



Evaluation of the Effect of Empagliflozin Therapy on T Helper 22 Cell-Related Factors in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus

Hamid Moghimi¹ , Shiva Borzouei², Alireza Zamani³, Mahdi Behzad^{4,*} 

¹ MSc in Immunology, Department of Immunology, School of Medicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

² Associate Professor, Department of Internal Medicine, School of Medicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

³ Professor, Department of Immunology, School of Medicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Immunology, School of Medicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

* **Corresponding Author:** Mahdi Behzad, Department of Immunology, School of Medicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. Email: m.behzad@umsha.ac.ir

Abstract

Received: 02.11.2020

Accepted: 28.01.2021

How to Cite this Article:

Moghimi H, Borzouei S, Zamani A, Behzad M. Evaluation of the Effect of Empagliflozin Therapy on T Helper 22 Cell-Related Factors in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Avicenna J Clin Med.* 2021; 27(4): 193-200. DOI: 10.29252/ajcm.27.4.193

Background and Objective: The increased response of T helper (Th) 22 cells might be involved in the pathogenesis of Type 2 Diabetes Mellitus (T2DM). The present study aimed to investigate the transcription factor of Th22 cells (aryl hydrocarbon receptor [AHR]) and interleukin 22 (IL-22) in CD4⁺ T cells as well as the impact of oral empagliflozin treatment. The correlation between the aforementioned factors and clinical parameters was also determined among the patients.

Materials and Methods: In this case-control study, 50 patients under the treatment of metformin and gliclazide were divided into two equal groups, including the patients receiving empagliflozin (EMPA⁺) and not receiving empagliflozin (EMPA, as the control group). The peripheral blood CD4⁺ T cells were isolated on the initiation day of the study and after 6 months of therapy, and the gene expression levels of AHR and IL-22 were evaluated by real-time polymerase chain reaction. In addition, the production of IL-22 after activation was measured using enzyme-linked immunosorbent assay.

Results: The levels of fasting plasma glucose and hemoglobin A1c diminished in the EMPA⁺ group after empagliflozin therapy, compared to those reported at the baseline (initiation day; P<0.001 and P=0.04). The gene expression level of IL-22 and production of IL-22 significantly reduced after 6 months of empagliflozin therapy (P=0.011 and P=0.001). A significant positive correlation between IL-22 production and its gene expression with AHR as well as between fasting plasma glucose and hemoglobin A1c was observed in the EMPA⁺ patients after therapy (P<0.05).

Conclusion: In addition to antidiabetic effects, empagliflozin has anti-inflammatory impacts on the immune system, especially on Th22 cell-related factors.

Keywords: Diabetes Mellitus Type 2, Empagliflozin, Interleukin 22, T Helper 22 Cell

بررسی اثر درمان با امپاگلیفلوزین بر فاکتورهای مرتبط با سلول‌های T کمکی ۲۲ در بیماران مبتلا به دیابت شیرین نوع ۲

حمید مقیمی^۱، شیوا برزویی^۲، علیرضا زمانی^۳، مهدی بهزاد^{۴*}

^۱ کارشناس ارشد، گروه ایمنولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

^۲ دانشیار، گروه داخلی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

^۳ استاد، گروه ایمنولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

^۴ دانشیار، گروه ایمنولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

* نویسنده مسئول: مهدی بهزاد، گروه ایمنولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

ایمیل: m.behzad@umsha.ac.ir

چکیده

سابقه و هدف: ازدیاد پاسخ سلول‌های T کمکی ۲۲ (T helper 22, Th22) در پاتوژن دیابت ملیتوس نوع ۲ (T2DM) دخیل است. در این مطالعه، فاکتور رونویسی سلول‌های Th22 (AHR) و اینترلوکین ۲۲ (IL-22) در سلول‌های T⁺CD4 و نیز تأثیر مصرف خوراکی امپاگلیفلوزین بررسی شد. همچنین همبستگی بین فاکتورهای یادشده و پارامترهای بالینی در بیماران تعیین شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مورد-شاهدی ۵۰ بیمار تحت درمان با متفورمین و گلیکلازید به دو گروه مساوی دریافت‌کننده امپاگلیفلوزین (EMPA⁺) و غیر دریافت‌کننده امپاگلیفلوزین (EMPA⁻) (گروه شاهد) تقسیم شدند. سلول‌های T⁺CD4 خون محیطی در روز شروع و ۶ ماه بعد از درمان از بیماران جداسازی و میزان بیان ژنی AHR و IL-22 با استفاده از Real-time PCR و میزان ترشح IL-22 بعد از تحریک با استفاده از تکنیک ایزا سنجیده شد.

یافته‌ها: میزان گلوکز پلاسمای ناشتا و هموگلوبین A1c در گروه EMPA⁺ پس از دوره درمان با امپاگلیفلوزین در مقایسه با روز شروع کاهش داشت ($P < 0.001$ و $P = 0.04$). کاهش میزان بیان ژنی IL-22 و ترشح IL-22 پس از ۶ ماه از آغاز درمان با امپاگلیفلوزین دیده شد ($P = 0.001$ و $P = 0.011$). همبستگی مثبت معنی‌داری میان ترشح IL-22 و بیان ژنی آن با AHR و گلوکز پلاسمای ناشتا و هموگلوبین A1c در بیماران EMPA⁺ بعد از درمان مشاهده شد ($P < 0.05$).

نتیجه‌گیری: امپاگلیفلوزین علاوه بر خواص ضددیابتی، اثرات ضدالتهابی روی سیستم ایمنی بدن به‌خصوص فاکتورهای مربوط به سلول‌های Th22 دارد.

