

## تأثیر تمرین مقاومتی همراه با هایپرتروفی عضلانی بر فعال‌سازی مسیر کالسی نورین و بیان مایوکاین IL-6 در عضله تند تنش موش‌های صحرائی دیابتی

### مهدیه ملانوری شمسی

۱. استادیار گروه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت‌مدرس \*

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۴

#### چکیده

با توجه به نقش این فسفاتاز در سیگنالینگ کلسیم در عضله اسکلتی، هدف از پژوهش حاضر، بررسی فعال‌سازی این فاکتور به دنبال تمرینات هایپرتروفیک مقاومتی در عضله خم‌کننده بلند انگشتان در موش‌های صحرائی دیابتی با آتروفی عضلانی می‌باشد. بدین منظور، موش‌های صحرائی با محدوده وزنی  $250 \pm 30$  گرم به گروه‌های کنترل سالم، تمرین سالم، دیابتی کنترل و دیابتی تمرین تقسیم شدند. گروه‌های تمرین جهت انجام تمرین مقاومتی، بالارفتن از یک نردبان یک متری با وزنه‌ای که به دم آن‌ها آویزان بود را به مدت ۱۷ جلسه اجرا کردند و میزان بیان اینترلوکین-شش و تنظیم‌کننده کالسی نورین-یک به عنوان شاخص فعال‌سازی کالسی نورین در عضله تند تنش خم‌کننده طویل انگشتان با روش ریل‌تایم پی‌سی‌آر اندازه‌گیری شد. نتایج پژوهش بیانگر افزایش بیان تنظیم‌کننده کالسی نورین-یک در اثر دیابت می‌باشد ( $P < 0.05$ ) بر اساس نتایج مشخص می‌شود که تمرین باعث کاهش این فاکتور در گروه دیابتی شده است و دیابت سبب افزایش بیان اینترلوکین-شش در عضله گردیده است. قابل ذکر است که تمرین مقاومتی، تغییری را در بیان این فاکتور در عضله تند تنش ایجاد نکرده است. علاوه بر این، دیابت باعث آتروفی عضلانی در نمونه‌های دیابتی گشته است و تمرین مقاومتی سبب حفظ توده عضلانی در دیابت و به صورت هم‌زمان، تعدیل تنظیم‌کننده کالسی نورین-یک در عضله گردیده است. شایان ذکر است که افزایش هم‌زمان در بیان اینترلوکین-شش و تنظیم‌کننده کالسی نورین-یک در نمونه‌های دیابتی پژوهش حاضر مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد تمرینات ورزشی مقاومتی با تعدیل بیان هم‌زمان این دو فاکتور، در حفظ توده عضلانی نقش داشته است.

**واژگان کلیدی:** دیابت نوع یک، کالسی نورین، اینترلوکین-شش، تمرین مقاومتی، عضله اسکلتی

## مقدمه

دیابت به عنوان خطری برای سلامتی در سراسر دنیا در حال گسترش است. مطالعات نشان داده‌اند که فعالیت بدنی فواید بسیاری برای افراد دیابتی دارد. انتقال گلوکز و عملکرد انسولین در عضله اسکلتی در حال انقباض که مهم‌ترین بافت مسئول جابه‌جایی گلوکز در کل بدن می‌باشد، تنظیم می‌شود (۱). در مورد مکانیسم‌های درگیر در بهبود عملکرد انسولین به دنبال فعالیت‌های ورزشی پژوهش‌های مختلفی انجام شده است (۱،۲). به نظر می‌رسد که بسیاری از مکانیسم‌های درگیر در اثرات مفید فعالیت‌های ورزشی در بیماران دیابتی، به ویژه در عضله اسکلتی هنوز مشخص نمی‌باشد.

حفظ توده عضلانی همواره در نمونه‌های دچار آتروفی عضلانی از جمله بیماران دیابت نوع یک مورد توجه بوده است (۳،۴). این فرضیه مطرح شده است که چندین وهله ورزش مقاومتی در یک دوره زمانی خاص باعث تحریک و تقویت فرایندهای مولکولی و سلولی می‌شود و منجر به پاسخ هایپرتروفی جبرانی می‌گردد و می‌تواند به حفظ توده عضلانی کمک کند (۵). به نظر می‌رسد تمرینات مقاومتی می‌تواند در مهار عوامل پروتئولیتیکی ایجادکننده کاپکسی و آتروفی عضلانی در بیماران دیابتی مؤثر باشد (۶،۷). همچنین، بررسی تغییرات سلولی و مولکولی ایجادشده در عضلات اسکلتی نمونه‌های دچار دیابت با توجه به اثرات عضله اسکلتی در تنظیم متابولیسم گلوکز می‌تواند در مسائل داروشناسی قابل توجه باشد.

علاوه بر این، کلسیم به عنوان پیام‌بر ثانویه در مسیرهای انتقال سیگنالینگ عمل می‌کند. نشان داده شده است که افزایش سطوح کلسیم داخل سلولی در عضله اسکلتی برای فعالیت انقباضی عضله اسکلتی ضروری می‌باشد و باعث افزایش بیان ژن‌های ویژه عضلانی از طریق مسیرهای نسخه‌برداری پایین‌دستی می‌شود (۸،۹). تغییرات در غلظت‌های کلسیم داخل سلولی نیز سبب تنظیم فعالیت‌های فیزیولوژیکی کالمودولین می‌گردد. علاوه بر این، کالمودولین یک مبدل انتقال‌دهنده پیام-رسان چندبعدی است که باعث فعال‌سازی مسیرهای پایین‌دستی مانند فسفاتازها شامل کالسی نورین و کینازها می‌شود (۱۰). شایان‌ذکر است که فسفاتاز سرین/ ترئونینی کالسی نورین در انواع مختلف فرایندهای پاتولوژیک و فیزیولوژیک شامل: پاسخ‌های ایمنولوژیکی، شکل‌پذیری عصبی و هایپرتروفی و نمو عضلانی نقش دارد (۱۱).

