

مجله غدد درون ریز و متابولیسم ایران
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی - درمانی شهید بهشتی
سال پنجم، شماره ۴، صفحه‌های ۲۳۵-۲۲۷ (زمستان ۱۳۸۲)

اثر آنتاگونیست گیرنده‌های α_2 -آدرنرژیک بر برخی عوامل مترشحه از بافت آدیپوز در رت‌های نر چاق

دکتر فریده اسفندی، دکتر نوشابه پژهان، طاهره کمیلی موحد، نرگس محمد تقوایی

چکیده

مقدمه: چاقی عامل خطر ساز مهم برای بیماری‌هایی مانند دیابت، پرفشاری خون، هیپرلیپیدمی، بیماری‌های قلبی - عروقی و برخی انواع بدخیمی‌هاست. به علاوه چاقی با مقاومت به انسولین و هیپرانسولینمی همراه است. هورمون‌ها و سیتوکین‌هایی همچون لپتین و $\text{TNF-}\alpha$ که به وسیله بافت آدیپوز تولید می‌شوند، در ایجاد مقاومت به انسولین ناشی از چاقی نقش مؤثری دارند. هدف از این تحقیق بررسی اثر تجویز محیطی یوهیمین (آنتاگونیست انتخابی گیرنده α_2 - آدرنوسپتورها) بر برخی از عوامل رها شده از بافت آدیپوز (لپتین و $\text{TNF-}\alpha$ و غیره) است. مواد و روش‌ها: آزمایش بر دو گروه از رت‌های نر انجام شد: گروه شاهد لاغر (تحت رژیم استاندارد جوندگان) و گروه چاق (تحت رژیم کافه تریا). بعد از ۱۸ هفته رژیم غذایی، یک نمونه خون از هر رت گرفته شد. سپس گروه چاق به صورت تصادفی به دو گروه تقسیم شد. به گروه I 4 mg/kg یوهیمین و به گروه II به میزان هم حجم سالین تزریق شد. سپس نمونه‌گیری در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه بعد از تزریق انجام گرفت. یافته‌ها: میزان انسولین سرم در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه بعد از تزریق دارو شدیداً افزایش یافت ($p < 0/05$). ۳۰ دقیقه پس از تزریق دارو، میزان لپتین و $\text{TNF-}\alpha$ کاهش معنی‌داری نشان داد ($p < 0/05$), در حالی که مقدار FFA شدیداً افزایش یافت ($p < 0/05$). همچنین میزان گلوکز در گروه دارو افزایش یافت ولی مقدار آن در طول ۱۲۰ دقیقه از گروه شاهد کمتر بود. نتیجه‌گیری: با توجه به اینکه cAMP عامل اصلی تنظیم در تولید و ترشح لپتین، $\text{TNF-}\alpha$ و FFA در آدیپوسیت‌هاست، با مقایسه مقادیر این متغیرها در گروه دریافت سالین و دارو، مشخص می‌شود احتمالاً در چاقی فعالیت و حساسیت گیرنده‌های α_2 آدرنرژیک و نسبت آدرنوسپتوهای α_2 به β آدرنوسپتورها افزایش می‌یابد.

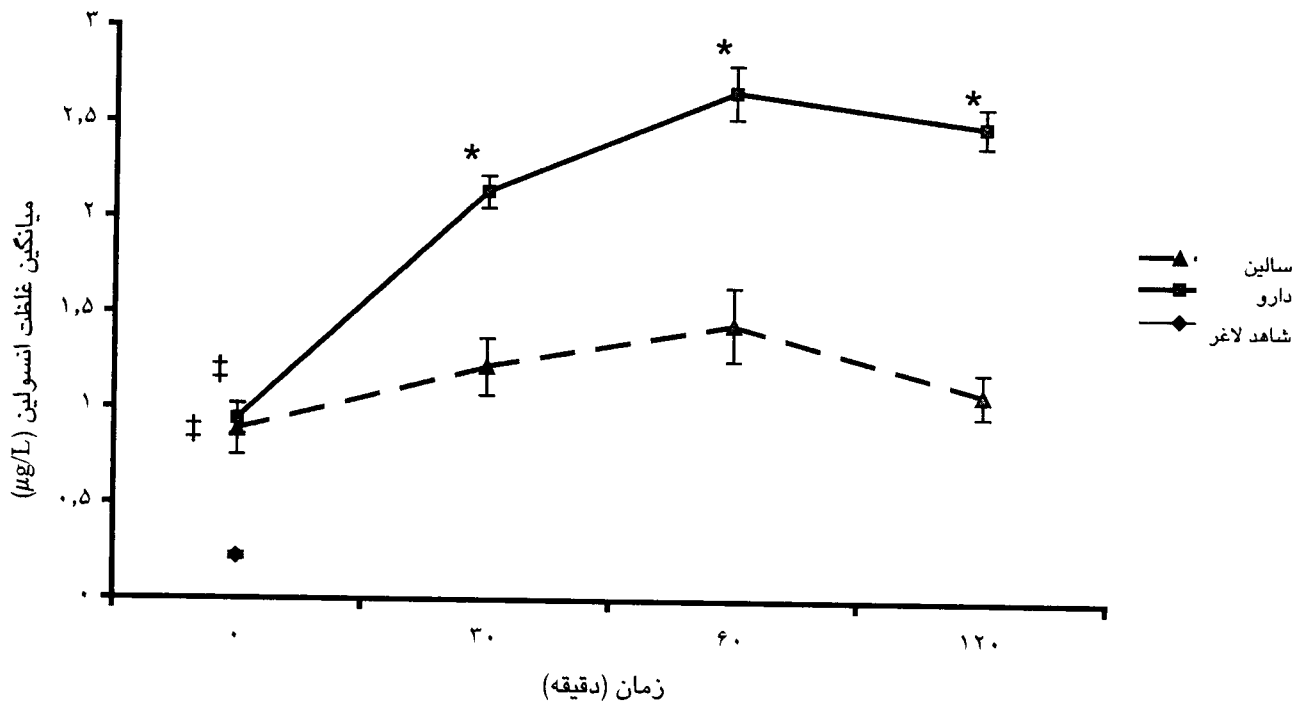
واژگان کلیدی: چاقی، گیرنده α_2 -آدرنرژیک، یوهیمین، cAMP ، لپتین، $\text{TNF-}\alpha$ ، FFA

