

اثر تجویز طولانی مدت نیترات سدیم با دوزهای بالا بر شاخص‌های چاقی در موش‌های صحرایی ماده

دکتر سجاد جدی، فاطمه بختیارزاده، دکتر سودا غیبی، دکتر اصغر قاسمی

مرکز تحقیقات فیزیولوژی غدد، پژوهشکده علوم غدد درون‌ریز و متابولیسم، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران، نشانی
مکاتبه‌ی نویسنده‌ی مسئول: تهران، ولنجک، خیابان یمن، خیابان پروانه، پلاک ۲۴، مرکز تحقیقات فیزیولوژی غدد، پژوهشکده علوم غدد
درون‌ریز و متابولیسم، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران، دکتر اصغر قاسمی؛
e-mail: Ghasemi@endocrine.ac.ir

چکیده

مقدمه: با وجود شیوع بالاتر چاقی در زنان، اثرات ضد چاقی نیترات، بیشتر در حیوانات نر و عمدتاً با دوزهای پایین و با مدت زمان کوتاه انجام شده است. هدف مطالعه حاضر تعیین اثرات تجویز طولانی مدت (۶ ماه) نیترات سدیم با دوزهای بالا بر شاخص‌های چاقی در موش صحرایی ماده بالغ سالم می‌باشد. مواد و روش‌ها: موش‌های صحرایی ماده از نژاد ویستار به ۳ گروه (۱۰ سر در هر گروه) تقسیم شدند: گروه شاهد که آب آشامیدنی و دو گروه آزمون که به ترتیب آب آشامیدنی حاوی ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات سدیم به مدت ۶ ماه دریافت کردند. وزن بدن، دریافت غذا و مصرف آب به صورت هفتگی اندازه‌گیری شد. طول بدن، نمایه‌ی توده بدنی (BMI)، شاخص لی، اندازه دور شکم و دور قفسه سینه هر دو ماه یک - بار اندازه‌گیری شد. وزن بافت چربی سفید (WAT) و بافت چربی قهوه‌ای (BAT) و شاخص آدیپوسیتی در پایان مطالعه تعیین شد. یافته‌ها: تجویز نیترات تأثیری بر دریافت غذا در موش‌های صحرایی ماده نداشت، اما باعث افزایش معنی‌دار مصرف آب گردید ($P < 0.001$). وزن بدن و فاصله بینی تا مقعد در گروه‌های آزمون تفاوت معنی‌داری نسبت به گروه شاهد نداشت. در انتهای مطالعه، در موش‌های تحت درمان با نیترات BMI (۲۳ درصد)، شاخص لی (۷ درصد)، شاخص آدیپوسیتی (۳۶ درصد)، وزن WAT و همچنین اندازه دور شکم (۵ درصد) و دور سینه (۶ درصد) نسبت به گروه شاهد، به صورت معنی‌دار پایین‌تر بود. وزن BAT در انتهای مطالعه، در ناحیه بین کتف (۰/۲۳±۰/۰۲) و (۰/۳۹±۰/۰۳) و (۰/۳۲±۰/۰۲) گرم به ترتیب در گروه کنترل و نیترات با دوز ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و ناحیه زیر بغل (۰/۲۴±۰/۰۳) و (۰/۳۳±۰/۰۲) و (۰/۳۰±۰/۰۳) به ترتیب در گروه کنترل و نیترات با دوز ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) نیز به صورت معنی‌دار بالاتر از گروه کنترل بود. نتیجه‌گیری: تجویز نیترات باعث جلوگیری از افزایش آدیپوسیتی در موش‌های صحرایی ماده بالغ سالم گردید. این اثرات مفید می‌تواند ناشی از افزایش قهوه‌ای شدن بافت چربی باشد.

واژگان کلیدی: چاقی، نیترات، نیتریک اکساید، شاخص آدیپوسیتی

دریافت مقاله: ۹۷/۶/۲۴ - دریافت اصلاحیه: ۹۷/۸/۹ - پذیرش مقاله: ۹۷/۷/۲۱

مقدمه

چاقی بیماری چند عاملی و قابل پیشگیری است که همراه با اضافه وزن، یک سوم جمعیت بالغ در جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد.^{۱،۲} چاقی با افزایش خطر ابتلا به دیابت، پر فشاری خون، بیماری‌های قلبی و سرطان همراه می‌باشد. همچنین چاقی منجر به ناتوانی، کاهش بهره‌وری و کاهش طول عمر نیز می‌گردد.^۳ شیوع مجموع چاقی و اضافه وزن

در مردان و زنان در حال افزایش است و از ۱۳ درصد در جمعیت بالغ در سال ۱۹۶۲ به ۳۶ درصد در ۲۰۱۰ رسیده است^۴ و برآورد می‌شود شیوع آن‌ها به بالای ۵۸ درصد تا سال ۲۰۳۰ برسد.^{۱،۲} روش‌های درمانی مختلفی برای چاقی وجود دارد که برخی از آن‌ها دارای عوارض جانبی نامطلوب می‌باشند، بنابراین نیاز به تحقیقات بیشتر برای ارائه درمان‌های مؤثرتر ضروری است.^۵

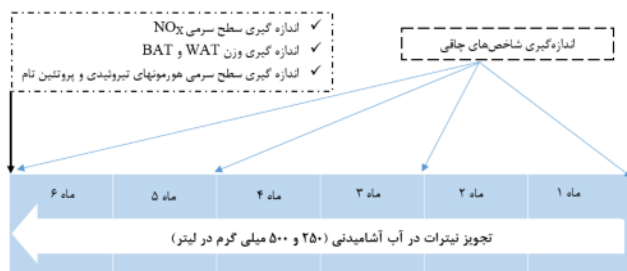
متابولیسم دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی رسید (کد اخلاق: IR.SBMU.ENDOCRINE.REC.1397.14906)

گروه‌بندی حیوانات

در این مطالعه، موش‌های صحرایی ماده به ۳ گروه تقسیم شدند (۱۰ رأس در هر گروه): (۱) گروه شاهد که آب آشامیدنی معمولی دریافت کردند. (۲) گروه کنترل-نیترات ۲۵۰ که آب آشامیدنی حاوی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات سدیم به مدت ۶ ماه دریافت کردند. (۳) گروه کنترل-نیترات ۵۰۰ که آب آشامیدنی حاوی ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات سدیم به مدت ۶ ماه دریافت کردند.

مراحل اجرای مطالعه

در شکل ۱ نمای کلی از مراحل اجرای مطالعه نشان داده شده است. در روز صفر، حیوانات به طور تصادفی به ۳ گروه تقسیم شدند. از روز صفر تجویز نیترات سدیم در ۲ گروه آزمون با دوز ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۶ ماه انجام گرفت. وزن بدن (گرم)، مصرف آب (میلی‌لیتر در روز) و دریافت غذا (گرم در روز) به صورت هفتگی ثبت شد.



