

نقش تعادل میان KIR های مهاری و فعال کنندگی در تعیین استعداد ابتلا به اسپوندیلیت انکیلوزان

فرهاد شاهسوار^۱، طاهره موسوی^۲، توماج سابوته^۱

۱- گروه ایمنولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، خرم آباد، ایران
۲- گروه ایمنولوژی، مرکز تحقیقات مقاومت‌های میکروبی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

یافته / دوره چهاردهم / شماره ۳ / تابستان ۹۱ / مسلسل ۵۲

چکیده

دریافت مقاله: ۹۰/۹/۲۰، پذیرش مقاله: ۹۰/۱۱/۱۸

*** مقدمه:** اسپوندیلیت انکیلوزان (AS) یک بیماری پیشرونده و ناتوان‌کننده است که تقریباً ۰/۹٪ افراد را در سراسر دنیا مبتلا می‌سازد. تاکنون مکانیسم دقیق شروع و پیشرفت AS شناخته نشده است. ارتباط میان HLA-B27 و AS به‌عنوان قوی‌ترین ارتباط بین یک مولکول آنتی‌ژن لکوسیتی انسان (HLA) کلاس I و بیماری باقی است. علی‌رغم تحقیقات وسیع، نقش پاتوژنیک این ژن و محصول آن هنوز حل نشده است. همچنین ژن‌هایی غیر از HLA-B27 وجود دارند که به‌نظر می‌رسد در اتیولوژی بیماری دخیل باشند. مجموعه ژنی پذیرنده شبه ایمنوگلوبولینی سلول کشنده (KIR) بر روی کروموزوم 1۹q13.4 در کمپلکس پذیرنده لکوسیت قرار گرفته است. ژن‌های KIR گروهی از مولکول‌ها را کد می‌کنند که بر روی سلول‌های کشنده طبیعی (NK) و در برخی سلول‌های T بیان می‌شوند. پروتئین‌های KIR به‌عنوان پذیرنده‌هایی عمل می‌کنند که مولکول‌های HLA کلاس I را شناسایی می‌کنند و به‌طور مستقیم در فعالیت و مهار سلول‌های NK دخیل می‌باشند. KIR ها و لیگاندهای HLA کلاس I آنها در پاتوژنز انواع مختلف بیماری‌های خودایمنی مشارکت دارند.

عدم تعادل KIR های مهاری و فعال کنندگی، عامل کلیدی است که می‌تواند پاتوژنز AS را تحت تأثیر قرار دهد. با این وجود نقش تعادل میان KIR های مهاری و فعال کنندگی در تعیین استعداد ابتلا به AS یک موضوع قابل بحث است. این مقاله مروری خصوصیات اصلی این ژن‌ها را خلاصه کرده و بحث می‌کند که چگونه ممکن است آنها در پاتوژنز AS درگیر باشند.

*** واژه‌های کلیدی:** پذیرنده‌های شبه ایمنوگلوبولینی سلول کشنده، آنتی‌ژن لکوسیتی انسان، اسپوندیلیت انکیلوزان.

آدرس مکاتبه: تهران، پردیس همت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

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

مقدمه

اسپوندیلیت انکیلوزان (AS)^۱ یک بیماری پیشرونده و ناتوان کننده است که تقریباً ۰/۹٪ از افراد در سراسر دنیا دچار آن می‌باشند (۱). تظاهرات بالینی AS می‌تواند از بیماری تا بیمار دیگر بسیار متنوع و شامل التهاب ستون فقرات و مفاصل ساکروایلیاک، به همراه درد و خشکی و در نهایت تغییر شکل استخوان و خشکی پیشرونده مفاصل، آرتريت مفاصل اطراف استخوان لگن باشد. همچنین التهاب خارج مفصلی مانند التهاب در ریه، کلیه، شبکه چشم، تاندون‌ها و آئورت نیز ممکن است دیده شود (۲).

علی‌رغم تحقیقات وسیع، تاکنون مکانیسم دقیق شروع و پیشرفت AS مشخص نشده است (۳). به‌عنوان قوی‌ترین ارتباط بین یک مولکول آنتی‌ژن لکوسیتی انسان (HLA)^۲ کلاس I و بیماری، می‌توان به ارتباط میان HLA-B27 و AS اشاره کرد (۴). ولی مکانیسم اصلی تأثیر HLA-B27 بر روی استعداد ابتلا به AS نیز به‌خوبی مشخص نشده است (۵-۷). با این حال، مطالعات نشان داده است که HLA-B27 تنها ۱۶٪ از کل خطر ژنتیکی برای بیماری را تشکیل می‌دهد (۸). بررسی‌های ژنومی گسترده، نواحی متعددی را بر روی کروموزوم‌های ۱p، ۲q، ۶p، ۶q، ۱۰q، ۱۱q، ۱۶q، ۱۷q، ۱۹q و ۲۱q در ارتباط با بیماری AS مطرح کرده‌اند (۹-۱۲). به‌عنوان مثال می‌توان به ژن پذیرنده IL-23^۳ بر روی کروموزوم ۱p (۱۳)، ژن‌های TNF-^۴ (۴) و TAP-1^۵ (۱۴) بر روی کروموزوم ۶p، ژن TGF-1^۶ بر روی کروموزوم ۱۹q (۱۵) و ژن پذیرنده IL-1 بر روی کروموزوم ۲۱q (۲) اشاره کرد.