مقدمه

چاقی عامل خطر ساز (ریسک فاکتور) مهم برای بسیاری از بیماری‌های شایع در جهان از جمله دیابت، بیماری‌های قلبی - عروقی، سنگ‌های کیسه صفرا و پرفشاری خون

گروه بیوشیمی، دانشکده پزشکی،
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی - درمانی شهید بهشتی
نشانی مکاتبه: اوین، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده
پزشکی، گروه بیوشیمی، دکتر فریده اسفندی
E-mail: amin1651@yahoo.com

است.^{۱,۲} در چاقی که همراه با افزایش بافت آدیپوز است، از حساسیت بافت‌ها نسبت به انسولین کاسته می‌شود. در نتیجه برای جبران این کاهش حساسیت به انسولین و در جهت هومئوستاز گلوکز، ترشح انسولین از سلول‌های بتای پانکراس افزایش می‌یابد و حالت هیپرانسولینمی رخ می‌دهد.^۳ مقاومت به انسولین و میزان بالای انسولین ناشتا با شیوع هیپرتری‌گلیسریدمی، پرفشاری خون و کاهش HDL رابطه دارد^۴ و مقاومت به انسولین ناشی از چاقی در بروز بیماری دیابت نوع ۲ مؤثر است.^۵



مقادیر به صورت Mean \pm S.E.M نشان داده شده است.

* ($p < 0.05$) در مقایسه با گروه دریافت سالیین

‡ ($p < 0.05$) در مقایسه با گروه شاهد لاغر در زمان صفر

نمودار ۱- منحنی اثر تزریق سالیین و دارو (یوهیمین) بر میزان انسولین سرم در فواصل زمانی مختلف

نمونه‌گیری انجام شد. مقادیر لپتین، انسولین و $TNF-\alpha$ در سرم به روش الایزا و با استفاده از کیت شرکت DRG تعیین شد. مشخصات کیت‌ها در جدول (۱) ارائه شده است. اندازه‌گیری FFA با استفاده از روش تشکیل صابون مس و انتقال کمپلکس صابون مس - FFA از معرف نیترات مس-تری‌اتانل آمین به فاز کلروفرمی و تعیین میزان مس با ۱ و ۵ دی‌فنیل کاربازید صورت گرفت. ^{۲۶} اندازه‌گیری گلوکز با استفاده از کیت آنزیماتیک انجام شد. نتایج به دست آمده به صورت Mean \pm S.E.M بیان شده است و آنالیز نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. برای مقایسه مقادیر پایه سه گروه (در زمان صفر) اطلاعات به دست آمده توسط آزمون آماری آنالیز واریانس بررسی شد و سپس نتایج دو به دوی گروه‌ها با آزمون Post HOC (LSD, Scheffe) مقایسه گردید. برای مقایسه گروه‌ها در زمان‌های ۳۰، ۶۰، ۱۲۰ دقیقه از آزمون آماری t استفاده شد. مقادیر $p < 0.05$ از نظر آماری معنی‌دار در نظر گرفته شد.

حرارت مورد انتظار $38/5^{\circ}C$ (درحالت ناشتا طبق منابع موجود) بود و همه رت‌های انتخاب شده برای مرحله بعد، دمای بالاتر یا پایین‌تر از این میزان را نشان ندادند. پس از ۱۸ هفته از گروه شاهد لاغر ۸ رت به صورت تصادفی انتخاب و پس از توزین، میانگین وزن و انحراف معیار آنها محاسبه شد. میانگین وزن رت‌های گروه شاهد لاغر $216/7 \pm 200$ گرم و $SD = 200$ بود. سپس در گروه آزمایش ۱۶ رت که وزن آنها از میانگین وزن گروه شاهد لاغر حداقل SD ۲ بیشتر بود، به عنوان نمونه جهت مرحله دوم بررسی انتخاب شدند. میانگین وزن گروه چاق $402/5$ گرم بود. مرحله دوم بررسی: از رت‌های چاق شده در مرحله اول، با توجه به فرمول فوق ۸ رت جهت تزریق دارو و ۸ رت جهت تزریق سالیین انتخاب شدند. پس از ۱۲ ساعت ناشتایی رت‌های انتخابی توسط اتر بیهوش شده، نمونه‌گیری از قلب در زمان صفر انجام شد. سپس رت‌های گروه دارو و سالیین تحت تزریق در ناحیه کشاله ران قرار گرفتند و در زمان‌های ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه پس از تزریق مجدداً به همان طریق

یافته‌ها

TNF- α

مقدار پایه TNF- α در گروه‌های سالین، دارو و شاهد لاغر به ترتیب برابر $27/26 \pm 1/16$ pg/mL و $31/50 \pm 2/30$ pg/mL و $32/24 \pm 1/97$ pg/mL بود. در زمان صفر اختلاف معنی‌داری میان TNF- α گروه سالین و شاهد لاغر و بین گروه دارو و کنترل لاغر مشاهده نشد ($p > 0/05$) و بر خلاف انتظار مقدار پایه TNF- α گروه لاغر از گروه چاق بالاتر بود. با تزریق یوهیمین میزان TNF- α در زمان ۳۰ دقیقه کاهش یافت و به $24/61 \pm 2/06$ pg/mL رسید. در صورتی که در گروه سالین TNF- α در طول ۱۲۰ دقیقه افزایش یافت. میزان TNF- α گروه سالین در زمان ۳۰، $32/69 \pm 1/86$ pg/mL بود و در این زمان اختلاف معنی‌داری بین گروه سالین و دارو مشاهده شد ($p < 0/05$) (نمودار ۳).

