

Research Article

Effect of N-acetylcysteine in protecting from simultaneous noise and carbon monoxide induced hair cell loss

Akram Pourbakht

Department of Audiology, Faculty of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences, Iran

Received: 19 June 2010, accepted: 14 September 2010

Abstract

Background and Aim: N-acetylcysteine, a glutathione precursor and reactive oxygen species scavenger, is reported to be effective in reducing noise-induced hearing loss. Many workers in industry are exposed simultaneously to noise and chemical pollutants such as carbon monoxide. We investigated effectiveness of N-acetylcysteine in protecting the cochlea from simultaneous noise and carbon monoxide damages.

Methods: Twelve rabbits were exposed simultaneously to 100 dB sound pressure level of broad band noise and carbon monoxide 8 hours a day for 5 days. One hour before exposure, experimental group received 325 mg/kg of N-acetylcysteine while normal saline was administered for the control group. The protective effect of N-acetylcysteine was evaluated 3 weeks after exposure by histological assessment of the hair cells.

Results: Simultaneous exposure to noise and carbon monoxide resulted in a considerable damage to the outer hair cells; however, the inner hair cells and the pillar cells remained intact. Use of N-acetylcysteine in the experimental group significantly reduced the extent of outer hair cell loss.

Conclusion: N-acetylcysteine attenuates simultaneous noise and carbon monoxide induced hair cell damage in rabbits.

Keywords: N-acetylcysteine, noise-induced hearing loss, carbon monoxide, hair cell, histology

پیشگیری از آسیب سلول‌های مویی شنوایی ناشی از مواجهه هم‌زمان با صدا و مونوکسید کربن در خرگوش

اکرم پوربخت

گروه شنوایی‌شناسی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: داروی ان استیل سیستین، پیش‌ماده گلوپاتینون، آنتی‌اکسیدان داخل سلولی و خنثی‌کننده رادیکال‌های آزاد است که اثر حفاظتی آن بر ضد آسیب ناشی از صدا قبلاً گزارش شده است. در صنعت افراد زیادی در معرض هم‌زمان صدا و آلاینده‌های شیمیایی از جمله مونوکسید کربن قرار دارند. از این رو در این مطالعه نقش حفاظتی ان استیل سیستین در پیشگیری از آسیب ناشی از مواجهه هم‌زمان صدا و مونوکسید کربن در حیوانات بررسی شد.

روش بررسی: تعداد ۱۲ خرگوش برای ۵ روز و هر روز ۸ ساعت در معرض صدا با پهنای باند وسیع و شدت ۱۰۰ دسی‌بل SPL و هم‌زمان در معرض گاز مونوکسید کربن قرار گرفتند. گروه شاهد و آزمون یک ساعت قبل از مواجهه به ترتیب سرم نمکی و ان استیل سیستین ۳۲۵ میلی‌گرم هر کیلو وزن بدن دریافت کردند. اثر حفاظتی ان استیل سیستین، ۳ هفته بعد از مواجهه با بررسی بافت‌شناسی ارزیابی شد.

یافته‌ها: در گروه شاهد، مواجهه هم‌زمان صدا و مونوکسید کربن آسیب قابل توجهی در سلول‌های مویی خارجی ایجاد کرده بود، اما سلول‌های مویی داخلی و سلول‌های ستونی تغییر شکل خاصی نشان نمی‌دادند. در گروه آزمون، ان استیل سیستین توانست به‌طور قابل توجهی سلول‌های مویی خارجی را حفظ کند.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که داروی ان استیل سیستین می‌تواند از آسیب سلول‌های مویی ناشی از مواجهه هم‌زمان با صدا و مونوکسید کربن جلوگیری کند.

واژگان کلیدی: ان استیل سیستین، کم‌شنوایی ناشی از صدا، مونوکسید کربن، سلول مویی، بافت‌شناسی

(دریافت مقاله: ۸۹/۳/۲۹، پذیرش: ۸۹/۶/۲۳)

مقدمه

از NIHHL مؤثر بوده است وسایل حفاظت شنوایی (Hearing Protective Device: HPD) بوده است و تنها درمان کنونی وسایل کمک شنوایی است. یکی از عوامل خطر بالقوه در NIHHL، حتی در محیط با سطح شدت صدای نسبتاً پایین، تأثیر عوامل محیطی است.

