

ویژگی‌های سیستم ترشحي نوع ۳ در نمونه‌های سودوموناس ائروژینوزای جدا شده از بیماران مبتلا به سیستمیک فیبروزیس

رباب آذرگون^۱، فرح‌نوش دوستدار^۱، قمر تاج خانابابایی^۲، مونا قاضی^۱، فرامرز مهرنژاد^۳، حسین گودرزی^۱

^۱ مرکز تحقیقات بیماریهای عفونی و گرمسیری، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
^۲ گروه میکروب شناسی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
^۳ متخصص ریه اطفال، بیمارستان مفید کودکان، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی
^۳ گروه علوم مهندسی زیستی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

سابقه و هدف: مطالعات کمی در مورد فاکتورهای ویروالانس باکتری در شرایط و بیماری‌های مزمنی مثل سیستمیک فیبروزیس انجام شده است. بنابراین خلط بیماران مبتلا سیستمیک فیبروزیس که از مهر ماه ۱۳۹۰ تا مهرماه ۱۳۹۱ به بیمارستان مفید مراجعه کرده بودند در رابطه با تعیین ژن‌های مرتبط با سیستم ترشحي نوع ۳ (*exoU*، *exoS*، *exoT*) مورد بررسی قرار گرفتند.

روش بررسی: در این تحقیق توصیفی، بر روی سودوموناس ائروژینوزا ۵۱ بیمار تست حساسیت آنتی بیوتیکی با روش دیسک دیفیوژن انجام شد. همچنین برای تعیین توزیع ژن‌های کد کننده توکسین *ExoU*، *ExoS* و *ExoT* در نمونه‌ها از تکنیک *PCR* استفاده شد.

یافته‌ها: از ۵۱ نمونه سودوموناس ائروژینوزا، ۶۶/۷٪ مقاوم به تری متوپریم، ۳۷/۲٪ مقاوم به جنتامایسین، ۲۱/۵٪ مقاوم به امیکاسین و سفپیم، ۱۹/۶٪ مقاوم به توبرامایسین، ۱۵/۷٪ مقاوم به سیپروفلوکساسین، ۱۳/۷٪ مقاوم به امپینم و ۹/۸٪ مقاوم به سفنازیدیم بودند. نتایج *PCR* نشان داد که ۹۰/۲ درصد حاوی ژن *exoT*، ۷۸/۴ درصد حاوی ژن *exoS* و ۲۵/۵ درصد حاوی ژن *exoU* بودند.

نتیجه‌گیری: در این مطالعه، مقاومت هم‌زمان بر علیه آنتی‌بیوتیک‌های گروه آمینوگلیکوزیدها (جنتامایسین)، فلونوروکوتینولون‌ها (سیپروفلوکساسین) و سفالوسپورین‌های وسیع الطیف (سفپیم یا سفنازیدیم) در ۱۳/۷٪ نشانه شروع ظهور مقاومت به چند دارو در این نمونه‌ها می‌باشد. با توجه به نتایج این مطالعه، احتمالاً نمونه‌های حاوی ژن *exoS* در مقایسه با نمونه‌های حاوی ژن *exoU* برای بقا در مجاری تنفسی بیماران مبتلا به سیستمیک فیبروزیس مناسب‌تر هستند.

واژگان کلیدی: سودوموناس ائروژینوزا، سیستمیک فیبروزیس، فاکتورهای ویروالانس، سیستم ترشحي نوع ۳.

مقدمه

در افراد با نقص ایمنی است (۱). در صورت درمان سریع احتمال بهبودی عفونت‌های سودوموناس ائروژینوزا وجود دارد، ولی هیچ آنتی بیوتیکی قادر به ریشه کنی عفونت‌های مزمن سودوموناس ائروژینوزا نمی‌باشد (۲). سیستمیک فیبروزیس ریه و همچنین پانکراس، کبد و روده را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۳). سیستمیک فیبروزیس با موتاسیون درژن تنظیمی انتقال دهنده غشایی

سودوموناس ائروژینوزا پاتوژن فرصت طلب انسانی است که عامل عفونت‌های خطرناک خونی، ریوی، زخم و سوختگی به خصوص

با تعیین ژن‌های مرتبط با سیستم ترشحی نوع ۳ (exoT)، (exoU، exoS) مورد بررسی قرار گرفتند. سویه استاندارد ATCC27853 سودوموناس اثرورژینوزا به عنوان کنترل مثبت استفاده شد.