شکل ۱- مراحل انجام مطالعه. تجویز نیترات با دوز ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۶ ماه در گروه‌های آزمون انجام گردید. بافت چربی سفید (WAT)، بافت چربی قهوه‌-ای (BAT)، مجموع نیترات و نیتريت (NO_x).

اندازه‌گیری شاخص‌های چاقی

شاخص‌های چاقی شامل نمایه‌ی توده بدنی (BMI^{iv}) (گرم بر سانتی‌متر مربع)، شاخص لی^v (گرم بر سانتی‌متر)، سانتی‌متر، اندازه دور شکم و سینه^{vi} (سانتی‌متر) و همچنین هم‌چنین فاصله بینی تا مقعد (NAL^{vii}) (سانتی‌متر) هر دو ماه یک بار اندازه‌گیری شد. در انتهای مطالعه، نمونه‌ی خون

اکسید نیتريكⁱ (NO) یک مولکول ساده با نقش‌های بیولوژیک متعدد در بدن است.^۹ کاهش در دسترس بودنⁱⁱ NO به علت کاهش تولید داخلی یا افزایش متابولیسم، یک عامل خطر برای ایجاد چاقی و بیماری‌های مرتبط با آن می‌باشد.^{۶،۷} بنابراین، افزایش فراهم زیستی NO به عنوان یک رویکرد درمانی برای چاقی ارائه شده است. تجویز نیترات معدنی و همچنین رژیم غذایی غنی از نیترات منجر به جبران سطوح کاهش یافته‌ی NO در چاقی و دیابت در انسان و حیوان می‌گردد.^{۸-۱۱} نیترات با تبدیل شدن به NO اثرات ضد چاقی و ضد دیابت خود را اعمال می‌کند.^{۱۲} نیترات و نیتريت دارای اثرات مفید مختلف در چاقی و دیابت است که شامل کاهش وزن بدن،^۶ کاهش تجمع چربی احشایی،^۶ بهبود دیس‌لیپیدی^{۱۳} و افزایش قهوه‌ای شدن بافت چربی سفید می‌باشد.^۹

طی سال‌های اخیر شیوع چاقی و اضافه وزن در زنان افزایش بیشتری نسبت به مردان داشته است.^{۱۴،۱۵} با وجود شیوع بیشتر چاقی در زنان، اثرات ضد چاقی نیترات بیشتر در حیوانات نر مورد مطالعه قرار گرفته است. اثرات تجویز نیترات و نیتريت بر وزن موش‌های صحرایی می‌تواند تحت تأثیر طول مدت تجویز و همچنین دوز تجویز باشد.^{۱۶} با توجه به محدود بودن مطالعات در جنس ماده و اینکه برخی از جنبه‌های تجویز نیترات و نیتريت مثل اثرات دوزهای پایین و بالا به خوبی مشخص نشده است،^{۱۶} هدف این مطالعه تعیین اثر تجویز نیترات سدیم با دوزهای بالا (۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به مدت ۶ ماه (مزمّن) بر شاخص‌های چاقی در موش صحرایی ماده بود.

مواد و روش‌ها

حیوانات

موش‌های صحرایی ماده از نژاد ویستارⁱⁱⁱ در حیوان‌خانه‌ی پژوهشکده‌ی علوم غدد درون‌ریز و متابولیسم دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی در دمای ۲۲±۱ درجه‌ی سلسیوس و چرخه‌ی روشنایی- تاریکی ۱۲ ساعته نگه‌داری شدند. استانداردهای لازم اخلاقی در مورد روش کار حیوانات آزمایشگاهی رعایت گردید و مطالعه به تأیید کمیته‌ی سازمانی اخلاق در پژوهشکده علوم غدد درون‌ریز و

iv -Body mass index

v -Lee index

vi -Thoracic to abdominal circumference

vii -Naso-anal length

i - Nitric oxide

ii - Bioavailability

iii -Wistar

آنالیز آماری

آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار GraphPad Prism نسخه ۶ اندازه‌گیری شد. یافته‌های کمی به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد میانگین بیان شده‌اند. برای مقایسه‌ی وزن بدن، NAL و شاخص‌های چاقی بین گروه‌های مختلف از آنالیز واریانس دو طرفه مخلوط با اندازه‌گیری‌های تکراری^{xv} استفاده شد. برای مقایسه سطح سرمی NOX و هورمون‌های تیروئیدی و پروتئین تام و همچنین وزن WAT و BAT بین گروه‌های مختلف از آنالیز واریانس یک طرفه و تست تعقیبی فیشر استفاده شد. مقدار P کمتر از ۰/۰۵ معنی‌دار تلقی گردید.

یافته‌ها

اثر تجویز نیترا سدیم بر مصرف آب و دریافت غذا

در موش‌های صحرایی ماده

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های مختلف از نظر دریافت غذا وجود نداشت، اما تجویز نیترا، افزایش معنی‌داری ($P < 0.001$) در میزان مصرف آب در هر دو گروه آزمون با دوز نیترا ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ایجاد کرد.

جدول ۱- اثر تجویز نیترا بر میزان مصرف آب و دریافت غذا در موش صحرایی ماده

پارامتر	گروه‌بندی	شاهد	نیترا سدیم (میلی‌گرم در لیتر)
			۲۵۰
			۵۰۰
میزان دریافت غذا (گرم در روز به ازای هر موش)	۱۳/۰ \pm ۰/۱	۱۲/۳ \pm ۰/۴	۱۳/۶ \pm ۰/۵
میزان مصرف آب (میلی‌لیتر در روز به ازای هر موش)	۲۰/۱ \pm ۰/۶	۲۶/۸ \pm ۰/۲*	۲۳/۹ \pm ۰/۵*

یافته‌ها به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد از میانگین بیان شده‌اند. *مقدار P کمتر از ۰/۰۵ در مقایسه با گروه شاهد را نشان می‌دهد. تعداد موش صحرایی در هر گروه ۱۰ سر می‌باشد.

اثر تجویز نیترا سدیم بر وزن بدن و NAL در

صحرایی ماده

مصرف نیترا سدیم به مدت ۶ ماه در دوزهای ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر اثری بر وزن ($P = 0.35$) برای دوز ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و $P = 0.47$ برای دوز ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر و طول بدن ($P = 0.32$) برای دوز ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و $P = 0.21$ برای دوز ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) موش‌های صحرایی ماده نداشت (نمودار ۱).

