

The Effects of High-Intensity Interval Training on the Visceral Adipose Tissue Perilipin3 and Perilipin5 Genes Expression in Obese Male Rats with Non-Alcoholic Fatty Liver Disease

Nafiseh Sadeghi¹
Saleh Rahmati²

¹MSc in Exercise Physiology, Department of Exercise Physiology, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

²Associate Professor, Department of Physical Education, Pardis Branch, Islamic Azad University, Pardis, Iran

(Received December 29, 2023 ; Accepted March 4, 2024)

Abstract

Background and purpose: High-intensity interval training (HIIT) affects the expression of genes altered by obesity and non-alcoholic fatty liver disease. Perilipins (PLINs) are a family of five proteins that are expressed on the surface of fat droplets in various tissues, including visceral adipose tissue, and regulate lipid metabolism. The purpose of the present study was to investigate the effect of an eight-week HIIT program on the expression of PLIN3 and PLIN5 genes in the visceral fat tissue of obese male rats with non-alcoholic fatty liver disease.

Materials and methods: The present study involved 24 male Wistar rats. The animals were randomly and equally divided into three groups: control, fatty liver, and HIIT with fatty liver. A high-fat diet was used to induce obesity and fatty liver. The rats in the fatty liver group were placed on a high-fat diet for 10 weeks. After completing the 10-week high-fat diet to ensure intervention induction, Lee's index was used. The HIIT program lasted for eight weeks with five sessions per week using a specialized treadmill at zero inclination. Exercise intensity was determined by estimating maximum oxygen consumption. Forty-eight hours after the last exercise session and after a ten-hour fasting, rats were anesthetized with a suitable mixture of xylazine and ketamine. Adipose tissue samples were frozen in liquid nitrogen in special cryovials and sent to the laboratory for gene expression measurement. One-way analysis of variance and Tukey's post hoc test were used to examine differences between groups at a significant level of $P<0.05$.

Results: Data analysis showed significant differences in the expression of PLIN3 ($F_{2,21}=471.30$, $P=0.001$) and PLIN5 ($F_{2,21}=185.60$, $P=0.001$) genes in visceral fat adipose tissue among the study groups. In addition, results indicated increased expression of PLIN3 ($P=0.001$) and PLIN5 ($P=0.001$) genes in visceral fat adipose tissue in the fatty liver group compared to the control group. A significant decrease in the expression of these genes was observed in the HIIT group with fatty liver compared to the control and fatty liver groups ($P=0.001$).

Conclusion: The findings of the study demonstrated that the expression of PLIN3 and PLIN5 genes in visceral fat adipose tissue increased due to induced fatty liver and the HIIT program moderated this increase. The reduction in the expression of these genes compared to the healthy group indicates the beneficial effect of physical activity under healthy conditions. This study suggests that the HIIT program had more beneficial effects beyond reversing the damage from the disease. Reduction in the expression of PLIN3 and PLIN5 genes in visceral fat adipose tissue as mechanisms of HIIT efficacy suggests a way to counteract the adverse effects of obesity and fatty liver.

Keywords: Non-alcoholic steatohepatitis (NASH), Perilipin 3 (PLIN3), Perilipin 5 (PLIN5), High-intensity interval training, Non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD).

J Mazandaran Univ Med Sci 2024; 34 (231): 54-61 (Persian).

Corresponding Author: Saleh Rahmati - Pardis Branch, Islamic Azad University, Pardis, Iran. (E-mail: salehrahmati@pardisiau.ac.ir)

اثر تعریف تناوبی با شدت بالا بر بیان ژن‌های پریلیپین ۳ و ۵ بافت چربی احشایی موش‌های نر چاق مبتلا به کبد چرب غیرالکلی

نفیسه صادقی^۱صالح رحمتی^۲

چکیده

سابقه و هدف: تمرینات ایتروال شدید (HIIT) بر بیان ژن‌های تغییر یافته بواسطه چاقی و کبد چرب غیرالکلی تأثیر می‌گذارند. پریلیپین‌ها (PLINs) خانواده‌ای مت Shank از پنج پروتئین هستند که بر سطح قطرات چربی در بافت‌های مختلف از جمله بافت چربی احشایی بیان می‌شوند و متاپولیسم لبید را تنظیم می‌کنند. پژوهش حاضر اثر یک برنامه هشت هفته‌ای HIIT بر بیان ژن‌های پریلیپین ۳ و ۵ در بافت چربی احشایی موش‌های نر چاق مبتلا به کبد چرب غیرالکلی را مورد مطالعه قرار می‌دهد.

