

تأثیر شش هفته تمرین هوازی بر سطوح پلاسمایی لیپوکالین ۲، انسولین و مقاومت به انسولین در موش‌های نر دیابتی شده با استرپتوزوتوسین

افسانه شمشکی^۱ - مهشید حسینی^{۲*} - مرضیه ثاقب جو^۳ - رضا عارفی^۴

۱. دانشیار فیزیولوژی ورزشی دانشکده تربیت بدنی دانشگاه الزهراء، تهران، ایران ۲. دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی دانشکده تربیت بدنی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران ۳. دانشیار فیزیولوژی ورزشی گروه تربیت بدنی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران ۴. دکتری فیزیولوژی ورزشی گروه تربیت بدنی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۰۵، تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۰۲/۱۷)

چکیده

لیپوکالین ۲ یک آدیپوکاین است که با چاقی، دیابت نوع دوم و مقاومت به انسولین ارتباط نزدیکی دارد. پژوهش حاضر اثر تمرین هوازی بر سطوح پلاسمایی لیپوکالین ۲، انسولین و مقاومت به انسولین در موش‌های نر دیابتی را بررسی می‌کند. تعداد ۳۰ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار ۱۲ هفته‌ای با وزن ۱۸۰ تا ۲۴۰ گرم به طور تصادفی به ۳ گروه تمرین دیابتی، کنترل دیابتی و کنترل سالم تقسیم شدند. موش‌های گروه تمرین دیابتی به مدت شش هفته و پنج روز در هفته برای ۴۰ دقیقه با سرعت ۲۰ متر در دقیقه و شیب پنج درجه، تمرین استقامتی انجام دادند. تمام موش‌ها ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی و پس از ۱۲ ساعت ناشتایی بیهوش و خون‌گیری شدند. سطوح پلاسمایی لیپوکالین ۲ و انسولین به روش الایزا اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون آماری تحلیل واریانس یک طرفه و آزمون تعقیبی توکی انجام شد. آزمون تحلیل واریانس یک طرفه نشان داد که شش هفته تمرین هوازی منجر به افزایش معناداری در سطح پلاسمایی لیپوکالین ۲ ($P=0/003$) و کاهش معنادار شاخص مقاومت به انسولین ($P=0/007$) در گروه تمرین دیابتی شد. در حالی که تغییرات معناداری در سطوح انسولین در گروه تمرین دیابتی نسبت به گروه کنترل دیابتی ($P=0/587$) دیده نشد. این پژوهش نشان داد که شش هفته تمرین هوازی ممکن است از طریق افزایش سطح لیپوکالین ۲ و کاهش مقاومت به انسولین در بهبود اختلالات متابولیکی در بیماری دیابت نقش داشته باشد.

واژه‌های کلیدی

لیپوکالین ۲، مقاومت به انسولین، دیابت، چاقی، گلوکز.

مقدمه

پژوهش‌ها به ارتباط بین این پروتئین‌ها با چاقی و دیابت نوع دوم و سندرم متابولیک اشاره دارند (۹). لیپوکالین^۲ (همچنین به عنوان نوتروفیل ژلاتیناز^۴ مرتبط با لیپوکالین^۴ (NGAL) شناخته شده است) یکی از اعضای زیرخانواده لیپوکالین، به تازگی بعنوان یک سایتوکاین مشتق از بافت چربی شناخته شده است (۳۷). لیپوکالین-۲ پروتئین ۲۵ کیلو دالتونی است که در آغاز از نوتروفیل‌های انسانی و سایر سلولها و بافتها در دستگاه تنفسی و دستگاه گوارش که در گردش خون ترشح می‌شود مشخص شد (۱۹). مطالعات قبلی نشان داده اند که بیان ژن LCN-2 در بافت چربی و کبد حیوانات چاق ژنتیکی تنظیم مثبت دارد (۱۹،۳۷). لیپوکالین^۲ به وفور از سلول‌های چربی تولید می‌شود (۲۲). بیان و ترشح این پروتئین پس از تبدیل سلول‌های چربی نابالغ به سلول‌های چربی بالغ به شدت افزایش می‌یابد (۱۱).

لیپوکالین^۲ اولین بار به عنوان یک پروتئین القاکننده قوی در پاسخ به فاکتورهای رشد فیبروبلاست که از سلول‌های 3T3 ترشح می‌شود، شناخته شد. در آن زمان هملتون و همکارانش (۱۹۸۱) آن را SIP24^۵ نامیدند. آنها در یافتند این پروتئین در پاسخ به فاکتورهای رشد فیبروبلاست به عنوان یک القاکننده قوی از سلول‌های 3T3 ترشح می‌شود (۲۰). لیپوکالین‌ها در اعمال مختلفی مانند: انتقال رتینول‌ها و فرمون‌ها، سنتز پروستاگلاندین‌ها، انتقال آهن و اسیدهای چرب، مهار رشد باکتریایی و تعدیل پاسخ‌های التهابی نقش دارند (۷،۱۷). مشخص شده میانجی‌های التهابی نظیر LCN-2 و پروتئین واکنشی C (CRP)^۶ در بیماران دیابتی افزایش یافته که با توسعه و پیشرفت مشکلات قلبی عروقی همراه است (۳۶). البته به تازگی بیان شده

چاقی یکی از فاکتورهای اصلی خطر ابتلا به مقاومت به انسولین، مشخصه دیابت نوع ۲ و سایر عوارض متابولیک مانند کبد چرب، چربی خون و آترواسکلروز است. بافت چربی نقش مهمی در تعادل وزن بدن، التهاب و مقاومت به انسولین از طریق تنظیم متابولیسم و ذخیره سازی چربی و انتشار طیف وسیعی از سایتوکاین‌ها / آدیپوکین‌ها بازی می‌کند (۵، ۱۹).

