راه رفتن روی سطح صاف با سرعت ترجیحی ثبت گردید.

ثبت سیگنال های الکترومایوگرام با استفاده از دستگاه ثبت سیگنال DataLOG-MWX8 از شرکت Biometric با فرکانس نمونه برداری ۱۰۰۰ هرتز و الکترودهای سطحی دو قطبی به فاصله ۲ سانتی متر بین الکترودها انجام گردید. به طوری که پس از تعیین محل دقیق الکترودها براساس SENIAM، سطح پوست با استفاده از پنبه و الکل کاملا تمیز شد تا عوامل مقاومتی تاثیرگذار پوست کنترل گردد. سپس الکترودهای سطحی به موازات تارهای عضلانی به شرح زیر در محل عضلات مورد نظر قرار داده شدند. برای عضله تیبیالیس آنتریور، الکترودها در ۱/۳ بالایی خط بین برجستگی سر استخوان نازک نی و برجستگی قوزک داخلی قرار گرفت. برای عضله سولئوس نیز الکترودها روی ۳۵٪ بالایی خط بین کندیل داخلی ران و قوزک داخلی درست

انتهای دو قلو داخلی و وسط تاندون آشیل نصب شد. هم چنین از یک الکترودها Ag-AgCl ژل زده شده خودچسب به عنوان الکترودها مرجع بر روی قوزک خارجی استفاده گردید (۲۷).

روز بعد از پیش آزمون، انجام برنامه تمرینی شامل حرکت اسکات با وزن بدن روی سطح ناپایدار با و بدون محدودیت جریان خون برای دو گروه آزمایشی آغاز شد. جهت ایجاد سطح ناپایدار نیز از فوم به قطر ۶ سانتی متر استفاده شد (۲۸). گروه های آزمایشی در برنامه تمرینی شامل ۴ هفته و هر هفته سه جلسه تمرین شرکت کردند (۲۹، ۳۰). دو هفته اول برنامه تمرینی شامل سه ست، هر ست شامل ۱۵ تکرار و زمان استراحت بین ست ها ۶۰ ثانیه بود (۳۱). در حالی که برای رعایت اصل اضافه بار، دو هفته دوم برنامه تمرینی شامل چهار ست، هر ست شامل ۱۵ تکرار، زمان استراحت بین ست ها ۶۰ ثانیه و هم چنین استفاده از وزنه ای معادل ۵٪ وزن بدن هر فرد برای هر دو گروه به منظور بررسی تاثیر محدودیت جریان خون در شرایط یکسان در نظر گرفته شد (۳۲، ۳۳). آزمودنی های هر دو گروه آزمایشی قبل از انجام تمرینات به مدت ۱۰ دقیقه به گرم کردن عمومی بدن (حرکات کششی و نرمشی) پرداختند و بعد از اتمام تمرینات نیز به مدت ۱۰ دقیقه عمل سرد کردن را انجام دادند. برای تعیین میزان انسداد جریان خون آزمودنی های گروه محدودیت جریان خون در وضعیت خوابیده به پشت قرار گرفتند و کاف پنوماتیک (ساخت ایران) در قسمت فوقانی ران راست بسته شد. کاف تا زمان عدم وجود نبض شریانی در قسمت قوزک داخلی ران راست که با استفاده از دستگاه سونوگرافی داپلر (DC8- EXP, china) قابل تشخیص باشد، باد شد. سپس باد کاف را به آرامی کاهش دادیم تا اولین نبض شریانی تشخیص داده شود. بنابراین بالاترین فشاری که نبض شریانی دیگر قابل تشخیص نباشد به عنوان حداکثر فشار انسداد جریان خون در نظر گرفته شد که در طول تمرین ۵۰٪ از حداکثر فشار اعمال گردید (۷۲±۹ میلی متر جیوه) (۲۶، ۳۴) (شکل ۱). در انتهای جلسات تمرینی ثبت سیگنال های الکترومایوگرام مشابه با پیش آزمون انجام شد. آزمودنی های گروه کنترل تنها در پیش آزمون و پس آزمون راه رفتن بدون انجام هیچ تمرینی شرکت کردند.



شکل ۱. تمرینات مقاومتی ناپایدار با محدودیت جریان خون

معیار و نمودار استفاده گردید. نرمال بودن داده ها از طریق آزمون شاپیروویک و همگنی واریانس ها با آزمون لوین مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای استنباط آماری داده ها از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری های مکرر و تحلیل کوواریانس (پیش آزمون به عنوان متغیر همپراش) با آزمون تعقیبی بونفرونی در سطح معنی داری ۰/۰۵ و نرم افزار spss نسخه ۲۲ استفاده شد.

