

بررسی مولکولی جهش‌های ژن گلوکز-۶-فسفات دهیدروژناز (G6PD) در بیماران مبتلا به فاویسم استان‌های فارس و اصفهان

فیض‌اله هاشمی گرجی^۱، محمدرضا علی‌وند^۲، پریسا عاطف وحید^۱، مهرداد هاشمی^۳، رسول صالحی^۴،
منصور صالحی^۴، سیروس عظیمی^۵، محمدرضا نوری دلویی^۵

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد ژنتیک، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
^۲ کارشناس ارشد، گروه ژنتیک پزشکی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست‌فناوری
^۳ استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
^۴ دانشیار، گروه ژنتیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی اصفهان
^۵ دانشیار، گروه ژنتیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی تهران
^۶ استاد، گروه ژنتیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی تهران

چکیده

سابقه و هدف: نقص گلوکز-۶-فسفات دهیدروژناز (G6PD) به نام بیماری فاویسم رایج‌ترین نقص آنزیمی در انسان است که در سرتاسر جهان ۴۰۰ میلیون نفر به این بیماری مبتلا هستند. هدف از انجام مطالعه حاضر، بررسی مولکولی جهش‌های رایج مدیترانه‌ای، Chatham، Cosenza و A-(G202A/A367G) در بیماران مبتلا به فاویسم دو استان فارس و اصفهان بود.
روش بررسی: در این مطالعه بنیادی، ۹۶ نمونه خون بیماران مبتلا به فاویسم استان‌های فارس و اصفهان (در هر استان به ترتیب ۳۴ و ۶۲ بیمار غیر خویشاوند) ارزیابی شد. DNA ژنومی نمونه‌ها با استفاده از فن PCR-RFLP و الکتروفورز، محصولات برای جهش‌های شناخته شده‌ای نظیر مدیترانه‌ای، Chatham، Cosenza و A-(G202A; A367G) مورد بررسی قرار گرفتند.
یافته‌ها: ۷۹ مورد از ۹۶ نمونه (۸۲/۳ درصد) حامل جهش مدیترانه‌ای و ۸ بیمار (۸/۳ درصد) حامل جهش Chatham بودند و هیچ یک بیماران جهش‌های Cosenza و A-(G202A;A367G) را نداشتند.
نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد G6PD مدیترانه‌ای رایج‌ترین جهش در جمعیت ایرانی است.
واژگان کلیدی: نقص G6PD، جهش مدیترانه‌ای، جهش Chatham، PCR-RFLP.

مقدمه

۴۰۰ نوع کمبود G6PD و حدود ۱۶۰ جهش در ژن G6PD شناخته شده است، بنابراین دارای چند شکلی‌های متفاوت بسیاری در انسان است (۲). جهش‌های این ژن بیشتر از نوع جایگزینی نوکلوتیدی بوده که تغییر در یک یا چند باز موجب جابه‌جایی اسید آمینه (و نه حذف) در پروتئین می‌شود (۳)، (۴). کمبود آنزیم G6PD در گروه‌های نژادی گوناگون، متفاوت است و شیوع آن بین ۳۵ درصد در آفریقا تا ۰/۱ درصد در ژاپن و برخی نواحی اروپایی متغیر است (۱). بالاترین میزان

کمبود گلوکز-۶-فسفات دهیدروژناز (G6PD) رایج‌ترین نقص در مسیر پنتوز فسفات است و در سراسر جهان بیش از ۴۰۰ میلیون نفر به این بیماری مبتلا هستند (۱). تاکنون بیش از

آدرس نویسنده مسئول: تهران، دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده پزشکی، گروه ژنتیک پزشکی،

محمد رضا نوری دلویی (email: nooridalooi@sina.tums.ac.ir)

تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/۱۱/۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۸/۳/۳

هستند و نیز همولیز در آنها متوسط است که معمولاً به دلیل آلودگی، عفونت و یا القاء بوسیله داروها انجام می‌گیرد؛ واریته رده IV: دارای کمبود یا همولیز نیستند؛ واریته رده V: دارای افزایش فعالیت آنزیمی هستند.

