

## اثر آنتی‌بادی‌های منوکلونال ضد پلاسمینوژن انسانی بر فعال شدن گلو- پلاسمینوژن انسانی به وسیله فعال کننده‌های پلاسمینوژن

### چکیده

محمد اکرمی<sup>۱</sup>

دکتر منوچهر میرشاهی<sup>۱\*</sup>

دکتر خسرو خواجه<sup>۱</sup>

دکتر حسین نادری منش<sup>۱</sup>

۱. گروه بیوشیمی، دانشکده علوم پایه،

دانشگاه تربیت مدرس

**زمینه و هدف:** پلاسمینوژن انسانی یک گلیکوپروتئین پلاسمایی است که به طور عمده در کبد سنتز می‌شود. فعال شدن پلاسمینوژن به پلاسمین، توسط فعال کننده‌های پلاسمینوژن یکی از رویدادهای کلیدی سامانه فیبرینولیتیک انسان است. در این مطالعه ما اثرات دو آنتی‌بادی منوکلونال ضد پلاسمینوژن انسانی، A1D12 و MC2B8 را بر فعال شدن گلو- پلاسمینوژن در حضور فعال کننده‌های نوع بافتی (t-PA) و نوع ادراری پلاسمینوژن (u-PA) و همچنین استرپتوکیناز بررسی نمودیم.

**روش بررسی:** تولید آنتی‌بادی‌های دو رگه به وسیله ادغام سلول‌های طحال موش BALB/C ایمونیزه شده با گلو- پلاسمینوژن انسانی با سلول‌های میلومای NS1، طبق روش Kohler و Milstein انجام شد. فعال شدن پلاسمینوژن با اندازه‌گیری تولید پلاسمین با استفاده از سوبسترای رنگزای S-2251 سنجش شد. پس از آن اثر آنتی‌بادی‌های منوکلونال، A1D12 و MC2B8، بر فعال شدن پلاسمینوژن در محلول ارزیابی گردید. سرعت‌های اولیه و شاخص‌های کینتیکی فعال شدن پلاسمینوژن در حضور آنتی‌بادی‌های منوکلونال نیز محاسبه گردید. اثر آنتی‌بادی منوکلونال MC2B8 بر سرعت هیدرولیز پلاسمین سنجش شد. همچنین اثر بخش  $F(ab')_2$  آنتی‌بادی A1D12 بر فعال شدن پلاسمینوژن انسانی به وسیله u-PA با اثر آنتی‌بادی کامل بر این واکنش مقایسه شد.

**یافته‌ها:** آزمون ELISA نشان داد که آنتی‌بادی‌ها به خوبی با آنتی‌ژن واکنش پذیری دارند. آنتی‌بادی A1D12 سرعت ماکزیمم ( $V_{max}$ ) فعال شدن پلاسمینوژن به وسیله هر یک از سه فعال کننده را افزایش و آنتی‌بادی MC2B8 آن را کاهش داد. در تمامی واکنش‌های فعال شدن، مقدار  $K_m$  فعال شدن پلاسمینوژن در حضور آنتی‌بادی A1D12 تغییر چندانی نکرد در حالی که آنتی‌بادی MC2B8 مقدار  $K_m$  فعال شدن به وسیله u-PA، t-PA و وابسته به منومر فیبرین و استرپتوکیناز را کاهش داد. آنتی‌بادی منوکلونال MC2B8 اثر قابل ملاحظه‌ای بر سرعت هیدرولیز سوبسترای سنتزی S-2251 توسط پلاسمین نداشت. سرعت فعال شدن پلاسمینوژن به وسیله

u-PA در حضور غلظت‌های پایین‌تری از بخش  $F(ab)_2$  آنتی‌بادی A1D12 برابر با آنتی‌بادی کامل است.

**نتیجه‌گیری:** اتصال آنتی‌بادی A1D12 از ناحیه  $F(ab)$  خود به گلو-پلاسمینوژن، کارایی کاتالیتیکی فعال شدن پلاسمینوژن به وسیله فعال‌کننده‌های پلاسمینوژن را افزایش می‌دهد. بنابراین به لحاظ کلینیکی به کارگیری آنتی‌بادی A1D12 برای درمان رویدادهای انسدادی عروق نظیر سکته قلبی، با انسانی نمودن بخش  $F(ab)$  آنتی‌بادی A1D12 ممکن است مفید باشد. الگوی مهار آنتی‌بادی MC2B8، با اتصال احتمالی به جایگاه برش گلوتامین-پلاسمینوژن یا نزدیک آن، از نوع مهار آنزیمی چندگانه می‌باشد.

**کلمات کلیدی:** پلاسمین (پلاسمینوژن)، آنتی‌بادی منوکلونال موشی، فعال‌کننده پلاسمینوژن نوع بافتی، فعال‌کننده نوع ادراری پلاسمینوژن، استرپتوکیناز

\*نشانی: صندوق پستی ۱۷۵-۱۴۱۱۵، تلفن:

۸۸۰۹۷۳۱

پست الکترونیک: mirshahi@modares.ac.ir

## مقدمه

بخش کاتالیتیکی سرین پروتئینازی انتهای کربوکسیلی می‌باشد [۱]. مطالعات میکروسکوپ الکترونی نشان داده‌اند که گلو-پلاسمینوژن دارای شکل فضایی بسته و ساختاری فشرده می‌باشد که در اثر برهمکنش PAP با دنباله‌های کرینگلی حاصل شده است [۷-۹]. دومین انتهای آمینی PAP احتمالاً برای تنظیم تغییر شکل فضایی و ویژگی‌های فعال فرم گلو-پلاسمینوژن لازم است [۷، ۱۰، ۱۱]. با رها شدن PAP از گلو-پلاسمینوژن به وسیله عمل برشی پلاسمین، فرم لیز-پلاسمینوژن با شکل فضایی گسترده ایجاد می‌شود که بهتر توسط فعال‌کننده‌های پلاسمینوژن فعال می‌شود [۱۰، ۱۱]. کرینگل‌ها در ساختار خود دارای جایگاه‌های اتصال لیزین به نام Lysine Binding Site (LBS) می‌باشند که در اتصال اختصاصی پلاسمینوژن به فیبرین، سطوح سلولی و اتصال پلاسمین به مهارکننده پلاسمایی خود به نام آلفا-دو-آنتی‌پلاسمین<sup>۴</sup> نقش دارند [۱].

