



Research Article

## The Effect of Maternal Exercise during Pregnancy on the Serum Levels of Leptin Hormone of Adult Sprague Dawley Rats

Azam Abdollahpour<sup>1</sup> , Reyhane Zarbaf<sup>2,\*</sup> , Masoumeh Ahmadi<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Assistant Professor of Exercise Physiology, Department of Physical Education and Sports Sciences, Faculty of Management and Accounting, Qazvin Azad University, Qazvin

<sup>2</sup> Department of Physical Education, Farhangian University, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Master of Science in Sports Physiology, Majoring in Sports Nutrition, Allameh Qazvini Institute of Higher Education

\* **Corresponding author:** Reyhane Zarbaf, Department of Physical Education, Farhangian University, Tehran, Iran. E-mail: [R-zarbaf@araku.ac.ir](mailto:R-zarbaf@araku.ac.ir)

DOI: [10.61186/jams.25.5.39](https://doi.org/10.61186/jams.25.5.39)

### How to Cite this Article:

Abdollahpour A, Ahmadi M, Zarbaf R. The Effect of Maternal Exercise during Pregnancy on the Serum Levels of Leptin Hormone of Adult Sprague Dawley Rats. *J Arak Uni Med Sci.* 2022;**25**(5):39-48. DOI: [10.61186/jams.25.5.39](https://doi.org/10.61186/jams.25.5.39)

Received: 24 Dec 2022

Accepted: 19 Jan 2024

### Keywords:

Sports Activity

Leptin

Obesity

Pregnancy

© 2022 Arak University of Medical Sciences

### Abstract

**Introduction:** Performing aerobic exercise programs during pregnancy will have positive effects on various characteristics related to the health of mother and children. Therefore, the aim of this study is to investigate the effect of aerobic activity of the mother during pregnancy on the levels of leptin hormone in the blood serum of adult rats.

**Methods:** This research is of an experimental type with a post-test design with a control group, including 20 female rats with an average age of 8 weeks, randomly divided into two training (T) ( $221 \pm 8.9$  grams) and control (C). ( $223 \pm 12.8$  grams) groups. Pregnancy sports activity was performed immediately after the observation of vaginal plaque for 21 days and for 5 sessions per week with moderate intensity on the treadmill, and it was terminated 2 days before delivery. The comparison of leptin hormone level in two control and exercise groups was analyzed using independent t-test in 8-week-old mice at a significant level of  $P \geq 0.05$ . This study was an experimental and interventional type, and the ethical standards in maintaining and conducting experiments are in accordance with the ethics code of this study (IR.QUMS.REC.1396.288) which has been approved by the Ethics Committee of the Faculty of Basic Sciences of Qazvin University of Medical Sciences.

**Results:** The amount of leptin hormone ( $p=0.002$ ) in adult rats whose mothers had exercised during pregnancy was significantly lower than the control group, the weight of food consumed by the mother in the last weeks of pregnancy in the group training was less than the control group and the weight of the adult rats in the training group was less than the control group.

**Conclusions:** It seems that sports activity during pregnancy can have positive effects on weight control and prevention of obesity in adult children.

## اثر فعالیت ورزشی مادر در دوران بارداری بر مقادیر سرمی هورمون لپتین بچه رت های بالغ نژاد اسپرگداولی

اعظم عبدالله پور<sup>۱</sup>، ریحانه زرباف<sup>۲\*</sup>، معصومه احمدی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار فیزیولوژی ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه آزاد قزوین، قزوین، ایران

<sup>۲</sup> گروه آموزش تربیت بدنی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد فیزیولوژی ورزشی گرایش تغذیه ورزشی، مؤسسه آموزش عالی علامه قزوینی، قزوین، ایران

\* نویسنده مسئول: ریحانه زرباف، گروه آموزش تربیت بدنی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران. ایمیل: R-zarbarf@araku.ac.ir

DOI: 10.61186/jams.25.5.39

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳	چکیده
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۹	مقدمه: چاقی یک مشکل عمده از نظر سلامتی می باشد که در جامعه کنونی به شدت در حال افزایش است و با بسیاری از بیماری ها در ارتباط است، بخصوص به دلیل انتقال مضرات آن از مادر به فرزند، بسیار حائز اهمیت می باشد. انجام برنامه های تمرینی هوازی طی دوران بارداری اثرات مثبتی بر ویژگی های مختلف مرتبط با سلامت مادر و فرزندان دارد. لذا هدف این پژوهش بررسی تأثیر فعالیت هوازی مادر در دوران بارداری بر مقادیر سرمی هورمون لپتین بچه رت های بالغ می باشد.
واژگان کلیدی: فعالیت ورزشی لپتین چاقی بارداری	روش کار: این پژوهش از نوع تجربی با طرح پس آزمون با گروه کنترل، شامل ۲۰ سر موش صحرایی ماده با میانگین سنی ۸ هفته، به صورت تصادفی به دو گروه تمرینی (T) (۲۲۱±۸/۹ گرم) و کنترل (C) (۲۲۳±۱۲/۸ گرم) تقسیم شدند. فعالیت ورزشی بارداری بلافاصله بعد از مشاهده پلاک واژنی به مدت ۲۱ روز و برای ۵ جلسه در هفته با شدت متوسط روی نوارگردان انجام شد، و ۲ روز قبل از زایمان خاتمه یافت. مقایسه میزان هورمون لپتین در دو گروه کنترل و تمرین با استفاده از آزمون t مستقل در ۸ هفته موش ها در سطح معنی داری $P \leq 0.05$ تجزیه و تحلیل شد. این مطالعه از نوع تجربی و مداخله ای بوده و موازین اخلاقی در نگهداری و انجام آزمایشات مطابق کد اخلاق این مطالعه (IR.QUMS.REC.1396.288) می باشد که توسط کمیته اخلاق دانشکده علوم پایه دانشگاه علوم پزشکی قزوین تأیید شده است.
تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی اراک محفوظ است.	یافته ها: میزان هورمون لپتین در گروه تمرینی بطور معنی داری کمتر از گروه کنترل بود ( $P = 0.002$ ). وزن غذای مصرفی رت های باردار در گروه کنترل بطور معنی داری بیشتر از گروه تمرین بود ( $P = 0.004$ ) و وزن بچه رت ها در گروه تمرینی به طور معنی داری کمتر از گروه کنترل بود ( $P = 0.001$ ).
	نتیجه گیری: به نظر می رسد فعالیت ورزشی در دوران بارداری می تواند اثرات مثبتی بر کاهش مقادیر هورمون لپتین و میزان غذای مصرفی و کنترل وزن و جلوگیری از چاقی در فرزندان بالغ داشته باشد.

### مقدمه

در دوران بارداری، رشد و نمو نوزاد تحت تأثیر فعل و انفعالات مهم بین ژن ها، تغییرات اپی ژنتیکی، هورمون ها، تغذیه، محیط داخل رحمی و وقایع اولیه قبل از تولد قرار می گیرد. گزارش شده است که افزایش سطح لپتین در زنان باردار علاوه بر بافت چربی تحت تأثیر جفت نیز قرار می گیرد (۳، ۴). سطوح بالای لپتین در دوران بارداری، منجر به افزایش وزن و شاخص توده بدنی (BMI) و همچنین تغییر در سطوح هورمون هایی مثل انسولین، استروژن ها و گنادوتروپین که ممکن است ترشح لپتین را تحریک کنند، می شود (۵).

