

مقایسه تاثیر هشت هفته تمرین مقاومتی ناپایدار TRX و تمرین تناوبی با اعمال محدودیت جریان خون بر pgc1 alpha در هندبالیست‌های نوجوان پسر

چکیده

پیش زمینه و هدف: گیرنده فعال‌کننده تکثیر پروکسی زوم گاما کوآکتیواتور-1 آلفا (PGC-1 α) یک تنظیم‌کننده مهم بیوژنز میتوکندری است که بیان آن در ماهیچه اسکلتی می‌تواند در نتیجه تمرینات ورزشی افزایش یابد. پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر هشت هفته تمرینات تناوبی با شدت بالا HIIT همراه با تمرینات محدود کننده‌ی جریان خون (BFR) و TRX بر بیان PGC-1 α در هندبالیست‌های نوجوان پسر، صورت گرفت.

روش: پژوهش حاضر از نوع کاربردی-نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون بود که روی هندبالیست‌های نوجوان پسر شهرستان دهدشت طی سال 1402 صورت گرفت. آزمودنی‌ها به طور تصادفی به سه گروه کنترل، تمرین تناوبی شدید (HIIT) همراه با BFR، تمرین TRX و کنترل تقسیم شدند. نمونه خون از نمونه اخذ گردید و سه گروه به لحاظ غلظت PGC-1 قبل و پس از 8 هفته تمرین مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج: در گروه کنترل، تفاوتی بین میانگین PCG1- α در پیش‌آزمون و پس‌آزمون مشاهده نشد ($P=0/13$). با این حال، در گروه-های تمرین TRX ($P=0/016$) و تمرین تناوبی و BFR ($P=0/001$) مقادیر PCG1- α در پس‌آزمون به طور معنی‌داری بیشتر از پیش‌آزمون بود. یافته‌های آزمون تحلیل واریانس یک راهه نشان داد که بین مقادیر PCG1- α در پس‌آزمون گروه‌های مختلف مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P=0/3$ و $F=1/26$).

نتیجه‌گیری: هشت هفته تمرین TRX و تمرین تناوبی همراه با BFR بر شاخص PCG1- α در هندبالیست‌های نوجوان پسر تاثیری ندارد.

کلیدواژه‌ها: تمرین تناوبی شدید، تیآرایکس، بیان PCG1- α ، BFR

Comparison of eight weeks of TRX unstable resistance training and intermittent training with blood flow restriction on pgc1 alpha in teenage male handball players

Abstract

Background and aim: The Peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator-1 alpha (PGC-1 α) plays a crucial role in regulating mitochondrial biogenesis, and its expression in skeletal muscle can be enhanced by exercise. This study aimed to examine the impact of an eight-week high-intensity HIIT training regimen, combined with blood flow restriction (BFR) and TRX exercises, on the expression of PGC-1 α in adolescent male handball players.

Meethods: The present study, an applied semi-experimental research with a pre-test-post-test design, was carried out on adolescent male handball players in Dehdasht city in 1402. Participants were randomly assigned to one of three groups: HIIT with BFR, TRX training, and a control group. Blood samples were collected from the participants, and the PGC-1 concentration was compared among the three groups before and after the eight-week training period.

Results: In the control group, there was no significant difference in the mean PGC1- α levels between the pre-test and post-test ($P=0.13$). However, in the TRX training group ($P=0.016$) and

the intermittent training with BFR group ($P=0.001$), the post-test PGC1- α levels were significantly higher than the pre-test levels. The results of the one-way analysis of variance test revealed no significant difference in the post-test PGC1- α levels among the different study groups ($P=0.3$ and $F=1.26$).

Conclusion: Eight weeks of TRX and intermittent training with BFR does not influence the PGC1- α index in adolescent male handball players.

Keywords: intense interval training, thyroxine, PGC1- α expression, BFR

مقدمه

در سال‌های اخیر تمرین تناوبی با شدت بالا (HIIT) به عنوان یکی از روش‌های تمرینی سودمند جهت بالاتر بردن توان عضلانی ورزشکاران، مورد توجه قرار گرفته است. امروزه، اشکال تازه‌ای از تمرینات در زمینه‌ی آمادگی جسمانی و توانبخشی ارائه شده است. تمرین TRX یکی از جدیدترین اشکال تمرینات پایداری است که برخلاف تمرین‌های مقاومتی سنتی که استرس و فشار تمرینی به یک گروه عضله وارد می‌کند، تقویت گروه‌های عضلانی را به طور همزمان امکان پذیر می‌سازد (Aminaei et al., 2023).

یک دسته دیگر از این تمرینات همراه با محدودیت جریان خون (BFR) است. یکی از راه کارهای بالقوه‌ی افزایش سازگاری با HIIT ادغام این تمرینات با BFR است. تمرینات BFR از راه کاهش موضعی جریان خون در دراز مدت منجر به ایجاد سازگاری-های سلولی و متابولیک، افزایش رگ زایی، سلول‌های ماهواره‌ای، هایپرتروفی عضله و تحریک هورمون‌های آنابولیک می‌شود و قادر به افزایش سیگنال دهی عضلات اسکلتی است (Aminaei et al., 2023). نتایج مطالعاتی که در آنها از کاف‌های تنظیم کننده‌ی فشار استفاده شد نشان می‌دهد که اعمال BFR در دامنه‌ی فشار 160-210 میلی متر جیوه در حین اجرای تمرین رکاب زدن با شدت پایین، می‌تواند حداکثر اکسیژن مصرفی و ظرفیت تمرین را افزایش دهد (Fathi et al., 2012).