پلاسمینوژن انسانی یک گلیکوپروتئین تک زنجیره‌ای با ۷۹۱ اسید آمینه و وزن ملکولی ۹۲ کیلو دالتون می‌باشد [۱، ۲]. این پیش‌آنزیم سرین پروتئازی به طور عمده در کبد سنتز می‌شود و به صورت غیر فعال در جریان خون به گردش در می‌آید [۱، ۳]. چندین فرم پلاسمینوژن در پلازما مشخص شده‌اند [۴]. فرم طبیعی پلاسمینوژن پلاسمایی دارای گلوتامیک اسید در بخش انتهای آمینی خود بوده و گلو-پلاسمینوژن<sup>۱</sup> نام دارد. دیگر اشکال پلاسمینوژن که طی برش کاتالیتیکی پلاسمینوژن توسط پلاسمین ایجاد می‌شوند و اغلب دارای اسید آمینه لیزین در قسمت انتهای آمینی می‌باشند، لیز-پلاسمینوژن<sup>۲</sup> نام دارند [۵، ۶]. گلو-پلاسمینوژن متشکل از یک پپتید انتهای آمینی به نام Preactivation peptide (PAP) و به دنبال آن ۵ ساختار مشابه به نام دنباله‌های کرینگل<sup>۳</sup> و

1 - Glu-plasminogen

2 - Lys-plasminogen

3 - Kringle domains

4 -  $\alpha$ 2-Antiplasmin

## روش بررسی

### پروتیین‌ها و معرف‌ها

گلو- پلاسمینوژن انسانی و رپتیلاز<sup>۳</sup> از شرکت stago ، t-PA با نام تجاری Actylase از شرکت Boehringer، اوروکیناز (u-PA) با نام تجاری Actosolv از شرکت Boehringer، استرپتوکیناز با نام تجاری Kabikinase از شرکت Kabi و پلاسمین و سوبسترای سنتزی (H-D- S-2251 (Chromogenix از شرکت Val-Leu-Lys-p-nitroanilide خریداری شد.

منومر فیبرین با انعقاد فیبرینوژن به وسیله آنزیم رپتیلاز به دست آمد. پس از لخته شدن، لخته‌ها به دقت شسته شده و در اوره<sup>۴</sup> ۴ مولار حل شد. سپس غلظت منومر فیبرین با اندازه‌گیری جذب آن در ۲۸۲ نانومتر تعیین شد. برای تولید آنتی‌بادی‌های منوکلونال، طبق روش Milstein و Kohler ، سلول‌های طحال موش BALB/C ایمونیزه شده با گلو- پلاسمینوژن با سلول‌های میلوما NS۱ ادغام شد. محلول رویی سلول‌های هیبریدوما به روش ELISA، به وسیله پلیت‌های پوشیده شده با گلو- پلاسمینوژن و شناسایی ایمونوگلوبین‌ها با استفاده از آنتی‌بادی ثانویه ضد ایمونوگلوبین موشی که با پراکسیداز تریچه<sup>۵</sup> نشان‌دار شده بود، غربال شد. پس از تکثیر و تزریق سلول‌های هیبریدوما تولید کننده آنتی‌بادی‌های منوکلونال به درون موشی که با پرستان تیمار شده بود، آنتی‌بادی‌های مایع صفاقی موش‌های BALB/C با استفاده از کروماتوگرافی تمایلی ستون پروتیین G، تخلیص شدند. آنتی‌بادی منوکلونال MC2B8 با توجه به ویژگی مهارکنندگی بالای آن بر فعال شدن پلاسمینوژن طی القای یک فعال کننده پلاسمینوژن، از یک پانل حاوی ۳۹ آنتی‌بادی منوکلونال انتخاب شد. آنتی‌بادی منوکلونال A1D12 از قبل با توجه به

تبدیل آن به پلاسمین، یکی از رویدادهای کلیدی سامانه فیبرینولیز است [۱۲]. دو نوع فعال کننده فیزیولوژیک در خون مشخص شده‌اند: فعال کننده نوع بافتی<sup>۱</sup> (t-PA) و فعال کننده نوع ادراری پلاسمینوژن<sup>۲</sup> (u-PA). این دو نوع فعال کننده، سرین پروتئازهای شبه تریپسینی هستند که با برش پیوند Arg<sup>561</sup>-Val<sup>562</sup> موجب فعال شدن پلاسمینوژن می‌شوند، با این تفاوت که فعال شدن پلاسمینوژن به وسیله t-PA توسط کوفاکتور فیبرین تسهیل می‌شود اما u-PA برای فعال نمودن پلاسمینوژن مستقل از کوفاکتور فیبرین عمل می‌کند [۱۳]. نوعی فعال کننده پلاسمینوژن با منشاء خارجی به نام استرپتوکیناز از گونه‌های مختلف باکتری‌های استرپتوکوک بتا-همولیتیک تولید می‌شود که به طور غیر مستقیم پلاسمینوژن را فعال می‌کند [۱۴، ۱۵]. به عبارت دیگر استرپتوکیناز به خودی خود آنزیم نمی‌باشد بلکه با تشکیل کمپلکس ۱:۱ با پلاسمینوژن و پلاسمین و اعمال تغییر شکل فضایی، ویژگی قابل ملاحظه‌ای را برای فعال نمودن دیگر ملکول‌های پلاسمینوژن کسب می‌کند [۱۶-۱۹]. به علت اهمیت سیستم فیبرینولیز در انحلال لخته، امروزه این فعال کننده‌های پلاسمینوژن به صورت دارو در درمان ترومبولیتیک بیماری‌های انسداد عروقی نظیر سکته قلبی اهمیت به سزایی دارند [۱۴، ۲۰-۲۲]. از آنتی‌بادی‌های منوکلونال نیز به عنوان ابزاری کارآمد در درمان بیماری‌ها، از جمله بیماری‌های انسداد عروقی استفاده شده است [۲۰-۲۳]. در این مطالعه، ما اثرات دو آنتی‌بادی منوکلونال ضد پلاسمینوژن انسانی را بر فعال شدن گلو- پلاسمینوژن به وسیله فعال کننده‌ها بررسی می‌کنیم.