برخی از مطالعات نشان داده اند که ارتباط نزدیکی بین غلظت بالای لپتین در سرم بند ناف نوزادان با وزن هنگام تولد و تجمع چربی وجود دارد. این یافته ها حاکی از آن است که رابطه بین لپتین و توده چربی بدن ممکن است حتی در اوایل زندگی مورد توجه قرار گیرد (۳، ۶). به نظر می رسد هایپرلپتینمی در طول زندگی نوزادی ممکن است برنامه

سلامت نوزاد وابستگی جدایی ناپذیری با سلامت مادر داشته و تعیین کننده رشد جسمی و ذهنی در دوران کودکی و نوجوانی او می باشد. اغراق نخواهد بود اگر بگوییم دوران جنینی و نوزادی، نقش اصلی را در رشد ابعاد مختلف جسمانی و روانی هر فرد ایفا می کند و مشکلات مربوط به سلامتی مادر و نوزاد می تواند ریشه در دوران آسیب پذیر بارداری و جنینی داشته باشد (۱).

انجام فعالیت بدنی منظم در دوران بارداری از اختلالات دستگاه تولید مثل پیشگیری می کند. به نظر می رسد زنانی که به طور جدی در سراسر دوران بارداری به تمرین پرداخته اند، نسبت به گروه کنترل بچه های کم وزن تری داشتند و همچنین مراحل زایمان آنها سریع تر اتفاق افتاده است. شواهد نشان می دهد ورزش در دوران بارداری، حتی برای زنانی که قبل از باردار شدن بی تحرک بوده اند، آثار سودمندی دارد (۲).

سلیسوس، میزان رطوبت ۲۰٪، سیکل نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی، نگهداری شدند. تمام عوامل محیطی و رژیم غذایی برای هر دو گروه کاملاً مشابه بود. این حیوانات پس از انتقال به محیط پژوهش و رسیدن به وزن بلوغ و باروری (۸ هفته) به طور تصادفی در ۲ گروه جایگذاری شدند: ۱- گروه تمرین حین بارداری (T, p) -۲ گروه کنترل (C). از آنجا که باز شدن دهانه واژن، بعنوان مشخصه آغاز بلوغ رت نژاد اسپراگدولی، بطور میانگین در روزهای ۳۲-۳۴ بعد از تولد رخ می‌دهد لذا در دوماهگی بلوغ رخ داده است. بعد از زایمان و اتمام دوران شیرخوارگی، از هر رت مادر بطور میانگین ۲ رت ماده جدا شد و تا رسیدن به سن بلوغ تا دو ماهگی نگهداری شد (۱۲).

آغاز فعالیت‌های ورزشی در موش‌های مورد بررسی از روز اول بارداری بود. پروتکل تمرین در این پژوهش، در مدت کل زمان بارداری، به صورت هفتگی بود که شدت و مدت تمرین با رعایت اصل اضافه بار تعیین شد. فعالیت ورزشی هوازی بارداری بلافاصله بعد از مشاهده پلاک با شدت متوسط روی نوارگردان انجام شد، و ۲ روز قبل از زایمان خاتمه یافت. وزن رت‌های مادر ثبت گردید. مدت تمرین روی نوار گردان در دو هفته اول و دوم به ترتیب روزانه ۱، ۱:۳۰ دقیقه بود. پس از آن که فرزندان هر دو گروه کنترل و شاهد به صورت طبیعی متولد شدند و پس از رسیدن به سن ۸ هفتگی، برای اندازه گیری میزان غلظت هورمون‌های لپتین سرم خون به آزمایشگاه تخصصی ارسال شدند. وزن فرزندان متولد شده نیز ثبت گردید (۱۲).

رت‌های گروه تمرین بلافاصله بعد از قرار گرفتن در کنار رت‌های نر و باروری، وارد پروتکل اصلی شدند. هر دو رت باردار در یک قفس نگهداری شدند روند باروری رت‌ها به این صورت انجام شد که سه سر رت ماده در کنار دو رت نر در یک قفس به مدت سه روز قرار داده شدند. گروه تمرین قبل از ورود به پروتکل اصلی و همزمان با سپری شدن مدت لازم برای باروری، به مدت یک هفته با نحوه فعالیت روی نوارگردان در سرعت‌های متفاوت آشنا شدند. رت‌ها بعد از بارداری به مدت تقریبی ۳ هفته (از ابتدا تا انتهای بارداری) به انجام تمرین هوازی با شدت متوسط پرداختند (۱۲).

برنامه فعالیت هوازی بارداری رت‌ها بر روی تردمیل و بدون شیب اجرا شد. شدت تمرین متوسط 30% تا 40% VO<sub>2</sub>max، به مدت تقریبی 21 روز، 5 روز در هفته و روزانه یک جلسه، برنامه ریزی شد. در ابتدای هر جلسه موش‌ها به مدت 3 دقیقه و با سرعت 8 متر بر دقیقه به منظور گرم کردن و در انتهای هر جلسه نیز به مدت 1 دقیقه و با سرعت 8 متر بر دقیقه به منظور سرد کردن، بر روی تردمیل دویدند. پروتکل اصلی تمرین نیز به این شرح بود که هفته اول با سرعت 10 متر در دقیقه برای 10 دقیقه شروع شد و در هفته سوم به 12 متر در دقیقه برای 30 دقیقه رسیدند. به منظور جلوگیری از اعمال فشار ناگهانی ابتدای هر هفته به مقدار یک متر در دقیقه به سرعت و هر دو تا سه روز نیز به مقدار دو تا سه دقیقه به زمان اضافه می‌شد. در تمام دوران تمرین سعی بر این بود که هیچگونه استرسی به رت‌های باردار وارد نشود و حیوانات تنها با تیمار دم تحریک به دویدن شوند (۱۲، ۱۳).

مقادیر سرمی هورمون لپتین با استفاده از روش الایزا کیت ZELLBAIO ساخت کشور آلمان و با استفاده از روش ساندویچی اندازه گیری گردید

مقاومت به لپتین را از طریق افزایش مصرف مواد غذایی و کاهش مصرف انرژی، با عواقب جانبی طولانی مدت اثر بر مدارهای هیپوتالاموس تنظیم کننده‌ی تعادل انرژی داشته باشد (۴، ۷).

پرخورری مادر قبل از تولد می‌تواند باعث افزایش انباشت چربی زیرجلدی و در نهایت افزایش بیش از حد ترشح لپتین در سطح سرمی آن شود. ترشح هورمون‌های لپتین و آدیپونکتین در زنان از بدو تولد تا یائسگی در حال نوسان می‌باشد که به نظر می‌رسد در دوران بارداری از بافت چربی و جفت ترشح و در متابولیسم گلوکز و رشد جنین مؤثرند. ترشح لپتین باعث کاهش افت توده بدنی، افزایش مصرف مواد غذایی و افزایش فعالیت سیستم عصبی سمپاتیک از طریق هیپوتالاموس می‌شود. مشخص شده است که لپتین هم در دوران بارداری و هم در اوایل زندگی نوزادی نقش مهمی ایفا می‌کند (۸، ۹).