نوع وحشی یا نوع طبیعی آنزیم G6PDB بیشتر در نژادهای سفید، آسیایی و قسمت عمده‌ای از سیاه‌پوستان وجود دارد که از نظر بالینی طبیعی بوده و همولیز در آنها وجود ندارد (رده IV). جهش‌های متفاوتی موجب نقص در کارکرد آنزیم می‌شوند که در شرایط خاص انتخاب مانند مواجهه با بیماری مالاریا افراد مبتلا به نقص G6PD مصون می‌شوند. حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد سیاه‌پوستان دارای واریته نوع A(376A-G) هستند که از نظر خواص آنزیمی شبیه نوع B است، اما در آزمایش الکتروفورز سریع‌تر حرکت می‌کند که دلیل آن جانشینی یک اسید آمینه آسپاراژین (Asn) با آسپاراتات (Asp) در اسید آمینه شماره ۱۲۶ می‌باشد. این واریته نیز دارای خصوصیت آنزیمی طبیعی بوده و موجب همولیز نمی‌شود (۲۰، ۱۹).

جهش مدیترانه‌ای، یک جهش نقطه‌ای در نوکلئوتید شماره ۵۶۳ ژن G6PD است که موجب تغییر باز سیتوزین به باز تیمین (C563 T) در اگزون شماره ۶ ژن (ناحیه رمزگذاری) می‌گردد (۲۱). این جابجایی موجب قرارگیری اسیدآمینه فنیل‌آلنین به جای اسیدآمینه سرین در پروتئین G6PD در جایگاه شماره ۱۸۸ می‌شود (۲۲). این نوع جهش در مقایسه با سایر جهش‌ها قدیمی‌تر است که در بین ساکنین نواحی مدیترانه‌ای و خاورمیانه شناسایی شده است (۸، ۷، ۲۳-۲۵). فعالیت آنزیمی واریته مدیترانه‌ای به طور مشخصی کاهش پیدا کرده و همولیز شدیدتری نسبت به نوع A- دارد، به نحوی که افراد در غیاب عامل‌های اکسیداتیو شناخته شده نیز دچار آنمی همولیتیک می‌گردند (۱۶). جهش مدیترانه‌ای، رده دوم ناهنجاری را سبب می‌شود و اغلب با فلوایسم همراه است. واریته Chatham حاصل جهش تک‌بازی در اگزون شماره ۹ ژن G6PD است. این جهش، بر اثر جابه‌جایی باز گوانین با باز آدنین در نوکلئوتید شماره ۱۰۰۳ (A ۱۰۰۳ G) می‌باشد (۷). واریانت A-(Val 68 Met + Asn 128 Asp) (۲۶) به عنوان فراوان‌ترین عامل نقص G6PD در آفریقا به حساب می‌آید. واریته A- با یک جهش ثانویه در واریته نوع G6PD A (126Asn->Asp) در ژن G6PD بوجود آمده است. جهش A- رایج‌ترین جهش در کشورهای همسایه ایران مانند کویت، عربستان و عراق به شمار می‌رود و جهش مدیترانه‌ای دومین جهش را در این نواحی تشکیل می‌دهد (۲۷-۳۰).

شیوع در گروه‌های یهودی در حدود ۷۰ درصد گزارش شده است و فراوانی شیوع آن در ایران نیز بطور میانگین حدود ۱۲ درصد است (۵). شیوع کمبود در کشورهای همسایه نیز از تفاوت چشم‌گیری برخوردار است، بطوری که فراوانی کمبود G6PD در پاکستان ۸-۲ درصد (۶)، امارات متحد عربی ۱۱ درصد (۷)، عربستان سعودی ۲-۲۶ درصد (۹، ۸)، کویت ۱۹ درصد (۱۰، ۱۱)، بحرین ۲۱ درصد (۱۱) و عمان ۲۷ درصد (۷) است. زرتشتیان ایران از نژادهایی هستند که فراوانی کمبود G6PD در بین آنها خیلی کم است، اما در زرتشتیانی که سال‌ها پیش به هندوستان مهاجرت کرده‌اند به دلیل فرایند گزینش، افزایش پیدا کرده است (۱۲). واریته‌های این بیماری هم در نقاط مختلف فراوانی متفاوتی دارند.

