

ترکیبات KIR-HLA و استعداد ابتلا به سل

فرهاد شاهسوار^۱، علیرضا آذرگون^۲، طاهره موسوی^۳، سهیلا اکبری^۲

۱- گروه ایمنولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.

۲- دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران.

۳- گروه ایمنولوژی، مرکز تحقیقات مقاومت‌های میکروبی، پردیس همت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

یافته / دوره چهاردهم / شماره ۵ / زمستان ۹۱ / مسلسل ۵۴

چکیده

دریافت مقاله: ۹۱/۶/۲۰، پذیرش مقاله: ۹۱/۹/۱۵

*** مقدمه:** سل (TB) که به وسیله مایکوباکتریوم توبرکلوزیس (Mtb) ایجاد می‌گردد، با حدود ۹ میلیون مورد جدید و تقریباً ۲ میلیون مرگ در هر سال، یک معضل مهم سلامتی عمومی در سراسر دنیا است. عموماً پاسخ‌های ایمنی انسان از گسترش Mtb جلوگیری می‌کند و عفونت در یک حالت نهفته باقی می‌ماند. هر دو پاسخ‌های ایمنی ذاتی و اکتسابی علیه TB درگیر می‌باشند. با این وجود نقش ایمنی ذاتی هنوز به خوبی مشخص نشده است. سلول‌های کشنده طبیعی (NK) از طریق مکانیسم‌هایی از قبیل سایتوتوکسیسیتی و تولید سایتوکاین، در میان اولین خط دفاع علیه عفونت‌ها می‌باشند. توانایی سایتوتوکسیسیتی NK به پذیرنده‌های شبه ایمونوگلوبولینی سلول کشنده (KIR) موجود بر روی سطح سلول مربوط می‌شود. مجموعه ژنی KIR بر روی کروموزوم ۱۹ در کمپلکس پذیرنده لکوسیت قرار دارد. پروتئین‌های KIR به‌عنوان پذیرنده‌هایی عمل می‌کنند که مولکول‌های آنتی‌ژن لکوسیتی انسان (HLA) کلاس I را شناسایی می‌کنند و به طور مستقیم در فعالیت و مهار سلول‌های NK درگیر می‌باشند. KIRها و لیگاندهای HLA کلاس I آنها در پاتوژن‌های مختلف بیماری‌ها مشارکت دارند. عدم تعادل KIRهای مهارتی و فعال‌کنندگی، عامل کلیدی است که می‌تواند پاتوژن TB را تحت تأثیر قرار دهد. با این وجود نقش ترکیبات KIR-HLA در تعیین استعداد ابتلا به TB یک موضوع قابل بحث است. این مقاله مروری خصوصیات اصلی این ژن‌ها را خلاصه کرده و بحث می‌کند که چگونه ممکن است آنها در پاتوژن TB درگیر باشند.

*** واژه‌های کلیدی:** پذیرنده‌های شبه ایمونوگلوبولینی سلول کشنده، آنتی‌ژن لکوسیتی انسان، سل.

آدرس مکاتبه: تهران، دانشگاه علوم پزشکی تهران، پردیس همت، دانشکده پزشکی، گروه ایمنولوژی

پست الکترونیک: tshabestari@sina.tums.ac.ir

مقدمه

سل (TB)^۱ که عامل آن باسیلی اسید فاست به نام مایکوباکتریوم توبرکلوزیس (Mtb) می باشد، با حدود ۹ میلیون مورد جدید ابتلا و تقریباً ۲ میلیون مرگ و میر سالانه، یک بیماری عفونی شایع مهم در سراسر دنیا می باشد (۱). پاسخ های ایمنی ذاتی و اکتسابی علیه TB درگیر می باشند (۲). با این وجود نقش ایمنی ذاتی که در محدود کردن عفونت ها قابل توجه می باشد، در بیماری سل همواره مورد بحث بوده است (۳). در حدود یک سوم جمعیت جهان به این باکتری آلوده اند، در حالی که تنها ۵-۱۰ درصد از آنها به سل فعال مبتلا می شوند. بررسی ها نشان می دهند که حساسیت افراد مختلف به این بیماری و همچنین تفاوت دوره و سیر بیماری در افراد مختلف می تواند ناشی از فاکتورهای میزبان و حساسیت ژنتیکی افراد مختلف به این بیماری باشد (۴). از فاکتورهای ژنتیکی متعددی که در استعداد ابتلا به سل نقش دارند می توان به IL-10, IFNGR1, NOS2A, SLC11A1, TLRها، NRAMP1، TNF-α و KIRها اشاره کرد (۵-۱۶).

از این میان جدیدترین آنها، مجموعه ژنی پذیرنده های شبه ایمونوگلوبولینی سلول کشنده (KIR)^۲ بر روی کروموزوم ۱۹ می باشد (۱۶). KIRها با موتیف های خاصی از مولکول های آنتی ژن لکوسیتی انسان (HLA)^۳ کلاس I برهمکنش داده و فعالیت لیزکنندگی سلول های کشنده طبیعی (NK)^۴ را تعدیل می کنند (۱۷). اگرچه ژنوتیپ های KIR-HLA با مهار بیشتر و فعالیت کمتر در استعداد ابتلا به عفونت ها، سرطان ها و برخی بیماری ها نقش دارند (۲۲-۱۸)، ولی احتمالاً در اختلالات التهابی و خودایمنی مانند بیماری التهابی روده، پسوریازیس، اسپوندیلیت انکیلوزان و اختلالات تولیدمثلی سودمند به نظر می رسند (۲۶-۲۳). در واقع، نتایج حاصله از یک مکانیسم براساس طیفی از مهار تا فعالیت سلول NK از طریق

ژنوتیپ های مختلف KIR-HLA در شرایط بیماری حمایت می کنند (۲۷، ۲۸). با توجه به مطالب فوق در این مقاله مروری به بررسی نقش KIR و ترکیب آن با HLA در استعداد ابتلا به بیماری سل می پردازیم.