دیابت شامل یک گروه بیماری‌های متابولیک با مشخصه افزایش گلوکز خون می‌باشد که در نتیجه کاهش ترشح انسولین، عملکرد انسولین یا هر دو ایجاد می‌شود (۳۱). دیابت نوع دو با تغییر در فاکتورهای خونی و میانجی‌های بدن مانند افزایش برخی از سایتوکین‌ها، کلسترول، اسید چرب و سایر موارد ارتباط گسترده ای دارد، که می‌توانند عامل‌های تشدید کننده و حتی القا کننده‌ی دیابت محسوب گردند (۱۰). این بیماری، با عوارض چشمی، کلیوی، قلبی و عصبی همراه است. دیابت کیفیت زندگی را کاهش می‌دهد و بار قابل توجهی بر سیستم‌های سلامت وارد می‌آورد (۳۴). بنابراین تلاش پژوهشگران در پیشگیری و درمان، این است که فاکتورهای تشدید کننده را شناسایی و در صورت امکان توسط روش‌های درمانی مانند تمرین‌های ورزشی آن‌ها را بهبود بخشند (۱۰). تصور بر این است که فعالیت ورزشی به وسیله‌ی کاهش سطح لیپیدهای پلاسمایی و گلوکز خون، کاهش استرس اکسایشی و افزایش حساسیت انسولینی موجب بهبود و تعدیل عوارض ناشی از دیابت شود (۳۴).

پروتئین‌های خانواده لیپوکالین شامل FABP-A^۱، لیپوکالین^۲ (LCN-2) و RBP4^۲ می‌باشند که

4 . Neutrophil gelatinase-associated lipocalin
5 . Superinducible protein-24
6 . C-reactive Protein

1 . Fatty acid binding protein
2 . Lipocalin-2
3 . Retinol-binding protein 4

دادند (۱۴). تمرینات هوازی نوع رایج فعالیت ورزشی در
معالجه ی افراد دیابتی نوع ۲ است که باعث بهبود در
کنترل گلیسیمیک، وضعیت لیپید، کاهش چربی بدن و
کاهش گلوکز خون ناشتا می شود (۴). مطالعات گوناگونی
نشان داده اند که افزایش سطح فعالیت بدنی از جمله
تمرینات هوازی در کاهش توده چربی برخی متغیرهای
بیوشیمیایی که موجب بروز التهاب در بدن می شود اثر
مثبتی دارد (۳۰،۳۰). فعالیت ورزشی از راه کاهش توده
چربی احشایی به دنبال آن کاهش رهایی سایتوکین های
پیش التهابی و ایجاد محیطی ضد التهابی در کنترل
بیماری های مرتبط با التهاب، نظیر دیابت نقش اساسی
دارد (۱۸). با توجه به اطلاعات موجود، مبنی بر تأثیر
تمرین هوازی بر متابولیسم گلوکز و سطوح LCN-2 در
افراد سالم و نبودن پژوهش مشابه در زمینه تأثیر تمرین
هوازی در نمونه های دیابتی، بررسی اثر تمرین هوازی بر
LCN-2 در نمونه های دیابتی ضروری به نظر می رسد.
تنها مطالعه ی انجام شده روی نمونه های دیابتی، مطالعه
گرکانی و همکاران (۱۳۹۰) می باشد که تأثیر یک جلسه
فعالیت بدنی را روی موش های صحرایی دیابتی مورد
بررسی قرار دادند. بنابراین هدف پژوهش حاضر، بررسی
تأثیر شش هفته تمرین هوازی بر سطوح LCN-2،
انسولین و مقاومت به انسولین در موش های نر دیابتی
است.

مواد و روش ها

تعداد ۳۰ سر موش صحرایی نر نژاد ویستار ۱۲ هفته-
ای با وزن بین ۱۸۰ تا ۲۴۰ گرم از مرکز تحقیقات
دانشگاه علوم پزشکی بیرجند خریداری شد. موش ها در
قفس های پلی کربنات در درجه حرارت 21 ± 2 سانتی
گراد و با رطوبت نسبی ۴۵ تا ۵۵٪ نگهداری شدند و
چرخه تاریکی و روشنایی به صورت ۱۲ ساعت تاریکی و
۱۲ ساعت روشنایی کنترل شد. موش ها با غذای

LCN-2 ممکن است اثرات ضد التهابی داشته باشد،
به گونه ای که گزارش شده است افزایش سطح
LCN-2 در چاقی و مقاومت به انسولین، سازوکار
حفاظتی علیه التهاب است (۳۷).