از این میان مجموعه ژنی KIR^۷ با طول حدود ۲۰۰Kb-۱۰۰ بر روی کروموزوم ۱۹ جدیدترین آنها می‌باشد (۹-۱۲). KIRها با موتیف‌های خاصی از مولکول‌های HLA کلاس I برهمکنش داده و موجب تعدیل فعالیت لیزکنندگی سلول‌های NK^۸ می‌شوند (۱۶). ژنوتیپ‌های KIR-HLA با مهار کمتر و

فعالیت بیشتر در مقاومت به عفونت‌ها (۱۷)، سرطان‌ها (۲۱-۱۸) و برخی بیماری‌های (۲۲) سودمند به‌نظر می‌رسند. اگرچه این ژنوتیپ‌ها احتمالاً با خطر ابتلا به اختلالات التهابی و خودایمنی مانند IBD^۹ (۲۳)، پسوریازیس (۲۴) و اختلالات تولیدمثلی (۲۵) همراه هستند. در واقع، نتایج حاصله از یک مکانیسم براساس طیفی از مهار تا فعالیت سلول NK از طریق ژنوتیپ‌های مختلف KIR-HLA در شرایط بیماری حمایت می‌کنند (۲۶،۲۷). با توجه به مطالب فوق در این مقاله مروری به بررسی نقش KIR در استعداد ابتلا به بیماری AS به‌عنوان یک بیماری خودایمنی می‌پردازیم. قابل ذکر است که جهت نگارش این مقاله مروری، ۷۰ مقاله مناسب با استفاده از کلمات کلیدی KIR، HLA و AS انتخاب شدند که از بین آنها ۱۲ مقاله مربوط به خود ما بود.

پذیرنده‌های شبه ایمونوگلوبولینی سلول کشنده

پذیرنده‌های شبه ایمونوگلوبولینی سلول کشنده (KIR) مولکول‌های سطحی تنظیم‌کننده‌ای هستند که بر روی سلول‌های کشنده طبیعی (NK) و برخی زیرگروه‌های لنفوسیت‌های T یافت می‌شوند (۲۸،۲۹). مجموعه ژنی KIR بر روی کروموزوم ۱۹q13.4 در LRC شامل یک ناحیه سنترومیریک و یک ناحیه تلومیریک می‌باشد که این دو ناحیه به‌وسیله KIR2DL4 حاضر در تمامی هاپلوتیپ‌ها، جدا شده‌اند. مجموعه ژنی KIR توسط KIR3DL3 در انتهای سنترومیریک و KIR3DL2 در انتهای تلومیریک احاطه شده است، که هر دو تقریباً در تمامی هاپلوتیپ‌ها وجود دارند (۳۰).

1. Ankylosing Spondylitis
2. Human Leukocyte Antigen
3. Interleukin-23
4. Tumor Necrosis Factor-
5. Transporter-Associated Protein-1
6. Transforming Growth Factor-beta 1
7. Killer-cell Immunoglobulin-like Receptor
8. Natural Killer cells
9. Inflammatory Bowel Disease

نامیده می شود) متصل می شود (۳۵). KIR2DL3 و KIR2DL2 به آلوتیپ‌های Cw*01، Cw*03، Cw*07، Cw*08، Cw*12، Cw*13 و Cw*14 حاوی آسپارژین در اسید آمینه موقعیت ۸۰ (HLA-C^{N80}) گروه C1 نامیده می شود) اتصال می یابد (۳۶). KIR3DL1 نیز به آلوتیپ‌های HLA-B و برخی مولکول‌های HLA-A با موتیف Bw4 متصل می شود (۳۷). دو شکلی موقعیت ۸۰ در میان آلوتیپ‌های Bw4 برهمکنش آن را با زیرگروه‌های KIR3DL1 تحت تأثیر قرار می دهد، به طوری که آلوتیپ‌های HLA-B حاوی Bw4 با ایزولوسین در موقعیت ۸۰ (Bw4-I80) عموماً مهار قوی تری را از طریق KIR3DL1 اعمال می کنند (۳۸). با این حال، آلوتیپ‌های Bw4 حاوی ترئونین در موقعیت ۸۰ (Bw4-T80)، از قبیل HLA-B*2705، به نظر می رسد که لیگندهای بهتری برای برخی زیرگروه‌های KIR3DL1 باشند (۳۹).

پذیرنده‌های فعال کنندگی KIR2DS1، KIR2DS2 و KIR3DS1 با همتایان مهاری خود (به ترتیب KIR2DL1، KIR2DL2/KIR2DL3 و KIR3DL1) در دومن‌های خارج سلولی تشابه توالی دارند و تصور می شود که ویژگی‌های اتصال به همان لیگندهای HLA را نیز دارند. اتصال ضعیف KIR2DS1 به آلوتیپ‌های HLA-C2 نشان داده شده است، که به نظر می رسد اهمیت عملکردی داشته باشد (۴۰). KIR2DS2 نیز به طور ضعیف به HLA-C1 متصل می شود، اگرچه این باور به طور قطعی ثابت نشده است (۴۱). تا همین اواخر، بیان KIR3DS1 در پرده ابهام بود، اما در حال حاضر شواهد قانع کننده‌ای وجود دارد که KIR3DS1 به وضوح بیان می شود (۴۲). KIR3DS1 در دومن خارج سلولی خود بیش از ۹۵ درصد با KIR3DL1 تشابه دارد، اما هیچ مدرکی