نمونه‌های جمع‌آوری شده در محیط‌های کشت آگار خون‌دار و مک کانگی آگار کشت داده شدند و به مدت ۲۴ ساعت در ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. کلنی‌های مشکوک با استفاده از تست‌های تشخیصی و بیوشیمیایی مورد تأیید قرار گرفتند. سوش‌ها در دمای ۷۰- درجه سانتی‌گراد در محیط حاوی ۳۰٪ گلیسرول ذخیره گردیدند.

تست آنتی بیوگرام به روش دیسک دیفیوژن (Kirby - Baur) بر اساس استانداردهای CLSI انجام شد. دیسک‌های آنتی-بیوتیکی (MAST) که مورد استفاده قرار گرفتند شامل: توبرامایسین ۱۰ μg، جنتامایسین ۱۰ μg، آمیکاسین ۳۰ μg، سفنازیدیم ۳۰ μg، سفپیم ۳۰ μg، مروپنم ۱۰ μg، ایمی‌پنم ۱۰ μg، سیپروفلوکساسین ۵ μg، تریمت‌سوپریم ۵ μg و پپراسیلین-تازوباکتام ۱۰ μg بودند.

به منظور استخراج DNA جهت انجام PCR از روش فنل کلر فورم استفاده شد. آزمون PCR جهت بررسی ژن‌های exoS، exoU، exoT با استفاده از پرایمرها و دماهای ذکر شده در جدول ۱ انجام شد (۱۲).

ترکیبات و مواد استفاده شده در این واکنش به شرح زیر بود: پرایمر با غلظت ۳۰ پیکومول، بافر ۱۰x، ۱/۵ mgCl₂ میلی-مول، آنزیم Taq DNA Polymerase ۱ واحد، ۲۰۰ dNTP میلی مول. در نهایت محصولات هر ژن توسط ژل آگارز ۱/۵ درصد مشاهده شد.

یافته‌ها

تحقیق بر روی ۵۱ بیمار انجام شد. سن بیماران از ۴ ماهگی تا ۱۷ سالگی متغیر بود و همچنین ۵۳٪ بیماران مذکر و ۴۷٪ مونث بودند. ۳۴ نمونه (۶۶/۷٪) مقاوم به تری متوپریم، ۱۹ نمونه (۳۷/۲٪) مقاوم به جنتامایسین، ۱۱ نمونه (۲۱/۵٪) مقاوم به امیکاسین و سفپیم، ۱۰ نمونه (۱۹/۶٪) مقاوم به توبرامایسین، ۸ نمونه (۱۵/۶٪) مقاوم به سیپروفلوکساسین، ۷ نمونه (۱۳/۷٪) مقاوم به ایمپنم، ۵ نمونه (۹/۸٪) مقاوم به سفنازیدیم، ۳ نمونه (۵/۸٪) مقاوم به مروپنم و ۰ نمونه (۰٪) مقاوم به پپراسیلین-تازوباکتام بودند.

مقاومت هم‌زمان بر علیه آنتی‌بیوتیک‌ها از گروه آمینوگلیکوزیدها (جنتامایسین)، فلونوروکوئینولون‌ها

سیستیک فیبروزیس (Cystic Fibrosis Transmembrane Regulator (CFTR) ایجاد می‌شود (۴). سودوموناس اثرورژینوزا به طور مزمن در ریه افراد مبتلا سیستیک فیبروزیس کلونیزه می‌شود و در نهایت منجر به نقص تنفسی و مرگ می‌گردد (۵). سودوموناس اثرورژینوزا برای ایجاد عفونت از فاکتورهای ویروالاس داخلی و خارجی زیادی استفاده می‌کند که شامل پیوسیانین، لپاز، پروتئازها، فسفولیپاز و رامنولپید می‌باشد. در بیماران دارای نقص ایمنی و مبتلا به سیستیک فیبروزیس سیستم ترشحی نوع ۳ در شروع عفونت دیده می‌شود (۶). سیستم ترشحی نوع ۳ یکی از مهم‌ترین سیستم‌های ترشحی در باکتری‌ها می‌باشد که فاکتورهای ویروالاس را به درون سلول میزبان وارد می‌کند (۷). سه سم موثر در بیماری‌زایی در سودوموناس اثرورژینوزا که مورد شناسایی قرار گرفته است شامل توکسین‌های ExoT، ExoS و ExoU می‌باشد که توسط سیستم ترشحی نوع ۳ به درون سلول میزبان ترشح می‌گردد (۸). توکسین‌های ExoS و ExoT توکسین‌های دو عملکردی هستند که هم فعالیت فعال کنندگی GTPase (GAP) و هم فعالیت ریبوزیل ترانسفراز (ADPRT) دارد (۹). فعالیت‌های GAP و ADPRT باعث تخریب اکتین اسکلت سلولی و مرگ سلولی می‌گردند (۹، ۱۰). ExoU فعالیت فسفولیپازی دارد که موجب لیز سلول‌های یوکاریوتی می‌شود (۱۱).

