

## اثر تغییر شیمیایی ناشی از اکسیداسیون به وسیله‌ی مس بر عمل اتصال به لیزین لیوپروتئین a

دکتر منیژه کدخدایی الیادرائی، دکتر زهره فائزی زاده

### چکیده

**مقدمه:** به نظر می‌رسد که سطح بالای لیوپروتئین a [Ip(a)] در ایجاد ترومبوز و آترواسکلروز نقش داشته باشد. پاتوفیزیولوژی **Lp(a)** به عنوان عامل خطرزا ممکن است به توانایی اتصال آن به اسید آمینه لیزین بستگی داشته باشد که عملکرد اختصاصی از جمله مهار فیبرینولیز به آن می‌دهد. در پلاسما انسان **Lp(a)** به صورت چهار زیرگونه‌ی متفاوت (**Lp(a)Lys-**، **Lp(a)Lys+1**، **Lp(a)Lys+2** و **Lp(a)Lys+3**) وجود دارد. این تقسیم‌بندی بر اساس توانایی اتصال آن‌ها به لیزین سفاروز می‌باشد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که لیوپروتئین‌های سرم نسبت به اکسیداسیون به وسیله یون مس حساس هستند. هدف این مطالعه بررسی اثر یون مس بر توانایی اتصال لیوپروتئین (a) به اسید آمینه‌ی لیزین است تا به این وسیله مکانیسم مولکولی اثر **Ip(a)** در ایجاد ترمبوز و آترواسکلروز بررسی شود. مواد و روش‌ها: لپیدهای سرم در حضور غلظت‌های ۱۵، ۳۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میکرومولار کلرید مس اکسید شدند. اکسیداسیون لپیدها از طریق تشکیل دی‌ان‌کونژوگه به وسیله‌ی روش اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۵ نانومتر مشخص شد. سپس چهار زیرگونه‌ی لیوپروتئین a در سرم اکسید شده با استفاده از کروماتوگرافی با میل ترکیبی لیزین سفاروز جداسازی شدند. اندازه‌گیری **Lp(a)** به روش توریدومتری با استفاده از کیت پارس آزمون انجام شد. سپس مقدار زیرگونه‌های جدا شده از سرم در حضور یون مس و بدون حضور یون مس مقایسه شدند. یافته‌ها: با جداسازی زیرگونه‌های **Lp(a)** به روش کروماتوگرافی لیزین سفاروز، افزایش وابسته به غلظت یون مس در همه‌ی زیرگونه‌های **Lp(a)Lys+** و کاهش زیرگونه‌ی **Lp(a)Lys-** مشاهده شد. به نظر می‌رسد اکسیداسیون **Lp(a)** توسط یون مس چنان تغییرات شیمیایی در ساختمان آن ایجاد می‌کند که سبب افزایش فعالیت **LBS** آن می‌شود و موجب می‌شود که لیوپروتئین (a) با اتصال قوی‌تر به لیزین در ساختمان لیزین سفاروز متصل شود. بنا بر این پیشنهاد می‌شود که اکسیداسیون **Lp(a)** توسط عوامل اکسیدکننده‌ای که در خون وجود دارد احتمالاً از طریق افزایش توانایی اتصال به اسید آمینه لیزین می‌تواند آترواسکلروز و ترومبوز را تسریع نموده، در ایجاد بیماری‌های قلبی - عروقی نقش داشته باشد.

**واژگان کلیدی:** لیوپروتئین a، فیبرینولیز، اکسیداسیون، کروماتوگرافی

دریافت مقاله: ۸۴/۱۱/۱۵ - دریافت اصلاحیه: ۸۵/۳/۶ - پذیرش مقاله: ۸۵/۳/۹

### مقدمه

است کروی شکل که به طور متوسط ۲۱۰ انگستروم قطر دارد و از نظر ترکیب لپیدی (کلسترول و فسفولیپید) و

لیوپروتئین a یکی از لیوپروتئین‌های سرم است که به اختصار به صورت **Lp(a)** نمایش داده می‌شود. **Lp(a)** ذره‌ای

عروقی و ترومبوز شناخته شده است<sup>۶</sup> و در رابطه با تأثیر اکسیداسیون Lp(a) توسط مس بر زیرگونه‌های Lp(a) تا کنون مطالعه‌ای انجام نشده در این مطالعه هدف بررسی اثر اکسیداسیون یون مس بر فعالیت LBS لیپوپروتئین a از طریق جدا نمودن زیرگونه‌های Lp(a) بود؛ زیرا چنانچه یون مس با تغییراتی که در ساختمان لیپوپروتئین ایجاد می‌کند بتواند زیرگونه‌های Lp(a)Lys+ را افزایش دهد، می‌تواند پیشنهاد نمود که عوامل اکسید کننده در خون با افزایش فعالیت LBS لیپوپروتئین (a) خواص آترواسکلروز و ترومبوز آن را تحریک نموده و به این طریق احتمالاً در ایجاد آترواسکلروز و ترومبوز نقش دارد.