بررسی های انجام شده پیرامون اثر فعالیت ورزشی بر
سطح LCN-2 بسیار محدود و یافته های آن متناقض
است. مقدسی و همکاران (۲۰۱۴) تأثیر دو نوع تمرین
مقاومتی و استقامتی را به مدت هشت هفته بر سطح
LCN-2 پلازما مردان جوان سالم مورد مطالعه قرار
دادند، نتایج آنها نشان داد هشت هفته تمرین استقامتی و
مقاومتی باعث کاهش معنی دار LCN-2 بدون تغییر در
پروتئین واکنشگر C و مقاومت انسولینی در مردان جوان
سالم می شود (۲۶). محمدی و خواجه لندی (۲۰۱۴) تأثیر
هشت هفته تمرین هوازی را بر مردان سالم دارای اضافه
وزن بررسی کردند که نتایج آنها نشان داد هشت هفته
تمرین هوازی باعث کاهش LCN-2 می شود (۲۷). چوی
و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی اثرات سه ماه تمرین هوازی
و قدرتی بر روی پروتئین های خانواده لیپوکالین و نشانه
های التهابی در زنان چاق و غیر چاق، نشان دادند غلظت
LCN-2 قبل و پس از سه ماه تمرین تفاوت معناداری
نداشت (۹). اسپروپولوس و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی
۱۰ دونه شرکت کننده در مسابقه فوق مارا تن نشان
دادند که سطوح در گردش LCN-2 بلافاصله پس از
فعالیت ورزشی افزایش داشت و ۴۸ ساعت پس از آن به
سطح پایه نزدیک شد (۳۲). در پژوهش گرکانی و
همکاران (۱۳۹۰) بیان ژن LCN-2 پس از یک جلسه
فعالیت ورزشی در موش های صحرایی دیابتی به طور معنا
داری کاهش یافت (۲). هالو و همکاران (۲۰۱۲) در
بیماران مبتلا به دیابت نوع دو ملیتوس افزایش معناداری
در سطوح سرمی RBP-4، LCN-2 و همبستگی منفی
ضعیف بین LCN-2 و شاخص B-HOMA را نشان

بالای ۲۵۰ میلی گرم در دسی لیتر بود)، موش‌ها به طور تصادفی به ۳ گروه تمرین دیابتی، کنترل دیابتی و کنترل سالم تقسیم شدند. موش‌های گروه تمرین دیابتی به مدت ۶ هفته و ۵ روز در هفته، در برنامه تمرین هوازی شرکت داده شدند (جدول ۱) (۲۳).

استاندارد موش تغذیه شدند. پس از یک هفته سازگاری موش‌ها به محیط آزمایشگاه، ۲۰ سر موش (به جز ۱۰ سر موش گروه کنترل سالم) با محلول استریتوزوتوسین با دوز ۴۰ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن موش در بافر ۰/۱ مولار سیترات با اسیدیته ۴/۵، دیابتی شدند (۸). پس از یک هفته کنترل قند خون (معیار دیابتی بودن قند خون

جدول ۱. برنامه تمرین هوازی

مرحله	هفته	مدت تمرین	سرعت تمرین	شیب تمرین
آشنایی	اول (۵جلسه)	۱۵ دقیقه	۱۰-۵ متر در دقیقه	بدون شیب
اضافه بار	دوم (۵جلسه)	۲۵ دقیقه	۱۰ متر در دقیقه	۵ درجه
اضافه بار	سوم (۵جلسه)	۳۰ دقیقه	۱۵ متر در دقیقه	۵ درجه
اضافه بار	چهارم (۵جلسه)	۳۵ دقیقه	۱۵ متر در دقیقه	۵ درجه
حفظ و تثبیت	پنجم (۵جلسه)	۴۰ دقیقه	۲۰ متر در دقیقه	۵ درجه
حفظ و تثبیت	ششم (۵جلسه)	۴۰ دقیقه	۲۰ متر در دقیقه	۵ درجه

* هر جلسه تمرین شامل ۵ دقیقه گرم کردن در ابتدا به صورت افزایش سرعت و ۵ دقیقه سرد کردن در انتها به صورت کاهش سرعت و شیب ثابت روی نوارگردان انجام شد. هم چنین سرعت نوار گردان متناسب با هر جلسه تمرینی در گرم کردن و سرد کردن تنظیم شد.

ng/ml و برای سنجش سطوح انسولین پلاسما نیز از کیت مربوطه از شرکت مرکودیا^۲ ساخت کشور سوئد و به روش الایزا با $CV = 4.9\%$ و حساسیت $0.15 \mu g/l$ استفاده شد. همچنین جهت ارزیابی مقاومت به انسولین از غلظت‌های پلاسمایی گلوکز و انسولین استفاده شد و با استفاده از فرمول:

$$HOMA - IR = \frac{[انسولین ناشتا (mmol/l) \times گلوکز ناشتا (mmol/l)]}{22.5}$$

محاسبه شد (۳۵). پس از تایید توزیع نرمال داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، برای تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه اختلاف بین گروه‌ها از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون تعقیبی توکی استفاده شد. محاسبه‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS19 و در سطح معنی داری $P < 0.05$ انجام شد.