مونوکسید کربن یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا، هم در محیط زیست و هم در محیط‌های صنعتی، محسوب می‌شود و مواجهه با آن در بسیاری از صنایع نظیر صنایع ریخته‌گری، ذوب آهن، ذوب مس، صنایع فولاد و تولید سیمان و نیز در برخی

آسیب شنوایی ناشی از صدا (Noise-Induced Hearing Loss: NIHL) از علل اصلی افت شنوایی در جوامع صنعتی است و شایع‌ترین بیماری شغلی محسوب می‌شود. حدود سی میلیون کارگر در محل کار خود در معرض سطح شدت خطرناک صدا و در نتیجه NIHL قرار دارند. تخمین زده شده است که ۱۶ درصد موارد کاهش شنوایی ناتوان‌کننده (disabling hearing loss) در بزرگسالان در تمام دنیا ناشی از سر و صدای محل کار است (۱).

اگرچه آسیب ناشی از صدا به‌طور وسیع در طی چند دهه اخیر مطالعه شده است، اما آنچه تاکنون از نظر بالینی در پیشگیری

از آنجا که در مطالعات گذشته نقش اکسیدان‌ها در آسیب شنوایی ناشی از مواجهه هم‌زمان صدا و مونوکسیدکربن به اثبات رسیده است، و با توجه به این فرضیه که داروی آنتی‌اکسیدان ان استیل سیستین می‌تواند از این آسیب جلوگیری کند، ما در این مطالعه بر آن بودیم تا به بررسی بافت‌شناسی حلزون گوش خرگوش‌هایی که به طور هم‌زمان در معرض صدا و مونوکسیدکربن قرار گرفته و پیش از مواجهه داروی ان استیل سیستین دریافت کرده اند پرداخته و از طریق بررسی سلول‌های مویی آسیب دیده و هنجار، اثر حفاظتی دارو را بررسی کنیم. نتایج به‌دست آمده در این مطالعه می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب در جمعیت‌های انسانی برای تخفیف عوارض ناشی از صدا و تقویت آن با مونوکسیدکربن پیشنهاد گردد. قابل ذکر است که در این بررسی، برای اولین بار در ایران مشاهده مستقیم سلول‌های مویی با روش بافت‌شناسی بر روی خرگوش انجام گرفت.

روش بررسی

این پژوهش به روش تجربی روی ۱۲ خرگوش نر سفید (انستیتو پاستور، ایران)، که از نظر معاینه اتوسکپی و رفلکس Preyer طبیعی بودند، انجام گرفت. حیوانات به دو گروه اصلی شاهد و آزمون تقسیم شدند. گروه شاهد پیش از مواجهه سرم نمکی و گروه آزمون دارو دریافت کرده و هر دو گروه به‌طور هم‌زمان در معرض صدا و مونوکسیدکربن قرار گرفتند:

گروه شاهد: حیواناتی که سرم نمکی دریافت کرده و در معرض هم‌زمان صدا و مونوکسیدکربن قرار گرفتند (n=۶)

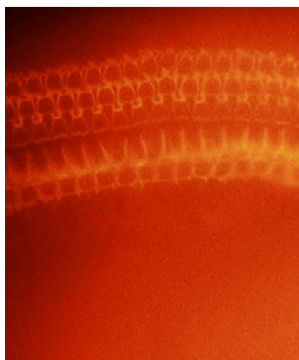
گروه آزمون: حیواناتی که ان استیل سیستین دریافت کرده و در معرض هم‌زمان صدا و مونوکسیدکربن قرار گرفتند (n=۶)

حیوانات گروه آزمون، ان استیل سیستین را به میزان ۳۲۵ میلی‌گرم برای هر کیلوگرم وزن در روز از طریق تزریق درون‌صفاقی (Intrapretoneal: IP) دریافت کردند. تزریق یک بار در روز و به‌مدت ۸ روز (۳ روز قبل و ۵ روز هنگام مواجهه با صدا و مونوکسیدکربن) انجام شد. لازم به ذکر است که در روزهای

فعالیت‌های شغلی نظیر جوش‌کاری و آهنگری وجود دارد (۲). تماس هم‌زمان با صدا و مونوکسیدکربن در مقادیری بیش از حد مجاز در بسیاری از مشاغل مانند مأموران آتش‌نشانی، تعمیرکاران اتومبیل، مأموران ترافیک، کارگران معدن، کارگران صنایع فولاد، جوش‌کاران اکسی اتیلن و آهنگران گزارش شده است (۳). مطالعات قبلی نشان داده است که مونوکسیدکربن به تنهایی هیچ اثر دائمی بر حساسیت شنوایی به جا نمی‌گذارد، اما مواجهه هم‌زمان صدا و گاز مونوکسیدکربن باعث تقویت NIHL می‌شود (۴).