پژوهشگران نشان داده‌اند نوزادان مادرانی که در دوران بارداری در فعالیت‌های ورزشی شرکت می‌کنند از مزایایی چون کاهش چربی، بهبود تحمل استرس، بلوغ عصبی و رفتاری مناسب‌تر برخوردارند. البته برخی دیگر نیز معتقدند نوزادان مادرانی که حجم بالای فعالیت‌های ورزشی را در دوران بارداری تجربه می‌کنند در مقایسه با گروه دارای حجم برنامه تمرینی کمتر، لاغرتر و سبک‌ترند (۱). لذا به نظر می‌رسد میانگین شاخص توده بدنی بالای مادر با چاقی فرزندان در کودکی و بزرگسالی در ارتباط است و به واسطه فاکتورهای ژنتیکی و محیطی به نوزاد یا نسل بعد منتقل می‌شود. این مطالعات تاکید دارند که ورزش منظم عاملی کمک کننده در پیشگیری و درمان چاقی می‌باشد و همچنین با تغییر معنی داری در لپتین همراه است (۱، ۲، ۱۰). بعلاوه مشخص شده است که همبستگی بین غلظت لپتین سرم نوزادان، وزن مادر و BMI می‌تواند در تنظیم اولیه متابولیسم جنین و رشد آن نقش داشته باشد (۵، ۷).

برای تجویز فعالیت توجه به هدف، نوع، شدت و مدت تمرین مهم است. فعالیت بدنی با هدف بهبود و حفظ آمادگی در زنان شامل بهبود ویژگی‌های قلبی-عروقی (هوازی) و عضلانی-اسکلتی (قدرتی) است. با توجه به پیشنهاد ACSM شدت فعالیت باید بین ۶۰-۹۰ درصد حداکثر ضربان قلب یا ۵۰-۸۵٪ حداکثر اکسیژن مصرفی باشد. سطح پایین این مقدار برای زنان غیرفعال و سطح بالای آن برای زنانی که قصد ادامه فعالیت حین بارداری را دارند مناسب است. به دلیل تغییرپذیری ضربان قلب مادر در پاسخ به فعالیت ورزشی، استفاده از ضربان قلب هدف به منظور کنترل شدت توصیه نمی‌شود. مدت فعالیت ورزشی باید با توجه به حفظ شرایط تغذیه‌ای و آبرسانی به مادر تجویز شود (۱۱).

بنابراین در این پژوهش سعی بر این است تا مشخص شود که انجام فعالیت‌های ورزشی هوازی طی دوران بارداری چه اثراتی بر مقادیر سرمی هورمون لپتین، وزن غذای مصرفی مادران، وزن مادران و وزن بچه رت‌های ماده نژاد اسپراگدولی دارد.

## روش کار

روش تحقیق مورد استفاده در این پژوهش، از نوع تجربی (تمام آزمایشی) است که به صورت گروه آزمایش و کنترل انجام شد. ۲۰ سر موش صحرایی ماده با میانگین سنی ۶ هفته با نژاد اسپراگدولی و میانگین وزنی ۱۶۰ گرم به صورت تصادفی انتخاب شدند. در آزمایشگاه حیوانات در شرایطی کاملاً کنترل شده، در درجه حرارت (۲۳±۱) درجه

شاپیرو-ویلک، بررسی تساوی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لیون، مقایسه بین وهله‌های وزن‌گیری رت‌های مادر در دو گروه کنترل و تمرین با استفاده از آزمون اندازه‌های تکراری با روش تک متغیری (جدول ۲ و ۳) استفاده شد.

نتایج نشان داد که بعلت عدم معنی داری آزمون موخلی، فرض کرویت برقرار است ( $p = 0/97$ )، لذا بر اساس جدول فوق مشخص شد که اثر اصلی درون گروهی، و همچنین اثر متقابل بین گروه‌های تمرین و کنترل معنی‌دار است ( $P = 0/001$ ). لذا به منظور بررسی دقیق‌تر وزن مادران در بین دو گروه از آزمون t مستقل استفاده شد (جدول ۴).

داده‌های بدست آمده به روش آماری تی مستقل در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ مورد بررسی قرار گرفتند. اطلاعات به صورت میانگین  $\pm$  خطای معیار میانگین ارائه گردید و تفاوت میانگین‌ها در سطح  $0/05 < p$  معنی‌دار در نظر گرفته شد.

## یافته‌ها

در جدول ۱ مقادیر میانگین مربوط به وزن مادر و بچه رت‌ها مشخص شده است.

وزن رت‌های مادر در ابتدای هر هفته، از زمان شروع باروری، تا انتهای زایمان ثبت شد. بعد از بررسی طبیعی بودن داده‌ها با استفاده از آزمون

جدول ۱. وزن مربوط به رت‌های مادر و فرزند و وزن غذای مصرفی

متغیر مربوط به وزن / گروه	اولین اندازه گیری (گرم)	آخرین اندازه گیری (گرم)
<b>رت‌های مادر</b>		
تمرین	۲۲۳ / ۷ $\pm$ ۷ / ۳۶	۳۱۵ $\pm$ ۱۲ / ۶۷
کنترل	۲۱۹ $\pm$ ۳ / ۲	۲۶۴ $\pm$ ۴ / ۷۸
<b>رت‌های بچه</b>		
تمرین	۵ / ۵ $\pm$ ۰ / ۱۵	۱۵۵ / ۸ $\pm$ ۰ / ۷۴
کنترل	۶ / ۵ $\pm$ ۰ / ۱۹	۱۸۱ / ۵ $\pm$ ۰ / ۴۱
<b>غذای مصرفی مادران</b>		
تمرین	۲۰ / ۱ $\pm$ ۰ / ۷۴	۲۹ / ۲ $\pm$ ۱ / ۴۲
کنترل	۱۸ / ۶ $\pm$ ۱ / ۴۷	۳۷ / ۳ $\pm$ ۱ / ۱۶

داده‌ها به صورت میانگین  $\pm$  انحراف استاندارد می‌باشند.

جدول ۲. مقایسه بین گروهی وزن رت‌های باردار در دو گروه کنترل و تمرین

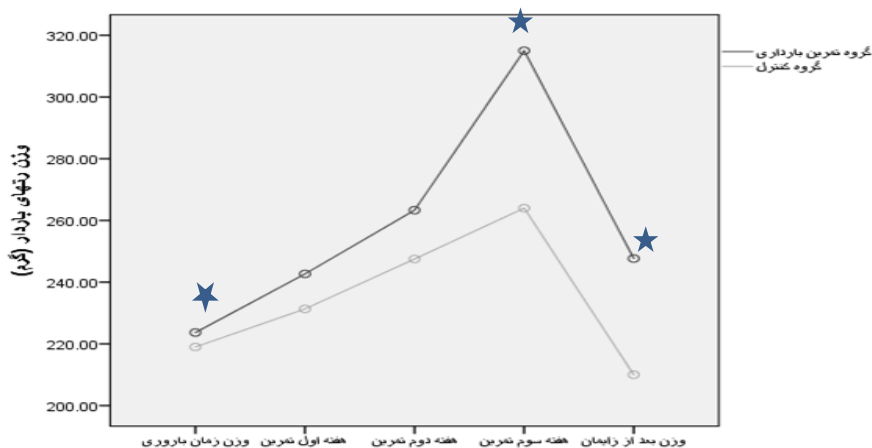
انحراف بین گروهی	df	F	P
۱ و ۷	۳۰ / ۲۹		۰ / ۰۰۱*

\*معنی داری

جدول ۳. مقایسه درون گروهی وزن رت‌های باردار در دو گروه کنترل و تمرین، بین ۵ هفته وزن‌گیری