## مواد و روش‌ها

همه‌ی مواد شیمیایی مورد استفاده در این مطالعه از شرکت سیگما و کیت اندازه‌گیری Lp(a) و کالیبراتور از شرکت پارس آزمن<sup>vi</sup> تهیه گردید. روش اندازه‌گیری لیپوپروتئین a یک روش ایمنوتوربیدومتری است،<sup>viii</sup> بر اساس واکنش بین آنتی‌ژن [Lp(a)] موجود در سرم انسان و آنتی‌بادی علیه آن انجام می‌شود. جذب نوری در طول موج ۲۴۰ نانومتر قرائت شده، با نمودار استاندارد حاصل از کالیبراتورها مقایسه شد. جداسازی زیرگونه‌ها توسط روش لیپی و همکاران انجام گردید.<sup>۲</sup> ۱۰۰ میلی‌لیتر سرم به صورت pooled serum از افراد سالم تهیه و با دور ۳۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفوژ و سپس با کاغذ واتمن فیلتر شد. سرم فیلتره شده جهت جداسازی زیرگونه‌های Lp(a) مورد استفاده قرار گرفت. جداسازی زیرگونه‌های Lp(a) با استفاده از کروماتوگرافی ستونی میل ترکیبی لیزین سفاروز انجام شد. ۱۵ گرم پودر لیزین سفاروز به محلول بیکربنات آمونیوم ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷/۹۵) افزوده شد و پس از مخلوط شدن و آماده شدن در ستون ۲/۵ × ۴۰ سانتیمتر پک شد. ابتدا ژل با محلول بیکربنات آمونیوم ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷/۹۵) با جریان ۸۰ میلی‌لیتر در ساعت شسته شد. سپس سرم فیلتره شده در بالای ژل در داخل ستون افزوده شد و چند دقیقه صبر کرده تا با خروج بافر، نمونه در ژل وارد شود. پس از آن ستون با ۵۰۰ میلی‌لیتر بافر فوق شسته شد. در این مرحله زیرگونه‌ی Lp(a)-Lys خارج شد.

حضور آپو پروتئین B<sub>100</sub><sup>i</sup> مشابه LDL<sup>ii</sup> است. اما تفاوت آن با LDL در داشتن گلیکوپروتئین آپوپروتئین<sup>iii</sup> می‌باشد. آپو a به وسیله‌ی یک اتصال دی سولفیدی به آپو B<sub>100</sub> متصل می‌شود. آپو a همانند پلاسمینوژن از واحدهای حلقوی شکلی به نام کرینگل تشکیل شده است. ساختمان پلاسمینوژن از پنج کرینگل (K1-K5) و یک دومین پروتئازی تشکیل شده است. در حالی که ساختمان آپو a شامل تکرارهای متوالی و مشابه کرینگل IV پلاسمینوژن، کرینگل مشابه کرینگل V پلاسمینوژن و دومین پروتئازی (PD) است. کرینگل IV در ساختمان آپو (a) دارای محلی است که به لیزین متصل می‌شود (LBS).<sup>iv</sup> آپو a به علت شباهت محل LBS در کرینگل KIV10 با کرینگل IV در ساختمان پلاسمینون برای اتصال به فیبرین در سطح سلول‌ها با پلاسمینوژن رقابت کرده و منجر به کاهش فیبرینولیز و اختلال در پروتئولیز خارج سلولی می‌شود.<sup>v</sup> لیپی و همکاران در سال ۱۹۹۶ با استفاده از کروماتوگرافی با میل ترکیبی لیزین سفاروز توانستند چهار زیرگونه‌ی Lp(a) را که میل ترکیبی متفاوتی نسبت به اسیدآمینه‌ی لیزین ژل لیزین سفاروز دارند، جدا کنند.<sup>۲</sup> این زیرگونه‌ها از نظر تمایل به اسیدآمینه‌ی لیزین به صورت Lp(a)Lys-، Lp(a)Lys+1 و Lp(a)Lys+2، Lp(a)Lys+3 مشخص می‌شوند. Lp(a)Lys- تمایل پایینی به ژل لیزین سفاروز دارد، در حالی که زیرگونه‌ی Lp(a)Lys+ تمایل بالایی نسبت به ژل لیزین سفاروز دارد. زیرگونه‌های Lp(a)Lys+ برای اتصال به لیزین فیبرین با پلاسمینوژن رقابت کرده و باعث کاهش فعالیت پلاسمینوژن می‌شوند، لذا Lp(a)Lys+ خاصیت ایجاد آترواسکلروز و ترومبوز دارد. بر اساس مطالعه‌های انجام شده، اکسیداسیون Lp(a) به وسیله‌ی مس توانایی آن را در اتصال به ماتریکس خارج سلولی افزایش می‌دهد.<sup>۴</sup> نشان داده شده که اکسیداسیون Lp(a) با افزایش چسبندگی منوسیت‌ها به دیواره‌ی عروق سبب پیشرفت آترواسکلروز می‌شود. در مطالعه‌ی دیگری نشان داده‌اند که اکسیداسیون Lp(a) تغییراتی در ساختمان آن ایجاد می‌کند که سبب گرفتن آن‌ها توسط ماکروفاژها و تشکیل سلول‌های فوم<sup>v</sup> می‌شود.<sup>۵</sup> با توجه به این که افزایش Lp(a) به عنوان یک عامل مستقل در بیماری‌های قلبی -

