

## بررسی تاثیر تمرینات ورزشی مقاومتی بر محور PI3K / IGF-1 در عضله اسکلتی و حساسیت انسولین در موش‌های صحرایی دیابتی نوع ۲

مهدي نادی<sup>۱\*</sup>، عبدالعلي بنایي فر<sup>۱</sup>، سجاد ارشدي<sup>۱</sup>، مجتبی ایزدی<sup>۲</sup>

### مقاله پژوهشی

**مقدمه:** IGF-1 یک هورمون پلی‌پپتیدی است که در توسعه، بازسازی عضلات اسکلتی نقش حیاتی دارد. IGF-1 فعال‌سازی مسیرهای آنابولیک نظیر PI3K و IRS-1/2 مجموعه‌ای از سیگنال‌های آنابولیک درون سلولی را فعال می‌کند. هدف از این تحقیق تاثیر ۸ هفته تمرین مقاومتی بر محور PI3K, IGF1 و حساسیت به انسولین در عضله نعلی رت‌های دیابتی نوع ۲ بود.

**روش بررسی:** در این مطالعه تجربی، تعداد ۱۴ سر موش نر ویستار ۸ تا ۱۰ هفته‌ای و القای دیابت نوع ۲ (دیابت نوع ۲ به شیوه تزریق درون صفاقی نیکوتین آمید و STZ در گروه‌های دیابتی القاء شد) و به ۲ گروه تمرینات مقاومتی و گروه کنترل تقسیم شدند. موش‌های گروه کنترل در طول مطالعه تمرین نداشتند در حالیکه گروه مقاومتی ۸ هفته تمرین را به تعداد ۵ جلسه در هفته اجرا نمودند. تمرینات مقاومتی در هر جلسه در قالب ۱۰ تکرار با فواصل استراحتی ۹۰ ثانیه‌ای به صورت صعود از نردبان ۲۶ پله‌ای به ارتفاع یک متر با شیب عمودی ۸۵ درصد بود و اعمال وزنه به قاعده دم موش اجرا شد. ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی نمونه‌گیری خون از قلب و استخراج بافت عضله نعلی انجام گرفت. جهت تعیین بیان ژن‌ها از روش Real Time-PCR و برای مقایسه متغیرها از آزمون آنوای یک طرفه و برای مقایسه متغیرها بین گروه‌های از آزمون تی مستقل استفاده شد. کلیه بررسی‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS version 16 انجام گرفت.

**نتایج:** نتایج پژوهش نشان داد بیان ژن IGF-1 و PI3K در عضله نعلی موش‌های دیابتی گروه تمرین مقاومتی در مقایسه با موش‌های دیابتی گروه کنترل افزایش معناداری داشت ( $p=0/001$ ) ( $p=0/011$ ). میزان حساسیت انسولین سرم در موش‌های دیابتی گروه تمرین نسبت به موش‌های دیابتی گروه کنترل تفاوت معنی‌داری نداشت ( $p=0/778$ ). نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد اجرای هشت هفته تمرینات مقاومتی می‌تواند محرک قوی بر بیان ژن IGF-1 و PI3K و عدم تغییر در حساسیت به انسولین در عضله نعلی موش‌های دیابتی نوع ۲ شود.

**واژه‌های کلیدی:** تمرینات مقاومتی، PI3K, IGF-1، عضله نعلی، دیابت نوع ۲

**ارجاع:** نادی مهدي، بنایي فر عبدالعلي، ارشدي سجاد، ایزدی مجتبی. بررسی تاثیر تمرینات ورزشی مقاومتی بر محور PI3K / IGF-1 در عضله اسکلتی و حساسیت انسولین در موش‌های صحرایی دیابتی نوع ۲. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید صدوقی یزد ۱۴۰۱؛ ۳۰ (۱۱): ۳۵-۶۱۲۶.

۱- گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب، تهران، ایران.

۲- گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساوه، ساوه، ایران.

\* (نویسنده مسئول): تلفن: ۰۹۱۳۳۷۳۱۵۰۷، پست الکترونیکی: mahdinadi61@gmail.com، صندوق پستی: ۸۹۴۷۱۷۷۷۵۹

فراخوانی IRS-1 و در نتیجه مسیره‌های PI3K/AKT/Mtor و AKT/GSK3B می‌شود (۱). یک واسطه اصلی انتقال سیگنال IGF در چربی و پروتئین (PI3K) است. PI3K (p110 $\alpha$ ) و p110 $\beta$ ) دارد که نشان داده شده است که در توسعه عضلات اسکلتی و تنظیم متابولیسم نقش دارد (۳). از طرفی انسولین به گیرنده‌های انسولین روی سارکولما در عضله اسکلتی متصل می‌شود و فعالیت گیرنده تیروزین کینازی انسولین را افزایش می‌دهد و سوبستراهای گیرنده انسولین (IRS-1,2) را فسفوریله می‌کند. فسفوریلاسیون تیروزینی IRS-1 باعث درگیر شدن زیرمجموعه تنظیمی p85 مربوط به PI3K می‌گردد و زیرگروه کاتالیتیکی p110 را فعال می‌کند که باعث افزایش فسفواينوسیتیدهای مثل فسفاتیدیل اینوزیتول ۳،۴،۵-تری فسفات می‌گردد که این منجر به فعال سازی پروتئین کیناز وابسته به فسفواينوسیتید و پروتئین پایین دستی PKB (Akt) و یا پروتئین PKC شود. فسفوریلاسیون سوبسترای Akt ۱۶۰ (AS160) که یک دومین فعال کننده GTPase دارد (Rab4)، باعث تسهیل انتقال GLUT4 به سارکولما برای انتقال گلوکز به درون سلول می‌شود. بنابراین، حفظ پاسخ‌های مناسب در مسیر IRS-PI3K-Akt برای متابولیسم گلوکز به واسطه انسولین در عضله اسکلتی حیاتی است (۳). نقش برجسته فعالیت بدنی برای افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ می‌تواند توانمند شدن عضلات اسکلتی در برداشت گلوکز، بدون نیاز به انسولین باشد و به همین دلیل فعالیت بدنی منظم تاثیر قابل توجه در مدیریت این بیماری دارد (۳). مطالعات انسانی و حیوانی نشان داده است که جهش ژن IGF-1 موجب حالت مقاومت به انسولین می‌شود و این حالت با درمان توسط IGF-1 بهبود می‌یابد. هم‌چنین مطالعه روی افراد ۴۵-۶۵ ساله نشان داد که پایین بودن IGF-1 تام، با افزایش خطر اختلال در تحمل گلوکز و دیابت، همراه است (۳). بر اساس مطالعات انجام شده فعالیت‌های بدنی هوازی با فعال کردن مسیر AMPK و افزایش جذب گلوکز بر کنترل دیابت موثر هستند و فعالیت‌های قدرتی با فعال کردن مسیر PI3K و به دنبال آن AKT و mTOR سبب افزایش جذب و مصرف گلوکز می‌شود. این