تاکنون، ۱۶ ژن KIR شرح داده شده است (۱۶،۳۱). هر کدام از آنها دو یا سه دومن ایمونوگلوبولینی خارج سلولی درگیر در اتصال به لیگاند و یک دنباله سیتوپلاسمی بلند یا کوتاه درگیر در انتقال سیگنال دارند. نام‌های اطلاق شده به ژن‌های KIR بر اساس ساختار مولکول‌های کد شونده توسط آنها هستند. اولین رقم به دنبال نام KIR مربوط به تعداد دومن‌های شبه ایمونوگلوبولینی در مولکول و D نشان دهنده دومن^۱ است. حرف D توسط L نشان دهنده دنباله سیتوپلاسمی بلند^۳، S نشان دهنده دنباله سیتوپلاسمی کوتاه^۳ و یا P نشان دهنده ژن‌های کاذب^۴ دنبال شده است. رقم آخر نشان دهنده شماره ژن کد کننده یک پروتئین با این ساختار می باشد (۳۲). بنابراین KIR2DL1، KIR2DL2 و KIR2DL3 پذیرنده‌هایی با دو دومن شبه ایمونوگلوبولینی خارج سلولی و یک دنباله سیتوپلاسمی بلند کد می کنند. دنباله‌های بلند KIR های مهاری (iKIR) شامل یک یا دو موتیف مهاری با ساختار تیروزین در پذیرنده ایمینی می باشند، که سیگنال‌های مهاری را راه اندازی می نمایند. دنباله‌های کوتاه KIR های فعال کنندگی (aKIR) هیچ موتیف سیگنالی را حمل نمی کنند (۳۳).

لیگندهای KIR

پروتئین‌های HLA توسط یک منطقه ژنتیکی به نام MHC کد می شوند (۳۴). تفاوت‌های میان پروتئین‌های HLA در درجه اول در ناحیه انتهای آمینی این مولکول‌ها واقع شده‌اند که به پپتیدها اتصال می یابند و با پذیرنده‌های سلول T یا مولکول‌های پذیرنده KIR برهمکنش دارند. KIR های مهاری موتیف مجزایی از مولکول‌های پلی مورفیک HLA کلاس I را شناسایی می کنند و سیگنال‌هایی را راه اندازی می کنند که از فعالیت سلول NK جلوگیری می نمایند.

برهمکنش‌های iKIR-HLA به خوبی تعریف شده‌اند. KIR2DL1 به آلوتیپ‌های Cw*02، Cw*04، Cw*05، Cw*06، Cw*15 و Cw*17 حاوی لیزین در اسید آمینه موقعیت ۸۰ واقع شیار اتصال به پپتید (HLA-C^{K80}) گروه C2

1. Domain
2. Long
3. Short
4. Pseudogenes

سطوح بالایی از CD56 و KLR را بیان می‌کنند و تمایل به عدم بیان CD16 و KIR دارند. دو زیرمجموعه سلول‌های NK همچنین بر حسب بیان پذیرنده‌های کموکاین و مولکول‌های چسبان با یکدیگر اختلاف دارند که پیشنهاد می‌کند آنها خصوصیات لانه‌گزینی متفاوتی دارند (۵۰). در واقع، سلول‌های CD56^{bright} به‌عنوان زیرمجموعه غالب سلول‌های NK در گره‌های لنفوی انسان یافت شده‌اند (۵۱). علاوه بر این، آنها تفاوت‌های عملکردی مهمی را نشان می‌دهند. زیرمجموعه CD56^{dim} ظرفیت سیتوتوکسیک بیشتری دارد، در حالی که زیرمجموعه CD56^{bright} دارای توانایی بیشتری برای تولید سایتوکاین‌های التهابی در مجاورت با غلظت پایین منوکاین‌ها است (۵۲). اخیراً، افزایش شدید زیرمجموعه CD56^{bright} سلول‌های NK در مایع مفصلی بیماران مبتلا به آرتریت نشان داده شده است (۵۳).

مطالعات انجام شده در جمعیت‌های غیر ایرانی

مطالعه لوپزلارا^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۶ به منظور بررسی نقش ژن‌های KIR3DL1 و KIR3DS1 در استعداد ابتلا به AS، در دو جمعیت سفیدپوست HLA-B*27 مثبت (یکی از اسپانیا با ۷۱ بیمار و ۱۰۵ کنترل و دیگری از پرتقال ۵۵ بیمار و ۷۵ کنترل) انجام شد. بر اساس این مطالعه، ارتباط ژن KIR3DS1 و همچنین ارتباط ترکیب KIR3DS1 و HLA-B*41:01، در استعداد ابتلا به AS در این دو جمعیت، معنی‌دار گزارش شد. آنها همچنین مشاهده کردند که ژن KIR3DL1 در بیماران مبتلا به AS نسبت به گروه کنترل، از فراوانی کمتری برخوردار است. به‌علاوه، در جمعیت اسپانیایی ترکیب KIR3DL1 و HLA-B*41:01 در گسترش AS نقش محافظتی داشت. این محققین در نهایت بیان داشتند که حضور KIR3DS1 یا KIR3DL1 در ترکیب با HLA-B*41:01 گسترش AS را تعدیل می‌کند. به بیان

مستدلی از برهمکنش میان KIR3DS1 و آلوتیپ‌های Bw4 وجود ندارد. با این حال، اطلاعات ژنتیک اپیدمیولوژیکی (۴۳)، عملکردی (۴۴) و ژنتیک جمعیتی (۴۵) به‌شدت از چنین برهمکنشی حمایت می‌کنند. لیگاندها برای KIR2DS3، KIR2DL5 و KIR2DS5 تاکنون شناسایی نشده‌اند (۳۶).