ژن گلوکز ۶-فسفات دهیدروژناز (G6PD) شامل ۱۳ اگزون، ۱۲ اینترون و طول rRNA ۲۲۶۹ نوکلئوتید است که بر روی کروموزوم X (نوار 2.8 Xq) قرار دارد و فراورده آن، اولین آنزیم کاتالیز کننده در سنت هگروز-منوفسفات (HMP) است که مهم‌ترین نقش آن تولید NADPH در گلبول‌های قرمز خون است (۱۳). کارکرد اصلی این آنزیم در گلبول‌های قرمز، محافظت غشای گلبول‌های قرمز در برابر آسیب‌های اکسیداتیو مانند مصرف باقلا و داروهای ضد مالاریای پریماکین می‌باشد. در اثر کاهش NADPH، آسیب اکسیداتیو موجب آسیب به غشا و لیز گلبول‌های قرمز می‌شود (۱۴، ۱۵).

با وجود اینکه ثابت شده آفریقا و کناره دریای مدیترانه، منطقه‌ای است که خطر ابتلا به بیماری مالاریا در آنجا بالا است، شیوع قابل توجهی از کمبود G6PD در این نقاط وجود دارد. پژوهشگران دریافته‌اند که انگل این بیماری قادر به زندگی در گلبول‌های قرمز افراد مبتلا به کمبود G6PD نیست. بنابراین به این باور رسیدند که این کمبود می‌تواند فرد را علیه بیماری مالاریا محافظت کند (۱۶، ۱۷). مطالعات گسترده‌ای جهت ارتباط بین واریته‌های بیوشیمیایی، جایگاه جهش‌های ژنتیکی و مقدار همولیز انجام گرفته است و رده‌بندی‌های پیشنهاد شده توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) بر اساس مقدار کمبود آنزیم G6PD و شدت همولیز می‌باشد که به ۵ گروه رده‌بندی می‌شوند: (۲)

واریته رده I: مقدار آن بسیار کم است و دارای کاهش شدید آنزیمی (کمتر از ۱۰ درصد افراد طبیعی) و نیز کم‌خونی همولیتیک غیراسفروسیتی مزمن می‌باشند (۱۸)؛ واریته رده II: این واریته نیز دارای کاهش شدید آنزیمی است، اما در این حالت تنها همولیز متوسط وجود دارد؛ واریته رده III: دارای کاهش متوسط میزان آنزیم بین ۶۰-۱۰ درصد افراد طبیعی

انجام شد. قابل ذکر است نمونه‌های حاوی جهش Chatham یک جایگاه برش در اگزون ۹ ژن G6PD دارند.

این مراحل برای شناسایی جهش (Eco81I) Cosenza، A⁻ 202 (NlaIII) و A(367) (BseGI) نیز انجام شد. فرایند هضم برای هر یک از جهش‌های بالا به مدت سه ساعت و انکوباسیون در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد انجام شد و فراورده‌های هضم بر روی ژل اکریل آمید به مدت ۳ ساعت الکتروفورز و با نیترات نقره رنگ آمیزی شدند. برنامه زمانی-دمایی واکنش زنجیره پلیمرز (PCR) هر کدام از واکنش‌ها بر اساس پروتکل Vulliamy (۴) با دستگاه BIOTECH انجام گردید (جدول ۱).

جدول ۱- توالی و ترتیب نوکلئوتیدهای پرایمرها در شناسایی جهش‌های مدیترانه‌ای، Chatham، Cosenza و A⁻ (G202A/A367G) بر اساس پروتکل Vulliamy.

| | |
|--------------------|--|
| Mediterranean | Fw-5'CCCCGAAGAGGAATTCAAGGGGGT-3' |
| | Rv-5'GAAGAGTAGCCCTCGAGGGTGACT-3' |
| Chatham | F-5'CAAGGAGCCATTCTCTCCCTT-3' |
| | Rv-5'TTCTCCACATAGAGGACGACGGCTGCCAAAGT-3' |
| Cosenza | Fw-5'GCAGCCAGTGGCATCAGCAAG-3' |
| | Rv-5'GGGAAGGAGGGTGGCCGTGG-3' |
| A ^{G202A} | Fw-5'GTGGCTGTCCGGGATGGCCTTCTG-3' |
| | Rv-5'CTTGAAGAAGGGCTCACTCTGTTTG-3' |
| A ^{A367G} | Fw-5'CTGTCTGTGTGTCTGTCTGTCC-3' |
| | Rv-5'GGCCAGCCTGGCAGCGGGAAGG-3' |

