

بررسی اثر محافظتی آمینوگوانیدین بر ضایعات کورتکس و استرایتوم در مرحله حاد ایسکمی مغزی - موضعی در موش صحرائی

عابدین وکیلی*، تکتم صدوق، مهدی زاهدی خراسانی
مرکز تحقیقات و بخش فیزیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی سمنان، سمنان
دریافت: آذر ۸۵ بازبینی: اسفند ۸۵ پذیرش: خرداد ۸۶

چکیده

مقدمه: مطالعات متعدد نشان داده‌اند آمینوگوانیدین ضایعات دیرس ناشی از ایسکمی مغزی را در مدل‌های حیوانی کاهش می‌دهد، ولی اثرات آن در مراحل اولیه ایجاد ایسکمی مغزی روشن نیست. لذا این تحقیق طراحی گردید، تا اثرات درمانی آنرا در مراحل اولیه ایجاد ایسکمی مغزی موضعی-موقتی بر ضایعات کورتکس، استرایتوم و اختلالات نرولوژیکی ارزیابی شود.

روش‌ها: تعداد ۳۰ سرموش صحرائی بطور تصادفی به گروه‌های مساوی ده تایی، کنترل و درمان با آمینوگوانیدین با دوز ۷۵ و ۱۵۰ (mg/kg ip) تقسیم شدند. ایسکمی مغزی موضعی-موقتی با مسدود کردن شریان میانی مغز به مدت ۱ ساعت و سپس برقراری مجدد جریان خون به مدت ۲۴ ساعت ایجاد گردید. آمینوگوانیدین و سالیین در شروع ایسکمی بصورت داخل صفاقی تجویز شده و ۲۴ ساعت بعد اختلالات نرولوژیکی ارزیابی و سپس حیوان کشته و حجم ضایعه مغزی در کورتکس و استرایتوم تعیین می‌شد.

یافته‌ها: تجویز آمینوگوانیدین با دوز ۷۵ و ۱۵۰ mg/kg در شروع ایسکمی مغزی موجب کاهش معنی‌دار حجم ضایعات کورتکس (بترتیب ۴۷٪ و ۶۹٪) و استرایتوم (بترتیب ۴۲٪ و ۳۶٪) در مقایسه با گروه کنترل گردید ($P < 0.001$). علاوه بر این آمینوگوانیدین فقط در دوز ۱۵۰ mg/kg بطور معنی‌داری باعث بهبود اختلالات نرولوژیکی شد ($P < 0.01$).

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد، تجویز آمینوگوانیدین در مراحل اولیه ایسکمی، ضایعات کورتکس و استرایتوم را کاهش داده و باعث بهبود اختلالات نرولوژیکی در مدل تجربی ایسکمی مغزی موضعی-موقتی در موش صحرائی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آمینوگوانیدین، ایسکمی مغزی موضعی-موقتی، موش صحرائی.

مقدمه

از بین می‌روند، ولی نورونها در ناحیه اطراف ناحیه مرکزی ایسکمی (penumbra) و بتدریج با گذشت زمان احتمالاً در اثر فعال شدن مسیرهای نوروتوکسیک متعدد از بین رفته و باعث گسترش ضایعه ایسکمی می‌شود [۱ و ۲]. مهار مسیرهای نوروتوکسیک در این ناحیه و برقراری به موقع جریان خون از استراتژیهای اصلی درمان ایسکمی مغزی است [۳]. با وجود تلاش‌های زیاد صورت گرفته، هنوز روش موثری برای جلوگیری از گسترش ضایعات حاصل از

کاهش یا قطع جریان خون به قسمتی از مغز منجر به ایسکمی مغزی - موضعی می‌شود. در مرکز ایسکمی نورونها در دقایق اول دچار ضایعات برگشت ناپذیر شده و

abvakili@yahoo.com
www.phypha.ir/ppj

* نویسنده مسئول مکاتبات:
وبگاه مجله:

مواد و روشها

در این مطالعه از موش‌های صحرایی نر نژاد ویستار (۲۸۰-۳۵۰ گرم)، تهیه شده از انستیتو پاستور استفاده گردید. حیوانات در شرایط استاندارد و دسترسی آزاد به آب و غذا نگهداری شده و آزمایشات منطبق بر اصول کار با حیوانات آزمایشگاهی انجام گردید.