تنوع کلونال بیان سطح سلولی KIR

تعداد و نوع KIR ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای بین افراد متغیر هستند. به‌علاوه، سلول‌های NK در یک فرد می‌توانند تعداد و انواع متغیری از KIRها را بیان کنند. اکثر سلول‌های NK در خون محیطی حداقل یک پذیرنده مهاری را برای MHC کلاس I خودی بیان می‌کنند و از لحاظ عملکردی صلاحیت شناسایی و از بین بردن سلول‌های هدفی که لیگاندهای MHC کلاس مربوطه را کاهش داده‌اند را دارند (۴۶). علاوه بر این، زیرجمعیتی از سلول‌های NK نابالغ از نظر تکاملی وجود دارد که فاقد پذیرنده‌های مهاری برای MHC کلاس I خودی است و عموماً به سلول‌های هدفی که فاقد بیان MHC کلاس I هستند پاسخ ضعیفی می‌دهد (۴۷). در این راستا، به تازگی نشان داده شده است که دستیابی به صلاحیت عملکردی تحت فرایندی به نام مجوزگرفتن می‌باشد که از طریق برهمکنش پذیرنده‌های مهاری سلول NK با لیگاندهای کلاس I مربوطه صورت می‌گیرد (۴۸). بنابراین، به نظر می‌رسد که حداقل یک برهمکنش iKIR-HLA برای تکامل عملکردی سلول‌های NK بسیار مهم است.

دو زیرمجموعه از سلول‌های NK در خون محیطی شناخته شده‌اند (۴۹). اکثریت آنها به زیرمجموعه CD56^{dim} تعلق دارند، که سطوح متوسطی از CD56 و سطوح بالایی از CD16 را بیان می‌کنند. سلول‌های NK CD56^{dim} معمولاً KIR را بیان می‌کنند و از نظر بیان پذیرنده‌های KLR هتروژن هستند. زیرمجموعه کوچکی از سلول‌های NK فنوتیپ CD56^{bright} هستند که تنها ۱۰ درصد از سلول‌های NK در گردش را تشکیل می‌دهند. این سلول‌ها

1. Lopez-Larrea

دیگر میزان استعداد ابتلا به AS با تعادل میان ترکیبات KIR/HLA مهاری و فعال کنندگی تعیین می‌گردد (۷).

بر اساس مطالعه دیازپنا^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۸ بر روی دو جمعیت آسیایی (یک جمعیت چینی با ۴۲ بیمار و ۳۰ کنترل و یک جمعیت تایلندی با ۳۰ بیمار و ۱۶ کنترل) فراوانی ژن‌های KIR3DS1، KIR2DS5 و KIR2DL5 در هر دو جمعیت گزارش شد. بر اساس این مطالعه در بیماران مبتلا به AS ژن KIR3DL1 از فراوانی کمتری برخوردار بود (۵).

مطالعه جیانو^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۸ به منظور بررسی ارتباط پلی مورفیسم‌های ژن KIR و آلل‌های HLA-C در استعداد ابتلا به AS، به روش واکنش زنجیره‌ای پلیمرز با استفاده از پرایمرهای اختصاصی توالی (PCR-SSP)^۳ بر روی DNA ژنومی ۱۱۹ بیمار مبتلا به AS و ۱۲۸ فرد سالم به عنوان کنترل انجام گرفت. بر اساس این مطالعه فراوانی ژن‌های KIR3DS1 و KIR2DL5 در مبتلایان به AS به‌طور چشمگیری بیشتر از افراد گروه کنترل گزارش شد و درصد زیادی از مبتلایان به AS نسبت به گروه کنترل، دارای ۲ یا چند ژن فعال کنندگی KIR بودند. آنها همچنین دریافتند که افراد بیمار، آلل‌های HLA-C از جمله آلل HLA-Cw*02 را به‌طور چشمگیری نسبت به گروه کنترل بیشتر دارند. در نهایت این مطالعه نشان داد که وجود HLA-C^{K80} و نیز ترکیب KIR2DS1/HLA-C^{K80} در مبتلایان به AS نسبت به گروه کنترل شایع‌تر است. عدم تعادل میان KIR های مهاری و فعال کنندگی و عدم تعادل میان HLA-C^{K80} و HLA-C^{N80} نیز به‌عنوان فاکتوری مؤثر در پاتوژنز بیماری AS گزارش شد. آنها از مطالعه خود نتیجه گرفتند که ترکیب KIR2DS1 و HLA-C^{K80} احتمالاً از طریق تأثیر بر فعالیت سلول‌های NK در استعداد ابتلا به AS مؤثر است (۳).

بر خلاف مطالعات فوق، مطالعه هاروی^۴ و همکاران در سال ۲۰۰۸ به منظور تعیین نقش ژن‌های KIR3DS1، KIR3DL1 و

KIR3DL2 در استعداد ابتلا به AS در جمعیت بریتانیایی بر روی ۲۰۰ بیمار مبتلا به AS و ۴۰۵ فرد سالم به عنوان کنترل به روش مالتیپلکس PCR نشان داد که فراوانی ژن‌های KIR3DL1 و KIR3DS1 بین گروه AS و کنترل بسیار شبیه هم است. در ضمن تفاوت در فراوانی آلل‌های ژن KIR3DL2 بین گروه AS و کنترل معنی‌دار گزارش نشد (۵۴).^۱

مطالعات انجام شده در جمعیت ایرانی

موسوی و همکاران در سال ۲۰۰۹ به منظور بررسی نقش سلول‌های NK در استعداد ابتلا به AS مطالعه‌ای را بر روی ۳۰ فرد مبتلا به AS و ۳۳ فرد سالم به عنوان گروه کنترل انجام دادند. آنها در این مطالعه که با روش فلوسیتومتری به‌منظور تعیین مولکول‌های CD16 و CD56 سطحی سلول‌های NK بر روی سلول‌های تک‌هسته‌ای خون محیطی (PBMC)^۵ انجام گردید مشاهده کردند که در بیماران AS نسبت به گروه کنترل، فراوانی سلول‌های NK^{CD16⁺CD56^{dim}} و ⁺CD16⁺CD56 افزایش معنی‌داری دارند. آنها این امر را بیانگر دخالت سلول‌های NK و مارکرهای آنها در پاتوژنز بیماری AS دانستند (۵۵).