انحراف درون گروهی	df	F	P
۴ و ۲۸	۵۵ / ۲۴		۰ / ۰۰۱*

\*معنی داری



نمودار ۱. مقایسه وزن رت‌های مادر در طی ۵ هفته از ابتدای بارداری تا بلافاصله بعد از زایمان در دو گروه تمرین و کنترل. وزن زمان جفت‌گیری در گروه تمرین ( $221 \pm 8/9$ ) و کنترل ( $221 \pm 8/9$ )  $\pm$  ۷/۸) (۲۱۹۰/۸۳) ( $p=0/68$ ) عدم تفاوت معنی‌دار، وزن هفته اول در گروه تمرین ( $242/3 \pm 4/7$ ) و گروه کنترل ( $232/3 \pm 10/6$ ) ( $p=0/04$ ) تفاوت معنی‌دار، وزن هفته دوم در گروه تمرین ( $249/5 \pm 17$ ) و گروه کنترل ( $p=0/83$ ) عدم تفاوت معنی‌دار، وزن هفته سوم در گروه تمرین ( $315 \pm 21/9$ ) و کنترل ( $264 \pm 11/7$ ) ( $p=0/002$ ) تفاوت معنی‌دار، وزن هفته چهارم در گروه تمرین ( $247/6 \pm 8/6$ ) و کنترل ( $210 \pm 1/4$ ) ( $p=0/01$ ) تفاوت معنی‌دار.

جدول ۴. مقایسه‌ی وزن رت‌های مادر در دو گروه کنترل و تمرین، طی پنج دوره زمانی

متغیرها / گروه‌ها	میانگین	P آزمون شاپیرو-ویلک	P آزمون لیون	t	Df	P
وزن زمان جفتگیری			۰/۷	۰/۴۱	۱۰	۰/۶۸
تمرین	۲۲۱ ± ۸/۹	۰/۱۵				
کنترل	۲۱۹ ± ۷/۸	۰/۵۹				
وزن هفته اول			۰/۰۹	۲/۳۲	۱۰	۰/۰۴*
تمرین	۲۴۲/۳ ± ۴/۷	۰/۹۱				
کنترل	۲۳۱/۳ ± ۱۰/۶	۰/۲۲				
وزن هفته دوم			۰/۵۶	۰/۲۲	۱۰	۰/۸۳
تمرین	۲۴۹/۵ ± ۱۷	۰/۶۳				
کنترل	۲۴۷/۵ ± ۱۴/۳	۰/۸۶				
وزن هفته سوم			۰/۲۳	۴/۷	۷	۰/۰۰۲*
تمرین	۳۱۵ ± ۲۱/۹	۰/۶۲				
کنترل	۲۶۴ ± ۱۱/۷	۰/۱۶				
وزن زمان زایمان			۰/۰۱	۷/۵۱	۲/۰۵	۰/۰۱*
تمرین	۲۴۷/۶ ± ۸/۶	۰/۶۸				
کنترل	۲۱۰ ± ۱/۴	۰/۹۶				

\*معنی داری

می‌کنیم ( $P = ۰/۰۰۱$ ) (جدول ۷). در نهایت بر اساس جدول فوق مشخص شد که اثر اصلی درون گروهی، و همچنین اثر متقابل بین گروه‌های تمرین و کنترل معنی‌دار است. لذا به منظور بررسی دقیق‌تر وزن بچه‌ها در بین دو گروه از آزمون t مستقل استفاده شد (جدول ۸). نتایج نشان داد که توزیع وزن بچه‌ها در دو گروه تمرین و کنترل طبیعی بوده، و با در نظر گرفتن تساوی و عدم تساوی واریانس‌ها، از زمان تولد تا هفته هشتم، تفاوت معنی‌داری بین وزن گروه‌های تمرین و گروه کنترل مشاهده شد، و وزن بچه‌هایی که مادرانشان در زمان بارداری تمرین کرده بودند بطور معنی‌داری کمتر از گروه کنترل بود (نمودار ۲).

نتایج نشان داد که توزیع وزن مادران در دو گروه تمرین و کنترل طبیعی بوده، و با در نظر گرفتن تساوی و عدم تساوی واریانس‌ها، در زمان جفت‌گیری و هفته دوم بارداری تفاوت معنی‌داری وجود ندارد، ولی در هفته اول، سوم و بلافاصله بعد از زایمان، وزن گروه تمرین بطور معنی‌داری بیشتر از گروه کنترل است (نمودار ۱).

وزن بچه رت‌ها در ابتدای هر هفته، از زمان تولد، تا انتهای ۸ هفته‌گی ثبت شد. بعد از بررسی طبیعی بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک و بررسی تساوی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لیون، مقایسه بین وزن‌های دو گروه کنترل و تمرین با استفاده از آزمون اندازه‌های تکراری با روش تک متغیری (جدول ۵ و ۶) انجام شد.

نتایج نشان داد که بعلت معنی‌داری آزمون موخلی، فرض کرویت برقرار نیست ( $P = ۰/۰۰۱$ )، لذا از عامل اصلاح گرین هوس - گیسر استفاده جدول ۵. مقایسه بین گروهی وزن بچه رت‌ها در دو گروه کنترل و تمرین

اثر بین گروهی	Df	F	P
	۱ و ۱۰	۴۹۶۶/۱۳	۰/۰۰۱

معنی داری: \*

جدول ۶. مقایسه درون گروهی وزن بچه رت‌ها در دو گروه کنترل و تمرین، بین ۸ هفته وزن‌گیری

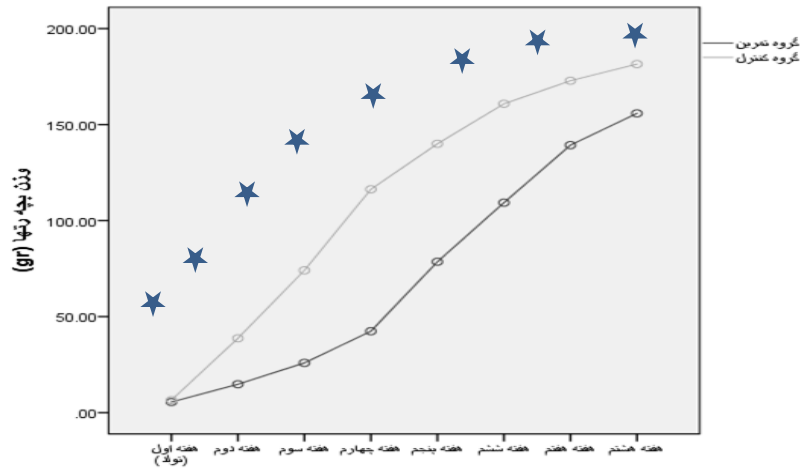
اثر اصلی درون گروهی	Df	F	P
	۱۴/۷۶ و ۱/۴۸	۷۵۲۹/۹	۰/۰۰۱

معنی داری: \*

جدول ۷. آزمون لیون و مقایسه‌ی وزن بچه رت‌ها در دو گروه کنترل و تمرین، از تولد تا ۸ هفته‌گی

متغیرها / گروه‌ها	میانگین	P آزمون شاپیرو-ویلک	P آزمون لیون	t	df	P
وزن هفته اول (تولد)			۰/۶۸	۴/۰۳	۱۰	۰/۰۰۲*
تمرین	۵/۵ ± ۰/۳۷	۰/۸۸				
کنترل	۶/۵ ± ۰/۴۸	۰/۹۷				
وزن هفته چهارم			۰/۰۱۷	۲۰/۳	۵/۰۶	۰/۰۰۱*
تمرین	۴۲/۴ ± ۰/۷۱	۰/۹۶				
کنترل	۱۱۶/۳ ± ۸/۸۵	۰/۲۱				
وزن هفته هشتم			۰/۱۷	۳۰/۴	۱۰	۰/۰۰۱*
تمرین	۱۵۵/۸ ± ۱/۸۰	۰/۵۰				
کنترل	۱۸۱/۵ ± ۱	۰/۹۳				

علامت \* نشان دهنده این است که آزمون در سطح ۰/۰۵ معنی داری شده است.