طی دو دهه گذشته، پیشرفت زیادی در شناخت پدیده‌های بیوشیمیایی، که باعث مرگ سلول‌های مویی و نوروپاتی‌های عقده مارپیچی می‌شود، حاصل شده است. در واقع NIHL فقط یک آسیب فیزیکی نیست، بلکه آسیب حلزونی ناشی از تغییرات متابولیک نیز هست (۵). مطالعات کم‌شنوایی ناشی از صدا نشان داده است که کم‌شنوایی در نتیجه استرس اکسیداتیو که باعث تولید بیش از حد رادیکال‌های آزاد (Reactive Oxygen Species: ROS) که بر سیستم آنتی‌اکسیدان سلولی پیشی گرفته‌اند، ایجاد می‌شود (۷و۶). لازم به ذکر است که تقویت افت شنوایی ناشی از صدا در اثر مواجهه با مونوکسیدکربن نیز به افزایش استرس اکسیداتیو نسبت داده شده است (۸).

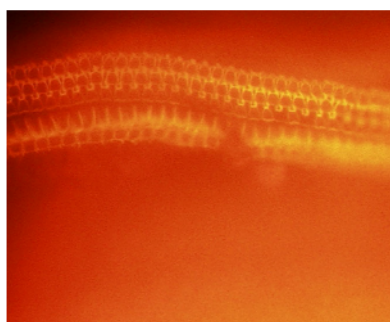
از زمانی که Yamane و همکاران (۱۹۹۵) نقش استرس اکسیداتیو متابولیک ناشی از صدا را در آسیب حلزون گوش مطرح کردند، تحقیقات تجربی برای پیشگیری و درمان NIHL، به‌سوی یافتن راهکارهای درمانی مؤثری از طریق مهار این مکانیسم آسیب متوجه شده است. یکی از این داروها، ان استیل سیستین (N-acetylcystein: NAC) است که به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان مطرح است. این دارو در درمان مسمومیت با استامینوفن مورد تأیید مؤسسه دارو و غذا (Food and Drug Association: FDA) است و در واقع پیش‌ماده‌ای برای سنتز گلوتاتیون که آنتی‌اکسیدان طبیعی است فراهم می‌کند (۹). نقش آن دارو در پیشگیری از NIHL در حیوانات به اثبات رسیده است و اخیراً در کارآزمایی بالینی برای پیشگیری از NIHL به‌کار برده شده است (۱۰و۱۱).



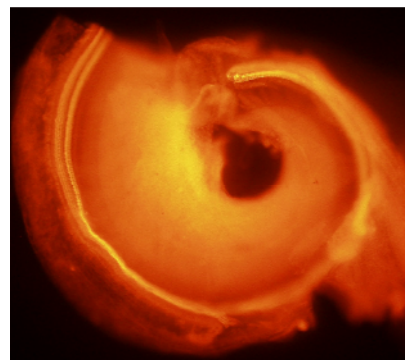
شکل ۲- نمای طبیعی ارگان کورتی که در آن به ترتیب از پایین به بالا سلول‌های مویی داخلی، ستونی خارجی، سلول‌های مویی خارجی ردیف اول، دوم و سوم نمایش داده شده‌اند

یافته‌ها

در این مطالعه از روش بافت‌شناسی و مشاهده مستقیم سلول‌های مویی حلزون خرگوش استفاده شد. همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده حلزون گوش زیر میکروسکوپ فلوروسنت قابل مشاهده است. آنچه در این شکل قابل ارزیابی است به ترتیب از پایین به بالا عبارتند از: سلول‌های مویی داخلی، سلول‌های ستونی، سلول‌های مویی خارجی ردیف ۱، سلول‌های دایترز ردیف ۱، سلول‌های مویی خارجی ردیف ۲، سلول‌های دایترز ردیف ۲، سلول‌های مویی خارجی ردیف ۳ و سلول‌های دایترز ردیف ۳. در نگاه دقیق‌تر علاوه بر سلول‌های مویی و نگهدارنده