i Apo B<sub>100</sub>

ii Low density lipoprotein

iii Apo(a)

iv Lysine binding site

v Foam cells

vi Pars Azmun Trucal Lp(a)

vii Immunoturbidimetric test

سرم اولیه نشان داد که این سرم حاوی ۴۶ میلی‌گرم Lp(a) است. با انجام کروماتوگرافی لیزین سفارز در مرحله اول - Lp(a)Lys که تمایل پایینی به اسیدآمین لیزین ژل لیزین سفارز دارد به سرعت از ستون خارج شد. در این مرحله ۱۰۰ فراکشن گردآوری شد. تمام فراکشن‌ها از نظر وجود Lp(a) مورد بررسی شدند. مشاهده شد که فراکسیون‌های Lp(a)Lys- مقدار Lp(a) بودند (Lp(a)Lys-). مقدار Lp(a)Lys- در این مرحله ۱۲ میلی‌گرم در دسی‌لیتر اندازه‌گیری شد که ۲۴٪ کل Lp(a) اولیه در سرم است (جدول ۱).

جدول ۱- مقدار تقریبی زیرگونه‌های Lp(a) در فراکشن‌های حاوی Lp(a) جدا شده از سرم انسان توسط کروماتوگرافی لیزین سفارز

Relative Value	Lp(a) mg	نمونه حاوی Lp(a)
۱۰۰	۴۶	100 mL pooled serum
۲۴	۱۲	Total Lp(a)Lys-
۸	۴	Total Lp(a)Lys+1
۵۰	۲۳	Total Lp(a)Lys+2
۸	۴	Total Lp(a)Lys+3

در جداسازی Lp(a)Lys+1 ۲۰ فراکسیون گردآوری گردید. (فراکشن‌های ۱۲۰-۱۰۱). این فراکشن‌ها از نظر مقدار Lp(a) و جذب نوری در طول موج ۲۸۰ نانومتر اندازه‌گیری شدند. همان‌طور که در نمودار ۱ نشان داده شده در فراکشن‌های ۱۰۶-۱۱۶ Lp(a) مشاهده شد. کل Lp(a)Lys+ در این مرحله ۴ میلی‌گرم در دسی‌لیتر اندازه‌گیری گردید که ۸٪ کل Lp(a) اولیه در سرم است. در جداسازی Lp(a)Lys+2 فراکشن‌های ۱۳۱-۱۴۰ حاوی Lp(a) بودند. کل Lp(a) در این مرحله ۲۳ میلی‌گرم در دسی‌لیتر به دست آمد که ۵۰٪ کل Lp(a) اولیه در سرم است. در جداسازی Lp(a)Lys+3 فراکشن‌های ۱۵۲-۱۵۹ Lp(a) مشاهده شد. کل Lp(a)Lys+3 در این مرحله ۴ میلی‌گرم تعیین شد که حدود ۸٪ Lp(a) اولیه در سرم است (جدول ۱). جداسازی زیرگونه‌های لیپوپروتئین در حضور غلظت‌های مختلف یون مس در نمودار ۲ نشان داده شده است. افزایش وابسته به غلظت یون مس در زیرگونه‌های Lp(a)Lys+ در نمودار ۳ نشان داده شده است.

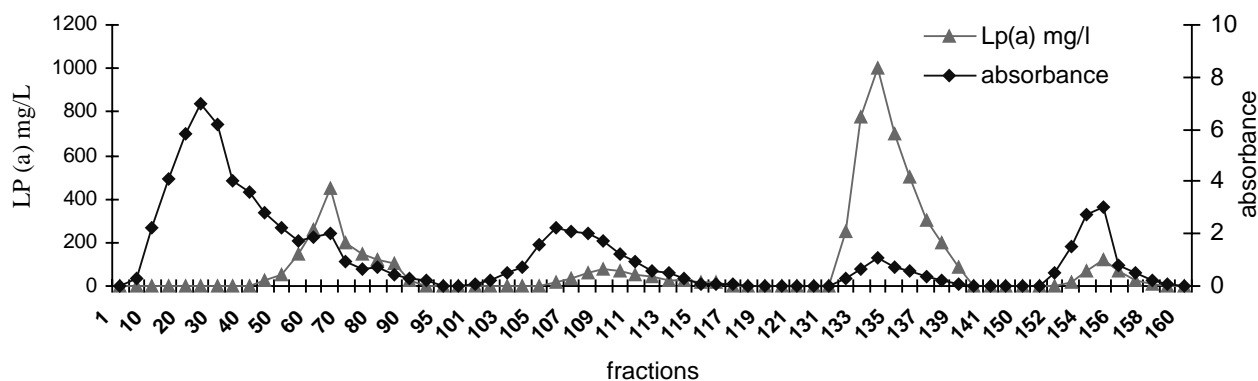
خروج Lp(a) متصل به ستون طی سه مرحله انجام شد. ابتدا برای خروج Lp(a)Lys+1 با استفاده از دستگاه گرایان ساز، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول گرایان خطی صفر تا ۰/۵ مولار سدیم فسفات PH=7.4 از ستون عبور داده و فراکشن‌ها در حجم ۵ میلی‌لیتر گردآوری شد. سپس ۵۰ میلی‌لیتر محلول بیکربنات آمونیوم ۵۰ میلی‌مولار از ستون عبور داده شد. برای خروج Lp(a)Lys+2 ستون با ۵۰ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۵ مولار (PH=۴/۴) شستشو داده شد. غلظت نمکی و PH باعث جدا شدن Lp(a)Lys+2 از ستون شد. بعد از آن ۵۰ میلی‌لیتر محلول بیکربنات آمونیوم ۵۰ میلی‌مولار از ستون عبور داده شد. خروج Lp(a)Lys+3 با عبور ۵۰ میلی‌لیتر بافر فسفات سدیم ۰/۵ مولار حاوی ۰/۲ مولار εACA انجام شد. εACA به عنوان یک رقابت‌کننده قوی برای خروج لیپوپروتئین‌های با میل ترکیبی بالا عمل می‌کند.