تعداد ۳۰ سر موش صحرایی بطور تصادفی به سه گروه مساوی ده تایی تقسیم شدند. گروه اول سالیین (بعنوان حلال دارو، کنترل) و دومین و سومین گروه آمینوگوانیدین با دوز ۷۵ و ۱۵۰ (mg/kg) در شروع ایسکمی بصورت داخل صفاقی تزریق می‌شد. حدود ۲۴ ساعت بعد از ایسکمی و نیم ساعت قبل از کشتن حیوان اختلالات حرکتی نورولوژیکی را ارزیابی نموده [۱۵]، سپس حجم ضایعات مغزی تعیین می‌شد. ابتدا حیوان‌ها با تزریق کلرال هیدرات با دوز (mg/kg) ابتدا بیهوش نموده و بر روی میز جراحی مخصوص ثابت می‌شدند. سپس شریان میانی مغز را با روش فیلامنت یا انسداد داخل عروقی که قبلاً شرح داده شده است، مسدود و ایسکمی ایجاد می‌گردید [۱۶]، بطور خلاصه بعد از جراحی و جدا کردن شریان کاروتید مشترک و شاخه‌های آن (کاروتید خارجی و داخلی)، نخ نایلون شماره ۰-۳ که نوک آن جلو شعله گرد شده بود وارد شریان کاروتید داخلی نموده به آرامی به سمت داخل مغز و حلقه ویلیس هدایت نموده تا یک مقاومت ظریف در مقابل هدایت نخ به سمت جلو احساس شود. این مقاومت ظریف نشانگر آن است که نوک نخ وارد ابتدای شریان قدامی مغز شده و شریان میانی مغز را در محل خروج از حلقه ویلیس مسدود شده است. بدین ترتیب جریان خون در شریان میانی مغز قطع و ناحیه‌ای از مغز که توسط این شریان خون رسانی می‌گردد (کورتکس و استرایتوم) دچار ایسکمی می‌شد. یک ساعت بعد از اتمام دوره ایسکمی نخ نایلون را به آرامی خارج کرده تا جریان خون مجدد در شریان میانی مغز و منطقه ایسکمی برای ۲۴ ساعت برقرار گردد. سپس محل جراحی، بخیه شده و تا بهوش آمدن حیوان در محیط گرم نگهداری می‌شد. در طول جراحی نیز درجه حرارت حیوان در محدوده فیزیولوژیک حفظ می‌شد.

ایسکمی یافت نشده است. در حال حاضر عمده تحقیقات بر روی پاتوفیزیولوژی ایسکمی و پیدا نمودن داروهای قابل استفاده در انسان با حداقل عوارض که بتوانند از ضایعات ثانویه متعاقب ایسکمی مغزی جلوگیری نمایند متمرکز شده است [۳]. آمینوگوانیدین دارویی با سمیت خیلی کم که امروزه در انسان برای جلوگیری از عوارض مزمن بافتی در دیابت شیرین استفاده می‌شود [۳]. همچنین آمینوگوانیدین در حیوانات آزمایشگاهی از اروپاتی، رتینوپاتی و نروپاتی دیابتی جلوگیری می‌کند [۴، ۵، ۶]. علاوه بر این اثرات فارماکولوژیکی مختلفی برای آمینوگوانیدین از جمله مهار تولید نیتریک اکساید القایی و رادیکال‌های آزاد و اثرات آنتی اکسیدانی و... گزارش شده است [۷، ۸، ۹، ۱۰]. در چند سال اخیراً اثر درمانی آن بر ضایعات حاصل از ایسکمی مغزی در مدل‌های حیوانی مورد توجه قرار گرفته است. تجویز آمینوگوانیدین حدود ۲۴ ساعت بعد از گذشت ایسکمی، ضایعات مغزی را در مدل ایسکمی مغزی موضعی در موش صحرایی کاهش می‌دهد [۱۱، ۱۲]. همچنین اخیراً گزارش شده است که درمان با آمینوگوانیدین در مراحل اولیه ایسکمی گلوبال مغزی، که با بستن دو شریان کاروتید مشترک ایجاد می‌شود، ضایعات مغزی را کاهش می‌دهد [۱۳]. همچنین Cockroft و همکاران وی نشان دادند تجویز آمینوگوانیدین حدود ۱۵ دقیقه و یا ۲ ساعت بعد از ایسکمی، در مدل تجربی ایسکمی موضعی که با بستن دائمی شریان میانی مغز ایجاد می‌شد، حجم ضایعات کورتکس را بطور معنی داری کاهش می‌دهد [۱۴].