واژگان کلیدی: امپاگلیفلوزین، اینترلوکین ۲۲، دیابت شیرین نوع ۲، سلول T کمکی ۲۲

مقدمه

دیابت شیرین نوع ۲ (Type 2 diabetes mellitus, T2DM) با مقادیر زیاد گلوکز در گردش خون و مقاومت به انسولین در بیماران مشخص می‌شود و با التهاب مزمن سیستم ایمنی بدن در ارتباط است [۱، ۲]. لنفوسیت‌های T کمکی (T helper cells, Th) با مارکر CD4⁺ شناسایی می‌شوند و بخش عمده‌ای از سیستم ایمنی اکتسابی را تشکیل می‌دهند. این سلول‌ها با ترشح سایتوکاین‌های مختلف نقش مؤثری در ایجاد و پیشبرد التهاب در بیماران دارند [۱]. سلول‌های Th بسته به

خصوصیات و عملکرد منحصر به فرد آن‌ها به زیرگروه‌های پیش‌التهابی (مانند Th1، Th17، و Th22) و ضدالتهابی (مانند سلول‌های T تنظیم‌کننده) تقسیم می‌شوند [۳، ۱]. در سیستم ایمنی بدن لنفوسیت‌های Th22 با بیان فاکتور رونویسی آریل هیدروکربن (Arl Hydrocarbon Receptor, AHR) و ترشح اینترلوکین ۲۲ (Interleukin 22, IL-22) مشخص می‌شوند [۴]. این سلول‌ها نقش فعالی در پاتوژن بیماری‌های خودایمنی و التهابی همانند لوپوس اریتماتوز، آرتریت

دیابت شیرین نوع ۲ (Type 2 diabetes mellitus, T2DM) با مقادیر زیاد گلوکز در گردش خون و مقاومت به انسولین در بیماران مشخص می‌شود و با التهاب مزمن سیستم ایمنی بدن در ارتباط است [۱، ۲]. لنفوسیت‌های T کمکی (T helper cells, Th) با مارکر CD4⁺ شناسایی می‌شوند و بخش عمده‌ای از سیستم ایمنی اکتسابی را تشکیل می‌دهند. این سلول‌ها با ترشح سایتوکاین‌های مختلف نقش مؤثری در ایجاد و پیشبرد التهاب در بیماران دارند [۱]. سلول‌های Th بسته به

بررسی شد. تعیین همبستگی بین فاکتورهای بیان شده و پارامترهای بالینی از اهداف دیگر مطالعه حاضر است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه مورد-شاهدی ۵۰ بیمار مبتلابه T2DM به‌طور تصادفی از بخش داخلی بیمارستان شهید بهشتی همدان انتخاب و به دو گروه تقسیم شدند. گروه اول ۲۵ بیمار (۷ زن و ۱۸ مرد) T2DM با میانگین سنی $51/36 \pm 7/64$ سال و طول دوره بیماری $3/23 \pm 6/25$ بودند که در طول مطالعه داروی امپاگلیفلوزین دریافت نکردند (EMPA⁻). گروه دوم شامل ۲۵ بیمار (۹ زن و ۱۶ مرد) T2DM با میانگین سنی $54/68 \pm 5/94$ سال و طول دوره بیماری $3/01 \pm 6/56$ بودند که از ابتدای مطالعه به مدت ۶ ماه داروی امپاگلیفلوزین با دُز درمانی ۱۰ میلی‌گرم در روز دریافت کردند.

دو گروه مطالعه‌شده از لحاظ میانگین سنی، جنسیت و طول مدت بیماری تا حد ممکن همسان‌سازی شدند و تفاوت معناداری بین آن‌ها مشاهده نشد. تمامی افراد دو گروه به‌صورت یکسان ۶ ماه قبل از شروع مطالعه داروهای ضددیابتی متفورمین (۵۰۰ میلی‌گرم در روز) و گلیکلازید (۸۰ میلی‌گرم در روز) دریافت می‌کردند و در طول مطالعه نیز درمان پایه خود با متفورمین و گلیکلازید را ادامه دادند. تشخیص بیماری توسط پزشک متخصص و بر اساس معیارهای انجمن دیابت آمریکا سال ۲۰۱۹ انجام شد.

معیارهای ورود بیماران به مطالعه شامل این موارد بود: (۱) گلوکز پلاسمای ناشتا (Fasting Plasma glucose, FPG) بیشتر از ۱۲۵ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر؛ (۲) هموگلوبین A1c (HbA1c) بیشتر از ۶/۵ درصد؛ (۳) آلبومینوری کمتر از ۳۰ میلی‌گرم بر دسی‌لیتر؛ (۴) میزان فیلتراسیون گلومرولی (GFR) بیشتر از ۶۰ میلی‌لیتر بر دقیقه (۱/۷۳ مترمربع)؛ (۵) محدوده سنی ۱۸ تا ۶۰ سال. معیارهای خروج بیماران از مطالعه شامل این موارد بود: (۱) بیماران مبتلابه بیماری‌های دیگر مانند دیابت نوع ۱، آلرژی، نارسایی کبدی، اختلالات خودایمن و نئوپلازی‌ها؛ (۲) بیماران با علائم نفروپاتی، نوروپاتی، رتینوپاتی و عوارض قلبی-عروقی، عفونت حاد یا مزمن؛ (۳) HbA1c بیشتر از ۹ درصد؛ (۴) مصرف داروهایی مانند انسولین، مهارکننده‌های دیپتیدیل پپتیداز-IV، استروئیدها، داروهای سرکوب‌کننده سیستم ایمنی و آنتی‌بیوتیک‌ها (حداقل ۶ ماه قبل از شروع مطالعه).

نمونه‌گیری و جداسازی سلول‌های ایمنی

از بیماران هر دو گروه در روز شروع و ۶ ماه بعد، ۱۰ میلی‌لیتر خون وریدی از بازو گرفته شد و نمونه‌های خون در لوله‌های استریل حاوی EDTA ریخته شد. سلول‌های تک‌هسته‌ای خون محیطی (Peripheral blood mononuclear cell, PBMCs) با استفاده از روش فایکول (Sigma, Germany) جدا شدند.

روماتوئیت و دیابت ملیتوس نوع ۱ و ۲ ایفا می‌کنند؛ به‌طور مثال، برخی از مطالعات پیشین نشان داده است درصد و غلظت گردشی سلول‌های Th22 و IL-22 در بیماران مبتلابه لوپوس، آرتريت روماتوئیت و دیابت نوع ۱ نسبت به افراد سالم افزایش معنی‌داری داشته است و به‌عنوان فاکتور فعال در پاتوژنز بیماری‌های ذکرشده ایفا نقش می‌کنند [۵-۷]. مطالعات انجام شده روی افراد مبتلابه T2DM نشان داده است در پاتوژنز بیماری، سلول‌های Th22 رابطه مستقیمی با میزان مقاومت به انسولین دارند [۸]. از طرف دیگر، فراوانی سلول‌های Th22 (CD4⁺IL-22⁺) در خون محیطی و سطح سرمی IL-22 در بیماران T2DM نسبت به گروه کنترل افزایش داشته است [۹، ۸]. همچنین درصد سلول‌های CD4⁺IL-22⁺ در بافت چربی افراد چاق و دیابتی نسبت به افراد سالم بیشتر است [۱۰].