گیرنده‌های فعال کننده تکثیر پروکسی زوم‌ها مانند گیرنده فعال کننده تکثیر پروکسی زوم گاما کوآکتیواتور-1 (PGC-1 α) یک تنظیم کننده مهم بیوژنز میتوکندری است (Mahdavi et al., 2022). یافته‌ها نشان داده است که تمرینات ورزشی می‌توانند بیان PGC-1 α را در ماهیچه اسکلتی القا کنند (Olesen et al., 2010). آزمایش‌های مربوط به مدل‌های حیوانی و سلولی نشان داده‌اند که بیان ژن PGC-1 α توسط چندین مسیر سیگنالینگ بالادستی مانند پروتئین‌های کیناز فعال شده با AMP و CAM و p38 MAPK، که مستقیماً پروتئین PGC-1 α را فسفریله می‌کنند و/یا رونویسی ژن PGC-1 α را افزایش می‌دهند، تنظیم می‌شود (Fernandez-Marcos & Auwerx, 2011). مشاهدات مطالعات انسانی نیز نشان داده است که هم mRNA PGC-1 α و هم مسیرهای تنظیمی بالادست آن در اثر تمرین افزایش می‌یابد. با این حال، با توجه به اینکه ورزش به طور همزمان بسیاری از فعال کننده‌های بالادستی این مسیرهای سیگنالینگ را افزایش می‌دهد، تفکیک اثرات یک مسیر تنظیمی PGC-1 α در عضله اسکلتی انسان با استفاده از مدل‌های تمرین سنتی چالش برانگیز است (Egan et al., 2010; Scribbans et al., 2017).

اگرچه در سال‌های اخیر رویکردهای تمرینی متنوع از جمله تمرینات HIIT و TRX و BFR توسط ورزشکاران حرفه‌ای و غیرحرفه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است، در ارتباط با ساز و کارهای سلولی مولکولی آنها در زمینه‌ی بیوژنز میتوکندریایی

اطلاعات اندکی در دسترس است. براساس یافته‌های یک مطالعه، اجرای تمرین تناوبی با شدت بسیار بالا همراه با BER و یا به صورت منفرد بیان متغیرهای PGC-1 α و فاکتور رشد اندوتلیال عروقی (VEGF) در سطح mRNA را بلافاصله و سه ساعت پس از تمرین افزایش می‌دهد. این در حالی بود که تفاوت میان دو روش تمرینی به معناداری نرسید (Taylor et al., 2016). نتایج یک مطالعه‌ی دیگر حاکی از افزایش بیان PGC-1 α mRNA در گروه تمرین HIIT همراه BFR نسبت به HIIT به صورت منفرد بود (Christiansen et al., 2018). با اینکه مطالعات اخیر نقش مهمی از سیگنال دهی پروتئین‌های کیناز فعال شده با AMP یا AMPK را در تقویت mRNA PGC-1 α به دنبال BFR گزارش کرده‌اند (Christiansen et al., 2018; Norrbom et al., 2011)، کاف‌های پنوماتیک (Pneumatic cuffs) ممکن است علاوه بر هیپوکسی موضعی عضلانی، منجر به تورم سلولی شوند، که تشخیص تأثیر آن را دشوار می‌کند (Bennett & Slattery, 2019). علاوه بر این، اکثریت قریب به اتفاق مطالعات انجام شده روی تمرینات اروبیک BFR کیفیت مطالعه پایینی داشتند (Bennett & Slattery, 2019) که نشان‌دهنده احتمال بالای سوگیری در خصوص نتایج بدست آمده است (Christiansen et al., 2018; Conceicao et al., 2016). این یافته‌ها بر انجام مطالعات بیشتر در خصوص تأثیر این روش تمرینی بر مسیر تنظیمی PGC-1 α تأکید می‌کند.

در برخی ورزش‌ها مانند هندبال، تمرین قدرتی، عملکرد ورزش را افزایش، آسیب‌های عضلانی را کاهش و انگیزه بالایی برای ورزشکاران ایجاد می‌کند. ویژگیهای آنروپومتریکی و سطوح بالایی از قدرت و توان عضلانی از مهمترین عوامل برای حضور موفق در هندبال است. هندبالیست‌های نوجوان از روشهای مختلف تمرینی برای افزایش آمادگی هوازی و بی‌هوازی استفاده می‌کنند، تحقیقات اخیر نشان داده اند که شکلی از تمرینات که با عنوان تمرینات تناوبی شدید شناخته می‌شوند، باعث بهبود سریع و همزمان این متغیرها در مقایسه با تمرینات تداومی با شدت متوسط می‌شوند (Wang et al., 2023). با توجه لزوم انجام تمرینات قدرتی ویژه برای هندبالیست‌ها و از طرفی احتمال آسیب‌زا بودن تمرینات با وزنه در هندبالیست‌های نوجوان، طراحی یک روش تمرینی مناسب برای افزایش قدرت در این رده سنی، ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به آنچه گفته شد، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر هشت هفته تمرینات HIIT و TRX و محدود کننده‌ی جریان خون و همچنین تفاوت این دو تمرین بر بیان PGC-1 α در هندبالیست‌های نوجوان پسر، صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و نیمه تجربی با طرح پیش‌آزمون - پس آزمون بود که روی هندبالیست‌های نوجوان پسر شهرستان دهدشت طی سال 1402 صورت گرفت.

معیارهای ورود و خروج

معیارهای ورود در پژوهش حاضر داشتن سلامت جسمانی و سن بین 12 تا 18 سال بود. داشتن هرگونه بیماری‌های قلبی-عروقی-تنفسی، مصدومیت، جراحی، مصرف الکل و دخانیات، مصرف مکمل‌های آنتی‌اکسیدانی حداقل طی سه ماه گذشته معیارهای خروج از این مطالعه بودند.