آتروفی عضله به دلیل عدم تعادل در سنتز و تخریب پروتئین انقباضی ایجاد می‌شود که می‌تواند در اثر شرایط مختلف از جمله دیابت نوع ۲ ایجاد شود. کاهش کیفیت عضله در بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ بر عملکرد عضلات تأثیر می‌گذارد، توانایی انجام فعالیت‌های روزانه زندگی، کیفیت زندگی و در نهایت ممکن است خطر مرگ و میر زودرس را افزایش دهد (۱). آتروفی عضلانی شاخصه دیابت‌های کنترل نشده می‌باشد و در نتیجه افزایش پروتئولیز و عدم توانایی عضله اسکلتی آسیب دیده برای ترمیم خود از طریق سنتز پروتئین ایجاد می‌شود. از بین رفتن عضله اسکلتی همراه با افزایش تجزیه پروتئین در مدل‌های دیابتی آزمایشگاهی در موش‌های صحرایی مشاهده شده است (۱). از آنجا که انواع مختلف آتروفی از نظر سازگاری‌های رونویسی اشتراک‌های زیادی دارند، به نظر می‌رسد محرک‌های شروع کننده آتروفی از مکانیزم‌های سیگنالینگ معمولی عمل کرده و بر عوامل رونویسی و احتمالاً Insulin-like growth factor (IGF-1) همراه با افزایش میزان گلوکورتیکوئیدها، از دست پروتئین عضلانی در دیابت را تحریک می‌کنند (۱). از طرفی بازسازی عضلات اسکلتی یک فرایند پیچیده است که شامل ورودی هماهنگ شده از محرک‌های مختلف است. از این فرایندها، فعالیت پروتئین فاکتور رشد شبه انسولین (IGF-1) و پروتئین فسفواينوزیتید ۳-کیناز حیاتی است (۱). IGF-I یک هورمون پلی پپتیدی است که در توسعه، تعمیر و بازسازی عضلات اسکلتی نقش حیاتی دارد (۱). انتقال سیگنال IGF-I از طریق گیرنده شناخته شده آن (IGF-IR) و اتصال IGF-I به IGF-IR باعث ایجاد آبشارهای سیگنال داخل سلولی می‌شود که رونویسی، ترجمه، بقا و تمایز را تنظیم می‌کند (۲). IGF1 یکی از محرک‌های اصلی مسیر AKT /PI3K می‌باشد. IGF-1 با فعال سازی مسیره‌های آنابولیک نظیر (PI3K) phosphoinositide-3-kinase-protein kinase و IRS-1 مجموعه‌ای از سیگنال‌های آنابولیک درون سلولی را فعال می‌کند (۲). پیوند اتصال IGF-1 به گیرنده خود باعث

بهبودها در کنترل قند خون معمولاً به کاهش تجویز و مصرف داروها برمی‌گردد (۳). بر اساس تحقیقات هایپرتروفی عضلانی ناشی از تمرینات مقاومتی احتمالاً با تغییر توازن سنتز پروتئین‌های عضلانی از طریق افزایش تحریک مولکولی مسیرهای سیگنالینگ سنتز پروتئین نظیر: AKT/mTOR، پروتئین کیناز فعال شده با میتوزن (MAPK) و مسیر وابسته به کلسیم  $Ca^{2+}$  و هم‌چنین سرکوب مسیرهای تجزیه پروتئین و آپوپتوز سلولی نظیر FOXO اتفاق می‌افتد (۳). در تحقیقی تأثیر تمرینات مقاومتی در فاکتور رشد انسولین (IGF-1) پرداختند که نتیجه گرفتند که افزایش در قدرت و استقامت ناشی از تمرینات مقاومتی منجر به افزایش IGF-1، IGFBP و تستوسترون نمی‌شود. تأثیر ورزش بر علائم AMPK و اجزای پایدار آن به PI3K در موش صحرایی با دیابت نوع ۲ ورزش مزمن و حاد، علائم AMPK عضله اسکلتی را بهبود می‌بخشد و PI3K را در موش‌های صحرایی با دیابت ناشی از HFD-plus STZ تقویت می‌کند. گرچه HFD بر فسفریلاسیون و بیان چندین عامل سیگنال AMPK و پس از آن تا PI3K تأثیر گذاشت، ورزش مزمن این تغییرات را بهبود بخشید (۳). تمرینات ورزشی مقاومتی با توجه به اثرات هایپرتروفیک خود برای حفظ توده عضلانی به ویژه در بیمارانی که با نارسایی‌های عضلانی مواجه هستند، همواره مورد توجه بوده است. با توجه به اینکه بیشترین میزان گلوکز جریان خون توسط عضلات اسکلتی جمع آوری می‌شود و از آن جا که اثرات دیابت و تمرینات ورزشی، به ویژه تمرینات مقاومتی بر فعال سازی مسیر IGF-1/PI3K در عضله نعلی افراد دیابتی تاکنون مشخص نشده است لذا پژوهش حاضر در نظر دارد تغییرات ایجاد شده در این فاکتورها در موش های صحرایی دیابتی به همراه تمرینات ورزشی مقاومتی در عضله نعلی را به طور مستقیم تحت تأثیر این نوع تمرین قرار می‌گیرد، بررسی نماید.