شکل ۳- تشکیل اسکار مشخص در دو سلول مویی خارجی ردیف اول

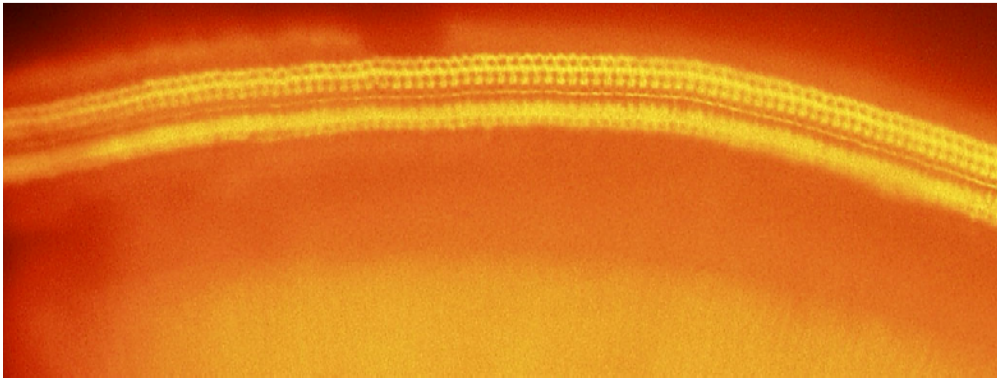


شکل ۱- نمای بافت‌شناسی یکی از دورهای حلزون در گروه شاهد پس از برداشتن غشاء رایسنر و غشاء سقفی

مواجهه تزریق دارو ۱ ساعت قبل از مواجهه انجام می‌شد.

حیوانات در گروه‌های مورد نظر در معرض صدای با پهنای باند ۵۷۰۰-۷۰۰ هرتز و با تراز شدت کلی ۱۰۰ دسی بل به مدت ۵ روز پیاپی و ۸ ساعت در روز قرار گرفتند. حیوانات هم‌زمان در معرض گاز مونوکسیدکربن ۵۰۰ ppm به مدت ۸ ساعت در روز و ۵ روز پیاپی قرار گرفتند.

خرگوش‌ها ۳ هفته بعد از مواجهه با صدا و مونوکسیدکربن بی‌حسی عمیق با مخلوطی از کتامین و گزیلوکائین کشته شدند. بلافاصله استخوان تمپورال آنها خارج شد؛ پنجره‌های بیضی و گرد باز شد؛ و فضای پری لنفاتیک با بافر پارافرمالدئید ۲ درصد در فسفات 0.1M در pH ۷/۴ برای یک ساعت تزریق شد؛ و سپس با بافر فسفات 0.1M شست‌وشو انجام شد. پوسته استخوانی حلزون برداشته شد و نمونه به مدت ۵ دقیقه در محلول Triton X-100 غوطه‌ور شد تا غشاء سلول مویی نفوذپذیر شود بعد از آن کل ارگان کورتی به مدت ۶۰ دقیقه با Rhodamine phalloidin رنگ‌آمیزی برای اکتین شد تا محدوده سلول مویی و مژک‌های آنان مشخص شود (۱۲). بعد از رنگ‌آمیزی، غشاء سقفی (tectorial membrane) برداشته شد. تیغه ماریپچی استخوانی هم به‌طور نسبی برداشته شد، و دورهای حلزون بعد از جداسازی روی لام قرار داده شد. سپس لام‌ها زیر میکروسکوپ فلوروسنت با بزرگ‌نمایی ۴۰ برابر مشاهده شدند.



شکل ۴- ارگان کورتی در گروه آزمون. همان طور که مشاهده می شود سلول ها به خوبی در این گروه حفاظت شده اند

شوند (شکل ۴). سلول ها در گروه آزمون بدین شرح مشاهده شدند: در ردیف سلول های مویی داخلی آسیبی مشاهده نمی شود. در سلول های پشتیبان، به ویژه سلول های ستونی، نیز تغییر شکلی به چشم نمی خورد. در مژک ها سستی، بی نظمی، کج شدگی، بدشکلی، چسبیدگی و شکستگی دیده نمی شود. در این گروه استفاده از دارو قبل از مواجهه، از آسیب سلول های مویی خارجی جلوگیری به عمل آورد.