سیگنال های الکترومیوگرافی ثبت شده در مرحله پیش آزمون و پس آزمون با استفاده از نرم افزار متلب نسخه R2018a با فیلتر میان گذر ۲۰-۵۰۰ هرتز پردازش شد و RMS آن ها با استفاده از پنجره ۵۰ میلی ثانیه استخراج گردید. سپس سیگنال بدست آمده از هر عضله در فعالیت راه رفتن به پیک RMS نرمال و هم انقباضی عضلات تیبیالیس آنتریور (آگونیسست) و سولئوس (آنتاگونیست) محاسبه شد (۳۵). برای توصیف آماری داده ها از میانگین، انحراف

$$CoI = 2 * \frac{sEMG_{antagonist}}{sEMG_{agonist} + sEMG_{antagonist}} * 100$$

شده است.

## یافته ها

مشخصات آزمودنی ها به تفکیک گروه در (جدول ۱) ارائه

جدول ۱. ویژگی های فردی آزمودنی ها به تفکیک گروه

متغیر	گروه کنترل	تمرین مقاومتی ناپایدار با محدودیت جریان خون	تمرین مقاومتی ناپایدار بدون محدودیت جریان خون
قد (سانتیمتر)	۱۶۸/۵۶±۲/۴۳	۱۶۸/۷۸±۲/۰۷	۱۶۷/۷۵±۰/۷۸
وزن (کیلوگرم)	۷۵/۱۱±۴/۳۲	۷۴/۰۱±۱/۲	۸۱/۴±۳/۶۴
شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۶/۴۲±۱/۳۶	۲۵/۹۴±۱/۱۸	۲۸/۲۶±۱/۳

مقاومتی ناپایدار با محدودیت جریان خون و تمرین مقاومتی ناپایدار بدون محدودیت جریان خون نیز در (جدول ۲) گزارش شده است.

نتایج توصیف آماری داده های مراحل پیش آزمون و پس آزمون برای فعالیت الکتریکی عضلات تیبیالیس آنتریور و سولئوس و متغیر هم انقباضی سه گروه کنترل، تمرین



جدول ۲. میانگین و انحراف معیار فعالیت الکتریکی عضلات (RMS) و هم انقباضی در مراحل پیش آزمون و پس آزمون در گروه های تحقیق

متغیر	کنترل	تمرین مقاومتی ناپایدار با محدودیت جریان خون	تمرین مقاومتی ناپایدار بدون محدودیت جریان خون
فعالیت الکتریکی عضله تیبالیس آنتریور (میکرو ولت)	۳۰/۴۳±۰/۷۶	۳۱/۶۳±۲/۶	۲۸/۶۵±۲/۱
فعالیت الکتریکی عضله سولئوس (میکرو ولت)	۳۰/۶۸±۰/۸	۳۸/۴۳±۲/۸	۳۵/۴۲±۲/۰۳
هم انقباضی (درصد)	۱۰۳/۲۱±۳/۷	۸۶/۵۹±۳/۵۴	۸۵/۲۵±۳/۱۴
	۱۰۸/۷۴±۲/۳۵	۸۳/۳۵±۲/۳۱	۸۴/۹۵±۳/۹۳

پس از بررسی مفروضه های نرمال بودن (آزمون شاپیرو ویلک،  $p > 0.05$ )، از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری های مکرر برای مقایسه فعالیت الکتریکی عضلات

جدول ۳. نتایج تحلیل چند متغیره (لامبدا ویلکز) آزمون تحلیل واریانس با اندازه های تکراری فعالیت الکتریکی عضلات (RMS) در مراحل پیش آزمون و پس آزمون در گروه های تحقیق

متغیر	ارزش	مقدار F	معناداری	مجذور اتا
فعالیت الکتریکی عضله تیبالیس آنتریور (میکرو ولت)	کنترل	۰/۲۶	۰/۶۲	۰/۰۳۲
تمرین مقاومتی ناپایدار با محدودیت جریان خون	۰/۱۵	۴۵/۳۲	$P < 0.001$	۰/۸۵
تمرین مقاومتی ناپایدار بدون محدودیت جریان خون	۰/۱۵	۴۲/۹۰	$P < 0.001$	۰/۸۴
فعالیت الکتریکی عضله سولئوس (میکرو ولت)	کنترل	۰/۰۵	۰/۸۲	۰/۰۶
تمرین مقاومتی ناپایدار با محدودیت جریان خون	۰/۶۴	۴/۴۷	۰/۰۶	۰/۳۵
تمرین مقاومتی ناپایدار بدون محدودیت جریان خون	۰/۹۷	۰/۲۴	۰/۶۳	۰/۰۳

$P \leq 0.05^*$

نتایج نشان داد که بین نمرات پیش آزمون و پس آزمون عضله تیبالیس آنتریور در گروه تمرین مقاومتی ناپایدار با محدودیت جریان خون و گروه تمرین مقاومتی ناپایدار بدون محدودیت جریان خون تفاوت معنی دار آماری وجود دارد. ولیکن بین نمرات پیش آزمون و پس آزمون عضله سولئوس در هیچ یک از گروه ها تفاوت معنادار آماری یافت نشد.