#### بررسی اثر یون مس بر زیرگونه‌های لیپوپروتئین a

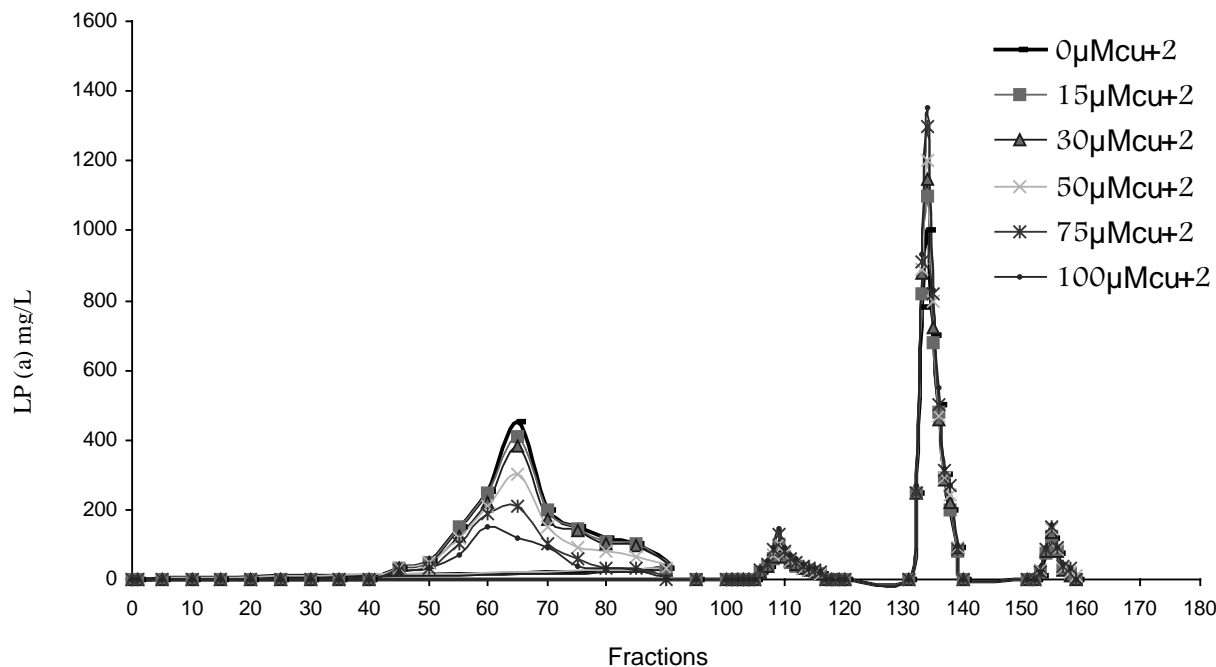
به منظور بررسی اثر یون مس بر زیرگونه‌های لیپوپروتئین (a)، لیپید سرم در اثر غلظت‌های مختلف یون مس اکسید شده سپس با استفاده از کروماتوگرافی میل ترکیبی لیزین سفارز زیرگونه‌های Lp(a) را از سرم اکسید شده توسط مس جداسازی کرده و مقادیر Lp(a)Lys- و Lp(a)Lys+1، Lp(a)Lys+2 و Lp(a)Lys+3 در سرم اندازه‌گیری شد. به این ترتیب که ۱۰۰ میلی‌لیتر سرم تهیه شده از افراد سالم با دور RPM ۳۰۰۰ سانتریفوژ شد سپس با کاغذ واتمن صاف و در یک بشر ۱۵۰ میلی‌لیتر ریخته و در بن ماری ۳۷<sup>oc</sup> گذاشته شد و جداگانه غلظت‌های مختلف ۱۵، ۳۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میکرومولار یون مس اضافه گردید. میزان لیپید اکسیداسیون (سرعت تشکیل دن‌ان‌کونژوگه) در طول موج ۲۴۵ نانومتر در فاصله‌ی زمانی ۵ دقیقه با استفاده از اسپکتروفتومتر بررسی شد. پس از اکسیداسیون کامل سرم آماده کروماتوگرافی ستونی جهت جدا سازی زیرگونه‌های Lp(a) آماده شد. مقدار پروتئین سرم و تمام فراکسیون‌ها توسط روش لوری اندازه‌گیری شد.<sup>۷</sup> مقدار Lp(a) تمام فراکسیون‌ها با استفاده از روش توریدومتری انجام شد.