نمودار ۲. مقایسه تغییرات وزن بچه رتھا از تولد تا ۸ هفتگی. وزن هفته اول در گروه تمرین (۳۷ / ۵ ± ۰ / ۵) و کنترل (۴۸ / ۵ ± ۰ / ۶) تفاوت معنی دار، وزن هفته چهارم در گروه تمرین (۷۱ / ۴ ± ۰ / ۴۲) و گروه کنترل (۸۵ / ۳ ± ۸ / ۱۱۶) تفاوت معنی دار، وزن هفته هشتم در گروه تمرین (۸۰ / ۱ ± ۱ / ۱۵۵) و گروه کنترل (۱ ± ۵ / ۱۸۱) تفاوت معنی دار، (p=0/001)

کنترل معنی دار است. لذا به منظور بررسی دقیق تر وزن غذای مصرفی مادران در بین دو گروه از آزمون t مستقل استفاده شد (جدول ۱۰). نتایج نشان داد که توزیع وزن غذای مصرفی مادران طی دوران فعالیت بدنی در دو گروه تمرین و کنترل طبیعی بوده، و با در نظر گرفتن تساوی واریانسها، وزن غذای مصرفی گروه تمرین در هفته قبل از جفتگیری و هفته اول بیشتر از گروه کنترل بود، این تفاوت در هفته قبل از جفتگیری معنی دار نبود ولی در هفته اول معنی دار بود، همچنین در هفته دوم و سوم تمرین وزن غذای گروه کنترل بطور معنی داری بیشتر از گروه تمرین است (نمودار ۳).

وزن غذای مصرفی مادران در ابتدای هر هفته، از زمان شروع باروری، تا انتهای زایمان ثبت شد. بعد از بررسی طبیعی بودن دادهها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک و بررسی تساوی واریانسها با استفاده از آزمون لیون، مقایسه بین وزنهای بین دو گروه کنترل و تمرین با استفاده از آزمون اندازههای تکراری با روش تک متغیری مشخص شد (جدول ۸) و ۹.

نتایج نشان داد که بعلت عدم معنی داری آزمون موخلی، فرض کروییت برقرار است (p=۰ / ۹۸)، لذا بر اساس جدول فوق مشخص شد که اثر اصلی درون گروهی، و همچنین اثر متقابل بین گروههای تمرین و

جدول ۸. مقایسه بین گروهی وزن غذای مصرفی رتھای باردار در دو گروه کنترل و تمرین

آزمون اندازههای مکرر	df	F	P
اثر بین گروهی	۳ و ۳۰	۲۶۰ / ۳۷	۰ / ۰۰۱*

\*معنی داری

جدول ۹. مقایسه درون گروهی وزن غذای مصرفی رتھای باردار در دو گروه کنترل و تمرین، بین ۴ هفته وزن گیری

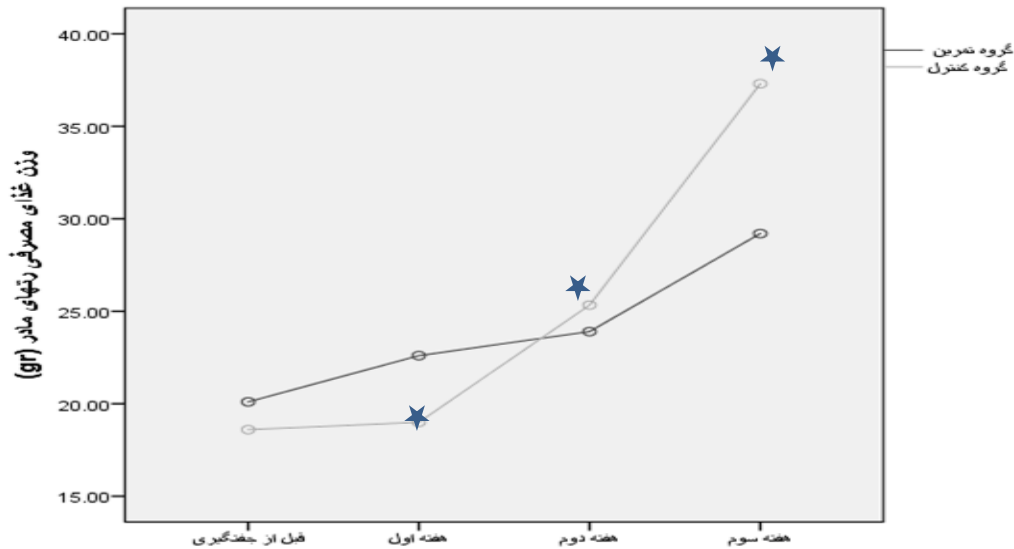
اثر اصلی درون گروهی	df	F	P
	۱ و ۱۰	۱۳ / ۴۱	۰ / ۰۰۴*

\*معنی داری

جدول ۱۰. آزمون لیون و مقایسهی وزن غذای مصرفی رتھای مادر در دو گروه کنترل و تمرین

متغیرها / گروهها	میانگین	P آزمون شاپیرو-ویلک	P آزمون لیون	T	df
وزن قبل از جفتگیری			۰ / ۴۷	۲ / ۲۳	۱۰
تمرین	۲۰ / ۱ ± ۰ / ۷۴	۰ / ۸۸			
کنترل	۱۸ / ۶ ± ۱ / ۴۷	۰ / ۵۷			
وزن هفته اول			۰ / ۱۶	۴ / ۱۵	۱۰
تمرین	۲۲ / ۶ ± ۰ / ۸۹	۰ / ۱۷			
کنترل	۱۹ ± ۱ / ۹۲	۰ / ۳۵			
وزن هفته دوم			۰ / ۴۲	۲ / ۲۹	۱۰
تمرین	۲۳ / ۹ ± ۰ / ۷۶	۰ / ۹۷			
کنترل	۲۵ / ۳ ± ۱ / ۳۲	۰ / ۵۱			
وزن هفته سوم			۰ / ۷۴	۱۰ / ۸	۱۰
تمرین	۲۹ / ۲ ± ۱ / ۴۲	۰ / ۹۶			
کنترل	۳۷ / ۳ ± ۱ / ۱۶	۰ / ۹۷			

\*معنی داری



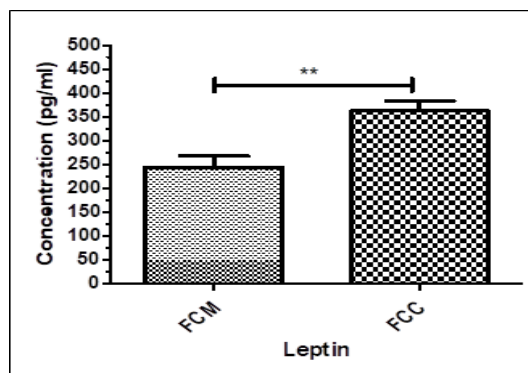
نمودار ۳. مقایسه وزن غذای مصرفی رتهای مادر طی ۴ دوره زمانی. وزن غذای مصرفی قبل از جفت گیری در گروه تمرین (۲۰ / ۱ ± ۰ / ۷۴) و کنترل (۱۸ / ۶ ± ۱ / ۴۷) (p=0/05) عدم تفاوت معنی دار، وزن غذای مصرفی هفته اول در گروه تمرین (۲۲ / ۶ ± ۰ / ۸۹) و گروه کنترل (۱۹ ± ۱ / ۹۲) (p=0/002) تفاوت معنی دار، وزن غذای مصرفی هفته سوم در گروه تمرین (۲۹ / ۲ ± ۱ / ۴۲) و گروه کنترل (۳۷ / ۳ ± ۱ / ۱۶) (p=0/001) تفاوت معنی دار.