تنظیم‌کننده کالسی نورین یک (RCAN1)<sup>۱</sup>، عضو خانواده‌ای از پروتئین‌های حفاظتی است که تنظیم‌کننده طبیعی و درون‌ریز فسفاتاز سرین/ ترئونینی کالسی نورین می‌باشد (۱۲) و بیان بالای RCAN-1 با شرایط پاتوفیزیولوژیک بیماری‌هایی مانند سندروم داون، سرطان، نارسایی‌های قلبی و بیماری آلزایمر ارتباط دارد (۱۳). تغییرات ایجادشده در مورد این تنظیم‌کننده در بیماران دیابتی در

1. Regulator of Calcineurin 1

عضله اسکلتی مشخص نمی‌باشد. نشان داده شده است که یکی از مشکلات ایجاد شده در بیماران دیابتی به‌ویژه در دیابت‌های نوع یک، آتروفی عضلانی می‌باشد. تحلیل توده عضلانی که در این بیماران ایجاد می‌شود منجر به تأثیرات منفی در انتقال گلوکز ایجاد شده از طریق عضلات اسکلتی به‌عنوان انتقال‌دهندگان اصلی گلوکز جریان خونی می‌گردد (۱۴).

اوه<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۵) نشان داده‌اند که فعال‌سازی RCAN-1 با آتروفی عضلانی همراه می‌باشد (۱۵). ازسوی دیگر، پیشنهاد شده است که فعال‌سازی مسیر کالسی نورین باعث پاسخ‌های سازگاری می‌شود که منجر به افزایش عملکرد انسولین در عضله اسکلتی می‌شود. کالسی نورین فعال شده نیز منجر به القای چندین ژن می‌گردد که در تنظیم انتقال گلوکز در عضله اسکلتی درگیر می‌باشند (۱۶). علاوه‌براین، فعالیت‌های ورزشی باعث آزاد شدن سایتوکاین‌هایی از عضله اسکلتی می‌شود. مایوکاین‌ها به‌عنوان سایتوکاین‌های آزاد شده از عضله اسکلتی در نظر گرفته می‌شوند و باعث تسهیل چندین پاسخ سلولی به ورزش مانند سرکوب پروتئولیتیک، آنژیوژنز و تنظیم گلیکوژن عضلانی می‌گردند (۱۷). در میان مایوکاین‌ها، اینترلوکین-۶ (IL-6)<sup>۲</sup> توجه زیادی را به‌خود جلب نموده است؛ زیرا، از یک‌سو در دوره پس از ورزش؛ یعنی هنگام افزایش عملکرد انسولین رها می‌شود و ازسوی دیگر، با چاقی و کاهش عملکرد انسولین ارتباط دارد. مسیرهای مختلف بالادستی نسخه‌برداری ژن IL-6 بررسی شده است (۱۸). این فرضیه مطرح شده است که انقباض می‌تواند موجب نسخه‌برداری ژن IL-6 از راه کلسیم رها شده از مخازن انتهایی شبکه سارکوپلاسمی شود تا نسخه‌برداری ژن IL-6 را افزایش دهد. در این راستا، بانزت<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۷) عنوان کرده‌اند که یکی از مکانیسم‌های درگیر در نسخه‌برداری IL-6 در پاسخ به ورزش، مسیر کالسی نورین می‌باشد و افزایش فعال‌سازی کالسی نورین هم‌زمان با افزایش بیان مایوکاین IL-6 به‌دنبال ورزش مشاهده شده است (۱۹). ازسوی دیگر، عنوان شده است که IL-6 آزاد شده از عضله اسکلتی در پی ورزش می‌تواند یکی از مکانیسم‌های درگیر در بهبود مقاومت انسولین باشد (۱۸، ۱۷). علاوه‌براین، پژوهش‌های انجام شده نشان‌دهنده تأثیرات احتمالی IL-6 آزاد شده از عضله اسکلتی در تحریک سلول‌های ماهواره‌ای عضلانی و در نتیجه، ایجاد هایپرتروفی عضلانی می‌باشند (۲۰). علاوه‌براین، به اثرات کالسی نورین و فعال‌سازی آن در حفظ توده عضلانی نیز در برخی از مطالعات اشاره شده است (۲۱). به‌نظر می‌رسد که تغییرات هم‌زمان در فعال‌سازی کالسی نورین و مایوکاین IL-6 در پی تمرینات ورزشی مقاومتی می‌تواند یکی از مکانیسم‌های درگیر در حفظ توده عضلانی و در نتیجه، تنظیم متابولیسم گلوکز باشد.

- 
1. Oh
  2. Interleukin-6
  3. Banzet

تمرینات ورزشی مقاومتی با توجه به اثرات هایپرتروفیک خود برای حفظ توده عضلانی به‌ویژه در بیمارانی که با نارسایی‌های عضلانی مواجه هستند، همواره مورد توجه بوده است. از آن‌جا که اثرات دیابت و تمرینات ورزشی، به‌ویژه تمرینات مقاومتی بر فعال‌سازی کالسی نورین تاکنون مشخص نشده است و نیز با توجه به ارتباط احتمالی IL-6 و کالسی نورین، پژوهش حاضر در نظر دارد تغییرات ایجاد شده در این فاکتورها در موش‌های صحرایی دیابتی به‌همراه تمرینات ورزشی مقاومتی در عضله تند تنش را که به‌طور مستقیم تحت تأثیر این نوع تمرین قرار می‌گیرد، بررسی نماید.

### روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع مطالعات تجربی - کاربردی می‌باشد که در آن از ۳۲ سر موش صحرایی نر بالغ نژاد ویستار<sup>۱</sup> با محدوده وزنی  $250 \pm 30$  گرم تولید شده در انستیتو پاستور ایران استفاده گردید. حیوانات در شرایط ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی با درجه حرارت  $22 \pm 3$  درجه سانتی-گراد نگهداری شدند. شایان‌ذکر است که کلیه آزمایشات و تجربیات صورت گرفته بر اساس دستورالعمل کمیته کار با حیوانات آزمایشگاهی دانشگاه تربیت مدرس طراحی گردید. دیابت نیز با تزریق تک دوز استرپتوزوتوسین (STZ)<sup>۲</sup> حل شده در نرمال سالین (۵۵ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن، داخل صفاقی) ایجاد گشت (۲۲). چهار روز پس از تزریق، میزان قندخون ناشتا جهت تأیید دیابت اندازه‌گیری گردید و سطوح گلوکز  $250 \text{ mg/dl}$  به‌عنوان شاخص دیابتی شدن در نظر گرفته شد. در ادامه، حیوانات به‌صورت تصادفی در چهار گروه کنترل سالم (C)، تمرین سالم (T)، کنترل دیابتی (D) و تمرین دیابتی (DT) قرار گرفتند. موش‌های دیابتی هیچ‌گونه درمانی با انسولین در طول مطالعه نداشتند و نشانه‌های دیابت نوع یک مانند تکرر ادرار و کاهش وزن را از خود نشان دادند.