مواد و روش‌ها: آزمودنی‌ها در این مطالعه تجربی، ۲۴ سر موش صحرایی نر نژاد ویستان تشکیل داده است. حیوانات به صورت تصادفی و مساوی به سه گروه با نام‌های کنترل، کبد چرب، و HIIT با کبد چرب تقسیم شدند. برای القای چاقی و کبد چرب از رژیم غذایی پر چرب استفاده شد. موش‌های صحرایی گروه کبد چرب به مدت ۱۰ هفته تحت رژیم غذایی در دسترس پر چرب قرار گرفتند. پس از اتمام ۱۰ هفته مصرف رژیم غذایی پر چرب برای اطمینان از القاء مداخله از شاخص لی (Lee's index = body weight [g]/body length [cm] × 100) استفاده شد. برنامه HIIT به مدت هشت هفته و هر هفته پنج جلسه با استفاده از ترمیم مخصوص جوندگان و شبیه اجرا گردید. شدت تمرین با محاسبه حداقل اکسیژن مصرفی تعیین شد. ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی و پس از ده ساعت ناشایی موش‌ها با ترکیب مناسب زایلزین و کتامین بیهوش شدند. نمونه بافت چربی احشایی در میکروتپوب‌های مخصوص با استفاده از نیتروژن مایع منجمد گردید و برای اندازه‌گیری بیان ژن به آزمایشگاه ارسال شد. از آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون تعقیبی توکی در سطح معناداری $P < 0.05$ جهت بررسی تفاوت بین گروه‌ها استفاده گردید.

یافته‌ها: آنالیز داده‌ها با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین گروه‌های مطالعه حاضر در مورد بیان ژن‌های PLIN3 ($P = 0.001$)، $F_{2,21} = 471/30$ ، $P = 0.001$)، $F_{2,21} = 185/60$ ، $P = 0.001$)، بافت چربی احشایی تفاوت معنی‌داری وجود دارد. استفاده از آزمون تعقیبی توکی بیانگر افزایش بیان ژن‌های PLIN3 ($P = 0.001$) و PLIN5 ($P = 0.001$) بافت چربی احشایی در گروه کبد چرب نسبت به گروه کنترل بود. کاهش معنی‌دار بیان ژن‌های مذکور در گروه HIIT با کبد چرب نسبت به گروه‌های کنترل و کبد چرب مشاهده شد ($P = 0.001$).

استنتاج: نتایج پژوهش حاضر نشان داد بیان ژن‌های PLIN3 و PLIN5 بافت چربی احشایی به بواسطه القای کبد چرب افزایش پیدا کرد و برنامه HIIT باعث تغییر این افزایش شد. کاهش بیان ژن‌های مذکور نسبت به گروه سالم اشاره به اثر مفید فعالیت بدنسی در شرایط سلامت دارد و در مطالعه حاضر می‌تواند بیانگر این باشد که برنامه HIIT اثرات مفید بیشتری علاوه بر جبران خسارت بیماری داشته است. کاهش بیان ژن‌های PLIN3 و PLIN5 بافت چربی احشایی به عنوان مکانیسم‌هایی از اثر گذاری HIIT به عنوان راهی برای مقابله با اثرات مضر چاقی و کبد چرب مطرح هستند.

واژه‌های کلیدی: استئاتوھپاتیت غیرالکلی (NASH)، پریلیپین ۳ (PLIN3)، پریلیپین ۵ (PLIN5)، تمرین ایتروال شدید هوایی، کبد چرب غیرالکلی (NAFLD).

E-mail: salehrahmati@pardisau.ac.ir

مؤلف مسئول: صالح رحمتی - پردیس: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پردیس،

۱. کارشناسی ارشد فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲. دانشیار، گروه تربیت بدنسی، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، پردیس، ایران

تاریخ تصویب: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۴۰۲/۱۱/۲۱ تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰

مقدمه

بر بیان ژن ها و از طرفی نقش مفید فعالیت بدنسی به عنوان یک عامل تعديل کننده اثرات مضر اضافه وزن و کبد چرب را بیان کرده اند، همچنین عدم بررسی دقیق تغییرات متعاقب تمرین بر بیان ژن های تغییر یافته به واسطه چاقی / کبد چرب، پژوهش حاضر به بررسی اثر HIIT بر بیان ژن های پریلیپین ۳ و ۵ بافت چربی احشایی موش های نر چاق مبتلا به NAFLD می پردازد.