برای اندازه‌گیری سطح سرمی هورمون‌های تیروئیدی، سطح سرمی NO_x (میکرومول در لیتر) و پروتئین تام (گرم در صد میلی‌لیتر) از حیوانات گرفته شد. بافت‌های حاوی WATⁱ شامل کتاله‌ی رانⁱⁱ، گنادیⁱⁱⁱ، مزانتریک^{iv} و خلف صفاقی^v و بافت‌های حاوی BAT^{vi} شامل زیر بغل^{vii} و بین کتف^{viii} در انتهای مطالعه از موش‌های ماده جدا شد و وزن آن‌ها بر حسب گرم گزارش شد.

شاخص‌های چاقی شامل BMI [وزن بدن (گرم) تقسیم بر مربع طول بدن (سانتی‌متر مربع)]، شاخص لی [ریشه سوم وزن بدن (گرم) تقسیم بر طول بینی تا مقعد (سانتی‌متر)]، اندازه دور شکم (بزرگ‌ترین ناحیه‌ی شکم موش) و دور سینه هر دو ماه یک بار اندازه‌گیری شد. در پایان مطالعه وزن WAT، BAT و شاخص آدیپوسیتی^{ix} (مجموع وزن چربی اپیدیدیمال^x، شکمی^{xi} و خلف صفاقی تقسیم بر وزن بدن $\times 100$) محاسبه شد.

اندازه‌گیری سطح سرمی NO_x، هورمون‌هایتیروئیدی (فرم آزاد و تمام تیروکسین^{xii} و تری‌یدوتیرونین^{xiii}) و پروتئین تام

پس از ۱۲ تا ۱۴ ساعت ناشتایی، نمونه‌های خون از موش‌های صحرایی ماده جمع‌آوری شد و به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۵۰۰۰ سانتریفیوژ انجام شد. برای اندازه‌گیری NO_x از روش رنگ‌سنجی گریس^{xiv} با استفاده از کیت رنگ‌سنجی (شرکت پژوهش کاو آفاق، تهران، ایران) استفاده شد. سطح سرمی هورمون‌های تیروئیدی به وسیله کیت‌های الیزا (شرکت پیشتاز، تهران، ایران) با توجه به دستورالعمل شرکت تولیدکننده و سطح سرمی پروتئین تام نیز با استفاده از کیت‌های موجود در بازار (شرکت پارس آزمون، تهران ایران) اندازه‌گیری شد.