چهار روز پس از تزریق STZ و با تأیید دیابتی شدن موش‌ها، موش‌های صحرایی در گروه‌های T و DT به‌مدت پنج هفته و در مجموع، ۱۷ جلسه تمرین مقاومتی را اجرا نمودند. شایان‌ذکر است که استراحت بین جلسات تمرینی، ۴۸ ساعت در نظر گرفته شد. تمرین به‌وسیله یک نردبان با ارتفاع یک متر و با ۲۶ پله انجام گرفت. یک تکرار در این روش، مستلزم ۲۶ مرتبه بالا رفتن از نردبان توسط موش بود (در مجموع ۱۳ حمل وزنه به بالا یا لیفت). دوره آشناسازی موش‌های صحرایی با این نوع تمرین سه روز بود که ۴۸ ساعت قبل از تزریق STZ صورت گرفت (۲۳-۲۵).

- 
1. Wistar
  2. Streptozotocin

علاوه بر این، هر جلسه تمرین شامل پنج ست با چهار تکرار در هر ست و با ۶۰ ثانیه استراحت بین تکرارها و سه دقیقه استراحت بین ستها بود. شدت تمرین برای گروه T در سه جلسه اول معادل ۵۰ درصد وزن بدن موشها لحاظ شد، در جلسات چهار تا شش معادل ۸۰ درصد وزن بدن، در جلسات هفت تا نه معادل ۱۰۰ درصد وزن بدن و در جلسات ۱۰ تا ۱۲ معادل ۱۲۰ درصد وزن بدن بود. موشهای صحرایی در جلسات ۱۳ و ۱۴، یک دوره کاهش بار تمرینی با وزنه معادل ۱۲۰ درصد وزن بدن با سه ست و پنج تکرار را داشتند. در جلسات ۱۵ تا ۱۷ نیز وزنه‌ای معادل ۱۵۰ درصد وزن بدن را به بالای نردبان حمل کردند. علاوه بر این، موشهای صحرایی در گروه DT در جلسات تمرینی مشابه، وزنه‌های ۳۰، ۵۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد وزن بدن را به بالای نردبان حمل نمودند. کاهش بار تمرینی برای این گروه ۱۰۰ درصد وزن بدن در سه ست و پنج تکرار در نظر گرفته شد. ذکر این نکته ضرورت دارد که طی برنامه تمرینی از هیچ نوع شوک الکتریکی استفاده نشد و در صورت بالانرفتن موش، فشار اندک دم باعث تحریک آنها به بالارفتن می‌شد (۷،۲۴).

موشهای صحرایی ۲۴ ساعت پس از آخرین جلسه تمرین با ترکیبی از کتامین (۵۰- mg/kg im) و زایلازین (۳-۵ mg/kg im) بیهوش شدند (۲۴). بلافاصله پس از بیهوشی، خون موشها به طور مستقیم توسط سرنگ از قلب کشیده شد و بافت عضله تاکننده بلند انگشت پا (FHL)<sup>۱</sup> با توجه به این که به صورت مستقیم تحت تأثیر این نوع تمرین قرار می‌گیرد جدا گردید (۲۳-۲۵)، وزن شد و در نیتروژن مایع منجمد گشت. نمونه‌های خونی نیز به مدت ۲۰ دقیقه برای جدا کردن سرم در سانتریفیوژ با دور ۱۰۰۰ ×g قرار گرفت. قابل ذکر است که نمونه‌های سرمی و بافتی تا زمان اندازه‌گیری در فریزری با دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

علاوه بر این، استخراج ریبونوکلیئیک اسید (RNA)<sup>۲</sup> با استفاده از محلول ترایزول اینویترورژن، شرکت لایف تکنولوژی<sup>۳</sup> و طبق دستورالعمل شرکت سازنده صورت گرفت. نسبت جذبی ۲۶۰/۲۸۰ نانومتر برای تمام استخراجها بین ۱/۸-۲ بود و یکپاچگی RNA توسط الکتروفورز با استفاده از آگارز - ایتدیوم برمایید (یک درصد) مورد سنجش قرار گرفت. برای رونویسی RNA به DNA معکوس (cDNA)<sup>۴</sup> نیز از کیت مخصوص تهیه شده از شرکت تاکارای ژاپن<sup>۵</sup> استفاده شد. پروتکل استفاده شده براساس پروتکل کیت به صورت ۱۵ دقیقه نسخه برداری معکوس در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد بود و سپس، در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد به مدت پنج ثانیه و در نهایت، ۱۰ دقیقه در دمای چهار درجه

- 
1. Flexor Hallucis Longus
  2. Ribonucleic Acid (RNA)
  3. Invitrogen Life Technologies
  4. Complementary DNA
  5. Takara, Japan

سانتی‌گراد قرار گرفت. شایان‌ذکر است که cDNA به‌دست‌آمده در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