یافته‌ها

در مطالعه حاضر، جهش‌های رایج ژن G6PD در بین ۹۶ فرد مبتلای دارای این نقص در استان فارس (۳۴ بیمار) و اصفهان (۶۲ فرد مبتلا) مورد بررسی قرار گرفت. ۷۹ نفر (۸۲/۳ درصد) از کل نمونه‌های مورد مطالعه هر دو استان فارس و اصفهان، ژنوتیپ مدیترانه‌ای را نشان دادند که ۲۷ مورد (۷۹/۵ درصد) در استان اصفهان بود. سپس جهش Chatham مورد بررسی قرار گرفت و ۸ مورد از ۹۶ بیمار (۸/۳ درصد) جهش Chatham را نشان دادند. فراوانی جهش Chatham در استان‌های فارس و اصفهان به ترتیب ۸/۸۲ درصد (۳ نمونه) و ۸/۰۶ درصد (۵ نمونه) بود. هیچ یک از بیماران حامل جهش Cosenza و A⁻(202/367) نبودند.

پژوهش‌های وسیع انجام شده در سال‌های اخیر در ایران نشان داده است که جهش مدیترانه‌ای از فراوانی بالایی در استان‌های مازندران، گیلان، گلستان، خراسان، هرمزگان، سیستان و بلوچستان، یزد، کرمان و زنجان برخوردار است (۳۷-۳۱). هم‌چنین نشان داده شد که جهش Chatham نیز از فراوانی بالایی برخوردار است و در رده دوم قرار دارد. بالاترین فراوانی جهش Chatham در ایران مربوط به استان مازندران است (۳۴، ۳۲).

در ایران، جهش‌های مدیترانه‌ای، Chatham و Cosenza به عنوان جهش‌های رایج شناخته شده‌اند و در این بین جهش نوع مدیترانه‌ای بالاترین فراوانی را دارد (۳۳-۳۱، ۳۷). در این مطالعه، جهش‌های رایج مدیترانه‌ای، Chatham، Cosenza و A^(202/367) در نمونه‌های خون جمع‌آوری شده از استان‌های همجوار فارس و اصفهان مورد بررسی قرار گرفت تا مشخص شود که جهش‌های رایج در این دو استان چه جهش‌هایی هستند.

مواد و روشها

در این مطالعه توصیفی، ۹۶ نمونه خون بیماران مبتلا به فائیسیم استان‌های فارس و اصفهان (در هر استان به ترتیب ۳۴ و ۶۲ بیمار غیر خویشاوند) ارزیابی شد. بیماران پس از تایید آزمون florescent spot بر روی نمونه‌های خونی انتخاب شدند و نمونه خون حاوی EDTA از آنها تهیه شده و DNAی ژنومی آنها از سلول‌های لوکوسیتی با استفاده از کیت DNAfast استخراج شد.

نمونه‌ها برای شناسایی جهش‌های رایج ژن G6PD با استفاده از پرایمرهای اختصاصی و آنزیم محدودکننده هرکدام (جدول ۱) در اگزون‌های مربوطه غربال شدند. در ابتدا همه نمونه‌ها برای جهش مدیترانه‌ای (C-T mutation at 563nt) با استفاده از واکنش زنجیره پلیمرز (PCR) تکثیر یافتند. آنزیم محدودکننده MboII در این واکنش استفاده شد و پس از گذشت ۳ ساعت، پروتئیناز k به فراورده‌های هضم اضافه (برای حذف پروتئین‌های واکنش) و به مدت ۱/۵ ساعت انکوبه شدند. سپس فراورده‌های هضم بر روی ژل اکریل آمید الکتروفورز و پس از آن رنگ‌آمیزی نیترات نقره انجام گرفت. نمونه‌هایی که برای جهش مدیترانه‌ای منفی بودند، برای جهش Chatham تکثیر یافته و فرایند هضم با آنزیم محدودگر BstXI در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد در خلال شب انکوباسیون صورت گرفت و ادامه کار همانند مرحله پیش

بحث

در این مطالعه، ۸۲/۳ درصد بیماران مبتلا به کمبود G6PD حامل جهش مدیترانه‌ای و ۸/۳ درصد حامل جهش Chatham بودند و هیچ یک از بیماران جهش‌های Cosenza و A-(G202A;A376G) را نداشتند.