i - White adipose tissue

ii - Inguinal

iii - Gonadal

iv - Mesenteric

v - Retroperitoneal

vi - Brown adipose tissue

vii - Axillary

viii - Interscapular

ix - Adiposity index

x - Epididimal

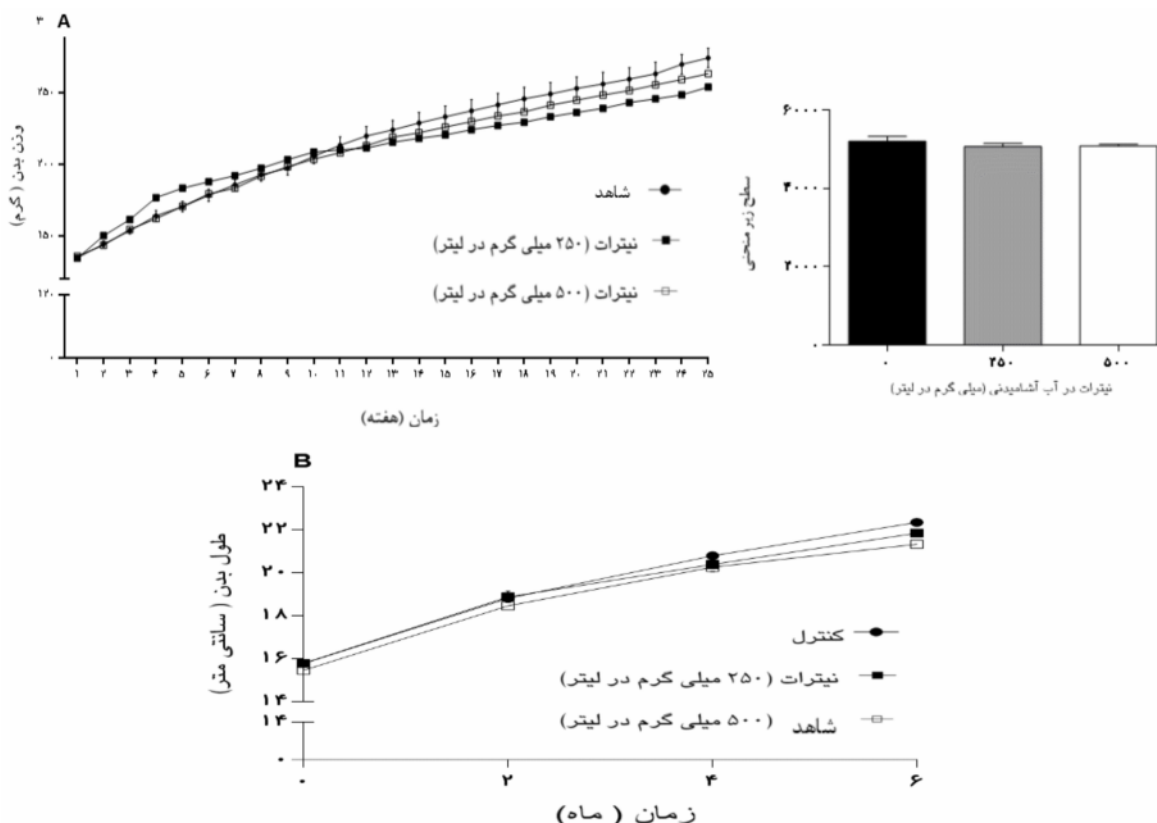
xi - Viseral

xii - Free and total thyroxine

xiii - Free and total triiodothyronine

xiv - Griess

xv - Mixed two-way (between-within) ANOVA

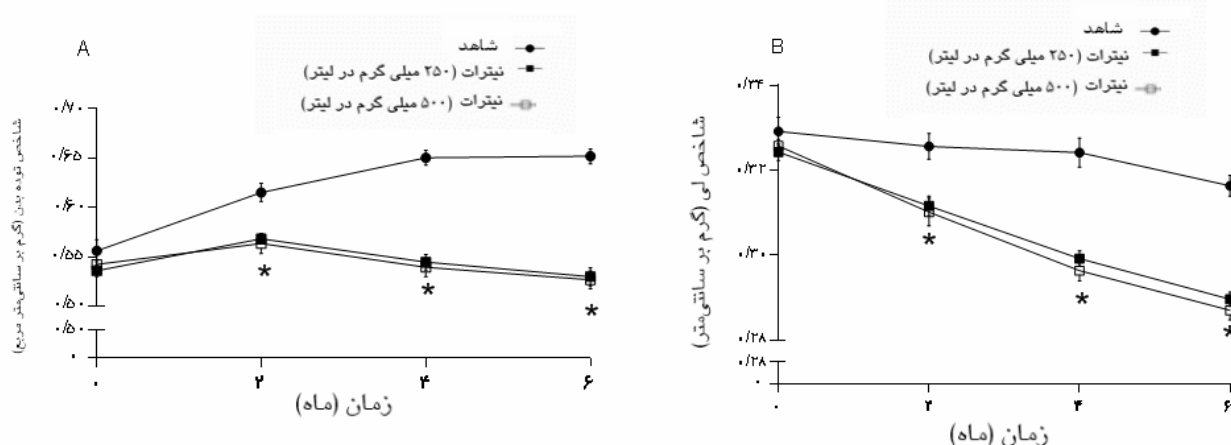


نمودار ۱- اثر تجویز طولانی مدت نیترات سدیم بر تغییرات وزن بدن (A) و تغییرات NAL (B). یافته‌ها به صورت میانگین±انحراف از میانگین بیان شده‌اند. تعداد موش صحرایی در هر گروه ۱۰ سر می‌باشد.

در هر دو دوز منجر به کاهش معنی‌دار ($P < 0.001$) شاخص لی در انتهای مطالعه گردید. این اثرات نیترات در هر دو دوز از ماه دوم مطالعه شروع شد و تا انتهای مطالعه باقی ماند (نمودار ۲).

اثر تجویز نیترات سدیم بر شاخص‌های چاقی
الف: شاخص BMI و شاخص لی

اندازه‌گیری شاخص BMI در انتهای مطالعه نشان داد که تجویز نیترات سدیم با دوز ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر به طور معنی‌داری ($P < 0.001$) منجر به کاهش BMI نسبت به گروه شاهد گردید. همچنین تجویز طولانی مدت نیترات سدیم



نمودار ۲- اثر تجویز طولانی مدت نیترات سدیم بر تغییرات BMI (A) و تغییرات شاخص لی (B). یافته‌ها به صورت میانگین±انحراف استاندارد از میانگین بیان شده‌اند.

*مقدار P کمتر از ۰/۰۵ در مقایسه با گروه شاهد را نشان می‌دهد. تعداد موش صحرایی در هر گروه ۱۰ سر می‌باشد.

شاهد بود. همان‌طور که در نمودار ۳ مشاهده می‌گردد، این اثرات در هر دو دوز نیترات از ماه دوم مطالعه شروع شد و تا انتهای مطالعه باقی ماند (نمودار ۳).

د: شاخص آدیپوسیتی

همان‌طور که در نمودار ۴ مشاهده می‌شود، تجویز نیترات به مدت ۶ ماه منجر به کاهش شاخص آدیپوسیتی گردید ($P < 0.001$).

اثر تجویز نیترات بر تغییرات سطح سرمی NO_x

تجویز نیترات با دوز ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر منجر به افزایش NO_x در سرم موش‌ها گردید ($P = 0.014$)، این افزایش در گروه نیترات با دوز ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر ($P < 0.001$) در مقایسه با گروه شاهد نیز مشاهده گردید (نمودار ۵).

اثر تجویز نیترات بر هورمون‌های تیروئیدی و پروتئین تام

اندازه‌گیری هورمون‌های تیروئیدی و پروتئین تام نشان داد که تجویز طولانی‌مدت نیترات اثری بر فاکتورهای ذکر شده ندارد (جدول ۳).

ب: وزن بافت چربی سفید و قهوه‌ای

در هر دو گروه آزمون با دوز ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات، وزن بافت چربی سفید پایین‌تر از گروه شاهد و وزن بافت چربی قهوه‌ای بالاتر از گروه شاهد بود ($P < 0.001$) (جدول ۲).

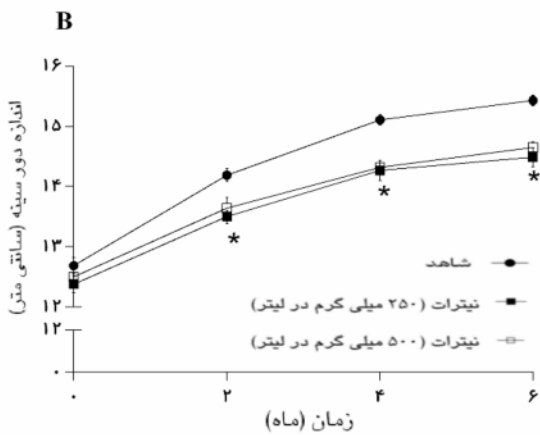
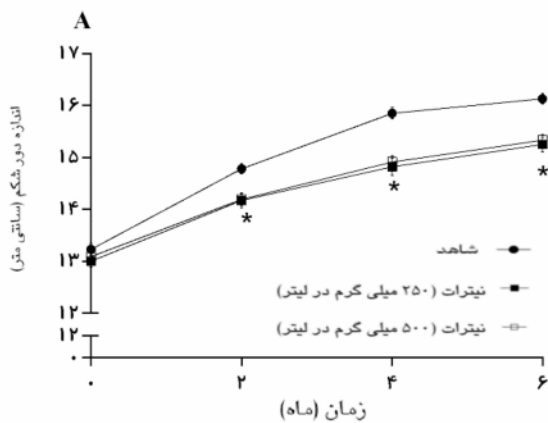
جدول ۲- اثر تجویز نیترات سدیم بر وزن بافت چربی سفید و قهوه‌ای در موش صحرایی ماده

پارامتر	نیترات سدیم (میلی‌گرم در لیتر)		
	۵۰۰	۲۵۰	۰ (شاهد)
وزن بافت چربی سفید (گرم)			
کشاله ران	$2/67 \pm 0/16^{\circ}$	$2/97 \pm 0/51^{\circ}$	$5/1 \pm 0/61$
گنبدی	$4/38 \pm 0/20^{\circ}$	$4/13 \pm 0/41^{\circ}$	$6/50 \pm 0/50$
مزانتریک	$2/62 \pm 0/10^{\circ}$	$2/47 \pm 0/20^{\circ}$	$5/47 \pm 0/39$
خلف صفاتی	$1/60 \pm 0/11^{\circ}$	$1/31 \pm 0/06^{\circ}$	$2/33 \pm 0/25$
وزن بافت چربی قهوه‌ای (گرم)			
بین کتف	$0/32 \pm 0/02^{\circ}$	$0/39 \pm 0/03^{\circ}$	$0/23 \pm 0/02$
زیر بغل	$0/30 \pm 0/02^{\circ}$	$0/33 \pm 0/03^{\circ}$	$0/44 \pm 0/03$

یافته‌ها به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد از میانگین بیان شده‌اند. $^{\circ}$ مقدار P کمتر از ۰/۰۵ در مقایسه با گروه شاهد را نشان می‌دهد. تعداد موش صحرایی در هر گروه ۱۰ سر می‌باشد.