واکنش زنجیره پلی‌مرز (PCR)<sup>۱</sup> نیز با استفاده از دستگاه ریل تایم کوربت<sup>۲</sup> و براساس سایبرگرین از کیت شرکت تاکارای ژاپن و مطابق دستورالعمل کیت انجام شد. پرایمرهای استفاده‌شده در این پژوهش برای ژن‌های GAPDH<sup>۳</sup>، RPL-26<sup>۴</sup>، IL-6 و RCAN-1 نیز از شرکت کایژن خریداری گردید. همچنین، پروفایل دمایی PCR در مخلوط نهایی به حجم ۲۰ میکرولیتر به‌صورت یک چرخه با ۹۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ ثانیه و به‌دنبال آن، ۴۰ چرخه با ۹۵ درجه سانتی‌گراد برای پنج ثانیه و سپس، ۶۰ درجه سانتی‌گراد برای ۳۰ ثانیه صورت گرفت. رونوشت‌های اختصاصی ازدیاد یافته نیز توسط پروفایل منحنی تکثیر که در انتهای هر PCR انجام می‌گرفت، تصدیق گشت. علاوه‌براین، به‌منظور کنترل بیشتر اندازه محصول و اختصاصی بودن PCR با استفاده از الکتروفورز ژل آگارز دو درصد، رؤیت با اتدیوم بروماید صورت پذیرفت. میزان بیان نسبی IL-6 و RCAN-1 نیز به‌وسیله تفریق میانگین CT ژن‌های GAPDH و RPL-26 که به‌عنوان ژن‌های کنترل در نظر گرفته شده بودند، به‌دست آمد. میزان تغییرات بیان براساس گروه C نیز با استفاده از فرمول  $2^{-CT}$  - محاسبه شد.

همچنین، به‌منظور بررسی سطح سرمی هورمون انسولین از روش الایزا<sup>۵</sup> و کیت الایزای انسولین شرکت آلپکو<sup>۶</sup> استفاده گردید و کلیه مراحل الایزا براساس پروتکل کیت انجام شد. شایان‌ذکر است که حساسیت کیت معادل (۰/۱۰۷) نانوگرم در هر میلی‌لیتر بود و ضریب تغییرات درون‌سنجی و برون‌سنجی آن کمتر از ۱۰ درصد بود.

در این پژوهش کلیه اطلاعات به‌صورت میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد ارائه شده است. برای بررسی نرمال بودن توزیع متغیرها از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف استفاده شد و آزمون آماری آنالیز واریانس دوطرفه و نیز آزمون پیگیری آماری توکی برای آنالیز داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. کلیه آنالیزها نیز در نرم‌افزار اس.پی.اس.اس نسخه ۱۶<sup>۷</sup> انجام شد. شایان‌ذکر است که سطح معناداری  $P < 0.05$  در نظر گرفته شد.

- 
1. Polymerase Chain Reaction
  2. Corbet
  3. Glyceraldehyde 3-Phosphate Dehydrogenase (GAPDH)
  4. Ribosomal Protein L26 (RPL-26)
  5. ELISA
  6. ALPCO
  7. SPSS 17

## نتایج

نتایج نشان می‌دهند که وزن بدن موش‌های صحرایی در گروه‌های D و DT در طول پژوهش کاهش یافته است ( $P < 0.05$ )؛ درحالی‌که در شروع پژوهش، تفاوت مشخصی بین گروه‌ها مشاهده نمی‌شد. وزن موش‌های صحرایی در گروه‌های مختلف، میزان گلوکز و انسولین سرمی در جدول شماره ۱ یک آورده شده است. نتایج آزمون تحلیل واریانس دوطرفه نشان می‌دهد که دیابت بر شاخص‌های وزن نهایی، گلوکز و انسولین تأثیر معناداری دارد ( $P < 0.001$ )، اما تأثیر تمرین و اثر متقابل تمرین و دیابت در مورد این شاخص‌ها معنادار نمی‌باشد ( $P > 0.05$ ). همچنین، یافته‌ها بیانگر این است که دیابت باعث کاهش مشخص وزن، افزایش در سطوح گلوکز جریان خونی و کاهش میزان انسولین شده است و تمرین مقاومتی نتوانسته است تغییری در سطوح این فاکتورها ایجاد نماید. علاوه بر این، دیابت منجر به کاهش وزن عضله FHL گشته است. نتایج آزمون آماری نیز نشان‌دهنده تأثیر دیابت بر کاهش معنادار وزن عضله FHL می‌باشد ( $P < 0.05$ ). زمانی که وزن عضله نسبت به وزن بدن بررسی شده است، اثر متقابل تمرین و دیابت معنادار بوده ( $P < 0.05$ ) و تمرین باعث حفظ توده عضلانی گشته است.

جدول ۱- شاخص‌های وزن، گلوکز و انسولین در موش‌های صحرایی در گروه‌های مختلف

شاخص‌ها	کنترل سالم	تمرین سالم	کنترل دیابتی	تمرین دیابتی
وزن اولیه (گرم)	۲۶۶/۹±۷/۰۹	۲۶۰/۳۸±۵/۳۴	۲۶۲/۵±۴/۸۶	۲۶۱/۷۵±۹/۳۷
وزن نهایی (گرم)	۳۲۰/۳±۷/۵۷	۳۱۷/۳۸±۸/۶۶	۳۲۲/۵۱±۱۰/۱۸	۳۲۴/۳±۴/۳۳
گلوکز (دسی‌لیتر/ میلی‌گرم)	۸۱/۳۶±۲/۲۳	۷۸/۱۲±۲/۱۶	۵۴۶/۶۶±۲۱/۷۸	۴۹۹/۶۸±۲۵/۳۸
انسولین (میلی‌لیتر/ نانوگرم)	۰/۶۱±۰/۰۴۱	۰/۷۲±۰/۰۳۶	۰/۱۴±۰/۰۳۵	۰/۲۱±۰/۰۳۵

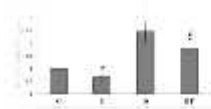
\* معنادار نسبت به گروه کنترل سالم، ≠ معنادار نسبت به گروه تمرین سالم

جدول ۲- وزن عضله FHL و نسبت وزن بدن به وزن عضله FHL در گروه‌های مختلف

گروه‌های پژوهش	کنترل سالم	تمرین سالم	کنترل دیابتی	تمرین دیابتی
وزن عضله (میلی‌گرم)	۵۷۶/۶±۱۹/۶۴	۶۴۶/۶۲±۸/۸۸	۴۱۶/۶±۱۱/۹۳	۴۹۹/۴±۵/۳۸
نسبت وزن عضله به وزن بدن (میلی‌گرم به گرم × ۱۰۰)	۱۷۹/۶±۲/۱۷	۲۰۴/۶±۵/۱۳	۱۷۵/۴±۹/۸۳	۱۹۹/۶۴±۲/۱۹

\* معنادار نسبت به گروه کنترل سالم، ≠ معنادار نسبت به گروه تمرین سالم

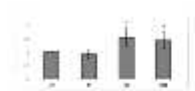
نتایج درمورد بیان mRNA فاکتور RCAN-1 نشان‌دهنده تأثیر دیابت بر بیان این فاکتور در عضله تند تنش می‌باشد ( $P < 0.001$ ). همچنین، تأثیر تمرین بر بیان این فاکتور معنادار است ( $P < 0.05$ )، اما اثر متقابل تمرین و دیابت درمورد این فاکتور معنادار نمی‌باشد ( $P > 0.05$ ). شکل شماره یک نتایج مربوط به بیان RCAN-1 در عضله FHL را نشان می‌دهد.