بررسی مقدماتی برای اطمینان از عدم تخطی از مفروضه های نرمال بودن (آزمون شاپیرو ویلک،  $p > 0.05$ )، خطی بودن (نمودار پراکنش و رسم بهترین خط برازش)، همگنی واریانس ها (آزمون لوین،  $p > 0.05$ ) و همگنی شیب

رگرسیون (سطح معنی داری تعامل بین مداخله و متغیر هم تغییر،  $p > 0.05$ ) انجام شد. بنابراین در پژوهش حاضر برای مقایسه گروه ها بر اساس متغیر هم انقباضی عضلات تیبالیس آنتریور و سولئوس از آزمون تحلیل کوواریانس یک طرفه با در نظر گرفتن نمرات پیش آزمون به عنوان متغیر هم تغییر (هم پراش) استفاده شد. بعد از تعدیل نمرات پیش آزمون هم انقباضی ( $p = 0.03$ )، تفاوت معنی دار آماری بین گروه های پژوهش در نمرات پس آزمون ( $F(1, 33) = 6.74$ ;  $p = 0.005$ ;  $\eta^2 = 0.37$ ) = مجذور اتای جزئی وجود داشت. (جدول ۴) نتایج تحلیل کوواریانس متغیرهای پژوهش را نشان می دهد.

جدول ۴. نتایج تحلیل کوواریانس برای بررسی اثرات بین گروهی در متغیر هم انقباضی حین راه رفتن

متغیر	مجموع مجذورات	درجات آزادی	میانگین مجذورات	F	معناداری	اندازه اثر (ضریب اتا)
پیش آزمون	۳۴۷/۶۴	۱	۳۴۷/۶۴	۵/۱۴	۰/۰۳*	۰/۱۸
هم انقباضی (درصد)	۹۱۱/۳۲	۲	۴۵۵/۶۶	۶/۷۴	۰/۰۰۵*	۰/۳۷
خطا	۱۵۵۴/۱	۲۳	۶۷/۵۷			

$P \leq 0.05^*$

آوران های عضله را افزایش داده و با تاثیر بر سیستم عصبی عضلانی منجر به افزایش فعالیت عضله آگونست می شود. در تایید این موضوع، آندرسون همکاران (۲۰۰۵) نشان دادند که تمرینات اسکات روی سطح ناپایدار عضلات را با شدت بیش تری فعال کرده و باعث افزایش تعادل می گردد (۳۹). همچنین، استفاده از تکنیک محدودیت جریان خون با ایجاد هیپوکسی موضعی در عضله با افزایش متابولیت‌ها احتمالاً بر سیگنالینگ آوران عضلانی، فعال سازی و سازگاری عصبی-عضلانی تاثیر می گذارد. بورگومستر و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که تمرینات مقاومتی همراه با محدودیت جریان خون با افزایش شلیک نورون‌ها منجر به افزایش فعالیت عضلات آگونست و کاهش فعالیت عضلات آگونست می شود و اجازه تولید نیروی بیش تر را می دهد (۴۰).

استفاده از راهکار افزایش هم انقباضی عضلات آگونست و آنتاگونیست توسط افراد سالمند برای کنترل حرکت در حین راه رفتن با افزایش خطر افتادن همراه می باشد (۴۱). هر چند در پژوهش حاضر افزایش فعالیت عضله تیبیالیس آتریور در طی راه رفتن مشاهده شد، اما اطلاعات هم زمان عضله مخالف نیز در این مرحله می تواند به نتیجه گیری بهتر کمک نماید. از این رو یکی دیگر از اهداف پژوهش حاضر بررسی اثر تمرینات مقاومتی ناپایدار با و بدون محدودیت جریان خون بر هم انقباضی عضلات تیبیالیس آتریور و سولئوس سالمندان حین راه رفتن بود. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تمرینات مقاومتی ناپایدار با و بدون محدودیت جریان خون در مقایسه با گروه کنترل موجب کاهش بیشتری در هم انقباضی عضلات مچ پا شده است. این یافته حاکی از بهبود کنترل حرکتی یا به عبارتی کارایی حرکتی است که می تواند موجب بهبود تعادل در شروع حرکت راه رفتن و در ادامه مسیر (بدلیل تعویق خستگی) گردد. باتوجه به عدم پژوهش در این زمینه، امکان مقایسه نتایج پژوهش حاضر وجود نداشت. با این حال در ارتباط با مکانیزم های احتمالی تمرینات مقاومتی ناپایدار بدون محدودیت جریان خون می توان سازگاری های عصبی را به عنوان مکانیزم اصلی این تغییرات دانست. در همین راستا اکارت (۲۰۱۶)، گرانچر و همکاران (۲۰۱۳) و سیو و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که این تمرینات با ایجاد فرآیندهای تطبیقی و همچنین اثر هم افزایی (ناشی از درگیر کردن دو مولفه مقاومت (وزن بدن، وزنه اضافی) و تعادل

