

تحقیقی

اثر ديازوكسايد بر فراساختار كورتكس پاريتال موش صحرائی بعد از ايسكمی - ريپرفيوژن

دکتر مجید کاتبی^۱، دکتر منصوره سلیمانی^۱، رضا فراهانی باد^۲، محمدعلی عباسی مقدم^۳، دکتر مهدی مهدی زاده^{۴*}، دکتر هما رسولی^۲
 ۱- استادیار گروه علوم تشریحی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان. ۲- استادیار گروه علوم تشریحی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران.
 ۳- دانشجوی پزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران. ۴- استاد مرکز تحقیقات سلولی مولکولی، گروه علوم تشریحی دانشگاه علوم پزشکی ایران.

چکیده

زمینه و هدف: تاکنون درمان دارویی موثری برای جلوگیری از کاهش نورون‌ها بعد از صدمات مغزی مشخص نشده است. در این مطالعه اثر ديازوكسايد به عنوان تعدیل کننده‌های کانال پتاسیم میتوکندریایی بر تغییرات فراساختاری نورون‌ها بعد از ايسكمی-ريپرفيوژن بررسی شد.

روش بررسی: در این مطالعه تجربی موش‌های صحرائی نر نژاد ویستار به صورت تصادفی در ۸ گروه ۳ تایی شامل گروه شم، گروه حامل، گروه‌های ۱، ۵ و ۲۵ میلی‌گرم/کیلوگرم گلی‌بنکلامید و گروه‌های ۲، ۶ و ۱۸ میلی‌گرم/کیلوگرم ديازوكسايد گروه‌بندی شدند. حیوانات گروه‌های مداخله (دوم تا هشتم) ۲ ساعت بعد از تزریق تحت جراحی انسداد چهار رگ اصلی خون‌دهنده به مغز به مدت پانزده دقیقه قرار گرفتند. بعد از ۲۴ ساعت ریپرفیوژن، بررسی فراساختاری نورون‌ها شامل تغییرات هسته و میتوکندری توسط میکروسکوپ الکترونی انجام شد.

یافته‌ها: تغییرات مورفولوژیک فراساختاری پاتولوژیک شامل تورم میتوکندریایی و صدمه به کریستاها و هسته متراکم در نورون‌ها به دنبال ايسكمی رخ داد. در گروه‌هایی که گلی‌بنکلامید دریافت کرده بودند؛ تغییرات مورفولوژیک فراساختاری شدید بوده است. این تغییرات در حیواناتی که دوز بیشتری از گلی‌بنکلامید را دریافت کرده بودند؛ بیشتر مشاهده شد. در حیوانات آزمایشگاهی که ديازوكسايد را به میزان ۸ میلی‌گرم/کیلوگرم وزن بدن دریافت کرده بودند؛ تغییرات مورفولوژیک فراساختاری پاتولوژیک هسته و میتوکندری کاهش واضحی داشت. کاهش عوارض ناشی از ايسكمی در گروه‌های دریافت کننده ۲ و ۶ میلی‌گرم/کیلوگرم وزن بدن ديازوكسايد مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد که ديازوكسايد با دوز ۱۸ میلی‌گرم/کیلوگرم وزن بدن در موش‌های صحرائی دارای نقش حفاظتی در برابر تغییرات فراساختاری نورون‌ها شامل تخریب میتوکندری و تغییرات ظاهری آپوپتیک ناشی از ايسكمی می‌باشند.

کلید واژه‌ها: ايسكمی ریپرفیوژن، فراساختار، میتوکندری، ديازوكسايد، گلی‌بنکلامید، کورتکس، مغز

* نویسنده مسؤل: دکتر مهدی مهدی‌زاده، پست الکترونیکی: maranaoo@iums.ac.ir

نشانی: تهران، دانشگاه علوم پزشکی ایران، مرکز تحقیقات سلولی مولکولی، گروه علوم تشریحی، تلفن و نمابر: ۸۸۰۵۸۶۸۹ (۰۲۱)