#### شکل ۱- بیان نسبی RCAN-1 در عضله FHL

گروه C: کنترل سالم، گروه T: تمرین سالم، گروه D: دیابت کنترل و گروه DT: دیابت تمرین آنالیز واریانس دوطرفه نشان‌دهنده تأثیر دیابت (\*) و تمرین (≠) بر میزان بیان mRNA و RCAN-1 در عضله FHL می‌باشد.

یافته‌ها نشان‌دهنده عدم تأثیر تمرین بر بیان IL-6 می‌باشد ( $P > 0.05$ )، اما تأثیر دیابت بر بیان این مایوکاین معنادار است ( $P < 0.05$ ). اثر متقابل بین تمرین و دیابت نیز معنادار نمی‌باشد ( $P > 0.05$ ). در شکل شماره دو نتایج مربوط به بیان IL-6 در عضله FHL نشان داده شده است.



#### شکل ۲- بیان نسبی IL-6 در عضله FHL

گروه C: کنترل سالم، گروه T: تمرین سالم، گروه D: دیابت کنترل و گروه DT: دیابت تمرین آنالیز واریانس دوطرفه نشان‌دهنده تأثیر دیابت بر میزان بیان mRNA و IL-6 در عضله FHL می‌باشد (\*).



## بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان‌دهنده افزایش بیان RCAN-1 در اثر دیابت بود. نشان داده شد که تمرین ورزشی مقاومتی هم‌زمان با ایجاد هایپرتروفی در عضله اسکلتی باعث تعدیل این فاکتور در عضله اسکلتی گشته است و دیابت نیز منجر به افزایش بیان IL-6 در عضله تند تنش FHL گردیده است، اما تمرین ورزشی مقاومتی نتوانسته است تغییر عمده‌ای در این فاکتور ایجاد کند.

علاوه‌براین، یافته‌ها نشان داد که RCAN-1 به‌عنوان تنظیم‌کننده زیرگروه کاتالیتیکی کالسی نورین به آن متصل می‌شود (۲۶). کالسی نورین نیز در تنظیم فعال‌سازی و آپوپتوز سلول‌های T نقش دارد (۲۷). همچنین، بیان RCAN-1 در پاسخ به استرس ایجادشده در اثر کلسیم یا اکسیدان‌ها افزایش یافته است (۲۸) و برخی از مطالعات، اثرات آپوپتوتیک این فاکتور را گزارش کرده‌اند (۲۹)، اما اثرات این فاکتور در مورد سلول‌های عضله اسکلتی به‌صورت کامل مشخص نشده است. در پژوهش حاضر، کاهش توده عضلانی با ایجاد دیابت مشاهده می‌شود و به‌نظر می‌رسد که پروتئولیز افزایش‌یافته و عدم توانایی فیبرهای عضلانی برای ترمیم آن در آتروفی عضلانی ایجادشده در اثر دیابت درگیر می‌باشند (۳۰). مشخص شده است که استرس اکسیداتیو نقش تنظیم‌کنندگی را در پروتئولیز افزایش‌یافته و آتروفی عضلانی ایفا می‌کند. در این راستا، چن<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱) عنوان کردند که تنظیم بالای لیگازهای یوبیکیوتین ایجادشده در اثر استرس اکسیداتیو ممکن است در کاهش توده عضلانی در موش‌های صحرایی دیابتی درگیر باشد (۴). از سوی دیگر، گزارش شده است که تمرینات شدید مقاومتی می‌تواند باعث افزایش استرس اکسیداتیو شود و این نوع تمرینات نمی‌توانند همانند تمرینات استقامتی، در کنترل استرس اکسیداتیو و افزایش عوامل آنتی‌اکسیدانی در عضله اسکلتی عمل نمایند (۳۱). این احتمال وجود دارد که استرس اکسیداتیو ایجادشده در اثر دیابت باعث افزایش بیان RCAN-1 در عضله اسکلتی شود و تمرینات مقاومتی نتوانسته است تاحدی این استرس را کنترل نماید.

پژوهش حاضر نشان داد که ۱۷ جلسه تمرین مقاومتی با شدت بالا با نردبان می‌تواند باعث ایجاد هایپرتروفی عضله FHL در موش‌های صحرایی دیابتی و سالم شود. در مورد عضله نعلی نیز تغییر قابل‌توجهی در توده عضلانی مشاهده نگردید. تمرین مقاومتی استفاده‌شده در پژوهش حاضر، بالارفتن از نردبان بود و افزایش توده عضلانی در عضلات مختلف در مطالعات دیگر که از این نوع تمرین استفاده کرده‌اند نیز مشاهده شده است (۲۳، ۲۴). به‌نظر می‌رسد که نوع برنامه تمرینی، شدت و مدت‌زمان دوره تمرین یکی از عوامل مؤثر در اثرگذاری این نوع تمرین ورزشی در عضلات