KIR

KIRها مولکول های سطحی تنظیم کننده ای هستند که بر روی سلول های NK و برخی زیرگروه های لنفوسیت های T یافت می شوند (۲۹، ۳۰). مجموعه ژنی KIR بر روی کروموزوم 19q13.4 در کمپلکس پذیرنده لکوسیت قرار دارد. تاکنون، ۱۶ ژن KIR شامل ۸ ژن مهاری، ۶ ژن فعال کنندگی و ۲ ژن کاذب شرح داده شده است (۳۱، ۳۲). KIRهای مهاری (iKIR)^۵ شامل یک یا دو موتیف مهاری با ساختار تیروزین در پذیرنده ایمنی (ITIM)^۶ می باشند، که سیگنال های مهاری را راه اندازی می نمایند. KIRهای فعال کنندگی (aKIR)^۷ هیچ موتیف سیگنالی را حمل نمی کنند (۳۳).

بیان گنجینه متغیر KIRها توسط سلول های NK

تعداد و نوع KIRها به طور قابل ملاحظه ای بین افراد متغیر هستند. به علاوه، سلول های NK در یک فرد می توانند تعداد و انواع متغیری از KIRها را بیان کنند. در این قسمت به عوامل ژنتیکی و نسخه برداری مشارکت کننده در تنوع گنجینه KIRها اشاره می گردد.

۱- محتوای ژنی متغیر ها پلوتیپ های KIR

تعداد و نوع ژن های KIR مرتب شده بر روی هاپلوتیپ ها به طور قابل ملاحظه ای در جمعیت متفاوت می باشند. البته این

1. Tuberculosis

2. Killer-cell Immunoglobulin-like Receptor

3. Human Leukocyte Antigen

4. Natural Killer

5. inhibitory KIR

6. Immune-receptor Tyrosine-based Inhibitory Motif

7. activating KIR

احتمالاً این سطح از تنوع بازتاب یک فشار قوی از سوی عوامل بیماریزا بر پاسخ سلول NK انسان می باشد (۳۳).

۳- نسخه برداری متفاوت ژن های KIR

سطح بیان mRNA در بین ژن های KIR مختلف است. به عنوان مثال، نسخه های KIR3DL3 در خون محیطی در سطوح پایین تری در مقایسه با سایر ژن های KIR وجود دارند. فرضیه های رایج در مورد علت بیان متفاوت ژن های KIR مبتنی بر وضعیت متیلاسیون آلل های KIR هستند (۴۲،۴۳). علاوه بر این، برش و وصل های متناوب RNA برای اکثر ژن-های KIR گزارش شده اند و چنین ایزوفرم هایی می توانند بیان در سطح سلول و اتصال به لیگاند را تحت تأثیر قرار دهند (۴۴).

۴- تنوع کلونال بیان سطح سلولی KIR

پذیرنده های KIR به صورت کلونال بیان می شوند. سلول های NK در هر فرد می توانند تعداد و ترکیب های مختلفی از پذیرنده های KIR را بیان کنند. اکثر سلول های NK در خون محیطی حداقل یک پذیرنده مهاری را برای MHC کلاس I خودی بیان می کنند و از لحاظ عملکردی صلاحیت شناسایی و از بین بردن سلول های هدفی که لیگاندهای MHC کلاس مربوطه را کاهش داده اند را دارند (۴۵). دو زیرمجموعه از سلول های NK در خون محیطی شناخته شده اند (۴۶). اکثریت آنها به زیرمجموعه CD56^{dim} تعلق دارند که سطوح متوسطی از CD56 و سطوح بالایی از CD16 را بیان می کنند. سلول های NK CD56^{dim} معمولاً KIR را بیان می کنند. زیرمجموعه کوچکی از سلول های NK فنوتیپ CD56^{bright} هستند که تنها ۱۰ درصد از سلول های NK در گردش را تشکیل می دهند. این سلول ها سطوح بالایی از CD56 را بیان می کنند و تمایل به عدم بیان CD16 و KIR دارند. دو زیرمجموعه سلول های NK همچنین بر حسب