برخلاف مطالعات زیادی که بر روی فاکتورهای ویروالاس باکتری در شرایط و بیماری‌های حاد صورت گرفته، مطالعات کمتری در مورد فاکتورهای ویروالاس باکتری در شرایط و بیماری‌های مزمنی مثل سیستیک فیبروزیس انجام گرفته است.

بنابراین با توجه به اهمیت باکتری سودوموناس اثرورژینوزا در عفونت‌های ریوی و سیستیک فیبروزیس شناسایی هرچه بیشتر فاکتورهای ویروالاس مرتبط با این بیماری‌ها در هر جامعه کلینیکی خاص می‌تواند به توسعه راه‌های مناسبتر برای کنترل عفونت‌های ناشی از آن کمک نماید. برای کنترل بهتر عفونت‌های ریوی ناشی از سودوموناس اثرورژینوزا، در این تحقیق هدف این است که خصوصیات ژن‌های سیستم ترشحی نوع ۳ سودوموناس اثرورژینوزای مرتبط با عفونت‌های ریوی بیماران سیستیک فیبروزیس در نمونه‌های ایرانی مراجعه کننده به بیمارستان مفید طی سال‌های ۹۱-۱۳۹۰ مورد مطالعه قرار گیرند.

مواد و روشها

در این مطالعه توصیفی، ۵۱ نمونه سودوموناس اثرورژینوزای جدا شده از خلط بیماران مبتلا سیستیک فیبروزیس در رابطه

جدول ۱. توالی پرایمر ها و دماهای مورد استفاده برای واکنش PCR

ژن	PCR			توالی پرایمر	پرایمر
	سیکل	طویل شدن	اتصال		
۱۱۸ bp				GCG AGG TCA GCA GAG TAT CG	exoS
				TTC GGC GTC ACT GTG GAT GC	exoS
۱۵۲ bp				AAT CGC CGT CCA ACT GCA TGC G	exoT
				TGT TCG CCG AGG TAC TGC TC	exoT
۱۳۴ bp		۷۲°C	۵۵°C	CCG TTG TGG TGC CGT TGA AG	exoU
	۳۶	۱ دقیقه	۳۰ ثانیه	CCA GAT GTT CAC CGA CTC GC	exoU
			۳۰ ثانیه		

سیستیک فیبروزیس نشان می‌دهد. بسیاری از بیماران مبتلا به سیستیک فیبروزیس علیه توکسین‌های مترشحه از سیستم ترشچی نوع ۳ آنتی بادی تولید می‌کنند که نشان دهنده وجود این توکسین‌ها در باکتری‌های سودوموناس آئروژینوزای موجود در این بیماران می‌باشد (۱۴).

این تحقیق نشان داد که اکثر نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزای جدا شده از بیماران مبتلا به سیستیک فیبروزیس، حاوی ژن‌های کد کننده توکسین‌های مترشحه از سیستم ترشچی نوع ۳ بودند. بدین ترتیب که فراوانی ژن‌های ExoT، ExoS و ExoU در نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزا به ترتیب ۹۰/۲، ۷۸/۴ و ۲۵/۵ درصد بود.

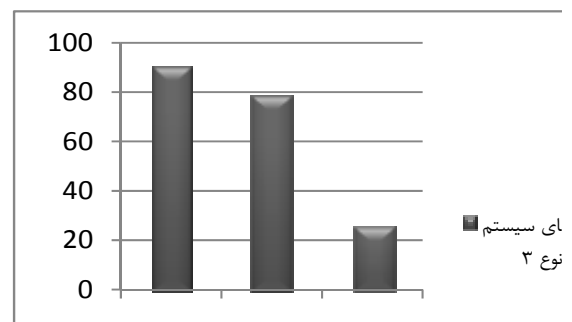
در مطالعات مختلف، فلتمن و همکارانش در سال ۲۰۰۱، میگان و همکارانش در سال ۲۰۰۲، تینگچ و همکارانش در سال ۲۰۰۷، دیوید و همکارانش در سال ۲۰۰۷ و هارمر و همکارانش در سال ۲۰۱۲ نشان دادند که در نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزا جدا شده از بیماران مبتلا به سیستیک فیبروزیس میزان ژن‌های ExoS و ExoT بیشتر و میزان ژن ExoU کمتر می‌باشد که با مطالعه ما سازگار است (۱۹-۱۵).