تجویز داروهای روتین ضددیابتی مانند متفورمین و گلیکلازید به‌عنوان خط اول درمانی در بیماری T2DM مطرح است که با سرکوب گلوکونئوژنز و افزایش جذب گلوکز سبب بهبود بیماری می‌شود [۱۲، ۱۱]. گروه دیگری از داروهای ضددیابتی مهارکننده‌های پمپ هم‌انتقالی سدیم و گلوکز نوع دو (Sodium glucose cotransporter-2, SGLT2) هستند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به امپاگلیفلوزین اشاره کرد که اخیراً در درمان بیماران T2DM استفاده می‌شود. این دارو با مهار پمپ SGLT2 در قسمت پروگزیمال نفرون‌ها، مانع بازجذب گلوکز دفعی به خون و در مسیری مستقل از انسولین، باعث کاهش قند خون می‌شود [۱۳]. برخی از مطالعات اخیر نشان داده است مصرف امپاگلیفلوزین اثر ضدالتهابی نیز دارد؛ مثلاً مصرف این دارو باعث کاهش میزان سطح سرمی برخی از فاکتورهای التهابی مانند C-reactive protein (CRP)، Tumor necrosis factor- α (TNF- α) و IL-6 در مدل موش دیابتی شده است [۱۴]. همچنین تجویز امپاگلیفلوزین سبب کاهش سطح سرمی CRP و افزایش غلظت سرمی سایتوکاين ضدالتهابی IL-10 در بیماران دیابتی می‌شود [۱۵].

با در نظر گرفتن مطالب عنوان‌شده، تغییرات سلول‌های Th22 نقشی کلیدی در پاتوژنز بیماری T2DM ایفا می‌کند. طبق دانش نویسندگان و بر اساس جست‌وجوهای به‌عمل‌آمده در پایگاه‌های اطلاعاتی و استنادی، مطالعه‌ای در رابطه با تغییرات فاکتور رونویسی Th22 و سایتوکاين IL-22 ترشح‌شده از سلول‌های T CD4⁺ جداشده از بیماران T2DM در دسترس نیست. از طرف دیگر، اثرات احتمالی مصرف امپاگلیفلوزین روی سلول‌های Th22 و فاکتورهای مرتبط در بیماران ناشناخته است. به همین منظور مطالعه حاضر با هدف تعیین میزان بیان ژنی فاکتور رونویسی سلول‌های Th22 (AHR) و IL-22 و نیز میزان ترشح IL-22 از سلول‌های T CD4⁺ در بیماران مبتلابه T2DM انجام گرفت و تأثیر تجویز ۱۰ میلی‌گرم در روز امپاگلیفلوزین خوراکی بر فاکتورهای مربوط به Th22 در بیماران در مقایسه با گروه شاهد

جدول ۱: پرایمرهای استفاده‌شده

نام ژن	شماره ژن	پرایمر پیشرو 5' to 3'	پرایمر معکوس 5' to 3'	منبع
IL-22	NM_020525.5	GCTTGACAAGTCCAACCTCCA	GCTCACTCATACTGACTCCGTG	[۱۷]
AHR	NM_001621.5	ATACCGAAGACCGAGCTGAAT	CCAGCAGACACCTTAGACGAC	[۱۸]
GAPDH	NM_001289746.1	GCCATCAATGACCCCTTCATT	TTGACGGTGCCATGGAATTT	[۱۹]

ژن‌ها استفاده شد [۱۶]. پرایمرهای استفاده‌شده در جدول ۱ آورده شده است.

کشت سلولی

سلول‌های CD4⁺ T خالص‌شده داخل پلیت‌های ۹۶ خانه‌ای anti-CD3 (Jet Biofil, China) قرار داده و با استفاده از محرک anti-CD28 (Biolegend, USA) با غلظت ۲ میکروگرم در میلی‌لیتر و ۱ میکروگرم در میلی‌لیتر به مدت ۴ روز در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و CO₂ ۵ درصد تحریک شدند. سپس مایع رویی (Supernatant) کشت سلولی جمع‌آوری و تا زمان اندازه‌گیری میزان IL-22 در دمای ۸۰- درجه نگهداری شد.

بررسی سائتوکاین

میزان IL-22 در مایع رویی کشت سلولی با استفاده از تکنیک الایزا طبق دستورالعمل شرکت سازنده (Biolegend, USA) سنجیده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و ترسیم نمودارها به ترتیب از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۱) و GraphPad Prism استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویک بررسی شد. تحلیل داده‌ها با استفاده از آزمون‌های پارامتریک (آزمون تی مستقل برای مقایسه بین گروهی و آزمون تی جفت برای مقایسه درون گروهی) صورت گرفت. از آزمون همبستگی پیرسون برای مقایسه ارتباط بین متغیرها استفاده شد. سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

بررسی تأثیر مصرف امپاگلیفلوزین بر پارامترهای دیابت

اطلاعات بالینی هر دو گروه بیماران غیر دریافت‌کننده EMPA⁻ و دریافت‌کننده امپاگلیفلوزین (EMPA⁺) در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج به‌دست‌آمده کاهش قابل توجهی را در میزان FPG و درصد HbA1c در گروه EMPA⁺ پس از ۶ ماه درمان با امپاگلیفلوزین در مقایسه با روز شروع نشان داد (به ترتیب P < ۰/۰۰۱ و P = ۰/۰۴). در مقایسه بین گروهی، میزان FPG و درصد HbA1c در گروه غیر دریافت‌کننده امپاگلیفلوزین در مقایسه با گروه دریافت‌کننده آن، بعد از ۶ ماه کاهش معنی‌داری را نشان داد (به ترتیب P = ۰/۰۰۴ و P = ۰/۰۰۱). در سایر پارامترهای بالینی از جمله شاخص توده بدنی، آلبومینوری، GFR و کراتینین در بیماران تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

