

جهش‌های ژن کانکسین ۲۶ در مبتلایان به ناشنوایی در منطقه آذربایجان شرقی با استفاده از تکنیک SSCP/HA

معصومه ابهری: گروه زیست شناسی جانوری، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
دکتر مرتضی جبارپور بنیادی: گروه زیست شناسی جانوری، قطب علمی سیتوملکولی تنوع زیستی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، مرکز تحقیقات بیماریهای کبد و گوارش، دانشگاه علوم پزشکی تبریز: نویسنده رابط

E-mail: Jabbarpour@tabrizu.ac.ir

محسن اسماعیلی: گروه زیست شناسی جانوری، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز
دکتر علیرضا لطفی: گروه گوش و حلق و بینی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تبریز

دریافت: ۸۶/۷/۲۴، پذیرش: ۸۷/۱/۳۱

چکیده

زمینه و هدف: ناشنوایی یکی از شایعترین اختلالات حسی - عصبی است. ۸۰ درصد از ناشنوایی‌های ارثی، غیرسندرومی است. تاکنون ۸۵ لوکوس ژنی برای ناشنوایی غیرسندرومی با انواع الگوهای وراثتی شناسایی شده است. یکی از این لوکوس‌ها، DFNB1 است که دربرگیرنده ژن کانکسین ۲۶ می‌باشد. جهش‌های این ژن، به تنهایی مسئول ۵۰ درصد ناشنوایی‌های غیرسندرومی با الگوی وراثتی اتوزوم مغلوب در جمعیت سفیدپوستان گزارش شده است. تاکنون، بیش از ۹۰ جهش متفاوت در جمعیت‌های مختلف در ژن کانکسین ۲۶ گزارش شده است. با توجه به اینکه در مبتلایان به ناشنوایی از منطقه آذربایجان شرقی بررسی کامل ژن کانکسین ۲۶ با استفاده از تکنیک بسیار حساس و در عین حال اقتصادی (Single Strand Conformation Polymorphism/Heteroduplex Analysis, SSCP/HA) صورت پذیرفته، این بررسی ضرورت پیدا کرد.

روش بررسی: از ۱۰۰ فرد مبتلا به ناشنوایی با الگوی وراثتی اتوزوم مغلوب از منطقه آذربایجان شرقی افرادی که در بررسی قبلی بصورت هموزیگوت دارای جهش ۳۵ delG بودند، کنار گذاشته شد. در بقیه مبتلایان (۸۵ مبتلای غیرخوشاوند) ژن کانکسین ۲۶ با استفاده از تکنیک SSCP/HA مورد بررسی قرار گرفت. لازم بذکر است استخراج DNA از بافت خونی و پس از اخذ رضایتنامه کتبی از افراد بیمار یا خانواده آنها صورت گرفت.

یافته‌ها: از تعداد ۱۷۰ کروموزوم بررسی شده برای آگزون ۲ ژن کانکسین ۲۶ در مجموع ۱۴ الگوی متفاوت SSCP در ۶۲ کروموزوم (۳۶٪ درصد) مشاهده گردید. در یک فرد ناشنوا (۲ کروموزوم) این تفاوت در الگو بصورت هموزیگوت و در ۳۰ فرد ناشنوی دیگر (۶۰ کروموزوم) این تفاوت بصورت هتروزیگوت بود. ۶۷ درصد بیماران بررسی شده حاصل ازدواج فامیلی بوده و بقیه ناشنویان دارای والدین با ازدواج غیرخوشاوند بودند.

نتیجه گیری: الگوی متفاوت بانندی SSCP برای آگزون ۲ ژن کانکسین ۲۶ در مقایسه با افراد نرمال در ۳۶٪ از کروموزوم‌های مورد بررسی از خانواده‌های مبتلا از آذربایجان شرقی مشاهده شد که ضرورت بررسی این ژن را در قدم اول برای الگوهای مشخص شده نشان میدهد.