ترشح توکسین‌های ExoS و ExoU منجر به مرگ سلول میزبان، تخریب بافت و در نتیجه افزایش پاسخ التهابی می‌شود. چنین اثری منجر به تشدید بیماری در بیماران با عفونت‌های حاد مثل ذات‌الریه اکتسابی بیمارستانی می‌شود، اما در نهایت می‌تواند منجر به پاک‌سازی ارگانسیم شود و در نتیجه مانع پایداری طولانی مدت باکتری در مسیرهای هوایی بیماران مبتلا به سیستیک فیبروزیس می‌گردد. بنابراین کاهش بیان این فاکتورهای ویروالانس یک روش کلی است که نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزا برای پایداری طولانی مدت در محیط ریوی استفاده می‌کنند. جالب توجه اینکه نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزای دارای سیستم ترشچی نوع ۳ که از بیماران مبتلا به سیستیک فیبروزیس جدا شده اند نسبت به

(سیپروفلوکساسین) و سفالوسپورین‌های وسیع الطیف (سفپیم یا سفتازیدیم) در ۱۳/۷٪ از نمونه‌ها مشاهده شد (جدول ۲). نتایج PCR مربوط به ویژگی‌های سیستم ترشچی نوع ۳ در نمودار ۱ ارائه گردیده است و نشان می‌دهد که از ۵۱ نمونه سودوموناس آئروژینوزای جدا شده از بیماران مبتلا به سیستیک فیبروزیس، ۴۶٪ نمونه یا ۹۰/۲ درصد حاوی ژن ExoT، ۴۰٪ نمونه یا ۷۸/۴٪ درصد حاوی ژن ExoS و ۱۳٪ نمونه یا ۲۵/۵ درصد حاوی ژن ExoU بودند.

جدول ۲. فراوانی نمونه‌های مقاوم به چند آنتی بیوتیک

مقاومت به آنتی بیوتیک‌ها	مقاوم به جنتامایسین
۱ فقط مقاوم به جنتامایسین	۳(۳/۹)٪
۲ مقاوم به جنتامایسین و سیپروفلوکساسین	۳(۳/۹)٪
۳ فقط مقاوم به سیپروفلوکساسین	۱(۱/۹)٪
۴ مقاوم به جنتامایسین و سیپروفلوکساسین و سفتازیدیم	۳(۳/۹)٪
۵ مقاوم به جنتامایسین و سفتازیدیم	۳(۵/۸)٪



نمودار ۱. توزیع ۵۱ بیمار مبتلا به سیستیک فیبروزیس بر حسب توکسین‌های سیستم ترشچی نوع ۳

بحث

با وجود آنکه سیستم ترشچی نوع ۳ سودوموناس آئروژینوزا نقش اصلی را در عفونت‌های حاد بازی می‌کند. شواهدی وجود دارد که نقش این سیستم را در عفونت‌های مزمن مثل

ایمیپنم ۸۶/۲٪، سفپیم و آمیکاسین ۷۸/۴٪، جنتامایسین ۶۲/۷٪، توبرامایسین ۸۰/۳٪ و تری-متوپریم ۳۳/۳٪ در مطالعه‌ای که دکتر افتخار و همکارانش در ایران در سال ۲۰۰۳ روی نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزای جدا شده از بیماران مبتلا به سیستمیک فیبروزیس انجام دادند میزان حساسیت به آنتی بیوتیک‌ها به قرار زیر بود: ایمپنم ۱۰۰٪، سیپروفلوکسازین ۹۰/۵٪، سفنازیدیم و توبرامایسین ۸۵/۷٪، آمیکاسین و پپراسیلین-تازوباکتام ۸۱٪ و جنتامایسین ۶۲٪. همان طور که مشاهده می‌شود در مورد اکثر آنتی‌بیوتیک‌ها