بررسی مقالات منتشر شده نشان می‌دهند که اثر آمینوگوانیدین عمدتاً بر روی ضایعات دیررس (۲۴ ساعت پس از ایسکمی) سکتة مغزی بررسی گردیده ولی اثر آن در مراحل اولیه ایسکمی مغزی بروی ضایعات کورتکس، استرایتوم و اختلالات نورولوژیکی کمتر بررسی شده است. بنابراین در مطالعه حاضر اثر تجویز آمینوگوانیدین در مراحل اولیه ایسکمی مغزی بر روی ضایعات کورتکس، استرایتوم و اختلالات حرکتی نورولوژیکی در مدل ایسکمی مغزی موضعی - موقتی در موش صحرایی مورد بررسی قرار دهد.

جدول ۱- اثرات تجویز داخل صفاقی آمینوگوانیدین بر ضایعات کورتکس، استرایتوم و اختلالات نرولوژیکی ۶۰ دقیقه بعد از مسدود شدن شریان میانی مغز و ۲۴ ساعت برقراری مجدد جریان خون در موش صحرایی را نشان میدهد. داده‌ها بصورت Mean±SEM بیان شده و P<0.05 معنی دار تلقی شده است. علامت ستاره (*) نشان دهنده معنی دار بودن در مقایسه با گروه کنترل است.

| حجم ضایعه مغز (mm ³) | | نمره قرار دادی از ۰ تا ۴ | | گروه‌های آزمایش |
|----------------------------------|--------|--------------------------|--|---------------------------|
| استرایتوم | کورتکس | نمره اختلالات نرولوژیکی | | |
| ۵۷±۵ | ۱۵۸±۹ | ۲/۱۳ ± ۰/۱۲ | | کنترل (سالین ۱ ml/kg) |
| ۳۳±۵* | ۸۵±۱۱* | ۱/۷۴±۰/۱۶ | | آمینوگوانیدین (۷۵ mg/kg) |
| ۳۶±۴* | ۵۱±۹* | ۱/۳۶±۰/۱۸* | | آمینوگوانیدین (۱۵۰ mg/kg) |

قرار داده می‌شد. در این روش رنگ‌آمیزی منطقه ضایعه دیده به رنگ سفید و منطقه نرمال مغز به رنگ قرمز آجری در می‌آید (شکل ۱). در پایان با دوربین دیجیتالی از برش‌ها عکس گرفته و به کامپیوتر منتقل گشته و سطح ناحیه ضایعه دیده در کورتکس و استرایتوم با استفاده از نرم افزار NIH Image Analyzer اندازه‌گیری می‌شد. برای محاسبه حجم، سطح ضایعه مقاطع برش داده شده در ضخامت برش ضرب می‌شد. حجم کل ضایعه مغزی از حاصل جمع ضایعات در هفت برش مغزی بدست می‌آمد [۱۵ و ۱۶].