کلید واژه‌ها: ژن کانکسین ۲۶، تکنیک SSCP/HA، ناشنوایی غیرسندرومی اتوزومی مغلوب

مقدمه

یافته است (۲). ۵۰ درصد از این موارد ناشنوایی ناشی از اختلال ژنتیکی است. ۸۰ درصد از ناشنوایی‌های ارثی، غیرسندرومی است. در ناشنوایی غیرسندرومی، تنها گوش داخلی متحمل آسیب گردیده و دیگر عوارض کلینیکی در این مبتلایان مشاهده نمی‌شود.

ناشنوایی یکی از شایعترین اختلالات حسی - عصبی ارثی در انسان است. بر اساس آمارهای جهانی از هر ۱۰۰۰ نوزاد زنده یک نوزاد در هنگام تولد دارای نقص شنوایی عمیق تا شدید می‌باشد (۱) این آمار در مطالعات اخیر به یک در ۶۵۰ نوزاد تغییر

بصورت هموزیگوت دارای جهش ۳۵ delG بودند، کنار گذاشته شدند. در بقیه مبتلایان (۸۵ بیمار) و نیز تعدادی از اعضاء خانواده آنها، ژن کانکسین ۲۶ با استفاده از تکنیک SSCP/HA مورد بررسی قرار گرفت. خونگیری از بیماران بعد از اخذ رضایت کتبی از مبتلایان و یا والدین آنها به عمل آمد. خون با مقداری ماده ضد انعقاد (EDTA) مخلوط شده و نمونه‌ها در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. برای استخراج DNA ژنومی از بافت خون از روش اصلاح شده فنل - کلروفرم مطابق متدی که قبلاً توضیح داده شده است (۹) استفاده گردید. آگزون دوم ژن کانکسین ۲۶ با استفاده از سه جفت پرایمر همپوشان (F_{3R1}؛ F_{15R1} و F_{5R6})(۲) با روش PCR (واکنش زنجیره‌ای پلیمراز) تکثیر یافت. بهینه‌سازی شرایط PCR مطابق روش استفاده شده در بررسی قبلی صورت گرفت (۸). محصولات PCR بر روی ژل آگارز ۱/۵ درصد الکتروفورز گردید. ژل آگارز با محلول اتیدیوم بروماید رنگ‌آمیزی شده و باندهای حاصل از محصولات PCR زیر اشعه ماوراءبنفش مشاهده گردید.

تکنیک SSCP/HA: پس از عملکرد بهینه PCR و عدم وجود باند غیراختصاصی، محصول PCR با استفاده از تکنیک SSCP/HD مورد بررسی قرار گرفت. محصول PCR نمونه مورد نظر با بافر SSCP (فرم‌آمید ۹۵٪، ۱۰۰ میلی مولار NaOH، برموفنل بلو ۲۵٪ و زایلن سیانول ۳۵٪) با نسبت ۲:۱ مخلوط شده بمدت ۱۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد و سپس بمدت ۱۰ دقیقه در منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و بلافاصله روی ژل SSCP با غلظت آکرلامید ۱۰ درصد، با ولتاژ ۸۵ به مدت ۱۴ ساعت الکتروفورز گردید. ژل SSCP با روش نیترا نقره رنگ‌آمیزی شده و الگوی باندهای SSCP بدست آمده برای هر بیمار با الگوی باندهای SSCP فرد سالم (که از همین جامعه انتخاب شده بودند) مقایسه و تفسیر شد. در مواردی که بیمار حالت هموزیگوت را برای یک تغییر در الگوی SSCP نشان می‌داد جهت اینکه تغییر موجود خود را به صورت هتروزیگوت نشان دهد، آنالیز هترودوپلکس مورد استفاده قرار می‌گرفت.

یافته‌ها

در این مطالعه، ژن کانکسین ۲۶ در ۱۷۰ کروموزوم (۸۵) فرد ناشنوا) و تعدادی از اعضاء خانواده آنها جهت بررسی‌های تکمیلی، با تکنیک SSCP مورد بررسی قرار گرفت. ۵۷ فرد (۶۷ درصد) حاصل ازدواج فامیلی بوده و بقیه ناشنوایان دارای والدین با ازدواج غیرخویشاوند بودند. در صورت مشاهده تفاوت در هر یک از نمونه‌ها، نمونه موردنظر دوباره با محصول PCR جدید بر روی ژل SSCP بررسی گردید تا وجود تفاوت به طور قطعی اثبات شود. شکل ۱ حاوی نتایج الکتروفورز محصولات PCR مربوط به تکثیر آگزون دوم ژن کانکسین ۲۶ با استفاده از سه جفت پرایمر که با یکدیگر همپوشانی داشتند می‌باشد. نتایج الکتروفورز این