ویژگی قبلاً برای هاپلوتیپ های HLA-DRB توصیف شده اند. به همین دلیل لوکوس KIR انسان بسته به نوع هاپلوتیپ حدود ۱۰۰-۲۰۰ Kb طول دارد. شایع ترین هاپلوتیپ KIR در انسان، نسبتاً ساده و حامل ۹ ژن ثابت (۶ ژن iKIR، ۱ ژن aKIR و ۲ ژن کاذب) است. این هاپلوتیپ معمولاً به عنوان گروه A هاپلوتیپ KIR شناخته می شود (۳۴). سایر هاپلوتیپ های KIR شامل بیش از یک ژن aKIR هستند و به عنوان گروه B هاپلوتیپ KIR شناخته می شوند. محتوای ژنی هاپلوتیپ های گروه B به طرز چشمگیری متفاوت است (۳۶،۳۵). فقط سه ژن KIR2DL4، KIR3DL2 و KIR3DL3 همواره در تمام هاپلوتیپ های KIR حاضر هستند و به عنوان ژن های چارچوبی شناخته می شوند. تفکیک متفاوت هاپلوتیپ های گروه A و گروه B تنوع نژادی را در تعداد و انواع ژن های KIR به ارث رسیده ایجاد می کنند (ژنوتیپ ها). به عنوان مثال، هاپلوتیپ های هموزیگوت گروه A تنها ۷ ژن KIR عملکردی دارند، در حالی که هاپلوتیپ های هتروزیگوت گروه A و گروه B ممکن است هر ۱۵ ژن KIR عملکردی را داشته باشند (۳۷-۳۹).

۲- پلی مورفیسم نوکلئوتیدی ژن های KIR

علاوه بر تنوع هاپلوتیپی، هر یک از ژن های KIR تنوع آلی قابل توجهی را نشان می دهند. بالاترین پلی مورفیسم آلی با بیش از ۴۰ واریانت در KIR3DL1 مشاهده شده است. ژن های چارچوبی KIR2DL4، KIR3DL2 و KIR3DL3 نیز هر کدام شامل بیش از ۲۰ آلل می باشند، در حالی که سایر ژن های KIR نسبتاً ثابت هستند (۴۱،۴۰). ترکیب هم افزایی محتوای ژنی متغیر و پلی مورفیسم آلی، ژنوتیپ های KIR را به حدی مجزا می کند که در آن افراد غیر خویشاوند تقریباً همیشه انواع مختلفی از KIR را دارند.

بیان پذیرنده کموکاین و مولکول چسبان با یکدیگر اختلاف دارند که پیشنهاد می‌کند آنها خصوصیات لانه‌گزینی متفاوتی دارند (۴۷). در واقع، سلول‌های CD56^{bright} به عنوان زیرمجموعه غالب سلول‌های NK در گره‌های لنفاوی انسان یافت شده‌اند (۴۸). علاوه بر این، آنها تفاوت‌های عملکردی مهمی را نشان می‌دهند. زیرمجموعه CD56^{dim} ظرفیت سیتوتوکسیک بیشتری دارد، در حالی که زیر مجموعه CD56^{bright} دارای توانایی بیشتری برای تولید سایتوکاین‌های التهابی در مجاورت با غلظت پایین منوکاین‌ها است (۴۹).

لیگندهای KIR

مولکول‌های HLA در ناحیه انتهای آمینی به پپتیدها اتصال می‌یابند و با پذیرنده‌های سلول T یا مولکول‌های KIR برهمکنش دارند. KIRهای مهارتی موتیف مجزایی از مولکول‌های پلی مورفیک HLA کلاس I را شناسایی می‌کنند و سیگنال‌هایی را راه اندازی می‌کنند که از فعالیت سلول NK جلوگیری می‌نمایند (۵۰). KIR2DL1 به گروه HLA-C2 و KIR2DL2/3 به گروه HLA-C1 متصل می‌شود (۵۳-۵۱). KIR3DL1 با اتصال به آلوتیپ‌های HLA-BW4 که بر روی ۴۰ درصد از آلوتیپ‌های HLA-B (۵۴-۵۶) و به ویژه مولکول‌های HLA-A (۵۸،۵۷) بروز می‌یابند، شناخته می‌شود. همچنین، اتصال ضعیف KIR2DS1 به آلوتیپ‌های HLA-C2 و KIR2DS2 به آلوتیپ‌های HLA-C1 نشان داده شده است. KIR3DS1 نیز با آلوتیپ‌های HLA-BW4 در تعامل است (۵۹،۶۰). تاکنون لیگندها برای KIR2DL5، KIR2DS3 و KIR2DS5 شناسایی نشده‌اند (۳۷).

مطالعات انجام شده در جمعیت‌های غیر ایرانی

مطالعه مندز^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۶ بر روی ۹۷ بیمار مبتلا به TB و ۵۱ فرد سالم از شهرهای خالاپا، وراکروز و

مکزیکو به منظور بررسی ژن‌های KIR در بیماران مبتلا به سل انجام شد. تعداد بیماران دارای KIR2DL1 و KIR2DL3 در مقایسه با گروه کنترل، تفاوت معنی‌داری داشتند. اگر چه پس از تصحیح، این تفاوت تنها برای KIR2DL3 معنی دار باقی ماند. آنها همچنین دریافتند که در بیماران TB شیوع ترکیب KIR2DS2 با لیگاند گروه HLA-C1 نسبت به گروه کنترل کمتر است، اما این نتیجه نیز پس از تصحیح، معنی‌داری کمتری داشت (۶۱).