با توجه به معنی دار بودن اثر گروه در متغیر هم انقباضی (جدول ۴)، با استفاده آزمون تعقیبی بونفرونی به مقایسه دو به دو گروه های مورد پژوهش پرداخته شد. نتایج نشان داد که گروه تمرین مقاومتی ناپایدار با محدودیت جریان خون ( $P=0/015$ ) و گروه تمرین مقاومتی ناپایدار بدون محدودیت جریان خون ( $P=0/005$ ) با گروه کنترل تفاوت معنی دار آماری دارد. ولیکن بین دو گروه تمرین مقاومتی ناپایدار با و بدون محدودیت جریان خون ( $P=1/00$ ) تفاوت معنادار آماری یافت نشد.

## بحث

با افزایش سن، فعالیت عضلات موافق و مخالف مفصل مچ پا نسبت به سایر عضلات بیش تر دچار تغییر می شود که نشان دهنده عدم تعادل و تهدیدی برای ثبات مفصل مچ پا می باشد (۳۶) که خطر سقوط را افزایش می دهد. تمرینات ورزشی معمولاً به عنوان مداخله ای برای بهبود فعالیت عضلات آگونست و آنتاگونیست در سالمندان استفاده می شود. بنابراین در پژوهش حاضر به بررسی اثر تمرینات مقاومتی ناپایدار با و بدون محدودیت جریان خون بر میزان فعالیت عضلات تیبیالیس آتریور و سولئوس سالمندان حین راه رفتن پرداخته شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تمرینات مقاومتی ناپایدار با و بدون محدودیت جریان خون منجر به افزایش میزان فعالیت عضله آگونست در طی راه رفتن می شوند. ولیکن این تمرینات بر فعالیت عضله آنتاگونیست تاثیری ندارند. به نظر می رسد که تمرین مقاومتی در این تمرینات با افزایش فعالیت نوروهای حرکتی و میزان تخلیه آن، افزایش فعال سازی واحدهای حرکتی و هم گام سازی واحدهای حرکتی منجر به افزایش فعالیت عضله آگونست شده است که می تواند ثبات بیشتر مفصل مچ پا در راه رفتن را به همراه داشته باشد. ویسینگ و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که تمرین مقاومتی بدون داد عصبی بر عضله موافق را افزایش داده و فعال سازی عضله مخالف را کاهش می دهد (۳۷). آرنولد و همکاران (۲۰۱۴) نیز در یک مطالعه مروری نشان دادند که اگرچه افزایش سن با تغییر در سیستم عصبی عضلانی همراه است، ولیکن استفاده از تمرینات قدرتی منجر به افزایش فعالیت ارادی عضله آگونست در سالمندان می گردد (۳۸). از طرفی، به نظر می رسد استفاده از سطح ناپایدار در تمرینات مقاومتی ناپایدار با و بدون محدودیت جریان خون اطلاعات