طراحی مطالعه

طراحی مطالعه

برای بررسی اهداف مطالعه با توجه به آزمون من ویتنی و قدرت تشخیص 90٪ برای توزیع نرمال، non-inferiority برابر با 3 و سطح معنی دار 0/05 و انحراف استاندارد 1/5 برای جمعیت مورد مطالعه، در کل، 30 هندبالیست جهت شرکت در این مطالعه به صورت در دسترس انتخاب شدند. با مراجعه به مراکز ورزشی شهرستان دهدشت از هندبالیست‌های نوجوان حرفه‌ای جهت شرکت در مطالعه حاضر دعوت به عمل آمد.

قبل از شروع تحقیق، طی جلسه‌ای هدف از اجرای تحقیق، معیارها و ضوابط تحقیق به آزمودنی‌ها شرح داده شد و وضعیت پزشکی و ورزشی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس، آزمودنی‌ها به طور تصادفی به سه گروه تمرین HIIT همراه با BFR، تمرین TRX و کنترل تقسیم شدند. اطلاعات مرتبط به صورت میدانی و آزمایشگاهی گردآوری شد. 24 ساعت قبل از شروع تمرین و 48 ساعت بعد از آخرین جلسه تمرینی قد، وزن، شاخص توده بدن (BMI)¹، درصدچربی و $\dot{V}O_{2max}$ ² آزمودنی‌ها اندازه‌گیری شد. جهت ارزیابی متغیرهای بیوشیمیایی، آزمودنی‌ها پس از 12 ساعت ناشتایی در دو مرحله قبل از شروع تمرینات و 48 ساعت پس از آخرین جلسه تمرین به آزمایشگاه مراجعه نموده و در هر مرحله توسط کارشناس آزمایشگاه از سیاهرگ آنتی کوبیتال³ دست چپ آزمودنی‌ها در حالت استراحت و در وضعیت نشسته 10 میلی‌لیتر خون گرفته شد. نمونه‌های خون پس از سانتریفیوژ و جدا کردن سرم، جهت اندازه‌گیری عوامل بیوشیمیایی در دمای 80 درجه سانتیگراد نگهداری شد. جهت بررسی غلظت PGC-1 α در سرم از روش الایزا استفاده شد (کد اقتصادی: MBS2706377، حساسیت: 0/057 نانوگرم بر میلی‌گرم، شرکت MyBioSource، ساخت چین) نهایتاً، غلظت PGC-1 α در سرم آزمودنی‌ها قبل و پس از مداخله مورد مقایسه قرار گرفتند.

پروتکل تمرین TRX

برنامه تمرینی مقاومت، شامل 8 هفته تمرین با دو ماکروسیکل 5 هفته‌ای بود که با استناد به مطالعات قبلی تنظیم شد (Maté- 2014; Snarr et al., 2014; Muñoz et al.). آزمودنی‌ها تمرینات TRX را سه بار در هفته در زمانی غیر از روزهایی که تمرینات معمول هندبال داشتند، انجام دادند. قبل از شروع دوره تمرینی سه جلسه آشنایی با تمرینات برای همه آزمودنی‌ها برگزار شد. هر جلسه تمرین شامل 10 دقیقه گرم کردن عمومی، 15 دقیقه تمرین TRX و 10 دقیقه سرد کردن، بود. اجرای تمرینات ماکروسیکل در 4 هفته اول شامل 9 حرکت بود که عضلات اندام فوقانی، مرکزی و تحتانی را درگیر می‌کند. تمرینات در دو هفته اول به علت سرعت پایین اجرای حرکات (عدم آشنایی کامل با تمرینات) 8 بار تکرار شد با شدت کمتری صورت گرفت. در دو هفته دوم با رعایت کردن اصل اضافه بار، میزان شدت و تعداد تکرارها افزایش یافت و همچنین، تغییر زاویه فرد نسبت به زمین و ارتفاع باند اعمال شد. در ماکروسیکل 4 هفته دوم، جهت رعایت اصل اضافه بار و اصل تنوع، تعداد و نوع حرکتی که همان عضله را درگیر می‌کند تغییر داده شد. به این صورت که در هفته پنجم تا ششم هر آزمودنی 11 حرکت را در 15 دقیقه اجرا می‌کند. سپس، تمرین اصلی با فاصله استراحت 30 ثانیه با 8 تکرار انجام گردید و برای اعمال مجدد اضافه بار، در هفته هفتم تا هشتم، هر حرکت با 10 تکرار و همچنین افزایش شیب اجرا شد. برنامه تمرینی TRX طی 8 هفته در جدول 1 نمایش داده شده است. تمرینات هندبال سه روز در هفته و هر جلسه 90 دقیقه شامل گرم کردن، تمرینات ویژه هندبال و سرد کردن بود. در هر جلسه تمرینی 15 دقیقه پایانی بازی هندبال رقابتی انجام شد.