نتایج نشان داد که میزان هورمون لپتین در دو گروه تمرین و کنترل طبیعی بوده، و با در نظر گرفتن تساوی و عدم تساوی واریانسها، تفاوت معنی داری بین مقادیر سرمی گروههای تمرین و گروه کنترل مشاهده شد، و میزان هورمون لپتین در رت های مادر که در زمان بارداری تمرین کرده بودند بطور معنی داری کمتر از گروه کنترل بود (p=0/002) (نمودار ۴).

بعد از بررسی طبیعی بودن دادهها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک و بررسی تساوی واریانسها با استفاده از آزمون لیون، مقایسه میزان هورمون لپتین دو گروه کنترل و تمرین با استفاده از آزمون t مستقل (جدول ۱۱) انجام شد.

جدول ۱۱. میزان هورمون لپتین در دو گروه کنترل و تمرین

لپتین	میانگین (ng/milt)	انحراف استاندارد	T	Df	P
گروه تمرین	۲۴۴/۶	۱۳/۳۹	۶/۷۵۸	۴	۰/۰۰۲*
گروه کنترل	۳۶۲/۹	۱۱/۲۸	۶/۷۵۸	۴	۰/۰۰۲*



نمودار ۴. مقایسه تغییرات هورمون لپتین در رت های مادر، FCC: کنترل، FCM: تمرین کرده. مقادیر سرمی هورمون لپتین در گروه تمرین (۲۴۴/۶±۱۳/۳۹) و کنترل (۳۶۲/۹±۲۸/۱۱) (p=0/002) تفاوت معنی دار.

معنی داری بیشتر از گروه کنترل است. میزان هورمون لپتین در دو گروه تمرین و کنترل طبیعی بوده، و با در نظر گرفتن تساوی و عدم تساوی واریانسها، تفاوت معنی داری بین وزن گروههای تمرین و گروه کنترل مشاهده شد، و مقادیر سرمی هورمون لپتین در رت هایی که مادران آنها در زمان بارداری تمرین کرده بودند، بطور معنی داری کمتر از گروه کنترل بود. همچنین نتایج نشان داد که توزیع وزن غذای مصرفی

## بحث

نتایج نشان داد که توزیع وزن مادران در دو گروه تمرین و کنترل طبیعی بوده، و با در نظر گرفتن تساوی و عدم تساوی واریانسها، در زمان جفت گیری و هفته دوم بارداری تفاوت معنی داری وجود ندارد، ولی در هفته اول، سوم و بلافاصله بعد از زایمان، وزن گروه تمرین بطور



همچنین این مطالعات اثر کاهشی انجام فعالیت ورزشی منظم در زمان بارداری، بر افزایش وزن نوزاد در زمان تولد را نشان داده‌اند (۲۲، ۲۳). لپتین، عمدتاً توسط بافت چربی سفید ترشح می‌شود و تحت شرایط خاص ممکن است در بافت‌های دیگر از جمله جفت انسان، اپیتلیوم پستانی و مخاط معده تولید شود (۲۴). در شرایط طبیعی فیزیولوژیکی، افزایش لپتین پلاسما در افراد چاق، افزایش درصد چربی را منعکس می‌کند (۲۵). نقش اصلی فیزیولوژیکی لپتین تنظیم گرسنگی و سیری است. این کار را با انتقال از طریق سد خونی مغزی توسط گیرنده پاک کننده مگالین و سیگنال دهی از طریق گیرنده‌های لپتین (OBR)، در هسته قوسی (ARC) هیپوتالاموس با زومدیال (BMH) انجام می‌دهد (۲۶). در BMH، لپتین بر روی دو مجموعه از سلولهای عصبی که آکسونهای آنها به هیپوتالاموس پیش بطنی که حاوی مرکز سیری است، عمل می‌کند که هر دو نورون اثرات متفاوتی را ایجاد می‌کنند (۲۷). اقدامات لپتین در تنظیم مصرف غذا در مغز باعث تولید و ترشح لپتین از بافت چربی سفید شده که از سد خونی مغزی عبور می‌کند و بر روی نورون‌های هسته قوسی (ARC) اثر می‌گذارد. اتصال لپتین به گیرنده‌های لپتین (OBRb) بر روی نورون‌های پروپومیل ملانوکورتین (POMC) باعث کاهش مصرف غذا می‌شود و اتصال لپتین به OBRb در نورون پپتید Y (NPY) از اقدامات NPY از افزایش مصرف غذا جلوگیری می‌کند و در نتیجه باعث افزایش مصرف انرژی می‌شود (۲۸).

در مطالعه‌ای که با هدف تعیین تأثیرات طولانی مدت یک برنامه ورزشی بر متابولیسم، افزایش وزن، ترکیب بدن و تغییرات هورمون‌های انسولین و لپتین زنان باردار در مقایسه با موش انجام شده بود، مشخص شد که بعد از مصرف رژیم غذایی پرچرب، ورزش در دوران بارداری منجر به کاهش محتوای چربی و لپتین در انسان در مقایسه با گروه کنترل شد که در موش مشاهده نشد. در انسان و موش، وزن بدن فرزندان با گروه شاهد تفاوتی نداشت. فرزندان موش‌های ورزش‌کننده در مقایسه با گروه شاهد، توده چربی و سطوح لپتین به‌طور قابل توجهی پایین‌تر بودند. در این مطالعه، اثرات مشابهی بر افزایش وزن مادر و فرزندان در انسان و موش وجود داشت، ولی اثرات در انسولین و لپتین متفاوت بود (۲۹). در مطالعه‌ی دیگری بعد از بررسی اثر درمان نوزادان با لپتین در نمونه‌های نر بالغی که مادران آنها در زمان بارداری، غذای نرمال (AD) و یا غذای پرچرب (UN) مصرف کرده بودند، مشخص شد که اگرچه درمان با لپتین منجر به کاهش گذرا در افزایش وزن نوزاد شد، ولی چاقی را در فرزندان AD نسبت به UN که هر دو گروه بعد از اتمام شیرخوارگی در معرض مصرف غذای پرچرب قرار گرفته بودند، افزایش داد. این امکان وجود دارد که مکانیسم اصلی مربوط به اثرات طولانی مدت تغذیه بیش از حد نوزادان بر هموستاز انرژی، در دوران بارداری به علت تغذیه پرچرب در معرض هایپرلپتینمی قرار گرفته باشد. این داده‌ها اهمیت لپتین را در تعیین هموستاز انرژی طولانی مدت بیشتر تقویت کرده و نشان می‌دهند که احتمالاً اثرات لپتین توسط جنسیت و شرایط تغذیه قبل و بعد از تولد تعدیل می‌شود (۳۰).