بر سیستم عصبی-عضلانی افراد مسن موثر می باشد (۴۲-۴۴). به نظر می رسد که در تمرینات مقاومتی ناپایدار، مولفه تمرینات مقاومتی با سازگاری های عصبی-عضلانی، افزایش فراخوانی واحدهای حرکتی و تکانش های عصبی (۴۵)، افزایش پاسخ های فراخوانده نرون های حرکتی نخاع و هم چنین افزایش تحریک عصبی به تارهای عضله (۴۶) منجر به بهبود هم انقباضی عضلات مچ پا سالمندان شده است. هم چنین تمرینات مقاومتی با تغییر در تحریک پذیری و مهار قشر نخاعی، تغییر در نرون های حرکتی و مهار بین نرونی (۴۷)، افزایش نرخ شلیک واحدهای حرکتی و هم چنین افزایش فعالیت هم زمان واحدهای حرکتی موجب کاهش هم انقباضی می شود (۱۱). استفاده از سطح ناپایدار به عنوان مولفه دوم در تمرینات مقاومتی ناپایدار به فعالیتهای روزانه نزدیک تر بوده و با ایجاد چالش بیش تر بر سیستم عصبی-عضلانی، بهبود هماهنگی بین عضلات آگونیست و آنتاگونیست را به دنبال دارد (۴۸). با توجه به این که کاهش حس عمقی از دلایل افزایش هم انقباضی عضلات اندام تحتانی محسوب می شود (۴۹)، به نظر می رسد که انجام تمرین مقاومتی روی سطح ناپایدار از طریق تقویت ورودی های حس عمقی منجر به افزایش اطلاعات آوران های عضله شده و می تواند بر هم انقباضی عضلات موثر باشد (۵۰). در همین راستا، فریا و همکاران (۲۰۱۱) هدف از تمرینات روی سطح ناپایدار را تحریک اغتشاشات پیش بینی نشده و پایدار کننده ها و تولید هم انقباضی بین عضلات آگونیست و آنتاگونیست بیان کردند که منجر به بهبود راه رفتن سالمندان می گردد (۵۱). پراکسدس و همکاران (۲۰۱۱) نیز در پژوهشی نشان دادند که تمرینات ناپایدار را می توان با هدف بهبود سطح هم انقباضی عضلات تیبیالیس آنتریور و سولئوس استفاده کرد (۵۲). هم چنین نتایج پژوهش حاضر کاهش معنی دار هم انقباضی عضلات در گروه تمرین مقاومتی ناپایدار با محدودیت جریان خون نسبت به گروه کنترل نشان داد. بنابراین به نظر می رسد که محدودیت جریان خون در ترکیب با تمرینات مقاومتی ناپایدار با بهبود سازگاری های عصبی-عضلانی، به کارگیری بیش تر واحدهای حرکتی (۵۳) کاهش اکسیژن رسانی به عضلات، افزایش متابولیت ها و اسیدیته عضلانی منجر به تغییر الگوهای فراخوانی فیبر، افزایش فعالیت

عضلات آگونیست، سازگاری های عصبی-عضلانی و بهبود قدرت (۵۴-۵۶) و در نهایت کاهش هم انقباضی عضلات مچ پا سالمندان شده است.

با این حال فرضیه محققین بر این بود که تمرینات مقاومتی ناپایدار همراه با محدودیت جریان خون با ایجاد یک محیط ایسکمیک و هیپوکسیک منجر به تغییرات متابولیکی در کنار تنش های مکانیکی شده و اثر معناداری نسبت به تمرینات مقاومتی ناپایدار بدون محدودیت جریان خون بر هم انقباضی عضلات داشته باشد؛ ولیکن نتایج پژوهش حاضر در این بخش نشان داد که تفاوت معنی دار آماری بین تمرینات مقاومتی ناپایدار با و بدون محدودیت جریان خون در کاهش هم انقباضی عضلات مچ پا در سالمندان وجود ندارد. به هر حال از آنجاییکه فشار متابولیکی استفاده از کاف می تواند باعث رشد عضله در طولانی مدت شود که شاید از طریق افزایش قدرت بتواند در برقراری تعادل اثر بهتری داشته باشد. بنابراین به نظر می رسد که تعداد جلسات تمرین، تعداد تکرارها در هر جلسه و میزان فشار اعمال شده به وسیله کاف از عوامل عدم وجود تفاوت بین این دو گروه باشد. با توجه به اینکه در پژوهش حاضر به بررسی هم انقباضی عضلات تیبیالیس آنتریور و سولئوس در کل دوره راه رفتن پرداخته شد؛ پیشنهاد می گردد که در تحقیقات آتی تاثیر این نوع تمرینات را در تعداد جلسات بیش تر و همچنین در فازهای مختلف راه رفتن مورد بررسی قرار دهند.

### نتیجه گیری

نتیجه گیری نهایی این پژوهش نشان داد که تمرینات مقاومتی ناپایدار با و بدون محدودیت جریان خون بر کاهش هم انقباضی عضلات تیبیالیس آنتریور و سولئوس سالمندان حین راه رفتن موثر می باشند. بنابراین پیشنهاد می شود که از این تمرینات برای بهبود راه رفتن و کاهش خطر سقوط سالمندان استفاده گردد.

### سپاسگزارى

این پژوهش برگرفته از رساله دوره دکتری کنترل حرکتی می باشد. از تمامی سالمندانی که ما را در اجرای تحقیق یاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را داریم.