مواد و روش ها

طرح پژوهش

در این مطالعه تجربی، ۲۴ سر موش صحرایی (جنس: نر، نژاد: ویستار، سن: هشت هفته، وزن: ۱۸۰ الی ۲۲۰ گرم) از انتیتو پاستور ایران خریداری شد. محل نگهداری حیوانات دارای شرایط استاندارد بود و حیوانات به صورت آزاد به آب و غذا دسترسی داشتند. حیوانات به صورت تصادفی و مساوی به گروه های کنترل، کبد چرب، و HIIT با کبد چرب تقسیم شدند و مداخلات را بر اساس نام گروه دریافت کردند. پژوهش حاضر دارای کد اخلاق به شماره IR.IAU.SARI.REC.1402.262 از دانشگاه آزاد اسلامی واحد ساری و مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد مصوب در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز (کد: ۱۰۱۸۲۹۷۱۷۱۲۳۳۷۵۲۲۰۱۴۱۶۲۶۸۹۹۰) می باشد.

نحوه القای چاقی و کبد چرب

موش های صحرایی گروه کبد چرب به مدت ۱۰ هفته تحت رژیم غذایی در دسترس پر چرب (تهیه شده توسط پلت سازی انتیتو سرم سازی رازی) قرار گرفتند (جدول شماره ۱). پس از اتمام ۱۰ هفته مصرف رژیم غذایی پر چرب برای اطمینان از القاء چاقی از شاخص Lee's index= body weight [g]/body length لی (cm)² استفاده شد^(۱۳). لازم به ذکر است با شروع تمرینات تا انتهای پژوهش دو گروه کبد چرب با رژیم غذایی پُر چرب به تغذیه پرداختند.

بیماری کبد چرب غیر الکلی (NAFLD) یکی از علل اصلی بیماری مزمن کبد در سراسر جهان است^(۱). NAFLD طیفی از استاتووز ساده کبدی تا استاتووهپاتیت غیر الکلی (NASH) را در بر می گیرد که مصرف غذایی پر کالری، مانند رژیم های غذایی سرشار از چربی، عامل مهمی است که منجر به ایجاد بیماری کبدی می شود^(۳). اضافه وزن و چاقی به واسطه اثر بر بیان ژن ها، عملکرد سلول ها را تغییر می دهند و NAFLD ایجاد می شود^(۳). علاوه بر رژیم غذایی، بی تحرکی بدون توجه به وزن بدن به شدت با بیماری کبد چرب مرتبط است و مطالعات این مهم را تصدیق می کنند که افزایش فعالیت بدنی می تواند بیماری کبد چرب را بهبود بخشد^(۴). فعالیت بدنی به عنوان یک عامل محیطی این توانایی را دارد که باعث تغییر بیان ژن ها و پروتئین ها شود^(۶۵). در کبد، فعالیت بدنی اکسیداسیون اسیدهای چرب را از طریق تغییر بیان ژن ها و پروتئین های مرتبط افزایش می دهد، سنتز اسیدهای چرب را کاهش می دهد و از آسیب میتوکندری و کبدی از طریق کاهش آزادسازی الگوهای مولکولی مرتبط با آسیب جلوگیری می کند^(۷). نتایج یک مطالعه سیستماتیک متا آنالیز که در سال ۲۰۲۲ به چاپ رسیده است، نشان می دهد تمرینات ورزشی ایتروال شدید (HIIT) اثر بیشتری بر بهبود این بیماری در مقایسه با تمرینات مداوم طولانی مدت دارد^(۸).

پریلیپین ها (PLINs) خانواده ای از پنج پروتئین نزدیک به هم هستند که بر سطح قطرات چربی (LD) در چندین بافت از جمله بافت چربی احشایی بیان می شوند و در مسیرهای مختلفی در گیر در متابولیسم لپید هستند. پنج پروتئین از خانواده پریلیپین به نام های PLIN1 (پروتئین مربوط به تمایز چربی)، PLIN2 (پروتئین برهکش دمی ۴۷ کیلو دالتون)، PLIN3 (S3-12)، PLIN4 (S12-12)، و PLIN5 به عنوان پروتئین های قطره چربی (LD) در سلول های چربی مشخص می شوند و تغییرات بیان آنها با NAFLD در ارتباط است^(۹-۱۲). در مجموع با توجه به شواهد گذشته که اثر گذاری اضافه وزن و کبد چرب