این نتایج در مطالعه مهفوز^۲ و همکاران که به منظور بررسی ژن‌های KIR در جمعیت لبنانی مبتلا به TB انجام گرفت نیز تأیید شد. در این مطالعه که در سال ۲۰۱۱ بر روی ۱۰۳ بیمار مبتلا به TB لبنانی و ۳۸ فرد سالم لبنانی به منظور تعیین پروفایل ژنوتیپی KIR به روش PCR-SSP انجام گرفت، گروه بیمار و کنترل بر اساس ساختار هاپلوتیپ‌های A و B به دسته‌های ژنوتیپی AA، AB و BB تقسیم شدند. سپس فراوانی ژن‌های KIR در آنها مقایسه گردید. آنها دریافتند که هاپلوتیپ A در مبتلایان به TB نسبت به گروه کنترل، افزایش معنی‌داری دارد و نیز KIR2DL3 به طور معنی‌داری در مبتلایان به TB شایع‌تر است (۶۲).

مطالعه کوربل^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۹ نشان داد که در تحریک درون آزمایشگاهی سلول‌های NK خون محیطی انسان با لیگندهای میکروبی مختلف، پاسخ نسبی سلول‌های NK CD56^{dim} و CD56^{bright} به شدت وابستگی معنی‌داری با ژنوتیپ KIR دارد. آنها در این مطالعه دریافتند که ژنوتیپ KIR احتمالاً در پرورش توانایی سلول‌های NK در پاسخ به عفونت‌های غیر ویروسی و در نتیجه در تنظیم ژنتیکی استعداد ابتلا به این عفونت‌ها نقش دارد (۶۳).

1. Mendez

2. Mahfouz

3. Korbel

مطالعات انجام شده در جمعیت ایرانی

مطالعه موسوی و همکاران در سال ۲۰۱۰ به منظور تعیین مولکولهای CD16 و CD56 سطحی سلولهای NK به روش فلوسیتومتری بر روی سلولهای تک هسته‌ای خون محیطی ۱۳ بیمار مبتلا به سل مقاوم به درمان (MDR-TB)، ۲۰ بیمار مبتلا به سل غیرمقاوم به درمان (NR-TB) و ۴۰ فرد سالم نشان داد که در دو گروه MDR-TB و NR-TB در مقایسه با گروه سالم، علاوه بر این که درصد لنفوسیت‌های $CD56^{+}CD16^{+}$ کاهش معنی‌داری دارند، درصد لنفوسیت‌های $CD56^{dim}CD16^{+}$ نیز به طور معنی‌داری کمتر از درصد لنفوسیت‌های $CD56^{bright}CD16^{-}$ می‌باشند. همچنین آنها نشان دادند که میزان لنفوسیت‌های $CD56^{bright}CD16^{-}$ در افراد MDR-TB در مقایسه با دو گروه دیگر افزایش معنی‌داری دارد. آنها این امر را بیانگر دخالت سلولهای NK و مارکرهای آنها در پاتوژنز بیماری سل دانستند (۶۴).

با توجه به این که سلولهای NK $CD56^{dim}$ معمولاً KIR را بیشتر بیان می‌کنند و از طرف دیگر این سلولها در مبتلایان به سل فراوانی کمتری دارند، موسوی و همکاران در سال ۲۰۱۱ در مطالعه‌ای دیگر بر روی ۳۲ بیمار MDR-TB و ۶۸ بیمار NR-TB با روش فلوسیتومتری جهت بررسی بیان KIRهای KIR2DL1/2DS1، KIR2DL2/2DL3، KIR3DL1 و KIR2DS4 و روش مولکولی PCR-SSP برای تعیین لیگاندهای HLA نشان داد که در بیماران MDR-TB در مقایسه با بیماران NR-TB تفاوت معنی‌داری بین KIRهای مهاری یا فعال کنندگی به خوبی لیگاندهای HLA وجود ندارد. همچنین آنها دریافتند که اگرچه ترکیبات KIR-HLA مهاری در بیماران MDR-TB نسبت به

بیماران NR-TB بسیار بیشتر است ولی این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نمی‌باشد. برعکس، درصد بیماران MDR-TB که فقط دارای یک نوع ژن HLA بودند به طور معنی‌داری کمتر از بیماران NR-TB بود (۶۵).

در ادامه تحقیقات فوق، شاهسوار و همکاران در سال ۲۰۱۲ مطالعه‌ای ژنتیکی به منظور بررسی نقش KIR و ترکیب آن با HLA در استعداد ابتلا به سل بر روی ۵۰ بیمار مبتلا به TB از قوم لر استان لرستان و ۲۰۰ فرد ایرانی سالم غیر خویشاوند انجام دادند. در این مطالعه، ۱۶ ژن KIR و ۵ لیگاند HLA کلاس I مربوطه به روش PCR-SSP مورد بررسی قرار گرفتند. یافته‌های آنها نشان داد که در مبتلایان به TB در مقایسه با گروه کنترل، علاوه بر این که کاهش معنی‌داری در فراوانی KIR3DS1 مشاهده می‌شود، کاهش معنی‌داری نیز در فراوانی ترکیب KIR3DS1+HLA-B*40 و Bw4Ile80 وجود دارد. بر اساس این یافته‌ها آنها دریافتند که احتمالاً کاهش فعالیت سلولهای NK از طریق کاهش KIR3DS1 و KIR3DS1+HLA-B*40 در استعداد ابتلا به بیماری سل مؤثر است (۶۶). نتایج این مطالعه در واقع تکمیل کننده نتایج مطالعه فنوتیپی قبلی بود، زیرا در مطالعه فنوتیپی موسوی و همکاران (۶۵) به دلیل این که تنها چهار آنتی‌بادی برای بررسی KIRها به روش فلوسیتومتری وجود داشت، به طور دقیق و معنی‌دار نتوانسته بود ارتباط میان KIR و استعداد ابتلا به سل یا مقاومت به درمان را نشان دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