### روش بررسی

روش شناسی پژوهش: موش‌ها به مدت دو هفته با محیط آزمایشگاه آشنا و سازگار شدند. مطالعه بر روی ۳۰ سر رت نر نژاد ویستار ۱۰ هفته‌ای به شیوه تصادفی در ۲ گروه دیابتی

(کنترل، مقاومتی) قرار گرفتند. لازم به ذکر است در طی جلسات آشنایی و تمرینات در گروه‌های تجربی با افت آزمودنی‌ها مواجه شدیم و تصمیم گرفتیم گروه‌های ۷ تایی را برای انجام پروتکل در نظر بگیریم.

نگه داری و تغذیه رت‌های مورد مطالعه: کلیه رت‌های مورد مطالعه در شرایط کنترل شده نور (۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی، شروع روشنایی ۶ عصر و شروع خاموشی ۶ صبح) با دمای  $(22 \pm 3)$  سانتی‌گراد، و رطوبتی در دامنه ۳۰ تا ۶۰ نگهداری شدند. از دستگاه تهویه هوا و از دماسنج و رطوبت‌سنج برای پایش تغییرات شبانه‌روزی دما و رطوبت استفاده شد. در سر تا سر دوره تحقیق رت‌ها توسط یک نفر نیز جابجا و دستکاری گردید.

شیوه القاء دیابت نوع ۲ (تزریق نیکوتین آمید + استرپتوزوتوسین): پس از تفکیک رت‌ها به گروه‌های دیابتی و سالم، دیابت نوع ۲ به شیوه تزریق درون صفاقی نیکوتین آمید و STZ در گروه‌های دیابتی القاء شد. به طوری‌که پس از یک شب ناشتایی (۱۲ ساعت)، جهت القای دیابت نوع ۲ از تزریق نیکوتین آمید و استرپتوزوتوسین استفاده گردید. ابتدا محلول نیکوتین آمید با دوز ۱۱۰ میلی‌گرم بر هر کیلوگرم وزن موش، به صورت صفاقی تزریق شد؛ پس از ۱۵ دقیقه، محلول تازه تهیه شده STZ در بافر سیترات با  $PH=4/5$  نیز به صورت داخل صفاقی با دوز ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تزریق شد. گروه کنترل سالم فقط بافر سیترات با همان حجم دریافت کردند. یک هفته پس از القای دیابت، گلوکز خون ناشتا اندازه‌گیری و قند خون بالای ۲۵۰ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر به عنوان معیاری برای اطمینان از ابتلای موش‌ها به دیابت نوع ۲ در نظر گرفته شد.

### پروتکل تمرین مقاومتی

آشنایی با محیط و فعالیت ورزشی: گروه تمرین مقاومتی عبارتند از ۷ سر رت نر ویستار ۱۰ هفته‌ای که پس از آشنایی با محیط آزمایشگاه و القای دیابت نوع ۲، از هفته دوازدهم در یک دوره تمرینات مقاومتی شرکت نمودند. به طوری‌که برنامه تمرینی برای مدت ۸ هفته به تعداد ۵ جلسه در هفته در قالب هر جلسه ۱۰ نوبت بالا رفتن از نردبان پله‌ای به ارتفاع یک متر (شیب ۸۵ درجه، فاصله بین پله‌ها ۳ سانتی‌متر) با فواصل

فن آوری گلوکز اکسیداز و با استفاده از کیت گلوکز شرکت پارس آزمون-تهران اندازه‌گیری شد. ضریب تغییرات درون آزمون و برون آزمون گلوکز به ترتیب ۱/۷۴ و ۱/۱۹ درصد و حساسیت اندازه‌گیری ۵ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر بود. برای اندازه‌گیری انسولین سرم از کیت آزمایشگاهی دیمدیتیک ساخت کشور آلمان به روش الیزا استفاده گردید. ضریب تغییرات درون گروهی و برون گروهی و میزان حساسیت اندازه‌گیری انسولین به ترتیب ۲/۶ و ۲/۸۸ درصد و ۱/۷۶ (واحد بین‌المللی) بود. و جهت محاسبه میزان حساسیت به انسولین از فرمول زیر استفاده گردید.

$$\text{QUICKI} = 1/[\log(\text{fasting insulin, } \mu\text{U/ml}) + \log(\text{fasting glucose, mg/dl})]$$

طراحی، آماده‌سازی پرایمر جهت پروسه Real Time PCR پرایمر Reverse در کیت وجود دارد. اما پرایمر Forward با دید طراحی شود. در واقع پرایمر Forward همان توالی بالغ میکرو RNA است، لیکن باید از لحاظ دمای ذوب (Tm) بررسی گردد به طوری که در صورت هماهنگ نبودن دمای ذوب آن با پرایمر Reverse، تغییراتی در ساختار آن داده شود. پس از طراحی پرایمر توسط متخصص ژنتیک، سفارش ساخت آن به شرکت پیشگام داده شد و متعاقب یک هفته آماده‌سازی شد. ضمن اینکه از ژن RNA-polymer2 سلولی به عنوان ژن کنترل استفاده شد. جدول ۱-۲ الگوی پرایمرهای را نمایش می‌دهد.