وصول مقاله: ۸۸/۲/۱، اصلاح نهایی: ۸۸/۱۰/۹، پذیرش مقاله: ۸۸/۱۰/۱۳

مقدمه

شواهدی مبتنی بر موثر بودن درمان دارویی در بهبود نسبی ضایعات ناشی از صدمات مغزی وجود دارد (۱). DND میتوکنندری حساسیت ویژه‌ای به صدمات ایسکمی-ریپرفیوژن دارد و میتوکنندری با راهسازی پروتئین‌های فعال‌کننده اپوپتوزیس، نقش کلیدی در فرایند مرگ سلولی ایفاء می‌کند و صدمات میتوکندریایی عاملی است که نقش اساسی در اپوپتوز و پاتوفیزیولوژی ایسکمی مغزی دارد (۵-۲). جلوگیری از ناتوانی عملکرد میتوکنندری، میزان بقای سلول به دنبال بروز ایسکمی را افزایش می‌دهد. این پدیده‌ای است که در ischemic preconditioning مشاهده می‌شود و فرایندی است که در آن کانال‌های ATP وابسته به پتاسیم میتوکنندری نقش دارند (۶).

جمعیت زیادی از کانال‌های پتاسیمی وابسته به اندوزین تری فسفات که تنظیم‌کننده حجم ماتریکس میتوکندریایی و تولید اندوزین تری فسفات هستند؛ در غشاء داخلی میتوکنندری وجود دارد (۷و۸). کانال‌های پتاسیمی وابسته به میتوکنندری حساسیتی انتخابی نسبت به بازکننده‌هایی مثل ديازوكسايد دارد (۹).

عوامل دارویی کنترل‌کننده کانال‌های ATP وابسته به پتاسیم میتوکنندری، می‌توانند از ناتوانی عملکرد میتوکنندری به روشی مشابه فرایند ischemic preconditioning پیشگیری کنند (۱۳-۱۰).

ديازوكسايد يک بازکننده اختصاصی کانال‌های ATP وابسته به پتاسیم میتوکنندری، صدمات ناشی از ایسکمی-ریپرفیوژن را در بافت قلبی محدود می‌کند. (۱۰و۱۷-۱۴).

به تازگی تجویز بازکننده‌های کانال‌های ATP وابسته به پتاسیم میتوکنندری به عنوان روشی برای حفظ عملکرد سلول‌های عضلانی قلب در وضعیت ایسکمی طولانی‌هنگام جراحی مورد توجه قرار گرفته است (۱۸). همچنین گزارش شده؛ ديازوكسايد در يک مدل ضایعه نخاعی از صدمات ناشی از ایسکمی موقتی کاسته است (۱۹).

این مطالعه به منظور تعیین نقش حفاظتی ديازوكسايد بر نورون‌ها در برابر تاثیرات ایسکمی ریپرفیوژن از لحاظ مورفولوژیک انجام شد.

روش بررسی

در این مطالعه تجربی از موش‌های صحرایی نر نژاد ویستار با وزن ۱۸۰ تا ۲۰۰ گرم استفاده شد. موش‌های صحرایی در شرایط استاندارد هوای مطلوب و ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی قرار داشتند و غذای استاندارد فشرده و آب معمولی مصرف کردند.

یک هفته قبل از جراحی موش‌های صحرایی به هشت گروه تقسیم شدند و قبل از جراحی گروهی از موش‌های صحرایی داروی گلی‌بنکلامید به عنوان داروی مسدودکننده کانال پتاسیمی و ديازوكسايد به عنوان بازکننده کانال پتاسیمی دریافت کردند و در کل هشت گروه با جمعیت سه سر موش صحرایی در هر گروه، به شرح جدول یک مطالعه شدند:

جدول ۱: گروه‌های مورد مطالعه

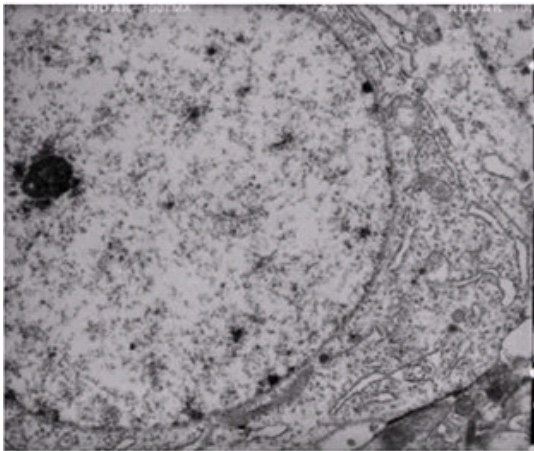
گروه‌ها	
اول	شم - جراحی روی آنها بدون انسداد جریان خون انجام شد.
دوم	حامل - انسداد چهار رگ به طور موقت انجام شد و نرمال‌سالین را به روش داخل صفاقی دریافت کردند.
سوم	گروهی که ۱ میلی‌گرم/کیلوگرم گلی‌بنکلامید رابه صورت داخل صفاقی ۲ ساعت قبل از جراحی دریافت کردند.
چهارم	گروهی که ۵ میلی‌گرم/کیلوگرم گلی‌بنکلامید رابه صورت داخل صفاقی ۲ ساعت قبل از جراحی دریافت کردند.
پنجم	گروهی که ۲۵ میلی‌گرم/کیلوگرم گلی‌بنکلامید رابه صورت داخل صفاقی ۲ ساعت قبل از جراحی دریافت کردند.
ششم	گروهی که ۲ میلی‌گرم/کیلوگرم ديازوكسايد را به صورت داخل صفاقی ۲ ساعت قبل از جراحی دریافت کردند.
هفتم	گروهی که ۶ میلی‌گرم/کیلوگرم ديازوكسايد را به صورت داخل صفاقی ۲ ساعت قبل از جراحی دریافت کردند.
هشتم	گروهی که ۱۸ میلی‌گرم/کیلوگرم ديازوكسايد را به صورت داخل صفاقی ۲ ساعت قبل از جراحی دریافت کردند.

کلیه نکات مربوط به دستورالعمل کار با حیوانات در این مطالعه رعایت شد. موش‌های صحرایی با ترکیب ۱۰۰ میلی‌گرم/کیلوگرم کتامین و ۱۰ میلی‌گرم/کیلوگرم زایلازین بیهوش شدند.

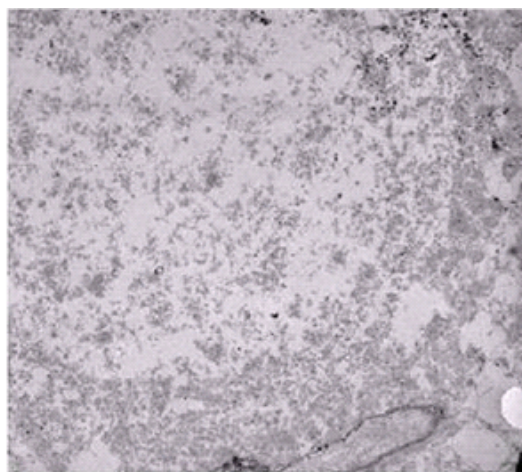
برای اندازه‌گیری دمای بدن در حین بیهوشی از دماسنج رکتال استفاده شد و با استفاده از نور مادون قرمز دما در حد ۳۷±۰/۵ درجه سانتی‌گراد حفظ شد.

روش جراحی

ابتدا در حدود یک سانتی‌متر در امتداد خط میانی خلف سر برشی ایجاد شد و سپس عضلات پاراورتبرال کنار زده شد و شریان‌های ورتبرال با الکتروکوتر ۰/۵ میلی‌متر کوتر شد.