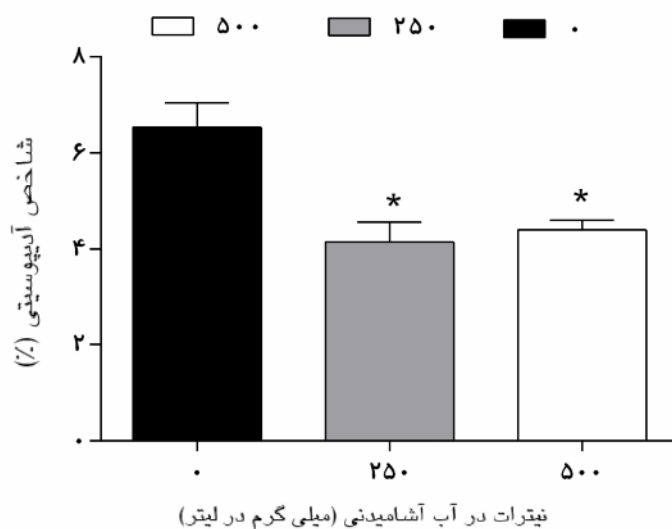
ج: اندازه‌ی دور سینه و دور شکم

اندازه‌ی دور سینه و دور شکم در گروه‌های آزمون در انتهای مطالعه به طور معنی‌داری ($P < 0.001$) کمتر از گروه



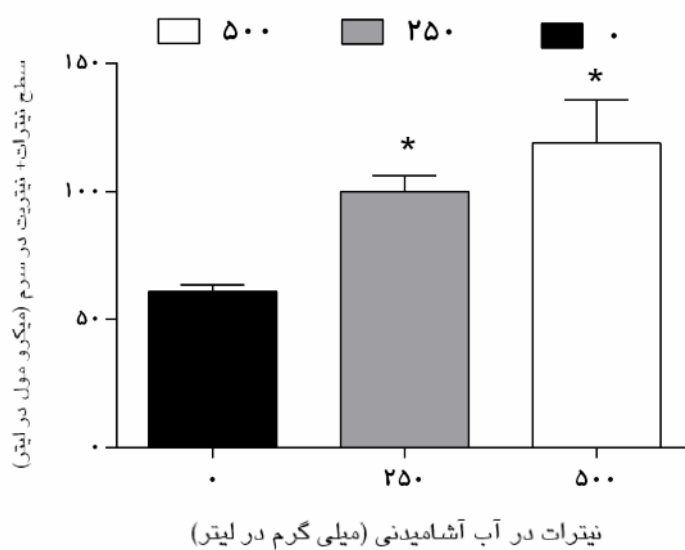
نمودار ۳- اثر تجویز طولانی‌مدت نیترات بر تغییرات اندازه‌ی دور شکم (A) و اندازه‌ی دور سینه (B). یافته‌ها به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد از میانگین بیان شده‌اند.

$^{\circ}$ مقدار P کمتر از ۰/۰۵ در مقایسه با گروه شاهد را نشان می‌دهد. تعداد موش صحرایی در هر گروه ۱۰ سر می‌باشد.



نمودار ۴- اثر تجویز طولانی‌مدت نیترات بر تغییرات شاخص چاقی. یافته‌ها به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد از میانگین بیان شده‌اند.

* مقدار P کمتر از ۰/۰۵ در مقایسه با گروه شاهد را نشان می‌دهد. تعداد موش صحرایی در هر گروه ۱۰ رأس می‌باشد.



نمودار ۵- اثر تجویز طولانی‌مدت نیترات بر تغییرات سطح NO_x در سرم. یافته‌ها به صورت میانگین \pm انحراف استاندارد از میانگین بیان شده‌اند.

* مقدار P کمتر از ۰/۰۵ در مقایسه با گروه شاهد را نشان می‌دهد. تعداد موش صحرایی در هر گروه ۱۰ رأس می‌باشد.

جدول ۳- اثر تجویز نیترات بر تغییرات سطح سرمی هورمون‌های تیروئیدی و پروتئین تام در موش صحرایی ماده

پارامتر	نیترات سدیم (میلی‌گرم در لیتر)		
	۵۰۰	۲۵۰	۰ (شاهد)
تری‌یدوتیرونین تام (نانومول در لیتر)	۰/۹۷±۰/۰۶	۱/۱۷±۰/۰۷	۰/۹۹±۰/۰۳
تری‌یدوتیرونین آزاد (پیکومول در لیتر)	۱/۱۱±۰/۰۳	۱/۰۱±۰/۰۳	۱/۰۳±۰/۰۲
تیروکسین تام (نانومول در لیتر)	۸۳/۳۹±۳/۷	۷۳/۸۷±۲/۹	۸۱/۰۸±۲/۹
تیروکسین آزاد (پیکومول در لیتر)	۳۰/۳۷±۱/۶۷	۲۸/۸۲±۰/۶۴	۳۰/۵۱±۱/۳۰
پروتئین تام (گرم در دسی‌لیتر)	۵/۹۶±۰/۳۱	۵/۷۹±۰/۲۱	۵/۱۹±۰/۲۵

یافته‌ها به صورت میانگین±انحراف استاندارد از میانگین بیان شده‌اند. تعداد موش صحرایی در هر گروه ۱۰ رأس می‌باشد.

بحث

این مطالعه برای اولین بار نشان داد که تجویز طولانی‌مدت نیترات سدیم با دوز بالا مانع از افزایش شاخص‌های چاقی از جمله نمایه‌ی توده بدنی، شاخص لی، شاخص آدیپوسیتی و همچنین اندازه‌ی دور شکم و سینه در موش‌های صحرایی ماده می‌شود. این اثرات مفید نیترات با افزایش سطح سرمی NOx و همچنین افزایش قهوه‌ای شدن بافت چربی سفید در ارتباط است.

در این مطالعه، تجویز نیترات سدیم به مدت ۶ ماه تأثیری بر دریافت غذا نداشت، اما باعث افزایش مصرف آب در موش‌های سالم شد. مشابه با این یافته، عدم تغییر دریافت غذا به دنبال ۱۳ هفته تجویز نیترات در موش‌های ماده^{۱۷} و ۱۵ هفته در خرگوش‌های ماده^{۱۸} گزارش شده است. بر خلاف نتایج این مطالعه، گزارش شده است که تجویز نیترات در دوزهای کم (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) تأثیری بر مصرف آب در موش‌های صحرایی ماده ندارد ولی منجر به کاهش دریافت غذا می‌گردد.^{۱۹} این اختلافات ممکن است به دلیل طول مدت درمان، دوز مورد استفاده و گونه‌های مورد بررسی باشد.