¹ Body mass index

² Maximal oxygen consumption

³ Antecubital vein

جدول 1: برنامه تمرینی TRX طی 8 هفته

7-8 هفته		5-6 هفته		حرکات TRX	3-4 هفته		1-2 هفته		حرکات TRX
تکرار	دوره	تکرار	دوره		تکرار	دوره	تکرار	دوره	
10	3	8	3	کشش گلف	10	3	8	3	پرس جلو بازو
10	3	8	3	داخل و خارج ران	10	3	8	3	اسکات از جلو
10	3	8	3	پارویی پایین و بالا	10	3	8	3	بازکردن سه سر
10	3	8	3	خم کننده همسترینگ	10	3	8	-	لانژ
10	3	8	3	بازویی معکوس	10	3	8	3	دلتوئید وای فای
10	3	8	3	پلانک دور کننده	10	3	8	3	کرانچ
10	3	8	3	جلو بازو همراه دلتوئید وای فای	10	3	8	3	لانژ جلو همراه با کشش خم کننده ران
10	3	8	3	لوله شدن به سمت بیرون با زانو همراه باز کردن سه سر	10	3	8	3	خم کننده همسترینگ و پرس لگن
10	3	8	3	اسکات همراه با پرش	10	3	8	3	پرس سینه تک پا
10	3	8	3	پلانک پهلوی					
10	3	8	3	پرش لانژ					

روش تجزیه و تحلیل آماری

در این مطالعه، آنالیز داده‌ها توسط نرم افزار SPSS نسخه 24 انجام شد. از آمار توصیفی به منظور محاسبه شاخص پراکندگی انحراف معیار، میانگین و فراوانی استفاده شد. جهت تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک استفاده شد. آزمون‌های لوین برای بررسی همگن بودن واریانس‌ها استفاده شد. برای بررسی تغییرات پیش آزمون نسبت به پس آزمون از آزمون t وابسته استفاده و جهت تعیین تفاوت بین گروه‌ها در پس آزمون از آنالیز واریانس یک راهه استفاده شد. همچنین، در صورت معنی‌داری آنالیز واریانس، برای تعیین محل تفاوت بین گروه‌ها از آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. داده‌ها در سطح کمتر از 0/05 معنی‌دار در نظر گرفته شدند.

ملاحظات اخلاقی

یافته‌های این مطالعه مستخرج از یک تز دانشجویی جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی گرایش فعالیت بدنی و تندرستی با کد اخلاق 016. REC. 1402. IR. IAU. BEHBAHAN. می‌باشد. همه معیارها و ضوابط تحقیق برای آزمودنی‌ها شرح داده شد و به آن‌ها اطمینان داده شد که در هر مرحله از تمرینات که توانایی ادامه فعالیت را ندارند و در صورت

بروز هر نوع مشکل، می‌توانند آزادانه تمرینات را ترک کنند. همچنین، به آزمودنی‌ها اطمینان داده شده که اطلاعات بدست آمده به صورت محرمانه باقی خواهد ماند و یک فرم رضایت نامه از آنان اخذ شد.

نتایج

شاخص‌های تن‌سنجی آزمودنی‌ها در گروه‌های مختلف در جدول 2 گزارش شده است.

جدول 2: توزیع شاخص‌های تن‌سنجی آزمودنی‌ها در گروه‌های مورد مطالعه

سن (سال)	قد (m)	وزن (Kg)	
16/50 ± 1/56	176 ± 3/5	72/6 ± 4/3	کنترل
17/20 ± 1/11	174/9 ± 3/3	67/5 ± 3	تمرین تناوبی با BFR
16/23 ± 2/12	173 ± 4/5	69/6 ± 3/3	TRX

میانگین سنی آزمودنی‌ها در گروه‌های کنترل، HIIT همراه با BFR، تمرین TRX و کنترل به ترتیب برابر بود با 1/11 ± 17/2، 16/23 ± 2/12 و 16/5 ± 1/56 بود. مقایسه میانگین تغییر $PCG1-\alpha$ (نانوگرم بر میلی لیتر) در سه گروه مطالعه قبل و پس از مداخله در جدول 3 نمایش داده شده است.

جدول 3: مقایسه میانگین متغیر $PCG1-\alpha$ در گروه‌های مورد مطالعه

گروه	زمان	میانگین + انحراف معیار (نانوگرم بر میلی لیتر)	مقدار t	مقدار p
گروه کنترل	پیش آزمون	3/20 ± 0/88	-1/86	0/13
	پس آزمون	4/51 ± 1/21		
تمرین TRX	پیش آزمون	3/02 ± 0/75	-3/17	0/016
	پس آزمون	3/86 ± 1/05		
تمرین تناوبی با BFR	پیش آزمون	2/55 ± 0/67	-3/46	0/001
	پس آزمون	4/80 ± 1/21		

براساس یافته‌های بدست آمده در گروه کنترل، تفاوتی بین میانگین $PCG1-\alpha$ در پیش آزمون و پس آزمون مشاهده نشد (P=0/13). با این حال، در گروه تمرین TRX، مقادیر $PCG1-\alpha$ در پس آزمون به طور معنی‌داری بیشتر از مقادیر پیش آزمون بود (P=0/016). همچنین، در گروه تمرین تناوبی و BFR مقادیر $PCG1-\alpha$ در پس آزمون به طور معنی‌داری بیشتر از مقادیر پیش آزمون بود (P=0/001). یافته‌های آزمون تحلیل واریانس یک راهه نشان داد که بین مقادیر $PCG1-\alpha$ در پس آزمون گروه‌های مختلف مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (P=0/3 و F=1/26). بنابراین، بین تاثیر هشت هفته تمرین TRX و تمرین

تناوبی با BFR بر شاخص $PCG1-\alpha$ در هندبالیست‌های نوجوان پسر تفاوتی وجود نداشت. یافته‌های آزمون تحلیل واریانس یک راهه در جدول 4 نمایش داده شده است.

