

## بررسی اثر کاتیون‌های فلزی $V^{5+}$ , $W^{6+}$ , $Zn^{2+}$ بر میزان ترشح انسولین و فعالیت آنزیم گلوکوکیناز در جزایر لانگرهانس جدا شده از موش صحرایی سالم و دیابتی

بیژن فرزامی<sup>۱\*</sup>، ابوالفضل گلستانی<sup>۲</sup>، ایرج عجمی خیای<sup>۳</sup>

### چکیده

**مقدمه:** دیابت قندی نوع ۱ با کاهش در تولید و ترشح انسولین از سلولهای بتای پانکراس همراه است. از طرفی افزایش ترشح انسولین نیز سبب تخریب سلولهای بتای پانکراس می‌شود که باعث پیدایش دیابت می‌گردد. بنابراین عواملی که باعث تعدیل ترشح انسولین می‌شوند از بروز دیابت جلوگیری خواهند نمود. متابولیسم گلوکز که با فعالیت آنزیم گلوکوکیناز آغاز می‌شود، ارتباط نزدیکی با ترشح انسولین دارد. هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر کاتیون‌های روی، تنگستن و وانادیم بر ترشح انسولین و همچنین فعالیت آنزیم گلوکوکیناز که آنزیم کلیدی در ترشح انسولین می‌باشد، بوده است.

**روشها:** تعداد ۲۰ جزیره جدا شده از موشهای صحرایی سالم و دیابتی به‌طور جداگانه در هر لوله در محیط پرفیوژن استاتیک همراه با غلظت‌های متفاوت از هریک از کاتیون‌ها در مقابل گروه شاهد (بدون فلز) انکوبه شدند. میزان ترشح انسولین با روش IRMA اندازه‌گیری شد و فعالیت گلوکوکیناز از مایع رویی همگن جزایر سالم و دیابتی و گروههای شاهد بعد از انکوباسیون با روش اسپکتروفوتومتري سنجیده شد.

**یافته‌ها:** میزان ترشح انسولین از جزایر لانگرهانس سالم و دیابتی در اثر وانادات و تنگستن افزایش و در اثر روی کاهش یافت. همچنین اثر روی بر فعالیت آنزیم گلوکوکیناز کاهشی بود در حالی که تنگستن سبب افزایش فعالیت آنزیم گلوکوکیناز گردید ( $P < 0/001$ )، اما وانادات بر فعالیت گلوکوکیناز بی‌اثر بود.

**نتیجه‌گیری:** مهار ترشح انسولین توسط روی و تحریک ترشح آن توسط تنگستن به ترتیب با نتایج حاصل از اثر فلزات بر گلوکوکیناز همخوانی دارد. بنابراین مکانیسم اثر کاهش دهنده روی و افزایش دهنده تنگستن می‌تواند از طریق اثر بر آنزیم گلوکوکیناز باشد. اثر وانادات بر ترشح انسولین و نقش تحریکی آن ممکن است از طریق مکانیسم دیگری انجام گردد.

**کلیدواژه‌ها:** کاتیون‌های فلزی، گلوکوکیناز، انسولین، دیابت نوع ۱، پرفیوژن استاتیک

۱- استاد گروه بیوشیمی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۲- استادیار گروه بیوشیمی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۳- کارشناس ارشد بیوشیمی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران

\* **نشانی:** گروه بیوشیمی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، صندوق پستی ۵۳۹۹-۱۴۱۵۵؛ تلفن/ نمابر: ۸۹۵۹۷۴۵

پست الکترونیک: bfarzami@neda.net

## مقدمه

دیابت قندی نوع I یک بیماری مزمن است که با کاهش پیشرونده در تولید و ترشح انسولین از سلولهای بتای پانکراس همراه است. متابولیسم گلوکز که با فعالیت آنزیم گلوکوکیناز و تولید گلوکز-۶- فسفات آغاز می‌شود، ارتباط نزدیکی با ترشح انسولین دارد و از این آنزیم به عنوان حسگر گلوکز در سلولهای بافتهای کبد و پانکراس نام برده می‌شود. درک چگونگی کنترل و مکانیسم ترشح انسولین از سلولهای بتای پانکراس هم از نظر تئوری و هم از نظر عملی و درمانی دارای اهمیت است. تحقیقات نشان داده است که کاتیون‌های فلزی علاوه بر عملکردهایی مثل نقش کوفاکتوری برای برخی آنزیم‌ها و نقش ساختمانی در آنها و نیز نقش‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی متنوع، بر میزان ترشح انسولین نیز اثر دارند.