از نمونه بافت چربی احشایی پودر شده و با کیت تخلیص RNA (Bioneer)، ساخت کرده مخلوط گردید. درجه خلوص RNA استخراج شده با استفاده از اسپکتروفوتومتری مورد ارزیابی قرار گرفت (A260/A280). پس از اطمینان از درجه خلوص مناسب، RNA با استفاده از آنزیم کپی برداری معکوس و طبق دستورالعمل استاندارد کیت (AccuPower، شرکت Bioneer)، ساخت Real-time PCR کره به cDNA تبدیل شد. در مرحله PCR برای اندازه گیری هر ژن، ۱۵ میکرولیتر از کیت مخصوص (Qiagen SYBR Green Master Mix) آغاز شد و ۰.۵ میکرولیتر آب RNase-free مخلوط شد و سپس ۱ میکرولیتر آغازگر رفت و ۱ میکرولیتر آغازگر برگشت با ۰/۵ میکرولیتر cDNA اضافه شد (جدول شماره ۳). نمونه‌ها در دستگاه Real-time PCR برای تکثیر قرار گرفتند. تنظیم دمایی شامل ۵ دقیقه در ۹۵ درجه سانتی گراد، ۴۵ تا ۳۰ بار به مدت ۵ دقیقه در ۹۰ درجه سانتی گراد و سپس به مدت ۱۰ ثانیه در ۶۰ درجه سانتی گراد بود. در پایان منحنی ذوب و شکستن از حرارت دادن آهسته از ۹۵ تا ۷۲ درجه سانتی گراد به دست آمد (تصویر شماره ۱). آستانه تکثیر هر نمونه ثبت شد و بیان هر ژن نسبت به GAPDH با استفاده از فرمول $\Delta\Delta CT$ محاسبه گردید.

جدول شماره ۱: مقادیر کربوهیدرات، چربی و پروتئین غذای حیوانات

ترکیبات	رژیم غذایی استاندارد	رژیم غذایی پرچرب	
	گرم	کیلوکالری (درصد)	
چربی	۴۳	۱۰	۳۴/۹
کربوهیدرات	۶۷/۳	۷۰	۲۶/۳
پروتئین	۱۹/۲	۲۰	۲۶/۲

برنامه تمرینی

برنامه HITT استفاده شده در مطالعه حاضر، تعديل شده پروتکل Hafstad و همکاران (۲۰۱۳) است (۱۴). این برنامه به مدت هشت هفته و هر هفته پنج جلسه با استفاده از تردیل مخصوص جوندگان و شیب صفر اجرا گردید (جدول شماره ۲). شدت تمرین با استفاده از حداکثر اکسیژن مصرفی تخمینی در نظر گرفته شد (۵).

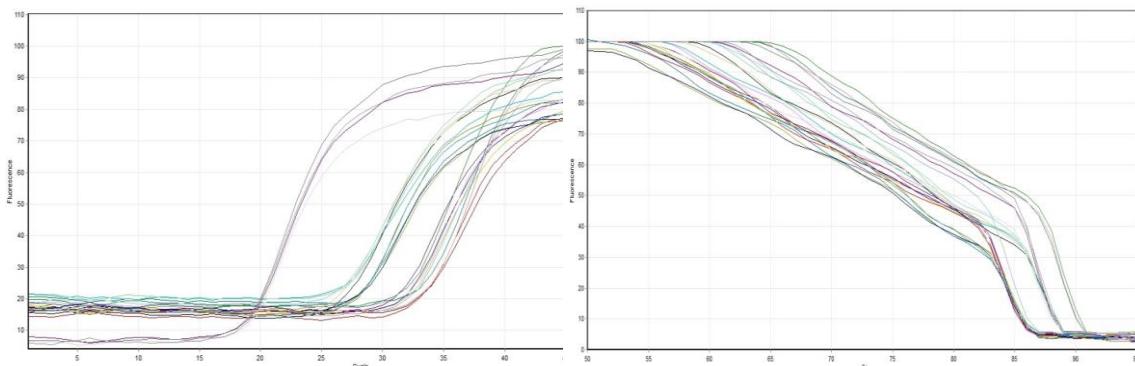
بافت برداری و اندازه گیری بیان ژن موشها ۴۸ ساعت پس از آخرین جلسه تمرینی و پس از ده ساعت ناشتابی با ترکیب مناسب زایلزین و کتامین بیهوش شدند (۱۵). بافت چربی احشایی برداشته و با استفاده از محلول سالین سرد شسته شد. بافت به تکه‌های کوچک تقسیم شد و داخل میکروتیوب‌های قرار گرفت و با استفاده از نیتروژن مایع منجمد گردید. برای تخلیص RNA، ۸۰-۱۰۰ میلی گرم