(الف)



(ب)

شکل ۱: از بین رفتن یکپارچگی غشاء هسته به علاوه ادم شدید سیتوپلاسمی همراه با پراکنندگی ارگانل‌های سیتوپلاسمی در نورون‌های کورتیکال موش صحرانی پس از ۲۴ ساعت ایسکمی-ریپرفیوژن و تجویز ۲۵ میلی‌گرم/کیلوگرم گلی‌بنکلامید (شکل ب) در مقایسه با ساختار سیتوپلاسمی نورون‌های کورتیکال پس از ۲۴ ساعت ایسکمی-ریپرفیوژن و تجویز ۱۸ میلی‌گرم/کیلوگرم دیازوکساید (شکل الف). بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰ برابر

دوزهای متفاوت دیازوکساید و گلی‌بنکلامید به ترتیب باعث جلوگیری از صدمات و افزایش‌دهنده صدمات ناشی از ایسکمی-ریپرفیوژن بودند.

در نمونه‌هایی که ۱۸ میلی‌گرم/کیلوگرم دیازوکساید تجویز شده بود؛ ساختمان نورون نسبت به گروه ایسکمی طبیعی تر بود و میتو کندری مورفولوژی بهتری در مقایسه با گروه گلی‌بنکلامید داشت (شکل‌های ۱ الف و ۲ الف)؛ ولی در گروه‌هایی که ۲ و ۶ میلی‌گرم دیازوکساید را دریافت کرده بودند؛ تغییرات واضحی در جهت بهبودی مشاهده نشد. در حالی که در نمونه‌های دریافت کننده

سپس برش را بخیه زده و با برش یک سانتی متری دیگری در ناحیه قدامی گردن شریان‌های کاروتید مشترک را به مدت ۱۵ دقیقه با کلیپس بسته و پس از آن ریپرفیوژن برقرار شد.

بافت مغز بعد از ۲۴ ساعت با محلول نرمال سالین و سپس محلول کارنوفسکی (محلول ۲/۵ درصد گلو تارائید و محلول ۴ درصد پارافرمالدئید) ریپرفیوژن انجام شد و سپس مغز خارج و کورتکس پاریتال در همان فیکساتیو مورد استفاده برای ریپرفیوژن قرار داده شد.

مطالعه میکروسکوپ الکترونی

بعد از فیکساسیون، هر نمونه از بافت در تروکسید اسمیوم یک درصد قرار گرفت. سپس نمونه در محلول استون با غلظت صعودی آبیگری و در رزین قالبگیری گردید. سپس با سیترات سرب ۲۵ درصد و اورانیل استات ۵ درصد در متانول ۵۰ درصد رنگ آمیزی شد و با میکروسکوپ الکترونی در محل دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی مطالعه گردید.

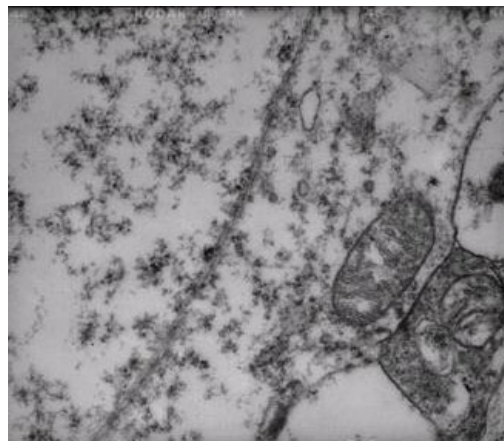
یافته‌ها

نورون‌های گروه شم کنترل دارای سیتوپلاسم و هسته‌های با مورفولوژی طبیعی بودند. در میتو کندری‌های این نورون‌ها نیز صدمه‌ای دیده نشد.