$Zn^{2+}$  در سلولهای بتا در مراحل مختلف بیوسنتز، فرآوری و ذخیره انسولین دخالت دارد و انسولین تقریباً در تمامی گونه‌ها در گرانول‌های دارای غشاء به فرم کریستال حاوی روی ذخیره می‌شود و هم انسولین و هم پروانسولین با روی ترکیب می‌شود و هگزامر می‌سازند.  $Zn^{2+}$  ترشح انسولین را از جزایر لانگرهانس تحریک شده با گلوکز، L-لوسین و پتاسیم به‌طور برگشت پذیر مهار می‌کند [۱-۳]. مشخص شده که مشتقات وانادیم یعنی وانادات ( $V^{5+}$ ) و وانادیل ( $V^{4+}$ ) در شرایط *in vivo* دارای خواص شبه‌انسولینی و ضددیابتی هستند.

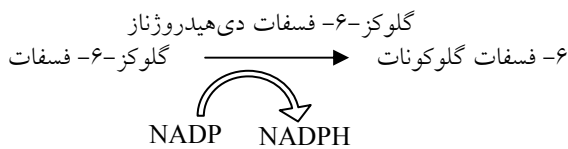
مطالعات Fegi و همکارانش مشخص کرد که میزان ترشح انسولین از جزایر لانگرهانس در شرایط *in vitro* در اثر وانادات افزایش می‌یابد در حالی‌که Vosse و همکارانش گزارشی مبنی بر کاهش ترشح انسولین و سنتز آن در اثر وانادات در جزایر لانگرهانس موشهای سالم و دیابتی ارائه نمودند [۴-۷]. در مورد اثر تجویز خوراکی تنگستن نیز گزارشی مبنی بر اصلاح قند خون و متابولیسم کبدی گلوکز در دیابت القا شده توسط استرپتوزوتوسین وجود دارد [۸، ۹]. با این حال در مورد اثر تنگستن در ترشح انسولین و همچنین اثر کاتیون‌های فوق بر فعالیت آنزیم گلوکوکیناز در شرایط *in vitro* گزارشی وجود ندارد. در این تحقیق به منظور شناسایی مکانیسم و نحوه اثر

کاتیون‌های فلزاتی نظیر  $V^{5+}$ ,  $W^{6+}$ ,  $Zn^{2+}$  از روش پرفیوژن استاتیک استفاده شد و اثر تحریکی و مهار یونهای فلزی فوق در ترشح انسولین و آنزیم گلوکوکیناز جزایر مورد بررسی قرار گرفت. جهت شناسایی اهمیت آنزیم فوق در مکانیسم آگروسیتوز ترشح انسولین، رابطه ترشح انسولین و فعالیت آنزیم گلوکوکیناز جزایر نیز بررسی گردید.

## روشها

هپس (Hepes) و آلبومین گاوی BSA از شرکت روش (Roche)، استرپتوزوتوسین (Streptozotocin) از شرکت سیگما (Sigma)، نوار گلوکویاب از شرکت باختر بیوشیمی، کیت گلوکز از شرکت زیست شیمی، کیت انسولین (Ins-IRMA) از شرکت Biosource، گلوکز-۶- فسفات دی‌هیدروژناز (GCPD)، ATP و NADP از شرکت روش، D-glucose و کوماسی بریلانت بلو G-250 و یونهای فلزی از شرکت مرک (Merck) خریداری گردید. موشهای نر نژاد Wistar در محدوده وزنی ۲۵۰-۳۰۰ گرم مورد استفاده قرار گرفتند. موشها در بخش نگهداری حیوانات در گروه بیوشیمی دانشکده پزشکی تهران پرورش یافته بودند. درجه حرارت اتاق در  $(22 \pm 2^\circ C)$  تنظیم گردید و شرایط ۱۲ ساعت تاریک/ روشن قبل از انجام آزمایش تأمین گردید.

جداسازی جزایر لانگرهانس با روش لیسی و کاستانیوفسکی (Lacy & Kastaniovsky) انجام گرفت. در این روش بعد از بیهوشی توسط اتر، شکم حیوان باز می‌شد و سپس از راه مجرای مشترک صفراوی ۱۵ میلی‌لیتر محلول هانکس تزریق می‌گردید. پانکراس متورم شده جدا و قطعات پانکراس در ۱۵ میلی‌لیتر محلول کربن-هپس وارد می‌شد. محتویات لوله به مدت یک دقیقه با دور ۳۰۰۰ سانتریفوژ گردید، این عمل دو بار تکرار شد و سپس یک میلی‌لیتر محلول کربن-هپس حاوی ۵۰۰ واحد کلاژناز اضافه گردید. لوله‌ها در درجه حرارت ۳۷ درجه به مدت ۵ دقیقه به آرامی تکان داده شد و در این مدت هر ۳۰ ثانیه یکبار محتویات لوله بررسی گردید. زمانی که هیچ نوع رشته بافتی در محلول دیده نمی‌شد، ۱۰ میلی‌لیتر از محلول کربن-کریس حاوی ۰.۳۶٪ BSA اضافه



سرعت تشکیل NADPH با روش اسپکتروفوتومتری در طول موج ۳۴۰ نانومتر با اسپکتروفوتومتر carry 118 (Varian) جهت اندازه گیری فعالیت گلوکوکیناز سنجیده شد.