جدول شماره ۲: برنامه HITT

هزمه	تعداد تکرار	گرم کردن (دقیقه)	نسبت کار به استراحت	شدت فعالیت تمرینی (حداکثر اکسیژن مصرفی تخمینی)	سرعت تردیل (حداکثر اکسیژن مصرفی تخمینی)	شدت استراحت فعالیت (حداکثر اکسیژن مصرفی تخمینی)	سرعت تردیل (دقیقه)	متراز دویدن (متر)	متراز کردن (متر)	مدت کل	مدت کردن	سرد کردن	متراز دویدن (متر)
۷۵	۱۰	۴۲	۱۰	۹۰-۸۵	۲۸	۲۷	۲۶	۱۱	۱۱	۱۲۰	۱۱	۱۰۶	۱۱
	۱۰	۱۰	۱۰	۹۰-۸۵	۲۹	۲۷	۲۶	۱۱	۱۱	۱۱۰	۱۱	۱۱۰	۱۱
	۱۰	۱۰	۱۰	۹۰-۸۵	۳۱	۲۹	۲۸	۱۲	۱۲	۱۲۰	۱۲	۱۱۰	۱۲
	۱۰	۱۰	۱۰	۹۰-۸۵	۳۱	۲۹	۲۸	۱۳	۱۳	۱۲۰	۱۳	۱۲۰	۱۳
	۱۰	۱۰	۱۰	۹۰-۸۵	۳۱	۲۹	۲۸	۱۴	۱۴	۱۲۰	۱۴	۱۲۰	۱۴
	۱۰	۱۰	۱۰	۹۰-۸۵	۳۱	۲۹	۲۸	۱۵	۱۵	۱۳۰	۱۵	۱۳۰	۱۵
	۱۰	۱۰	۱۰	۹۰-۸۵	۳۱	۲۹	۲۸	۱۶	۱۶	۱۳۰	۱۶	۱۳۰	۱۶
	۱۰	۱۰	۱۰	۹۰-۸۵	۳۱	۲۹	۲۸	۱۶	۱۶	۱۴۰	۱۶	۱۴۰	۱۶

جدول شماره ۳: توالی پرایمرهای مورد استفاده برای بررسی بیان ژن‌ها

نام ژن	آغازگر گرفت	آغازگر پرگشت	شماره پانک ژن
PLIN 3	5'-ccacaggatgctaaaaagg-3'	5'-tgtatgtccctgaacatgtcg-3'	NM_025836.3
PLIN 5	5'-gtcgagaaagctggggac-3'	5'-tcagtcgcaggactgtca-3'	NM_025874.3
GAPDH	5'-aagtcaacggcacagtcaagg-3'	5'-catactcgcaccaggcatcacc-3'	NM_017008



تصویر شماره ۱: منحنی تکثیر و ذوب DNA در مرحله PCR

کاهش بیان ژن های مذکور نسبت به گروه سالم اشاره به اثر مفید فعالیت بدنسی در شرایط سلامت دارد و در مطالعه حاضر می تواند بیانگر این باشد که برنامه HIIT اثرات مفید بیشتری علاوه بر جبران خسارت بیماری داشته است. مکانیسم های مختلفی برای کاهش بیان ژن های PLIN5 و PLIN3 پس از تمرين پیشنهاد شده است. تمرين می تواند پروتئین کیناز فعال شده با AMP (AMPK) را فعال کند که می تواند بیان ژن PLIN3 و PLIN5 را مهار کند. فعال سازی AMPK منجر به افزایش اکسیداسیون اسیدهای چرب و کاهش ذخیره چربی می شود و در نتیجه نیاز به پروتئین های PLIN را کاهش می دهد (۱۶). افزایش لیپولیز به واسطه تمرين نیز نیاز به پروتئین های ذخیره چربی مانند PLIN3 و PLIN5 را کاهش می دهد (۱۷). تمرين می تواند فاکتورهای رونویسی گیرنده فعال شده با تکثیر کننده پراکسی زوم (PPAR) را فعال کند (۱۸). این فاکتورهای رونویسی ژن های دخیل در متابولیسم اسیدهای چرب را تنظیم می کنند و می توانند بیان PLIN3 و PLIN5 را کاهش دهند. تمرينات بدنسی عملکرد میتوکندری را بهبود می بخشد و در نتیجه اکسیداسیون اسیدهای چرب را افزایش می دهد و اتکا به ذخیره چربی را کاهش می دهد (۱۹). این می تواند بیان ژن PLIN3 و PLIN5 را کاهش دهد. مسیرهای سیگنال دهی هورمونی که در متابولیسم لیپیدها دخیل هستند، توسط تمرينات بدنسی تحت تأثیر قرار می گیرند (۲۰، ۲۱). به عنوان مثال، افزایش