#### یافته‌ها

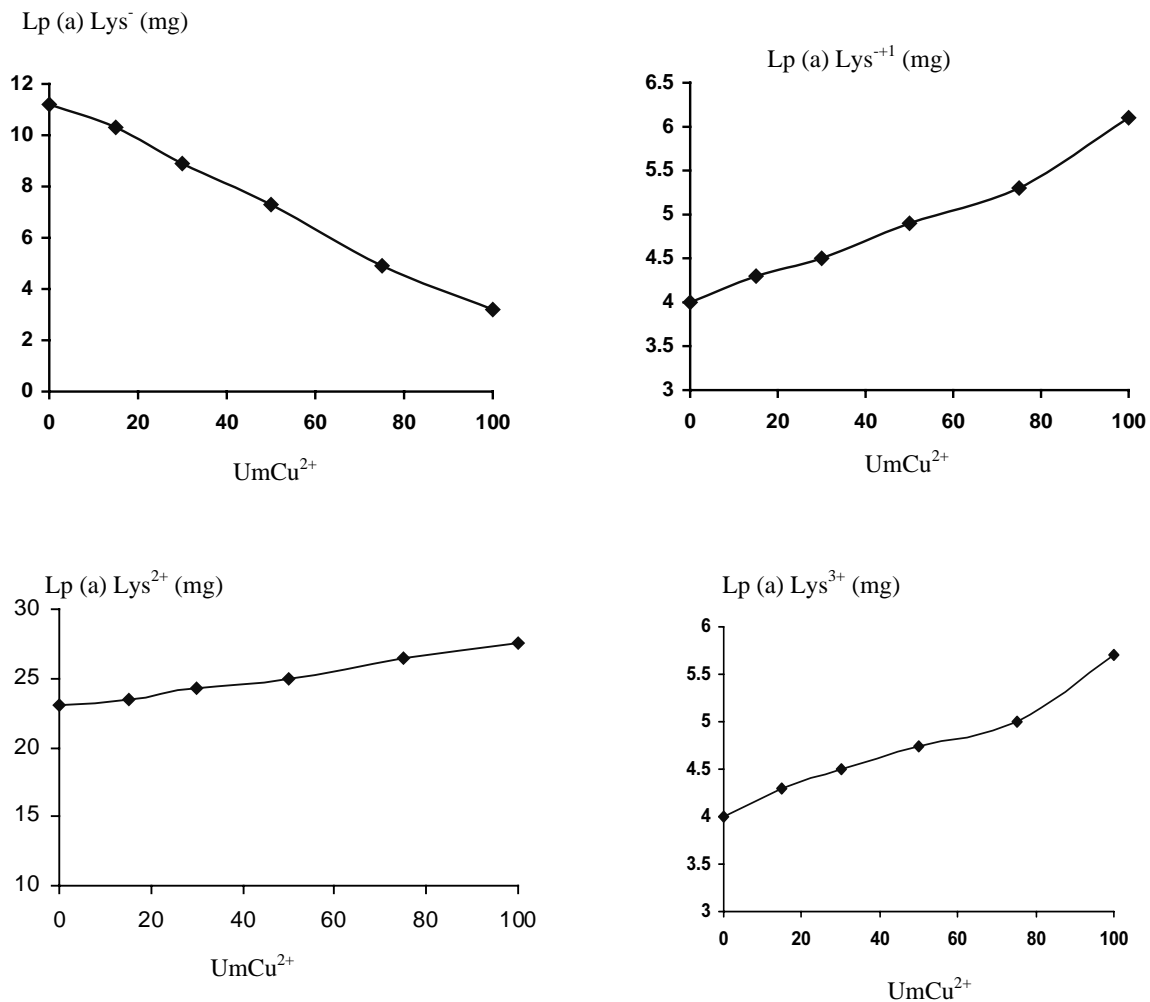
مراحل مختلف جداسازی زیرگونه‌های Lp(a) توسط کروماتوگرافی میل ترکیبی لیزین سفارز در نمودار ۱ نشان داده شده است. اندازه‌گیری لیپوپروتئین a در ۱۰۰ میلی‌لیتر



نمودار ۱- جداسازی زیرگونه‌های Lp(a) را از سرم انسان با استفاده از کروماتوگرافی با میل ترکیبی لیازین سفاروز نشان می‌دهد. برای جداسازی زیرگونه‌های Lp(a) به ترتیب ۵۰ mL بافر بیکربنات (فراکشن‌های ۱-۱۰۰)، ۱۰۰ mL گرادیان غلظت نمک (فراکشن‌های ۱۰۱-۱۲۰)، ۵۰ mL بافر بیکربنات (فراکشن‌های ۱۲۱-۱۳۰)، ۵۰ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۵ M با PH=4.4 (فراکشن‌های ۱۳۱-۱۴۰) و ۵۰ mL بافر بیکربنات (فراکشن‌های ۱۴۱-۱۵۰) حاوی εACA با PH=۴/۴ (فراکشن‌های ۱۵۱-۱۶۰) از ستون عبور داده شد. حجم هر فراکشن ۵ mL، سرعت جریان بافر ۸۰ میلی‌لیتر در ساعت.