جدول 4: یافته‌های آزمون تحلیل واریانس یک راهه

مجموع مربعات	df	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
3/40	2	1/70	1/26	0/30
22/96	27	1/35		
26/36	29			
کل				

بحث

به طور خلاصه، یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که مقادیر $PCG1-\alpha$ در گروه تمرین TRX و همچنین گروه تمرین تناوبی با BFR نسبت به پیش آزمون پس از هشت هفته تمرین افزایش یافت. با این حال، تفاوتی در مقادیر $PCG1-\alpha$ پیش آزمون و پس آزمون در گروه کنترل مشاهده نشد. بود. گروه‌ها تفاوتی از نظر $PCG1-\alpha$ در پس آزمون نداشتند.

تاثیر تمرینات BFR و TRX بر افزایش PGC1a در برخی مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است. تمرینات BFR با محدودیت جریان خون و مقاومتی که با افزایش رادیکال‌های آزاد از مسیرهای تولید بالقوه ی ROS، می‌تواند منجر به فعال‌سازی نیتریک اکسید، افزایش نیتریک اکسید سنتتاز اندوتلیالی، افزایش عامل رشد اندوتلیال عروقی، افزایش رگزایی و در نهایت فعال سازی محرک های بیوژنز میتوکندریایی شوند. تمرین زمینه‌ی فعالیت P38MAPK را فراهم می‌سازد که یکی از کینازهای مهم در مسیر فعال سازی بیوژنز میتوکندریایی محسوب می‌شود. علاوه بر این هاپوکسی موضعی ایجاد شده با BFR، $HIF-1\alpha$ را فعال می‌کند که می‌تواند تولید VEGF را بالا برده و در نتیجه آنژیوژنز را تحریک کند (Taylor et al., 2016).

در زمینه تاثیر تمرینات مقاومتی ناپایدار اطلاعات محدودی وجود دارد. حسینی و همکاران (2019) برای اولین بار اثر بخشی تمرینات TRX را بر سطوح سرمی $PGC-1\alpha$ بررسی کرد و نشان داد که این روش تمرینی موجب افزایش معنی‌دار سطوح سرمی $PGC-1\alpha$ و سیترات سنتاز نسبت به پیش آزمون و نسبت به گروه کنترل در زنان دارای اضافه وزن می‌گردد (Hosseini et al., 2021). با این حال، این نتیجه با یافته‌های مطالعه حاضر که تفاوتی بین گروه‌های مطالعه و کنترل در میزان $PGC-1\alpha$ نیافت در تناقض است که می‌تواند در نتیجه تفاوت‌های نمونه باشد، چراکه مطالعه حاضر روی نوجوان پسر ورزشکار صورت گرفت. یافته‌های یک مطالعه روی نمونه‌های حیوانی نیز نشان داد که تمرین مقاومتی با افزایش بیان KIR6.2 و SUR2a باعث افزایش $PGC1\alpha$ و فاکتور رونویسی میتوکندری A (TFAM) در بافت قلب موش‌ها می‌شود (Ahmadi et al., 2021). در ارتباط با آثار تمرینات TRX بر میتوکندری مطالعه دیگری یافت نشد، با این حال، بسیاری از مطالعات گذشته گزارش کردند که تمرین هوازی طولانی مدت تنظیم کننده قوی برای افزایش ظرفیت اکسیداتیو عضلات اسکلتی می‌باشد که اثر خود را به واسطه افزایش محتوی میتوکندری اعمال می‌کند (Irving et al., 2015; Laurin et al., 2019; Silva et al., 2009).

چندین مطالعه نشان دادند که محتوای میتوکندریایی با اندازه‌گیری سیترات سنتاز و سیتوکروم اکسیداز به میزان 25 تا 35 درصد پس از شش تا هفته تمرین تناوبی با شدت بالا افزایش پیدا می‌کند (Bakhtiari A, 2019; Gibala, 2021). حجم پایین تمرینات با شدت بسیار بالا، می‌تواند سازگاری‌های عضلانی مشابه با تمرین ورزشی شدت متوسط و حجم زیاد پس از دو و شش

هفته تمرین ایجاد نماید (Laursen & Buchheit, 2019). همچنین، نشان داده شده است که تمرین تناوبی شدید HIT سازگاری‌هایی همانند تمرین استقامتی سنتی از قبیل افزایش ظرفیت میتوکندریایی و بهبود عملکرد استقامتی را در پی دارد (Little et al., 2011). مطالعه بیاتی و همکاران حاکی از افزایش معنی‌دار $PGC-1\alpha$ و VEGF پس از چهار هفته تمرین تناوبی شدید بود (Bayati et al., 2018). مطالعه‌ی Gillen و همکاران نشان داد که تمرین با شدت بسیار بالا سه جلسه در هفته موجب افزایش فعالیت سیتрат سنتاز در مقایسه با تمرین هوازی با شدت متوسط می‌گردد (Gillen et al., 2016). میرزایی و همکاران (2019) نشان دادند که محرک‌های متابولیک مکانیزمی برای واسطه‌گری شبکه سیگنال‌دهی سلولی مسئول بیوژنز میتوکندری نیستند. با این حال، افزودن تمرینات BFR در طول تمرین هوازی باعث افزایش $PGC-1\alpha$ برای تنظیم بیوژنز میتوکندری می‌شود (Mirzaei et al., 2019). این یافته‌ها تا حدودی با یافته‌های مطالعه حاضر در تناقض است که می‌تواند در نتیجه تفاوت‌ها آزمودنی‌ها، شرایط متفاوت تمرین و دیگر متغیرهای مداخله‌گر باشد.