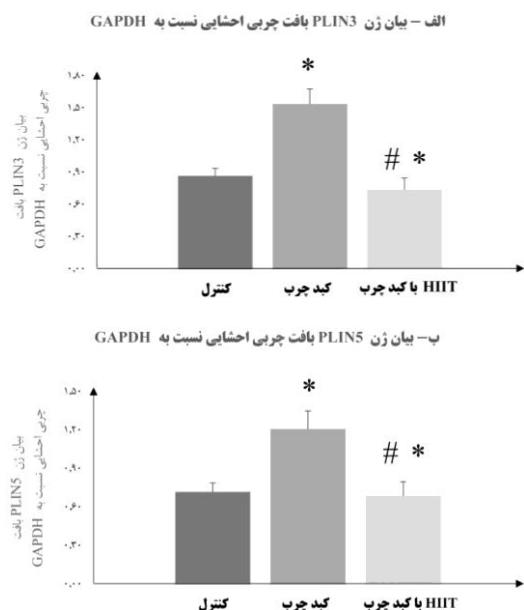
آنالیز آماری

داده های پژوهش حاضر به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد می باشد. برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده ها از آزمون شاپیر وولیک استفاده شد. هم واریانسی گروه ها با استفاده از آزمون لوین تایید شد. داده ها با استفاده از آزمون های آنالیز واریانس یک طرفه و آزمون تعقیبی توکی در سطح معناداری $P < 0.05$ آنالیز شدند. برای انجام محاسبات از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد.

یافته ها و بحث

آنالیز داده ها با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک طرفه نشان داد که بین گروه های مطالعه حاضر در مورد بیان ژن های PLIN3 ($F_{2,21} = 471/30$, $P = 0.001$) و PLIN5 ($F_{2,21} = 185/60$, $P = 0.001$), بافت چربی احشایی تفاوت معنی داری وجود دارد. استفاده از آزمون تعقیبی توکی بیانگر افزایش بیان ژن های PLIN3 و PLIN5 ($P = 0.001$) بافت چربی احشایی در گروه کبد چرب نسبت به گروه کنترل بود. کاهش معنی دار بیان ژن های مذکور در گروه HIIT با کبد چرب نسبت به گروه های کنترل و کبد چرب مشاهده شد ($P = 0.001$). (تصویر شماره ۲). به طور کلی نتایج پژوهش حاضر نشان داد بیان ژن های PLIN3 و PLIN5 بافت چربی احشایی به واسطه القای کبد چرب افزایش پیدا کرد و برنامه HIIT باعث تعدیل این افزایش شد.

و IL-6 می توانند بیان ژن های PLIN3 و PLIN5 را مهار کنند و به تغییر متابولیسم لیپید کمک کنند(۳).



تصویر شماره ۲: بیان ژن های PLIN3، الف: PLIN5، ب: بافت چربی احشایی نسبت به GAPDH در گروه های مختلف پژوهش، # نشانه تفاوت معنی دار با گروه کبد چرب، * نشانه تفاوت معنی دار با گروه کنترل

سپاسگزاری

بدین وسیله از اساتید دانشگاه آزاد واحد تهران مرکز که در انجام این مطالعه کمال همکاری را داشته اند، سپاسگزاری می گردد.