نمودار ۲- جداسازی زیرگونه‌های Lp(a)Lys-، Lp(a)Lys+1، Lp(a)Lys+2 و Lp(a)Lys+3 از سرم انسان در حضور غلظت‌های مختلف یون مس با استفاده از کروماتوگرافی با میل ترکیبی لیازین سفاروز. فراکسیون‌ها بر حسب شماره مشخص شده است. جداسازی زیرگونه‌های Lp(a) به ترتیب ۵۰ mL بافر بیکربنات (فراکشن‌های ۱-۱۰۰)، ۱۰۰ mL گرادیان غلظت نمک (فراکشن‌های ۱۰۱-۱۲۰)، ۵۰ mL بافر بیکربنات (فراکشن‌های ۱۲۱-۱۳۰)، ۵۰ میلی‌لیتر بافر فسفات ۰/۵ M با PH=۴/۴ (فراکشن‌های ۱۳۱-۱۴۰) و ۵۰ mL بافر بیکربنات (فراکشن‌های ۱۴۱-۱۵۰) حاوی εACA با PH=۴/۴ (فراکشن‌های ۱۵۱-۱۶۰) از ستون عبور داده شد. حجم هر فراکشن ۵ mL، سرعت جریان بافر ۸۰ میلی‌لیتر در ساعت.



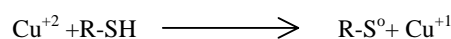
نمودار ۲- اثر غلظت‌های مختلف یون مس بر مقدار زیر گونه‌های لیپوپروتئین a. کاهش وابسته به غلظت در مقدار Lp(a)Lys<sup>-</sup> و افزایش وابسته به غلظت یون مس در زیرگونه‌های Lp(a)Lys<sup>+</sup> مشاهده شد.

لیزین می‌باشد.<sup>۳</sup> در ساختمان Lp(a) مکانی به نام Lysine binding site وجود دارد. Lp(a) از همین محل به اسید آمینه‌ی لیزین در ساختمان پروتئین‌ها از جمله فیبرین و گلیکوپروتئین‌های سطح سلول و جدار عروق متصل شده، باعث ایجاد آترواسکروز و ترومبوز می‌شود.<sup>۹،۸</sup> از بین زیرگونه‌های Lp(a)، زیرگونه‌ی Lp(a)Lys+3 توانایی بیشتری در اتصال به اسید آمینه لیزین دارد و در نتیجه هر چه این زیرگونه در سرم بیشتر باشد احتمال ابتلا به آترواسکروز و ترومبوز بیشتر خواهد بود. بر عکس Lp(a)Lys- تمایل کمی به اسید آمینه لیزین فیبرین داشته،

## نتیجه‌گیری

در ساختمان لیپوپروتئین a، آپو (a) شباهت ساختمانی قابل توجهی با پلاسمینوژن دارد و به همین علت با پلاسمینوژن در اتصال به اسید آمینه لیزین فیبرین رقابت کرده، سبب اختلال در فیبرینولیز می‌شود. مطالعه‌های انجام شده توسط لیپی و همکاران نشان داده که در سرم انسان چهار زیرگونه‌ی Lp(a) وجود دارد که عبارتند از Lp(a)Lys-، Lp(a)Lys+1، Lp(a)Lys+2 و Lp(a)Lys+3. تفاوت این زیرگونه‌ها مربوط به اختلاف اتصال به اسید آمینه

خطر ایجاد آترواسکروز و ترومبوز کمتری دارد. آترواسکروز یکی از مهم‌ترین بیماری‌هایی است که ارتباط مستقیم با Lp(a) دارد.<sup>۱۱</sup> مطالعه‌های زیادی در زمینه‌ی دیابت و بیماری‌های کلیوی انجام شده است.<sup>۱۲،۱۱</sup> بر اساس مطالعه‌های انجام شده جهت بررسی ارتباط Lp(a) و بیماری‌های کلیوی و دیابت تصور بر این است که دیابت با افزایش و تجمع رادیکال‌های آزاد همراه است که موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدها و لیپوپروتئین‌ها می‌گردد. اکسیداسیون Lp(a) تمایل آن را به دیواره‌ی عروق افزایش می‌دهد. تجمع Lp(a) در اینتمای عروق زمینه‌ی مناسبی برای آترواسکروز و ترومبوز فراهم می‌کند. اینکه با چه مکانیسمی تمایل Lp(a) اکسید شده به دیواره‌ی عروق افزایش می‌یابد نیاز به مطالعه‌های گسترده‌ای دارد.<sup>۱۲</sup> لذا بررسی وسیع‌تر در مورد اثر ترکیبات اکسیدکننده بر Lp(a) امری ضروری است. در ارتباط با اکسیداسیون Lp(a) و تأثیر اکسیداسیون در ایجاد زیرگونه‌های لیپوپروتئین مطالعه‌ای انجام نشده است لذا در این مطالعه اثر عوامل اکسیدکننده مثل یون  $Cu^{+2}$  بر اکسیداسیون Lp(a) و اتصال آن به اسیدآمینیه‌ی لیزین بررسی شد. مس قادر است به جایگاه‌هایی در آپو a و آپو  $B_{100}$  متصل شود. مطالعه‌ها نشان می‌دهند که آپو a و آپو  $B_{100}$  دارای چندین گروه تیول در سطح خود هستند بر طبق یک مکانیسم احتمالی این گروه‌ها با یون  $Cu^{+2}$  واکنش داده، رادیکال‌های تیول و  $Cu^{+1}$  می‌کنند.<sup>۱۴</sup>