3 - Reptilase  
4 - Horseradish peroxidase

1 - Tissue type plasminogen activator  
2 - Type plasminogen activator urokinase

میلی گرم در میلی لیتر سوبسترای O-OPD (Phenylenediamine) حل شده در بافر سیترات/فسفات با PH برابر با ۵، محتوی ۰/۶ درصد آب اکسیژنه به آنها اضافه شد. ظهور رنگ که معرف میزان اتصال است پس از توقف واکنش با اسید سولفوریک ۲ طبیعی با اندازه گیری جذب در ۴۹۲ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتری ELISA Reader (Anthos 2020) تعیین شد.

### فعال شدن پلاسمینوزن و آزمون‌های سیتیک فعال شدن

#### پلاسمینوزن در محلول

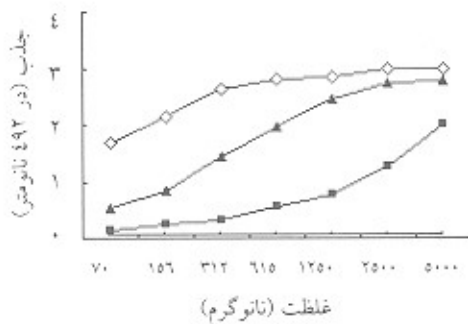
فعال شدن پلاسمینوزن (عاری از پلاسمین) با اندازه گیری پلاسمین تولید شده با استفاده از سوبسترای سنتزی S-2251 سنجش شد و پس از آن اثر هر آنتی بادی منوکلونال بر فعال شدن پلاسمینوزن مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمون‌ها در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد و در حجم‌های یکسان (۱۲۵ میکرولیتر) و در حضور و غیاب آنتی بادی‌ها انجام شد. ابتدا گلو- پلاسمینوزن انسانی (غلظت نهایی ۵ میکروگرم در میلی لیتر) به مدت ۱ ساعت با هر یک از آنتی بادی‌ها (غلظت نهایی ۲۵ میکروگرم در میلی لیتر) مجاور گردید. سپس سوبسترای S-2251 اضافه شده و به مدت ۲۰ دقیقه مجاور شد. برای شروع واکنش فعال سازی در آزمون‌های جداگانه، u-PA (غلظت نهایی ۴۰ واحد)، استرپتوکیناز (غلظت نهایی ۱۵ واحد) و t-PA (غلظت نهایی ۲۵ نانوگرم در میلی لیتر) در حضور منومر فیبرین (غلظت نهایی ۵۰ میکروگرم در میلی لیتر) به مخلوط واکنش اضافه شد. افزایش جذب در ۴۰۵ نانومتر طی زمان به علت هیدرولیز سوبسترا توسط پلاسمین تولیدی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری ELISA Reader اندازه گیری شد. سرعت اولیه در مرحله پایا اندازه گیری شده و مقادیر پارامترهای  $K_m$  و  $V_{max}$  فعال شدن پلاسمینوزن از روی نمودار Linweaver-Burk و با استفاده از معادله معکوس Michaelis-Menten (معادله ۱)، محاسبه گردید:

اثرات بالقوه آن بر انحلال لخته فیبرین با القای یک فعال کننده پلاسمینوزن انتخاب شده بود [۱۱]. یک آنتی بادی غیر مرتبط<sup>۱</sup> نیز برای آزمون‌های کنترل استفاده شد. غلظت پروتیین‌ها به روش آزمون برادفورد<sup>۲</sup> تعیین شد. قسمت  $F(ab')_2$  آنتی بادی منوکلونال A1D12 از طریق هضم با پاپاین حاصل شد. برای تعیین شرایط خلوص آنتی بادی‌ها، الکتروفورز SDS-PAGE ژل پلی اکریل آمید ۷٪ در شرایط احیایی و غیر احیایی انجام شد.

#### آزمون ELISA<sup>۳</sup>

این آزمون به منظور بررسی فعالیت بیولوژیکی آنتی بادی‌های منوکلونال ضد پلاسمینوزن انسانی از لحاظ اتصال به گلو- پلاسمینوزن انجام شد. ابتدا ۱۰۰ میکرولیتر گلو- پلاسمینوزن با غلظت ۲ میکروگرم در میلی لیتر (pH برابر با ۷/۴) به مدت یک شبانه روز در دمای اتاق بر روی پلیت‌های ۹۶ خانه‌ای پوشیده شد. سپس آنتی بادی‌های منوکلونال A1D12, MC2B8 و قسمت  $F(ab')_2$  آنتی بادی منوکلونال A1D12 (غلظت نهایی ۷۰ نانوگرم تا ۵ میکروگرم در میلی لیتر) رقیق شده در محلول محتوی ۰/۰۵ درصد Tween20، ۱ درصد آلبومین سرم گاوی (BSA) در ردیف‌های جداگانه و در شرایط PH برابر با ۷/۴ به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد با گلو- پلاسمینوزن پوشیده شده روی پلیت ۹۶ خانه‌ای مجاور انکوباسیون شدند. پس از ۳ بار شستشوی پلیت‌ها برای جلوگیری از اتصال غیر اختصاصی، چاهک‌ها با محلول BSA یک درصد به مدت ۲ ساعت بلوکه شدند. پس از شستشوی مجدد پلیت، رقت ۱ به ۲۰۰۰ آنتی بادی نشان‌دار ثانویه به چاهک‌ها افزوده شده و پس از ۱/۵ ساعت مجاورت، پلیت به دقت شسته شد. در نهایت ۱۰۰ میکرولیتر از محلول ۰/۵

1 - Irrelevant  
2 - Bradford assay  
3 - Enzyme linked Immunosorbent assay



نمودار ۱ - منحنی بررسی فعالیت بیولوژیکی آنتی‌بادی‌های منوکلونال ضد پلاسمینوزن انسانی به روش آزمون ELISA، آنتی‌بادی ALD12 (◇)، آنتی‌بادی MC2B8 (▲)، بخش F(ab)<sub>2</sub> آنتی‌بادی AID 12 (■) و آنتی‌بادی نامربوط (●). هر نقطه میانگین سه بار تکرار آزمون است.