برای جداسازی PBMC، خون کامل به نسبت ۱:۱ با بافر PBS (Phosphate Buffered Saline) استریل رقیق شد. سپس به آرامی روی فایکول استریل منتقل و به مدت ۳۰ دقیقه با ۲۲۰۰ دور در دقیقه در دمای اتاق سانتریفیوژ شد. PBMCها پس از جداسازی شسته و در محیط کشت سلولی حاوی RPMI ۱۶۴۰، L-گلوتامین (۲ میلی‌مولار) پنی‌سیلین (هزار واحد در میلی‌لیتر) استرپتومایسین (۱۰۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر) و سرم جنین گاوی ۱۰ درصد نگهداری شدند. تمام مواد استفاده‌شده در محیط کشت سلولی از شرکت Biosera کشور فرانسه تهیه شدند.

برای جداسازی سلول‌های CD4⁺ T از روش انتخاب مثبت تکنیک جداسازی سلول بیدهای مغناطیسی فعال‌شده (Magnetic activated cell sorting, MACS) طبق پروتکل کیت شرکت (Miltenyi, Germany) سازنده استفاده شد. در این روش PBMCها به مدت ۳۰ دقیقه با میکروبیدهای ضد CD4⁺ انکوبه و در مجاورت میدان مغناطیسی از ستون‌های MACS عبور داده شدند. سلول‌های CD4⁺ ایزوله‌شده برای استفاده در محیط کشت سلولی نگهداری شدند.

بررسی بیان ژن

RNA تام از نمونه سلول‌های CD4⁺ تمامی بیماران در دو نوبت، روز شروع مطالعه و ۶ ماه بعد بر اساس دستورالعمل کیت شرکت سازنده (Qiagen, USA) استخراج و غلظت آن با دستگاه نانودراپ (Thermo scientific, USA) اندازه‌گیری شد. برای بررسی کیفیت RNA استخراج‌شده و نیز به‌منظور بررسی میزان آلودگی RNA با پروتئین و DNA نسبت OD ۲۶۰/۲۸۰ بررسی و نمونه‌هایی وارد مطالعه شدند که در محدوده نرمال و بیشتر از ۱/۸ بودند. سپس سنتز cDNA طبق دستورالعمل کیت سازنده (SMOBIO, Taiwan) صورت گرفت.

ارزیابی بیان ژن‌های IL-22 و AHR با استفاده از تکنیک واکنش زنجیره‌ای پلیمرز (Real-time PCR) حاوی سایبرگرین انجام شد و طبق پروتکل دمایی زیر صورت گرفت: مرحله فعال‌سازی آنزیم (۱۵ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد)، مرحله واسرشت (دناتوراسیون) (۱۵ ثانیه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد)، مرحله اتصال پرایمر (۳۰ ثانیه در دمای ۶۱ درجه سانتی‌گراد) و فاز تکثیر (۳۰ ثانیه در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد). از ژن GAPDH به‌عنوان ژن مرجع و فرمول $2^{-\Delta Cq} = Cq$ (target gene – Cq reference gene) برای تعیین بیان نسبی

جدول ۲: مشخصات پایه گروه‌های مطالعه‌شده

بیماران دریافت‌کننده امپاگلیفلوزین EMPA (+)		بیماران غیر دریافت‌کننده امپاگلیفلوزین EMPA (-)		
روز شروع	۶ ماه بعد	روز شروع	۶ ماه بعد	
۱۶۸/۷۶ ± ۳۹/۷۲	۱۲۷/۵۶ ± ۲۱/۵۴ ^{a, b}	۱۵۲/۸۸ ± ۳۳/۶۱	۱۶۳/۴۴ ± ۳۹/۲۳	گلوکز پلازما ناشتا (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)
۷/۷۹ ± ۰/۷۹	۶/۸۱ ± ۰/۶۹ ^{c, d}	۷/۲۴ ± ۰/۸۱	۷/۵۱ ± ۰/۸۸	HbA1c (درصد)
۷۵/۹۲ ± ۱۶/۷۳	۷۴/۳۵ ± ۱۱/۷۱	۷۹/۰۹ ± ۱۲/۳۰	۷۸/۰۹ ± ۱۴/۷۵	GFR (میلی‌لیتر در دقیقه / ۱/۷۳ مترمربع)
۱۶/۸۱ ± ۸/۸۲	۱۸/۰۷ ± ۸/۳۸	۱۴/۳۳ ± ۶/۰۷	۱۶/۲۲ ± ۷/۵۷	آلبومینوری (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)
۰/۹۴ ± ۰/۲۳	۰/۹۶ ± ۰/۱۸	۰/۸۸ ± ۰/۱۸	۰/۹۰ ± ۰/۱۷	کراتینین سرم (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر)
۲۷/۸۱ ± ۴/۰۴	۲۷/۳۱ ± ۳/۹۱	۲۷/۹۷ ± ۳/۸۷	۲۷/۲۰ ± ۳/۴۴	شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع)