در نوع سندرمی، ناشنوایی همراه دیگر علائم بالینی در بیش از ۴۰۰ سندرم مختلف گزارش شده است. ناشنوایی غیرسندرمی با الگوی وراثتی اتوزوم مغلوب (Autosomal Recessive Non-) (Syndromic Hearing Loss ARNSHL) (۸۰ درصد)، اتوزومی غالب (۲۰ درصد)، وابسته به جنس (۱ درصد) و میتوکندریایی (کمتر از یک درصد) در خانواده‌های مبتلا گزارش شده است (۳،۱). براین اساس ناشنوایی غیرسندرمی با الگوی وراثتی اتوزوم مغلوب شایع‌ترین نوع ناشنوایی است. تاکنون بیش از ۸۵ لوکوس ژنی که می‌تواند باعث اختلال شنوایی غیرسندرومی با الگوهای وراثتی مختلف شوند شناسایی گردیده است (۳). یکی از این لوکوس‌ها، DFNB1 (Deafness B1) است که دربرگیرنده ژن کانکسین ۲۶ است. جهش در این ژن که الگوی وراثتی اتوزوم مغلوب نشان می‌دهد، به تنهایی مسئول ۵۰ درصد ناشنوایی‌های غیرسندرمی مغلوب در جمعیت اروپایی و سفیدپوستان آمریکایی است. تاکنون بیش از ۹۰ جهش متفاوت در ژن کانکسین ۲۶ گزارش شده است (۳). پروتئین کانکسین ۲۶ که محصول این ژن می‌باشد، باعث ایجاد اتصالات باز بین سلولی (Gap Junction B) [GJB] بوده و در انتقال یون‌های پتاسیم و برقراری هموستازی یونی در گوش داخلی، جهت تبدیل پالس‌های مکانیکی صوت به پیام‌های عصبی عملکرد مهمی را به‌عهده دارد. جایگاه کروموزومی ژن کانکسین ۲۶ بر روی بازوی بلند کروموزوم ۱۳ است. طول این ژن ۵/۵ کیلو جفت باز بوده و دارای دو آگزون و یک اینترون است که آگزون دوم آن که ۶۸۱ جفت‌باز طول دارد به تنهایی کدکننده پروتئین کانکسین ۲۶ می‌باشد و آگزون اول آن غیرکدکننده است (۴). جهش ۳۵ delG که منجر به ایجاد کدون خاتمه زودرس در موقعیت اسید آمینه شماره ۱۳ می‌شود، جهش ۱۶۷ delT و جهش ۲۳۵ delC جزو جهش‌های بسیار شایع گزارش شده در داخل اقوام و جمعیت‌های مختلف است (۷،۶،۵،۳). با توجه به جهش‌های متعدد گزارش شده در این ژن و نیز وفور نسبی جایگاه DFNB1 به‌عنوان مسئول ناشنوایی در مجموع گزارشات، اهمیت زیاد بررسی تغییرات این ژن در بروز ناشنوایی مشخص می‌گردد. با توجه به اینکه در منطقه آذربایجان شرقی بررسی کامل ژن کانکسین ۲۶ با استفاده از تکنیک قابل اعتماد و اقتصادی SSCP/HA گزارش نشده است، هدف این مطالعه بررسی کلیه تغییرات و جهش‌های ژن مذکور در مبتلایان به ناشنوایی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از تکنیک SSCP/HA می‌باشد.