روی هم رفته این نتایج نشانگر آن است که آنتی‌بادی‌های مورد آزمایش و بخش F(ab)<sub>2</sub> آنتی‌بادی AID12 به این‌توب خود که روی ملکول پلاسمینوزن می‌باشد، متصل می‌شوند و از فعالیت بیولوژیکی مناسبی برخوردارند.

#### اثر آنتی‌بادی‌های منوکلونال بر فعال شدن پلاسمینوزن به

##### وسیله فعال کننده‌های پلاسمینوزن مختلف

اثر آنتی‌بادی‌های مورد مطالعه بر فعال شدن پلاسمینوزن در یک سیستم آزمون مشابه بررسی شد.

طبق منحنی پیشرفت واکنش<sup>۱</sup> فعال شدن گلو-پلاسمینوزن به وسیله u-PA در نمودار ۲، در حضور آنتی‌بادی AID12 فاز تأخیری واکنش، قبل از ظهور فعالیت قابل سنجش، اندکی کاهش و در حضور آنتی‌بادی MC2B8 این مرحله اندکی افزایش یافت. سرعت اولیه فعال شدن پلاسمینوزن به وسیله u-PA در حضور آنتی‌بادی AID12 غلظت ۱ میلی‌مولار سوبسترا، تقریباً ۳/۵ برابر افزایش و در حضور آنتی‌بادی MC2B8، ۲/۲ برابر کاهش یافت.

$$\text{معادله ۱: } \frac{1}{v} = \frac{V_{\max}}{K_M} \cdot \frac{1}{S} + \frac{1}{K_M}$$

K<sub>cat</sub> بر اساس معادله ۲ محاسبه شد: معادله ۲:

$$V_{\max} = k_{cat} \times E_0$$

#### آزمون پلاسمین

به منظور تفسیر بهتر سازوکار عمل آنتی‌بادی MC2B8،

اثر این آنتی‌بادی بر سرعت هیدرولیز پلاسبینی سوبسترای S-2251 سنجش شد. در این آزمون ابتدا ۵ میکروگرم در میلی‌لیتر پلاسبین با هر یک از این آنتی‌بادی‌ها به غلظت ۲۵ میکروگرم در میلی‌لیتر مجاور شد. سپس سوبسترای S-2251 افزوده شده و سرعت اولیه محاسبه گردید.

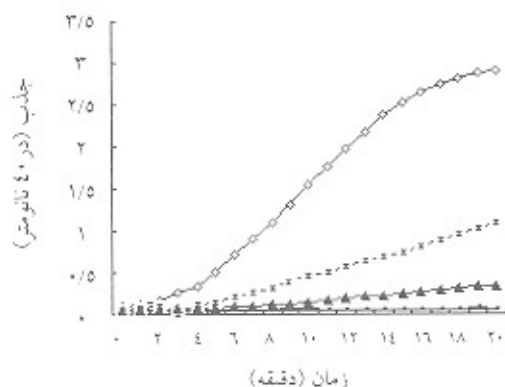
لازم به ذکر است هر یک از آزمون‌ها ۳ بار تکرار شده و میانگین نتایج با بهره برداری از رایانه و نرم‌افزار Microsoft Excel به صورت نمودار با سطح اطمینان بالای ۹۰٪ ارزیابی شد.

#### یافته‌ها

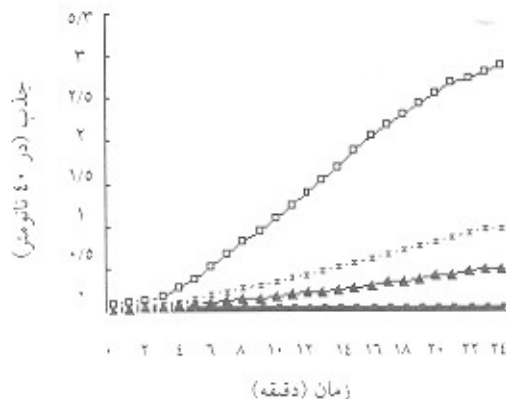
طبق نتایج الکتروفورز SDS-PAGE، آنتی‌بادی‌های منوکلونال تخلیص شده با ستون پروتیین G دارای خلوص بالایی بودند (نتایج نشان داده نشده است). پس از تخلیص آنتی‌بادی‌ها، آزمون ELISA برای تعیین واکنش پذیری آنتی‌بادی‌ها با گلو-پلاسمینوزن تحت شرایط ثابت نشان داد که آنتی‌بادی منوکلونال AID12 قوی‌تر از سایر آنتی‌بادی‌ها به گلو-پلاسمینوزن متصل می‌شود اما بخش F(ab)<sub>2</sub> آنتی‌بادی AID12 ضعیف‌تر از بقیه متصل می‌شود.

آنتی‌بادی MC2B8 نیز اتصال خوبی با گلو-پلاسمینوزن دارد در حالی که در حضور آنتی‌بادی کنترل غیرمرتبط، اتصالی مشاهده نشد (نمودار ۱).

1 - Progress curve



نمودار ۳- منحنی پیشرفت واکنش فعال شدن پلاسمینوژن انسانی به وسیله استرپتوکیناز در حضور آنتی‌بادی‌های متوکلونال AID12 ( $\diamond$ )، آنتی‌بادی MC2B8 ( $\blacktriangle$ )، عدم حضور آنتی‌بادی (z)، عدم حضور پلاسمینوژن (--) و عدم حضور استرپتوکیناز (-). هر نقطه میانگین سه بار تکرار آزمون است.



نمودار ۲- منحنی پیشرفت واکنش فعال شدن پلاسمینوژن انسانی به وسیله u-PA در حضور آنتی‌بادی‌های متوکلونال AID12 ( $\diamond$ )، آنتی‌بادی MC2B8 ( $\blacktriangle$ )، عدم حضور آنتی‌بادی (z)، عدم حضور پلاسمینوژن (-)، عدم حضور u-PA (--). هر نقطه میانگین سه بار تکرار آزمون است.