با توجه به این که سلول‌های NK^{CD56^{dim}} معمولاً KIR را بیشتر بیان می‌کنند و از طرف دیگر این سلول‌ها در مبتلایان به AS فراوانی بالایی دارند، موسوی و همکاران در سال ۲۰۱۰ در مطالعه‌ای دیگر بر روی ۴۰ فرد مبتلا به AS و ۴۰ فرد سالم به عنوان گروه کنترل (با روش فلوسیتومتری جهت بررسی بیان KIR های KIR2DL1/2DS1، KIR2DL2/2DL3، KIR3DL1 و KIR2DS4 و روش مولکولی PCR-SSP برای لیگاندهای HLA) نشان داد که فراوانی ترکیب KIR3DL1 و HLA

1. Díaz-Peña

2. Jiao

3. Polymerase Chain Reaction- Sequence Specific Primers

4. Harvey

5. Peripheral Blood Mononuclear Cells

مؤثر باشند (۶۰). در مطالعه تاجیک و همکاران (۵۷) که در آن از نتایج مطالعات قبلی در جمعیت سالم ایرانی (۶۲، ۶۱) به‌عنوان نتایج گروه کنترل استفاده گردیده است، فراوانی KIR3DS1 و KIR2DS1، KIR2DL5 در بیماران مبتلا به AS در مقایسه با گروه کنترل افزایش و فراوانی KIR3DL1 کاهش نشان داد. در واقع نتایج این مطالعه در مورد نقش KIR در استعداد ابتلا به بیماری AS مشابه مطالعات قبلی انجام شده در سفیدپوستان (۷)، آسیایی‌ها (۵) و چینی‌ها (۳) بود که از نقش آنها در گسترش AS حمایت کرد. اگرچه لیگاندهای KIR2DL5 هنوز شناسایی نشده‌اند، ولی تأثیر این پذیرنده در پسروربازیس و لگاریس (۶۳) و بیماری سلیاک (۶۴) شرح داده شده است. نتایج این مطالعه مطرح کرد که KIR2DL5 به دلیل نقش اختصاصی در ایمنی ذاتی ممکن است در پاتوژنز AS نیز دخیل باشد. همچنین این یافته‌ها، با نشان دادن KIR3DS1 به‌عنوان یک ژن مستعدکننده AS، این واقعیت را که HLA-B*27 در پاتوژنز AS دخیل است، تأیید کرد (۷). به‌طور کلی این نتایج تأییدکننده افزایش فعالیت سلول NK با واسطه پذیرنده‌های فعال کنندگی KIR2DS1 و KIR3DS1 در بیماران AS می‌باشد. این موضوع نشان داد که عدم تعادل ژنتیکی میان ژن‌های KIR مهاری و فعال کنندگی ممکن است با مکانیسمی مشابه دیابت نوع I (۶۵) در ابتلا به AS نیز نقش اساسی داشته باشد.

نقش ژن‌های HLA در افزایش استعداد ابتلا به AS تأیید شده است و از طرفی، عملکرد KIR ها بر روی سلول‌های اجرایی به‌شدت به مولکول‌های HLA بیان شده بر روی سلول‌های هدف بستگی دارد (۶۶). مطالعه تاجیک و همکاران (۵۷) نشان داده است که HLA-B*4 و به‌ویژه HLA-B*4¹⁸⁰ از نظر آماری کاهش معنی‌داری در بیماران AS در مقایسه با افراد کنترل دارند. تصور می‌شود کاهش شیوع HLA-B*4 و به‌ویژه HLA-B*4¹⁸⁰ در AS می‌تواند به افزایش احتمال ناسازگاری میان KIR ها و

Bw4¹⁸⁰، به‌طور معنی‌داری در بیماران AS در مقایسه با گروه کنترل کاهش دارد. البته در این مطالعه تفاوت معنی‌داری بین فراوانی ژن‌های گروه‌های HLA-C و نیز بروز پذیرنده‌های KIR در بین مبتلایان به AS و کنترل مشاهده نشد (۵۶).

در ادامه تحقیقات فوق، تاجیک و همکاران در سال ۲۰۱۱ مطالعه‌ای ژنتیکی به منظور بررسی نقش KIR در استعداد ابتلا به AS انجام دادند. آنها در این مطالعه که بر روی جمعیت ایرانی با ۳۵ فرد مبتلا به AS و ۲۰۰ فرد سالم به‌عنوان کنترل، انجام شد دریافتند که فراوانی ژن‌های KIR2DS1، KIR2DL5A، KIR3DS1 در مبتلایان به AS به‌طور معنی‌داری افزایش دارد. همچنین انواع لیگاندهای HLA Bw4 (HLA-B*4¹⁸⁰) و HLA-B*4^{T80} (HLA-A*24 و HLA-B*4^{T80}) در این بیماران کاهش نشان داد. مطالعه ترکیبات KIR/HLA حکایت از کاهش فراوانی ترکیب KIR3DL1+HLA-B*4¹⁸⁰ و افزایش فراوانی ترکیب KIR2DS1+HLA-C2 در مبتلایان به AS نسبت به گروه کنترل داشت. بر اساس این یافته‌ها آنها دریافتند که احتمالاً فعالیت نامناسب و یا بیش از حد سلول‌های NK از طریق سیستم KIR/HLA در استعداد ابتلا به بیماری AS مؤثر است (۵۷). در واقع نتایج حاصل از این مطالعه تأییدی بر نتایج حاصل از مطالعه فنوتیپی موسوی و همکاران (۵۶) بر روی نقش KIR در استعداد ابتلا به AS بود.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات نشان داده است که تغییرات در بیان گنجینه KIR بر روی سلول‌های NK و نیز لیگاند مربوط به آن با بیماری‌های خودایمنی ارتباط دارند (۵۸، ۵۹). با این وجود، تنوع ژنتیکی KIR ها یا لیگاندهای HLA به‌ندرت در AS مطالعه شده است. بنابراین، تا این تاریخ درباره مکانیسم دقیق عمل KIR ها در AS اطلاع کمی وجود دارد. تصور می‌شود که تنوع ژن‌های KIR، لیگاند HLA و به‌ویژه ترکیبات KIR-HLA ممکن است در استعداد ابتلا به AS

لیگاندهای HLA آنها منجر شود که توانایی تغییر عملکرد سلول NK را دارد.