سلولهای NK به علت توانایی در محدود کردن انتشار عفونت در غیاب پاسخهای ایمنی اکتسابی، یکی از مهم‌ترین اجزاء سیستم ایمنی ذاتی هستند. این سلولها در کنترل آزادسازی سایتوکاین‌هایی همچون $TNF-\alpha$ که سایتوکاینی

مهم بر علیه استقرار عفونت Mtb می‌باشد، فعالیت دارند (۱۵). بر اساس مقاله مروری اخیر توسط ابی-راشد و پرهام^۱، پذیرنده-های KIR فعال کنندگی در مقاومت به عفونت، تولیدمثل ناموفق و خطر ابتلا به بیماری‌های اتوایمیون درگیر هستند (۶۷). از طرف دیگر، اکثر بیماران مبتلا به Mtb، علائم بالینی از خود نشان نمی‌دهند که این امر ممکن است به علت تفاوت در فاکتورهای ژنتیکی همچون KIR که در مقاومت به سل نقش دارند، باشد. (۶۱، ۶۲).

در مطالعه ژنوتیپی شاهسوار و همکاران (۶۶) در فراوانی ژن‌های KIR مهای، ژن‌های لیگاند HLA، ژنوتیپ‌های KIR، و ژنوتیپ‌های لیگاند HLA در میان بیماران مبتلا به سل و گروه کنترل تفاوت معنی‌داری یافت نشد. برخلاف مطالعات مندز و همکاران (۶۱) و مهفوز و همکاران (۶۲) که افزایش معنی دار KIR مهای 2DL3 را در بیماران مبتلا به سل گزارش کردند، در مطالعه ژنوتیپی شاهسوار و همکاران (۶۶) نه تنها فراوانی ژن‌های KIR مهای در بیماران مبتلا به سل و گروه کنترل مشابه بودند، بلکه بر عکس، فراوانی KIR فعال کنندگی 3DS1 در بیماران مبتلا به سل کاهش معنی داری داشت. دلیل این نتایج متضاد ممکن است به تنوع ژنتیکی در دو جمعیت وابسته باشد و مطالعات بیشتری را در این زمینه می‌طلبد. البته علی‌رغم تضاد ظاهری در نتایج این مطالعات، همه آنها در واقع به کاهش فعالیت سلول‌های NK در بیماران مبتلا به سل اشاره دارند که از طریق مکانیسم‌های متفاوتی اعمال می‌گردد.

از طرف دیگر، پاسخ تنظیمی سلول‌های NK اساساً به ترکیبات KIR-HLA در ژنوم افراد وابسته است که نشان می‌دهد این ترکیبات ممکن است در استعداد ابتلا به بیماری‌ها اهمیت داشته باشند. در مطالعه مندز و همکاران (۶۱) کاهش معنی دار فراوانی KIR2DS2+HLA-C1 در بیماران مبتلا

به سل گزارش شد، اما این نتیجه نیز پس از تصحیح، معنی-داری کمتری داشت. در تأیید مطالعه مندز و همکاران (۶۱)، مطالعه ژنوتیپی شاهسوار و همکاران (۶۶) نیز کاهش فراوانی ترکیبات KIR-HLA فعال کنندگی را در بیماران مبتلا به سل گزارش کرد که البته این کاهش مربوط به ترکیب KIR3DS1+HLA-B Bw4Ile80 بود. این امر ممکن است بیانگر این باشد که کاهش فراوانی ترکیبات KIR-HLA فعال کنندگی ممکن است پاسخ سلول‌های NK را از وضعیت فعالیت به وضعیت مهار تغییر دهد. این وضعیت برای مبتلایان به عفونت مایکوباکتریایی خطرناک است و ممکن است به بیماری سل منجر گردد.

در مجموع، عدم تعادل میان ژن‌های KIR مهای و فعال کنندگی می‌تواند در پاتوژنز TB از طریق کاهش فعالیت یا افزایش مهار یا ترکیبی از هر دو مؤثر باشد. علاوه بر این، ترکیبات KIR-HLA فعال کنندگی ممکن است با استعداد ابتلا به TB از طریق کاهش فعالیت سلول‌های NK مرتبط باشند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از راهنمایی‌های با ارزش جناب آقای دکتر نادر تاجیک دانشیار گروه ایمونولوژی پردیس همت دانشگاه علوم پزشکی تهران تقدیر و تشکر می‌گردد.