جلسه تمرین ساعت ۹ تا ۱۱ هر روز انجام شد. به منظور تحریک موش‌ها برای دویدن در صورت نیاز از شوک الکتریکی با ولتاژ کم استفاده شد. ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی و پس از ۱۲ ساعت ناشتایی، موش‌ها با اثر بی‌هوش شدند. با برش ناحیه ی شکم و قفسه سینه حدود ۱۰ میلی لیتر خون مستقیماً از قلب موش‌ها توسط سرنگ گرفته شد و به لوله آزمایش منتقل گردید. پس از مخلوط کردن نمونه‌های خونی در لوله آزمایش با محلول اشباع EDTA، نمونه‌های خونی برای جداسازی پلاسما به مدت ده دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شده و پلاسمای حاصل از آن در دمای $-80^{\circ}C$ درجه سانتی گراد منجمد و ذخیره شدند. برای آنالیز بیوشیمیایی و سنجش مقادیر پلاسمایی LCN-2 از کیت پژوهشی مربوطه از شرکت کازابایو^۱ ساخت کشور چین و به روش الایزا با $CV = 8.3\%$ و حساسیت 0.078

یافته ها

معناداری بالاتر است ($P=0/003$). از طرفی سطح پلاسمایی انسولین در گروه تمرین دیابتی نسبت به گروه کنترل دیابتی افزایش اندکی را نشان داد ولی معنادار نبود ($P=0/587$) و تنها نسبت به گروه کنترل سالم کاهش معناداری را نشان داد ($P=0/017$). علاوه بر این مقاومت به انسولین آزمودنی ها بر اثر شش هفته تمرین هوازی کاهش معناداری را نشان داد ($P=0/016$) و تفاوت در گروه تمرین دیابتی نسبت به گروه کنترل سالم معنادار نبود ($P=0/845$).

سطح گلوکز پلازما پس از یک هفته تزریق استرپتوزوتوسین در موش ها گروه کنترل دیابتی و تمرین دیابتی افزایش داشت. پس از شش هفته تمرین هوازی سطح پلاسمایی گلوکز همان طور که در جدول ۱ آمده در گروه تمرین دیابتی نسبت به گروه کنترل دیابتی پایین تر بود. نتایج نشان داد که سطح LCN-2 پلازما در گروه تمرین دیابتی نسبت به گروه کنترل دیابتی به طور معناداری بیشتر است ($P=0/011$)، هم چنین این متغیر در گروه تمرین دیابتی نسبت به گروه سالم نیز به طور

جدول ۲- تغییرات شاخص های اندازه گیری شده در موش های دیابتی

تمرین دیابتی (n=6)	متغیر	کنترل سالم (n=8)	گروه زمان	
$206/50 \pm 18/06$	$183 \pm 8/33$	$222/12 \pm 11/59$	پیش آزمون	وزن (گرم)
$199/83 \pm 56/26$	$152/63 \pm 13/12$	$239/25 \pm 19/58$	پس آزمون	
$375/33 \pm 73/90$ *	364 ± 27	$86/50 \pm 13/54$	پیش آزمون	گلوکز پلازما (میلی گرم در دسی لیتر)
$201/66 \pm 112/89$ *	$376 \pm 15/01$	$78/25 \pm 9/39$	پس آزمون	
$6/76 \pm 3/63$ *	$4/78 \pm 0/59$	$12/02 \pm 5/26$	پس آزمون	انسولین پلازما (میلی واحد در لیتر)
$2/90 \pm 1/09$ *	$4/35 \pm 0/65$	$2/55 \pm 1/24$	پس آزمون	مقاومت انسولینی
$8/03 \pm 2/92$ *	$4/50 \pm 1/68$	$3/93 \pm 1/15$	پس آزمون	لیپوکالین-۲ پلازما (نانوگرم در میلی لیتر)

* بیانگر تفاوت معنی دار بین گروه

LCN-2 را مورد بررسی قرار دادند. بنابراین پژوهش حاضر به منظور تعیین تاثیر شش هفته تمرین هوازی بر سطوح LCN-2، انسولین و مقاومت به انسولین در موش های نر دیابتی انجام شد. یافته ها کاهش سطح گلوکز پلاسمایی را پس از شش هفته تمرین هوازی نشان داد. فعالیت ورزشی از راه ساز و کارهای مختلفی می تواند موجب بهبود دریافت و مصرف گلوکز خون به هنگام و پس از فعالیت ورزشی شوند. برخی از این سازوکارها عبارتند از افزایش جریان خون عضلانی، افزایش اتصال انسولین به گیرنده های آن، افزایش تغییر و تبدیل گیرنده های انسولین و افزایش انتقال گلوکز به وسیله ی تحریک در

بحث و نتیجه گیری

اگر چه بیش از یک دهه است که از شناسایی LCN-2 می گذرد اما هنوز عملکرد فیزیولوژیک آن ناشناخته است. بررسی های اولیه در زمینه این پروتئین، بیشتر بر نقش آن در پاسخ ایمنی به عفونت های باکتریایی و آپوپتوز بوده است (۱۶). در حالی که یافته های اخیر فیزیولوژیست ها نشان می دهد که LCN-2 شاخص چاقی و اختلالات متابولیکی مرتبط با چاقی است (۳۶). پژوهش های اندکی تاکنون تاثیر تمرین های ورزشی بر سطوح