برای تعیین فعالیت ویژه آنزیم گلوکوکیناز، غلظت پروتئین محلول حاوی آنزیم در مایع رویی عصاره تازه جزایر لانگرهانس با روش برادفورد و با استفاده از کوماسی بریلیانت بلو G-25 سنجیده شد [۱۷].

بررسی مصرف گلوکز توسط گویچه های سفید: تعداد مشخصی گویچه سفید که از خون تازه انسان با دستگاه اکستراکتوز جدا شده بودند به محلول پرفیوژن جزایر لانگرهانس در حضور غلظت های مختلف و انادات اضافه شد و به مدت نیم ساعت انکوبه گردید. میزان گلوکز با روش گلوکز اکسیداز و انسولین با روش IRMA در ابتدا و انتهای زمان انکوباسیون در محلول اندازه گیری شد.

آزمون آماری داده ها به صورت میانگین با انحراف معیار گزارش شده است. ارتباط اثر کاتیون های فلزی مورد بررسی با ترشح انسولین و فعالیت آنزیم گلوکوکیناز گروه های مختلف با روش ANOVA تعیین گردید و  $P < 0.001$  به عنوان سطح معنی دار بودن اختلافها انتخاب شد.

## یافته ها

۱- اثر کاتیون های فلزی بر میزان ترشح انسولین از

### جزایر لانگرهانس

$Zn^{2+}$  میزان ترشح انسولین را از جزایر سالم و دیابتی کاهش می دهد و حداکثر اثر مهاری آن بر جزایر سالم در غلظت ۱mM و بر جزایر دیابتی در غلظت ۵mM می باشد (شکل ۱).  $V^{5+}$  باعث افزایش ترشح انسولین می شود که حداکثر اثر تحریکی این کاتیون بر جزایر لانگرهانس سالم، در غلظت ۹mM و بر جزایر دیابتی در غلظت ۱۵mM می باشد (شکل ۲).

گردید و سپس سه بار، هر بار به مدت یک دقیقه با دور ۳۰۰۰ سانتریفوژ شد. بعد از آخرین مرحله سانتریفوژ محلول رویی جدا شده، جزایر با روش دستچین کردن در زیر استریومیکروسکوپ در ظرف پتری زمینه سیاه به تعداد ۲۰ جزیره در هر مرحله جدا گردید و به لوله های سیلیکونیزه انتقال داده شد [۴-۱۳].

انکوباسیون جزایر لانگرهانس با کاتیون های فلزی، انکوباسیون در محلول کار هیس-BSA که حاوی ۰/۵٪ BSA و گلوکز ۲/۸ میلی مولار بود انجام گرفت. قدرت یونی محلول کار کریس-هیس-BSA در محلول های حاوی غلظت های مختلف فلز با در نظر گرفتن مقادیر افزایش فلز تعیین گردید و در این عمل قدرت یونی محلولها حفظ و ثابت شد. در هر آزمایش گروه شاهد بدون فلز تهیه گردید. لوله ها به مدت نیم ساعت در درجه حرارت ۲۵ درجه سلسیوس انکوبه شدند و قرائت میزان انسولین در لوله ها در ابتدا و انتهای انکوباسیون انجام گرفت.

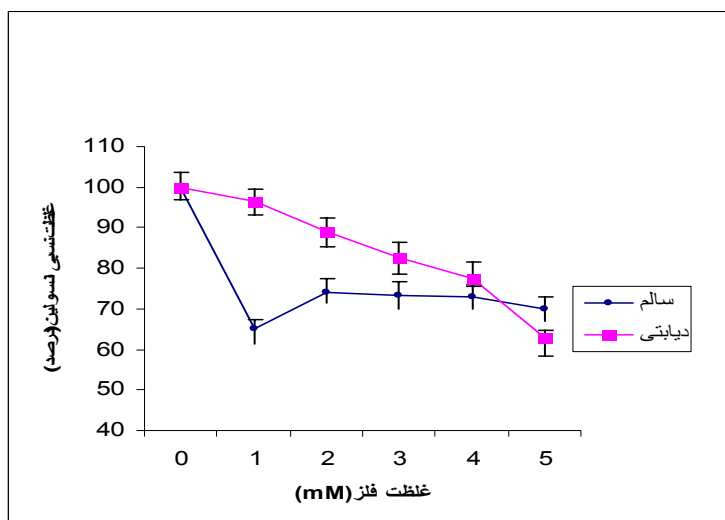
دیابتی کردن موشها با تزریق دوز ۶۰ mg/kg استرپتوزوتوسین به صورت درون صفاقی انجام گرفت [۱۴]. دیابتی شدن موشها با اندازه گیری گلوکز خون ( $200 \text{ mg/dl} <$ )، گلوکوزوری، پلی اوری و پرنوشی تأیید گردید.