References

- Teng ML, Ng CH, Huang DQ, Chan KE, Tan DJ, Lim WH, et al. Global incidence and prevalence of nonalcoholic fatty liver disease. Clin Mol Hepatol 2023; 29(Suppl): S32-S42.
- Chalasani N, Younossi Z, Lavine JE, Charlton M, Cusi K, Rinella M, et al. The diagnosis and management of nonalcoholic fatty liver disease: Practice guidance from the American Association for the Study of Liver Diseases. Hepatology 2018; 67(1): 328-357.
- Mass Sanchez PB, Krizanac M, Weiskirchen R, Asimakopoulos A. Understanding the Role of Perilipin 5 in Non-Alcoholic Fatty Liver Disease and Its Role in Hepatocellular Carcinoma: A Review of Novel Insights. Int J Mol Sci 2021; 22(10): 5284.
- Barrón-Cabrera E, Soria-Rodríguez R, Amador-Lara F, Martínez-López E. Physical Activity Protocols in Non-Alcoholic Fatty Liver Disease Management: A Systematic

حساسیت به انسولین و کاهش سطح انسولین به دنبال فعالیت بدنی می تواند بیان PLIN3 و PLIN5 را کاهش دهد(۲۲). بیان ژن های PLIN3 و PLIN5 را می توان با مکانیسم های مختلفی به دنبال کبد چرب و چاقی تعديل کرد. PPAR ها گیرنده های هسته ای هستند که متابولیسم لیپید را تنظیم می کنند(۲۳). فعال سازی PPAR ها، به ویژه PPAR- گاما، می تواند بیان ژن های PPAR-alpha و PPAR- گاما، می تواند بیان ژن های PLIN 3 و 5 را تحریک کند(۲۴). این می تواند از طریق اتصال مستقیم PPARs به مناطق تنظیمی خاص در پرومترهای ژن رخ دهد(۲۴). تجمع لیپیدها در کبد، همان طور که در کبد چرب و چاقی دیده می شود، می تواند باعث فعال شدن فاکتورهای رونویسی خاص مانند SREBP-1c (پروتئین پیوند دهنده عنصر تنظیم کننده استرول ۱c) و ChREBP (پروتئین اتصال دهنده عنصر پاسخگو) شود(۲۵). این فاکتورهای رونویسی می توانند به طور مستقیم یا غیرمستقیم بیان ژن های PLIN3 و PLIN5 را افزایش دهند. هورمون هایی مانند انسولین و گلوکاگون و همچنین مسیرهای سیگنالی مختلف مانند AMPK و mTOR در متابولیسم لیپیدها نقش دارند و می توانند بر بیان PLIN تأثیر بگذارند(۲۶). به عنوان مثال، سیگنال دهنده انسولین باعث افزایش بیان ژن3 می شود، در حالی که فعال سازی AMPK می تواند بیان TNF-alpha را افزایش دهد. سیتوکین هایی مانند PLIN5