افزایش و در حضور آنتی‌بادی MC2B8 به میزان  $3/2$  برابر کاهش می‌یابد. در حضور فعال کننده استرپتوکیناز، آنتی‌بادی AID12 بر میزان تمایل آنزیم به سویسترا تقریباً اثری ندارد اما آنتی‌بادی MC2B8 این تمایل را  $2/2$  برابر کاهش می‌دهد. همچنین سرعت ماکزیم فعال شدن پلاسمینوژن به وسیله استرپتوکیناز در حضور آنتی‌بادی AID12،  $3/6$  برابر افزایش و در حضور آنتی‌بادی MC2B8،  $2/65$  برابر کاهش می‌یابد.

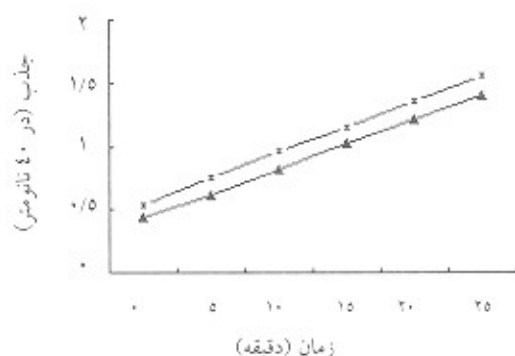
قابلیت اثر آنتی‌بادی‌های مورد مطالعه بر فعال شدن پلاسمینوژن انسانی به وسیله فعال کننده t-PA وابسته به منومر فیبرین در شرایط حضور و غیاب آنتی‌بادی‌ها نیز مورد سنجش قرار گرفت.

منحنی پیشرفت واکنش فعال شدن پلاسمینوژن به وسیله این فعال کننده (نمودار ۴) به همراه داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد که سرعت اولیه فعال شدن پلاسمینوژن به وسیله t-PA در حضور آنتی‌بادی AID12،  $1/5$  برابر افزایش و در حضور آنتی‌بادی MC2B8،  $3/2$  برابر کاهش می‌یابد. در

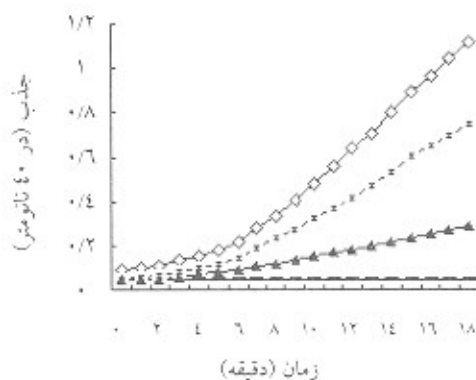
بر اساس داده‌های جدول ۱، آنتی‌بادی AID12 میزان سرعت ماکزیم ( $V_{max}$ ) فعال شدن پلاسمینوژن توسط u-PA را حدود ۳ برابر افزایش و آنتی‌بادی MC2B8 این مقدار را به میزان  $1/3$  برابر کاهش داد. مقدار  $K_M$  (معرف تمایل آنزیم به سویسترا) در این نوع واکنش در حضور آنتی‌بادی AID12 نسبت به شرایط عدم حضور آنتی‌بادی تغییر چندانی نکرد اما این مقدار در حضور آنتی‌بادی MC2B8،  $2/3$  برابر کاهش یافت.

در دوره دوم این آزمایش‌ها، اثر آنتی‌بادی‌های مورد مطالعه بر فعال شدن گلو- پلاسمینوژن انسانی به وسیله فعال کننده استرپتوکیناز بررسی گردید.

طبق نمودار ۳ و جدول ۱، همانند قبل، آنتی‌بادی AID12 فاز تأخیری واکنش را کاهش و آنتی‌بادی MC2B8 آن را افزایش داد. در آزمون مقایسه‌ای انجام شده معلوم شد که سرعت اولیه فعال شدن گلو- پلاسمینوژن در حضور آنتی‌بادی AID12 در غلظت ۱ میلی‌مولار سویسترا،  $3/4$  برابر



نمودار ۵- نمودار خطی اثر آنتی‌بادی‌های منوکلونال MC2B8 (▲) بر فعالیت هیدرولیزی پلاسمین. عدم حضور آنتی‌بادی (z). هر نقطه میانگین سه بار تکرار آزمون است.



نمودار ۴- منحنی پیشرفت واکنش فعال شدن پلاسمینوژن انسانی به وسیله t-PA و ایسته به متومرفیرین در حضور آنتی‌بادی‌های منوکلونال AID12 (◇)، آنتی‌بادی MC2B8 (▲)، شرایط عدم حضور آنتی‌بادی (z)، عدم حضور پلاسمینوژن (-). هر نقطه میانگین سه بار تکرار آزمون است.

#### مقایسه اثر $F(ab')_2$ آنتی‌بادی AID12 با آنتی‌بادی کامل AID12

آزمون مقایسه‌ای اثر  $F(ab')_2$  آنتی‌بادی AID12 با آنتی‌بادی کامل نشان داد که  $F(ab')_2$  در غلظت پایین‌تری از آنتی‌بادی AID12 (۱۵ میکروگرم در میلی‌لیتر در مقایسه با ۲۵ میکروگرم در میلی‌لیتر) دارای اثر بر سرعت فعال شدن پلاسمینوژن توسط u-PA می‌باشد (اطلاعات نشان داده نشده است).