بیماری کمبود G6PD از بیماری‌های رایج ژنتیکی است که بسیاری از مردم جهان از آن بیماری رنج می‌برند. این بیماری در رشد کودکان آسیب‌های بسیاری داشته که توجه جمعی از سازمان‌های بهداشت جهانی را به خود معطوف کرده است. رایج‌ترین جهش‌های G6PD شناسایی شده توسط نوری دلویی و همکاران در استان‌های مازندران، گیلان، گلستان، هرمزگان و خراسان جهش مدیترانه‌ای، Cosenza و Chatham بودند و در این بین جهش نوع مدیترانه‌ای بیشترین فراوانی را در جمعیت‌های مورد مطالعه داشتند. جهش Cosenza تنها در استان مازندران شناسایی شده است (جدول ۲) (۳۱-۳۷).

جدول ۲- فراوانی جهش‌های بیماران مبتلا به کمبود G6PD در استان‌های شمالی و جنوبی کشور

| استان‌های شمالی | | استان‌های جنوبی | |
|-------------------|-------|-----------------|-----|
| مازندران | ۶۶/۳* | ۲۷ | ۶/۷ |
| گیلان | ۸۶/۵ | ۹/۷ | - |
| گلستان | ۶۹ | ۲۶/۷ | - |
| خراسان(شمالی) | ۶۶ | ۱۲ | - |
| سیستان و بلوچستان | ۸۰ | ۲/۱ | - |
| هرمزگان | ۷۹ | ۸ | - |
| کرمان | ۶۳ | - | - |
| یزد | ۶۴ | ۳/۶ | - |

* اعداد معرف درصد هستند.

در افراد دارای جانشینی C به T در ۶ اگزون یک جایگاه برش برای آنزیم محدودگر MboII ایجاد می‌شود که پس از فرایند هضم نمونه‌های سالم ۴ قطعه (۲۴، ۶۰، ۱۲۰ و ۳۷۹ باز) بر روی ژل اکریل امید نمایان می‌شود. با این وجود نمونه‌های دارای جهش مدیترانه‌ای قطعات ۲۷۶ بازی و ۱۰۳ بازی را به جای قطعه ۳۷۹ بازی نشان دادند. در این بررسی مشخص گردید که ۷۹ بیمار (۸۲/۳ درصد) دارای جهش مدیترانه‌ای هستند. این بررسی نشان داد که وارپته مدیترانه در این دو استان نیز مانند استان‌های مازندران، گیلان، خراسان،

هرمزگان و سیستان و بلوچستان از فراوانی بالایی برخوردار است (۳۷-۳۱). در مطالعه کریمی و همکاران، فراوانی جهش مدیترانه‌ای در استان فارس ۸۳/۸ درصد گزارش شد (۳۸) که نسبت به فراوانی این جهش در مطالعه ما در استان فارس (۴۶/۷۹ درصد) اندکی بیشتر است. این اختلاف اندک می‌تواند ناشی از نحوه نمونه‌گیری و یا تعداد نمونه‌های مورد بررسی در هر یک از مطالعات باشد. این وارپته، رایج‌ترین وارپته در کشورهای پیرامون دریای مدیترانه و خاورمیانه می‌باشد (۲۸).

وارپته Chatham اولین بار در یک پسر بچه انگلیسی هندی تبار شناسایی شد. وارپته Chatham حاصل جهش تک‌بازی در اگزون شماره ۹ ژن G6PD می‌باشد. قطعه تکثیر یافته در فرد سالم دارای سه جایگاه تشخیص می‌باشد. در نتیجه دو قطعه ۳۰ و ۷۸ جفت بازی تولید می‌کند. اما در فرد بیمار، جهش ایجاد یک جایگاه برش جدید در قطعه ۱۳۰ جفت بازی می‌کند که نتیجه آن ایجاد دو قطعه جدید ۳۰ و ۱۰۰ جفت بازی به جای قطعه ۱۳۰ جفت بازی می‌باشد. بنابراین در فرد بیمار ۴ جایگاه برش وجود دارد و سه قطعه ۳۰، ۷۸ و ۱۰۰ جفت بازی حاصل می‌شود. جهش Chatham پس از وارپته مدیترانه‌ای از فراوانی بالایی در ایران برخوردار است و بالاترین فراوانی آن در ایران مربوط به استان مازندران (۲۷ درصد) است (۳۱، ۳۲، ۳۴). جهش Chatham از نظر رده‌بندی WHO به عنوان رده III جهش‌ها با علائم بالینی خفیف رده‌بندی می‌شود. نتایج این مطالعه و مطالعات پیشین نشان می‌دهد که فراوانی جهش مذکور در استان‌های شمالی بیشتر از استان‌های جنوبی است (جدول ۲).