اندازه گیری انسولین با کیت INS-IRMA از شرکت Biosource و در مایع رویی محیط انکوباسیون جزایر در لوله های حاوی غلظت های مختلف فلز و در لوله های شاهد انجام گرفت.

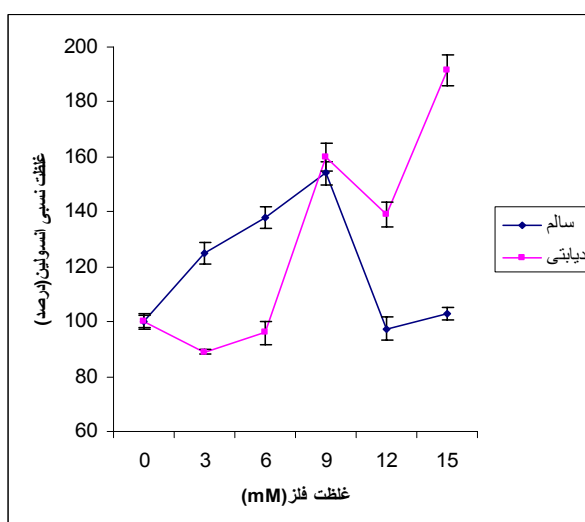
برای سنجش فعالیت آنزیم گلوکوکیناز [۱۶-۱۵] از عصاره تازه جزایر لانگرهانس استفاده شد. جزایر در محیط بافر HEPES همگن شد و محلول همگن در دمای ۴ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه در دور ۱۲۰۰۰ سانتریفوژ گردید و مایع رویی به دقت برداشته شد.

بررسی فعالیت آنزیم با استفاده از واکنش جفت شونده براساس واکنشهای زیر انجام گرفت:





شکل ۱- درصد تغییرات غلظت انسولین برحسب غلظتهای افزایش‌یابنده روی ( $Zn^{2+}$ ) نسبت به گروه شاهد (بدون فلز) در محلول پرفیوژن جزایر لانگرهانس جدا شده از موش صحرایی سالم و دیابتی که به مدت ۳۰ دقیقه با فلز روی انکوبه شده‌اند ( $n=3$  و  $P<0.001$ ).

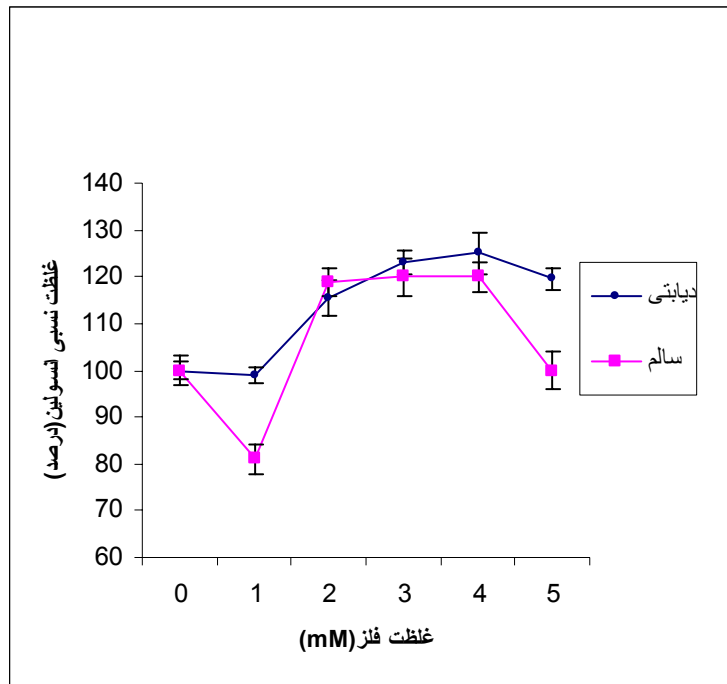


شکل ۲- درصد تغییرات غلظت انسولین برحسب غلظتهای افزایش‌یابنده وانادیم  $VO_3^-$  نسبت به گروه شاهد (بدون فلز)، در محلول پرفیوژن جزایر لانگرهانس جدا شده از موش صحرایی سالم و دیابتی که به مدت ۳۰ دقیقه با فلز وانادیم انکوبه شده‌اند ( $n=4$  و  $P<0.001$ ).