#### بحث

اثرات متفاوت آنتی‌بادی‌های منوکلونال مورد مطالعه در حضور یک نوع فعال کننده مربوط به سازوکارهای مختلف این آنتی‌بادی‌هاست. بر اساس مقادیر  $K_M$  و  $V_{max}$  به دست آمده، الگوی مهار آنتی‌بادی منوکلونال MC2B8 بر فعال شدن پلاسمینوژن به وسیله t-PA، u-PA، و استرپتوکیناز، به علت کاهش تمایل آنزیم به سویسترا و کاهش سرعت ماکزیم، از نوع مهار چندگانه می‌باشد. آنتی‌بادی AID12 به علت عدم تغییر قابل ملاحظه در میزان تمایل آنزیم به

حضور این فعال کننده نیز آنتی‌بادی AID12 بر تمایل آنزیم به سویسترا اثری ندارد در حالی که آنتی‌بادی MC2B8 مقدار آن را ۱/۳ برابر کاهش می‌دهد. سرعت ماکزیم فعال شدن پلاسمینوژن به وسیله t-PA در حضور آنتی‌بادی AID12 و در غلظت ۱ میلی‌مولار سویسترا، ۱/۶ برابر افزایش و در حضور آنتی‌بادی MC2B8 به میزان ۲/۸ برابر کاهش می‌یابد.

لازم به ذکر است که فعال شدن گلو-پلاسمینوژن به وسیله هر کدام از فعال کننده‌ها در حضور آنتی‌بادی غیر مرتبط مشابه شرایط عدم حضور آنتی‌بادی بود. نمودارهای ۲، ۳، و ۴ نشان می‌دهند که پلاسمینوژن و فعال کننده‌های آن، هیچ کدام به تنهایی بر هیدرولیز سویسترای S-2251 تأثیر ندارند.

**اثر آنتی‌بادی مهار MC2B8 بر سرعت هیدرولیز پلاسمین**  
برای تفسیر بهتر سازوکار عمل آنتی‌بادی مهار MC2B8، اثر این آنتی‌بادی بر فعالیت هیدرولیزی پلاسمین مورد سنجش قرار گرفت. در حضور آنتی‌بادی MC2B8 تفاوت چندانی در سرعت هیدرولیزی پلاسمین مشاهده نگردید.

موجب مهار فعال شدن پیش آنزیم پلاسمینوژن شود. در حال حاضر اطلاعات بیشتری برای تفسیر سازوکار بهتر و تعیین اپی توپ دقیق آنتی بادی MC2B8 بر ملکول پلاسمینوژن وجود ندارد. برای رسیدن به این هدف، مطالعه واکنش پذیری آنتی بادی منوکلونال MC2B8 با بخش های مختلف گلو- پلاسمینوژن و بررسی اثر این آنتی بادی روی بر همکنش بین پلاسمینوژن و فیبرینوژن (همان گونه که برای آنتی بادی منوکلونال A1D12 انجام شده است) و مطالعه اثر آن بر فعال شدن مینی-پلاسمینوژن<sup>۱</sup> لازم است.

کارایی کاتالیتیکی فعال شدن پلاسمینوژن به وسیله فعال کننده های t-PA, u-PA، و استرپتوکیناز در حضور یک نوع آنتی بادی با هم متفاوت است. این تفاوت به نوع فعال کننده و سازوکارهای مختلف عمل این فعال کننده ها نسبت داده می شود. به عنوان مثال کارایی کاتالیتیکی فعال شدن پلاسمینوژن به وسیله t-PA وابسته به منومر فیبرین در حضور آنتی بادی A1D12، از فعال شدن پلاسمینوژن توسط فعال کننده های u-PA و استرپتوکیناز کمتر است. علت این تفاوت آن است که آنتی بادی A1D12 اثرات بالقوه خود را با اعمال تغییر شکل فضایی در ملکول پلاسمینوژن ظاهر می کند. بنابراین به دلیل آن که در واکنش فعال شدن پلاسمینوژن به وسیله t-PA، منومر فیبرین از طریق باقیمانده های لیزین به گلوتامین-پلاسمینوژن متصل می شود و شکل فضایی آن را بازتر می کند، اثرات بالقوه آنتی بادی A1D12 از طریق اعمال تغییر شکل فضایی محدود می شود. این داده ها، نتایج حاصله از مطالعه اثر آنتی بادی منوکلونال A1D12 بر لیز لخته پلاسمایی به وسیله t-PA توسط میرشاهی و همکاران در سال ۱۹۹۷ را تأیید می کند [۱۱].

به علت اهمیت سیستم فیبرینولیز در فرایند رگ زایی<sup>۲</sup>، ممکن است آنتی بادی منوکلونال MC2B8 در مهار رگ زایی

سوستر و افزایش دادن سرعت ماکزیمم فعال شدن پلاسمینوژن توسط فعال کننده ها و در نتیجه افزایش کارایی کاتالیتیکی ( $k_{cat}/K_M$ ) آنزیم به عنوان یک آنتی بادی منوکلونال فعال کننده محسوب می شود.

ما قبلاً نشان داده بودیم که آنتی بادی A1D12، اپی توپی را در ناحیه توالی اسید آمینه ای Arg<sup>68</sup>-Lys<sup>77</sup> انتهای آمینی گلو- پلاسمینوژن می شناسد [۱۱]. براساس نتایج مطالعه حاضر و مطالعات قبلی ما در ارتباط با آنتی بادی A1D12، می توان گفت که این آنتی بادی با اتصال به اپی توپ خود به دنبال القای تغییر شکل فضایی در ملکول پلاسمینوژن، منجر به جدایی بر هم کنش داخل ملکولی بین PAP و دومین Kringle4/Proteinase گلو-پلاسمینوژن شده و آرایش فضایی این ملکول را باز می نماید. در نتیجه با شکل گیری ملکول شبه لیز-پلاسمینوژن، جایگاه های اتصال لیزین بهتر در دسترس فعال کننده ها قرار گرفته و در نهایت کارایی کاتالیتیکی فعال شدن پلاسمینوژن توسط فعال کننده های t-PA، u-PA و استرپتوکیناز در حضور این آنتی بادی افزایش می یابد.