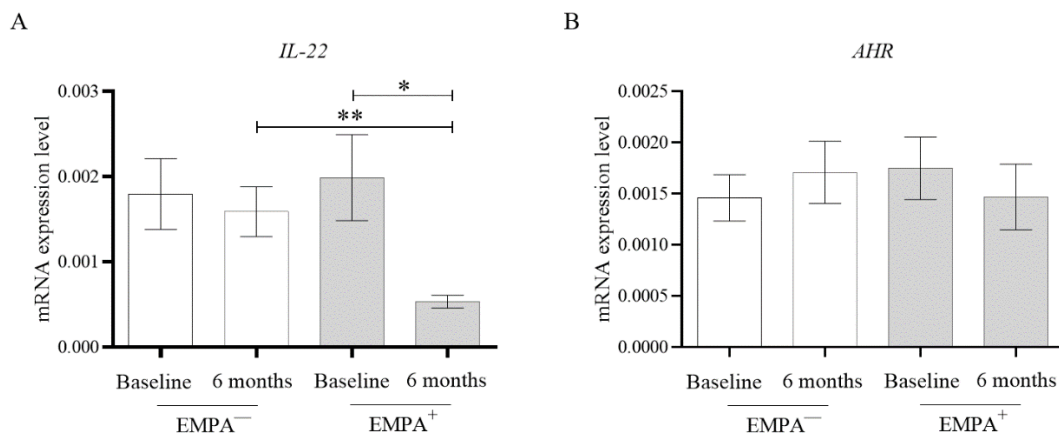
مقادیر بر حسب میانگین ± انحراف معیار بیان شده‌اند. ^a در مقایسه با روز شروع بیماران دریافت‌کننده امپاگلیفلوزین ($P < 0.001$). ^b در مقایسه با ۶ ماه بعد بیماران غیر دریافت‌کننده امپاگلیفلوزین ($P = 0.004$). ^c در مقایسه با روز شروع بیماران دریافت‌کننده امپاگلیفلوزین ($P = 0.04$). ^d در مقایسه با ۶ ماه بعد بیماران غیر دریافت‌کننده امپاگلیفلوزین ($P = 0.001$).

بررسی تأثیر مصرف امپاگلیفلوزین بر میزان ترشح IL-22

به منظور بررسی تأثیر امپاگلیفلوزین بر میزان ترشح IL-22، سلول‌های CD4⁺ T ایزوله شده از بیماران در محیط کشت سلولی تحریک و سطح IL-22 با تکنیک الیزا اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد میزان ترشح IL-22 در بیماران EMPA⁺ پس از ۶ ماه درمان با امپاگلیفلوزین در مقایسه با روز شروع کاهش یافته است ($P = 0.001$)؛ اما چنین تغییری در بیماران EMPA⁻ مشاهده نشد. تحلیل بین‌گروهی نیز نشان داد میزان ترشح IL-22 در بیماران EMPA⁺ کمتر از بیماران EMPA⁻ بعد از ۶ ماه درمان است ($P = 0.004$). این در حالی است که تفاوت معنی‌داری در مقایسه بین دو گروه EMPA⁺ و EMPA⁻ در حالت پایه (روز شروع) وجود نداشت (شکل ۲).

بررسی تأثیر مصرف امپاگلیفلوزین بر بیان ژن‌های IL-22 و AHR

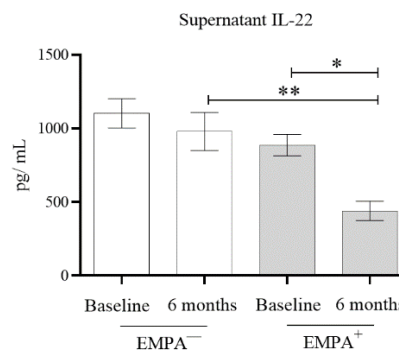
برای بررسی تأثیر امپاگلیفلوزین بر بیان ژنی فاکتور رونویسی و سایتوکاین اصلی Th22، میزان بیان ژن IL-22 و AHR بررسی شد. یافته‌ها حاکی از آن است که میزان بیان ژنی IL-22 در گروه EMPA⁺ پس از ۶ ماه از آغاز درمان (Baseline) کاهش معنی‌داری داشت ($P = 0.011$)، شکل (A1). افزون بر این، در مقایسه بین گروهی، میزان بیان ژنی IL-22 در گروه بیماران EMPA⁻ در مقایسه با گروه EMPA⁺ بعد از ۶ ماه درمان کاهش قابل توجهی مشاهده شد ($P = 0.003$)، شکل (A1). در طول دوره مطالعه هیچ تغییر معنی‌داری در بیان ژن AHR در هر دو گروه EMPA⁻ و EMPA⁺ یافت نشد (شکل B1).



شکل ۱: تأثیر مصرف امپاگلیفلوزین بر بیان ژن‌های IL-22 و AHR

بررسی همبستگی بین IL-22 با AHR و پارامترهای دیابت

همان طور که در جدول ۳ آمده، نتایج حاکی از آن است که در بیماران EMPA⁺ بعد از ۶ ماه درمان، بین میزان ترشح IL-22 با بیان ژن های IL-22 و AHR و پارامترهای FPG و HbA1c همبستگی مثبت معنی داری وجود دارد (به ترتیب $P < 0/001$ ، $P < 0/001$ ، $P < 0/001$ ، $P = 0/002$). علاوه بر این، همبستگی مثبت معنی داری میان بیان ژنی IL-22 با بیان AHR و پارامترهای FPG و HbA1c در بیماران EMPA⁺ مشاهده شد ($P < 0/001$ ، $P < 0/001$ ، $P = 0/004$).



شکل ۲: بررسی تأثیر مصرف امپاگلیفلوزین بر میزان ترشح IL-22

جدول ۳: همبستگی بین متغیرهای مطالعه شده در بیماران دریافت کننده امپاگلیفلوزین بعد از ۶ ماه

میزان بیان ژن IL-22	میزان بیان ژن AHR	میزان FPG	درصد HbA1c
عدد r	۰/۷۵	۰/۸۷	۰/۵۷
عدد P	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
عدد r	۰/۷۷	۰/۸۹	۰/۵۵
عدد P	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۴

بحث

خون محیطی و نیز سطح سرمی IL-22 در بیماران T2DM و افراد چاق در مقایسه با افراد سالم بیشتر است [۸]. همچنین تعداد این سلول ها در بافت چربی افراد دیابتی چاق نسبت به گروه کنترل افزایش داشته است [۱۰].

از طرف دیگر، افزایش درصد سلول های Th22 و سطح سرمی IL-22 در بیماری های خودایمنی به دلیل خاصیت پیش التهابی ذاتی آن به عنوان یک عامل آسیب زا گزارش شده است [۲۱]؛ برای مثال، جمعیت سلول های Th22 و همچنین IL-22 در بیماران مبتلا به بیماری لوپوس اریتماتوز سیستمیک در مقایسه با افراد شاهد به شدت افزایش داشته است [۲۲، ۵]. Zhao و همکاران نشان دادند بین سلول های Th22 و Th17 (از عوامل دیگر مؤثر در التهاب) همبستگی مثبتی وجود دارد [۵]. علاوه بر این، da Rocha و همکاران نشان داده اند سلول های IL-22 در خون محیطی بیماران مبتلا به روماتوئید آرتریت افزایش داشته است که ارتباط مثبتی با فاکتور روماتوئید و شدت بیماری دارد [۶]. همچنین نشان داده شده است درصد سلول های Th22 در بیماران مبتلا به T1DM در مقایسه با افراد سالم به طور قابل توجهی افزایش یافته است. یافته ها نشان داد Th22 ممکن است به پاتوژن T1DM کمک کند [۷].