بحث

در مطالعه حاضر سلول های مویی شنوایی حلزون خرگوش بعد از مواجهه همزمان با صدا و مونوکسیدکربن آسیب قابل توجهی نشان دادند. در حالی که مصرف داروی ان استیل سیستین پیش از مواجهه، تا حد قابل توجهی از این آسیب جلوگیری کرد. این حفاظت در نتیجه عملکرد مستقیم آنتی اکسیدانی این دارو انجام می شود. این دارو به عنوان پیش ماده سیستین آزاد داخل سلولی عمل می کند و به طور غیرمستقیم با افزایش سطح داخل سلولی گلوتاتیون اثر حفاظتی ایجاد می کند. اثر حفاظتی داروی ان استیل سیستین بر ضد مواجهه همزمان با صدا و مونوکسیدکربن ناشی از اثر آنتی اکسیدانی این دارو می تواند باشد. حداقل دو مکانیسم در آسیب NIHL به بافت حسی عصبی گوش داخلی مطرح است. ضربه مکانیکی مستقیم

نام برده شده، می توان مژک ها را نیز مشاهده نمود (شکل ۲). در گروه شاهد، مواجهه حلزون گوش خرگوش با سطح شدت بالای صدا و همزمان با آن قرار گرفتن در معرض مونوکسیدکربن باعث آسیب قابل توجهی به ارگان کورتی به شرح زیر گردید:

در ردیف سلول های مویی خارجی آسیب قابل توجهی مشاهده می شود. سلول های مویی خارجی ردیف ۱ بیشترین آسیب را نشان می دهند و آسیب کمتری به ردیف های ۲ و ۳ سلول های مویی خارجی وارد شده است.

اما در ردیف سلول های مویی داخلی آسیبی مشاهده نمی شود. در سلول های پشتیبان، به ویژه سلول های ستونی، نیز تغییر شکلی به چشم نمی خورد. در مژک ها سستی، بی نظمی، کج شدگی، بدشکلی، چسبیدگی، شکستگی دیده نمی شود.

لازم به ذکر است که در این مطالعه، سلول هایی که جسم سلولی و صفحه کوتیکولی قابل شناسایی داشته باشند به عنوان سلول های سالم در نظر گرفته شد. تشکیل اسکار (scar formation) مشخص، که از به هم رسیدن زوائد سلول های انگشتی مجاور (شکل ۳) به وجود می آید، نشانه ای از سلول از بین رفته در نظر گرفته شد (۱۳ و ۱۴).

در گروه آزمون، درمان با ان استیل سیستین باعث شد که سلول های مویی خارجی که بیشترین آسیب را در نتیجه مواجهه همزمان با صدا و مونوکسیدکربن نشان داده بودند به خوبی حفظ

پیشگیری از NIHL (۲۴)، و اخیراً اثر آن در پیشگیری از آسیب ناشی از مواجهه هم‌زمان با صدا و مونوکسیدکربن توسط DPOAE گزارش شده است (۲۵). نتایج مطالعه حاضر نقش این دارو در پیشگیری از اثر هم‌زمان صدا و مونوکسیدکربن را با روش بافت‌شناسی و مشاهده مستقیم سلول‌های مویی اثبات نمود.

در مورد مواجهه هم‌زمان با صدا و مونوکسیدکربن، مطالعات انجام شده روی حیوانات نشان داده است که مونوکسیدکربن به تنهایی باعث کم‌شنوایی نمی‌شود، اما می‌تواند موجب تقویت کم‌شنوایی ناشی از صدا گردد (۲۶، ۲۷). افت شنوایی ناشی از اثر هم‌زمان صدا و مونوکسیدکربن (به ترتیب ۱۰۰ دسی بل و ۱۵۰۰ ppm برای ۸ ساعت) به‌طور متوسط ۳۰ دسی بل بیشتر از افت شنوایی ناشی از اثر صدا به تنهایی گزارش شده است (۲۸). در مطالعات بالینی نیز گزارشی از بررسی روی ۸۶۴۷ کارگر طی ۱۳ سال در کانادا منتشر شده است. نتایج نشان داده است افت شنوایی در کارگرانی که در مواجهه هم‌زمان با مونوکسیدکربن و صدای بیش از ۹۰ دسی بل بوده‌اند، به‌طور معنی داری بیشتر از سایر کارگرانی است که فقط در معرض صدا بوده‌اند (۴). بنابراین با توجه به نتایج حفاظتی این مطالعه می‌توان این دارو را در کارآزمایی بالینی و برای حفاظت کارگران در محیط‌های پر سروصدا و همراه با آلودگی‌های شیمیایی پیشنهاد داد.