در مطالعه ما، جهش Cosenza در بیماران مورد بررسی در استان‌های فارس و اصفهان مشاهده نشد. جهش Cosenza حاصل جابه‌جایی باز گوانین با سیتوزین در نوکلئوتید شماره G-C ۱۳۷۶ cDNA G6PD است که موجب تغییر اسیدامینه آرژنین در موقعیت ۴۵۹ به پرولین (Pro ۴۵۹ Arg) می‌شود. جهش Cosenza موجب ایجاد یک جایگاه برش جدید در این قطعه می‌شود، به نحوی که اثر آنزیم بر روی آن موجب ایجاد دو قطعه ۳۱۶ و ۲۳۲ جفت بازی می‌شود. این وارپته اولین بار در ایتالیا شناسایی شده و فنوتیپ آن با نقص شدید آنزیمی همراه است (۳۹). این جهش در ایران تنها در استان مازندران (فراوانی ۶/۷ درصد) گزارش شده است (۳۲) که احتمالاً این مشاهده می‌تواند دال بر وجود اجداد مشترک در بین مردم مازندران و ایتالیا باشد.

این مطالعه وجود دو جهش (G 202A/A367G) A- را در بین بیماران نشان نداد. جهش دوگانه A-(202/367) جهشی با

می‌شود در بیمارانی که جهش ژنتیکی آنها شناسایی نشده است از فنونی مانند SSCP جهت شناسایی جهش‌های ناشناخته استفاده کرد تا سرانجام همه جهش‌های جمعیت ایرانی مشخص شود. فلات ایران در طول زمان گذرگاه مهاجرین بسیاری بوده است و دور از انتظار نیست که در این جمعیت جهش‌هایی در ژن G6PD با منشا آسیای مرکزی نیز یافت شود که در این زمینه نیاز به پژوهش‌های بیشتری است.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاران گروه ژنتیک پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران و پژوهشگاه ملی تحقیقات زیست فناوری و مهندسی ژنتیک تشکر می‌شود.

منشا آفریقایی است و مانند جهش Chatham به رده III جهش‌های نقص G6PD تعلق دارد. احتمالاً با افزایش تعداد نمونه‌های مورد بررسی بتوان جهش‌های Cosenza و A- (202/367) را شناسایی و نتایج دقیق‌تر را گزارش کرد. اما آن چه که مسلم است رایج‌ترین جهش‌ها در ایران، جهش‌های مدیترانه‌ای، Chatham و Cosenza هستند که وجود آنها فرضیه اشتقاق جمعیت‌ها از قاره آفریقا را برای جمعیت ایران نفی می‌کند.

نتایج حاصل از مطالعه ما بر روی بیماران استان‌های فارس و اصفهان به علاوه گزارشات قبلی از استان‌های دیگر نشان می‌دهند که فراوانی جهش‌ها در جمعیت ایرانی به کشورهای اروپایی نواحی مدیترانه شباهت بیشتری نسبت به کشورهای عربی دارد. این امر ظاهراً می‌تواند دال بر اجداد مشترک بین جمعیت ایران و کشورهای منطقه مدیترانه‌ای باشد. پیشنهاد