رادیکال‌های RSo باعث جذب H از PUFA<sup>i</sup> می‌شود. همچنین  $Cu^{+1}$  قادر به تولید ترکیبات گروه Ros است که این ترکیبات به نوبه‌ی خود سبب پراکسیداسیون نرهِی لیپید می‌شوند. حاصل واکنش پراکسیداسیون در PUFA تولید هیدروپراکسیدهایی از جمله Conjugated diene (CD) است که در طول موج ۲۴۵ نانومتر در سرم جذب نوری دارد.<sup>۱۵</sup> اثر یون مس بر اکسیداسیون Lp(a) توسط ناکاجیما بررسی شده است.<sup>۱۶</sup> در این مطالعه اکسیداسیون Lp(a) در حضور یون مس انجام و حرکت الکتروفورزی آن بررسی شد و نشان داده شد که اکسیداسیون Lp(a) سبب افزایش LBS می‌شود و این افزایش نسبت مستقیم با غلظت یون مس و

لیپوپروتئین دارد. تغییرات اکسیداتیو Lp(a) مهارگر فعالیت کننده‌ی پلاسمینوژن (PAI-1)<sup>ii</sup> در محیط کشت سلول‌های اندوتلیال وریدی می‌شود.<sup>۱۷</sup> PAI-1 یک مهارکننده‌ی فیزیولوژی مهم فعال‌کننده‌ی پلاسمینوژن (PA) است. افزایش سطح PAI-1 با یا بدون کاهش سطح PA در بیماران قلبی - عروقی مشاهده شده است. سطح PAI-1 به وسیله Lp(a) در اثر اکسیداسیون در محیط کشت افزایش می‌یابد. افزایش سطح Lp(a) پلازما ممبران به عنوان یک عامل خطرزای قوی در بروز بیماری‌های قلبی - عروقی مورد توجه قرار گرفته است.

در این مطالعه اثر  $Cu^{+2}$  بر تولید زیرگونه‌های لیپوپروتئین a و در نتیجه اتصال آن‌ها به لیزین مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی اثر یون مس بر زیرگونه‌ی Lp(a)، جداسازی زیرگونه‌های Lp(a) انجام شد. چهار زیرگونه‌ی Lp(a) از سرم و همچنین از سرم در حضور غلظت‌های مختلف یون مس جداسازی شد. مقادیر چهار زیرگونه‌ی Lp(a) در سرم و همچنین در سرم اکسید شده توسط غلظت‌های مختلف یون مس اندازه‌گیری شد. در این مطالعه با جدا نمودن زیرگونه‌های Lp(a) نشان داده شد که اثر اکسیداسیون مس بر Lp(a) می‌تواند فعالیت LBS آن را افزایش دهد. بنا بر این می‌توان استنباط کرد که یکی از اثرهای یون مس بر Lp(a)، افزایش فعالیت LBS آن است. با انجام کروماتوگرافی میل ترکیبی، خصوصیت‌های اتصال به لیزین بررسی شد و نتایج حاصل با روشی متفاوت با نتایج ناکاجیما مشابه است. همچنین این تأثیر وابسته به غلظت یون مس است و با افزایش غلظت یون مس، میزان Lys+ Lp(a) در سرم افزایش یافته است. افزایش فعالیت LBS خطر ابتلا به آترواسکروز و ترومبوز را در پی خواهد داشت. احتمالاً مکانیسم این پدیده افزایش تشکیل رادیکال‌های آزاد و تغییرات کنفورماسیونی در اثر اتصال مس به Lp(a) است که موجب شده گروه LBS در معرض برخورد بیشتر با اسیدآمینیه‌ی لیزین قرار گیرد. احتمالاً همین مکانیسم توضیح دهنده‌ی حضور بیشتر Lp(a) در دیواره‌ی عروق بیماران دیابتی و کلیوی است. نتایج این تحقیق را می‌توان در مورد مکانیسم اثر یون مس در خارج از محیط آزمایشگاه (In vivo) نیز تعمیم داد و علت افزایش حضور Lp(a) اکسید شده را در دیواره‌ی عروق توجیه نمود. در اثر تخریب دیواره عروق در

ii Plasminogen activator inhibitor-1

i Poly unsaturated fatty acids

اکسیدان‌ها می‌تواند کاهش دهنده‌ی عوارض ناشی از Lp(a) باشد که نیاز به مطالعه‌های بیشتر دارد.