نتایج این تحقیق با تحقیق حاضر نزدیک به هم می‌باشد. از طرف دیگر مصرف طولانی و مکرر آنتی‌بیوتیک در درمان این بیماران احتمال ایجاد مقاومت هم‌زمان نسبت به چند آنتی‌بیوتیک را در سوبه‌های سودوموناس آئروژینوزا افزایش می‌دهد. در مطالعه‌ای که اگرال و همکارانش در سال ۲۰۰۵ در هند روی بیماران سیستمیک فیبروزیس انجام دادند، ۴۱٪ ایزوله‌ها مقاومت هم‌زمان به چند آنتی‌بیوتیک مهم در درمان این بیماران از جمله جنتامایسین، سیپروفلوکسازین، پپراسیلین و سفنازیدیم را نشان دادند (۱۳). در مطالعه حاضر نیز مقاومت هم‌زمان بر علیه آنتی‌بیوتیک‌ها از گروه آمینوگلیکوزیدها (جنتامایسین)، فلوروکوئینولون‌ها (سیپروفلوکسازین) و سفالوسپورین‌های وسیع الطیف (سفپیم یا سفنازیدیم) در ۱۳/۷٪ از نمونه‌ها مشاهده شد. در مطالعاتی که در سال‌های اخیر در مورد آنتی‌بیوتیک‌های استنشاقی صورت گرفته است، محللول استنشاقی توبرامایسین و سیپروفلوکسازین در کاهش مرگ و میر ناشی از عفونت مزمن سودوموناس آئروژینوزا در بیماران مبتلا به سیستمیک فیبروزیس موثر بوده است. ولی با وجود مفید بودن این آنتی‌بیوتیک‌ها با توجه به افزایش مقاومت آنتی‌بیوتیکی نگرانی‌های وجود دارد (۱۷-۱۹). در مطالعه حاضر مقاومت به توبرامایسین به میزان ۱۹/۶٪ و به سیپروفلوکسازین ۱۵/۶٪ مشاهده شد که نشان دهنده شروع ایجاد مقاومت نسبت به این آنتی‌بیوتیک‌ها می‌باشد.

نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزای جدا شده از بیماران با عفونت‌های حاد سم‌های متفاوتی تولید می‌کنند. اگرچه درصد بالایی از نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزای دارای سیستم ترشحي نوع ۳ که از بیماران با عفونت حاد مثل ذات‌الریه اکتسابی بیمارستانی جدا شده‌اند توکسین ExoU ترشح می‌کنند، درصد بسیار کمتری از این نمونه‌ها که از بیماران مبتلا به سیستمیک فیبروزیس جدا شده‌اند این توکسین را ترشح می‌کنند. در بین نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزای دارای سیستم ترشحي نوع ۳ ترشح توکسین ExoU معمولا با ترشح توکسین ExoS رابطه معکوس دارد. این نتایج با گزارش‌های قبلی که بیان می‌داشت که نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزای حاوی ژن exoU در بیماران مبتلا به سیستمیک فیبروزیس در مقایسه با نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزای حاوی این ژن در بیماران با پنومونی حاد بسیار کمتر است، سازگار است. همچنین نمونه‌های سودوموناس آئروژینوزای حاوی ژن exoS در بیماران مبتلا به سیستمیک فیبروزیس بسیار بیشتر است. در مطالعه ما نیز فراوانی ژن exoS به میزان ۷۵٪ در مقایسه با فراوانی ژن exoU به میزان ۲۵٪ در تعداد بیشتری از بیماران مورد شناسایی قرار گرفت (۱۵، ۲۰). تفسیری که می‌شود برای این مشاهدات ارائه داد این است که نمونه‌های حاوی ژن exoS در مقایسه با نمونه‌های حاوی ژن exoU برای بقا در مجاری تنفسی بیماران مبتلا به سیستمیک فیبروزیس مناسب تر هستند.

بیماران مبتلا به سیستمیک فیبروزیس به محض آلودگی اولیه با سودوموناس آئروژینوزا باید سریعاً درمان شوند، وگرنه عفونت مزمن می‌شود که در این صورت ریشه کنی سودوموناس آئروژینوزا مشکل می‌باشد. یکی از یافته‌های مهم این تحقیق تعیین میزان حساسیت باکتری‌های جدا شده به آنتی‌بیوتیک‌ها بود که نشان داد بیشترین حساسیت نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های پپراسیلین-تازوباکتام (۱۰۰٪)، مروپنم (۹۴/۱٪) و سفنازیدیم (۹۰/۲٪) بود و درصد حساسیت نسبت به سایر آنتی‌بیوتیک‌ها بدین ترتیب بود: سیپروفلوکسازین ۸۴/۳٪.