مشخص شده است که LCN-2 به عنوان یک عامل پاسخ دهنده به سیگنال‌های التهابی عمل می‌کند و بیان این مولکول نیز در مواجهه با فشار اکسایشی و عوامل التهابی افزایش می‌یابد (۲۸،۲۱). این در حالی است که در پژوهش کنونی افزایش LCN-2 احتمالاً می‌تواند هم در اثر دیابت و هم ناشی از تمرین باشد و به نظر می‌رسد علت احتمالی آن تاثیر تمرین در بهبود مقاومت به انسولین است.

به تازگی برای نشان دادن اثرات ضد التهابی LCN-2 ادعا شده است که افزایش سطح LCN-2 در برابر چاقی و مقاومت به انسولین ممکن است یک مکانیسم حفاظتی در برابر التهاب باشد. علاوه بر این، LCN-2 باعث افزایش گیرنده فعال پروکسی زوم گاما^۱ (PPAR- γ) و ژن هدف آن، آدیپونکتین، لپتین، اسید چرب سنتاز و لیپو پروتئین لیپاز در سلول‌های چربی می‌شود و به طور همزمان، LCN-2 با اثرات فاکتور نکروز تومور (-TNF α) در ماکروفاژها و سلول‌های چربی مخالفت می‌کند و از سلول‌های چربی در برابر تولید IL-6 و MCP-1 ناشی از TNF- α محافظت می‌کند و اثرات TNF- α را بر روی مصرف گلوکز کاهش می‌دهد و مهار TNF- α را از ترشح لپتین و آدیپونکتین از سلول‌های چربی کاملاً معکوس می‌کند. هم چنین اثرات تحریکی لیپوپلی ساکارید بر بیان ژن سایتوکاین‌ها در ماکروفاژها به طور معناداری توسط LCN-2 کاهش می‌یابد. سرکوب ژنی LCN-2 منجر به کاهش بیان PPAR- γ می‌شود که موجب اثرات ضد التهابی LCN-2 از طریق سازوکار مستقیم یا غیر مستقیم با کمک مهار فعالیت NF-KB می‌شود. نشان داده شده است که LCN-2 ممکن است به عنوان یک عامل ضد التهابی با سرکوب ترشح TNF- α و لیپوپلی ساکارید القایی سیتوکین/کموکاین عمل کند (۳۷). به

جابجایی GLUT-4 به سطح سلول عضلانی می‌باشد (۲۵،۳۸).

این پژوهش نشان داد که سطوح LCN-2 پس از شش هفته تمرین هوازی در گروه تجربی افزایش معناداری داشته است. در این راستا اسپیروپولوس و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی ۱۰ دهنده شرکت کننده در مسابقه فوق ماراثن نشان دادند که سطوح در گردش LCN-2 بلافاصله پس از فعالیت ورزشی افزایش داشت و ۴۸ ساعت پس از آن به سطح پایه نزدیک شد (۳۲). هم چنین دمیرچی و همکاران (۲۰۱۱) تاثیر یک جلسه فعالیت ورزشی فزاینده بر روی نوارگردان را در افراد چاق بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که سطوح LCN-2 به عنوان یک شاخص التهابی پس از انجام یک نوبت فعالیت ورزشی فزاینده و امانده ساز در افراد چاق افزایش یافت (۱۲). افزایش LCN-2 در پژوهش اسپیروپولوس و دمیرچی احتمالاً بیانگر افزایش التهاب ناشی از ورزش بوده است. مقدسی و همکاران (۲۰۱۴) تاثیر دو نوع تمرین مقاومتی و استقامتی را به مدت هشت هفته بر سطح LCN-2 پلاسما مردان جوان سالم مورد مطالعه قرار دادند، نتایج آنها نشان داد هشت هفته تمرین استقامتی و مقاومتی باعث کاهش معنی دار LCN-2 بدون تغییر در پروتئین واکشنر C و مقاومت انسولینی در مردان جوان سالم می‌شود (۲۶). محمدی و خواجه‌لندی (۲۰۱۴) تاثیر هشت هفته تمرین هوازی را بر مردان سالم دارای اضافه وزن بررسی کردند که نتایج آنها نشان داد هشت هفته تمرین هوازی باعث کاهش LCN-2 می‌شود (۲۷). چوی و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی اثرات سه ماه تمرین هوازی و قدرتی را بر روی پروتئین‌های خانواده لیپوکالین و نشانه‌های التهابی در زنان چاق و غیر چاق، نشان دادند غلظت LCN-2 قبل و پس از سه ماه تمرین تفاوت معناداری نداشت (۹).

نظر می رسد LCN-2 در برابر مقاومت به انسولین ناشی از TNF- α در بافت چربی محافظت می کند. برخلاف RBP4، افزایش تولید LCN-2 در چاقی ممکن است یک مکانیسم محافظتی در برابر التهاب و مقاومت به انسولین باشد (۱۵).