در مطالعه حاضر، تجویز نیترات سدیم به مدت ۶ ماه در دوزهای ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تأثیری بر وزن بدن در موش‌های صحرایی ماده نداشت. مشابه با مطالعه حاضر تجویز نیتريت سدیم با دوز ۸۱ و ۲۴۳۲ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۱۳ هفته تأثیری بر وزن بدن موش‌های صحرایی ماده نداشت^{۱۷} ولی در دو مطالعه دیگر تجویز نیترات به مدت ۵ ماه در موش‌های ماده با دوز ۵۰، ۱۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر^{۲۰} و همچنین تجویز نیتريت به مدت ۲ سال با دوزهای ۴۰، ۸۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم، سبب کاهش وزن

در موش‌های صحرایی نر و فقط در بالاترین دوز گردید.^{۲۱} همچنین نتایج مطالعه اخیر ما، نشان داد، تجویز نیترات سدیم در دوزهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر به مدت ۶ ماه، به صورت وابسته به دوز منجر به کاهش وزن بدن می‌گردد که این کاهش همراه با کاهش دریافت غذا نیز بود.^{۱۹} به نظر می‌رسد که تفاوت‌های موجود در وزن بدن در مطالعات مختلف، وابسته به دوز نیترات و نیتريت و تغییرات دریافت غذا به دنبال تجویز نیترات و نیتريت باشد.

همچنین در مطالعه حاضر، تجویز دوزهای بالای نیترات تأثیری بر NAL نداشت که بر خلاف اثرات دوزهای پایین (دوز ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) نیترات است.^{۱۹} گزارش شده است که کاهش رشد به دنبال تجویز نیترات یا نیتريت با کاهش هورمون‌های تیروئیدی و کاتابولیسم پروتئین همراه است؛^{۱۸،۲۲،۲۳} اما در مطالعه حاضر تجویز نیترات با دوز ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم تأثیری بر سطح سرمی هورمون‌های تیروئیدی و پروتئین تام نداشت. بنابراین احتمال نقش داشتن هورمون‌های تیروئیدی بر کاهش NAL را رد می‌کند. همچنین نتایج مطالعه با دوزهای پایین (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) نشان داده است که تجویز نیترات به مدت ۶ ماه منجر به کاهش رشد موش صحرایی می‌گردد ولی این کاهش رشد ناشی از کاهش سطح سرمی هورمون‌های تیروئیدی نمی‌باشد.^{۱۹} مطالعه در مورد اثر نیترات بر رشد موش صحرایی محدود بوده و نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد ولی بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که نیترات با کاهش ترشح فاکتور آزادکننده هورمون رشد از هیپوتالاموس، کاهش فاکتور رشد شبه انسولینی از کبد و نیز کاهش گیرنده این فاکتور در کبد منجر به کاهش رشد در موش صحرایی می‌گردد.^{۲۴-۲۶}

در مطالعه حاضر، تجویز طولانی مدت نیترات سدیم با دوزهای بالا منجر به کاهش وزن WAT و افزایش وزن BAT در موش‌های صحرایی ماده گردید که با کاهش شاخص آدیپوسیتی همراه بود. نتایج مشابه با دوزهای پایین (دوز ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر) نیترات در مطالعه اخیر ما گزارش شده است.^{۱۹} همچنین کاهش مقدار چربی احشایی^۱ و نیز افزایش تبدیل بافت چربی سفید به قهوه‌ای^{۲۷} در مطالعات گذشته در حیوانات نر به دنبال تجویز نیترات و نیتريت گزارش شده است. با توجه به این که بین مقدار BAT و چربی بدن ارتباط معکوس وجود دارد، بنابراین افزایش BAT می‌تواند منجر به کاهش خطر بیماری‌های مرتبط با چاقی گردد.^{۲۸} در مطالعه‌ای با استفاده از F-FDG PET-CT که روش استاندارد برای اندازه‌گیری میزان BAT می‌باشد، نشان داده شد که BAT در افراد بزرگسال وجود دارد.^{۲۹} توزیع BAT در زنان و مردان یکسان بوده و بیش از نیمی از مردان و زنان دارای ۱۰ گرم و بالاتر از BAT در بدن خود هستند؛ BAT در زنان دارای فعالیت و توده‌ی بیشتری بوده و از اهمیت بیشتری برخوردار است.^{۲۹} افزایش BAT به دنبال تجویز نیترات از این نظر حائز اهمیت است که افزایش مقدار و فعالیت BAT در انسان یکی از اهداف اولیه و مهم برای درمان دیابت و چاقی در نظر گرفته شده است.^{۳۰} به نظر می‌رسد که اثر مطلوب BAT در انسان، با کاهش سطح BAT موجود در افراد بالغ، بسیار محدود باشد. علی‌رغم وجود مقدار پایین BAT در انسان، گزارش شده است که ۵۰ گرم BAT می‌تواند تا ۲۰ درصد نیاز پایه‌ی متابولیک را مصرف کند که اهمیت این بافت را در انسان نشان می‌دهد.^{۱۶} با این حال نیاز به افزایش توانایی برای اندازه‌گیری جرم و فعالیت BAT در انسان وجود دارد تا بتوان نقش فیزیولوژیک BAT را به طور کامل مشخص و از آن به عنوان یک هدف درمانی در درمان چاقی و سایر اختلالات متابولیکی استفاده کرد.

در مطالعه انجام شده بر موش‌هایی فاقد ژن eNOS که مدل ایجاد سندروم متابولیک می‌باشد، نشان داده شد که ۱۰ هفته درمان با نیترات منجر به کاهش تجمع چربی احشایی می‌گردد.^{۱۶} لی^{۱۱} و همکاران نشان دادند که تجویز ۱۸ روز نیترات سدیم سبب افزایش بیان ژن‌های مختص آدیپوسیت

قهوه‌ای مثل ژن UCP-1 در چربی سفید کشته‌ی ران و نیز سبب افزایش ژن‌های مخصوص آدیپوسیت بژ در بافت چربی سفید زیر جلدی می‌شود.^{۲۷} نیترات بعد از ورود به سلول به نیتريت و سپس به NO احیاء شده و در نتیجه سبب افزایش cGMPⁱⁱⁱ از طریق فعال کردن گوانیلیل سیکلاز محلول می‌شود.^{۲۷} cGMP موجب تحریک فرآیند قهوه‌ای شدن بافت چربی سفید و افزایش بیان ژن‌های درگیر در فرآیند قهوه‌ای شدن چربی سفید می‌گردد.^{۳۱} نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تجویز نیترات سدیم در هر دو دوز منجر به افزایش سطح سرمی NO_x در موش‌های صحرایی ماده می‌گردد که مشابه با مطالعات گذشته در جنس ماده^{۱۹} و نر^۹ بود. بنابراین با توجه به بحث صورت گرفته، سازوکار احتمالی در کاهش WAT در مطالعه حاضر می‌تواند ناشی از افزایش سطح سرمی NO_x در این موش‌های صحرایی باشد.