REFERENCES

1. Beutler E. G6PD deficiency. *Blood* 1994; 84: 2613-36.
2. Betke k. Standardization of procedures for the study of glucose-6-phosphate dehydrogenase. Report of a WHO Scientific Group. *World Health Organ Tech Rep Ser* 1967; 366: 1-53.
3. Beutler E. Study of glucose-6-phosphate dehydrogenase: history and molecular biology. *Am J Hematol* 1993; 42: 53-58.
4. Vulliamy T, Beutler E, Luzzatto L. Variants of glucose-6-phosphate dehydrogenase are due to missense mutations spread throughout the coding region of the gene. *Hum Mutat* 1993; 2:159-67.
5. Oppenheim A, Jury CL, Rund D, Vulliamy TJ, Luzzatto L. G6PD Mediterranean accounts for the high prevalence of G6PD deficiency in Kurdish Jews. *Hum Genet* 1993; 91: 293- 94.
6. Saha S, Saha N, Tay JS, Jeyaseelan K, Basair JB, Chew SE. Molecular characterization of red cell glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency in north-west Pakistan. *Hum Hered* 1994; 44: 85-89.
7. Bayoumi RA, Nur E, Kamal MS, Tadayyon M, Mohamed KK, Mahboob BH, et al. Molecular characterization of erythrocyte glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency in Al-Ain District ,United Arab Emirates. *Hum Hered* 1996; 46: 136-41.
8. Gelpi AP. Glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency in Saudi Arabia: a survey. *Blood* 1965; 25: 486-93.
9. el-Hazmi MA, Warsy AS. Frequency of glucose-6-phosphate dehydrogenase, pyruvate kinase and hexokinase deficiency in the Saudi population. *Hum Hered* 1986; 36: 45-49.
10. Shaker YA, Aziz R. The frequency of glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency in the newborns and adults in Kuwait. *Am J Hum Genet* 1966; 18: 609-13.
11. Mohammed AM, Al-Hilli F, Nadkarni KV, Bhagwat GP, Bapat JP. Hemoglobinopathies and glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency in hospital births in Bahrain. *Ann Saudi Med* 1992; 12: 536-39.
12. Jablonska-Skwięcinska E, Zimowski JG, Klopocka J, Bisko M, Hoffman-Zacharska D, Zaremba J. Erythrocyte glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency in Poland-a study on the 563 and 1311 mutations of the G6PD gene. *Eur J Hum Genet* 1997; 37: 22-24.
13. Matsubara S, Takayama T, Iwasaki R, Komatsu N, Matsubara D, Takizawa T. Enzyme-cytochemically detectable glucose-6-phosphate dehydrogenase in human villous macrophages (Hofbauer cells). *Placenta* 2001; 22: 882-85.
14. Nicol CJ, Zielenski J, Tsui LC, Wells PG. An embryoprotective role for glucose-6-phosphate dehydrogenase in developmental oxidative stress and chemical teratogenesis. *FASEB J* 2000; 14: 111-27.
15. Cocco P, Todde P, Fornera S, Manca MB, Manca P, Sias AR. Mortality in a cohort of men expressing the glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency. *Blood* 1998; 91: 706-709.