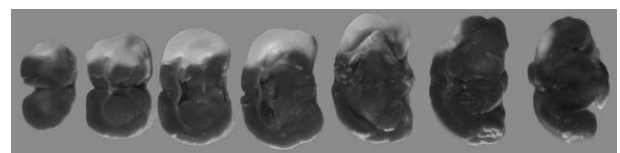
نتایج بصورت میانگین ± انحراف معیار نمونه (SEM ± Mean) بیان شده است. برای مقایسه بین گروه‌ها از تست آماری ANOVA و Tukey's یا Dunnett's بعنوان post-hoc analysis استفاده گردید. همچنین در گروه‌هایی که آزمون نرمالیتی و برابر بودن واریانس‌ها رد می‌شد، از آزمون‌های غیر پارامتریک استفاده گردید. در صورتی که P<0.05 اختلاف بین گروه معنی دار تلقی می‌گردید. از نرم افزار (SigmaStat 2.0, Jandel Scientific, Erkrath Germany) برای آنالیز نتایج استفاده شد [۱۵].

یافته‌ها

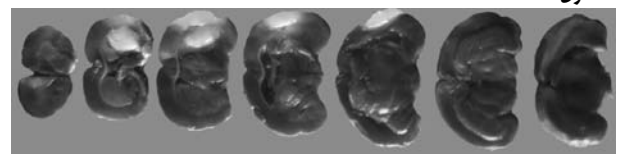
تجویز داخل صفاقی آمینوگوانیدین در شروع ایسکمی و در دوزهای ۷۵ و ۱۵۰ mg/kg بطور معنی داری باعث کاهش حجم ضایعات کورتکس و استرایتوم مغزی در مقایسه با گروه کنترل شده است (جدول ۱، P<0.001). علاوه بر این آمینوگوانیدین با دوز ۱۵۰ mg/kg بطور معنی داری سطح ضایعه را در برش‌های ۱ تا ۶ کاهش داده است. در حالیکه آمینوگوانیدین در دوز ۷۵ mg/kg سطح ضایعه را فقط در

حدود ۲۴ ساعت بعد از ایسکمی اختلالات حرکتی نرولوژیکی در حیوان بر اساس یک تست استاندارد پنج نمره‌ای ارزیابی می‌شد [۱۵]. در این تست بصورت قرار دادی به اختلالات حرکتی حیوان نمره صفر تا چهار داده می‌شد. نمره صفر: برای حیوانی که هیچ اختلال حرکتی نشان ندهد، نمره یک: برای حیوانی که هنگام آویزان شدن از دم دست مقابل محل ضایعه حالت Flexion پیدا میکند، نمره ۲: برای حیوانی که در حالت هوشیاری در یک سطح صاف شروع به چرخش به سمت مقابل محل ضایعه نماید. نمره ۳: برای حیوانی که رفلکس ایستادن (righting reflex) را از دست بدهد. نمره ۴: برای حیوانی که هیچ فعالیت حرکتی خودبخودی نشان ندهد.

بعد از ارزیابی اختلالات نرولوژیکی، حیوان تحت بیهوشی عمیق کشته و سر حیوان جدا و مغز خارج می‌شد. برای برش گیری، مغز را به مدت ۵ دقیقه در سالین ۴ درجه قرار داده، سپس به کمک brain matrix هفت برش به قطر ۲ میلی‌متر از مغز تهیه می‌گردید. جهت رنگ آمیزی، برش‌ها را به مدت ۱۵ دقیقه در محلول ۲ درصد تری فینیل تترازولیوم کلراید