FFA

مقدار پایه FFA (زمان صفر) در گروه سالین (mmol/L) $558/01 \pm 39/19$ و گروه دارو $531/08 \pm 66/21$ نسبت به گروه شاهد لاغر (mmol/L) $328/80 \pm 8/43$ به صورت معنی‌دار بالاتر بود ($p < 0/05$). ولی اختلاف معنی‌داری بین گروه سالین و دارو مشاهده نشد ($p > 0/05$). با تزریق دارو میزان FFA در زمان ۳۰ به شدت افزایش یافت و به سطح $860/66 \pm 64/13$ mmol/L رسید. در زمان ۶۰ و ۱۲۰ میزان FFA مجدداً کاهش یافت و به mmol/L $521/76 \pm 19/48$ و $655/29 \pm 59/01$ سالین باعث کاهش FFA سرمی گردید. مقدار FFA در گروه سالین در زمان‌های ۳۰، ۶۰ و ۱۲۰ به ترتیب برابر mmol/L $294/82 \pm 26/67$ ، $281/03 \pm 31/48$ و mmol/L $274/76 \pm 33/05$ بود. در این زمان‌ها تفاوت معنی‌داری بین گروه سالین و دارو به دست آمد ($p < 0/05$) (نمودار ۴).

گلوکز

بین مقدار گلوکز پایه (زمان صفر) در دو گروه سالین (mg/dL) $241/20 \pm 10/41$ و دارو (mg/dL) $238/10 \pm 6/78$ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($p > 0/05$). گلوکز در هر دو گروه سالین و دارو در طول ۱۲۰ دقیقه افزایش پیدا کرد ولی در تمامی نقاط میزان گلوکز در گروه دارو نسبت به گروه سالین کمتر بود و ۳۰ دقیقه پس از تزریق اختلاف معنی‌داری بین دو گروه به دست آمد ($p < 0/05$) (نمودار ۵).

انسولین

میزان انسولین پایه (زمان صفر) در گروه دریافت سالین $0/887 \pm 0/123$ ($\mu\text{g/L}$) و گروه دریافت دارو $0/2$ ($\mu\text{g/L}$) $0/943 \pm 8/154$ نسبت به گروه شاهد لاغر $0/2$ ($\mu\text{g/L}$) $0/222 \pm 1/643$ با اختلاف معنی‌دار بالاتر بود ($p < 0/05$) ولی در این زمان تفاوت معنی‌داری بین گروه سالین و دارو مشاهده نشد ($p > 0/05$). میزان انسولین در هر دو گروه سالین و دارو تا ۶۰ دقیقه افزایش یافت و در گروه سالین به $1/45 \pm 0/193$ ($\mu\text{g/L}$) و در گروه دارو به $2/672 \pm 0/140$ ($\mu\text{g/L}$) رسید و در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ اختلاف معنی‌داری بین این دو گروه به دست آمد ($p < 0/05$) (نمودار ۱).

لپتین

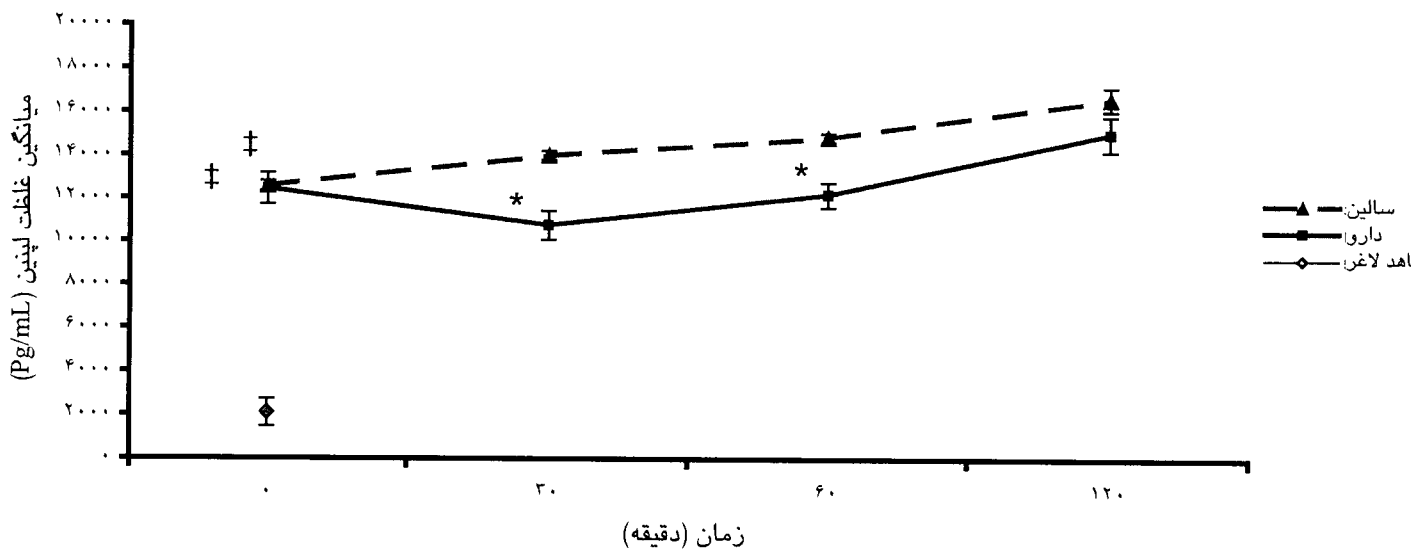
مقدار لپتین پایه (زمان صفر) در گروه سالین (pg/mL) $1257/05 \pm 244/82$ و گروه دارو (pg/mL) $12452/86 \pm 719/31$ نسبت به گروه لاغر (pg/mL) $2102/74 \pm 622/19$ به میزان معنی‌داری بالاتر بود ($p < 0/05$) ولی اختلاف معنی‌داری بین گروه سالین و دارو در زمان صفر وجود نداشت ($p > 0/05$). میزان لپتین در گروه دارو در زمان ۳۰ کاهش یافت و به $10773/57 \pm 679/25$ (pg/mL) رسید و پس از آن مجدداً رو به افزایش نهاد و در زمان ۶۰ به $12220/71 \pm 578/27$ (pg/mL) رسید. در حالی‌که میزان لپتین در گروه سالین در طول ۱۲۰ دقیقه افزایش یافت. میزان لپتین گروه دریافت سالین در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ به ترتیب برابر (pg/mL) $14873/98 \pm 209/22$ و $14018/66 \pm 204/62$ بود و در این زمان‌ها اختلاف بین گروه سالین و دارو معنی‌دار بود ($p < 0/05$) (نمودار ۲).