آنتی بادی منوکلونال MC2B8 به نحو مؤثری هر سه واکنش فعال سازی گلو-پلاسمینوژن توسط فعال کننده ها را مهار می کند اما اثر قابل ملاحظه ای بر سرعت هیدرولیز پلاسمین ندارد. این اثرات آنتی بادی MC2B8 بسیار شبیه نتایج حاصل از مطالعه آنتی بادی  $\alpha$ -PG96 می باشد که آقای Church در سال ۱۹۹۱ به مطالعه آن پرداخت [۲۶]. از سازوکارهای احتمالی آنتی بادی MC2B8، اتصال این آنتی بادی به جایگاه برش آنزیم Arg<sup>561</sup>-Val<sup>562</sup>، یا نزدیک به آن و در نتیجه مهار فعال شدن گلو-پلاسمینوژن می باشد. این احتمال وجود دارد که عمل مهار به صورت تغییر شکل فضایی صورت گیرد.

البته نتایج ما این فرضیه را نیز رد نمی کند که ممکن است آنتی بادی MC2B8 با جلوگیری از تشکیل کمپلکس بین فعال کننده (t-PA, u-PA) و استرپتوکیناز و گلو-پلاسمینوژن،

1 - Mini-plasminogen  
2 - Angiogenesis

جدول ۱- شاخص‌های کیتیکی فعال شدن پلاسمینوژن انسانی به وسیله فعال کننده‌های پلاسمینوژن در حضور آنتی‌بادی‌های منوکلونال

آنتی‌بادی MC2B8			آنتی‌بادی A1D12			عدم حضور آنتی‌بادی			فعال کننده
t-PA	استرپتوکیناز	u-PA	t-PA	استرپتوکیناز	u-PA	t-PA	استرپتوکیناز	u-PA	
421±21	72±38	1283±64	338±16	354±17	563±28	325±16	342±17	552±27	$K_M$ (μM)
7±0.2	9±0.3	1.48±0.05	3.1±0.15	8.65±0.34	6±0.24	1.9±0.07	2.4±0.09	1.94±0.07	$V_{max}$ (μM/min×1 <sup>3</sup> )
1.18±0.05	1.72±0.08	2.7±0.14	5.7±0.28	15.0±0.77	10.9±0.54	3.42±0.17	4.3±0.2	3.49±0.17	$k_{cat}$ (s <sup>-1</sup> ×1 <sup>3</sup> )
2/8	2/1	2	16/5	44	19/3	10	12/5	7/3	$K_{cat}/K_m$ (s <sup>-1</sup> μM <sup>-1</sup> ×1 <sup>3</sup> )

که با توجه به اثرات بالای آنتی‌بادی منوکلونال A1D12 بر سرعت فعال شدن گلو- پلاسمینوژن انسانی که فرم پلاسمایی پلاسمینوژن نیز می‌باشد، با انسانی کردن بخش F(ab')<sub>2</sub> این آنتی‌بادی، بتوان از آن به عنوان دارویی در درمان بیماری‌های انسداد عروقی نظیر سکته قلبی استفاده نمود، همان گونه که داروهایی بنام Abciximab و Pexelizumab نیز به همین سبک تهیه شده و در درمان بیماری سکته قلبی استفاده می‌شوند [24، 25].

نقش بسزایی داشته باشد. در صورت تعیین دقیق اپی‌توپ آنتی‌بادی MC2B8، ممکن است این آنتی‌بادی به عنوان ابزاری کارآمد جهت تشخیص توالی خاصی از پلاسمینوژن که در فرایند رگ‌زایی درگیر است، سودمند باشد.

نتایج حاصل از آزمایش مقایسه اثر بخش F(ab')<sub>2</sub> آنتی‌بادی A1D12 بر فعال شدن گلو- پلاسمینوژن به وسیله u-PA با آنتی‌بادی کامل A1D12 بیانگر آن است که بخش F(ab')<sub>2</sub> آنتی‌بادی، عامل اصلی و ضروری در القای تغییرات خواص فعال گلو- پلاسمینوژن انسانی است. پیشنهاد می‌شود

## The effect of anti-human plasminogen monoclonal antibodies on Glu-plasminogen activation by plasminogen activators

M. Akrami,<sup>1</sup>  
M. Mirshahi,<sup>1\*</sup>  
K. Khajeh<sup>1</sup>  
H. Naderimanesh<sup>1</sup>

1. Department of Biochemistry,  
Faculty of Basic Sciences, Tarbiat  
Modarres University, Tehran, Iran

### ABSTRACT

**Background:** Human plasminogen is a plasma glycoprotein synthesized mainly in the liver. Conversion of plasminogen to plasmin by plasminogen activators is a key event in the fibrinolytic system. In this study, we investigated the effects of two anti-human plasminogen monoclonal antibodies, A1D12 and MC2B8 on Glu-plasminogen activation in presence of u-PA, t-PA and streptokinase.

**Methods:** Producing of Hybridoma antibodies was performed by fusion of spleen cells from BALB/C mice immunized with Glu-plasminogen and NS1 myeloma cells. Antibody binding to Human Glu-plasminogen was assessed using an ELISA assay. Activation of plasminogen was determined by measuring plasmin generation using the chromogenic substrate S-2251 and the effect of monoclonal antibodies, A1D12 and MC2B8 on plasminogen activation in solution was then evaluated. Initial rates and kinetic parameters of plasminogen activation in the presence of monoclonal antibodies were calculated. The effect of the monoclonal antibody MC2B8 on the rate of plasmin hydrolysis was measured. The effect of F(ab')<sub>2</sub> fragment of A1D12 on u-PA catalyzed-plasminogen activation also compared with the effect of the whole antibody in this reaction.

**Results:** ELISA assay showed that the antibodies reacted well with antigens. A1D12 increased the maximum velocity ( $V_{max}$ ) of plasminogen activation by each of the three plasminogen activators and MC2B8 decreased it. In all activation reactions, the  $K_M$  value of plasminogen activation did not significantly change in the presence of antibody A1D12 whereas antibody MC2B8 increased the  $K_M$  value of plasminogen activation by u-PA, fibrin monomer dependent t-PA and streptokinase. Monoclonal antibody MC2B8 had no significant effect on plasmin hydrolysis rate of synthetic substrate S-2251. Activation rate of plasminogen by u-PA in the lower concentration of F (ab)<sub>2</sub> fragment of A1D12 was identical to activation in the presence of the whole antibody.