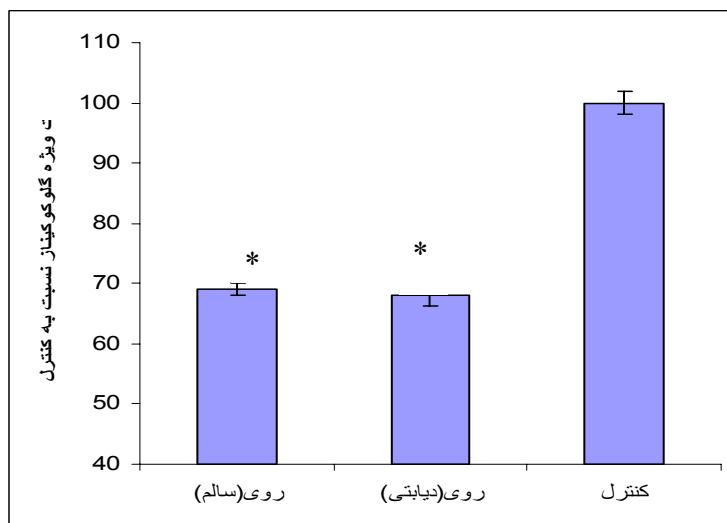
$Zn^{2+}$  فعالیت ویژه آنزیم را تا حدود ۶۹٪ در جزایر سالم و دیابتی کاهش می‌دهد (شکل ۴).  $V^{5+}$  بر فعالیت ویژه آنزیم اثری ندارد (شکل ۵).  $W^{6+}$  فعالیت ویژه آنزیم را تا حدود ۱۲۰٪ در جزایر سالم و دیابتی افزایش می‌دهد (شکل ۶).

$W^{6+}$  سبب افزایش ترشح انسولین می‌شود که بیشینه (ماکزیمم) اثر تحریکی این کاتیون در غلظت ۲-۴ mM است (شکل ۳).

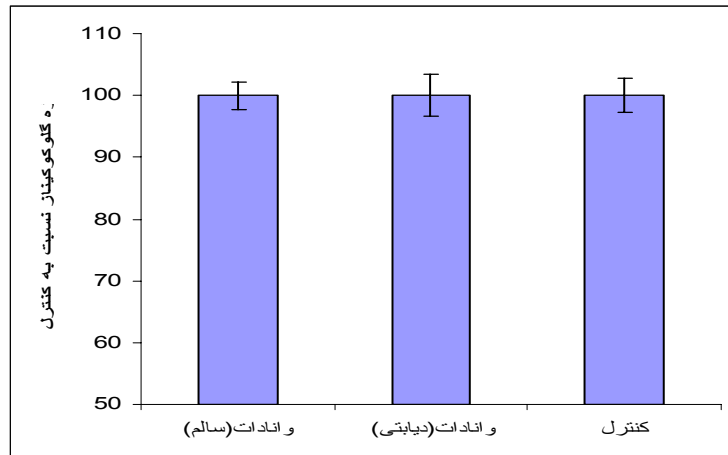
۲- اثر کاتیون‌های فلزی بر میزان فعالیت آنزیم گلوکوکیناز



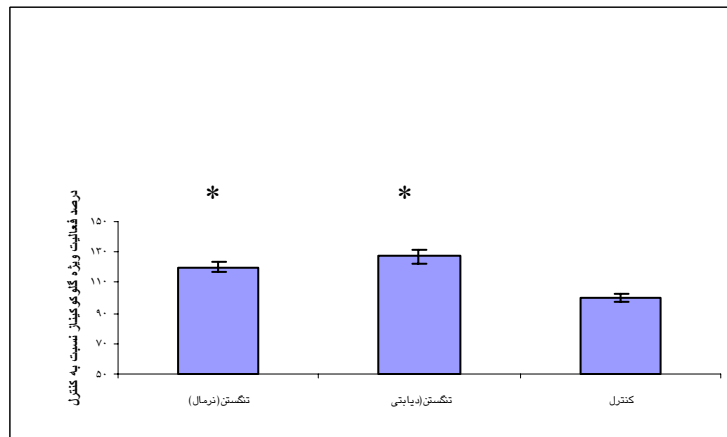
شکل ۳- درصد تغییرات غلظت انسولین برحسب غلظت‌های افزایش یابنده تنگستن ( $WO_4^{2-}$ ) نسبت به گروه شاهد (بدون فلز) در محلول پرفیوژن جزایر لانگرهانس جدا شده از موش صحرایی سالم و دیابتی که به مدت ۳۰ دقیقه با فلز تنگستن انکوبه شده‌اند ( $P < 0.001$  و  $n=4$ ).