مواد و روش‌ها

از میان افراد مبتلا به ناشنوایی ارجاع داده شده به کلینیک ژنتیک پزشکی تبریز، پس از انجام معاینه بالینی توسط پزشک متخصص، انجام آزمایشات شنوایی سنجی، تکمیل پرسشنامه و رسم شجره‌نامه، از بین ۱۰۰ فرد مبتلا به ناشنوایی با الگوی وراثتی اتوزوم مغلوب از ۱۰۰ خانواده غیرخویشاوند از منطقه آذربایجان شرقی، انتخاب و از بین این افراد، افرادی که در بررسی قبلی (۸)

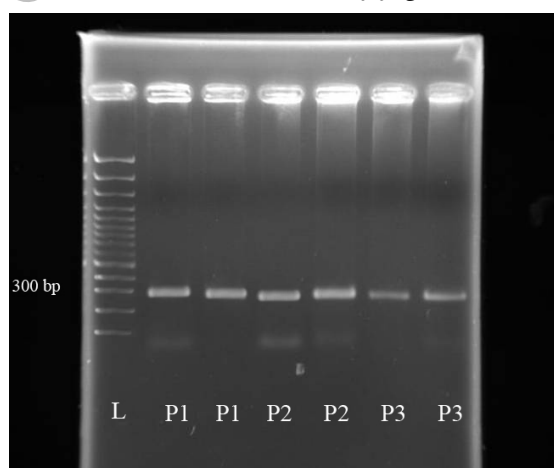
می باشد که تکنیک های ذکر شده تنها قادر به شناسایی جهش های شناخته شده بوده و شناسایی جهش های جدید و ناشناخته با آنها مقدر نمی باشد. در دهه های اخیر شیوع نقص شنوایی اکتسابی در مقایسه با نقص شنوایی ژنتیکی کمتر شده و یک رشد نسبی در جمعیت کودکانی که دارای اختلالات شنوایی ژنتیکی هستند، مشاهده می شود (۱۰). لازم به ذکر است که فراوانی ناشنوایی های ژنتیکی در کشورهای آسیایی از جمله ایران به علت بالا بودن میزان ازدواج های فامیلی، بیشتر از کشورهای اروپایی و آمریکایی بوده و از طرف دیگر در کشورهای اروپایی و آمریکایی به دلیل کاهش عوامل محیطی ناشنوایی، ناشنوایی اکتسابی کاهش یافته است. اطلاعات بدست آمده از آزمایشات ژنتیکی می تواند نقش مهمی در تصمیم گیری های اساسی از جمله تصمیم گیری در روش درمان نظیر استفاده از سمعک یا کاشت حلزون و مشاوره ژنتیکی قبل از ازدواج و قبل از بارداری (و همچنین در دوران بارداری) داشته باشد. بررسی نتایج مطالعات در جمعیت های متعدد درصدهای مختلفی از ارتباط ژن کانکسین ۲۶ با ایجاد ناشنوایی را نشان داده است. در یک مطالعه در کشور ترکیه ارتباط بین ژن کانکسین ۲۶ و ناشنوایی غیرسندرومی با الگوی توارثی اتوزوم مغلوب در ۲۱/۴ درصد موارد (در ۱۴ خانواده) گزارش شده است (۴).

در مطالعه دیگری از همین کشور که بر روی ۶۰ خانواده مبتلا صورت گرفته، در ۳۱/۷ درصد موارد جهش در ژن کانکسین ۲۶ گزارش شده است (۱۱). در مطالعات گزارش شده از کشور ما ارتباط ناشنوایی با ژن کانکسین ۲۶ در یک بررسی ۱۱ درصد (۱۲)، و در بررسی دیگر ۱۶/۷ درصد (۱۳) گزارش شده است. بر اساس گزارشات در اقوام گوناگون جهش های مختلفی از این ژن شیوع دارد که دلالت بر وجود اثر بنیان گذار (Founder Effect) در مورد این ژن دارد (۳). فرکانس آلل ۳۵ delG در جمعیت ترکیه بین ۵۳-۵ درصد گزارش شده است (۱۴، ۱۵). در بررسی های اخیر که ما انجام دادیم، فرکانس این جهش در جمعیت آذربایجان ۱۸ درصد برآورد شده است (۸).