در همین راستا، حوصله و همکاران (2021) نشان دادند که 12 هفته تمرین BFR باعث افزایش معنی‌دار غلظت سرمی IGF-1 و کاهش معنی‌دار سطوح سرمی میوستانین می‌گردد، با این حال، اثری بر افزایش غلظت سرمی $PGC-1\alpha$ نداشت (Hoseleh et al., 2023). در تایید این یافته، در مطالعه حاضر نیز تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های تمرین و کنترل مشاهده نشد. تفاوت در سطح آمادگی جسمانی آزمودنی‌ها، تفاوت در ویژگی‌های فردی آزمودنی‌ها می‌تواند از دلایل اصلی این عدم تغییر باشد. از این رو به نظر می‌رسد مکانیسم تمرین مقاومتی با BFR مکانیسمی وابسته به افزایش رگ‌زایی و افزایش سنتز پروتئینی در راستای تغییراتی در سطوح سرمی میوستانین و IGF-1 است. یافته‌های یک مطالعه نتایج نشان داد که BFR نقش مهمی در تقویت $PGC-1\alpha$ mRNA دارد و اکسیژن رسانی به ماهیچه‌ها را بدون تاثیر عضلات کاهش می‌دهد (Preobrazenski et al., 2020). در همین راستا، مطالعه مهدوی و همکاران نشان داد که تمرینات استقامتی BFR خفیف تا متوسط، عملکرد قلب موش‌های پیر را تا حدی از طریق بهبود آپوپتوز، بازیابی تعادل ردوکس، بهبود فاکتور طول عمر کلوتو و افزایش تنظیم‌کننده کلیدی متابولیسم انرژی $PGC1-\alpha$ بهبود می‌بخشد (Mahdavi et al., 2022). به نظر می‌رسد تمرینات ورزشی با مکانیسم‌های پیام‌رسانی ناشی از انقباض عضلانی بیوژنز میتوکندریایی را آغاز می‌کنند. این مکانیسم در مرحله اول به افزایش سطح کاتکولامین‌ها مرتبط است. فعالیت‌های ورزشی با افزایش نوراپی نفرین منجر به افزایش آدنوزین مونو فسفات حلقوی از مسیر فعال سازی آدنیلات سیکلاز می‌شود و پس از فعال‌سازی پروتئین کیناز فعال شده با AMPK می‌تواند به فعال‌سازی عامل رونویسی تنفسی و $PCG1-\alpha$ منجر شود. تغییرات ولتاژی و فعال‌سازی کانال‌های حساس به ولتاژ می‌توانند از طریق پروتئین‌های شوک حرارتی به فعال‌سازی $PCG1-\alpha$ منجر شوند. فعال‌سازی مسیر کلسیم و کالمودولین کیناز وابسته به کلسیم نیز می‌تواند به افزایش بیان $PCG1-\alpha$ منجر شود. در نهایت تحریک بیوژنز میتوکندریایی ناشی از تغییرات آدنوزین تری فسفات (ATP) می‌تواند به افزایش بیوژنز میتوکندریایی منجر شود (Clausen et al., 2015). فعال‌سازی مسیرهایی مانند کاتکولامین‌ها و کلسیم در نهایت با افزایش بیان ژن سیتوکروم C همراه هستند که با فعال‌سازی ایزوفرم‌های مختلف پروتئین کیناز C حساس به کلسیم، مهار پروتئین کیناز فعال شده توسط میتوژن (Mitogen activated protein kinase)، فعال‌سازی کالمودولین کیناز 2، فعال‌سازی AMPK همراه است و با فعال‌سازی و افزایش بیان $PCG1-\alpha$ منجر به افزایش محتوای mtDNA و در نهایت تمایز و تکثیر میتوکندری می‌شوند (Naghdi et al., 2018). تمرینات متفاوت ورزشی مکانیسم‌های متفاوتی بر افزایش بیوژنز میتوکندریایی دارند. به گونه‌ای که برخی از این تمرینات با مکانیسم فعال کردن P38MAPK در عضله اسکلتی حیوانات و انسان‌ها، می‌تواند

فسفوریل‌اسیون و فعال سازی $\text{MEF2,PGC-1}\alpha$ و عامل نوع دوم رونویسی (Activating transcriptional factor-2) را به وجود آورند. (Jing et al., 2015). زیر واحدهای مختلف این پروتئین می‌توانند اثر مهارى و فعال کننده بر بیوژنز میتوکندریایی داشته باشند. برای مثال P38MAPK دارای ایزوفرم‌های مختلف مانند $\text{P38}\gamma$ است که به میزان بالایی در عضله‌ی اسکلتی یافت می‌شود و در پاسخ به دویدن حاد مانند دوی ماراثن فعال می‌شود (Zarghami Kamaneh & Pashaei, 2019). تمرین تناوبی شدید که معمولاً در شدتی فراتر از 80 درصد ضربان قلب بیشینه (95 – 85 درصد) اجرا می‌شود بر سازگاری‌های بیولوژیکی اثرات مختلفی دارد. این تمرینات وابسته به شدت، مدت، زمان استراحت، شمار تناوب‌ها، تعداد ست‌ها منجر به فعال سازی مسیرهای پیام رسانی وابسته به بیوژنز میتوکندریایی مانند فسفوریل‌اسیون AMPK و P38MAPK و بیان $\text{PGC-1}\alpha$ می‌شوند. فعال سازی منظم و تکراری این مسیرها، چگالی میتوکندریایی را افزایش می‌دهد. نقش شدت و طول دوره تمرین نیز در سازگاری بیولوژیکی تأیید شده است (Torma et al., 2019). در تمرینات BFR، جریان خون کاهش می‌یابد و با کاهش جریان خروجی خون، حجمی خون مویرگی با غلظت اکسیژن پایین به وجود می‌آید که به طور چشمگیری تولید پروتون‌ها و اسید لاکتیک را افزایش می‌دهد (Santos et al., 2014). با کاهش غلظت اکسیژن موضعی، متابولیسم بافتی به سمت بی هوازی سوق پیدا می‌کند. در نتیجه تجزیه‌ی ATP سرعت می‌گیرد و نسبت ADP به ATP افزایش یافته و با دخالت آدنیلات سیکلاز، تولید AMP که یکی از تنظیم کننده‌های کلیدی AMPK محسوب می‌شود، شدت پیدا می‌کند.