با توجه به مطالب عنوان شده، افزایش فاکتورهای مربوط به سلول های Th22 در بیماران مبتلا به T2DM مشاهده می شود. نتایج این مطالعه نشان داد امپاگلیفلوزین به عنوان یک داروی ضد دیابتی، مقدار FPG و HbA1c را پس از ۶ ماه تجویز خوراکی کاهش می دهد. همچنین مصرف داروی امپاگلیفلوزین به مدت ۶ ماه، بیان ژنی IL-22 و تولید IL-22 از سلول های T کمکی را کاهش داد. میزان بیان ژنی و تولید IL-22 با بیان فاکتور

مطالعات پیشین شواهدی محکم مبنی بر عدم تنظیم مناسب سیستم ایمنی در بیماران مبتلا به T2DM ارائه کرده اند [۱] و در این راستا نشان داده اند سلول های پیش التهابی Th22 در پاتوژن بیماری T2DM نقش اساسی دارد و افزایش بیش از اندازه فعالیت آن ها گزارش شده است [۸]. با این حال، تأثیر داروی امپاگلیفلوزین بر زیرمجموعه Th22 در T2DM مطالعه نشده است. مطالعه حاضر با هدف تعیین تغییرات فاکتورهای رونویسی و سایتوکاین اصلی سلول های Th22 و ارتباط آن ها با پارامترهای بالینی در بیماران قبل و بعد از درمان با امپاگلیفلوزین انجام شد. سلول های Th22 سلول های التهابی از لنفوسیت های CD4⁺ T هستند که به طور اختصاصی IL-22 تولید می کنند، اما مولد IL-17 یا IFN- γ نیستند. این سلول ها فاکتور رونویسی AHR را بیان می کنند که نقش مهمی در تمایز این سلول ها و نیز بیان IL-22 از آن ها دارد [۴]. در حالت طبیعی عملکرد اصلی این سلول ها تنظیم سیستم ایمنی با القای تولید انواع سایتوکاین ها و تقویت دفاع میزبان در قبال پاتوژن هاست، ولی افزایش بی رویه آن ها در بیماری ها سبب تداخل در عملکرد سیستم ایمنی بدن و بروز التهاب می شود [۲۰، ۴].

برخی از مطالعات شواهدی ارائه داده اند که نشان می دهد درصد و عملکرد سلول های Th22 در بیماران دیابتی غیر طبیعی است؛ برای مثال Guo و همکاران نشان دادند غلظت IL-22 در سرم و نیز درصد این سلول های Th22 با فنوتایپ CD4⁺IFN- γ IL-22⁺ IL-17A در خون محیطی بیماران T2DM در مقایسه با افراد سالم بیشتر است و ارتباط مستقیمی با شاخص مقاومت به انسولین دارد [۹]. در مطالعه دیگری Zhao و همکاران نشان دادند درصد سلول های Th22 در میان سلول های تک هسته ای

T مانند Th1, Th17, Treg, Th9 و Th2 بررسی کنند. همچنین در این مطالعه IL-22 در مایع رویی کشت سلول‌های T کمکی بررسی شد، ولی برای تأیید نتایج آن اندازه‌گیری فلوسایتومتریک سایتوکاین‌های داخل‌سلولی می‌تواند در تحقیقات آینده صورت پذیرد. علاوه بر این، در تحقیقات آینده بررسی تغییرات سلول‌های Th22 و ژن‌های مرتبط در زیرگروه‌های مختلف بیماری مانند نوروپاتی دیابتی، رتینوپاتی دیابتی و نوروپاتی دیابتی می‌تواند مدنظر باشد. همچنین مطالعه مکانیسم مولکولی امپاگلیفلوزین روی سیستم ایمنی در بافت‌های مرتبط با دیابت مثل پانکراس می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، خواص ضدالتهابی مصرف داروی امپاگلیفلوزین به مدت ۶ ماه بر فاکتورهای اصلی سلول‌های Th22 با کاهش هم‌زمان بیان ژنی و تولید IL-22 نشان داده شد. از طرف دیگر، همبستگی مثبتی میان IL-22 با بیان ژنی فاکتور رونویسی سلول‌های Th22 (AHR) مشاهده شد. در بیماران درمان‌شده با امپاگلیفلوزین، ارتباط مستقیم فاکتورهای Th22 (تغییرات ژنی و سایتوکاینی) با گلوکز پلاسمای ناشتا و هموگلوبین A1c رؤیت شد. احتمالاً این نتایج نشان می‌دهد درمان با امپاگلیفلوزین به‌عنوان یک داروی ضد دیابتی برای تعدیل وضعیت التهاب در بیماران T2DM از طریق کاهش Th22 مفید است.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد ایمونولوژی پزشکی مصوب دانشگاه علوم پزشکی همدان به شماره ۹۸۰۸۲۸۶۲۴۵ است. از معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه به‌خاطر حمایت مالی از این مطالعه قدردانی می‌شود. همچنین از تمامی بیمارانی که در پیشبرد پژوهش همکاری داشتند، بسیار سپاسگزار می‌کنیم.

تضاد منافع

نتایج این مطالعه با منافع نویسندگان تعارض ندارد.

ملاحظات اخلاقی

این پروژه در کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی همدان با کد اخلاق IR.UMSHA.REC.1398.648 تصویب شده است. همچنین از تمام بیماران قبل از ورود به مطالعه رضایت‌نامه آگاهانه کتبی گرفته شده است.