کنترل

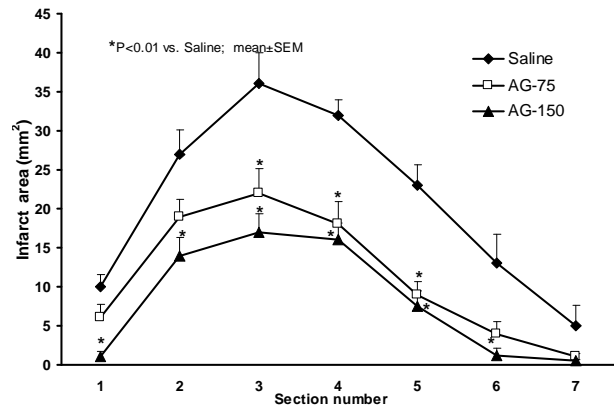


آمینوگوانیدین

شکل ۱- نمونه‌ای از هفت برش مغزی در گروه کنترل و درمان با آمینوگوانیدین در موش صحرایی نشان می‌دهد.

شروع ایسکمی مغزی موضعی در دوز ۷۵ میلی گرم به ازای کیلوگرم وزن بدن ضایعات کورتکس و استرایتوم مغزی را بترتیب ۴۷ و ۴۲ درصد کاهش داده است. همچنین درمان با آمینوگوانیدین در دوز ۱۵۰ به ازای کیلوگرم وزن بدن ضایعات کورتکس و استرایتوم را ۶۹ و ۳۶ درصد کاهش داد. این یافته با مطالعه Cockroft که نشان داد، تزریق آمینوگوانیدین ۱۵ دقیقه بعد از شروع ایسکمی در مدل ایسکمی مغزی (انسداد دائمی شریان میانی) بطور معنی دار ضایعات مغزی را کاهش می دهد [۱۴]، هم خوانی دارد. این در حالی که در مطالعه Cockroft اثر نروپروتکتیو آمینوگوانیدین تا ۲ ساعت بعد از ایسکمی حفظ می شد [۱۴]. مطالعات دیگری نشان داده اند اگر آمینوگوانیدین وقتی ۱۲ یا ۲۴ ساعت بعد از ایسکمی داده شود اثر بیشتری در کاهش ضایعات مغزی نسبت به تجویز آن در مراحل اولیه ایسکمی دارد [۱۲]. چنین اختلافاتی ممکن است مربوط به مدل ایسکمی، زمان و دوز آمینوگوانیدین، پروتکل و طرح آزمایش، شدت ایسکمی و یا نژاد حیوان باشد. همچنین تحقیق حاضر نشان داد آمینوگوانیدین در دوز ۱۵۰ میلی گرم بطور معنی دار ضایعات کورتکس را بیشتر از دوز ۷۵ میلی گرم کاهش می دهد. که این شاید توجیه کننده اثر درمانی وابسته به دوز آمینوگوانیدین باشد. علاوه بر این آمینوگوانیدین در دوز ۱۵۰ میلی گرم بطور معنی داری و موثری سطح ضایعات در برش های یک تا شش مغزی کاهش دادند، در حالیکه در دوز ۷۵ میلی گرم سطح ضایعه را فقط در برش های ۳ تا ۵ کم کرده است. بنابراین مجموع این یافته ها نشان می دهد که آمینوگوانیدین در دوز ۱۵۰ میلی گرم اثر بیشتری در کاهش ضایعات کورتکس مغزی (بخش عمده منطقه penumbra شامل می گردد) در موش صحرائی دارد.

اثر نروپروتکتیو مشاهده شده بوسیله آمینوگوانیدین در این مطالعه نمی تواند مربوط به تغییرات فشار خون، گازهای خونی و باشد. زیرا متوسط طول بیهوشی و جراحی حدود ۱ ساعت بوده و در این مدت درجه حرارت بدن حیوان با استفاده از واحد کنترل دما در محدوده فیزیولوژیک نگهداشته می شد و ترشحات دهان و حلق ساکشن میشدند و اگر حیوان مشکل