مختلف می‌باشد. در این راستا، هارنبرگر و فارار<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) در پژوهش خود افزایش توده عضلانی در FHL را مشاهده نمودند؛ در حالی که عضلات دیگر، کمتر تحت تأثیر این نوع تمرین قرار گرفتند (۲۵). لی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۴) نیز افزایش ۲۳ درصدی توده عضلانی در FHL را در اثر این نوع برنامه تمرینی گزارش نمودند. آن‌ها نوع درگیری عضله FHL در این نوع تمرین و اعمال هر دو نوع حرکات اسنتریک و کانسنتریک توسط این عضله در این نوع بالارفتن موش‌ها را دلیلی بر افزایش توده عضلانی دانسته‌اند (۲۳). پژوهش لی و همکاران (۲۰۰۴)، در مجموع از ۱۸ جلسه تمرینی تشکیل شده است و شدت و میزان وزنه استفاده شده، متوسط می‌باشد. پژوهش حاضر با توجه به شدت و تعداد تکرار، دارای شدت بالاتری در مقایسه با پژوهش لی و همکاران (۲۰۰۴) است. به نظر می‌رسد تعداد تکرارها و فاصله استراحت بین ست‌ها توانسته است تحریک مناسب برای هایپرتروفی عضلانی در عضله FHL در اثر تمرین مقاومتی را ایجاد کند. علاوه بر این، نشان داده شد که استراحت بین ست‌ها، تعداد تکرارها، وزنه استفاده شده و جلسات تمرینی در هفته، عوامل اثرگذار در هایپرتروفی و افزایش قدرت عضلانی است، اما در عضله نعلی در گروه سالم و تمرین دیابتی، سازگاری عضلانی مشاهده نگردید. به نظر می‌رسد دوره‌های طولانی‌تر تمرینی با شدت پایین‌تر در تمرینات با نردبان بیشتر توانسته است عضلات کند مانند عضله نعلی را تحت تأثیر قرار دهد (۳۲).

علاوه بر این، کلسیم به عنوان پیام‌بر ثانویه در عضله اسکلتی طی ورزش عمل می‌کند و واسطه انتقال فعالیت عصبی عضلانی به ژن‌های هدف از طریق مسیرهای تنظیمی وابسته به کلسیم شامل سیگنالینگ کالسی نورین می‌شوند (۳۳). از آن‌جا که نسبت نسخه برداری IL-6 به عنوان یکی از مایوکاین‌های اصلی در اوایل انقباض عضلانی افزایش می‌یابد (۳۴)؛ این فرضیه وجود دارد که فعال‌سازی مسیرهای تنظیمی وابسته به کلسیم در نسخه برداری ژن IL-6 و آزاد شدن آن در عضله‌های ایزوله شده موش‌های صحرایی نقش دارد (۳۵). ارتباط احتمالی مشاهده شده در مطالعات مختلف در مورد مسیر کالسی نورین و مایوکاین‌ها به ویژه IL-6، با توجه به اثرات یک وهله ورزش بوده است. عنوان شده است که مهار مسیر کالسی نورین باعث کاهش بیان IL-6 بالا فاصله پس از یک وهله ورزش استقامتی طولانی مدت می‌شود. در مورد اثرات تمرینات ورزشی بر فعال‌سازی مسیر کالسی نورین و ژن‌های وابسته به آن و نیز ارتباط آن با مایوکاین‌ها مطالعات اندکی انجام شده است. یافته‌های پژوهش حاضر نشان‌دهنده تأثیر دیابت بر بیان IL-6 در عضله تند تنش می‌باشد. همچنین، مشاهده شد که تمرینات ورزشی نتوانسته است تغییری در بیان mRNA این مایوکاین در عضله تند تنش ایجاد کند. به نظر می‌رسد التهاب و آسیب ایجاد شده در عضله اسکلتی باعث افزایش

---

1. Hornberger & Farrar

2. Lee

بیان این سایتوکاین در عضله اسکلتی شده است. آتروفی مشاهده شده در نمونه‌های دیابتی، تأییدکننده این نکته می‌باشد. تمرینات ورزشی مقاومتی باعث شده است که توده عضلانی در نمونه‌های دیابتی حفظ شود و افزایش اندکی در بیان این مایوکاین در عضله اسکلتی ایجاد گردد. عنوان شده است که مایوکاین IL-6 می‌تواند از طریق تحریک سلول‌های ماهواره‌ای، در تنظیم توده عضلانی و هایپرتروفی عضلانی نقش داشته باشد (۳۶). نکته قابل توجه در این ارتباط این است که منبع تولید IL-6 ممکن است سلول‌های سیستم ایمنی نفوذ کرده به عضله اسکلتی (و نه خود سلول‌های عضلانی) باشد و در این صورت، مکانیسم‌های عمل احتمالاً متفاوت خواهد بود. پژوهش‌های بیشتر در این زمینه به بسیاری از سؤالات موجود پاسخ خواهد داد.

علاوه بر این، اثرات هم‌زمان کاهش در بیان RCAN-1 به عنوان شاخص فعال‌سازی کالسی نورین و بیان مایوکاین IL-6 در پژوهش حاضر مشاهده گردید. نوع تارهای عضلانی می‌تواند در کاهش هم‌زمان این دو نوع فاکتور در عضله تند تنش مؤثر باشند. در مطالعات مختلف به این نکته اشاره شده است که اثرات تمرینات ورزشی بر بیان IL-6، به‌طور عمده در تارهای نوع یک مشاهده می‌شود (۳۷). از سوی دیگر، بر این نکته تأکید شده است که مسیر کالسی نورین، یکی از مسیرهای درگیر در بیان مایوکاین IL-6 در عضله اسکلتی به دنبال فعالیت‌های ورزشی می‌باشد (۳۷)، اما تغییرات هم‌زمان این دو فاکتور در نمونه‌های دیابتی در پی تمرینات ورزشی تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. علاوه بر این، یکی از مکانیسم‌های درگیر در مسیر کالسی نورین، فعال‌سازی مسیر PGC-1 می‌باشد (۲۱). عنوان شده است که مسیر کالسی نورین با فعال کردن این پروتئین، در حفظ توده عضلانی درگیر می‌باشد. استفاده از مهارکننده‌های مسیر کالسی نورین مانند سیکلوسپورین A می‌تواند در تأیید نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر مؤثر باشد. از سوی دیگر، استفاده از تمرینات ورزشی استقامتی با توجه به اثرات متابولیکی مشاهده شده در مورد این نوع تمرینات می‌تواند نتایج قابل توجهی را در زمینه فعال‌سازی مسیر کالسی نورین در ارتباطات احتمالی با مایوکاین‌های آزاد شده از عضله اسکلتی ارائه نماید.