مادران طی دوران فعالیت بدنی در دو گروه تمرین و کنترل طبیعی بوده، و با در نظر گرفتن تساوی واریانس‌ها، وزن غذای مصرفی گروه تمرین در هفته قبل از جفتگیری و هفته‌ی اول بیشتر از گروه کنترل بود، این تفاوت در هفته قبل از جفتگیری معنی‌دار نبود ولی در هفته اول معنی‌دار بود، همچنین در هفته‌ی دوم و سوم تمرین وزن غذای گروه کنترل بطور معنی‌داری بیشتر از گروه تمرین است.

این مطالعه نشان داد که در پی فعالیت ورزشی در زمان بارداری، وزن مادران گروه تمرین نسبت به کنترل، در هفته اول و سوم بارداری، و همچنین بلافاصله بعد از زایمان افزایش معنی‌داری یافته است، که مشابه با یافته‌های پیشین است (۱، ۱۴). مطالعات مذکور دلیل این افزایش را احتمالاً، افزایش توده خالص بدنی می‌دانند، که البته با توجه به افزایش وزن غذای مصرفی مادران تمرین کرده در هفته اول بارداری، توجیه پذیر است. از طرفی با توجه به کاهش معنی‌دار وزن غذای مصرفی رت‌های مادر در پی انجام فعالیت ورزشی در هفته‌های دوم و سوم بارداری، برخلاف مطالعات مذکور، به نظر می‌رسد این افزایش حاصل از افزایش توده خالص عضلانی بدن باشد، نه صرفاً افزایش در غذای مصرفی مادران.

مشاهده شده است که فعالیت ورزشی موجب افزایش تعداد وعده‌های غذایی و آشامیدنی، و کاهش گرسنگی و اشتها می‌شود، به نظر می‌رسد این کاهش اشتها در افراد دارای اضافه وزن که در حال انجام فعالیت ورزشی هستند بطور معنی‌داری بیشتر باشد (۷). اما از آنجا که رت باردار، اضافه وزن حاصل از رشد جنین را تحمل می‌کند، احتمالاً می‌توان از این فرضیه به جهت توجیه کاهش غذای مصرفی در هفته‌های دوم و سوم فعالیت در بارداری استفاده کرد. مطالعات دیگری نیز افزایش بیشتر انرژی مصرفی و کاهش بیشتر غذای مصرفی گروه تمرین نسبت به گروه کنترل را مشاهده کردند (۱۵، ۱۶)، که تا حدودی همراستا با پژوهش حاضر است.

در سایر مطالعات مشاهده شده است که عوامل هورمونی بر متابولیسم مادر در دوران بارداری تأثیر دارد و افزایش لپتین با افزایش وزن مادر در دوران بارداری همراه است (۱۷) و از آنجا که فعالیت ورزشی مادر موجب افزایش لپتین می‌شود (۱۸، ۱۹) احتمالاً با تأثیر بر افزایش ترشح انسولین (۱۷، ۱۹) موجب افزایش لیپوژنز و ساخت پروتئین به ازای مصرف غذای کمتر شده است. یعنی افزایش لپتین احتمالاً با کاهش کاتابولیسم و افزایش آنابولیسم موجب افزایش وزن مادران تمرین کرده شده است. علاوه بر این مشاهده شده که تمرین ورزشی با کاهش هورمون‌های استرسی همراه است (۲۰)، در نتیجه احتمالاً می‌تواند متابولیسم استراحتی را کاهش دهد و افزایش وزن مادران تمرین کرده در دوران بارداری را توجیه کند.

آخرین نتیجه قابل توجه این پژوهش، کاهش معنی‌دار وزن بچه رت‌های مادران تمرین کرده نسبت به تمرین نکرده، در تمام طول ۸ هفته زندگی آنان است. این یافته خود تأکید کننده نقش مثبت فعالیت ورزشی در بارداری، بر کاهش وزن بچه‌های متولد شده است، که نشان از هم‌خوانی تحقیق حاضر با برخی تحقیقات می‌باشد (۱، ۱۹، ۲۱). مطالعات بسیاری که بر روی انسان انجام شده بودند، نشان داده‌اند که وزن بالای نوزاد بعد از تولد از فاکتورهای خطرناک جنینی است، و احتمال ابتلا به چاقی و دیابت را در زندگی آینده نوزاد افزایش می‌دهد؛



## نتیجه گیری

فعالیت بدنی منظم مادران باردار بر ارتقا سطح سلامتی مادر و کاهش احتمال چاقی در فرزندان مؤثر است.

## ملاحظات اخلاقی

موازین اخلاقی در نگهداری و انجام آزمایشات مطابق کد اخلاق این مطالعه (IR.QUMS.REC.1396.288) که توسط کمیته اخلاق دانشکده علوم پایه دانشگاه علوم پزشکی قزوین تأیید شده است، رعایت شد.

## سهم نویسندگان

مفهوم سازی: اعظم عبدالله پور، ریحانه زرباف  
روش پژوهش و نمونه گیری: اعظم عبدالله پور، ریحانه زرباف، معصومه احمدی

تحلیل داده‌ها: اعظم عبدالله پور، معصومه احمدی؛  
نگارش متن و بازبینی: اعظم عبدالله پور، ریحانه زرباف، معصومه احمدی

## تعارض منافع

تعارض منافی در این مقاله وجود ندارد.

## قدردانی

در راستای انجام این پژوهش از تمامی عزیزانی که با تفکر و تلاش بی دریغ خود ما را همیاری نموده‌اند، کمال تقدیر و تشکر را داریم.