جدول ۱-۱: پروتکل تمرین مقاومتی

هفته	اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم	ششم	هفتم	هشتم
وزن وزنه حمل شده (درصدی از وزن بدن)	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۸۰	۸۰	۱۰۰	۱۰۰
استراحت بین تکرارها (ثانیه)	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰

جدول ۱-۲: الگوی پرایمرهای مورد استفاده در پژوهش

Genes	Primer sequence	Product size	T m	Gene Bank
IGF1	For: TGCTAAATCTCACTGTCGCTGC	159 bp	60	NM_001191052.1
	Rev: TGGGAGATGTTAGAGCAAAGTCAC			
PI3K	For: ACTGAGATGGAGACACGGAAC	159 bp	60	NM_001191052.1
	Rev: GCATCCAAGGGTCCAGTTAGTG			
RNA PolymraseII	For: ACTTTGATGACGTGGAGGAGGAC	164 bp	60	XM_008759265.1
	Rev: GTTGGCCTGCGGTCGTTTC			

استراحتی ۹۰ ثانیه‌ای و اعمال وزنه به قاعده دم موش اجرا شد. لازم به ذکر است که در ابتدای هر جلسه ۳ صعود بدون مقاومت روی نردبان جهت گرم کردن اجرا می‌شد. گروه کنترل دیابتی عبارت است از ۷ سر رت نر ویستار ۱۰ هفته‌ای که دیابت نوع ۲ به آنها القا می‌شود اما در برنامه تمرینی شرکت نداشته و در انتهای مطالعه همزمان با گروه تمرینات مقاومتی تشریح شدند (۳).

کشتار موش، نمونه‌گیری خون و استخراج بافت: ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی (پس از یک شب ناشتایی حدود ۱۰ تا ۱۲ ساعت)، رت‌های مورد مطالعه در هر گروه به واسطه تزریق داخل صفاقی مخلوط کتامین ۱۰ درصد و با دوز ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و زایلوزین ۲ درصد و با دوز ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیهوش شدند و به دنبال آن نمونه‌گیری خون از قلب و استخراج بافت عضله نعلی انجام گرفت. به طوری که قفسه سینه حیوان شکافته شده و برای اطمینان از کمترین آزار حیوان، نمونه خون به‌طور مستقیم از قبل حیوان گرفته شد. در ادامه عضله نعلی رت‌ها نمونه‌برداری شده و پس از شستشو در سرم فیزیولوژیک در میکروتیوب‌های ۱/۸ حاوی مایع RNAlater<sup>TM</sup> با نسبت ۲۰ درصد غوطه‌ور گردید و جهت انجام آزمایش‌های بعدی به آزمایشگاه انتقال داده شد. جهت جداسازی سرم، نمونه‌های خونی با ۱۰۰۰×g به مدت ۲ دقیقه سانتریفیوژ شدند. غلظت گلوکز به روش آنزیمی رنگ‌سنجی با

کلیه بررسی‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار version 16 SPSS انجام گرفت.

### ملاحظات اخلاقی

پروپوزال این تحقیق توسط پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی تهران تایید شده است (کد اخلاق IR.SSRC.REC.1398.047)

### نتایج

تغییرات وزن موش‌های صحرایی در جدول ۱ گزارش شده است. وزن موش‌های صحرایی در انتهای مطالعه در مقایسه با وزن آن‌ها در ابتدای مطالعه افزایش داشت ( $p \leq 0.001$ ). در حالی که این افزایش در گروه کنترل نسبت به گروه تمرین بیشتر بود ( $p \leq 0.001$ ).

استخراج RNA: RNA توسط کیت RNeasy protect (QIAGEN) mini kit از بافت عضله نعلی مطابق با دستورالعمل شرکت استخراج شد. به طوری که ۲۰ میلی‌گرم از بافت را با استفاده از اسکالپر خرد نموده و وارد میکروتیوپ می‌کنیم و سپس RNA با استفاده از کیت RNeasy Protect مطابق با دستورالعمل شرکت سازنده آلمانی استخراج شد. جهت کمی‌سازی بیان mRNA، از روش  $\Delta\Delta CT$  مقایسه‌ای استفاده گردید.

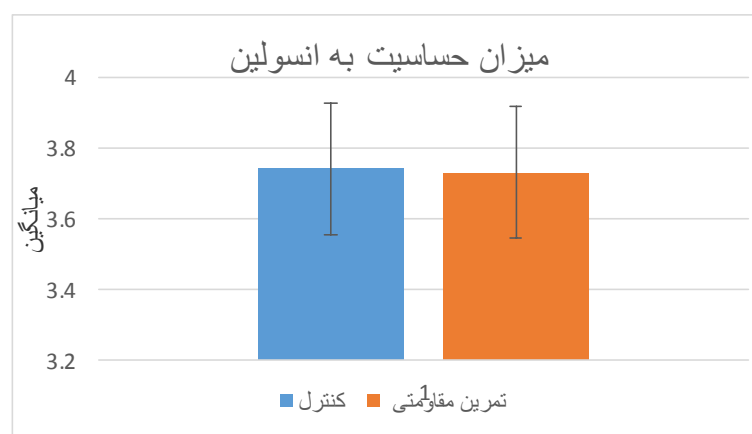
### تجزیه و تحلیل آماری

از آزمون کوموگروف اسمیرنوف جهت اطمینان از توزیع نرمال داده‌ها استفاده گردید. برای توصیف داده و رسم نمودارها از آمار توصیفی استفاده شد. برای مقایسه متغیرها بین گروه‌های دیابتی (کنترل، مقاومتی) از آزمون تی مستقل استفاده شد. سطح معنی‌دار نیز  $\alpha = 5\%$  در نظر گرفته شد.