شکل ۲- اثر آمینوگوانیدین در دوز ۷۵ و ۱۵۰ mg/kg بر سطح ضایعه در ۷ برش مغزی در موش صحرائی را نشان می دهد. آمینوگوانیدین در شروع ایسکمی موضعی داده شده و سطح ضایعات مغزی ۲۴ ساعت بعد ارزیابی گردیده است. داده ها بصورت Mean±SEM بیان شده و $P < 0.05$ معنی دار تلقی شده است. علامت ستاره (*) نشان دهنده معنی دار بودن در مقایسه با گروه سالین یا کنترل است. AG = آمینوگوانیدین

برش های ۳ تا ۵ کاهش داده است (شکل ۱ و ۲). تجویز داخل صفاقی آمینوگوانیدین در شروع ایسکمی فقط در دوز ۱۵۰ mg/kg بطور معنی داری باعث کاهش معنی دار نمره اختلال نرولوژیکی در مقایسه با گروه کنترل گردید (جدول ۱، $P < 0.01$). این در حالی است که آمینوگوانیدین در دوز ۷۵ mg/kg اثر معنی داری بر اختلالات نرولوژیکی نداشت (جدول ۱، $P > 0.05$).

بحث

شریان میانی مغز از مهمترین شریانهای تغذیه کننده مغز است و انسداد آن بوسیله ترمبوز یا آمبولی از شایعترین علل اصلی سکته مغزی در انسان است. در این تحقیق شریان میانی مغز با روش فیلامنت مسدود و ایسکمی موضعی در موش صحرائی ایجاد شد. این روش بطور معمول بوسیله محققان زیادی جهت ایسکمی موضعی - موقتی در موش صحرائی و سوری بکار گرفته می شود [۱۵، ۱۷ و ۱۸]. نتایج این تحقیق نشان داد که تجویز آمینوگوانیدین در

آمین ها و تخریب آنها در مراحل اولیه ایسکمی به شدت افزایش می یابد. بر همین اساس بنظر می آید بخشی اثرات نروپروتکتیو مشاهده شده مربوط به این اثر آمینوگوانیدین باشد. مکانیسم دیگر نروپروتکتیو آمینوگوانیدین ممکن است مربوط به اثر آن در مهار آنزیم polyamine oxidase باشد [۲۱ و ۲۲]. زیرا مطالعات نشان داده اند مهار این آنزیم باعث کاهش تولید محصولات سمی در منطقه ضایعه دیده و نهایتاً کاهش ضایعات مغزی پس از ایسکمی مغزی باشد [۲۱ و ۲۲].

تجویز آمینوگوانیدین علاوه بر کاهش حجم ضایعه، باعث کاهش اختلالات حرکتی پس از ایسکمی مغزی می شود. این نکته از این لحاظ حائز اهمیت است که کاهش ضایعات مغزی همراه با بهبود اختلالات حرکتی بوده که می تواند تاکید بیشتری بر اثر نروپروتکتیو آمینوگوانیدین باشد. اگرچه تقریباً اطلاعاتی در ارتباط با اثر درمانی زود هنگام آمینوگوانیدین بر اختلالات حرکتی یا نرولوژیکی وجود ندارد، اما گزارشاتی مبنی بر بهبود اختلالات نرولوژیکی و کاهش ضایعات مغزی توسط آمینوگوانیدین هنگامی که ۲۴ ساعت بعد از ایسکمی تجویز شده اند وجود دارد [۱۲]، که با نتایج این تحقیق تا حدودی همخوانی دارد.

بطور کلی نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد تجویز آمینوگوانیدین در مراحل اولیه ایسکمی مغزی می تواند بطور موثری ضایعات مغزی را کاهش داده و باعث بهبود اختلالات نرولوژیکی در مدل تجربی ایسکمی مغزی موضعی - موقتی در موش صحرائی گردد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی سمنان که هزینه های مالی این تحقیق را تقبل نمودند (طرح شماره ۱۷۱) تشکر و قدر دانی می گردد. همچنین از پروفسور دکتر غلام عباس دهقانی از دانشگاه علوم پزشکی شیراز بخاطر کمک ها و توصیه های علمی ارزشمندشان تشکر و قدر دانی می شود.