لاو و همکاران (۲۰۱۰) بیان کردند که کمبود سطوح LCN-2 موجب مقاومت به انسولین همراه با چاقی و پیری می شود (۲۴). به نظر می رسد با توجه به یافته های بدست آمده در پژوهش حاضر مبنی بر افزایش سطوح LCN-2 و کاهش شاخص مقاومت به انسولین بعد از شش هفته تمرین، بتوان نقش LCN-2 را در بهبود مقاومت به انسولین مشابه با یافته های پژوهش لاو (۲۰۰۹) در نظر گرفت. تان و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که هایپر انسولینمی به وجود آمده با تزریق انسولین، سبب افزایش سطوح LCN-2 در گردش خون شده است (۳۳). در پژوهش حاضر نیز افزایش سطوح LCN-2 پس از شش هفته تمرین هوازی مشاهده شد. علت احتمالی آن تاثیر تمرین در بهبود مقاومت به انسولین است. گیو و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که در موش های فاقد LCN-2 عوامل التهابی و گلوکونئوزنز کبدی و مقاومت به انسولین افزایش می یابد (۱۹).

از دیگر یافته های پژوهش کنونی افزایش اندک سطوح پلاسمایی انسولین در گروه تمرین دیابتی نسبت به گروه کنترل دیابتی بود اما این افزایش معنادار نبود. به نظر می رسد احتمالاً طول مدت تمرین کافی نبوده است. هم چنین اندازه گیری مقاومت انسولینی نشان داد مقاومت به انسولین در گروه تمرین دیابتی نسبت به گروه کنترل دیابتی به طور معنا داری کاهش داشت که این مهم می تواند نشان از سازگاری های سطح سلولی ناشی از تمرین باشد. یافته های بدست آمده از انسولین و مقاومت به انسولین در پژوهش حاضر با یافته های بلوم و همکاران

(۲۰۰۸) هم راستا بود. آنها اظهار داشتند که فعالیت ورزشی کوتاه مدت با شدت متوسط نه تنها موجب کاهش مقاومت انسولین در افراد دارای تحمل گلوکز آسیب دیده می شود بلکه موجب بهبود عملکرد سلول های بتای پانکراس نیز می شود (۶). به نظر می رسد در پژوهش حاضر تغییرات انسولین در گروه تمرین دیابتی نسبت به گروه کنترل دیابتی احتمالاً با بهبود عملکرد سلول های بتای پانکراس قابل توجیه باشد. در انسان های دیابتی تمرین ورزشی منظم، پاسخ انسولین به هایپرگلیسمی را افزایش می دهد، که به اثر ورزش روی سلول های بتا اشاره می نماید. فعالیت ورزشی، به عنوان یک عامل موجب افزایش حساسیت انسولین تحت شرایط نرمال و بهبود عملکرد انسولین در اشخاص و مدل های حیوانی مقاوم به انسولین می شود؛ اگر چه اثر آن بر توده و عملکرد سلول های بتا در افراد چاق یا بیماران دیابتی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است (۱). با این وجود با استناد به مطالعات پیشین، می توان این گونه نتیجه گیری کرد که فعالیت ورزشی منظم، نه تنها از طریق کاهش مقاومت انسولین، بلکه به واسطه افزایش توده و عملکرد سلول های بتا، هموستاز گلوکز را بهبود می بخشد (۲۹،۱).

در کل، یافته های بدست آمده از این پژوهش، یافته های پژوهش های قبلی را مبنی بر بهبود مقاومت به انسولین که ناشی از تمرینات ورزشی است مورد تایید قرار می دهد و نشان داده شد که شش هفته تمرین هوازی منجر به افزایش سطوح پلاسمایی LCN-2 می شود و این یافته ها ممکن است بیانگر کاهش التهاب ناشی از دیابت و نقش ضد التهابی لیپوکالین ۲ (۳۷،۱۵) پس از ۶ هفته تمرین ورزشی باشد. با این حال با توجه به نقشی که این پروتئین در مقاومت به انسولین، دیابت، التهاب ناشی از دیابت و انتقال آهن دارد انجام پژوهش های بیشتری

برای روشن شدن عملکرد آن و تاثیر جنبه های مختلف تمرینات ورزشی، ضروری است.