مطالعه حاضر به‌صورت تجربی روی خرگوش انجام گرفته است. لازم به ذکر است که اکثر حیوانات می‌توانند در باند فرکانسی وسیعی شنوایی داشته باشند. در این میان اکثر پستانداران بسیار به محدوده شنوایی انسان شبیه هستند و خیلی از حیوانات از جمله پستانداران دریایی می‌توانند حتی صداهای فرکانس بالاتری را نیز بشنوند. محدوده فرکانسی حیوانات مختلف توسط Fay (۱۹۸۸) جمع‌آوری شده است (۲۹). در مورد خرگوش این محدوده ۳۶۰۰-۴۲۰۰ هرتز گزارش شده است (۳۰). ما در این مطالعه از خرگوش استفاده کرده‌ایم زیرا این حیوان قبلاً در مطالعات الکتروفیزیولوژی استفاده شده است و از این جهت که محدوده فرکانسی شنوایی خرگوش به‌طور وسیعی با محدوده فرکانسی

که در شدت‌های بالاتر به مژک‌ها و یا ساختار ارگان کورتی و غشاء پایه آسیب می‌زند و مکانیسم متابولیک که مسیرهای مسئول نگهداری هومیوستاز ارگان کورتی را بیش از حد فعال کرده و منجر به تغییرات متابولیک می‌شود و می‌تواند سیستم را به‌طور موقت یا دائم مختل کند. تحریک متابولیک بیش از حد هر سلولی ممکن است همراه با آسیب بیوشیمیایی باشد که در بین آنان تولید رادیکال‌های آزاد قابل توجه بوده و می‌تواند موجب مرگ سلولی شود.

اهمیت رادیکال‌های آزاد در NIHL در مطالعات زیر تأیید می‌شود:

رادیکال‌های آزاد بعد از مواجهه با صدا به‌طور قابل توجهی بالا می‌روند. مشاهده شده است که سطح اکسیژن منفرد در نوار عروقی بعد از تماس با صدا افزایش پیدا کرده است (۷). سطح رادیکال‌های هیدروکسیل در حلزون گوش بعد از تماس با صدا افزایش نشان داده است (۶). کاهش سطح آنتی‌اکسیدان داخلی به نام گلوتاتیون باعث ایجاد NIHL شده است (۱۵ و ۱۶). بعد از تماس با صدا، سطح گلوتاتیون در دیواره خارجی حلزون افزایش نشان داده است (۱۷). بعد از دخالت با آنتی‌اکسیدان‌های مختلف میزان NIHL کاهش نشان داده است (۲۲-۱۸). دفاع داخلی سلول بر ضد رادیکال‌های آزاد توسط گلوتاتیون انجام می‌شود و از آن به‌عنوان سیستم آنتی‌اکسیدان اولیه سلولی بدن نام می‌برند. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی برای پیشگیری از NIHL انجام گرفته است و گروهی از محققان استراتژی درمانی خود را براساس افزایش سطح آنتی‌اکسیدان داخلی (گلوتاتیون) طراحی کرده‌اند. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه گذشته در استفاده از داروی Ebselen (مشابه گلوتاتیون پراکسیداز) در جلوگیری از آسیب سلول‌های مویی اشاره کرد (۲۲). در این مطالعه نیز داروی ان استیل سیتین مورد بررسی قرار گرفت که پیش‌ماده گلوتاتیون است و در بسیاری از مطالعات نقش آن به‌عنوان خنثی‌کننده رادیکال‌های آزاد، جایگزین نمودن گلوتاتیون، حفاظت از میتوکندری و پیشگیری از نکروزیس و تورم سلول‌ها روشن شده است (۲۳). در مطالعات متعدد روی حیوانات اثر این دارو در