1. Abi-Rached & Parham

References

1. Rylance J, Pai M, Lienhardt C, Garner P. Priorities for tuberculosis research: a systematic review. *Lancet Infect Dis*. 2010;10:886-892.
2. Stenger S. Immunological control of tuberculosis: role of tumor necrosis factor and more. *Ann Rheum Dis*. 2005;64:iv24-28.
3. Korbel DS, Schneider BE, Schaible UE. Innate immunity in tuberculosis: myths and truth. *Microbes Infect*. 2008;10:995-1004.
4. Newport MJ, Nejentsev S. Genetics of susceptibility to tuberculosis in humans. *Monaldi Arch Chest Dis*. 2004;61:102-111.
5. Velez DR, Hulme WF, Myers JL, Stryjewski ME, Abbate E, et al. Association of SLC11A1 with tuberculosis and interactions with NOS2A and TLR2 in African-Americans and Caucasians. *Int J Tuberc Lung Dis*. 2009a;13(9):1068-1076.
6. Velez DR, Hulme WF, Myers JL, Weinberg JB, Levesque MC, et al. NOS2A, TLR4, and IFNGR1 interactions influence pulmonary tuberculosis susceptibility in African-Americans. *Hum Genet*. 2009b;126(5):643-653.
7. Reiling N, Hölscher C, Fehrenbach A, Kröger S, Kirschning CJ, Goyert S, et al. Cutting edge: toll-like receptor (TLR)2- and TLR4-mediated pathogen recognition in resistance to airborne infection with *Mycobacterium tuberculosis*. *J Immunol*. 2002;169:3480-3484.
8. Yim JJ, Lee HW, Lee HS, Kim YW, Han SK, Shim YS, et al. The association between microsatellite polymorphisms in intron II of the human Toll-like receptor 2 gene and tuberculosis among Koreans. *Genes Immun*. 2006;7:150-155.
9. Scola L, Crivello A, Marino V, Gioia V, Serauto A, Candore G, et al. IL-10 and TNF-alpha polymorphisms in a sample of Sicilian patients affected by tuberculosis: implication for ageing and life span expectancy. *Mech Ageing Dev*. 2003;124:569-572.
10. Oh JH, Yang CS, Noh YK, Kweon YM, Jung SS, Son JW, et al. Polymorphisms of interleukin-10 and tumour necrosis factor-alpha genes are associated with newly diagnosed and recurrent pulmonary tuberculosis. *Respirology*. 2007;12:594-598.
11. Ates O, Musellim B, Ongen G, Topal-Sarikaya A. Interleukin-10 and tumor necrosis factor-alpha gene polymorphisms in tuberculosis. *J Clin Immunol*. 2008;28:232-236.
12. Shilpy Sharma, Jaishriram Rathored, Balaram Ghosh, Surendra K Sharma. Genetic polymorphisms in TNF genes and tuberculosis in North Indians. *BMC Infectious Diseases*. 2010;10:165-173.
13. Bellofiore B, Matarese A, Balato N, Gaudiello F, Scarpa R, Atteno M, Bocchino M, Sanduzzi A. Prevention of tuberculosis in patients taking tumor necrosis factor-alpha blockers. *J Rheumatol Suppl*. 2009;83:76-77.
14. Correa PA, Gomez LM, Anaya JM. Polymorphism of TNF-alpha in autoimmunity and tuberculosis. *Biomedica*. 2004;24(Supp 1):43-51.
15. Vejbaesya S, Chierakul N, Luangtrakool P, Sermduangprateep C. NRAMP1 and TNF-alpha polymorphisms and susceptibility to

- tuberculosis in Thais. *Respirology*. 2007;12:202-206.
16. Tajik N, Shah-Hosseini A, Mohammadi A, Jafari M, Nasiri M, Radjabzadeh MF, et al. Susceptibility to pulmonary tuberculosis in Iranian individuals is not affected by compound KIR/HLA genotype. *Tissue Antigens*. 2012;79:90-96.
 17. Shahsavar F, Tajik N, Entezami K. Killer Cell Immunoglobulin-Like Receptors and Their Ligands. *MUQ J*. 2010;3:47-62. (In Persian)
 18. Shahsavar F, Tajik N, Entezami K, Radjabzadeh MF, Asadifar B, Alimoghaddam K, et al. KIR2DS3 is associated with protection against acute myeloid leukemia. *Iran J Immunol*. 2010;7(1):8-17.
 19. Shahsavar F, Entezami K, Alimoghaddam K. Role of KIR-HLA combination in hematopoietic stem cells transplantation. *Yafte*. 2012;50:95-110. (In Persian)
 20. Shahsavar F, Entezami K, Alimoghaddam K. Improved survival of acute lymphoblastic leukemia patients of HLA-A3/11 absent for donor KIR3DL2 after non-T-cell depleted HLA-identical sibling hematopoietic stem cells transplantation. *Yafte*. 2011;48:19-29. (In Persian)
 21. Shahsavar F, Alimoghaddam K, Azargoon A, Sabooteh T, Nazarzadeh S. The impact of chronic GVHD on survival of Patients with acute myeloid leukemia after non-T-cell depleted HLA-identical sibling peripheral blood stem cells transplantation. *Yafte*. 2012;51:5-12. (In Persian)
 22. Shahsavar F, Mousavi T, Entezami K, Azargoon A. Association of KIR-HL interactions with diseases. *Yafte*. 2011;49:89-103. (In Persian)
 23. Kugathasan S, Baldassano RN, Bradfield JP, Sleiman PM, Imielinski M, Guthery SL, et al. Loci on 20q13 and 21q22 are associated with pediatric-onset inflammatory bowel disease. *Nat Genet*. 2008;40:1211-1215.
 24. Lee YA, Rüschendorf F, Windemuth C, Schmitt-Egenolf M, Stadelmann A, Nürnberg G. Genomewide scan in German families reveals evidence for a novel psoriasis-susceptibility locus on chromosome 19p13. *Am J Hum Genet*. 2000;67:1020-1024.
 25. Tajik N, Shahsavar F, Poormoghim H, Radjabzadeh MF, Mousavi T, Jalali A. KIR3DL1+HLA-B Bw4Ile80 and KIR2DS1+HLA-C2 combinations are both associated with ankylosing spondylitis in the Iranian population. *Int J Immunogenet*. 2011;38(5):403-409.
 26. Wang S, Zhao YR, Jiao YL, Wang LC, Li JF, Cui B, et al. Increased Activating Killer Immunoglobulin-Like Receptor Genes and Decreased Specific HLA-C Alleles in Couples with Recurrent Spontaneous Abortion. *Biochem Biophys Res Commun*. 2007;360:696-701.
 27. Trowsdale J. Genetic and Functional Relationships between MHC and NK Receptor Genes. *Immunity*. 2001;15:363-374.
 28. Wilson MJ, Torkar M, Haude A, Milne S, Jones T, Sheer D, et al. Plasticity in the Organization and Sequences of Human KIR/ILT Gene Families. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2000;97:4778-4783.
 29. Kumar V, McNerney ME. A New Self: MHC-Class-I-Independent Natural-Killer-