- Review of Randomized Clinical Trials and Animal Models. *Healthcare* 2023; 11(14): 1992.
5. Shirvani H, Ghanbari-Niaki A, Rahmati-Ahmabad S, Sobhani V. Effects of endurance training and herb supplementation on tissue nesfatin-1/nucleobindin-2 and ghrelin mRNA expression. *International Journal of Applied Exercise Physiology* 2017; 6(1): 71-84.
 6. Rahmati-Ahmabad S, Azarbajani MA, Farzanegi P, Moradi L. High-intensity interval training has a greater effect on reverse cholesterol transport elements compared with moderate-intensity continuous training in obese male rats. *Eur J Prev Cardiol* 2021; 28(7): 692-701.
 7. Van der Windt DJ, Sud V, Zhang H, Tsung A, Huang H. The Effects of Physical Exercise on Fatty Liver Disease. *Gene Expr* 2018; 18(2): 89-101.
 8. Sabag A, Barr L, Armour M, Armstrong A, Baker CJ, Twigg SM, et al. The Effect of High-intensity Interval Training vs Moderate-intensity Continuous Training on Liver Fat: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Endocrinol Metab* 2022; 107(3): 862-881.
 9. Sanchez P, Križanac M, Weiskirchen R, Asimakopoulos A. Understanding the Role of Perilipin 5 in Non-Alcoholic Fatty Liver Disease and Its Role in Hepatocellular Carcinoma: A Review of Novel Insights. *Int J Mol Sci* 2021; 22(10): 5284.
 10. Zhao Y, Albrecht E, Li Z, Schregel J, Sciascia QL, Metges CC, et al. Distinct Roles of Perilipins in the Intramuscular Deposition of Lipids in Glutamine-Supplemented, Low-, and Normal-Birth-Weight Piglets. *Front Vet Sci* 2021; 8: 633898.
 11. Ma SY, Sun KS, Zhang M, Zhou X, Zheng XH, Tian SY, et al. Disruption of Plin5 degradation by CMA causes lipid homeostasis imbalance in NAFLD. *Liver Int* 2020; 40(10): 2427-2438.
 12. Wang C, Zhao Y, Gao X, Li L, Yuan Y, Liu F, et al. Perilipin 5 improves hepatic lipotoxicity by inhibiting lipolysis. *Hepatology* 2015; 61(3): 870-882.
 13. Fang QL, Qiao X, Yin XQ, Zeng YC, Du CH, Xue YM, et al. Flavonoids from *Scutellaria amoena* C. H. Wright alleviate mitochondrial dysfunction and regulate oxidative stress via Keap1/Nrf2/HO-1 axis in rats with high-fat diet-induced nonalcoholic steatohepatitis. *Biomed Pharmacother* 2023; 158: 114160.
 14. Hafstad AD, Lund J, Hadler-Olsen E, Höper AC, Larsen TS, Aasum E. High- and moderate-intensity training normalizes ventricular function and mechanoenergetics in mice with diet-induced obesity. *Diabetes* 2013; 62(7): 2287-2294.
 15. Ghanbari-Niaki A, Rahmati-Ahmabad S, Zare-Kookandeh N. ABCG8 Gene Responses to 8 Weeks Treadmill Running With or Without Pistacia atlantica (Baneh) Extraction in Female Rats. *Int J Endocrinol Metab* 2012; 10(4): 604-610.
 16. Kleinert M, Parker BL, Chaudhuri R, Fazakerley DJ, Serup A, Thomas KC, et al. mTORC2 and AMPK differentially regulate muscle triglyceride content via Perilipin 3. *Molecular Metabolism* 2016; 5(8): 646-655.
 17. Muscella A, Stefano E, Lunetti P, Capobianco L, Marsigliante S. The Regulation of Fat Metabolism During Aerobic Exercise. *Biomolecules* 2020; 10(12): 1699.
 18. Zarkesh M, Nozhat Z, Akbarzadeh M, Daneshpour M, Mahmoodi B, Asghari G, et al. Physical Activity and Exercise Promote Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Expression in Adipose Tissues of

- Obese Adults. *Iran J Public Health* 2022; 51(11): 2619-2628.
19. Liepinsh E, Makarova E, Plakane L, Konrade I, Liepins K, Videja M, et al. Low-intensity exercise stimulates bioenergetics and increases fat oxidation in mitochondria of blood mononuclear cells from sedentary adults. *Physiol Rep* 2020; 8(12): e14489.
20. Jangjo-Borazjani S, Dastgheib M, Kiyamarsi E, Jamshidi R, Rahmati-Ahmabad S, Helalizadeh M, et al. Effects of resistance training and nigella sativa on type 2 diabetes: implications for metabolic markers, low-grade inflammation and liver enzyme production. *Arch Physiol Biochem* 2023; 129(4): 913-921.
21. Rahmati-Ahmabad S, Rostamkhani F, Meftahi GH, Shirvani H. Comparative effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on soleus muscle fibronectin type III domain-containing protein 5, myonectin and glucose transporter type 4 gene expressions: a study on the diabetic rat model. *Mol Biol Rep* 2021; 48(8): 6123-6129.
22. Morales PE, Bucarey JL, Espinosa A. Muscle Lipid Metabolism: Role of Lipid Droplets and Perilipins. *J Diabetes Res* 2017; 2017: 1789395.
23. Imig JD. Peroxisome proliferator-activated receptors, farnesoid X receptor, and dual modulating drugs in hypertension. *Front Physiol* 2023; 14: 1186477.
24. Zhang X, Xu W, Xu R, Wang Z, Zhang X, Wang P, et al. Plin5 Bidirectionally Regulates Lipid Metabolism in Oxidative Tissues. *Oxid Med Cell Longev* 2022; 2022: 4594956.
25. Moslehi A, Hamidi-Zad Z. Role of SREBPs in Liver Diseases: A Mini-review. *J Clin Transl Hepatol* 2018; 6(3): 332-338.
26. Petersen MC, Shulman GI. Mechanisms of Insulin Action and Insulin Resistance. *Physiol Rev* 2018; 98(4): 2133-2223.