در مطالعه حاضر، در گروه شاهد با افزایش سن، شاخص‌های چاقی شامل BMI، شاخص لی، اندازه‌ی دور شکم و سینه از ۱۸ تا ۲۲ درصد افزایش پیدا کردند. گزارش شده است که مقدار طبیعی BMI در موش صحرایی بین ۰/۴۵ تا ۰/۶۸ گرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد^{۳۲} که مطابق با مطالعه‌ی حاضر است (به ترتیب حدود ۰/۵۵ و ۰/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مربع در ابتدا و انتهای مطالعه در گروه شاهد). مقدار BMI در انسان در یک دهه گذشته حدود ۰/۴۵ کیلوگرم بر متر مربع افزایش یافته است^{۳۳} و نشان داده شده است که افزایش به مقدار کم در BMI (حدود ۱ کیلوگرم بر متر مربع) منجر به افزایش خطر ایجاد بیماری‌های مرتبط با چاقی می‌گردد.^{۳۴} در مطالعه حاضر، موش‌های صحرایی تحت درمان با نیترات دارای BMI، شاخص لی، وزن WAT، اندازه‌ی دور شکم و سینه کمتری نسبت به گروه شاهد بودند (۲۵ و ۲۳ درصد برای BMI و ۱۰ و ۱۰ درصد برای شاخص لی، ۵ و ۵ درصد برای شاخص دور شکم و ۸ و ۷ درصد به ترتیب در دوزهای ۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر). کاهش شاخص‌های چاقی به دنبال تجویز نیترات از این نظر حائز اهمیت است که گزارش شده کاهش ۱ درصدی BMI در جمعیت عمومی منجر به کاهش بروز بیماری‌های قلبی عروقی می‌گردد.^{۳۵}

i - 18F-fluorodeoxyglucose (18F-FDG) positron-emission tomographic and computed tomographic (PET-CT)

ii - Lee

iii - cyclic guanosine monophosphate

سپاسگزاری: نویسندگان مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مساعدت و همکاری مرکز تحقیقات فیزیولوژی غدد، پژوهشکده علوم غدد درون‌ریز و متابولیسم، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی در انجام این پژوهش ابراز می‌دارند. این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران با شماره گرنت ۱-۱۴۹۰۶ انجام شده است. نویسندگان اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در پژوهش حاضر وجود ندارد.

از یافته‌های این مطالعه نتیجه‌گیری می‌شود که تجویز نیترات در دوزهای بالا (۲۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در موش صحرایی سالم ماده سبب کاهش شاخص‌های چاقی شامل BMI، شاخص لی، اندازه‌ی دور شکم و سینه و همچنین شاخص آدیپوسیتی می‌گردد؛ این یافته‌ها ممکن است به طور بالقوه برای درمان چاقی و بیماری‌های مرتبط با آن در انسان دارای کاربرد باشد.

References

- Kelly T, Yang W, Chen CS, Reynolds K, He J. Global burden of obesity in 2005 and projections to 2030. *Int J Obes (Lond)* 2008; 32: 1431-7.
- Must A, Spadano J, Coakley EH, Field AE, Colditz G, Dietz WH. The disease burden associated with overweight and obesity. *JAMA* 1999; 282: 1523-9.
- Ahima RS. Digging deeper into obesity. *J Clin Invest* 2011; 121: 2076-9.
- Kang JG, Park C-Y. Anti-Obesity Drugs: A Review about Their Effects and Safety. *Diabetes Metab J* 2012; 36: 13-25.
- Strijdom H, Chamane N, Lochner A. Nitric oxide in the cardiovascular system: a simple molecule with complex actions. *Cardiovascular Journal of Africa* 2009; 20: 303-10.
- Carlstrom M, Larsen FJ, Nystrom T, Hezel M, Bornique S, Weitzberg E, et al. Dietary inorganic nitrate reverses features of metabolic syndrome in endothelial nitric oxide synthase-deficient mice. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2010; 107: 17716-20.
- Gruber HJ, Mayer C, Mangge H, Fauler G, Grandits N, Wilders-Truschnig M. Obesity reduces the bioavailability of nitric oxide in juveniles. *Int J Obes (Lond)* 2008; 32: 826-31.
- Gheibi S, Jeddi S, Carlstrom M, Gholami H, Ghasemi A. Effects of long-term nitrate supplementation on carbohydrate metabolism, lipid profiles, oxidative stress, and inflammation in male obese type 2 diabetic rats. *Nitric Oxide* 2018; 75: 27-41.
- Varzandi T, Abdollahifar MA, Rohani SAH, Piryaei A, Zadeh-Vakili A, Jeddi S, et al. Effect of long-term nitrite administration on browning of white adipose tissue in type 2 diabetic rats: A stereological study. *Life Sci* 2018; 207: 219-26.
- Gheibi S, Bakhtiarzadeh F, Jeddi S, Farrokhfall K, Zardooz H, Ghasemi A. Nitrite increases glucose-stimulated insulin secretion and islet insulin content in obese type 2 diabetic male rats. *Nitric Oxide* 2017; 64: 39-51.
- Gilchrist M, Winyard PG, Fulford J, Anning C, Shore AC, Benjamin N. Dietary nitrate supplementation improves reaction time in type 2 diabetes: development and application of a novel nitrate-depleted beetroot juice placebo. *Nitric Oxide* 2014; 40: 67-74.
- Roberts LD. Does inorganic nitrate say NO to obesity by browning white adipose tissue? *Adipocyte* 2015; 4: 311-4.
- Khalifi S, Rahimpour A, Jeddi S, Ghanbari M, Kazerooni F, Ghasemi A. Dietary nitrate improves glucose tolerance and lipid profile in an animal model of hyperglycemia. *Nitric Oxide* 2015; 44: 24-30.
- Flegal KM, Kruszon-Moran D, Carroll MD, Fryar CD, Ogden CL. Trends in Obesity Among Adults in the United States, 2005 to 2014. *JAMA* 2016; 315: 2284-91.
- Kral JG. Preventing and treating obesity in girls and young women to curb the epidemic. *Obes Res* 2004; 12: 1539-46.
- Ghasemi A, Jeddi S. Anti-obesity and anti-diabetic effects of nitrate and nitrite. *Nitric Oxide* 2017; 70: 9-24.
- Til HP, Kuper CF, Falke HE. Nitrite-induced adrenal effects in rats and the consequences for the no-observed-effect level. *Food Chem Toxicol* 1997; 35: 349-55.
- Akasha M, Kerban, A. Effect of Nitrate on the Body Weight, Food and Water Consumption and Thyroid Hormone in Hybrid Female Rabbits. *J Vet Adv* 2015; 5: 912-8.
- Bakhtiarzadeh F, Siavoshi F, Gheibi S, Kashfi K, Samadi R, Jeddi S, et al. Effects of long-term oral nitrate administration on adiposity in normal adult female rats. *Life Sci* 2018; 210: 76-85.
- Chaoui AA, Zaki A, Talibi A, Chait A, Derouiche A, Aboussaouira T, et al. Effects of inorganic nitrates on thyroid gland activity and morphology in female rats. *Therapie* 2004; 59: 471-5.
- National Toxicology Program. Toxicology and carcinogenesis studies of sodium nitrite (CAS NO. 7632-00-0) in F344/N rats and B6C3F1 mice (drinking water studies). *Natl Toxicol Program Tech Rep Ser* 2001; 495: 7-273.
- Zaki A, Ait Chaoui A, Talibi A, Derouiche AF, Aboussaouira T, Zarrouck K, et al. Chait and T. Himmi. Impact of nitrate intake in drinking water on the thyroid gland activity in male rat. *Toxicol Lett* 2004; 147: 27-33.
- El-Wakf AM, Hassan A, Elsaid FG, Elsaid A. Hypothyroidism in male rats of different ages exposed to nitrate polluted drinking water. *Research Journal of Medicine and Medical Sciences* 2009; 4: 160-4.
- Jahreis G, Hesse V, Rohde W, Prange H, Zwacka G. Nitrate-induced hypothyroidism is associated with a reduced concentration of growth hormone-releasing factor in hypothalamic tissue of rats. *Exp Clin Endocrinol* 1991; 97: 109-12.
- Jahreis G, Hesse V, Schone F, Hennig A, Gruhn K. Effect of chronic dietary nitrate and different iodine supply on porcine thyroid function, somatomedin-C-level and growth. *Expl Clin Endocrinol* 1986; 88: 242-8.
- Jahreis G, Schone F, Ludke H, Hesse V. Growth impairment caused by dietary nitrate intake regulated via