سهم نویسندگان

نویسنده اول: (پژوهشگر اصلی) تدوین پروپوزال، انجام تست‌های آزمایشگاهی و مشارکت در نگارش مقاله (۳۰ درصد)؛

رونویسی AHR و پارامترهای بالینی (FPG و HbA1c) رابطه مثبت معنی‌داری داشت. در این مطالعه هر دو گروه دریافت‌کننده امپاگلیفلوزین و غیر دریافت‌کننده امپاگلیفلوزین، داروهای پایه متفورمین و گلیکلازید را با دُز یکسان دریافت کردند. این در حالی است که تغییرات قابل توجهی در ارتباط با فاکتورهای مرتبط با Th22 در گروه کنترل دیابتی بعد از ۶ ماه درمان مشاهده نشد که نشان‌دهنده تأثیر نداشتن داروهای متفورمین و گلیکلازید بر سلول‌های ذکر شده است.

هم‌راستا با نتایج این مطالعه، تحقیقات پیشین خاصیت ضدالتهابی امپاگلیفلوزین را بر سایر فاکتورهای التهابی نشان داده‌اند. در مطالعه‌ای، Iannantuoni و همکاران کاهش التهاب و فاکتور التهابی CRP را در بیماران T2DM بعد از ۲۴ هفته درمان با امپاگلیفلوزین مشاهده کردند [۱۵]. افزون بر این، یک مطالعه روی موش‌های دیابتی آشکار کرد که تجویز امپاگلیفلوزین باعث کاهش غلظت پلاسمایی IL-6 و TNF- α (از دیگر عوامل مؤثر در التهاب) در مقایسه با گروه شاهد می‌شود [۱۴].

یافته‌های قبلی نشان داده‌اند IL-22 نقش فعالی در التهاب مزمن دارد و موجب ایجاد مقاومت به انسولین، اختلالات متابولیکی و نیز عوارض مرتبط با بیماری همانند رتینوپاتی و بیماری عروق کرونری می‌شود. همچنین همبستگی مثبت معنی‌داری بین فراوانی سلول‌های Th22 و مقاومت به انسولین گزارش شده است [۲۳، ۲۴، ۹]. مطالعات نشان می‌دهد IL-22 با اتصال به گیرنده خود و فعال‌سازی پروتئین‌های Signal transducers and activators of transcription 3 (STAT3) سبب مقاومت به انسولین و اختلال سلول‌های β پانکراس می‌شود [۸]. از طرف دیگر، برخی از مطالعات به شواهدی اشاره کرده‌اند که نشان می‌دهد مصرف امپاگلیفلوزین باعث بهبود التهاب، مقاومت به انسولین و عملکرد سلول‌های بتای پانکراس در افراد T2DM می‌شود [۲۵، ۲۶].

با این وجود مطالعه حاضر صرفاً اثرات ضدالتهابی داروی امپاگلیفلوزین را بر فاکتورهای مرتبط با سلول‌های Th22 آشکار می‌سازد. با توجه به مطالب ذکر شده و اثبات نقش تعیین‌کننده Th22 در پاتوژنز T2DM و همچنین تأثیر مهار Th22 در بهبود التهاب و وجود ارتباط مستقیم بین کاهش IL-22 با مصرف امپاگلیفلوزین، شاید بتوان نتیجه گرفت که مصرف این دارو از طریق کاهش فاکتورهای مرتبط با Th22 (در کنار کاهش گلوکز خون) سبب کاهش مقاومت به انسولین و جلوگیری از پیشرفت بیماری می‌شود. با این حال، ارزیابی‌های بیشتری در زمینه اثرات مستقیم این دارو و مکانیسم تغییرات سلول‌های Th22 در ارتباط با مقاومت به انسولین و اختلال سلول‌های بتای پانکراس نیاز است.

از محدودیت‌های این مطالعه اینکه در این طرح صرفاً اثر داروی امپاگلیفلوزین بر سلول‌های Th22 بررسی شد. مطالعات آینده می‌تواند اثر این دارو را روی سایر زیرگروه‌های سلول‌های

تحلیل‌های آماری، نگارش مقاله (۳۰ درصد).

حمایت مالی

این مطالعه از سوی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان پشتیبانی مالی شده است.

نویسنده دوم: (پژوهشگر همکار) مشاور علمی، معرفی بیماران، انجام معاینات و تست‌های بالینی، ویرایش مقاله (۲۵ درصد)؛ نویسنده سوم: (پژوهشگر همکار) مشاور علمی، مشارکت در نگارش و ویرایش مقاله (۱۵ درصد)؛ نویسنده چهارم: (پژوهشگر اصلی) مسئول مکاتبات، طراحی پروژه، اجرا و نظارت بر آن، انجام