- Cell Self-Tolerance. *Nat Rev Immunol*. 2005;5:363-374.
30. Lanier LL. NK Cell Recognition. *Annu Rev Immunol*. 2005;23:225-274.
 31. Hsu KC, Liu XR, Selvakumar A, Mickelson E, O'Reilly RJ, Dupont B. Killer Ig-like Receptor Haplotype Analysis by Gene Content: Evidence for Genomic Diversity with a Minimum of Six Basic Framework Haplotypes, Each with Multiple Subsets. *J Immunol*. 2002;169:5118-5129.
 32. Marsh SG, Parham P, Dupont B, Geraghty DE, Trowsdale J, Middleton D, et al. Killer-cell immunoglobulin-like receptor (KIR) nomenclature report, 2002. *Tissue Antigens*. 2003;62:79-86.
 33. Rajalingam R. Killer Cell Immunoglobulin-Like Receptors Influence the Innate and Adaptive Immune Responses. *Iran J Immunol*. 2007;4:61-78.
 34. Uhrberg M, Valiante NM, Shum BP, Shilling HG, Lienert-Weidenbach K, Corliss B, et al. Human diversity in killer cell inhibitory receptor genes. *Immunity*. 1997;7:753-763.
 35. Hsu KC, Chida S, Geraghty DE, Dupont B. The killer cell immunoglobulin-like receptor (KIR) genomic region: gene-order, haplotypes and allelic polymorphism. *Immunol Rev*. 2002;190:40-52.
 36. Uhrberg M, Parham P, Wernet P. Definition of gene content for nine common group B haplotypes of the Caucasoid population: KIR haplotypes contain between seven and eleven KIR genes. *Immunogenetics*. 2002;54:221-229.
 37. Kulkarni S, Martin MP, Carrington M. The Yin and Yang of HLA and KIR in human disease. *Seminars in Immunology*. 2008;20:343-352.
 38. Tajik N, Shahsavar F, Mousavi T, Radjabzadeh MF. Distribution of KIR genes in the Iranian population. *Tissue Antigens*. 2009;74: 22-31.
 39. Tajik N, Shahsavar F, Nasiri MR, Radjabzadeh MF. Compound KIR-HLA Genotype Analyses in the Iranian Population by a Novel PCR-SSP Assay. *Int J Immunogenetics*. 2010;37:159-168.
 40. Middleton D, Meenagh A, Gourraud PA. KIR haplotype content at the allele level in 77 Northern Irish families. *Immunogenetics*. 2007;59:145-58.
 41. Kulkarni S, Single RM, Martin MP, Rajalingam R, Badwe R, Joshi N, et al. Comparison of the rapidly evolving KIR locus in Parsis and natives of India. *Immunogenetics*. 2008;60:121-129.
 42. Chan HW, Kurago ZB, Stewart CA, Wilson MJ, Martin MP, Mace BE, et al. DNA methylation maintains allele-specific KIR gene expression in human natural killer cells. *J Exp Med*. 2003; 197:245-255.
 43. Trompeter HI, Gomez-Lozano N, Santourlidis S, Eisermann B, Wernet P, Vilches C, et al. Three structurally and functionally divergent kinds of promoters regulate expression of clonally distributed killer cell Ig-like receptors (KIR), of KIR2DL4, and of KIR3DL3. *J Immunol*. 2005;174:4135-4143.
 44. Dohring C, Samaridis J, Colonna M. Alternatively spliced forms of human killer inhibitory receptors. *Immunogenetics*. 1996;44:227-230.