REFERENCES

1. Mariencheck WI, Alcorn JF, Palmer SM, Wright JR. Pseudomonas aeruginosa elastase degrades surfactant proteins A and D. *Am J Respir Cell Mol Biol* 2003;28:528-37.
2. Langton Hwer SC, Smyth AR. Antibiotic strategies for eradicating Pseudomonas aeruginosa in people with cystic fibrosis. *Cochrane Database Syst Rev* 2009; 7:CD004197.
3. Riordan JR, Rommens JM, Kerem B, Alon N, Rozmahel R, Grzelczak Z, et al. Identification of the cystic fibrosis gene: cloning and characterization of complementary DNA. *Science* 1989; 245:1066-73.
4. Kerem B, Rommens JM, Buchanan JA, Markiewicz D, Cox TK, Chakravarti A, et al. Identification of the cystic fibrosis gene: genetic analysis. *Science* 1989 8;245:1073-80.

5. Wilson R, Dowling RB. Lung infections. 3. *Pseudomonas aeruginosa* and other related species. *Thorax* 1998; 53:213-9.
6. Wiehlmann L, Wagner G, Cramer N, Siebert B, Gudowius P, Morales G, et al. Population structure of *Pseudomonas aeruginosa*. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2007; 104:8101-6.
7. Yahr TL, Goranson J, Frank DW. Exoenzyme S of *Pseudomonas aeruginosa* is secreted by a type III pathway. *Mol Microbiol* 1996; 22:991-1003.
8. Sun Y, Karmakar M, Taylor PR, Rietsch A, Pearlman E. ExoS and ExoT ADP ribosyltransferase activities mediate *Pseudomonas aeruginosa* keratitis by promoting neutrophil apoptosis and bacterial survival. *J Immunol* 2012; 188:1884-95.
9. Barbieri JT, Sun J. *Pseudomonas aeruginosa* ExoS and ExoT. *Rev Physiol Biochem Pharmacol* 2004;152:79-92.
10. Hauser AR. The type III secretion system of *Pseudomonas aeruginosa*: infection by injection. *Nat Rev Microbiol* 2009;7:654-65.
11. Cystic Fibrosis Foundation: Patient Registry 1998 annual data report. Bethesda MD: Cystic fibrosis Foundation; 1999.
12. Ajayi T, Allmond LR, Sawa T, Wiener-Kronish JP. Single-nucleotide-polymorphism mapping of the *Pseudomonas aeruginosa* type III secretion toxins for development of a diagnostic multiplex PCR system. *J Clin Microbiol* 2003;41:3526-31.
13. Agarwal G, Kapil A, Kabra SK, Das BK, Dwivedi SN. Characterization of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from chronically infected children with cystic fibrosis in India. *BMC Microbiol* 2005;5:43.
14. Moss J, Ehrmantraut ME, Banwart BD, Frank DW, Barbieri JT. Sera from adult patients with cystic fibrosis contain antibodies to *Pseudomonas aeruginosa* type III apparatus. *Infect Immun* 2001;69:1185-8.
15. Feltman H, Schulert G, Khan S, Jain M, Peterson L, Hauser AR. Prevalence of type III secretion genes in clinical and environmental isolates of *Pseudomonas aeruginosa*. *Microbiology* 2001;147:2659-69.
16. Stevens MJ, Ferguson M. Biology Do, University CC. Analysis of the *exoS*, *exoT*, and *exoU* genes in *P. aeruginosa* cystic fibrosis isolates. 2002.
17. Tingpej P, Smith L, Rose B, Zhu H, Conibear T, Al Nassafi K, et al. Phenotypic characterization of clonal and nonclonal *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from lungs of adults with cystic fibrosis. *J Clin Microbiol* 2007;45:1697-704.
18. Wareham DW, Curtis MA. A genotypic and phenotypic comparison of type III secretion profiles of *Pseudomonas aeruginosa* cystic fibrosis and bacteremia isolates. *Int J Med Microbiol* 2007; 297:227-34.
19. Hu H, Harmer C, Anuj S, Wainwright CE, Manos J, Cheney J, et al. Type 3 secretion system effector genotype and secretion phenotype of longitudinally collected *Pseudomonas aeruginosa* isolates from young children diagnosed with cystic fibrosis following newborn screening. *Clin Microbiol Infect* 2013; 19: 266-272.
20. Jain M, Ramirez D, Seshadri R, Cullina JF, Powers CA, Schulert GS, et al. Type III secretion phenotypes of *Pseudomonas aeruginosa* strains change during infection of individuals with cystic fibrosis. *J Clin Microbiol* 2004; 42:5229-37.