اختلافات افراد در فعالیت سلول NK، به ترکیبات KIR-HLA آنها نیز مربوط می‌شود (۶۷). از آنجایی که برهمکنش‌های KIR-HLA مختلف می‌تواند به تغییر ایمنی با واسطه سلول NK علیه عوامل بیماری‌زا منجر گردد (۶۸)، لذا قابل تصور است که ژن‌های HLA و ارتباط میان KIR و HLA ممکن است در بیماری AS مهم باشند. تا جایی که آرتروز و آسیب مفاصل می‌تواند در نتیجه پاسخ ایمنی تنظیم نشده به عوامل بیماری‌زای عفونی و یا آنتی‌ژن‌های خودی ایجاد شود. در این زمینه، در مطالعه تاجیک و همکاران (۵۷) ترکیب KIR3DL1+HLA-Bw4 و Bw4¹⁸⁰ در بیماران AS در مقایسه با افراد کنترل از نظر آماری کاهش معنی‌داری داشت. بنابراین، اثر محافظتی KIR3DL1 در استعداد ابتلا به AS ممکن است هنگامی که لیگاند HLA-B Bw4¹⁸⁰ وجود دارد، مؤثرتر باشد. به علاوه، این اثر می‌تواند در حضور HLA-B27 نیز اعمال گردد. به عبارت دیگر، وجود یک آلل HLA-B حامل اپی‌توپ Bw4-I80 اضافی در افراد HLA-B27 مثبت می‌تواند وضعیت فعالیت سلول‌های NK را در ترکیب با KIR مهاری مربوطه تعدیل نماید. به‌علاوه، در این بررسی هیچکس فاقد هر ۳ ترکیب KIR-HLA مهاری نبود و همه حداقل دارای یک ترکیب KIR-HLA مهاری بودند. این نتایج به‌شدت از مطالعه دوو^۱ و همکاران (۶۹) در سال ۲۰۰۷ که نشان داد حداقل یک ترکیب KIR-HLA مهاری برای عملکرد سلول NK انسان ضروری است حمایت کرد. همچنین، در این مطالعه فراوانی یک ترکیب تکی KIR-HLA مهاری در بیماران AS در مقایسه با افراد کنترل بیشتر بود. بنابراین تصور می‌شود در افراد حامل یک ترکیب تکی KIR-HLA مهاری، سلول‌های NK تحت مهار ضعیف‌تری هستند و در نتیجه این افراد استعداد ابتلا بیشتری به AS دارند.

برخلاف سلول‌های B و T، سلول‌های NK از چندین پذیرنده با عملکردهای مهاری یا فعال کنندگی استفاده می‌کنند. معمولاً پذیرنده‌های مهاری مولکول‌های HLA کلاس I خودی را در سطح سلول هدف شناسایی می‌کنند، درحالی‌که پذیرنده‌های فعال کنندگی، مولکول‌های غیرخودی عرضه شده توسط سلول هدف را شناسایی می‌کنند (۷۰). اگر یک سلول NK از هر دو این پذیرنده‌ها برای شناسایی هدف استفاده کند، برآیند سیگنال‌های حاصل از این پذیرنده‌ها عملکرد اجرایی سلول NK را تعیین می‌کند (۲۹). بنابراین، در مطالعه تاجیک و همکاران (۵۷) حضور ۶ ژن KIR فعال کنندگی در زمینه ترکیبات KIR-HLA مهاری نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد تنها تعداد کمی از افراد در دو گروه دارای تعداد مساوی ترکیبات KIR-HLA مهاری و KIR-های فعال کنندگی (iKIR+HLA=aKIR) می‌باشند. در واقع در بیماران AS در مقایسه با افراد کنترل فراوانی ژنوتیپ KIR با غلبه مهاری کمتر و فراوانی ژنوتیپ KIR با غلبه فعال کنندگی بیشتر بود. اگرچه دارا بودن ژن‌های KIR فعال کنندگی بیشتر در ایجاد پاسخ ایمنی موفق علیه عفونت‌ها، یک مزیت برای میزبان محسوب می‌شود، ولی در استعداد ابتلا به AS یک فاکتور خطر می‌باشد.

در مجموع، بیماران AS در مقایسه با افراد کنترل دارای ژن‌های KIR فعال کنندگی بیشتر و مهاری کمتر هستند. بنابراین، عدم تعادل میان ژن‌های KIR مهاری و فعال کنندگی می‌تواند در پاتوژنز AS از طریق افزایش فعالیت یا کاهش مهار یا ترکیبی از هر دو مؤثر باشد. علاوه بر این، ترکیب KIR3DL1+HLA-Bw4 و به‌ویژه ترکیب KIR3DL1+HLA-B Bw4¹⁸⁰ ممکن است با استعداد ابتلا به AS از طریق تأثیر بر فعالیت سلول NK مرتبط باشد.