45. Valiante NM, Uhrberg M, Shilling HG, Lienert-Weidenbach K, Arnett KL, D'Andrea A, et al. Functionally and structurally distinct NK cell receptor repertoires in the peripheral blood of two human donors. *Immunity*. 1997;7:739-751.
46. Farag SS, Caligiuri MA. Human natural killer cell development and biology. *Blood Reviews*. 2006;20:123-137.
47. Campbell JJ, Qin S, Unutmaz D, Soler D, Murphy KE, Hodge MR, et al. Unique subpopulations of CD56+ NK and NK-T peripheral blood lymphocytes identified by chemokine receptor expression repertoire. *J Immunol*. 2001;166:6477-6482.
48. Fehniger TA, Cooper MA, Nuovo GJ, Cella M, Facchetti F, Colonna M, et al. CD56bright natural killer cells are present in human lymph nodes and are activated by T cell-derived IL-2: a potential new link between adaptive and innate immunity. *Blood*. 2003;101:3052-3057.
49. Jacobs R, Hintzen G, Kemper A, Beul K, Kempf S, Behrens G, et al. CD56bright cells differ in their KIR repertoire and cytotoxic features from CD56dim NK cells. *Eur J Immunol*. 2001;31:3121-3127.
50. Parham P. MHC class I molecules and KIRs in human history, health and survival. *Nat Rev Immunol*. 2005;5:201-214.
51. Colonna M, Borsellino G, Falco M, Ferrara GB, Strominger JL. HLA-C is the inhibitory ligand that determines dominant resistance to lysis by NK1- and NK2-specific natural killer cells. *Proc Natl Acad Sci USA*. 1993;90:12000-12004.
52. Winter CC, Long EO. A single amino acid in the p58 killer cell inhibitory receptor controls the ability of natural killer cells to discriminate between the two groups of HLA-C allotypes. *J Immunol*. 1997;158:4026-4028.
53. Winter CC, Gumperz JE, Parham P, Long EO, Wagtmann N. Direct binding and functional transfer of NK cell inhibitory receptors reveal novel patterns of HLA-C allotype recognition. *J Immunol*. 1998;161:571-577.
54. Gumperz JE, Litwin V, Phillips JH, Lanier LL, Parham P. The Bw4 public epitope of HLA-B molecules confers reactivity with natural killer cell clones that express NKB1, a putative HLA receptor. *J Exp Med*. 1995;181:1133-1144.
55. Cella M, Longo A, Ferrara GB, Strominger JL, Colonna M. NK3-specific natural killer cells are selectively inhibited by Bw4-positive HLA alleles with isoleucine 80. *J Exp Med*. 1994;180:1235-1242.
56. Thananchai H, Gillespie G, Martin MP, Bashirova A, Yawata N, Yawata M, et al. Cutting Edge: Allele-specific and peptide-dependent interactions between KIR3DL1 and HLA-A and HLA-B. *J Immunol*. 2007;178:33-37.
57. Pende D, Biassoni R, Cantoni C, Verdiani S, Falco M, di Donato C, et al. The natural killer cell receptor specific for HLA-A allotypes: a novel member of the p58/p70 family of inhibitory receptors that is characterized by three immunoglobulin-like domains and is expressed as a 140-kD disulphide-linked dimer. *J Exp Med*. 1996;184:505-518.

58. Dohring C, Scheidegger D, Samaridis J, Cella M, Colonna M. A human killer inhibitory receptor specific for HLA-A1,2. *J Immunol.* 1996;156:3098-3101.
59. Biassoni R, Pessino A, Malaspina A, Cantoni C, Bottino C, Sivori S, et al. Role of amino acid position 70 in the binding affinity of p50.1 and p58.1 receptors for HLA-Cw4 molecules. *Eur J Immunol.* 1997;27:3095-3099.
60. Stewart CA, Laugier-Anfossi F, Vely F, Saulquin X, Riedmuller J, Tisserant A, et al. Recognition of peptide-MHC class I complexes by activating killer immunoglobulin-like receptors. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2005;102:13224-13229.
61. Mendez A, Granda H, Meenagh A, Contreras S, Zavaleta R, Mendoza MF, et al. Study of KIR genes in tuberculosis patients. *Tissue Antigens.* 2006;68:386-389.
62. Mahfouz R, Halas H, Hoteit R, Saadeh M, Shamseddeen W, Charafeddine K, et al. Study of KIR genes in Lebanese patients with tuberculosis. *Int J Tuberc Lung Dis.* 2011;15(12):1688-1691.
63. Korbel DS, Norman PJ, Newman KC, Horowitz A, Gendzekhadze K, Parham P, et al. Killer Ig-Like Receptor (KIR) Genotype Predicts the Capacity of Human KIR-Positive CD56dim NK Cells to Respond to Pathogen-Associated Signals. *The Journal of Immunology.* 2009;182:6426-6434.
64. Mousavi T, Farnia P, Tajik N, Soofi M. Elevation of CD56brightCD16- lymphocytes in MDR pulmonary tuberculosis. *Iran J Immunol.* 2010;7:49-56.
65. Mousavi T, Shahsavar F, Farnia P, Tajik N, Soofi M. Study of KIR Expression and HLA Ligands in CD56+ Lymphocytes of Drug Resistant Tuberculosis Patients. *Iran J Allergy Asthma Immunol.* 2011;10:189-194.
66. Shahsavar F, Mousavi T, Azargoon A, Entezami K. Association of KIR3DS1+HLA-B Bw4Ile80 Combination with Susceptibility to Tuberculosis in Lur Population of Iran. *Iran J Immunol.* 2012;9(1):39-47.
67. Abi-Rached L, Parham P. Natural selection drives recurrent formation of activating killer cell immunoglobulin-like receptor and Ly49 from inhibitory homologues. *J Exp Med.* 2005;201:1319-1332.