نتیجه گیری

هر دو تمرین مقاومتی TRX و تمرین تناوبی همراه با محدودیت جریان خون در بلند مدت می‌تواند موجب بهبود شاخص $\text{PGC-1}\alpha$ در ورزشکاران نوجوان هندبالیست گردد. با این حال تفاوت محسوسی بین دو شیوه تمرینی و گروه کنترل وجود نداشت، به این معنی که هشت هفته تمرین TRX و تمرین تناوبی همراه با BFR بر شاخص $\text{PGC1-}\alpha$ در هندبالیست‌های نوجوان پسر تأثیری ندارد.

منابع

- Ahmadi, F., Siahkhouhian, M., Mirdar, S., & Tapak, L. (2021). The Effect of a Detraining After Resistance Training on the Histochemical Expression of Potassium Channels and Mitochondrial Biogenesis of Heart Tissue in Male Rats. *Internal Medicine Today*, 27. 230-245 ,(2)
- Aminaei, M., Jirandeh, M. A., Abbasipoor, M., & Aminaie, M. (2023). Effect of TRX with blood flow restriction on IGF-1, protein synthesis, and function in females: TRX with BFR in active females. *Asian Exercise and Sport Science Journal*, 7. 63-76 ,(2)
- Bakhtiari A, G. A., Chubina S, Kurdi M, Hedayati M. (2019). Comparison of twelve weeks of intense intermittent exercise and moderate intensity continuous exercise on the expression of mitochondrial proteins $\text{PGC1}\alpha$ and Tfam in the hamstring muscle of aged rats. *Animal Biology Quarterly*, 2(4), 11-20
- Bayati, M., Gharakhanlou, R., Nikkhah, M., & Amani Shalamzari, S. (2018). The effect of four weeks of high-intensity interval training on $\text{PGC-1}\alpha$ and VEGF protein contents in skeletal muscle of active men. *Journal of Arak University of Medical Sciences*, 21(3), 24-32 .

- Bennett, H., & Slattery, F. (2019). Effects of blood flow restriction training on aerobic capacity and performance: A systematic review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(2), 572-583 .
- Christiansen, D., Murphy, R. M., Bangsbo, J., Stathis, C. G., & Bishop, D. J. (2018). Increased FXYD1 and PGC-1 α mRNA after blood flow-restricted running is related to fibre type-specific AMPK signalling and oxidative stress in human muscle. *Acta physiologica*, 223(2), e13045 .
- Clausen, A. R., Lujan, S. A., Burkholder, A. B., Orebaugh, C. D., Williams, J. S., Clausen, M. F., Malc, E. P., Mieczkowski, P. A., Fargo, D. C., & Smith, D. J. (2015). Tracking replication enzymology in vivo by genome-wide mapping of ribonucleotide incorporation. *Nature structural & molecular biology*, 22(3), 185-191 .
- Conceicao, M. S., Chacon-Mikahil, M. P. T., Telles, G. D., Libardi, C. A., Júnior, E. M. M., Vechin, F. C., Lugani de Andrade, A. L., Gaspari, A. F., Brum, P. C., & Cavaglieri, C. R. (2016). Attenuated PGC-1 α isoforms following endurance exercise with blood flow restriction. *Medicine and science in sports and exercise*, 16(4809), 1699-1707 .
- Egan, B., Carson, B. P., Garcia-Roves, P. M., Chibalin, A. V., Sarsfield, F. M., Barron, N., McCaffrey, N., Moyna, N. M., Zierath, J. R., & O’Gorman, D. J. (2010). Exercise intensity-dependent regulation of peroxisome proliferator-activated receptor γ coactivator-1 α mRNA abundance is associated with differential activation of upstream signalling kinases in human skeletal muscle. *The Journal of physiology*, 588(10), 1779-1790 .
- Fathi, M., Azarbayjani, M., Peeri, M., Saiedi, A., & Fatollahi, H. (2012). The effects of a three-week resistance exercise plus whole body vibration (WBV) on the testosterone-free cortisol ratio differences and activity of the α -salivary amylase enzyme. *The Scientific Journal Of Rehabilitation Medicine*, 1(4), 20-26 .
- Fernandez-Marcos, P. J., & Auwerx, J. (2011). Regulation of PGC-1 α , a nodal regulator of mitochondrial biogenesis. *The American journal of clinical nutrition*, 93(4), 884S-890S .
- Gibala, M. J. (2021). Physiological basis of interval training for performance enhancement. *Experimental Physiology*, 106(12), 2324-2327 .
- Gillen, J. B., Martin, B. J., MacInnis, M. J., Skelly, L. E., Tarnopolsky, M. A., & Gibala, M. J. (2016). Twelve weeks of sprint interval training improves indices of cardiometabolic health similar to traditional endurance training despite a five-fold lower exercise volume and time commitment. *PloS one*, 11(4), e0154075 .
- Hoseleh, A., Yaghoubi, A., Ariamanesha, A. S., & Rezaeian, N. (2023). The effect of resistance training along with electrical muscle stimulation on serum levels of PGC-1 α , IGF-1 and myostatin in athletes after ACL surgery. *Journal of Practical Studies of Biosciences in Sport*, 11(26), 20-29 .