References

- Braun J, Bollow M, Remlinger G, Eggens U, Rudwaleit M, Distler A, et al. Prevalence of Spondylarthropathies in HLA-B27 Positive and Negative Blood Donors. *Arthritis Rheum.*1998;41:58-67.
- Reveille JD, Sims AM, Danoy P, Evans DM, Leo P, Pointon JJ, et al. Genome-wide association study of ankylosing spondylitis identifies non-MHC susceptibility loci. *Nat Genet.*2010;42(2): 123-127.
- Jiao YL, Ma CY, Wang LC, Cui B, Zhang J, You L, et al. Polymorphisms of KIRs Gene and HLA-C Alleles in Patients with Ankylosing Spondylitis: Possible Association with Susceptibility to the Disease. *J Clin Immunol.*2008;28:343-349.
- Brown MA, Wordsworth BP, Reveille JD. Genetics of ankylosing spondylitis. *Clin Exp Rheumatol.*2002;6 Suppl 28:S43-49.
- Díaz-Peña R, Blanco-Gelaz MA, Suarez-Alvarez B, Martínez-Borra J, Lopez-Vazquez A, Alonso-Arias R, et al. Activating KIR Genes are Associated with Ankylosing Spondylitis in Asian Populations. *Human Immunology.*2008; 69:437-442.
- Stewart-Jones GB, di Gleria K, Kollnberger S, McMichael AJ, Jones EY, Bowness P. Crystal Structures and KIR3DL1 Recognition of Three Immunodominant Viral Peptides Complexed to HLA-B*2705. *Eur J Immunol.*2005;35:341-351.
- Lopez-Larrea C, Blanco-Gelaz MA, Torre-Alonso JC, Bruges Armas J, Suarez-Alvarez B, Pruneda L, et al. Contribution of KIR3DL1/3DS1 to Ankylosing Spondylitis in Human Leukocyte Antigen-B27 Caucasian Populations. *Arthritis Res Ther.*2006;8:R101.
- Sims AM, Wordsworth BP, Brown MA. Genetic Susceptibility to Ankylosing Spondylitis. *Curr Mol Med.*2004;4:13-20.
- Brown MA, Laval SH, Brophy S, Calin A. Recurrence risk modelling of the genetic susceptibility to ankylosing spondylitis. *Ann Rheum Dis.*2000; 59:883-886.
- Lee YH, Rho YH, Choi SJ, Ji JD, Song GG. Ankylosing Spondylitis Susceptibility Loci Defined by Genome-Search Metaanalysis. *J Hum Genet.*2005; 50:453-459.
- Zhang G, Luo J, Bruckel J, Weisman MA, Schumacher HR, Khan MA, et al. Genetic Studies in Familial Ankylosing Spondylitis Susceptibility. *Arthritis Rheum.*2004;50:2246-2254.
- Laval SH, Timms A, Edwards S, Bradbury L, Brophy S, Milicic A, et al. Whole Genome Screening in Ankylosing Spondylitis: Evidence of non MHC Genetic-Susceptibility Loci. *Am J Hum Genet.*2001;68:918-926.
- Rahman P, Inman RD, Gladman DD, Reeve JP, Peddle L, Maksymowych WP. Association of Interleukin-23 Receptor Variants With Ankylosing Spondylitis. *Arthritis Rheum.*2008;58(4):1020-5.
- Fraile A, Collado MD, Mataran L, Martin J, Nieto A. TAP1 and TAP2 polymorphism in Spanish patients with

- ankylosing spondylitis. *Exp Clin Immunogenet.*2000;17:199-204.
15. Jaakkola E, Crane AM, Laiho K, Herzberg I, Sims AM, Bradbury L, et al. The effect of transforming growth factor beta1 gene polymorphisms in ankylosing spondylitis. *Rheumatology.*2004;43:32-38
 16. Shahsavar F, Tajik N, Entezami K. [Killer Cell Immunoglobulin-Like Receptors and Their Ligands. *MUQ J.*2010;3:47-62.] (In Persian)
 17. 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.
 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, Rüschenhoff 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. 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.
 26. Trowsdale J. Genetic and Functional Relationships between MHC and NK Receptor Genes. *Immunity.*2001;15:363-74.
 27. 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 U S A*.2000;97:4778-4783.
28. Kumar V, McNerney ME. A New Self: MHC-Class-I-Independent Natural-Killer-Cell Self-Tolerance. *Nat Rev Immunol*. 2005;5:363-374.
 29. Lanier LL. NK Cell Recognition. *Annu Rev Immunol*.2005;23:225-274.
 30. Carrington M, Norman PJ. The KIR gene cluster. Bethesda, MD: U.S. National Library Med., National Centre for Biotechnology Information; 2003.
 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. Klein J. Natural history of the major histocompatibility complex. New York: Wiley-Interscience; 1986.
 35. 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.
 36. Kulkarni S, Martin MP, Carrington M. The Yin and Yang of HLA and KIR in human disease. *Seminars in Immunology*. 2008;20:343-352.
 37. 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(3):1133-1144.
 38. Carr WH, Pando MJ, Parham P. KIR3DL1 polymorphisms that affect NK cell inhibition by HLA-Bw4 ligand. *J Immunol*.2005;175:5222-5229.
 39. Luque I, Solana R, Galiani MD, Gonzalez R, Garcia F, Lopez de Castro JA, et al. Threonine 80 on HLA-B27 confers protection against lysis by a group of natural killer clones. *Eur J Immunol*. 1996;26(8):1974-1977.
 40. Chewning JH, Gudme CN, Hsu KC, Selvakumar A, Dupont B. KIR2DS1-positive NK cells mediate alloresponse against the C2 HLA-KIR ligand group in vitro. *J Immunol*.2007;179(2):854-868.
 41. 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(37):13224-13229.
 42. Pascal V, Yamada E, Martin MP, Alter G, Altfeld M, Metcalf JA, et al. Detection of