جدول ۱- تغییرات درون سنجش، برون سنجش^a و حساسیت کیت‌ها

کیت	درون‌سنجش (%)	برون‌سنجش (%)	حساسیت
انسولین	۲/۲	۳/۱	$0/07 \mu\text{g/L}$
لپتین	۱۳/۹	۹/۹	$41/48 \text{ pg/mL}$
TNF- α	۲/۷	۳/۹	4 pg/mL

i- Intra-assay

ii- Inter-assay

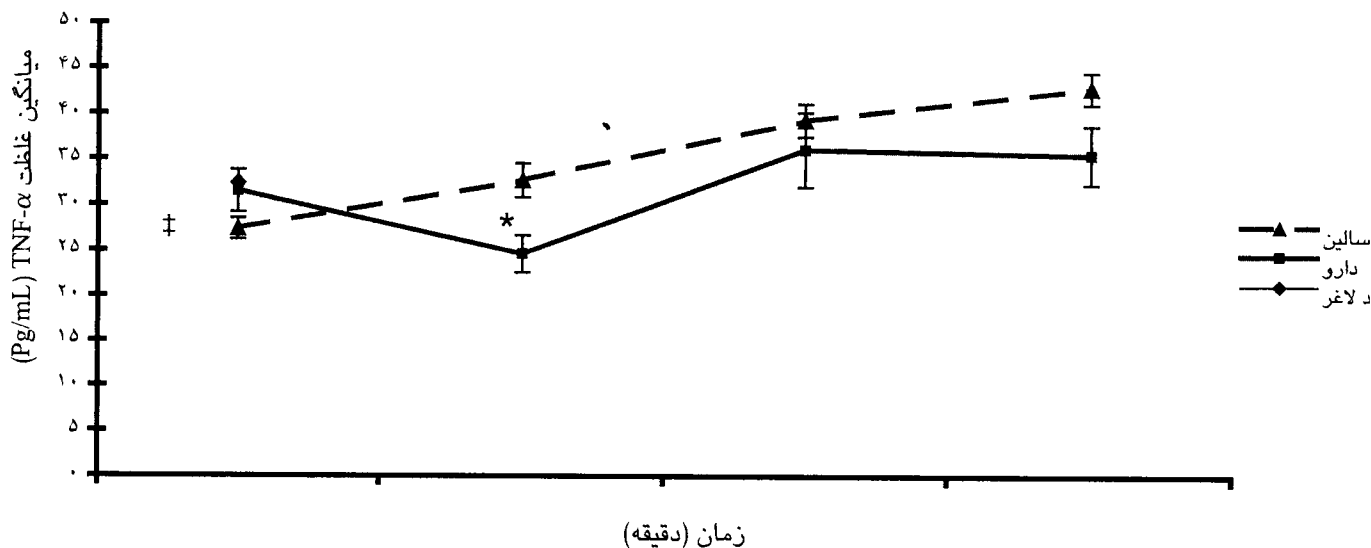


مقادیر به صورت Mean ± S.E.M نشان داده شده است.

* (p < 0.05) در مقایسه با گروه دریافت سالین

‡ (p < 0.05) در مقایسه با گروه شاهد لاغر در زمان صفر

نمودار ۲- منحنی اثر تزریق سالین و دارو (یوهیمبین) بر میزان لپتین سرم در فواصل زمانی مختلف