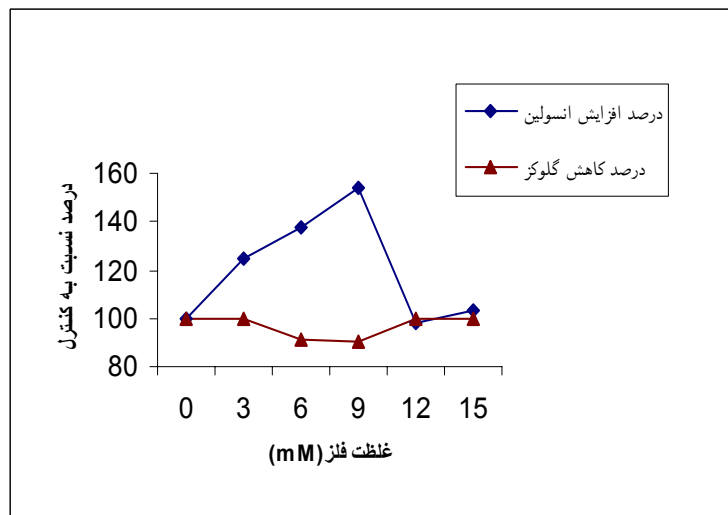
شکل ۴- درصد فعالیت ویژه آنزیم گلوکوکیناز نسبت به گروه شاهد (بدون فلز) در سوپرناتانت همگن جزایر لانگرهانس جدا شده از موش صحرایی سالم و دیابتی که با فلز روی در محیط پرفیوژن استاتیک انکوبه شده‌اند ( $P < 0.001$  و  $n=5$ ).



شکل ۵- درصد فعالیت ویژه آنزیم گلوکوکیناز نسبت به گروه شاهد (بدون فلز) در سوپرناتانت همگن جزایر لانگرهانس جدا شده از موش صحرایی سالم و دیابتی که با فلز وانادیم در محیط پرفیوژن استاتیک انکوبه شده‌اند ( $n=5$  و  $P<0.001$ ).



شکل ۶- درصد فعالیت ویژه آنزیم گلوکوکیناز نسبت به گروه شاهد (بدون فلز) در سوپرناتانت همگن جزایر لانگرهانس جدا شده از موش صحرایی سالم و دیابتی که با فلز تنگستن در محیط پرفیوژن استاتیک انکوبه شده‌اند ( $n=5$  و  $P<0.001$ ).



شکل ۷- درصد افزایش میزان انسولین با کاهش میزان گلوکز در محلول پرفیوژن جزایر لانگرهانس وقتی که در معرض غلظتهای مختلف وانادات و غلظت ثابت کویچه‌های سفید به مدت ۳۰ دقیقه انکوبه شده‌اند.

### ۳- اثر انسولین بر میزان مصرف گلوکز توسط گویچه‌های سفید خون

ترشح انسولین در غلظتهای تحریکی  $V^{+5}$  میزان گلوکز محیط انکوباسیون گویچه‌های سفید با جزایر لانگرهانس را حدود ۹-۱۰٪ کاهش داد (شکل ۷).

### بحث

کاهش ترشح انسولین از سلولهای بتای پانکراس سبب پیدایش بیماری دیابت نوع ۱ می‌شود. افزایش ترشح انسولین نیز باعث هیپوگلیسمی و همچنین تخریب سلولهای بتا می‌گردد؛ بنابراین عواملی که بتوانند از ترشح زیاد یا کم انسولین جلوگیری کنند و باعث تعدیل میزان انسولین و در نتیجه میزان گلوکز خون شوند دارای اهمیت درمانی خواهند بود. از آنجا که سیستم پرفیوژن محیطی مناسب را برای بررسی میزان ترشح انسولین از جزایر لانگرهانس در شرایط *in vitro* فراهم می‌کند، در این پژوهش از سیستم پرفیوژن استاتیک برای شناسایی اثر کاتیون‌های فلزی بر میزان ترشح انسولین استفاده شد [۱۸]. این پژوهش نشان داد که  $Zn^{2+}$  باعث کاهش ترشح انسولین از جزایر سالم و دیابتی می‌شود. مطالعات قبلی مشخص کرده است که این کاتیون ترشح انسولین را از جزایر لانگرهانس تحریک شده با گلوکز، L-لوسین و پتاسیم، با بستن کانالهای کلسیمی و با ممانعت از ورود  $Ca^{2+}$  به درون سلولهای بتا به‌طور برگشت پذیر مهار می‌کند و نیز بیان شده است که  $Zn^{2+}$  کانالهای پتاسیمی حساس به ATP را باز نگه می‌دارد. بنابراین به‌نظر می‌رسد که  $Zn^{2+}$  پتانسیل استراحت غشا و تحریک سلول بتا را تنظیم می‌کند و فعالیت الکتریکی سلولهای بتا را مهار می‌نماید [۱-۳]. در این مطالعه مشخص گردید که  $V^{+5}$  باعث افزایش ترشح انسولین می‌شود. Fegi و همکارانش گزارش کرده‌اند که میزان ترشح انسولین از جزایر لانگرهانس در شرایط *in vitro* و در اثر واناتات زیاد می‌شود و در مقابل Vosse ابراز کرد که ترشح انسولین و سنتز آن در اثر واناتات از جزایر لانگرهانس موش صحرائی سالم کاهش می‌یابد. واناتات و واندیل احتمالاً توسط مکانیسم ردوکس درون سلولی باعث مهار فعالیت Na-K-ATPase در جزایر لانگرهانس می‌شود با این حال اثر مهاری واناتات از