تنفس پیدا می کرد نای از طرق دهان لوله گذاری می شد. مطالعات قبلی هم نشان داده اند، این متغیرهای فیزیولوژیک تقریباً در محدوده طبیعی باقی میمانند. بعنوان مثال Iadecola و همکاران وی نشان دادند آمینوگوانیدین اثری بر فشار خون و سایر متغیرها ندارد [۱۰]. بنابراین پارامترهای فوق در عملکرد ایسکمی و یا اثر محافظتی مشاهده شده بوسیله آمینوگوانیدین به احتمال زیاد دخالتی ندارند.

آمینوگوانیدین یک مهار کننده تولید نیتریک اکساید القایی (iNOS) می باشد [۸]، بنابراین احتمال دارد نروپروتکشن اعمال شده مربوط به این اثر باشد. مطالعات قبلی نشان می دهد بیان ژن آنزیم iNOS (تولید کننده نیتریک اکساید القایی) حدود ۲۴ تا ۴۸ ساعت بعد از شروع ایسکمی افزایش می یابد [۸]. در حالیکه در این تحقیق آمینوگوانیدین در شروع ایسکمی مغزی تجویز شده و ضایعات مغزی ۲۴ ساعت قبل از آنکه میزان پروتئین iNOS افزایش یابد مورد ارزیابی قرار گرفت. بنابراین اثر نروپروتکتیو به نظر نمی آید به مهار نیتریک اکساید القایی مربوط باشد.

آمینوگوانیدین اثرات متنوعی مثل اثرات آنتی اکسیدان و از بین برنده رادیکال های آزاد و... دارد [۷ و ۱۰]. مطالعات نشان می دهد آمینوگوانیدین در محیط های *in vitro* و *in vivo* رادیکالهای آزاد مثل پراکسید هیدروژن و پری اکسید نیتریت را از بین برده و از تشکیل رادیکال هیدروکسیل و اکسیده شدن چربی های غشای سلولی جلوگیری می کند [۷ و ۱۰]. رادیکال های آزاد نقش مهمی در گسترش ضایعات پس از سکته مغزی دارند [۱۹ و ۲۰]. بنابراین بنظر می رسد بخشی از اثرات نروپروتکتیو آمینوگوانیدین مربوط به این اثرها باشد. علاوه بر این اثر نروپروتکتیو ممکن است مربوط به توانایی آن در مهار آنزیم د-آمین اکسیداز باشد [۱۹ و ۱۷ و ۲]. این آنزیم در تخریب هیستامین و پلی آمین ها نقش دارد. این آنزیم از طریق اکسید کردن پلی آمین ها، الدئیدهای سمی تولید کرده، و باعث گسترش آسیب های مغزی پس از سکته می گردد [۱۹ و ۲] بدلیل اینکه سنتز پلی