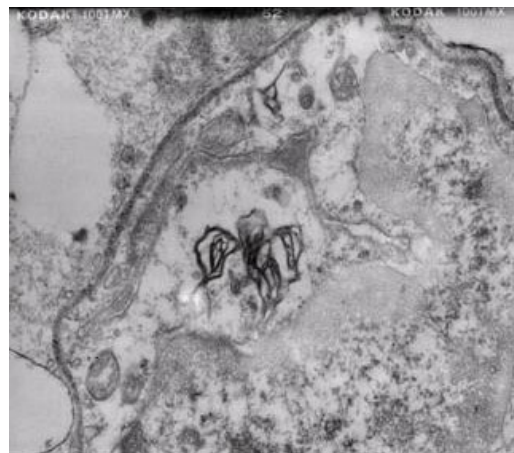
مطالعه میکروسکوپ الکترونی در گروه بدون درمان شواهدی دال بر وجود سلول‌های اپوپتوتیک با غشاء نامنظم هسته، فشردگی کروماتین و قطعه قطعه شدن هسته، اجسام اپوپتوتیک و تغییرات میتو کندریایی بود. پس از ۱۵ دقیقه ایسکمی و ۲۴ ساعت ریپرفیوژن، هسته تعدادی از نورون‌ها متراکم و چروکیده و کنار غشاء هسته متمرکز شده بود. سیتوپلاسم دچار تورم بود و علاوه بر آن صدمه واضح میتو کندریایی به شکل تورم، تخریب کریستاهای و تورم فضاهای میان کریستاهای دیده شد.

در موش‌های صحرانی که ۲۵ میلی‌گرم/کیلوگرم گلی‌بنکلامید دریافت کردند؛ فضای پری‌نوکلئار وسیع شده و ادم شدید در سیتوپلاسم مشاهده شد. یکپارچگی غشاء هسته از دست رفته و محتویات هسته وارد سیتوپلاسم شده بود و میتو کندری‌ها در مراحل مختلف تخریب با کریستاهای غیرقابل تشخیص دیده شدند (شکل ۱ ب).

۲۵ ميلي گرم / كيلو گرم گلي بنكلاميد؛ ساختار كريستاهای ميتو كندري بهم ريخته و ساختمانهای لوله‌ای وزيكولی جايگزين شده بود (شكل ۲ب).



(الف)



(ب)

شكل ۲: تخریب كريستاهای ميتو كندري و وجود ساختارهای لوله‌ای وزيكولی در نوروتهای كورتيكال موش صحرانی پس از ۲۴ ساعت ايسكمي-ريپرفيوژن و تجویز ۲۵ ميلي گرم/ كيلو گرم گلي بنكلاميد (شكل ب) در مقايسه با ساختار حفظ شده ميتو كندري در نوروتهای كورتيكال پس از ۲۴ ساعت ايسكمي-ريپرفيوژن و تجویز ۱۸ ميلي گرم/ كيلو گرم ديازوكسايد (شكل الف). بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰ برابر

بحث

يافته اصلی اين تحقيق توصيف نقش نوروپروتكتيو ديازوكسايد و تاثير آنتاگونیستی گليبن كلاميد است. كانالهای پتاسیمی نقش اساسی در بقای نوروتهای در شرایط ايسكمی بازی می‌کنند. مطالعه‌ای نشان داد که ديازوكسايد در بچه خوك‌های تازه متولد شده بعد از ايسكمی گلوبال گذرا روند بهبودی را تسريع کرده است (۲۰).

مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از تعديل کننده‌های كانالهای پتاسیمی بعد از ايسكمی-ريپرفيوژن ميزان صدمات ساختمانی نوروتهای را تغيير می‌دهد. در بافت عصبی مورد مطالعه، بعد از ۱۵ دقيقه ايسكمی و ۲ ساعت ريپرفيوژن، ادم سيتوپلاسمی شديد با بهم ريختگی ارگانل‌ها و نامشخص بودن كريستاهای ميتو كندري دیده شد و اين یافته مشابه نتایج به دست آمده از مطالعه Solenski بود (۲۱).

تجویز ديازوكسايد منجر به کاهش صدمات ميتو كندريایی شد که مشابه یافته‌های مطالعه‌ای بر روی نوروتهای طناب نخاعی پس از ايسكمی-ريپرفيوژن در محیط آزمایشگاهی می‌باشد (۲۲). نتایج به دست آمده در راستای نتایج مطالعه‌ای است که کاهش حجم ناحیه سكتة مغزی پس از تجویز ديازوكسايد را گزارش کرده است (۲۳).