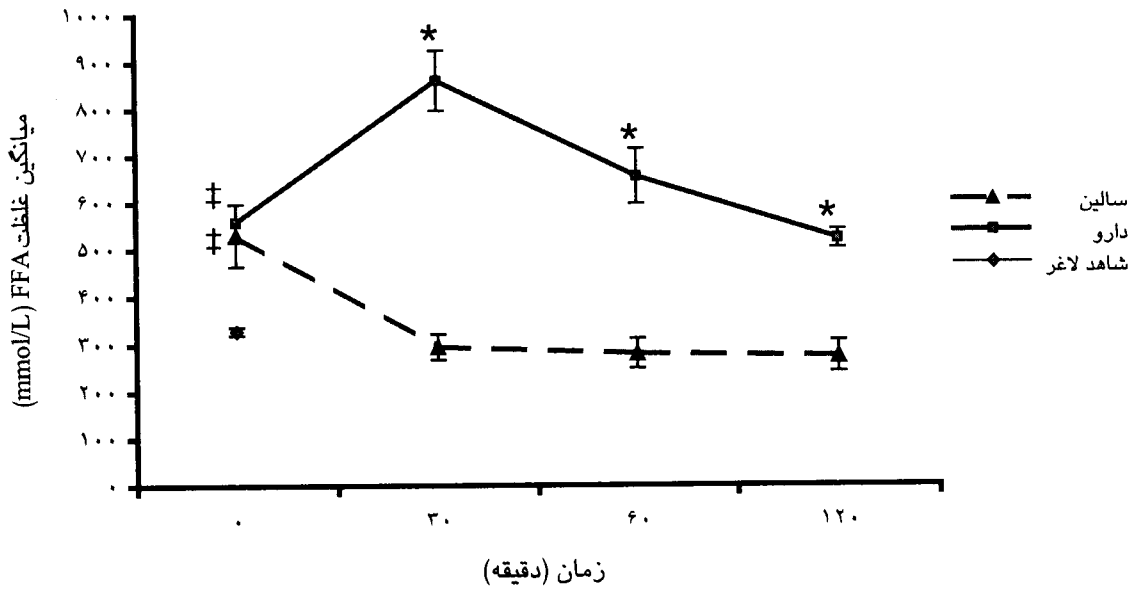


مقادیر به صورت Mean ± S.E.M نشان داده شده است.

* (p < 0.05) در مقایسه با گروه دریافت سالین

‡ (p < 0.05) در مقایسه با گروه شاهد لاغر در زمان صفر

نمودار ۳- منحنی اثر تزریق سالین و دارو (یوهیمبین) بر میزان TNF-α سرم در فواصل زمانی مختلف

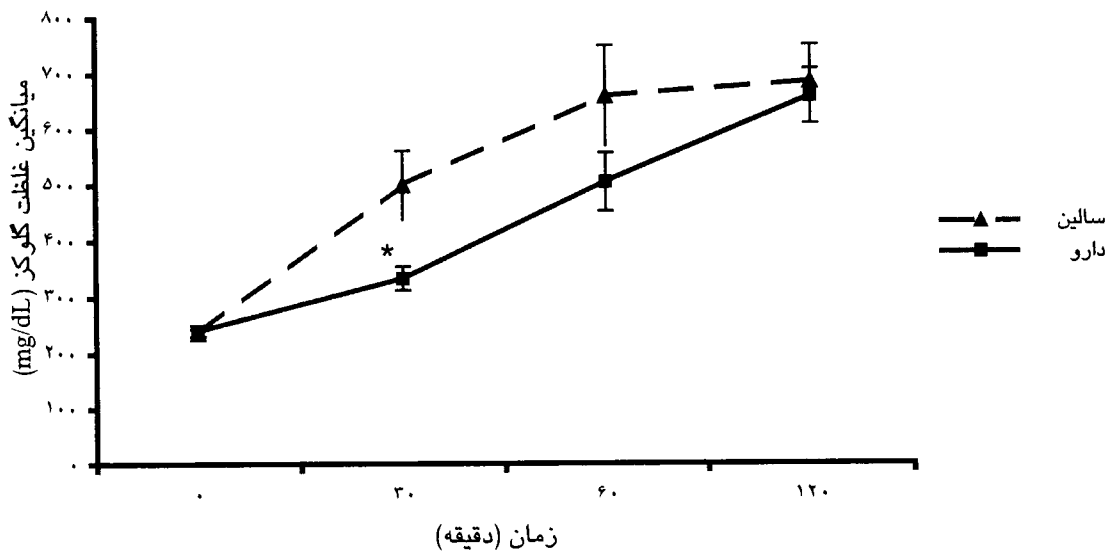


مقادیر به صورت Mean±S.E.M نشان داده شده است.

* (p<۰/۰۵) در مقایسه با گروه دریافت سالین

‡ (p<۰/۰۵) در مقایسه با گروه شاهد لاغر در زمان صفر

نمودار ۴- منحنی اثر تزریق سالین و دارو (یوهیمین) بر میزان FFA سرم در فواصل زمانی مختلف



مقادیر به صورت Mean±S.E.M نشان داده شده است.

* (p<۰/۰۵) در مقایسه با گروه دریافت سالین

نمودار ۵- منحنی اثر تزریق سالین و دارو (یوهیمین) بر میزان گلوکز سرم در فواصل زمانی مختلف

بحث

نتیجه این تحقیق نشان داد همه رت‌های چاق شده تحت رژیم دارای هیپرانسولینمی و هیپرلپتینمی، افزایش نسبی مقدار گلوکز در حالت ناشتا و افزایش میزان FFA بودند. همان گونه که انتظار می‌رفت میزان انسولین گروه چاق (دریافت سالیین و دریافت دارو) نسبت به گروه شاهد لاغر به میزان معنی‌داری بالاتر بود و این احتمالاً به علت هیپرانسولینمی ناشی از چاقی است.