**پیام مقاله:** یافته‌ها این پژوهش نشان دهنده آن است که دیابت باعث آتروفی عضلانی در نمونه‌های دیابتی گشته است. تمرین مقاومتی نیز سبب حفظ توده عضلانی در نمونه‌های دیابتی و هم‌زمان تعدیل بیان RCAN-1 در عضله تند تنش FHL گردیده است. همچنین، کاهش هم‌زمان در بیان mRNA IL-6 و RCAN-1 نیز در نمونه‌های دیابتی پژوهش حاضر مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد تمرینات ورزشی مقاومتی با تعدیل بیان هم‌زمان این دو فاکتور، در حفظ توده عضلانی نقش داشته است. نتایج پژوهش حاضر تأکید دوباره است بر استفاده از تمرینات ورزشی مقاومتی در کنار تمرینات هوازی برای بیماران دیابتی می‌باشد.

## منابع

1. Kimball S R. Integration of signals generated by nutrients, hormones, and exercise in skeletal muscle. *Am J Clin Nutr.* 2014; 99(1): 237-42.
2. Mann S, Beedie C, Balducci S, Zanuso S, Allgrove J, Bertiato F, et al. Changes in insulin sensitivity in response to different modalities of exercise: A review of the evidence. *Diabetes Metab Res Rev.* 2014; 30(4): 257-68.
3. Andersen H, Gadeberg P C, Brock B, Jakobsen J. Muscular atrophy in diabetic neuropathy: A stereological magnetic resonance imaging study. *Diabetologia.* 1997; 40(9): 1062-9.
4. Chen G Q, Mou C Y, Yang Y Q, Wang S, Zhao Z W. Exercise training has beneficial anti atrophy effects by inhibiting oxidative stress-induced MuRF1 upregulation in rats with diabetes. *Life Sci.* 2011; 89(1-2): 44-9.
5. Haddad F, Adams G R. Selected contribution: Acute cellular and molecular responses to resistance exercise. *J Appl Physiol.* 2002; 93 (1): 394-403.
6. Murton A J, Constantin D, Greenhaff P L. The involvement of the ubiquitin proteasome system in human skeletal muscle remodelling and atrophy. *Biochim Biophys Acta.* 2008; 1782(12): 730-43.
7. Molanouri Shamsi M, Hassan ZH, Gharakhanlou R, Quinn L S, Azadmanesh K, Baghersad L, et al. Expression of interleukin-15 and inflammatory cytokines in skeletal muscles of STZ-induced diabetic rats: Effect of resistance exercise training. *Endocrine.* 2014; 46(1): 60-9. (In Persian).
8. Pette D, Staron R S. Cellular and molecular diversities of mammalian skeletal muscle fibers. *Rev Physiol Biochem Pharmacol.* 1990; 116: 1-76.
9. Berchtold M W, Brinkmeier H, Müntener M. Calcium ion in skeletal muscle: Its crucial role for muscle function, plasticity, and disease. *Physiol Rev.* 2000; 80(3): 1215-65.
10. Swindells M B, Ikura M. Pre-formation of the semi-open conformation by the apocalmodulin C-terminal domain and implications binding IQ-motifs. *Nat Struct Biol.* 1996; 3(6): 501-4.
11. Schulz R A, Yutzey K E. Calcineurin signaling and NFAT activation in cardiovascular and skeletal muscle development. *Dev Biol.* 2004; 266(1): 1-16.
12. Fuentes J J, Genescà L, Kingsbury T J, Cunningham K W, Pérez-Riba M, Estivill X, et al. DSCR1, overexpressed in Down syndrome, is an inhibitor of calcineurin-mediated signaling pathways. *Hum Mol Genet.* 2000; 9(11): 1681-90.
13. Emrani R, Rébillard A, Lefevre L, Gratas-Delamarche A, Davies K J, Cillard J. The calcineurin antagonist RCAN1-4 is induced by exhaustive exercise in rat skeletal muscle. *Free Radic Biol Med.* 2015; 87: 290-9.
14. Kaul K, Apostolopoulou M, Roden M. Insulin resistance in type 1 diabetes mellitus. *Metabolism.* 2015; 64(12): 1629-39.
15. Oh M, Rybkin II, Copeland V, Czubyrt M P, Shelton J M, van Rooij E, et al. Calcineurin is necessary for the maintenance but not embryonic development of slow muscle fibers. *Mol Cell Biol.* 2005; 25(15): 6629-38.
16. Ryder J W, Bassel-Duby R, Olson E N, Zierath J R. Skeletal muscle reprogramming by activation of calcineurin improves insulin action on metabolic pathways. *J Biol Chem.* 2003; 278(45): 44298-304.