## References

1. Hallal CZ, Marques NR, Vieira ER, Brunt D, Spinoso DH, Castro A, et al. Lower limb muscle coactivation levels in healthy younger and older adults during functional dual-task gait. *Motriz: Revista de Educação Física*. 2013;19:620-6. <https://doi.org/10.1590/S1980-65742013000300013>
2. Allen JL, Franz JR. The motor repertoire of older adult fallers may constrain their response to balance perturbations. *Journal of Neurophysiology*. 2018;120(5):2368-78. <https://doi.org/10.1152/jn.00302.2018>
3. Hortobágyi T, DeVita P. Muscle pre- and coactivity during downward stepping are associated with leg stiffness in aging. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2000;10(2):117-26. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(99\)00026-7](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(99)00026-7)
4. Maslivec A, Bampouras T, Dewhurst S, Vannozzi G, Macaluso A, Laudani L. Mechanisms of head stability during gait initiation in young and older women: a neuro-mechanical analysis. *Journal of electromyography and kinesiology*. 2018;38:103-10. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2017.11.010>
5. Motalebi SA, Cheong LS, Iranagh JA, Mohammadi F. Effect of low-cost resistance training on lower-limb strength and balance in institutionalized seniors. *Experimental aging research*. 2018;44(1):48-61. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2017.1398810>
6. Wingert JR, Welder C, Foo P. Age-related hip proprioception declines: effects on postural sway and dynamic balance. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2014;95(2):253-61. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2013.08.012>
7. Crozara LF, Morcelli MH, Marques NR, Hallal CZ, Spinoso DH, de Almeida Neto AF, et al. Motor readiness and joint torque production in lower limbs of older women fallers and non-fallers. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*. 2013; 23 (5):1131-8. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2013.04.016>
8. Błaszczyzyn M, Konieczny M, Pakosz P. Analysis of Ankle sEMG on Both Stable and Unstable Surfaces for Elderly and Young Women-A Pilot Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019;16(9):1544. <https://doi.org/10.3390/ijerph16091544>
9. Lo J, Lo O-Y, Olson EA, Habtemariam D, Iloputaife I, Gagnon MM, et al. Functional implications of muscle co-contraction during gait in advanced age. *Gait & posture*. 2017;53:110-4. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.01.010>
10. Blocquiaux S, Gorski T, Van Roie E, Ramaekers M, Van Thienen R, Nielens H, et al. The effect of resistance training, detraining and retraining on muscle strength and power, myofibre size, satellite cells and myonuclei in older men. *Experimental gerontology*. 2020;133:110860. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2020.110860>
11. Bogdanis GC. Effects of physical activity and inactivity on muscle fatigue. *Frontiers in physiology*. 2012;3:142. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00142>
12. Baker D, Newton RU. Acute effect on power output of alternating an agonist and antagonist muscle exercise during complex training. *J Strength Cond Res*. 2005;19(1):202-5. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2005\)19<202:AEOPPO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2005)19<202:AEOPPO>2.0.CO;2) <https://doi.org/10.1519/00124278-200502000-00034>
13. Callisaya ML, Blizzard L, Schmidt MD, McGinley JL, Srikanth VK. Ageing and gait variability-a population-based study of older people. *Age and ageing*. 2010;39(2):191-7. <https://doi.org/10.1093/ageing/afp250>
14. Hosseinabadi MR, GHASEMI GA, Goharjo ME, FEIZI M. Effects of conventional core stability and core stability suspension exercises on multifidus muscle endurance, pain and quality of life in people with nonspecific chronic low back pain. 2019.
15. Behm D, Colado JC. The effectiveness of resistance training using unstable surfaces and devices for rehabilitation. *International journal of sports physical therapy*. 2012;7(2):226.
16. Ferreira LAB, Pereira WM, Rossi LP, Kerpers II, de Paula Jr AR, Oliveira CS. Analysis of electromyographic activity of ankle muscles on stable and unstable surfaces with eyes open and closed. *Journal of bodywork and movement therapies*. 2011;15(4):496-501. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2010.09.003>
17. Scott BR, Slattery KM, Sculley DV, Dascombe BJ. Hypoxia and resistance exercise: a comparison of localized and systemic methods. *Sports medicine*. 2014;44(8):1037-54. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0177-7>
18. Crisafulli A, de Farias RR, Farinatti P, Lopes KG, Milia R, Sainas G, et al. Blood flow restriction training reduces blood pressure during exercise without affecting metaboreflex activity. *Frontiers in physiology*. 2018;9:1736. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01736>
19. Næss-Schmidt ET, Morthorst M, Pedersen AR, Nielsen JF, Stubbs PW. Corticospinal excitability changes following blood flow restriction training of the tibialis anterior: a preliminary study. *Heliyon*. 2017;3(1):e00217. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2016.e00217>