- hypothyroidism and decreased somatomedin. *Endocrinol Exp* 1987; 21: 171-80.
27. Roberts LD, Ashmore T, Kotwica AO, Murfitt SA, Fernandez BO, Feelisch M, et al. Inorganic nitrate promotes the browning of white adipose tissue through the nitrate-nitrite-nitric oxide pathway. *Diabetes* 2015; 64: 471-84.
 28. van Marken Lichtenbelt WD, Vanhomerig JW, Smulders NM, Drossaerts JM, Kemerink GJ, Bouvy ND, et al. Cold-activated brown adipose tissue in healthy men. *N Engl J Med* 2009; 360: 1500-8.
 29. Cypess AM, Lehman S, Williams G, Tal I, Rodman D, Goldfine AB, et al. Identification and importance of brown adipose tissue in adult humans. *The New England journal of medicine* 2009; 360: 1509-17.
 30. Carpentier AC, Blondin DP, Virtanen KA, Richard D, Haman F, Turcotte ÉE. Brown adipose tissue energy metabolism in humans. *Front Endocrinol (Lausanne)* 2018; 9: 447.
 31. Mitschke MM, Hoffmann LS, Gnad T, Scholz D, Kruihoff K, Mayer P, et al. Increased cGMP promotes healthy expansion and browning of white adipose tissue. *FASEB J* 2013; 27: 1621-30.
 32. Novelli EL, Diniz YS, Galhardi CM, Ebaïd GM, Rodrigues HG, Mani F, et al. Anthropometrical parameters and markers of obesity in rats. *Lab Anim* 2007; 41: 111-9.
 33. Valente A, Jamurtas AZ, Koutedakis Y, Flouris AD. Molecular pathways linking non-shivering thermogenesis and obesity: focusing on brown adipose tissue development. *Biol Rev Camb Philos Soc* 2015; 90: 77-88.
 34. Someya Y, Tamura Y, Kohmura Y, Aoki K, Kawai S, Daida H. Slightly increased BMI at young age is a risk factor for future hypertension in Japanese men. *PLoS One* 2018; 13: e0191170.
 35. Wang YC, McPherson K, Marsh T, Gortmaker SL, Brown M. Health and economic burden of the projected obesity trends in the USA and the UK. *Lancet* 2011; 378: 815-25.

Original Article

Effects of Long-Term, High Doses of Nitrate Administration on Adiposity Index in Female Rats

Jeddi S, Bakhtiarzadeh F, Gheibi S, Ghasemi A

Endocrine Physiology Research Center, Research Institute for Endocrine Sciences, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, I.R.

e-mail: Ghasemi@endocrine.ac.ir

Received: 15/09/2018 Accepted: 12/11/2018

Abstract

Introduction: Despite higher prevalence of obesity in women, the anti-obesity effects of nitrate have mostly been studied in male animals, using low doses of nitrate for short durations. This study aims at determining effects of long-term (6 months), administration of high doses of nitrate on the obesity indices of normal adult female rats. **Materials and Methods:** Female Wistar rats were divided into 3 groups (n=10/group): Control group received tap water and the two treatment groups received water containing 250 and 500 mg/L sodium nitrate for 6 months. Body weight, food intake, and water consumption were measured weekly. Naso-anal length, body mass index (BMI), Lee index, as well as abdominal and thoracic circumferences were determined every two months. Weights of white adipose tissue (WAT) and brown adipose tissue (BAT) were measured at the end of study and adiposity index was calculated. **Results:** Administration of nitrate had no effect on food intake but significantly ($p<0.001$) increased water consumption in female rats. Compared to the control group, there was no significant difference in body weight and nasal-to-anal length in the nitrate-treated rats. At the end of study, compared to controls, in nitrate-treated rats, BMI (23%), Lee index (7%), adiposity index (36%), weight of WAT as well as abdominal (5%) and thoracic (6%) circumferences were significantly lower. Weight of BAT was also significantly higher in the interscapular region, i.e. 0.23 ± 0.02 , 0.39 ± 0.03 and 0.32 ± 0.02 gram in the control and nitrate groups (250 and 500 mg/L), respectively. and in the axillary region 0.24 ± 0.03 , 0.33 ± 0.02 and 0.30 ± 0.03 gram in the control and nitrate groups (250 and 500 mg/L), respectively. **Conclusion:** Nitrate administration prevents increase in adiposity in normal adult female rats, beneficial effects which may be associated with increased browning of WAT.

Keywords: Obesity, Nitrate, Nitric oxide, Adiposity index