منابع و مآخذ

۱. ایزدی مجتبی، سخنگویی یحیی، اقدامی انوش، بنائی فر عبدالعلی؛ ۱۳۹۳. نقش فعالیت ورزشی هوازی بر شاخص عملکرد سلول های بتای پانکراس در مردان چاق بزرگسال. مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند. دوره ۲۱، شماره ۲، صفحه ۲۰۳-۲۱۰.
۲. طالبی گرکانی الهه، حسینی اندارگلی میرهادی، فتحی رزیتا، صفرزاده علیرضا؛ ۱۳۹۱. تغییرات بیان ژن لیپوکالین ۲ بافت چربی در پاسخ به یک جلسه فعالیت ورزشی در موش های صحرایی دیابتی شده با استرپتوزوتوسین؛ مجله غدغد درون ریز و متابولیسم ایران؛ دوره ۱۴، شماره ۲ (مسلسل ۶۲)؛ صفحه ۱۷۸-۱۸۴.
۳. مهربانی جواد، دمیرچی ارسلان، رحمانی نیا فرهاد؛ ۱۳۹۳. اثر دو شدت تمرین هوازی بر سطوح لیپوکالین ۲، اینترلوکین ۱ و شاخص مقاومت به انسولین در مردان چاق غیر فعال؛ مجله فیزیولوژی ورزشی؛ شماره ۲۱؛ صفحه ۹۵-۱۰۸.
۴. یوسفی پور پیمان، تأدیبی وحید، بهیور ناصر، پرنو عبدالحسین، دلبری محمد احسان، رشیدی صیاد؛ ۱۳۹۳. بررسی اثر فعالیت ورزشی هوازی بر کنترل قند خون و عوامل خطرزای قلبی - عروقی در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲؛ مجله دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی مشهد؛ سال ۵۷؛ شماره ۹؛ صفحه ۹۷۶-۹۸۴.
5. Attie, A. D., and Scherer, P. E. (2009). "Adipocyte metabolism and obesity." *Journal of lipid research*, 50(Supplement), S395-S399.
6. Bloem, C. J., and Chang, A. M. (2008). "Short-term exercise improves β -cell function and insulin resistance in older people with impaired glucose tolerance." *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 93(2), 387-392.
7. Bu, D.-x., Hemdahl, A.-L., Gabrielsen, A., Fuxe, J., Zhu, C., Eriksson, P., and Yan, Z.-q. (2006). "Induction of neutrophil gelatinase-associated lipocalin in vascular injury via activation of nuclear factor- κ B." *The American journal of pathology*, 169(6), 2245-2253.
8. Chis, I. C., Baltaru, D., Maier, M., Muresan, A., and Clichici, S. (2013). "Effects of Quercetin and Chronic (Training) Exercise on Oxidative Stress Status in Animals with Streptozotocin-Induced Diabetes." *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Veterinary Medicine*, 70(1), 31-39.
9. Choi, K., Kim, T., Yoo, H., Lee, K., Cho, G., Hwang, T., Baik, S., Choi, D., and Kim, S. (2009). "Effect of exercise training on A FABP, lipocalin 2 and RBP4 levels in obese women." *Clinical endocrinology*, 70(4), 569-574.
10. Consultation, W. (1999). "Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus and its complications." Geneva, Switzerland: World Health Organization, 31(3), 1-59.

11. Cowland, J. B., Muta, T., and Borregaard, N. (2006). "**IL-1 β -specific up-regulation of neutrophil gelatinase-associated lipocalin is controlled by I κ B- ζ .**" *The Journal of Immunology*, 176(9), 5559-5566.
12. Damirchi, A., Rahmani-Nia, F., and Mehrabani, J. (2011). "**Lipocalin-2: Response to a Progressive Treadmill Protocol in Obese and Normal-weight Men.**" *Asian journal of sports medicine*, 2(1), 44.
13. Devireddy, L. R., Teodoro, J. G., Richard, F. A., and Green, M. R. (2001). "**Induction of apoptosis by a secreted lipocalin that is transcriptionally regulated by IL-3 deprivation.**" *Science*, 293(5531), 829-834.
14. El-Mesallamy, H. O., Hamdy, N. M., and Al-aliaa, M. S. (2013). "**Effect of obesity and glycemic control on serum lipocalins and insulin-like growth factor axis in type 2 diabetic patients.**" *Acta diabetologica*, 50(5), 679-685.
15. Esteve, E., Ricart, W., and Fernández-Real, J. M. (2009). "**Adipocytokines and Insulin Resistance The possible role of lipocalin-2, retinol binding protein-4, and adiponectin.**" *Diabetes care*, 32(suppl 2), S362-S367.
16. Flo, T. H., Smith, K. D., Sato, S., Rodriguez, D. J., Holmes, M. A., Strong, R. K., Akira, S., and Aderem, A. (2004). "**Lipocalin 2 mediates an innate immune response to bacterial infection by sequestering iron.**" *Nature*, 432(7019), 917-921.
17. Flower, D. R., North, A. C., and Sansom, C. E. (2000). "**The lipocalin protein family: structural and sequence overview.**" *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Protein Structure and Molecular Enzymology*, 1482(1), 9-24.
18. Gleeson M., Bishop N.C., Stensel D.J., Lindley M.R., Mastana S.S., Nimmo M.A.(2011). "**The anti-inflammatory effects of exercise: mechanisms and implications for the prevention and treatment of disease.**" *Nat Rev Immunol*, 11(9), 607-15.
19. Guo, H., Jin, D., Zhang, Y., Wright, W., Bazuine, M., Brockman, D. A., Bernlohr, D. A., and Chen, X. (2010). "**Lipocalin-2 deficiency impairs thermogenesis and potentiates diet-induced insulin resistance in mice.**" *Diabetes*, 59(6), 1376-1385.
20. Hamilton, R. T., Nilsen Hamilton, M., and Adams, G. (1985). "**Superinduction by cycloheximide of mitogen-induced secreted proteins produced by Balb/c 3T3 cells.**" *Journal of cellular physiology*, 123(2), 201-208.
21. Hemdahl, A.-L., Gabrielsen, A., Zhu, C., Eriksson, P., Hedin, U., Kastrup, J., Thorén, P., and Hansson, G. K. (2006). "**Expression of neutrophil gelatinase-associated lipocalin in atherosclerosis and myocardial infarction.**" *Arteriosclerosis, thrombosis, and vascular biology*, 26(1), 136-142.
22. Jessen, B. A., and Stevens, G. J. (2002). "**Expression profiling during adipocyte differentiation of 3T3-L1 fibroblasts.**" *Gene*, 299(1), 95-100.
23. Kim, H.-J., Park, J. Y., Oh, S. L., Kim, Y.-A., So, B., Seong, J. K., and Song, W. (2013). "**Effect of treadmill exercise on interleukin-15 expression and glucose tolerance in zucker diabetic fatty rats.**" *Diabetes & metabolism journal*, 37(5), 358-364.