جدول ۱: میانگین و انحراف استاندارد وزن گروه‌ها

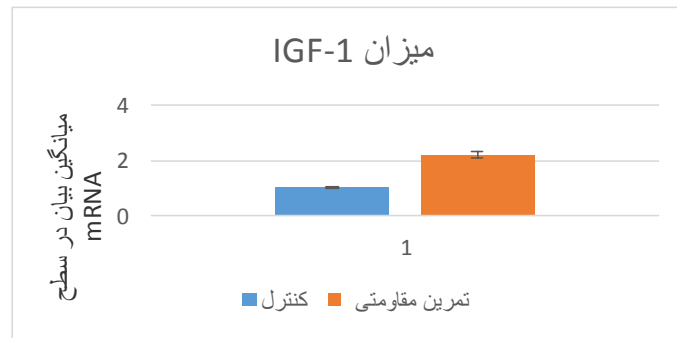
گروه	وزن اولیه (گرم)	وزن نهایی (گرم)	درصد تغییر
کنترل (n=7)	۲۳۰/۴±۲/۸۲	۲۹۲/۲±۸/۰۵	۲۷٪
تمرین (n=7)	۲۳۱/۷±۳/۸۶	۲۶۱/۷±۷/۲۲	۱۳٪

داده‌ها به صورت میانگین و انحراف استاندارد (M±SD) است



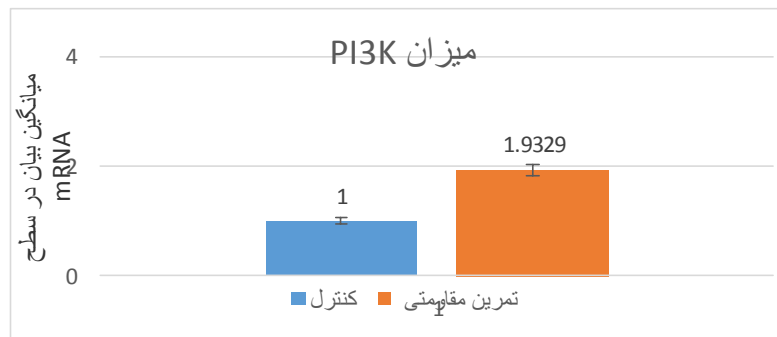
شکل ۱: (میزان حساسیت به انسولین در گروه کنترل و تمرین مقاومتی)

میزان حساسیت انسولین سرم در موش‌های دیابتی گروه تمرین نسبت به موش‌های دیابتی گروه کنترل ( $P=0/778$ ). تفاوت معنی داری نداشت (شکل ۱)



شکل ۲: میزان تغییرات IGF-1

بیان IGF-1 در عضله دو قلو موش های دیابتی گروه تمرین مقاومتی در مقایسه با موش های دیابتی گروه کنترل افزایش معناداری داشت ( $P=0/001$ ). میزان تغییرات بیان IGF-1 در گروه تمرین بیش از ۲ برابر افزایش داشت (شکل ۲)



شکل ۳: میزان تغییرات PI3K

همچنین بیان PI3K در عضله دو قلو موش های دیابتی گروه تمرین مقاومتی در مقایسه با موش های دیابتی گروه کنترل افزایش معنی داری داشت ( $P=0/011$ ). میزان تغییرات در گروه تمرین نزدیک به دو برابر افزایش داشت (شکل ۳)

نظر می رسد این یافته ها همسو با نتایج کافی و همکاران که گزارش کردند، پس از تمرین مقاومتی سنگین IGF-1 افزایش می یابد (۴). و با تحقیق ایلیاکیم و همکاران که ۵ روز تمرین بر روی تردمیل در هفته افزایش قابل توجهی در بیان ژن و سطوح پروتئینی IGF-1 در اندام تحتانی رت های ماده صورت گرفت (۴). و همچنین با تحقیق زاناتو و همکارانشان که نشان داده شد که افزایش مرتبط با کار عضلانی در IGF-1 mRNA در هیپوفیز کتوموی موش ها رخ داده است (۴). و با تحقیق آدام و آنایبالاینی و شیچنگ کائو که در تحقیقی تأثیر ورزش بر علائم AMPK و اجزای پایدار آن به PI3K در موش صحرائی با دیابت نوع ۲ ورزش مزمن و حاد، علائم AMPK عضله اسکلتی را بهبود می بخشد و PI3K را در موش های صحرائی با دیابت ناشی از HFD-plus STZ تقویت می کند همخوانی دارد

## بحث

در این مطالعه تغییرات بیان ژن IGF-1 و PI3K و حساسیت به انسولین در عضله دو قلو موش های دیابتی نوع ۲ پس از هشت هفته تمرینات مقاومتی بررسی شد. یافته های اصلی، افزایش ۲ برابری بیان ژن IGF-1 و PI3K را مشاهده گردید و همچنین میزان حساسیت به انسولین سرم موش های دیابتی تفاوت معنی داری نداشت و وزن موش های دیابتی در هر دو گروه افزایش داشت که این افزایش در گروه کنترل نسبت به تمرین بیشتر بود. مطالعات گوناگون تأثیر انواع فعالیت های ورزشی بر IGF-1 را بررسی کرده اند. با وجود این، مطالعات اندکی تأثیر تمرینات مقاومتی بر مسیر IGF-1 و PI3K بر روی موش های دیابتی نوع ۲ بررسی شده است که این موضوع مقایسه این پژوهش با پژوهش های دیگر را دشوار می کند. به