محصولات PCR بر روی ژل SSCP و تعدادی از انواع الگوهای SSCP متفاوت مشاهده شده، در شکل ۲ نشان داده شده است که مربوط به الگوهای متفاوت SSCP از محصولات جهش پرایمر اول و دوم و سوم می باشد. در مجموع در ۶۲ کروموزم (۳۶٪ درصد) بیماران با ناشنوایی غیرسندرومی با الگوی توارثی اتوزوم مغلوب، در الگوی باندهای SSCP/HA ژن کانکسین ۲۶ در مقایسه با افراد سالم تغییر مشاهده شد. بیشترین تنوع الگوی SSCP در قطعه اول ژن که با جهش پرایمر F,3R1 تکثیر شد، مشاهده گردید (۵۰ درصد). این تغییرات در ۱۴ الگوی متفاوت دسته بندی شدند (شکل ۲). الگوی باندهای مشاهده شده در یک فرد ناشنوا، متفاوت از الگوی فرد نرمال و همچنین الگوی مخلوط محصول PCR فرد نرمال و ناشنوا بود (شکل ۳) و در مجموع تغییر در الگو در یک فرد ناشنوا، بصورت هموزیگوت (شکل ۳) بوده و در ۳۰ فرد ناشنوای دیگر (۶۰ کروموزوم) این تفاوت بصورت هتروزیگوت تشخیص داده شد.