وانادیل بیشتر است و ممکن است از طریق همین اثر مهاری باعث افزایش ترشح انسولین گردد. گزارش شده که واناتات و واندیل آثار ضددیابتی دارند و از ترشح زیاد انسولین جلوگیری می‌کنند زیرا ترشح زیاد انسولین خود موجب تخریب سلولهای بتای پانکراس شده و دیابت ایجاد می‌نماید. این عنصر انسولین را در سطح طبیعی در خون نگه می‌دارد و خود به عنوان مقلد انسولین عمل می‌کند [۴-۷]. واناتات باعث مهار کانالهای پتاسیمی حساس به ATP از نوع Kir 6.2 /SUR1 (موجود در سلول بتا) تا حدود ۵۰٪ می‌شود اما باعث فعال شدن کانالهای پتاسیمی حساس به ATP از نوع Kir 6.2/SUR2A (موجود در عضله قلبی و اسکلتی) تا حدود ۴ برابر و نوع Kir 6.2/SUR2B (موجود در عضله صاف) تا حدود ۲ برابر می‌شود. محل اثر واناتات گیرنده سولفونیل اوره (SUR) است که عامل تفاوت در نوع کانال‌های پتاسیمی است، به همین علت واناتات بر سلولهای مختلف آثار متفاوتی دارد [۱۹] و نیز بیان شده است که احتمالاً واناتات با اثر بر کانالهای کلسیمی باعث افزایش ترشح انسولین می‌شود [۲۰]. پروتئین تیروزین کیناز و فسفوتیروزین فسفاتاز نقش مهمی در تنظیم کارکرد سلولهای بتا دارند. واناتات باعث افزایش اجزای فسفوتیروزین در بعضی از فسفوتیروزیل پروتئین‌ها از جمله فسفولیپاز C و فسفاتیدیل اینوزیتول ۳-کیناز در سلولهای بتا می‌شود و نیز باعث تولید  $IP_3^1$  از  $IP_2^2$  می‌شود که  $IP_3$  و  $DAG^3$  نقشی در ترشح انسولین از سلولهای بتا دارند. بنابراین واناتات باعث افزایش متابولیسم اینوزیتول و افزایش میزان فسفاتیدیل اینوزیتول فسفات در سلولهای بتای پانکراس می‌شود [۲۱].

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که  $W^{6+}$  باعث ترشح انسولین و افزایش فعالیت آنزیم گلوکوکیناز در جزایر لانگرهانس سالم و دیابتی می‌شود و بنابراین کاتیون با ورود در درون سلولهای بتا باعث افزایش فعالیت آنزیم گلوکوکیناز می‌شود و بنابراین میزان ATP در مسیر گلیکولیز افزایش می‌یابد که در نهایت باعث افزایش ترشح

<sup>1</sup> Inositol triphosphate

<sup>2</sup> Inositol diphosphate

<sup>3</sup> Diacyl glycerol

جهت با اثر مهارکنندگی آن بر آنزیم گلوکوکیناز بود. اثر وانادات در افزایش فعالیت ترشحي سلولهای بتا را می‌توان به مکانیسم جداگانه‌ای در فرایند ترشح انسولین (بجز اثر بر فعالیت آنزیم گلوکوکیناز) مربوط دانست.

### سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاریهای اعضا و کارکنان گروه بیوشیمی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران و همچنین آزمایشگاه مواد حیاتی مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک دانشگاه تهران، گروه انگل‌شناسی دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات غدد و متابولیسم دانشگاه علوم پزشکی تهران و گروه‌های بافت‌شناسی و میکروبی‌شناسی و سازمان انتقال خون تهران تشکر و قدردانی می‌شود.

انسولین می‌گردد. به این ترتیب به نظر می‌رسد که تنگستن مانند وانادات عملکردی شبه انسولینی دارد. Barbera و همکارانش گزارش کردند که درمان خوراکی با تنگستن توانایی سلولهای بتا را در پاسخ به گلوکز حفظ می‌کند و سبب افزایش میزان انسولین و توده سلولهای بتا می‌شود و بروز ژن انسولین را نیز افزایش می‌دهد [۸، ۹]. تنگستن باعث رشد و تکثیر سلولهای بتای پانکراس می‌شود و نیز مهارکننده پروتئین فسفوتیروزین فسفاتاز است [۲۱، ۲۲]. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که اثر همسوی فلز تنگستن در افزایش ترشح انسولین که با افزایش فعالیت آنزیم کلیدی گلوکوکیناز همراه بود، می‌تواند مربوط به اهمیت آنزیم کلیدی گلوکوکیناز در ترشح انسولین باشد. این همبستگی در مورد فلز روی نیز دیده شد زیرا اثر مهاری روی بر ترشح انسولین نیز هم