20. Contessa P, De Luca CJ, Kline JC. The compensatory interaction between motor unit firing behavior and muscle force during fatigue. *Journal of neurophysiology*. 2016;116(4):1579-85. <https://doi.org/10.1152/jn.00347.2016>
21. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *Journal of Applied Physiology*. 2002;92(6):2309-18. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01185.2001>
22. Sale DG. Neural Adaptation to Strength Training. *Strength and Power in Sport 2003*. p. 281-314. <https://doi.org/10.1002/9780470757215.ch15>
23. Hughes L, Paton B, Rosenblatt B, Gissane C, Patterson SD. Blood flow restriction training in clinical musculoskeletal rehabilitation: a systematic review and meta-analysis. *British journal of sports medicine*. 2017;51(13):1003-11. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-097071>
24. Centner C, Zdzieblik D, Roberts L, Gollhofer A, König D. Effects of Blood Flow Restriction Training with Protein Supplementation on Muscle Mass And Strength in Older Men. *Journal of sports science & medicine*. 2019;18(3):471-8.
25. Clarkson MJ, Conway L, Warmington SA. Blood flow restriction walking and physical function in older adults: A randomized control trial. *Journal of science and medicine in sport*. 2017;20(12):1041-6. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.04.012>
26. Plaza-Florido A, Migueles JH, Piepoli A, Molina-Garcia P, Rodriguez-Ayllon M, Cadenas-Sanchez C, et al. Blood Flow-Restricted Training in Older Adults: A Narrative Review. *Journal of Science in Sport and Exercise*. 2020;2(1):25-37. <https://doi.org/10.1007/s42978-019-00034-4>
27. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology*. 2000; 10 (5):361-74. [https://doi.org/10.1016/S1050-6411\(00\)00027-4](https://doi.org/10.1016/S1050-6411(00)00027-4)
28. Makizako H, Furuna T, Ihira H, Shimada H. Age-related Differences in the Influence of Cognitive Task Performance on Postural Control Under Unstable Balance Conditions. *International Journal of Gerontology*. 2013;7(4):199-204. <https://doi.org/10.1016/j.ijge.2013.01.014>
29. Patterson SD, Ferguson RA. Enhancing strength and postocclusive calf blood flow in older people with training with blood-flow restriction. *Journal of aging and physical activity*. 2011;19(3):201-13. <https://doi.org/10.1123/japa.19.3.201>
30. Shimizu R, Hotta K, Yamamoto S, Matsumoto T, Kamiya K, Kato M, et al. Low-intensity resistance training with blood flow restriction improves vascular endothelial function and peripheral blood circulation in healthy elderly people. *European journal of applied physiology*. 2016;116(4):749-57. <https://doi.org/10.1007/s00421-016-3328-8>
31. Yasuda T, Fukumura K, Uchida Y, Koshi H, Iida H, Masamune K, et al. Effects of Low-Load, Elastic Band Resistance Training Combined With Blood Flow Restriction on Muscle Size and Arterial Stiffness in Older Adults. *The journals of gerontology Series A, Biological sciences and medical sciences*. 2015;70(8):950-8. <https://doi.org/10.1093/gerona/glu084>
32. de Castro FMP, Alves GF, Oliveira LP, Tourinho Filho H, Puggina EF. Strength training with intermittent blood flow restriction improved strength without changes in neural aspects on quadriceps muscle. *Science & Sports*. 2019;34(3):e175-e85. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2018.10.012>
33. Pinto RS, Correa CS, Radaelli R, Cadore EL, Brown LE, Bottaro M. Short-term strength training improves muscle quality and functional capacity of elderly women. *Age (Dordrecht, Netherlands)*. 2014;36(1):365-72. <https://doi.org/10.1007/s11357-013-9567-2>
34. Libardi CA, Chacon-Mikahil MP, Cavaglieri CR, Tricoli V, Roschel H, Vechin FC, et al. Effect of concurrent training with blood flow restriction in the elderly. *International journal of sports medicine*. 2015;36(5):395-9. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1390496>
35. Gagnat Y, Brændvik SM, Roeleveld K. Surface Electromyography Normalization Affects the Interpretation of Muscle Activity and Coactivation in Children With Cerebral Palsy During Walking. *Frontiers in neurology*. 2020;11:202. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00202>
36. Yang DJ, Park SK, Uhm YH, Park SH, Chun DW, Kim JH. The correlation between muscle activity of the quadriceps and balance and gait in stroke patients. *Journal of physical therapy science*. 2016;28(8):2289-92. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.2289>
37. Vissing K, Brink M, Lønborg S, Sørensen H, Overgaard K, Danborg K, et al. Muscle adaptations to plyometric vs. resistance training in untrained young men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2008;22(6):1799-810. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318185f673>
38. Arnold P, Bautmans I. The influence of strength training on muscle activation in elderly persons: a systematic review and meta-analysis.