(۴،۵،۶) ولی با نتایج بورست، که در تحقیقی تأثیر تمرینات مقاومتی در فاکتور رشد انسولین (IGF-1) پرداختند که نتیجه گرفتند که افزایش در قدرت و استقامت ناشی از تمرینات مقاومتی منجر به افزایش IGF-1، IGFBP و تستوسترون نمی‌شود (۷) که با یافته‌های ما همسو نیست. دیابت نوع ۲ دارای التهاب سیستمیک و کم درجه‌ای است که حساسیت انسولین را کاهش می‌دهد و سیگنالینگ آتروفیک عضله را تنظیم می‌کند. مقاومت به انسولین ناشی از التهاب، سنتز پروتئین را از طریق مسیر PI3K-Akt کاهش می‌دهد و سیستم ubiquitin-proteasome را با استفاده از پروتئین‌های خانواده FoxO و الیوپاتین‌های E3 پایین خود تنظیم می‌کند (۳). بعضی از تأثیرات میتوژنی انسولین ممکن است از طریق تعامل با گیرنده‌های IGF-1 ایجاد شود، به طوری که پیرانسولینی، سنتز و فعالیت IGF-1 را افزایش می‌دهد (۴،۵). مطالعات انسانی و حیوانی نشان داده است که جهش ژن IGF-1 موجب حالت مقاومت به انسولین می‌شود و این حالت با درمان توسط IGF-1 بهبود می‌یابد. همچنین مطالعه روی افراد ۴۵-۶۵ ساله نشان داد که پایین بودن IGF-1 تام، با افزایش خطر اختلال در تحمل گلوکز و دیابت، همراه است (۸). نتایج مطالعه مکنزی و همکاران (۲۰۱۱) نیز حاکی از آن است که فعالیت بدنی تأثیر فزاینده‌ای بر حساسیت انسولینی بیماران دیابتی نوع ۲ دارد (۶). آنوپ و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی بر تأثیر ۳ ماه تمرینات مقاومتی با شدت متوسط منجر به بهبود قابل توجهی در حساسیت به انسولین در مردان دیابت نوع ۲ گردید که با یافته‌های ما همسو نیست (۹). و همچنین تغییرات جزئی در حساسیت به انسولین در مردان (۶۰-۸۰ ساله) پس از یک دوره تمرین ترکیبی و کاهش وزن گزارش کردند (۷). اختلاف نظر در یافته‌های مختلف ممکن است به دلیل مداخله متغییر و اغلب ناکافی و استفاده از روش‌های مختلف برای اندازه‌گیری حساسیت به انسولین باشد. شیوع بیشتر سرطان و مرگ و میر در افراد دارای دیابت نوع دوم یا اختلال در تحمل گلوکز گزارش شده است. انسولین با تحریک تکثیر سلول یا مهار آپوپتوزیس، تنظیم سنتز و موجودیت بیولوژیکی

هورمون‌های استروئیدی جنسی و مهار سنتز کبدی گلوبولین متصل به هورمون جنسی (SHBG) رشد تومور را افزایش می‌دهد. بعضی از تأثیرات میتوژنی انسولین ممکن است از طریق تعامل با گیرنده‌های IGF-1 ایجاد شود، به طوری که پیرانسولینی، سنتز و فعالیت IGF-1 را افزایش می‌دهد (۴،۱۰) شواهد زیادی از نقش محور IGF در حفظ هموستاز طبیعی گلوکز حمایت می‌کنند (۴). از طرفی انسولین به گیرنده‌های انسولین روی سارکولما در عضله اسکلتی متصل می‌شود و فعالیت گیرنده تیروزین کینازی انسولین را افزایش می‌دهد و سوبستراهای گیرنده انسولین (IRS-1) را فسفوریله می‌کند. فسفوریلاسیون تیروزینی IRS-1 باعث درگیر شدن زیر مجموعه تنظیمی p85 مربوط به PI3K می‌گردد و زیرگروه کاتالیتیکی p110 را فعال می‌کند که باعث افزایش فسفواینوسیتیدهای مثل فسفاتیدیل اینوزیتول ۳،۴،۵-تری‌فسفات می‌گردد که این منجر به فعال‌سازی پروتئین کیناز وابسته به فسفواینوزیتید و پروتئین پایین دستی PKB (Akt) و یا پروتئین PKC شود. فسفوریلاسیون سوبسترای Akt ۱۶۰ (AS160) که یک دومین فعال‌کننده GTPase دارد (Rab4)، باعث تسهیل انتقال GLUT4 به سارکولما برای انتقال گلوکز به درون سلول می‌شود. بنابراین، حفظ پاسخ‌های مناسب در مسیر IRS-PI3K-Akt برای متابولیسم گلوکز به واسطه انسولین در عضله اسکلتی حیاتی است (۴). بنابراین، این احتمال وجود دارد که افزایش ناشی از اجرای تمرینات مقاومتی، ریشه در آثار آن بافت عضلانی و هیپرتروفی آن داشته باشد. در پژوهش حاضر، پس از تمرین ورزشی وزن موش‌های دیابتی در هر دو گروه کنترل و تمرین افزایش داشته است، که به احتمال زیاد، دلیل تغییر ترکیب بدن در گروه تمرین، می‌تواند به کاهش چربی و افزایش وزن عضله آن‌ها اضافه شده است، با وجود این، از آنجایی که در پژوهش حاضر وزن عضله و ابعاد سلول‌های عضلانی به لحاظ مورفولوژی سنجیده نشده است، و از آنجایی که عوامل هیپر تروفی زیاد هستند نمی‌توان گفت تنها افزایش در IGF-1 و PI3K باعث افزایش وزن موش‌ها گردیده است که از محدودیت‌های این