پانکراس دارای گیرنده‌های β - و α_2 - آدرنرژیک است. تحریک گیرنده‌های β باعث افزایش cAMP و افزایش ترشح انسولین و تحریک گیرنده‌های α_2 موجب کاهش cAMP و کاهش ترشح انسولین می‌شود.^{۱۷} طبق برخی مطالعات، در چاقی نسبت گیرنده‌های α_2/β و حساسیت و عمل گیرنده‌های α_2 -آدرنرژیک افزایش می‌یابد.^{۲۰،۲۱} در این مطالعه، در گروه رت‌های دریافت‌کننده دارو، بعد از تزریق یوهیمبین به دلیل مهار α_2 -آدرنوسپتورها، میزان cAMP داخل سلولی افزایش یافت و در نتیجه انسولین به میزان زیادی در زمان‌های ۳۰ و ۶۰ دقیقه بعد از تزریق افزایش پیدا نمود. در زمان ۱۲۰ دقیقه به علت حذف شدن اثر دارو میزان انسولین کاهش یافت. افزایش انسولین در گروه سالیین اندک بود و این امر احتمالاً ناشی از درجاتی از فعالیت α_2 -آدرنوسپتورها در پانکراس است و به میزان مورد انتظار در افراد طبیعی که گیرنده‌های β -آدرنرژیک آنها تحریک می‌شود، نمی‌رسد (نمودار ۱).

تحقیقات مختلف نشان داده است بیان ژن لپتین و غلظت در گردش آن در افراد چاق بیشتر از افراد لاغر است و رابطه مثبتی بین (BMI) و لپتین وجود دارد و میزان لپتین به موازات مقدار نخایر آدیپوز افزایش می‌یابد.^{۱۵،۱۶} همان گونه که انتظار می‌رفت، میزان لپتین در گردش خون، در زمان صفر، در گروه چاق (دریافت سالیین و دارو) نسبت به گروه لاغر بسیار بالاتر بود و نشان می‌دهد هیپرلپتینمی معیار مناسبی از چاقی است. همچنین ارتباط بین هیپرانسولینمی و هیپرلپتینمی نشان دهنده وجود احتمالی محور β -پانکراتیک - بافت آدیپوز است و لپتین و انسولین واسطه‌های آن می‌باشند. cAMP از تنظیم‌کننده‌های مهم لپتین است. وجود عناصر پاسخ‌دهنده به cAMP در ناحیه flanking 5' ژن لپتین به اثبات رسیده است. افزایش cAMP موجب کاهش میزان بیان ژن لپتین و پروتئین در گردش آن می‌شود.^{۱۵،۲۷،۲۸} در گروه

دریافت سالیین، افزایش خطی لپتین سرم تا ۱۲۰ دقیقه بیانگر کاهش cAMP داخل سلولی است. احتمالاً به علت افزایش تعداد یا حساسیت گیرنده‌های α_2 -آدرنرژیک، به دنبال استرس، گیرنده‌های α_2 -آدرنرژیک تحریک شده، میزان cAMP کاهش و در نتیجه غلظت لپتین افزایش یافته است. در گروه رت‌های دریافت‌کننده دارو، به دلیل مهار α_2 -آدرنوسپتورها، میزان cAMP افزایش و میزان لپتین در زمان ۳۰ کاهش یافت و پس از آن به علت حذف اثر دارو، میزان لپتین به سطح اولیه خود باز می‌گشت (نمودار ۲).

TNF- α در بافت آدیپوز افراد چاق به میزان زیادی بیان می‌شود و بیان TNF- α با چاقی و سطح هیپرانسولینمی رابطه مثبت دارد.^۸ در این آزمایش با وجود اینکه رت‌ها در طول آزمایش بیماری التهابی نداشتند، TNF- α در گروه لاغر نسبت به گروه چاق بالاتر بود. بنابراین احتمالاً TNF- α سرمی نمی‌تواند شاخص مناسبی از بافت چربی و چاقی باشد. این مسأله بیشتر به علت منشأ غیر آدیپوسیتی آن در هنگام نمونه‌برداری است. به هر حال مقدار پایین TNF- α اندازه‌گیری شده تا حدی نشان می‌دهد که منابع دیگر تولیدکننده TNF- α چندان فعال نبوده‌اند و TNF- α اندازه‌گیری شده، بیشتر ناشی از بافت آدیپوز است. نتایج چندین مطالعه نیز در این مورد مقادیر بالا، نرمال و پایین یا حتی غیرقابل سنجش TNF- α در گروه چاق را گزارش نموده‌اند.^{۲۱} در گروه سالیین، افزایش خطی TNF- α در ۱۲۰ دقیقه بیانگر کاهش cAMP داخل سلولی و احتمالاً افزایش حساسیت و فعالیت α_2 -آدرنوسپتورهاست. با ایجاد استرس گیرنده‌های α_2 -آدرنرژیک تحریک شده، میزان cAMP کاهش و در نتیجه غلظت TNF- α افزایش یافته است.

در گروه دارو، با مهار گیرنده‌های α_2 -آدرنرژیک، غلظت cAMP داخل سلولی افزایش و میزان TNF- α ، همانند لپتین ۳۰ دقیقه بعد از تزریق کاهش یافت (نمودار ۳).

FFA، نشانگری از لیپولیز در بدن است و افزایش FFA نشان‌دهنده افزایش لیپولیز است. از یک طرف چاقی همراه با افزایش تری‌گلیسرید بافت آدیپوز و مقاومت لیپولیتیک به کاتکولامین‌هاست و از طرف دیگر غلظت FFA و گلیسرول سیستمیک در افراد چاق نسبت به افراد لاغر بالاتر است و افراد چاق لیپولیز پایه بالاتری نسبت به افراد لاغر دارند. علت این تناقض به درستی مشخص نیست. احتمالاً اندازه

احتمالاً به علت افزایش اپی نفرین و در نتیجه افزایش تولید کبدی گلوکز، کاهش کلیرانس گلوکز و کاهش عملکرد انسولین است. علت دیگر افزایش قند خون می‌تواند افزایش میزان لپتین و $TNF-\alpha$ (که از عوامل ایجاد کننده مقاومت به انسولین‌اند) باشد. در گروه دارو نیز با وجود افزایش میزان انسولین، قندخون افزایش داشت ولی میزان گلوکز نسبت به گروه کنترل کمتر بود (نمودار ۵). احتمالاً افزایش قند خون به علت استرس موجود در هنگام کار و افزایش تولید گلوکز و کاهش کلیرانس گلوکز بوده است.