17. Pedersen B K, Akerstrom T C, Nielsen A R, Fischer C P. Role of myokines in exercise and metabolism. *J Appl Physiol.* 2007; 103 (3): 1093–8.
18. Pedersen B K, Febbraio M A. Muscle as an endocrine Organ: Focus on muscle-derived interleukin-6. *Physiol Rev.* 2008; 88 (4): 1379-406.
19. Banzet S, Koulmann N, Sanchez H, Serrurier B, Peinnequin A, Alonso A, et al. Contraction-induced interleukin-6 transcription in rat slow-type muscle is partly dependent on calcineurin activation. *J Cell Physiol.* 2007; 210 (3): 596–601.
20. Tierney M T, Aydogdu T, Sala D, Malecova B, Gatto S, Puri P L, et al. STAT3 signaling controls satellite cell expansion and skeletal muscle repair. *Nat Med.* 2014; 20(10): 1182-6.
21. Roberts-Wilson T K, Reddy R N, Bailey J L, Zheng B, Ordas R, Gooch J L, et al. Calcineurin signaling and PGC-1alpha expression are suppressed during muscle atrophy due to diabetes. *Biochim Biophys Acta.* 2010; 1803(8): 960-7.
22. Frier B C, Noble E G, Locke M. Diabetes-induced atrophy is associated with a muscle-specific alteration in NF-kappaB activation and expression. *Cell Stress Chaperones.* 2008; 13(3): 287-96.
23. Lee S, Barton E R, Sweeney H L, Farrar R P. Viral expression of insulin-like growth factor-I enhances muscle hypertrophy in resistance-trained rats. *J Appl Physiol.* 2004; 96(3): 1097-104.
24. Molanouri Shamsi M, Hassan Z M, Quinn L S, Gharakhanlou R, Baghersad L, Mahdavi M. Time course of IL-15 expression after acute resistance exercise in trained rats: Effect of diabetes and skeletal muscle phenotype. *Endocrine.* 2015; 49(2): 396-403. (In Persian).
25. Hornberger T A Jr, Farrar R P. Physiological hypertrophy of the FHL muscle following 8 weeks of progressive resistance exercise in the rat. *Can J Appl Physiol.* 2004; 29(1): 16-31.
26. Rothermel B A, Vega R B, Williams R S. The role of modulatory calcineurin-interacting proteins in calcineurin signaling. *Trends Cardiovasc Med.* 2003; 13(1): 15-21.
27. Zhao Y, Tozawa Y, Iseki R, Mukai M, Iwata M. Calcineurin activation protects T cells from glucocorticoid-induced apoptosis. *Journal of Immunology.* 1995; 154(12): 6346-54.
28. Narayan A V, Stadel R, Hahn A B, Bhoiwala D L, Cornielle G, Sarazin E, et al. Redox response of the endogenous calcineurin inhibitor Adapt 78. *Free Radic Biol Med.* 2005; 39(6): 719-27.
29. Ryeom S, Greenwald R J, Sharpe A H, McKeon F. The threshold pattern of calcineurin-dependent gene expression is altered by loss of the endogenous inhibitor calcipressin. *Nat Immunol.* 2003; 4(9): 874-81.
30. Merforth S, Kuehn L, Osmers A, Dahlmann B. Alteration of 20S proteasome-subtypes and proteasome activator PA28 in skeletal muscle of rat after induction of diabetes mellitus. *Int J Biochem Cell Biol.* 2003; 35(5): 740-8.
31. Liu J F, Chang W Y, Chan K H, Tsai W Y, Lin C L, Hsu M C. Blood lipid peroxides and muscle damage increased following intensive resistance training of female weightlifters. *Ann N Y Acad Sci.* 2005; 1042: 255-61.
32. Klitgaard H. A model for quantitative strength training of hindlimb muscles of the rat. *J Appl Physiol.* 1988; 64(4): 1740-5.

33. Koulmann N, Bigard A X. Interaction between signalling pathways involved in skeletal muscle responses to endurance exercise. *Pflüg Arch.* 452 (2): 125–39.
34. Keller C, Steensberg A, Pilegaard H, Osada T, Saltin B, Pedersen B K, et al. Transcriptional activation of the IL-6 gene in human contracting skeletal muscle: Influence of muscle glycogen content. *FASEB J.* 2001; 15(14): 2748-50.
35. Holmes A G, Watt M J, Carey A L, Febbraio M A. Ionomycin, but not physiologic doses of epinephrine, stimulates skeletal muscle interleukin-6 mRNA expression and protein release. *Metabolism.* 2004; 53 (11): 1492–5.
36. Serrano A L, Baeza-Raja B, Perdiguero E, Jardí M, Muñoz-Cánoves P. Interleukin-6 is an essential regulator of satellite cell-mediated skeletal muscle hypertrophy. *Cell Metab.* 2008; 7(1): 33-44.
37. Banzet S, Koulmann N, Simler N, Birot O, Sanchez H, Chapot R, et al. Fibre-type specificity of interleukin-6 gene transcription during muscle contraction in rat: Association with calcineurin activity. *J Physiol.* 2005; 566(Pt 3): 839-47.

### استناد دهی

ملانوری شمسی مهدیه. تأثیر تمرین مقاومتی همراه با هایپرتروفی عضلانی بر فعال سازی مسیر کالسی نورین و بیان مایوکاین IL-6 در عضله تند تنش موش های صحرایی دیابتی. زمستان ۱۳۹۵؛ ۸(۳۲): ۱۴-۲۰۱.

Molanouri Shamsi, M. The Effect of Resistance Training with Skeletal Muscle Hypertrophy on Calcineurin Activation and Expression of IL-6 Myokine in fast twitch Skeletal Muscle of Diabetic Rats. *Sport Physiology.* Winter 2017; 8 (32): 201-14.

## The Effect of Resistance Training with Skeletal Muscle Hypertrophy on Calcineurin Activation and Expression of IL-6 Myokine in Fast-twitch Skeletal Muscle of Diabetic Rats

M. Molanouri Shamsi<sup>1</sup>

1. Assistant Professor, Tarbiat Modares University\*

Received: 2016/02/13

Accepted: 2016/04/30

---

### Abstract

The phosphatase calcineurin plays a major role in physiological and pathological processes, including immune responses, neuronal plasticity, and skeletal muscle hypertrophy. Considering the effect of this factor in calcium signaling in skeletal muscle, the purpose of the present study was to assess calcineurin activation following hypertrophic resistance training in flexor hallucis longus muscle of diabetic rats with skeletal muscle atrophy. Rats weighing 250–280 g were divided into control, training, diabetic control and diabetic training groups. Training groups performed the training consisting of climbing a ladder (1 m) with increasing weight added to the tail in 17 sessions. The expression levels of interleukin-6 and regulator of calcineurin 1 mRNA, a calcineurin activation factor, were measured in flexor hallucis longus muscle using real-time PCR method. The results of this study showed that diabetes was associated with increased expression of regulator of calcineurin 1 in muscles of diabetic rats ( $P < 0.05$ ); but resistance training decreased this factor in diabetic group. Also, diabetes was associated with increased expression of IL-6 in skeletal muscle. Resistance training could not change expression of interleukin-6 in fast twitch skeletal muscle. Diabetes induced skeletal muscle atrophy in rats, but resistance training maintained skeletal muscle mass in diabetic subjects with concurrent adjustment in regulator of calcineurin 1 expression in flexor hallucis longus skeletal muscle. Also, we observed concurrent increment in expression of IL-6 and regulator of calcineurin 1 in present study. It seems that resistance training could contribute to skeletal muscle protection through adjustments in expression of these factors.

**Keywords:** Type-1 Diabetes, Interleukin-6, Calcineurin, Resistance Training, Skeletal Muscle

---

---

\* Corresponding Author

Email: molanouri@modares.ac.ir