عضلات و عملکرد عضلات را از طريق افزايش فعال سازى سنتز پروتئين عضلانى از طريق مسير IGF1-IRS1-PI3K-AKT-mTOR مشاهده مى شود و برعكس، رژيم غذايى پرچرب باعث کاهش اندازه عضلانى و عملکرد با مهار بيان همان مسير IGF1-IRS1-PI3K-AKT-mTOR مى شود (۴).

### نتيجه گيرى

در مجموع با توجه به يافته هاى پژوهش حاضر ، اجراى هشت هفته تمرينات مقاومتى مى تواند محرک قوى بر بيان ژن IGF-1 و PI3K و عدم تغيير در حساسيت به انسولين در عضله دو قلوى موش هاى ديابتي نوع ۲ شود. يافته هاى اصلى، افزايش ۲ برابرى بيان ژن IGF-1 و PI3K را مشاهده گرديد و هم چنين ميزان حساسيت به انسولين سرم موش هاى ديابتي تفاوت معنى دارى نداشت. به نظر مى رسد تمرينات ورزشى مقاومتى با توجه به اثرات هايپروتروفىك خود براى حفظ توده عضلانى به ويژه در بيماران ديابتي كه با نارسايى هاى عضلانى مواجه هستند، همواره مورد توجه مى باشد و با توجه به اينكه بيشترين ميزان گلوکز جريان خون توسط عضلات اسكلتي جمع آورى مى شود، تمرينات مقاومتى در کنار تغذيه مناسب و داروها مى تواند در كنترل و بهبود اين بيمارى موثر باشد.

### سپاس گزاري

مقاله حاضر بخشى از پايان نامه تحت عنوان بررسى تاثير تمرينات ورزشى مقاومتى بر محور IGF-1 / PI3K در عضله اسكلتي و حساسيت انسولين در موش هاى صحرايى ديابتي نوع ۲ در مقطع دكترى تخصصى در سال ۱۳۹۷ مى باشد كه با حمايت دانشگاه تهران جنوب اجرا گرديد. بدين وسيله از نويسندگان و همكاران اين مقاله كمال تقدير و تشكر را دارم.

حامى مالى: ندارد.

تعارض در منافع: وجود ندارد.

پژوهش به شمار مى رود. در تحقيقاتى نشان مى دهد كه تنظيم غير طبيعى از مسير PI3K/AKT ممكن است يكي از عوامل متعددى است كه باعث اختلال در عملکرد عروق درديابت مى شود. مسير PI3K كه پروتئين كيناز AKT را فعال مى كند، توليد نيترىك اكسايد را افزايش مى دهد. مطالعات متعدد نشان مى دهد كه در ديابت ناسازگارى نسبي انسولين و هيپر گليسمى با هم به کاهش فعاليت در مسيرهاى گيرنده انسولين IRS/PI3K/AKT منجر به اختلال در هر دو عملکرد اندوتليال و توليد نيترىك اكسايد منجر مى شود (۴). نشان داده شده است كه افراد تمرين كرده مقاومتى داراي غلظت بيشتر IGF-1 نسبت به افراد تمرين نكرده بودند. مطالعات كوتاه مدت افزايشى در مقدار IGF-1 استراحتى زنان نشان دادند. ماركس و همكاران (۲۰۰۱) به دنبال ۶ ماه تمرين مقاومتى افزايش معنادارى را در مقدار IGF-1 در افرادى كه قبلاً غيرفعال بودند مشاهده كردند (۴). در تحقيق ديگر نشان داده شد كه ۲۵ هفته تمرين مقاومتى منجر به افزايش ۲۵ درصدى در IGF-1 گردش خون شد (۸). بر اساس مطالعات انجام شده فعاليت هاى بدنى هوازى با فعال كردن مسير AMPK و افزايش جذب گلوکز بر كنترل ديابت موثر هستند و فعاليت هاى قدرتى با فعال كردن مسير PI3K و به دنبال آن AKT و mTOR سبب افزايش جذب و مصرف گلوکز مى شود. اين بهبودها در كنترل قند خون معمولاً به کاهش تجويز و مصرف داروها منجر مى گردد (۱۱). اين يافته ها به لحاظ بالينى بسيار با ارزش است، زيرا در عضلات اسكلتي بيماران مبتلا به ديابت نوع دوم، فسفوريلاسيون تيروزين IRS-۱ و فعاليت PI3K کاهش مى يابد. بنا بر اين، اگر فعاليت ورزشى در افزايش غلظت آديپونكتين پلازما و بافت اثربخش باشد، موجب بهبود حساسيت انسولينى مى شود و نه تنها به عنوان روش درمانى بلكه به عنوان راهبرد مناسب و مقرون به صرفه در پشيجيرى از ابتلا به ديابت نوع ۲ اهميت دارد (۴). نشان داده شده كه در طى تمرينات مقاومتى همراه با كراتين مونوهيدرات افزايش اندازه