بسیار به تماس با سطح شدت بالای صدا مقاوم هستند. وقتی در منطقه‌ای از غشاء پایه، کل سلول‌های مویی خارجی از بین رفته باشد ممکن است سلول‌های مویی داخلی و فیبرهای عصب ۸ نیز از بین بروند. در مواجهه با نویز و مونوکسیدکربن در سطح مواجهه این مطالعه نیز سلول‌های مویی داخلی آسیبی نشان ندادند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، برای اولین بار در ایران، حلزون گوش حیوان مورد بررسی بافت‌شناسی قرار گرفت که می‌تواند به‌عنوان سرآغازی بر مطالعات عمیق‌تر در حوزه‌ی آناتومی و فیزیولوژی شنوایی مطرح باشد. در مطالعه‌ی حاضر سلول‌های مویی خارجی حلزون خرگوش بعد از مواجهه‌ی هم‌زمان با صدا و مونوکسیدکربن آسیب قابل توجهی نشان دادند. در حالی که مصرف داروی ان استیل سیستین پیش از مواجهه، تا حد قابل توجهی از این آسیب جلوگیری به‌عمل آورد.

این دارو در کارآزمایی بالینی در درمان NIHL به‌کار گرفته شده است. با این مطالعه کاربرد بالینی درمان آنتی‌اکسیدانی داروی ان استیل سیستین در پیشگیری از کم‌شنوایی‌های ناشی از استرس‌های متعدد محیطی نمایش داده شد. این دارو می‌تواند در مورد انسان به‌صورت کارآزمایی بالینی در پیشگیری از آسیب ناشی از نویز و مونوکسیدکربن پیشنهاد گردد.

سپاسگزاری

در پایان از همکاری صمیمانه‌ی جناب آقای مهدی اکبری، عضو محترم هیأت علمی دانشکده توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی تهران، به‌خاطر در اختیار قرار دادن نمونه‌ها و کمک‌های بی‌دریغ ایشان در آغاز پروژه کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

REFERENCES

1. Nelson DI, Nelson RY, Concha-Barrientos M, Fingerhut M. The global burden of occupational noise-induced hearing loss.

شنوایی انسان هم‌سان است مدل مناسبی به‌نظر می‌رسد. حلزون یک سیستم زیستی پیچیده است و در هر یک از سلول‌های نگهدارنده، سلول‌های حسی و سلول‌های عصبی به صدا حساس است. خصوصیت مکانیکی حلزون برای پردازش محرک آکوستیک ضروری است. سلول‌های ستونی جزء نگهدارنده‌ی اصلی ارگان کورتی بوده و آسیب دیدن آنها باعث تغییر سریع در شیب امپدانس غشاء پایه خواهد بود که هم بر حساسیت و هم بر کوک مکانیکی در منطقه‌ی آسیب تأثیر می‌گذارد. پس از مواجهه با نویز ۱۵۰ دسی بل برای ۳۰ دقیقه آسیب سلول‌های ستونی مشاهده شده است. در مطالعه‌ی حاضر سطح شدت صدا پایین‌تر از حد آسیب سلول‌های ستونی بوده است و طبیعی بودن شکل این سلول‌ها را توجیه می‌کند.

صدا می‌تواند باعث اعوجاج و یا شکستگی مژک‌ها شود. اتصال مژک‌ها با غشاء سقفی در فرایند تبدیل انرژی حیاتی است، چون حرکت مژک‌ها کانال‌های یونی را باز می‌کند و با ورود پتاسیم سلول دپلاریزه شده و سیگنال را به سلول عصبی می‌فرستد. در مشاهدات ما آسیب خاصی به مژک‌ها شناسایی نشده است که می‌تواند به‌عنوان عدم آسیب تلقی گردد. البته لازم به ذکر است که روش بررسی با میکروسکوپ الکترونی برای مشاهده‌ی مژک‌ها مناسب‌تر است که مورد نظر این مطالعه نبوده است. ضمن این که احتمال این نیز وجود دارد که در فاصله‌ی زمانی بین مواجهه و بررسی بافت‌شناسی تغییر شکل مختصر مژک‌ها بهبود یافته باشد.