## References

- Gaeini A, Shafiei Neek L, Choobineh S, Baghaban Eslaminejad M, Satarifard S, Mousavi SN. The effects of the preconception endurance exercise training and voluntary exercise activity during pregnancy in C57BL/6 mice on lipid profile of the adult offspring. *Arak Med Univ J*. 2016; **19**(107):68-79.
- Caprio M, Fabbri E, Isidori AM, Aversa A, Fabbri A. Leptin in reproduction. *Trends Endocrinol Metab*. 2001; **12**(2):65-72. doi: 10.1016/s1043-2760(00)00352-0 pmid: 11167124
- Catalano PM. Increasing maternal obesity and weight gain during pregnancy: the obstetric problems of plentitude. *Obstet Gynecol*. 2007; **110**(4):743-744. doi: 10.1097/01.AOG.0000284990.84982.ba pmid: 17906003
- Schanton M, Maymo JL, Perez-Perez A, Sanchez-Margalet V, Varone CL. Involvement of leptin in the molecular physiology of the placenta. *Reproduction*. 2018; **155**(1):R1-R12. doi: 10.1530/REP-17-0512 pmid: 29018059
- Bozzola E, Meazza C, Arvigo M, Travaglino P, Pagani S, Stronati M, et al. Role of adiponectin and leptin on body development in infants during the first year of life. *Ital J Pediatr*. 2010; **36**:26. doi: 10.1186/1824-7288-36-26 pmid: 20298581
- Durrant ML, Royston JP, Wloch RT. Effect of exercise on energy intake and eating patterns in lean and obese humans. *Physiol Behav*. 1982; **29**(3):449-454. doi: 10.1016/0031-9384(82)90265-7 pmid: 7178249
- Savino F, Petrucci E, Nanni G. Adiponectin: an intriguing hormone for paediatricians. *Acta Paediatr*. 2008; **97**(6):701-705. doi: 10.1111/j.1651-2227.2008.00750.x pmid: 18397349
- Badman MK, Flier JS. The gut and energy balance: visceral allies in the obesity wars. *Science*. 2005; **307**(5717):1909-1914. doi: 10.1126/science.1109951 pmid: 15790843
- Cummings DE, Frayo RS, Marmonier C, Aubert R, Chapelot D. Plasma ghrelin levels and hunger scores in humans initiating meals voluntarily without time- and food-related cues. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2004; **287**(2):E297-304. doi: 10.1152/ajpendo.00582.2003 pmid: 15039149
- Beltrand J, Nicolescu R, Kaguelidou F, Verkauskienė R, Sibony O, Chevenne D, et al. Catch-up growth following fetal growth restriction promotes rapid restoration of fat mass but without metabolic consequences at one year of age. *PLoS One*. 2009; **4**(4):e5343. doi: 10.1371/journal.pone.0005343 pmid: 19381307
- Artal R, O'Toole M. Guidelines of the American College of Obstetricians and Gynecologists for exercise during pregnancy and the postpartum period. *Br J Sports Med*. 2003; **37**(1):6-12; discussion 12. doi: 10.1136/bjism.37.1.6 pmid: 12547738
- Gomes da Silva S, de Almeida AA, Fernandes J, Lopim GM, Cabral FR, Scerni DA, et al. Maternal Exercise during Pregnancy Increases BDNF Levels and Cell Numbers in the Hippocampal Formation but Not in the Cerebral Cortex of Adult Rat Offspring. *PLoS One*. 2016; **11**(1):e0147200. doi: 10.1371/journal.pone.0147200 pmid: 26771675
- Hoydal MA, Wisloff U, Kemi OJ, Ellingsen O. Running speed and maximal oxygen uptake in rats and mice: practical implications for exercise training. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2007; **14**(6):753-760. doi: 10.1097/HJR.0b013e3281eacef1 pmid: 18043295
- Amorim MF, dos Santos JA, Hirabara SM, Nascimento E, de Souza SL, de Castro RM, et al. Can physical exercise during gestation attenuate the effects of a maternal perinatal low-protein diet on oxygen consumption in rats? *Exp Physiol*. 2009; **94**(8):906-913. doi: 10.1113/expphysiol.2009.047621 pmid: 19482898
- Crews EL, 3rd, Fuge KW, Oscari LB, Holloszy JO, Shank RE. Weight, food intake, and body composition: effects of exercise and of protein deficiency. *Am J Physiol*. 1969; **216**(2):359-363. doi: 10.1152/ajplegacy.1969.216.2.359 pmid: 5766990
- Stevenson JA, Box BM, Feleki V, Beaton JR. Bouts of exercise and food intake in the rat. *J Appl Physiol*. 1966; **21**(1):118-122. doi: 10.1152/jap.1966.21.1.118 pmid: 5903897
- Stein TP, Scholl TO, Schluter MD, Schroeder CM. Plasma leptin influences gestational weight gain and postpartum weight retention. *Am J Clin Nutr*. 1998; **68**(6):1236-1240. doi: 10.1093/ajcn/68.6.1236 pmid: 9846852
- Kraemer RR, Chu H, Castracane VD. Leptin and exercise. *Exp Biol Med (Maywood)*. 2002; **227**(9):701-708. doi: 10.1177/153537020222700903 pmid: 12324651
- Hopkins SA, Baldi JC, Cutfield WS, McCowan L, Hofman PL. Effects of exercise training on maternal hormonal changes in

- pregnancy. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 2011;**74**(4):495-500. **doi:** 10.1111/j.1365-2265.2010.03964.x **pmid:** 21198740
20. Nabkasorn C, Miyai N, Sootmongkol A, Junprasert S, Yamamoto H, Arita M, et al. Effects of physical exercise on depression, neuroendocrine stress hormones and physiological fitness in adolescent females with depressive symptoms. *Eur J Public Health*. 2006;**16**(2):179-184. **doi:** 10.1093/eurpub/cki159 **pmid:** 16126743
  21. Rosa BV, Firth EC, Blair HT, Vickers MH, Morel PC. Voluntary exercise in pregnant rats positively influences fetal growth without initiating a maternal physiological stress response. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2011;**300**(5):R1134-1141. **doi:** 10.1152/ajpregu.00683.2010 **pmid:** 21307360
  22. Zhang X, Decker A, Platt RW, Kramer MS. How big is too big? The perinatal consequences of fetal macrosomia. *Am J Obstet Gynecol*. 2008;**198**(5):517 e511-516. **doi:** 10.1016/j.ajog.2007.12.005 **pmid:** 18455528
  23. Tomic V, Sporis G, Tomic J, Milanovic Z, Zigmundovac-Klaic D, Pantelic S. The effect of maternal exercise during pregnancy on abnormal fetal growth. *Croat Med J*. 2013;**54**(4):362-368. **doi:** 10.3325/cmj.2013.54.362 **pmid:** 23986277
  24. Attoub S, Noe V, Pirola L, Bruyneel E, Chastre E, Mareel M, et al. Leptin promotes invasiveness of kidney and colonic epithelial cells via phosphoinositide 3-kinase-, rho-, and rac-dependent signaling pathways. *FASEB J*. 2000;**14**(14):2329-2338. **doi:** 10.1096/fj.00-0162 **pmid:** 11053255
  25. Garibotto G, Russo R, Franceschini R, Robaudo C, Saffioti S, Sofia A, et al. Inter-organ leptin exchange in humans. *Biochem Biophys Res Commun*. 1998;**247**(2):504-509. **doi:** 10.1006/bbrc.1998.8819 **pmid:** 9642159
  26. Dietrich MO, Spuch C, Antequera D, Rodal I, de Yebenes JG, Molina JA, et al. Megalin mediates the transport of leptin across the blood-CSF barrier. *Neurobiol Aging*. 2008;**29**(6):902-912. **doi:** 10.1016/j.neurobiolaging.2007.01.008 **pmid:** 17324488
  27. Funahashi H, Takenoya F, Guan JL, Kageyama H, Yada T, Shioda S. Hypothalamic neuronal networks and feeding-related peptides involved in the regulation of feeding. *Anat Sci Int*. 2003;**78**(3):123-138. **doi:** 10.1046/j.0022-7722.2003.00055.x **pmid:** 14527127
  28. Elias CF, Aschkenasi C, Lee C, Kelly J, Ahima RS, Bjorbaek C, et al. Leptin differentially regulates NPY and POMC neurons projecting to the lateral hypothalamic area. *Neuron*. 1999;**23**(4):775-786. **doi:** 10.1016/s0896-6273(01)80035-0 **pmid:** 10482243
  29. Ferrari N, Bae-Gartz I, Bauer C, Janoschek R, Koxholt I, Mahabir E, et al. Exercise during pregnancy and its impact on mothers and offspring in humans and mice. *J Dev Orig Health Dis*. 2018;**9**(1):63-76. **doi:** 10.1017/S2040174417000617 **pmid:** 28780912
  30. Vickers MH, Gluckman PD, Coveny AH, Hofman PL, Cutfield WS, Gertler A, et al. The effect of neonatal leptin treatment on postnatal weight gain in male rats is dependent on maternal nutritional status during pregnancy. *Endocrinology*. 2008;**149**(4):1906-1913. **doi:** 10.1210/en.2007-0981 **pmid:** 18187552