- Hosseini, S. R. A., Fathi, M., Ziaaldini, M. M., & Hejazi, K. (2021). The effect of eight weeks of aerobic exercise with moderate and high intensities on serum irisin and PGC-1 α protein levels in obese male Wistar rats. *Journal of Shahrekord University of Medical Sciences*, 23(1), 14-19 .
- Irving, B. A., Lanza, I. R., Henderson, G. C., Rao, R. R., Spiegelman, B. M., & Nair, K. S. (2015). Combined training enhances skeletal muscle mitochondrial oxidative capacity independent of age. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 100(4), 1654-1663 .
- Jing, Y., Liu, W., Cao, H., Zhang, D., Yao, X., Zhang, S., Xia, H., Li, D., Wang, Y.-c., & Yan, J. (2015). Hepatic p38 α regulates gluconeogenesis by suppressing AMPK. *Journal of hepatology*, 62(6), 1319-1327 .
- Laurin, J. L., Reid, J. J., Lawrence, M. M., & Miller, B. F. (2019). Long-term aerobic exercise preserves muscle mass and function with age. *Current Opinion in Physiology*, 10, 70-74 .
- Laursen, P., & Buchheit, M. (2019). *Science and application of high-intensity interval training*. Human kinetics .
- Little, J. P., Safdar, A., Bishop, D., Tarnopolsky, M. A., & Gibala, M. J. (2011). An acute bout of high-intensity interval training increases the nuclear abundance of PGC-1 α and activates mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* .
- Mahdavi, N., Joukar, S., Najafipour, H., & Naderi-Boldaji, V. (2022). Promotion of aging heart function and its redox balance following hind-limb blood flow restriction plus endurance exercise training in rats: klotho and PGC1- α as involving candidate molecules. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 474(7), 699-708 .
- Maté-Muñoz, J. L., Monroy, A. J. A., Jiménez, P. J., & Garnacho-Castaño, M. V. (2014). Effects of instability versus traditional resistance training on strength, power and velocity in untrained men. *Journal of sports science & medicine*, 13(3), 460 .
- Mirzaei, B., Barjaste, A., & Rahmani-nia, F. (2019). The effect of aerobic exercise with and without blood flow restriction on lactate, cortisol and PGC-1 α response in human skeletal muscle. *Metabolism and Exercise* .27-37 ,(1)9 ,
- Naghdi, S., Slovinsky, W. S., Madesh, M., Rubin, E., & Hajnóczy, G. (2018). Mitochondrial fusion and Bid-mediated mitochondrial apoptosis are perturbed by alcohol with distinct dependence on its metabolism. *Cell Death & Disease*, 9(10), 10 .28

- Norrbom, J., Sällstedt, E.-K., Fischer, H., Sundberg, C. J., Rundqvist, H., & Gustafsson, T. (2011). Alternative splice variant PGC-1 α -b is strongly induced by exercise in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 301(6), E1092-E1098 .
- Olesen, J., Küllerich, K., & Pilegaard, H. (2010). PGC-1 α -mediated adaptations in skeletal muscle. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology*, 460, 153-162 .
- Preobrazenski, N., Islam, H., Drouin, P. J., Bonafiglia, J. T., Tschakovsky, M. E., & Gurd, B. J. (2020). A novel gravity-induced blood flow restriction model augments ACC phosphorylation and PGC-1 α mRNA in human skeletal muscle following aerobic exercise: a randomized crossover study. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 45(6), 641-649 .
- Santos, A., Neves Jr, M., Gualano, B., Laurentino, G., Lancha Jr, A., Ugrinowitsch, C., Lima, F., & Aoki, M. S. (2014). Blood flow restricted resistance training attenuates myostatin gene expression in a patient with inclusion body myositis. *Biology of sport*, 31(2), 121-124 .
- Scribbans, T. D., Edgett, B. A., Bonafiglia, J. T., Baechler, B. L., Quadrilatero, J., & Gurd, B. J. (2017). A systematic upregulation of nuclear and mitochondrial genes is not present in the initial postexercise recovery period in human skeletal muscle. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 42(6), 571-578 .
- Silva, L. A., Pinho, C. A., Scarabelot, K. S., Fraga, D. B., Volpato, A. M., Boeck, C. R., De Souza, C. T., Streck, E. L., & Pinho, R. A. (2009). Physical exercise increases mitochondrial function and reduces oxidative damage in skeletal muscle. *European journal of applied physiology*, 105, 861-867 .
- Snarr, R. L., Esco, M. R., & Nickerson, B. S. (2014). Metabolic and cardiovascular demands of a high-intensity interval exercise bout utilizing a suspension device. *Journal of Sport and Human Performance*, 2(3) .
- Taylor, C. W., Ingham, S. A., & Ferguson, R. A. (2016). Acute and chronic effect of sprint interval training combined with postexercise blood-flow restriction in trained individuals. *Experimental physiology*, 101(1), 143-154 .
- Torma, F., Gombos, Z., Jokai, M., Takeda, M., Mimura, T., & Radak, Z. (2019). High intensity interval training and molecular adaptive response of skeletal muscle. *Sports Medicine and Health Science*, 1(1), 24-32 .
- Wang, Y., Li, Z., Tongtong, C., Zhang, W., & Li, X. (2023). Effect of continuous and intermittent blood flow restriction deep-squat training on thigh muscle activation and fatigue levels in male handball players. *Scientific Reports*, 13(1), 19152 .

Zarghami Kamaneh, A., & Pashaei, Z. (2019). The effect of medium-and high-dose of caffeine (1, 3, 7-trimethylxanthine) intake on cardiovascular factors response at baseline and following one-bout aerobic exercise. *Journal of Applied Health Studies in Sport Physiology*, 6(2), 25-31 .