**Conclusion:** The binding of the A1D12 F(ab) region to Glu-plasminogen increases the catalytic efficiency of plasminogen activation by plasminogen activators. Therefore, it may be useful to apply clinically A1D12 for the therapy of thromboembolic events such as myocardial infarction by humanizing the F(ab) fragment of the A1D12 antibody. Inhibition pattern of antibody MC2B8 obey the mixed type of enzyme inhibition by binding the antibody probably at, or near, the cleavage site of Glu-plasminogen.

**Keywords:** Plasmin (ogen), Mouse monoclonal antibody, Tissue type plasminogen activator, Urokinase type plasminogen activator, Streptokinase

\* Po Box: 14115-175, Tel:+98(21) 88809730,  
Email: mirshahi@modares.ac.ir

## References

- Collen D, Lijnen H R. Basic and clinical aspects of fibrinolysis and thrombolysis. *Blood* 1991; 78: 3114-3124.
- Forsgren M, Raden B, Israelsson M, Larsson K, Heden L. Molecular cloning and characterization of a full-length cDNA clone for human plasminogen. *Federation of Europ Biochem Soci Letters* 1987; 213: 254.
- Raum D, Marcus D, Alper C A, Levey R, Taylor P D, Starzl T E. Synthesis of human plasminogen by the liver. *Science* 1980; 208: 1036-1037.
- Nieuwenhuizen W, Traas DW, A rapid and simple method for the separation of four molecular forms of human plasminogen. *Thromb Haemostasis* 1989; 61: 208-219.
- Wallen P, Wiman B. Characterization of human plasminogen. I. On the relationship between different molecular forms of plasminogen demonstrated in plasma and found in purified preparation. *Biochim Biophys Acta* 1970; 221: 20.
- Wallen P, Wiman B. Characterization of human plasminogen. II. Separation and partial characterization of different molecular forms of human plasminogen. *Biochim Biophys Acta* 1972; 257: 122.
- Ponting CP, Holland SK, Cederholm-Williams SA, Marshall JM, Brawn AJ, Spragon G, Blake CCF. The compact domain conformation of human Glu-plasminogen in solution. *Biochem Biophys Acta* 1992; 1159:155-161.
- Marshall JM, Brown AJ, Ponting CP. Conformational studies of human plasminogen and plasminogen fragments: evidence for a novel third conformation of plasminogen. *Biochemistry* 1994; 33: 3599-3606.
- Mangel WF, Lin BH, Ramakrishnan V. Characterization of an extremely large, ligand-induced conformational change in plasminogen. *Science* 1990; 248:69-73.
- Horrevoets AJG, Smilde AE, Frendenburgh JC, Pannekoek H, Nesheim ME. The activation-resistant conformation of recombinant human plasminogen is stabilized by basic residues in the amino terminal hinge region. *J Biol Chem* 1995; 270:15770-15776.
- Mirshahi M, Soria J, Lijnen H.R, Fleury V, Bertrand O, Drouet L, et al. A monoclonal antibody directed against an epitope in the NH<sub>2</sub>-terminal region of native human plasminogen induces a modification of its functional properties. *Fibrinolysis and Proteolysis* 1997; 11: 155-163.
- Parry M A A, Zhang X C, Bode W. Molecular mechanisms of plasminogen activation: bacterial cofactors provide clues. *Trends in Biochem Scien* 2000; 25:53-59.
- Irigoyena J.P, Mun˜oz-Ca˜novesb P, Koziczaka L.M.M, Nagaminea Y. The plasminogen activator system: biology and regulation. *Cellul and Molecul Life Sciences* 1999; 56:104-132.
- Banerjee A, Chisti Y, Banerjee U.C. Streptokinase\_ a clinically useful thrombolytic agent. *Biotechnol advan* 2004; 22:287-307.
- Lähteenmäki K, Kuusela P, Korhonen T.K. Bacterial plasminogen activators and receptors. *FEMES Microbiol Reviews* 2001; 25: 531-552.
- Reddy K.N.N, Markus G. Mechanism of Activation of Human Plasminogen by Streptokinase: Presence of active center in streptokinase- plasminogen complex. *The Journal of Biological Chemistry* 1972; 247: 1683-1691.
- Wang S, Reed G.L, Hedstrom L. Zymogen activation in the streptokinase-plasminogen complex: Ile1 is required for the formation of a functional active site. *Eur J Biochem* 2000; 267: 3994-4001.
- Young K.C, Shi G.U, Wu D.H, Chang L.C, Chang B.I, Ou C.P, Wu H.L. Plasminogen Activation by Streptokinase via a Unique Mechanism. *The Journal of Biological Chemistry* 1998; 273:3110-3116.
- Boxrud P.D, Verhamme I.M.A, Fay W.P, Bock P.E. Streptokinase Triggers Conformational Activation of Plasminogen through Specific Interactions of the Amino-terminal Sequence and Stabilizes the Active Zymogen Conformation. *The J of Biolog Chemis* 2001; 276, 26084-26089.
- Bell W. Therapeutic agents—pharmacokinetics and pharmacodynamics. *Rev Cardiovasc Med* 2002; 3(suppl 2): 34-44.
- Ouriel K. Safety and efficacy of the various thrombolytic agents. *Rev Cardiovasc Med* 2002; 3(suppl 2): 17-24.
- Verstraete M. Third-generation thrombolytic drugs. *Am J Med* 2000; 109: 52-58.
- Waldmann TA: Monoclonal antibodies in diagnosis and therapy. *Science* 1991; 252: 1657.
- Granger C.B, Mahaffey K.W, Weaver W.D, et al. Pexelizumab, an Anti-C5 Complement Antibody, as Adjunctive Therapy to Primary Percutaneous Coronary Intervention in Acute Myocardial Infarction. *Circulation* 2003; 108: 1184-1190.
- Muhlestein JB, Karagounis LA, Treeha S, Anderson GL. 'Rescue' utilization of abciximab for the dissolution of coronary thrombus developing as a complication of coronary angioplasty. *J Am Coll Cardiol* 1979; 30: 1729-34.
- Church W.R, Meesier T.L. Inhibition of plasminogen activation by monoclonal antibodies to kringle 5-B chain segment of human plasminogen. *Hybridoma* 1991; 10: 659-671.