- KIR3DS1 on the cell surface of peripheral blood NK cells facilitates identification of a novel null allele and assessment of KIR3DS1 expression during HIV-1 infection. *J Immunol.*2007;179(3):1625-1633.
43. Qi Y, Martin MP, Gao X, Jacobson L, Goedert JJ, Buchbinder S, et al. KIR/HLA pleiotropism: protection against both HIV and opportunistic infections. *PLoS Pathog.*2006;2(8):e79.
 44. Alter G, Martin MP, Teigen N, Carr WH, Suscovich TJ, Schneidewind A, et al. Differential natural killer cell-mediated inhibition of HIV-1 replication based on distinct KIR/HLA subtypes. *J Exp Med.* 2007;204(12):3027-3036.
 45. Single RM, Martin MP, Gao X, Meyer D, Yeager M, Kidd JR, et al. Global diversity and evidence for coevolution of KIR and HLA. *Nat Genet.*2007;39(9):1114-1119.
 46. Raulet DH, Vance RE, McMahan CW. Regulation of the natural killer cell receptor repertoire. *Annu Rev Immunol.* 2001;19:291-330.
 47. Cooley S, Xiao F, Pitt M, Gleason M, McCullar V, Bergemann T, et al. A subpopulation of human peripheral blood NK cells that lacks inhibitory receptors for self MHC is developmentally immature. *Blood.*2007;110(2):578-586.
 48. Yokoyama WM, Kim S. How do natural killer cells find self to achieve tolerance? *Immunity.*2006;24:249-257.
 49. Farag SS, Caligiuri MA. Human natural killer cell development and biology. *Blood Reviews.*2006;20:123-137.
 50. 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.
 51. 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.
 52. 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.
 53. Dalbeth N, Callan MF. A subset of natural killer cells is greatly expanded within inflamed joints. *Arthritis Rheum.*2002;46:1763-1772.
 54. Harvey D, Pointon JJ, Sleator C, Meenagh A, Farrar C, Sun JY, et al. Analysis of killer immunoglobulin-like receptor (KIR) genes in ankylosing spondylitis. *Ann Rheum Dis.*2009;68(4):595-598.
 55. Mousavi T, Poormoghim H, Moradi M, Tajik N, Shahsavar F, Soofi M. Phenotypic study of natural killer cell subsets in ankylosing spondylitis patients. *Iran J Allergy Asthma Immunol.*2009; 8(4):193-198.
 56. Mousavi T, Poormoghim H, Moradi M, Tajik N, Shahsavar F, Asadifar B. Inhibitory killer cell immunoglobulin-like

- receptor KIR3DL1 in combination with HLA-B Bw4iso protect against ankylosing spondylitis. *Iran J Immunol.* 2010;7(2):88-95.
57. 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.
58. Karlsen TH, Boberg KM, Olsson M, Sun JY, Senitzer D, Bergquist A, et al. Particular Genetic Variants of Ligands for Natural Killer Cell Receptors May Contribute to the HLA Associated Risk of Primary Sclerosing Cholangitis. *J Hepatol.* 2007;46:899-906.
59. Parham P. MHC Class I Molecules and KIRs in Human History, Health and Survival. *Nat Rev Immunol.* 2005;5:201-214.
60. Naumova E, Mihaylova A, Ivanova M, Mihailova S. Impact of KIR/HLA Ligand Combinations on Immune Responses in Malignant Melanoma. *Cancer Immunol Immunother.* 2007;56:95-100.
61. Tajik N, Shahsavar F, Mousavi T, Radjabzadeh MF. Distribution of KIR Genes in the Iranian Population. *Tissue Antigens.* 2009;74:22-31.
62. 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.
63. Suzuki Y, Hamamoto Y, Ogasawara Y, Ishikawa K, Yoshikawa Y, Sasazuki T, et al. Genetic Polymorphisms of Killer Cell Immunoglobulin-Like Receptors are Associated with Susceptibility to Psoriasis Vulgaris. *J Invest Dermatol.* 2004;122: 1133-1136.
64. Santin I, Castellanos-Rubio A, Perez de Nanclares G, Vitoria JC, Castaño L, Bilbao JR. Association of KIR2DL5B Gene with Celiac Disease Supports the Susceptibility Locus on 19q13.4. *Genes Immun.* 2007;8:171-176.
65. Van Der Slik AR, Koeleman PC, Verduijn W, Bruining GJ, Roep BO, Giphart MJ. KIR in Type 1 Diabetes Disparate Distribution of Activating and Inhibitory Natural Killer Cell Receptors in Patients Versus HLA-Matched Control Subjects. *Diabetes.* 2003;52:2639-2642.
66. Fang M, Chen R, Cai Q, Duan S, Lv K, Cheng N, et al. Association of HLA Genes with Ankylosing Spondylitis in Han Population of Eastern China. *Scand J Immunol.* 2007;65:559-566.
67. Boyton RJ, Smith J, Ward R, Jones M, Ozerovitch L, Wilson R, et al. HLA-C and Killer Cell Immunoglobulin-Like Receptor Genes in Idiopathic Bronchiectasis. *Am J Respir Crit Care Med.* 2006;173:327-333.
68. Yawata M, Yawata N, Draghi M, Little AM, Partheniou F, Parham P. Roles for HLA and KIR Polymorphisms in Natural Killer Cell Repertoire Selection and Modulation of Effector Function. *J Exp Med.* 2006;203(3):633-645.

69. Du Z, Gjertson DW, Reed EF, Rajalingam R. Receptor-Ligand Analyses Define Minimal Killer Cell Ig-Like Receptor (KIR) in Humans. *Immunogenetics*.2007; 59:1-15.
70. Moretta A, Bottino C, Vitale M, Pende D, Cantoni C, Mingari MC, et al. Activating Receptors and Coreceptors Involved in Human Natural Killer Cell-Mediated Cytolysis. *Annu Rev Immunol*.2001;19: 197-223.