مهارگیرنده‌های $\alpha 2$ -آدرنرژیک باعث افزایش انسولین و FFA و کاهش لپتین و $TNF-\alpha$ می‌شود. با توجه به نقش تنظیمی cAMP در تولید و ترشح انسولین، FFA، لپتین و $TNF-\alpha$ و با در نظر گرفتن نتایج حاصل از این تحقیق و با مقایسه پارامترها در گروه دریافت سالین و دارو، مشخص می‌شود که احتمالاً حساسیت و عمل و تعداد گیرنده‌های $\alpha 2$ -آدرنرژیک در چاقی افزایش می‌یابد.

ممکن است مهار $\alpha 2$ -آدرنوسپتورها باعث افزایش عملکرد انسولین در مدل‌های چاق شود (عملکرد انسولین به واسطه عوامل مترشحه از بافت آدیپوز مختل شده است) و چون مهار این گیرنده ترشح انسولین را نیز افزایش می‌دهد، ممکن است در بهبود بیماران مبتلا به NIDDM کمک نماید. انجام مطالعات بیشتر بر مدل‌های چاق و لاغر جهت مقایسه اثر دارو، استفاده از مقادیر مختلف دارو و اندازه‌گیری $TNF-\alpha$ بافتی ($TNF-\alpha$ سرمی نمی‌تواند به درستی بیانگر میزان ترشح و تولید آن در بافت آدیپوز باشد) برای تأیید این مطالب ضروری است.

سپاسگزاری

نویسندگان از جناب آقای دکتر بهرام یغمایی و جناب آقای دکتر مهدی هدایتی بابت همکاری و راهنمایی‌های گرانبخشان کمال تشکر را دارند.

آدیپوسیت‌ها اثر مهمی در میزان لیپولیز پایه دارد.^{۱۷} همچنین می‌توان گفت با توجه به مقاومت به عمل لیپولیتیک کاتکولامین‌ها، افزایش لیپولیز پایه در این افراد ممکن است به دلیل مقاومت نسبت به اثر آنتی‌لیپولیتیک انسولین باشد. هیپرانسولینمی پایه ممکن است مکانیسمی برای پیشگیری از لیپولیز بیشتر باشد؛ بنابراین هیپرانسولینمی پایه که به نرمال کردن گلوکز کمک می‌کند، به کنترل فعالیت لیپولیتیک هم کمک می‌کند.^{۲۰}

آنزیم تنظیم کننده لیپولیز، لیپاز حساس به هورمون (HSL) است. تحریک گیرنده‌های β -آدرنرژیک، موجب افزایش غلظت cAMP داخل سلولی و در نتیجه فعال شدن HSL و افزایش لیپولیز می‌شود در حالی که تحریک گیرنده‌های $\alpha 2$ -آدرنرژیک باعث کاهش cAMP، مهار HSL و کاهش لیپولیز می‌شود.^{۱۷} در آزمایش انجام شده تفاوت معنی‌داری بین میزان FFA گروه کنترل لاغر و چاق وجود داشت که نشان دهنده لیپولیز پایه بالاتر در گروه چاق است. در گروه دریافت سالین، کاهش شدید FFA سرم پس از ۳۰ دقیقه بیانگر کاهش cAMP داخل سلولی است. به عبارت دیگر پاسخ سمپاتیک در گروه سالین به احتمال قوی توسط $\alpha 2$ -آدرنوسپتورها ارایه می‌شود. در گروه دارو با بلوکه کردن $\alpha 2$ -آدرنوسپتورها، غلظت cAMP داخل سلولی بالا رفت و در نتیجه میزان لیپولیز و غلظت FFA ۳۰ دقیقه پس از تزریق دارو افزایش یافت. ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه بعد، به علت کاهش اثر دارو، میزان FFA کاهش یافت (نمودار ۴).

سیستم عصبی سمپاتیک در تنظیم متابولیسم گلوکز نقش دارد. اپی نفرین از دو طریق باعث ایجاد هیپرگلیسمی می‌شود: ۱- افزایش تولید گلوکز توسط کبد؛ ۲- کاهش کلیرانس گلوکز.^{۲۱}

افزایش تولید گلوکز توسط اپی نفرین دو فازی است. فاز اولیه با گلیکوژنولیز کبدی شروع و به دنبال آن فاز دوم با افزایش گلوکوژنولیز ادامه می‌یابد. در گروه شاهد افزایش خطی قند خون در ۱۲۰ دقیقه با وجود افزایش اندک انسولین،