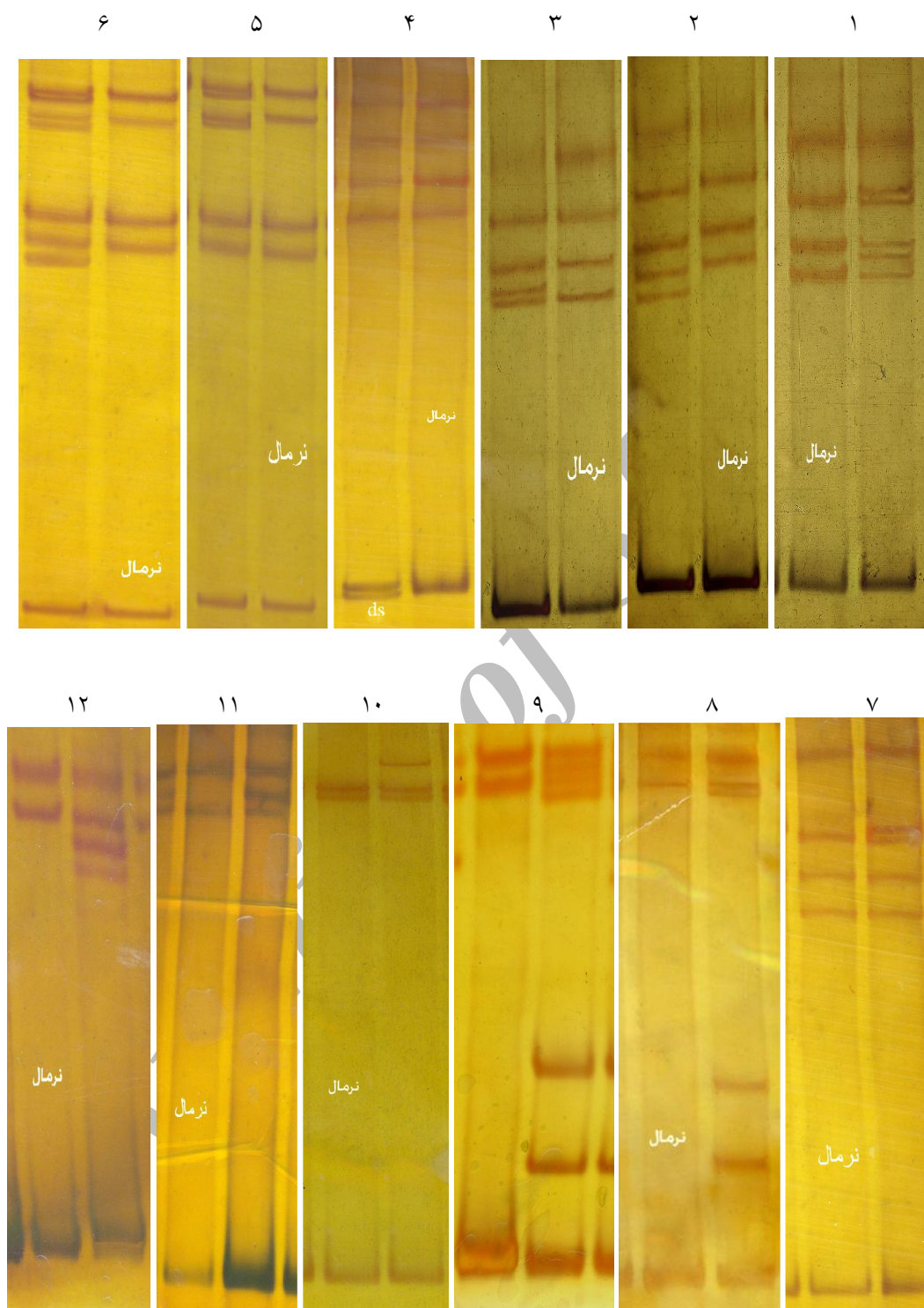
بحث

فراوانی ناشنوایی و پراکنش جهش های مختلف آن در قسمت های مختلف جهان متفاوت می باشد. جهش در ژن های متعددی عامل ایجاد ناشنوایی می باشد و تاکنون تعداد ۳۹ کروموزم و بیش از ۲۳ ژن در این ارتباط شناخته شده است که در بین آنها ژن کانکسین ۲۶ به تنهایی مسئول درصد بالایی از موارد ناشنوایی بوده است (۳). در این تحقیق جهت بررسی این ژن از تکنیک SSCP استفاده گردید. مزیت استفاده از تکنیک SSCP این است که یک روش حساس، دقیق، اقتصادی و با تخصص یافتگی بالا بوده و قادر به شناسایی بیش از ۹۰ درصد از جهش ها می باشد. همچنین در این تکنیک نیازی به استفاده از مواد رادیواکتیو وجود نداشته و از بهترین روش ها برای مطالعه اولیه و تشخیص جهش های ناشناخته درون یک جمعیت است. همچنین تکنیک SSCP در مقایسه با تکنیک هایی نظیر ARMS، RFLP، ASO دارای این برتری

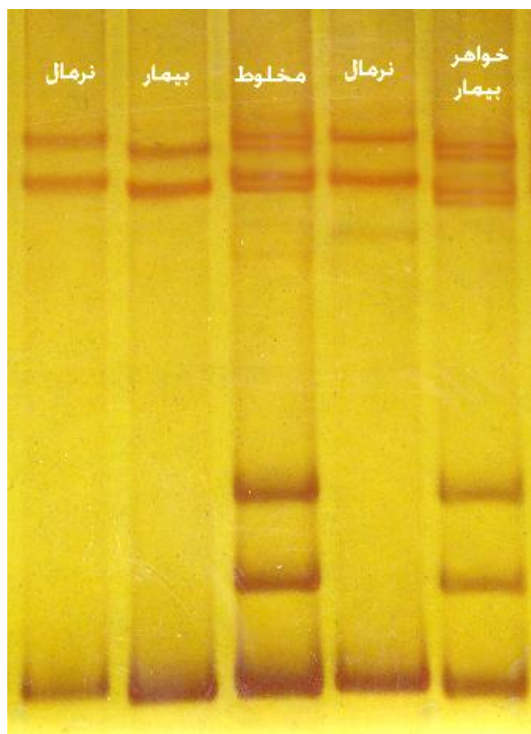


شکل ۱: الکتروفورس محصولات PCR از آزمون دوم ژن کانکسین ۲۶ بر روی ژل آگارز. L مارکر ۱۰۰ جفت باز می باشد. P1، P2 و P3 به ترتیب نشان دهنده محصولات PCR جهش پرایمر اول (F,3R1)، جهش پرایمر دوم (F,15R10) و جهش پرایمر سوم (F,5R1) می باشد.