فرضيات متعددی برای توصيف یافته‌های فوق ارائه شده است. براساس مطالعه Wu تاثيرات نوروپروتكتيو به دست آمده می‌تواند؛ ناشی از تغيير ميزان يون كلسيم ميتو كندريایی از طريق مهار باز شدن منافذ ميتو كندري باشد (۲۴). در میان سایر مکانیسم‌های احتمالی می‌توان؛ به کاهش رهاسازی گلو تاميت (۲۵)، تغيير در نفوذ پذیری سدخونی مغزی (۲۶) و توليد گونه‌های واكنشی اكسيژن (۲۷) اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج اين مطالعه نشان داد که ديازوكسايد اثر مستقیم نوروپروتكتيو در ضایعات بعد از ايسكمی دارد. به منظور ايجاد زمینه استفاده کلينيکی از ديازوكسايد به عنوان دارو در درمان ضایعات عصبی بعد از سكتة مغزی در انسان، ادامه تحقیقات برای آگاهی از مکانیسم اثر ديازوكسايد پیشنهاد می‌شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مرکز تحقیقات پزشکی سلولی و مولكولی دانشگاه علوم پزشکی ایران به خاطر تأمین هزینه‌های طرح (شماره مصوب ۲۷۰ ت) سپاسگزاری می‌گردد. همچنین از خانم‌ها پروانه طباطبایی و معصومه بخشایش کارشناسان مرکز تحقیقات سلولی و مولكولی دانشگاه علوم پزشکی ایران به خاطر همکاری صمیمانه در اجرای اين مطالعه قدردانی می‌گردد.