## References:

- 1- Perry BD, Caldwon MK, Brennan-Speranza TC, Sbaraglia M, Jerums G, Garnham A, et al. *Muscle atrophy in patients with Type 2 Diabetes Mellitus: roles of inflammatory pathways, Physical Activity and Exercise*. Exerc Immunol Rev 2016; 22: 94-109.
- 2- Chen GQ, Mou CY, Yang YQ, Wang S, Zhao ZW JLS. *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 .
- 3- Barbé C, Kalista S, Loumaye A, Ritvos O, Lause P, Ferracin B, et al. *Role of IGF-I in Follistatin-Induced Skeletal Muscle Hypertrophy*. Am J Physiol Endocrinol Metab 2015; 309(6): E557-E67.
- 4- Matheny Jr RW, Carrigan CT, Abdalla MN, Geddis AV, Leandry LA, Aguilar CA, et al. *RNA Transcript Expression of IGF-I/PI3K Pathway Components in Regenerating Skeletal Muscle is Sensitive to Initial Injury Intensity*. Growth Horm IGF Res 2017; 32: 14-21.
- 5- Hammers DW, Merritt EK, Matheny W, Adamo ML, Walters TJ, Estep JS, et al. *Functional Deficits and Insulin-Like Growth Factor-I Gene Expression Following Tourniquet-Induced Injury of Skeletal Muscle in Young and Old Rats*. J Appl Physiol 2008; 105(4): 1274-81.
- 6- Jones JJ, Clemmons DR. *Insulin-Like Growth Factors and their Binding Proteins: Biological actions* 1995; 16(1): 3-34 .
- 7- Ramezani N, Gaiini A, Choobineh S, Kordi M, Baesi K. *The Effect of Resistance Training on Serum Levels of RBP-4 and Insulin Resistance Index in Type 2 Diabetic Male Rats*. JNKUMS 2017; 9(2): 147-57.
- 8- Pesta DH, Goncalves RL, Madiraju AK, Strasser B, Sparks LM. *Resistance Training to Improve Type 2 Diabetes: Working Toward a Prescription for the Future*. Nutr Metabol 2017; 14(1): 24.
- 9- Barbé C, Kalista S, Loumaye A, Ritvos O, Lause P, Ferracin B. *Metabolism. Role of IGF-I in Follistatin-Induced Skeletal Muscle Hypertrophy*. Am J Physiol Endocrinol Metab 2015; 309(6): E557-E67.
- 10- Misra A, Alappan NK, Vikram NK, Goel K, Gupta N, Mittal K. *Effect of Supervised Progressive Resistance Exercise Training Protocol on Insulin Sensitivity, Glycemia, Lipids and Body Composition in Asian Indians with Type 2 Diabetes*. Diabetes Care 2008; 31(7): 1282-7.
- 11- Schoenfeld BJ. *The Mechanisms of Muscle Hypertrophy and their Application to Resistance Training*. J Strength Cond Res 2010; 24(10): 2857-72.

## Investigating the effect of Resistance Training on the Axis / IGF-1 PI3K in Skeletal Muscle and Insulin Sensitivity in Type 2 Diabetic Rats

Mahdi Nadi<sup>\*1</sup>, Abdolali Banaifar<sup>1</sup>, Sajjad Arshadi<sup>1</sup>, Mojtaba Eizadi<sup>2</sup>

### Original Article

**Introduction:** IGF-1 is a polypeptide hormone that plays a vital role in the development and regeneration of skeletal muscles.

IGF-1 activates anabolic pathways such as PI3K and IRS-1/2 to activate a series of intracellular anabolic signals. The purpose of this study was to investigate the effect of 8 weeks resistance training on IGF1, PI3K and insulin sensitivity in neural muscle in type 2 diabetic rats.

**Methods:** In this experimental study, 14 male Wistar mice aged 8 to 10 weeks and induction of type 2 diabetes (type 2 diabetes was induced by intraperitoneal injection of nicotinamide and STZ in diabetic groups) and were divided into two groups of resistance training and control groups. The mice in the control group did not exercise during the study, while the resistance group performed 8 weeks of training for 5 sessions per week. Resistance exercises in each session were performed in the form of 10 repetitions with 90-second rest intervals in the form of climbing a 26-step ladder to a height of one meter with a vertical slope of 85%, and weight was applied to the base of the rat's tail. 48 hours after the last training session, blood samples were taken from the heart and neural muscle tissue was extracted. Real Time-PCR method was used to determine the genes and one-way ANOVA test was used to compare the variables. All statistical studies were done using SPSS version 16 software.

**Results:** The results of this study showed that expression of IGF-1 and PI3K in the duodenal axis of diabetic rats in resistance training group was significantly higher than that of the control group ( $P = 0.001$ ) ( $P = 0.11$ ). Serum insulin sensitivity in diabetic rats was not significantly different in diabetic rats compared to the diabetic rats ( $P=0.778$ ).

**Conclusion:** It seems that eight weeks of resistance training can be a strong stimulus on IGF-1 and PI3K gene expression and no change in insulin sensitivity in neural muscle in type 2 diabetic rats.

**Keywords:** Resistance exercises, IGF-1, PI3K, Neural muscle, Type 2 diabetes.

**Citation:** Nadi M, Banaifar A, Arshadi S, Eizadi M. *Investigating the Effect of Resistance Training on the Axis / IGF-1 PI3K in Skeletal Muscle and Insulin Sensitivity in Type 2 Diabetic Rats*. J Shahid Sadoughi Uni Med Sci 2023; 30(11): 6126-35.

<sup>1</sup>Department of Sports Physiology, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Department of Sports Physiology, Islamic Azad University, Saveh Branch, Saveh, Iran.

\*Corresponding author: Tel: 09133731507, email: mahdinadi61@gmail.com