1. Amplification Refractory Mutation System, ARMS
2. Restriction Fragment Length Polymorphism, RFLP

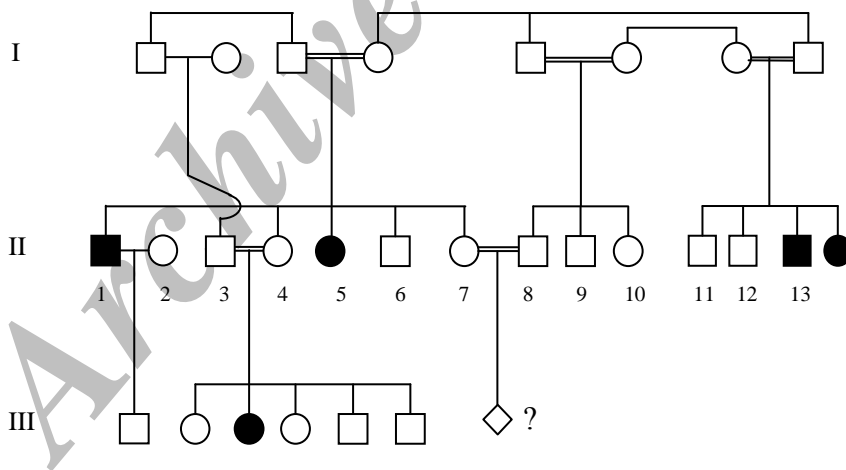


شکل ۲: الگوهای متفاوت بدست آمده از تکنیک SSCP/HA از محصولات PCR ژن کانکسین ۲۶ در افراد نرمال و مبتلا. شماره ۱-۷ روی ژل SSCP مربوط به الکتروفورز محصولات PCR با استفاده از جفت پرایمر اول F,3R۱ الگوی SSCP ۸ و ۹ مربوط به الکتروفورز محصولات PCR با استفاده از جفت پرایمر دوم F,15R۱۰ و الگوی ۱۰ تا ۱۲ مربوط به الکتروفورز محصولات PCR با استفاده از جفت پرایمر سوم F,6R۵ می‌باشد.



شکل ۳: الگوی SSCP بدست آمده از فرد هموزیگوت به جهش در ژن کانکسین ۲۶.

الگوی شماره ۱۳ و ۱۴ روی ژل SSCP مربوط به الکتروفورز محصولات PCR با استفاده از جفت پرایمر F,15R۱۰ یک الگوی هموزیگوت مشاهده شده در یک بیمار و الگوی یکی از اعضا خانواده او بر روی ژل نشان داده شده است، ستون ۱ و ۴ الگوی SSCP افراد سالم بر روی این ژل است. ستون دوم الگوی SSCP فرد بیمار، ستون سوم الگوی SSCP مربوط به مخلوط محصول PCR فرد بیمار با سالم (به منظور تشخیص الگوی هموزیگوت در بیمار)، ستون پنجم الگوی SSCP خواهر سالم فرد ناشنوا، الگوی ۹ می باشد. الگوی SSCP بیمار با افراد نرمال، و همچنین با الگوی مخلوط متفاوت است که نشاندهنده هموزیگوت بودن جهش است.



شکل ۴: شجره نامه مربوط به خانواده‌ای با ازدواج‌های فAMILIAL متعدد

افراد III3 و III5,13,14 و III14 ناشنوا هستند. افراد II7 و II8 (افراد II7 باردار بوده) جهت مشاوره ژنتیکی مراجعه نمودند الگوی شماره ۵ در شکل ۲، الگوی SSCP مشاهده شده در افراد II5, II8, III6 می باشد.

جدول ۱: نتایج کلی بدست آمده از بررسی ناشنوایان با استفاده از تکنیک SSCP.

تعداد بیماران	درصد ازدواج فAMILIAL	درصد کل بیمارانی که در آنها شیفت دیده شده است	درصد بیماران حاصل ازدواج فAMILIAL که در آنها شیفت دیده شده است	تعداد الگوهای مشاهده شده	تعداد الگوهای هتروزیگوت
۸۵	٪۶۷ (۵۷ بیمار)	٪۳۶ (۳۱ بیمار)	٪۵۴	۱۴	۱۳

فرد (۶۷ درصد) محصول ازدواج فامیلی بودند با این وجود برخلاف انتظار، فرکانس جهش‌های هموزیگوت بسیار پائین (۰/۰۳ درصد) بود که این خود می‌تواند دلیل دیگری بر تعدد و تنوع جهش‌های ژن کانکسین ۲۶ در این منطقه باشد. بررسی‌های بیشتر از تغییرات احتمالی سایر ژن‌های درگیر در ایجاد ناشنوایی در بیماران منطقه آذربایجان شرقی حائز اهمیت می‌باشد.