### سپاسگزاری

این مطالعه طرح تحقیقاتی مصوب شماره‌ی ۴۰۴ معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز می‌باشد که در گروه بیوشیمی دانشکده‌ی پزشکی انجام شده است. از معاونت پژوهشی دانشگاه که هزینه‌ی انجام این پروژه را تأمین نمود، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

اثر عوامل اکسیدکننده یا سایر عوامل مثل کمبود ویتامین C، گروه‌های لیزین در دیواره‌ی عروق در معرض قرار می‌گیرند،<sup>۱۷</sup> همچنین بر طبق نتایج به دست آمده در این مطالعه عوامل اکسیدکننده مثل یون مس باعث افزایش فعالیت Lp(a) در LBS می‌شود که این دو عامل موجب حضور بیشتر Lp(a) در دیواره‌ی عروق می‌گردند و زمینه مناسبی برای آترواسکلروز و ترومبوز به وجود می‌آید. اخیراً پژوهشگران نشان داده‌اند که آنتی‌اکسیدان‌ها مثل کاروتن و ویتامین E می‌توانند اکسیداسیون Lp(a) در مجاورت مواد اکسیدکننده را کاهش دهند،<sup>۱۸</sup> بنا بر این مصرف آنتی

### References

- Lippi G, Guidi G. Lipoprotein(a): from ancestral benefit to modern pathogen? *QJM* 2000; 93: 75-84.
- Wieringa G. Lipoprotein(a): what's in measure. *Ann Clin Biochem* 2000; 37: 571-80.
- Lippi G, Lo Cascio C, Ruzzenente O, Poli G, Brentegani C, Guidi G. A simple and rapid procedure for the purification of lipoprotein(a). *J Chromatogr Biomed Appl* 1996; 682:225-31.
- Ragab MS, Selvaraj P, Sgoutas DS. Oxidized lipoprotein(a) induces cell adhesion molecule Mac-1(CD11b) and enhances adhesion of the monocytic cell line U937 to cultured endothelial cells. *Atherosclerosis* 1996; 123: 103-13.
- Pekelharing HL, Kleinvelde HA, Duif PF, Bouma BN, Van Rijn HJ. Modification of lipoprotein(a) by oxidation or desialylation influences its ability to compete with plasminogen for binding to the extracellular matrix. *Blood Coagul Fibrinolysis* 1996; 7: 641-9.
- Ridker PM, Hennekens CH, Stampfer MJ. A prospective study of lipoprotein(a) and the risk of myocardial infarction. *JAMA* 1993; 270: 2195-2199.
- Lowry OH, Rosenbrough NJ, Farr AL, Randall RJ. Protein measurement with folin phenol reagent. *J Biol Chem* 1951; 193: 265-70.
- Milionis HJ, Winder AF, Mikhailidis DP. Lipoprotein (a) and stroke. *J Clin Pathol* 2000; 53: 487-96.
- Falco C, Estelles A, Dalmau J, Espana F, Aznar J. Influence of lipoprotein (a) levels and isoforms on fibrinolytic activity. *Thromb Haemost* 1998;79: 818-23.
- Iwanoto T, Fukuda S, Shimizu S, Takasaki M. Long term effects of lipoprotein(a) on carotid athero in elderly Japanese. *Gerontol A Biol Sci Med* 2004; 59: 62-7.
- Labudovic DD, Toseska KN, Alabakovska SB, B Todorova B. Apoprotein(a) phenotypes and plasma lipoprotein(a) concentration in patients with diabetes mellitus. *Clin Biochem* 2003; 36: 545-51.
- Nakashima A, Yorioka N, Asakimori Y, Ito T, Masaki T, Harada S. Different risk factors for the maximum and the mean intima-media thickness in hemodialysis patients. *Intern Med* 2003; 42: 1095-9.
- Marcovina SM, Koschinsky ML. Lipoprotein(a) as a risk factor for coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1998; 82: 57U-66U.
- Naruszewicz M, Giroux LM, Davignon J. Oxidative modification of Lp(a) causes changes in the structure and biological properties of apo(a). *Chem Phys Lipids* 1994; 67-68: 167-74.
- Esterbauer H, Gebicki J, Puhl H, Jurgens G. The role of lipid peroxidation and antioxidants in oxidative modification of LDL. *Free Radic Biol Med* 1992; 13: 341-90.
- Nakajima K, Yamashita T, Kusuhara M, Yonemura A, Ito T, Higashi K, et al. The susceptibility of lipoprotein(a) to copper oxidation is correlated with the susceptibility of autologous low density lipoprotein to oxidation. *Clin Biochem* 2003; 36: 113-20.
- Ren S, Man RY, Angel A, Shen GX. Oxidative modification enhances lipoprotein(a)-induced overproduction of plasminogen activator inhibitor-1 in cultured vascular endothelial cells. *Atherosclerosis* 1997; 128: 1-10.
- Naruszewicz M, Selinger E, Davignon J. Oxidative modification of lipoprotein (a) and the effect of beta-carotene. *Metabolism* 1992; 41: 1215-24.