- with aminoguanidine decreases focal cerebral ischemic damage and enhances neurologic recovery in rats. *J Cerebr Blood F Met* 18 (1998) 1107-13.
- [13] Danielisova V, Nemethova M, Burda J, The protective effect of aminoguanidine on cerebral ischemic damage in the rat brain. *Physiol Res* 53 (2004) 533-40.
- [14] Cockroft KM, Meistrell M, Zimmerman GA, Risucci D, Bloom O, Cerami A, Tracey KJ, Cerebroprotective effects of aminoguanidine in a rodent model of stroke. *Stroke* 27 (1996) 1393-8.
- [15] Vakili A, Kataoka H, Plesnila N, Role of arginine vasopressin V1 and V2 receptors for brain damage after transient focal cerebral ischemia. *J Cerebr Blood F Met* 25 (2005) 1012-1019.
- [16] Vakili A, Nekoeian AA, Dehghani GA, Aminoguanidine reduces infarct volume and improve neurological dysfunction in rat model focal cerebral ischemia. *DARU* 14 (2006) 31-36.
- [17] Belayev L, Alonso OF, Busto R, Zhao W, Ginsberg MD, Middle cerebral artery occlusion in the rat by intraluminal suture. Neurological and pathological evaluation of an improved model. *Stroke* 27 (1996) 1616-22.
- [18] Alonso de Leciñana M, Díez-Tejedor E, Carceller F, Roda JM, Cerebral ischemia: From animal studies to clinical practice. *Cerebrovasc Dis* 11 (2001) 20-30.
- [19] Chan PH, Oxygen radical in focal cerebral ischemia. *Brain Pathol* 4 (1994) 59-65.
- [20] Toyoda T, Kassell NF, Lee KS, Attenuation of ischemia-reperfusion injury in the rat neocortex by the hydroxyl radical scavenger nicaraven. *Neurosurgery* 40 (1997) 372-7.
- [21] Ivanova S, Botchkina GI, Al-Abed Y, Meistrell M, Batliwalla F, Dubinsky JM, Iadecola C, Wang H, Gregersen PK, Eaton JW, Tracey KJ, Cerebral ischemia enhances polyamine oxidation: identification of enzymatically formed 3-aminopropanal as an endogenous mediator of neuronal and glial cell death. *J Exp Med* 188 (1998) 327-40.
- [22] Paschen W, Cleef M, Rohn G, Muller M, Pajunen AE, Ischemia-induced disturbances of polyamine synthesis. *Prog Brain Res* 96 (1993) 147-60.
- [1] Hossmann KA, Viability thresholds and the penumbra of focal ischemia. *Ann Neurol* 36 (1994) 557-65.
- [2] Sessa A, Perin A, Diamine oxidase in relation to diamine and polyamine metabolism. *Agents and Actions* 43 (1994) 69-77.
- [3] De Keyser J, Sulter G, Luiten PG, Clinical trials with neuroprotective drugs in acute ischaemic stroke: are we doing the right thing? *Trends Neurosci* 22 (1999) 535-40.
- [4] Hammes HP, Martin S, Federlin K, Geisen K, Brownlee M, Aminoguanidine treatment inhibits the development of experimental diabetic retinopathy. *Proc Natl Acad Sci USA* 88 (1991) 1555-8.
- [5] Taguchi T, Miyoshi H, Sugiura M, Takeuchi M, Yanagisawa K, Watanabe Y, Miwa I, Makita Z, A glycation inhibitor, aminoguanidine and pyridoxal adduct, suppresses the development of diabetic nephropathy. *Intl Cong Ser* 1245 (2002) 435-437.
- [6] Yagihashi S, Kamijo M, Baba M, Yagihashi N, Nagai K, Effect of aminoguanidine on functional and structural abnormalities in peripheral nerve of STZ-induced diabetic rats. *Diabetes* 41 (1992) 47-52.
- [7] Giardino I, Fard AK, Hatchell DL, Brownlee M, Aminoguanidine inhibits reactive oxygen species formation, lipid peroxidation, and oxidant-induced apoptosis. *Diabetes* 47 (1998) 1114-20.
- [8] Iadecola C, Zhang F, Xu X, Casey R, Ross ME, Inducible nitric oxide synthase gene expression in brain following focal cerebral ischemia. *J Cerebr Blood F Met* 15 (1995) 378-384.
- [9] Nilsson BO, Biological effects of aminoguanidine: an update. *Inflamm Res* 48 (1999) 509-15.
- [10] Zhang F, Iadecola C, Temporal characteristics of the protective effect of aminoguanidine on cerebral ischemic damage. *Brain Res* 17 (1998) 104-10.
- [11] Cash D, Beech JS, Rayne RC, Bath PM, Meldrum BS, Williams SC, Neuroprotective effect of aminoguanidine on transient focal ischaemia in the rat brain. *Brain Res* 29 (2001) 91-103.
- [12] Nagayama M, Zhang F, Iadecola C, Delayed treatment