16. Mason PJ, Bautista JM, Gilsanz F. G6PD deficiency: the genotype-phenotype association. *Blood Rev* 2007; 21: 267-83.
17. Tishkoff SA, Varkonyi R, Cahinhinan N, Abbes S, Argyropoulos G, Destro-Bisol G, et al. Haplotype diversity and linkage disequilibrium at human G6PD: recent origin of alleles that confer malarial resistance. *Science* 2001; 293: 455-62.
18. Vulliamy TJ, Kaeda JS, Ait-Chafa D, Mangerini R, Roper D, Barbot J. Clinical and haematological consequences of recurrent G6PD mutations and a single new mutation causing chronic nonspherocytic haemolytic anaemia. *Br J Haematol* 1998; 101: 670-75.
19. Pinto FM, Gonzalez AM, Hernandez M, Larruga JM, Cabrera VM. Sub-Saharan influence on the Canary Islands population deduced from G6PD gene sequence analysis. *Hum Biol* 1996; 68: 517-22.
20. Jalloh A, Jalloh M, Gamanga I, Baion D, Sahr F, Gbakima A, et al. G6PD deficiency assessment in Freetown, Sierra Leone, reveals further insight into the molecular heterogeneity of G6PD A. *J Hum Genet* 2008; 53: 675-79.
21. Vives-Corrans JL, Kuhl W, Pujades MA, Beutler E. Molecular genetics of the glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD) Mediterranean variant and description of a new G6PD mutant, G6PD Andalus1361A. *Am J Hum Genet* 1990; 47: 575-79.
22. Vulliamy T, Hirono A, Beutler E. Hematologically important mutations: glucose-6-phosphate dehydrogenase. *Blood Cell Mol Dis* 1997; 23: 302-13.
23. Kurdi-Haidar B, Mason PJ, Berrebi A, Ankra-Badu G, al-Ali A, Oppenheim A, et al. Origin and spread of the glucose-6-phosphate dehydrogenase variant (G6PD-Mediterranean) in the Middle East. *Am J Hum Genet* 1990; 47: 1013-19.
24. Vives Corrans JL, Pujades A. Heterogeneity of "Mediterranean type" glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD) deficiency in Spain and description of two new variants associated with favism. *Hum Genet* 1982; 60: 216-21.
25. Viglietto G, Montanaro V, Calabro V, Vallone D, D'Urso M, Persico MG, et al. Common glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD) variants from the Italian population: biochemical and molecular characterization. *Ann Hum Genet* 1990; 54: 1-15.
26. Vulliamy TJ, D'Urso M, Battistuzzi G, Estrada M, Foulkes NS, Martini G, et al. Diverse point mutations in the human glucose-6-phosphate dehydrogenase gene cause enzyme deficiency and mild or severe hemolytic anemia. *Proc Natl Acad Sci U S A* 1988; 85: 5171-75.
27. Al-Ali AK. Common G6PD variant from Saudi population and its prevalence. *Ann Saudi Med* 1996; 16: 654-56.
28. Samilchuk E, Al-Suliman I, Usanga E, Al-Awadi S. Glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD) mutations and UDP-glucuronosyltransferase promoter polymorphism among G6PD deficient Kuwaitis. *Blood Cells Mol Dis* 2003; 31: 201-205.
29. Samilchuk E, D'Souza B, Al-Awadi S. Population study of common glucose-6-phosphate dehydrogenase mutations in Kuwait. *Hum Hered* 1999; 49: 41-44.
30. Al-Ali AK, Al-Mustafa ZH, Al-Madan M, Qaw F, Al-Ateeq S. Molecular characterization of glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency in the Eastern Province of Saudi Arabia. *Clin Chem Lab Med* 2002; 40: 814-16.
31. Mesbah Namin SA, Sanati MH, Mowjoodi A, Noori-Dalooi MR. Spread of the glucose-6-phosphate dehydrogenase variant (G6PD-Mediterranean) in one the coastal province of Caspian sea in Iran. *J Sci IR Iran* 2000; 4: 285-88.
32. Noori-Dalooi MR, Hajebrahimi Z, Najafi L, Mesbah-Namin SA, Mowjoodi A, Mohammad Ganji S, et al. A comprehensive study on the major mutations in glucose-6-phosphate dehydrogenase-deficient polymorphic variants identified in the coastal provinces of Caspian Sea in the north of Iran. *Clin Biochem* 2007; 40: 699-704.
33. Noori-Dalooi MR, Najafi L, Mohammad Ganji S, Hajebrahimi Z, Sanati MH. Molecular identification of mutation in glucose-6-phosphate dehydrogenase gene in patients with favism in Iran. *J Physiol Biochem* 2004; 4: 273-78.
34. Mesbah-Namin SA, Sanati MH, Mowjoodi A, Mason PJ, Vulliamy TJ, Noori-Dalooi MR. Three major glucose-6-phosphate dehydrogenase-deficient polymorphic variants identified in Mazandaran state of Iran. *Br J Haematol* 2002; 117: 763-64.
35. Noori-Dalooi MR, Hajebrahimi Z, Najafi L, Mohammad Ganji S, Sadeghizadeh M, Sanati MH. Molecular identification of most prevalent mutation of glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD) gene in deficient patients in Gilan Province. *J Sci IR Iran* 2003; 4: 327-31.

36. Noori-Dalooi MR, Soltanian S, Mohammad Gangi SH, Yousefi A, Hejazi S, Bani-hashem A, et al. Molecular identification of the most prevalent mutation of glucose-6-phosphate dehydrogenase (G6PD) gene in deficient patients in Khorasan Province of Iran. *J Sci IR Iran* 2006; 17: 103-106.
37. Noori-Dalooi MR, Yousefi A, Mohammad Ganji S, Hejazi SH, Soltanian S, Sanei Moghadam E, et al. Molecular identification of the most prevalent mutation of glucose-6-phosphate dehydrogenase gene in deficient patients in Sistan and Balochestan Province of Iran. *J Sci IR Iran* 2005; 4: 321-25.
38. Karimi M, Martinez di Montemuros F, Danielli MG, Farjadian S, Afrasiabi A, Fiorelli G, et al., Molecular characterization of glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency in the Fars province of Iran. *Haematologica* 2003; 88: 346-47.
39. Calabro V, Giacobbe A, Vallone D, Montanaro V, Cascone A, Filosa S, et al. Genetic heterogeneity of glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency revealed by single-strand conformation and sequence analysis. *Am J Hum Genet* 1993; 52: 527-36.