نتیجه گیری

الگوی متفاوت بانندی SSCP برای آگرون ۲ ژن کانکسین ۲۶ در مقایسه با افراد نرمال در ۳۶٪ از کروموزوم‌های مورد بررسی از خانواده‌های مبتلا از آذربایجان شرقی مشاهده شد که ضرورت بررسی این ژن را در قدم اول برای الگوهای مشخص شده نشان می‌دهد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از خانواده‌های مبتلا که کمال همکاری را در این مطالعه داشتند، همچنین از سرکار خانم ابراهیمی برای خونگیری از مبتلایان سپاسگزار می‌باشند. این پروژه توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز حمایت مالی شده است.

References

- Prasad S, Cucci RA, Green GE, Smith RJH. Genetic testing for hereditary hearing loss: Connexin 26 (GJB2) allele variants and two novel deafness-causing mutations (R32C and 645-648delTAGA). *Human Mutation* 2000; **16**: 502-508.
- Snoeckx RL, Huygen PLM, Feldmann D, Marlin S, Denoyelle F, Waligora J, et al. GJB2 mutations and degree of hearing loss: a multicenter study. *Am J Hum Genet* 2005; **77**: 945-957.
- Petersen MB, Willems PJ. Non-syndromic, autosomal-recessive deafness. *Clin Genet* 2006; **69**: 371-392.
- Bayazit YA, Cable BB, Cataloluk O, Kara C, Chamberlin P, Smith RJ, et al. GJB2 gene mutations causing familial hereditary deafness in Turkey. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2003; **67**: 1331-1335.
- Morell RJ, Kim HJ, Hood LJ, Goforth L, Friderici K, Fisher R, et al. Mutations in the connexin 26 gene (GJB2) among Ashkenazi Jews with nonsyndromic recessive deafness. *N Engl J Med* 1998; **339**: 1500-1505.
- Fuse Y, Doi K, Hasegawa T, Suggii A, Hibino H, Kubo T. Three novel connexin26 gene mutations in autosomal recessive non-syndromic deafness. *NeuroReport* 1999; **10**: 1853-1857.
- Brobby GW, Muller-Myhsok B, Horstmann RD. Connexin 26 R143W mutation associated with recessive nonsyndromic sensorineural deafness in Africa. *N Engl J Med* 1998; **338**: 548-550.
- Esmaili M, Bonyadi M, Nejadkazem M. Common mutation analysis of GJB2 and GJB6 genes in affected families with autosomal recessive non-syndromic hearing loss from Iran: simultaneous detection of two common mutations (35delG/del(GJB6-D13S1830)) in the DFNB1-related deafness. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2007; **71**: 869-73.
- Miller SA, Dykes DD, Polesky HF. A simple salting out procedure for extraction DNA from human nucleated cells. *Nucleic Acids Research* 1998; **16**: 1215.
- Kenneth M, Grundfast Spirasky NB, Chuong MS. Genetic and molecular biology of deafness, *Syndromic and other congenital anomalies of the head and neck*, 2000; 336
- Uyguner O, Emiroglu M, Uzumcu A, Hafiz G, Ghanbari A, Baserer N, et al. Frequencies of gap- and tight-junction mutations in Turkish families with autosomal-recessive non-syndromic hearing loss. *Clin Genet*. 2003; **64**: 65-69.
- Najmabadi H, Cucci RA, Sahebjam S, Kouchakian N, Farhadi M, Kahrizi K, et al. GJB2 mutations in Iranians with autosomal recessive non-syndromic sensorineural hearing loss. *Hum Mutat* 2002; **19**: 572.
- Najmabadi H, Nishimura C, Kahrizi K, Riazalhosseini Y, Malekpour M, Daneshi A, et al. GJB2 mutations-passage through Iran. *A J Med Genet* 2005; **133**: 132-137.
- Baris I, Kilinc MO, Tolun A. Frequency of the 35delG mutation in the connexin 26 gene in Turkish hearing-impaired patients. *Clin Genet* 2001; **60**: 452-455.
- Tekin M, Duman T, Bogoclu G, Incesulu A, Comak E, Ilhan I, et al. Spectrum of GJB2 mutations in Turkey comprises both Caucasian and Oriental variants: Roles of parental consanguinity and assortative mating. *Hum Mutat* 2003; **21**: 552-553.