### مآخذ

1. Bloc A, Cens T, Cruz H, Dunant Y: Zinc induced change in ionic current of colonal rat pancreatic b – cell activation of ATP – sensitive  $K^+$  chanel. *Journal of Physiology* 2000; 529: 733–4.
2. Ferrer R, Soria B, Dawson CM, Effect of  $Zn^{2+}$  on glucose – induced electrical activity and insulin release from mouse pancreatic islets. *American Journal of Physiology* 1984; 246: 520–7.
3. Ghafghazi. T/ Mc Daniel ML, and Lacy PE, Zinc induced inhibition of insulin secretion from isolated rat islets of Langerhans. *Diabetes* 1981; 30: 341–5.
4. Fagin JA, Ikejiri K, Seymour R. Insulinotropic effect of vanadate. *Diabetes* 1987; 36: 1448–52.
5. Cros GH, cam MC, Serrano JJ, Ribes CT, Mc Neil JH, Long term antidiabetic activity of vanadyl after treatment withdrawal: restoration of insulin secretion. *Molecular and Cellular Biochemistry* 1995; 153: 191–5.
6. Spriestma JE, Shuete Maker GE. Diabetes can be prevented by reducing insulin production. *Medical Hypothesis* 1993; 42: 15–23.
7. Poucheret P, Gross R, cadene A, Manteguetti M, Long term correction of STZ – diabetic rats after short – term I. P. VOSO<sub>4</sub> treatment: persistence of insulin secretion capacities assessed by isolateol pamereas studies. *Molecular and Cellular Biochemistry* 1995, 153: 197 – 204.
8. Barbera A, Rodriguez JE., Guinovart JJ, Insupin like action of Tungstate in diabetic rats, normal izatiow of hepatic glucose metabolism. *Journal of Biological Chemistry* 1994; 209: 20047–53.
9. Barbera A, Fernandez j, Alvarez A, Trac R. Effect of Tungstate in neonatally slreptozotocin induced diabetic rats: mechanisms leading to normalizalion of glycemia. *Diabetologia* 1997; 40: 143–9.
10. Wolheim CB, Mlheim CB, Meda P, Halban PA. Isolation of pancreatic islets and primary culture of the intact islets of langerhans. *Methods in Enzymology* 1990; 192: 188–270.
11. Lacy PE, Kastiamovsky M, Methods for isolation of intact islets of Langerhans from the rat pancreas. *Diabetes* 1967; 16: 35–9.
12. Me Daniel ML, Colca JR, kotagal N. Lacy PE A subcellular fractionation approach for studying insulin release mechanism and calcium metabolism in islets of langerhans. *Methods in Enzymology* 1983; 98: 182–200.
13. Studis J, Pugh WL, Tang J, Ostrega DM, et al. Alteration in pulsatile insulin secretion in zucker diabetic fatly rat. *American Journal of Physiology* 1994; 247: E250–E259.
14. Derak WR, Grag P, Morris J, Isolation of rat paneneatic islets by cluctal injection of collagenase. *Transplanlation* 1984; 42: 689–91.
15. Piklis SJ. Glucokinasc of rat liver. *Methods in Enzymology* 1975, 42: 31–9.



16. Porter VE, chassy BM, Glucokinase from streptococcus mutans. *Methods in Enzymology* 1982; 90: 25–72.
17. Boadford MM, Arapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein wtilizing the principles of proteniclye binding. *Analytical Biochemistry* 1976: 72: 248–54.
18. Cernus, VJ. Hammer D, Peschke E. Dynamic insulin secretion from perfused vat pancreatic islets. *Cellular and Molecular Life Science* 1998; 54: 732-43.
19. Proks. P, Ashfield R, Ashcroft FM. Interoction of vanadote with the cloned bet cell K ATP. Channel. *Journal of Biological Chemistry* 1999; 274: 25347-93.
20. Conconi MT, vigolo CE, Grandi C, et al. Effect of some vanady 1 coor clication compounds on the in vitro insulin release from rat pancreatic islets. *Hormones and Metabolism Research* 2003; 35: 402–6.
21. Jonas JC, Henguin JC. Possible involvement of tyrosin–kinase–dependent pathway in the regulation of phosphoinositide metabolism by vanadate in normal mouse islets. 1996, 315: 49–55.
22. Fierabracci V. De tata V, pocai Novell M. et al. Oral tungstate treatment impraes only Iranseemty alteration of glucose metabolism in a new rat model of type 2 diabetes. *Endocrine* 19, 177– 184.