- Experimental gerontology. 2014;58:58-68. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2014.07.012>
39. Anderson K, Behm DG. Trunk muscle activity increases with unstable squat movements. Canadian journal of applied physiology. 2005;30(1):33-45. <https://doi.org/10.1139/h05-103>
  40. Burgomaster KA, Moore DR, Schofield LM, Phillips SM, Sale DG, Gibala MJ. Resistance training with vascular occlusion: metabolic adaptations in human muscle. Medicine and science in sports and exercise. 2003;35(7):1203-8. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000074458.71025.71>
  41. Ochi A, Yokoyama S, Abe T, Yamada K, Tateuchi H, Ichihashi N. Differences in muscle activation patterns during step recovery in elderly women with and without a history of falls. Aging clinical and experimental research. 2014;26(2):213-20. <https://doi.org/10.1007/s40520-013-0152-4>
  42. Eckardt N. Lower-extremity resistance training on unstable surfaces improves proxies of muscle strength, power and balance in healthy older adults: a randomised control trial. BMC Geriatrics. 2016;16(1):191. <https://doi.org/10.1186/s12877-016-0366-3>
  43. Granacher U, Lacroix A, Muehlbauer T, Roettger K, Gollhofer A. Effects of core instability strength training on trunk muscle strength, spinal mobility, dynamic balance and functional mobility in older adults. Gerontology. 2013;59(2):105-13. <https://doi.org/10.1159/000343152>
  44. Seo B-D, Yun YD, Kim H-R, Lee S-h. Effect of 12-week Swiss Ball Exercise Program on Physical Fitness and Balance Ability of Elderly Women. Journal of Physical Therapy Science. 2012;24:11-5. <https://doi.org/10.1589/jpts.24.11>
  45. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. Medicine & science in sports & exercise. 2004;36(4):674-88. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121945.36635.61>
  46. Durch Krafttraining NA. Neuronal adaptations to strength training. Deutsche zeitschrift für sportmedizin. 2007;58(2).
  47. Ribeiro AS, Avelar A, Schoenfeld BJ, Trindade MC, Ritti-Dias RM, Altimari LR, et al. Effect of 16 weeks of resistance training on fatigue resistance in men and women. Journal of human kinetics. 2014;42:165. <https://doi.org/10.2478/hukin-2014-0071>
  48. Behm DG. Neuromuscular implications and applications of resistance training. Journal of Strength and Conditioning Research. 1995;9:264-74. <https://doi.org/10.1519/00124278-199511000-00014> [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(1995\)009<0264:NI AAOR>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(1995)009<0264:NI AAOR>2.3.CO;2)
  49. Madhavan S, Shields RK. Influence of age on dynamic position sense: evidence using a sequential movement task. Experimental brain research. 2005;164(1):18-28. <https://doi.org/10.1007/s00221-004-2208-3>
  50. McBride JM, Cormie P, Deane R. Isometric squat force output and muscle activity in stable and unstable conditions. J Strength Cond Res. 2006;20(4):915-8. <https://doi.org/10.1519/R-19305.1> <https://doi.org/10.1519/00124278-200611000-00031>
  51. Ferreira L, Pereira W, Rossi L, Kerpers I, Júnior A, Oliveira C. Analysis of electromyographic activity of ankle muscles on stable and unstable surfaces with eyes open and closed. Journal of bodywork and movement therapies. 2011;15:496-501. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2010.09.003>
  52. Praxedes J, Leporace G, Pinto SM, Pereira GR, Silva A, Batista LA, editors. CO-CONTRACTION OF TIBIALIS ANTERIOR AND SOLEUS MUSCLES DURING EXERCISES WITH DIFFERENT CONDITIONS OF INSTABILITY 2011.
  53. Yasuda T, Fukumura K, Uchida Y, Koshi H, Iida H, Masamune K, et al. Effects of low-load, elastic band resistance training combined with blood flow restriction on muscle size and arterial stiffness in older adults. Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences. 2015; 70 (8):950-8. <https://doi.org/10.1093/gerona/glu084>
  54. Suga T, Okita K, Morita N, Yokota T, Hirabayashi K, Horiuchi M, et al. Intramuscular metabolism during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. Journal of applied physiology (Bethesda, Md: 1985). 2009; 106 (4):1119-24. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90368.2008>
  55. Takarada Y, Sato Y, Ishii N. Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. European journal of applied physiology. 2002; 86 (4):308-14. <https://doi.org/10.1007/s00421-001-0561-5>
  56. Tanimoto M, Madarame H, Ishii N. Muscle oxygenation and plasma growth hormone concentration during and after resistance exercise: Comparison between “KAATSU” and other types of regimen. International Journal of KAATSU Training Research. 2005;1(2):51-6. <https://doi.org/10.3806/ijktr.1.51>