REFERENCES

- Zhou T, Hu Z, Yang S, Sun L, Yu Z, Wang G. Role of adaptive and innate immunity in type 2 diabetes mellitus. *J Diabetes Res*. 2018;2018:7457269. PMID: 30533447 DOI: 10.1155/2018/7457269
- Calle MC, Fernandez ML. Inflammation and type 2 diabetes. *Diabetes Metab*. 2012;38(3):183-91. PMID: 22252015 DOI: 10.1016/j.diabet.2011.11.006
- Kagami S, Rizzo HL, Lee JJ, Koguchi Y, Blauvelt A. Circulating Th17, Th22, and Th1 cells are increased in psoriasis. *J Invest Dermatol*. 2010;130(5):1373-83. PMID: 20032993 DOI: 10.1038/jid.2009.399
- Jia L, Wu C. The biology and functions of Th22 cells. *Adv Exp Med Biol*. 2014;841:209-30. PMID: 25261209 DOI: 10.1007/978-94-017-9487-9_8
- Zhao L, Jiang Z, Jiang Y, Ma N, Wang K, Zhang Y, et al. IL-22+CD4+ T-cells in patients with active systemic lupus erythematosus. *Exp Biol Med (Maywood)*. 2013;238(2):193-9. PMID: 23576801 DOI: 10.1177/1535370213477597
- da Rocha LF Jr, Duarte AL, Dantas AT, Mariz HA, Pitta Ida R, Galdino SL, et al. Increased serum interleukin 22 in patients with rheumatoid arthritis and correlation with disease activity. *J Rheumatol*. 2012;39(7):1320-5. PMID: 22589261 DOI: 10.3899/jrheum.111027
- Xu X, Zheng S, Yang F, Shi Y, Gu Y, Chen H, et al. Increased Th22 cells are independently associated with Th17 cells in type 1 diabetes. *Endocrine*. 2014;46(1):90-8. PMID: 23928796 DOI: 10.1007/s12020-013-0030-z
- Zhao R, Tang D, Yi S, Li W, Wu C, Lu Y, et al. Elevated peripheral frequencies of Th22 cells: a novel potent participant in obesity and type 2 diabetes. *PLoS One*. 2014;9(1):e85770. PMID: 24465695 DOI: 10.1371/journal.pone.0085770
- Guo H, Xu BC, Yang XG, Peng D, Wang Y, Liu X B, et al. A high frequency of peripheral blood IL-22(+) CD4(+) T cells in patients with new onset type 2 diabetes mellitus. *J Clin Lab Anal*. 2016;30(2):95-102. PMID: 25425169 DOI: 10.1002/jcla.21821
- Dalmas E, Venteclief N, Caer C, Poitou C, Cremer I, Aron-Wisnewsky J, et al. T cell-derived IL-22 amplifies IL-1 β -driven inflammation in human adipose tissue: relevance to obesity and type 2 diabetes. *Diabetes*. 2014;63(6):1966-77. PMID: 24520123 DOI: 10.2337/db13-1511
- Fujita Y, Inagaki N. Metformin: new preparations and nonglycemic benefits. *Curr Diab Rep*. 2017;17(1):5. PMID: 28116648 DOI: 10.1007/s11892-017-0829-8
- Araújo AA, Morais HB, Medeiros C, Brito GA, Guedes PM, Hiyari S, et al. Gliclazide reduced oxidative stress, inflammation, and bone loss in an experimental periodontal disease model. *J Appl Oral Sci*. 2019;27:e20180211. PMID: 30810635 DOI: 10.1590/1678-7757-2018-0211
- Frampton JE. Empagliflozin: a review in type 2 diabetes. *Drugs*. 2018;78(10):1037-48. PMID: 29946963 DOI: 10.1007/s40265-018-0937-z
- Han JH, Oh TJ, Lee G, Maeng HJ, Lee DH, Kim KM, et al. The beneficial effects of empagliflozin, an SGLT2 inhibitor, on atherosclerosis in ApoE (-/-) mice fed a western diet. *Diabetologia*. 2017;60(2):364-76. PMID: 27866224 DOI: 10.1007/s00125-016-4158-2
- Iannantuoni F, Diaz-Morales N, Falcon R, Bañuls C, Abad-Jimenez Z, Victor VM, et al. The SGLT2 inhibitor empagliflozin ameliorates the inflammatory profile in type 2 diabetic patients and promotes an antioxidant response in leukocytes. *J Clin Med*. 2019;8(11):1814. PMID: 31683785 DOI: 10.3390/jcm8111814
- Telikani Z, Sheikh V, Zamani A, Borzouei S, Salehi I, Amirzargar MA, et al. Effects of sitagliptin and vitamin D3 on T helper cell transcription factors and cytokine production in clinical subgroups of type 2 diabetes mellitus: highlights upregulation of FOXP3 and IL-37. *Immunopharmacol Immunotoxicol*. 2019;41(2):299-311. PMID: 30907193 DOI: 10.1080/08923973.2019.1593447
- Jiang R, Wang H, Deng L, Hou J, Shi R, Yao M, et al. IL-22 is related to development of human colon cancer by activation of STAT3. *BMC Cancer*. 2013;13:59. PMID: 23379788 DOI: 10.1186/1471-2407-13-59
- Cheng L, Qian L, Tan Y, Wang GS, Li XM, Li XP, et al. Unbalanced expression of aryl hydrocarbon receptor in peripheral blood CCR6(+)/CD4(+) and CD4(+)/CD25(+) T cells of rheumatoid arthritis. *Rev Bras Reumatol Engl Ed*. 2017;57(3):190-6. PMID: 28535889 DOI: 10.1016/j.rbre.2016.07.002
- Hoseini-Aghdam M, Sheikh V, Eftekharian MM, Rezaeepoor M, Behzad M. Enhanced expression of TIGIT but not neuropilin-1 in patients with type 2 diabetes mellitus. *Immunol Lett*. 2020;225:1-8. PMID: 32540486 DOI: 10.1016/j.imlet.2020.06.003
- Sabat R, Ouyang W, Wolk K. Therapeutic opportunities of the IL-22-IL-22R1 system. *Nat Rev Drug Discov*. 2014;13(1):21-38. PMID: 24378801 DOI: 10.1038/nrd4176
- Azizi G, Yazdani R, Mirshafiey A. Th22 cells in autoimmunity: a review of current knowledge. *Eur Ann Allergy Clin Immunol*. 2015;47(4):108-17. PMID: 26159476
- Zhong W, Jiang Y, Ma H, Wu J, Jiang Z, Zhao L. Elevated levels of CCR6(+) T helper 22 cells correlate with skin and renal impairment in systemic lupus erythematosus. *Sci Rep*. 2017;7(1):12962. PMID: 29021537 DOI: 10.1038/s41598-017-13344-w
- Chen H, Wen F, Zhang X, Su SB. Expression of T-helper-associated cytokines in patients with type 2 diabetes mellitus with retinopathy. *Mol Vis*. 2012;18:219-26. PMID: 22312190
- Gong F, Wu J, Zhou P, Zhang M, Liu J, Liu Y, et al. Interleukin-22 might act as a double-edged sword in type 2 diabetes and coronary artery disease. *Mediators Inflamm*. 2016;2016:8254797. PMID: 27829708 DOI: 10.1155/2016/8254797
- Ferrannini E, Muscelli E, Frascerra S, Baldi S, Mari A, Heise T, et al. Metabolic response to sodium-glucose cotransporter 2 inhibition in type 2 diabetic patients. *J Clin Invest*. 2014;124(2):499-508. PMID: 24463454 DOI: 10.1172/jci72227
- Al Jobori H, Daniele G, Adams J, Cersosimo E, Solis-Herrera C, Triplitt C, et al. Empagliflozin treatment is associated with improved β -cell function in type 2 diabetes mellitus. *J Clin Endocrinol Metab*. 2018;103(4):1402-7. PMID: 29342295 DOI: 10.1210/je.2017-01838