References

- Goldstein LB. Basic and clinical studies of pharmacologic effects on recovery from brain injury. *J Neural Transplant Plast*. 1993 Jul-Sep;4(3):175-192.
- Mattson MP, Culmsee C, Yu ZF. Apoptotic and antiapoptotic mechanisms in stroke. *Cell Tissue Res*. 2000 Jul;301(1):173-187.
- Nicholls DG, Budd SL. Mitochondria and neuronal survival. *Physiol Rev*. 2000 Jan;80(1):315-360.
- Saraste A, Pulkki K. Morphologic and biochemical hallmarks of apoptosis. *Cardiovasc Res*. 2000 Feb;45(3):528-537.
- Kaufmann SH, Hengartner MO. Programmed cell death: alive and well in the new millennium. *Trends Cell Biol*. 2001 Dec;11(12):526-534.
- Gross GJ, Auchampach JA. Blockade of ATP-sensitive potassium channels prevents myocardial preconditioning in dogs. *Circ Res*. 1992 Feb;70(2):223-233.
- Holmuhamedov EL, Jovanović S, Dzeja PP, Jovanović A, Terzić A. Mitochondrial ATP-sensitive K⁺ channels modulate cardiac mitochondrial function. *Am J Physiol*. 1998 Nov;275(5 Pt 2):H1567-1576.
- Szewczyk A, Czyż A, Wojcik G, Wojtczak L, Nalecz MJ. ATP-regulated K⁺ channel in mitochondria: pharmacology and function. *J Bioenerg Biomembr*. 1996 Apr;28(2):147-152.
- Domoki F, Perciaccante JV, Veltkamp R, Bari F, Busija DW. Mitochondrial potassium channel opener diazoxide preserves neuronal-vascular function after cerebral ischemia in newborn pigs. *Stroke*. 1999 Dec;30(12):2713-2718.
- Garlid KD, Paucek P, Yarov-Yarovoy V, Murray HN, Darbenzio RB, D'Alonzo AJ, et al. Cardioprotective effect of diazoxide and its interaction with mitochondrial ATP-sensitive K⁺ channels. Possible mechanism of cardioprotection. *Circ Res*. 1997 Dec;81(6):1072-1082.
- Liu Y, Sato T, O'Rourke B, Marban E. Mitochondrial ATP-dependent potassium channels: novel effectors of cardioprotection? *Circulation*. 1998 Jun 23;97(24):2463-2469.
- Liu Y, Sato T, Seharaseyon J, Szewczyk A, O'Rourke B, Marbán E. Mitochondrial ATP-dependent potassium channels. Viable candidate effectors of ischemic preconditioning. *Ann N Y Acad Sci*. 1999 Jun 30;874:27-37.
- Sato T, Marbán E. The role of mitochondrial K(ATP) channels in cardioprotection. *Basic Res Cardiol*. 2000 Aug;95(4):285-289.
- Ichinose M, Yonemochi H, Sato T, Saikawa T. Diazoxide triggers cardioprotection against apoptosis induced by oxidative stress. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2003 Jun;284(6):H2235-2241.
- Liu D, Lu C, Wan R, Auyeung WW, Mattson MP. Activation of mitochondrial ATP-dependent potassium channels protects neurons against ischemia-induced death by a mechanism involving suppression of Bax translocation and cytochrome c release. *J Cerebr Blood Flow Metab*. 2002 Apr;22(4):431-443.
- Takashi E, Wang Y, Ashraf M. Activation of mitochondrial K(ATP) channel elicits late preconditioning against myocardial infarction via protein kinase C signaling pathway. *Circ Res*. 1999 Dec 3-17;85(12):1146-1153.
- Teshima Y, Akao M, Li RA, Chong TH, Baumgartner WA, Johnston MV, et al. Mitochondrial ATP-sensitive potassium channel activation protects cerebellar granule neurons from apoptosis induced by oxidative stress. *Stroke*. 2003 Jul;34(7):1796-1802.
- Kevelaitis E, Oubénaïssa A, Peynet J, Mouas C, Menasché P. Preconditioning by mitochondrial ATP-sensitive potassium channel openers: An effective approach for improving the preservation of heart transplants. *Circulation*. 1999 Nov 9;100(19 Suppl):II345-350.
- Caparelli DJ, Cattaneo SM 2nd, Bethea BT, Shake JG, Eberhart C, Blue ME, et al. Pharmacological preconditioning ameliorates neurological injury in a model of spinal cord ischemia. *Ann Thorac Surg*. 2002 Sep;74(3):838-844.
- Domoki F, Perciaccante JV, Veltkamp R, Bari F, Busija DW. Mitochondrial potassium channel opener diazoxide preserves neuronal-vascular function after cerebral ischemia in newborn pigs. *Stroke*. 1999 Dec;30(12):2713-2718.
- Solenski NJ, diPierro CG, Trimmer PA, Kwan AL, Helm GA. Ultrastructural changes of neuronal mitochondria after transient and permanent cerebral ischemia. *Stroke*. 2002 Mar;33(3):816-824.
- Roseborough G, Gao D, Chen L, Trush MA, Zhou S, Williams GM, Wei C. The mitochondrial K-ATP channel opener, diazoxide, prevents ischemia-reperfusion injury in the rabbit spinal cord. *Am J Pathol*. 2006 May;168(5):1443-1451.
- Shimizu K, Lacza Z, Rajapakse N, Horiguchi T, Snipes J, Busija DW. MitoK(ATP) opener, diazoxide, reduces neuronal damage after middle cerebral artery occlusion in the rat. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2002 Sep;283(3):H1005-1011.
- Wu L, Shen F, Lin L, Zhang X, Bruce IC, Xia Q. The neuroprotection conferred by activating the mitochondrial ATP-sensitive K⁺ channel is mediated by inhibiting the mitochondrial permeability transition pore. *Neurosci Lett*. 2006 Jul 10;402(1-2):184-189.
- Ben-Ari Y, Krnjević K, Crépel V. Activators of ATP-sensitive K⁺ channels reduce anoxic depolarization in CA3 hippocampal neurons. *Neuroscience*. 1990;37(1):55-60.
- Lenzser G, Kis B, Bari F, Busija DW. Diazoxide preconditioning attenuates global cerebral ischemia-induced blood-brain barrier permeability. *Brain Res*. 2005 Jul 27;1051(1-2):72-80.
- Liang HW, Xia Q, Bruce IC. Reactive oxygen species mediate the neuroprotection conferred by a mitochondrial ATP-sensitive potassium channel opener during ischemia in the rat hippocampal slice. *Brain Res*. 2005 May 3;1042(2):169-175.