24. Law, I. K., Xu, A., Lam, K. S., Berger, T., Mak, T. W., Vanhoutte, P. M., Liu, J. T., Sweeney, G., Zhou, M., and Yang, B. (2010). "**Lipocalin-2 deficiency attenuates insulin resistance associated with aging and obesity.**" *Diabetes*, 59(4), 872-882.
25. Manetta, J., Brun, J. F., Maimoun, L., Callis, A., Préfaut, C., and Mercier, J. (2002). "**Effect of training on the GH/IGF-I axis during exercise in middle-aged men: relationship to glucose homeostasis.**" *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 283(5), E929-E936.
26. Moghadasi, M., and Domieh, A. M. (2014). "**Effects of Resistance versus Endurance Training on Plasma Lipocalin-2 in Young Men.**" *Asian Journal of Sports Medicine*, 108-114.
27. Mohammadi, A., and Khajehlandi, A. (2014). "**Hs-CRP and Adipokin (Lcn2): Response to Exercise Training in Obese Men.**" *Biomedical & Pharmacology Journal*, Vol. 7(1), 17-22.
28. Owen, H. C., Roberts, S. J., Ahmed, S. F., and Farquharson, C. (2008). "**Dexamethasone-induced expression of the glucocorticoid response gene lipocalin 2 in chondrocytes.**" *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 294(6), E1023-E1034.
29. Park, S., Hong, S. M., Lee, J. E., and Sung, S. R. (2007). "**Exercise improves glucose homeostasis that has been impaired by a high-fat diet by potentiating pancreatic β -cell function and mass through IRS2 in diabetic rats.**" *Journal of applied physiology*, 103(5), 1764-1771.
30. Pedersen, B.K.(2007). "**IL-6 signalling in exercise and disease.**" *Biochem Soc T*, 35(5), 1295-7.
31. Saito, F. H., Damasceno, D. C., Dallaqua, B., Linhares, I. M., Rudge, M. V. C., Calderon, I. D. M. P., and Witkin, S. S. (2013). "**Heat shock protein production and immunity and altered fetal development in diabetic pregnant rats.**" *Cell Stress and Chaperones*, 18(1), 25-33.
32. Spiropoulos, A., Goussetis, E., Margeli, A., Premetis, E., Skenderi, K., Graphakos, S., Baltopoulos, P., Tsironi, M., and Papassotiriou, I. (2010). "**Effect of inflammation induced by prolonged exercise on circulating erythroid progenitors and markers of erythropoiesis.**" *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 48(2), 199-203.
33. Tan, B. K., Adya, R., Shan, X., Syed, F., Lewandowski, K. C., O'Hare, J. P., and Randeve, H. S. (2009). "**Ex vivo and in vivo regulation of lipocalin-2, a novel adipokine, by insulin.**" *Diabetes Care*, 32(1), 129-131.
34. Teixeira-Lemos, E., Nunes, S., Teixeira, F., and Reis, F. (2011). "**Regular physical exercise training assists in preventing type 2 diabetes development: focus on its antioxidant and anti-inflammatory properties.**" *Cardiovasc Diabetol*, 28(3), 10-19.
35. Turner, R.C., Levy, J.C., Rudesnki, A.S., Hammersley, M., Page, R. (1993). "**Measurement of insulin resistance and β -cell function: the HOMA and CIGMA approach**". *Diabetes Research Laboratories, Radcliffe Infirmary, Oxford, UK*, 12, 66-75.

36. Wang, Y., Lam, K. S., Kraegen, E. W., Sweeney, G., Zhang, J., Tso, A. W., Chow, W.-S., Wat, N. M., Xu, J. Y., and Hoo, R. L. (2007). "**Lipocalin-2 is an inflammatory marker closely associated with obesity, insulin resistance, and hyperglycemia in humans.**" *Clinical chemistry*, 53(1), 34-41.
37. Zhang, J., Wu, Y., Zhang, Y., LeRoith, D., Bernlohr, D. A., and Chen, X. (2008). "**The role of lipocalin 2 in the regulation of inflammation in adipocytes and macrophages.**" *Molecular Endocrinology*, 22(6), 1416-1426.
38. Zinman, B., Ruderman, N., Campaigne, B., Devlin, J., and Schneider, S. (2003). "**Physical activity/exercise and diabetes mellitus.**" *Diabetes care*, 26, S73-7.