References

- Uysal KT, Wiesbrock SM, Hotamisligil GS. Functional analysis of tumor necrosis factor (TNF) receptors in TNF-alpha-mediated insulin resistance in genetic obesity. *Endocrinology* 1998; 139:4832-8.
- Jung RT. Obesity as a disease. *Br Med Bull* 1997; 53:307-21.
- Muscelli E, Camastra S, Gastaldelli A, Natali A, Masoni A, Pecori N, et al. Influence of duration of obesity on the insulin resistance of obese non-diabetic patients. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1998; 22:262-7.
- Ferrannini E. Insulin resistance versus insulin deficiency in non-insulin-dependent diabetes mellitus: problems and prospects. *Endocr Rev* 1998; 19: 477-90.
- Hotamisligil GS, Arner P, Caro JF, Atkinson RL, Spiegelman BM. Increased adipose tissue expression of tumor necrosis factor-alpha in human obesity and insulin resistance. *J Clin Invest* 1995; 95:2409-15.
- Hotamisligil GS. The role of TNFalpha and TNF receptors in obesity and insulin resistance. *J Intern Med* 1999; 245:621-5.
- Cooney GJ, Storlien LH. Insulin action, thermogenesis and obesity. *Baillieres Clin Endocrinol Metab* 1994; 8:481-507.
- Sethi JK, Hotamisligil GS. The role of TNF alpha in adipocyte metabolism. *Semin Cell Dev Biol* 1999; 10:19-29.
- Hauner H, Petruschke T, Russ M, Rohrig K, Eckel J. Effects of tumour necrosis factor alpha (TNF alpha) on glucose transport and lipid metabolism of newly-differentiated human fat cells in cell culture. *Diabetologia* 1995; 38:764-71.
- Hotamisligil GS. Mechanisms of TNF-alpha-induced insulin resistance. *Exp Clin Endocrinol Diabetes* 1999; 107:119-25.
- Hotamisligil GS, Budavari A, Murray D, Spiegelman BM. Reduced tyrosine kinase activity of the insulin receptor in obesity-diabetes. Central role of tumor necrosis factor-alpha. *J Clin Invest* 1994; 94:1543-9.
- Hotamisligil GS, Peraldi P, Budavari A, Ellis R, White MF, Spiegelman BM. IRS-1-mediated inhibition of insulin receptor tyrosine kinase activity in TNF-alpha and obesity-induced insulin resistance. *Science* 1996; 271:665-8.
- Zumbach MS, Boehme MW, Wahl P, Stremmel W, Ziegler R, Nawroth PP. Tumor necrosis factor increases serum leptin levels in humans. *J Clin Endocrinol Metab* 1997; 82:4080-2.
- Blum WF, Englaro P, Attanasio AM, Kiess W, Rascher W. Human and clinical perspectives on leptin. *Proc Nutr Soc* 1998; 57:477-85.
- Mantzoros CS, Moschos SJ. Leptin: in search of role(s) in human physiology and pathophysiology. *Clin Endocrinol (Oxf)* 1998; 49:551-67.
- Girard J. Is leptin the link between obesity and insulin resistance? *Diabetes Metab* 1997; 23:16-24.
- Large V, Arner P. Regulation of lipolysis in humans. Pathophysiological modulation in obesity diabetes, and hyperlipidaemia. *Diabetes Metab* 1998; 24:409-18.
- Penicaud L, Cousin B, Leloup C, Atef N, Casteilla L, Ktorza A. Changes in autonomic nervous system activity and consecutive hyperinsulinaemia: respective roles in the development of obesity in rodents. *Diabetes Metab* 1996; 22:15-24.
- Moratinos J, Carpeno C, de Pablos I, Reverte M. Role of alpha 1- and alpha 2-adrenoceptors in catecholamine-induced hyperglycaemia, lipolysis and insulin secretion in conscious fasted rabbits. *Br J Pharmacol* 1988; 94:299-310.
- Arner P. Adrenergic receptor function in fat cells. *Am J Clin Nutr* 1992; 55:228S-236S.
- Valet P, Grujic D, Wade J, Ito M, Zingaretti MC, Soloveva V, et al. Expression of human alpha 2-adrenergic receptors in adipose tissue of beta 3-adrenergic receptor-deficient mice promotes diet-induced obesity. *J Biol Chem* 2000; 275:34797-802.
- Taouis M, Berlan M, Montastruc P, Lafontan M. Mechanism of the lipid-mobilizing effect of alpha-2 adrenergic antagonists in the dog. *J Pharmacol Exp Ther* 1988; 247:1172-80.
- Galitzky J, Taouis M, Berlan M, Riviere D, Garrigues M, Lafontan M. Alpha 2-antagonist compounds and lipid mobilization: evidence for a lipidmobilizing effect of oral yohimbine in healthy male volunteers. *Eur J Clin Invest* 1988; 18:587-94.
- Zahorska-Markiewicz B, Kucio C, Piskorska D. Adrenergic control of lipolysis and metabolic responses in obesity. *Horm Metab Res* 1986; 18:693-7.
- Schmidt ME, Goldstein DS, Schouten JL, Matochik JA, Kim HG, Potter WZ. Acute alpha 2 blockade by idazoxan increases insulin and lowers plasma glucose during positron emission tomography. *Psychopharmacol Bull* 1997; 33:253-9.
- Devic D, Stankovic H, Boskovic K. A method for determination of free fatty acids in serum. *Clin Chim Acta* 1973; 45:55-9.
- Donahoo WT, Jensen DR, Yost TJ, Eckel RH. Isoproterenol and somatostatin decrease plasma leptin in humans: a novel mechanism regulating leptin secretion. *J Clin Endocrinol Metab* 1997; 82:4139-43.
- Servais I, Reul BA, Detry R, Brichard SM. Multihormonal control of ob gene expression and leptin secretion from cultured human visceral adipose tissue: increased responsiveness to glucocorticoids in obesity. *J Clin Endocrinol Metab* 1998; 83:902-10.
- Pincelli AI, Brunani A, Scacchi M, Dubini A, Borsotti R, Tibaldi A, et al. The serum concentration of tumor necrosis factor alpha is not an index of growth-hormone- or obesity-induced insulin resistance. *Horm Res* 2001; 55:57-64.
- Horowitz JF, Klein S. Whole body and abdominal lipolytic sensitivity to epinephrine is suppressed in upper body obese women. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000; 278:E1144-52.
- Nonogaki K. New insights into sympathetic regulation of glucose and fat metabolism. *Diabetologia* 2000; 43:533-49.