در مطالعه‌ی حاضر بیشترین آسیب به سلول‌های مویی خارجی وارد شده بود. همان‌طور که می‌دانیم سلول‌های مویی خارجی حساس‌ترین سلول در حلزون هستند. از آنجا که سلول‌های مویی خارجی به غشاء پایه متصل است، تحرک آنها هم حساسیت و هم کوک ارگان کورتی را بالا می‌برد. سلول‌های مویی داخلی

Am J Ind Med. 2005;48(6):446-58.

2. Cullis CF, Hirschler MM. Man's emission of carbon monoxide and hydrocarbons into the

- atmosphere. *Atmos Environ*. 1989;23(6):1195-203.
3. Fechter LD, Chen GD, Rao D. Chemical asphyxiants and noise. *Noise Health*. 2002;4(14):49-61.
 4. Fechter LD, Young JS, Carlisle L. Potentiation of noise induced threshold shifts and hair cell loss by carbon monoxide. *Hear Res*. 1988;34(1):39-47.
 5. Slepecky N, Chamberlain SC. Distribution and polarity of actin in sensory hair cells of the chinchilla cochlea. *Cell Tissue Res*. 1982;224(1):15-24.
 6. Yamane H, Nakai Y, Takayama M, Konishi K, Iguchi H, Nakagawa T, et al. The emergence of free radicals after acoustic trauma and strial blood flow. *Acta Otolaryngol Suppl*. 1995;519:87-92.
 7. Ohlemiller KK, Wright JS, Dugan LL. Early elevation of cochlear reactive oxygen species following noise exposure. *Audiol Neurootol*. 1999;4(5):229-36.
 8. Rao D, Fechter LD. Protective effects of phenyl-N-tert butylnitron on the potentiation of noise-induced hearing loss by carbon monoxide. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2000;167(2):125-31.
 9. Zafarullah M, Li WQ, Sylvester J, Ahmad M. Molecular mechanisms of N-acetylcysteine actions. *Cell Mol Life Sci*. 2003;60(1):6-20.
 10. Kopke R, Bielefeld E, Liu J, Zheng J, Jackson R, Henderson D. N-acetylcysteine (NAC) and acetyl-L-Carnitine (ALCAR) show different effects in protecting the cochlea from noise in chinchilla. *Assoc Res Otolaryngol Abs*. 2004;27(686):231.
 11. Lynch ED, Kil J. Compounds for the prevention and treatment of noise-induced hearing loss. *Drug Discov Today*. 2005;10(19):1291-8.
 12. Raphael Y, Altschuler RA. Scar formation after drug-induced cochlear insult. *Hear Res*. 1991;51(2):173-83.
 13. Engström H, Ades HW, Andersson A. Structural pattern of the organ of Corti: a systematic mapping of sensory cells and neural elements. Stockholm: Almqvist and Wiksell; 1966.
 14. Bohne BA. Healing of the noise damaged inner ear. In: Hirsh SK, Eldredge DH, Hirsh IJ, Silverman SR, editors. *Hearing and Davis. Essays honoring hallowell davis*. St Louis: Washington University press; 1976. p. 85-96.
 15. Ohinata Y, Yamasoba T, Schacht J, Miller JM. Glutathione limits noise-induced hearing loss. *Hear Res*. 2000;146(1-2):28-34.
 16. Yamasoba T, Harris C, Shoji F, Lee RJ, Nuttall AL, Miller JM. Influence of intense sound exposure on glutathione synthesis in the cochlea. *Brain Res*. 1998;804(1):72-8.
 17. Yamasoba T, Nuttall AL, Harris C, Raphael Y, Miller JM. Role of glutathione in protection against noise-induced hearing loss. *Brain Res*. 1998;784(1-2):82-90.
 18. Seidman MD, Shivapuja BG, Quirk WS. The protective effects of allopurinol and superoxide dismutase on noise-induced cochlear damage. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1993;109(6):1052-6.
 19. Quirk WS, Shivapuja BG, Schwimmer CL, Seidman MD. Lipid peroxidation inhibitor attenuates noise-induced temporary threshold shifts. *Hear Res*. 1994;74(1-2):217-20.
 20. Hu BH, Zheng XY, McFadden SL, Kopke RD, Henderson D. R-phenylisopropyladenosine attenuates noise-induced hearing loss in the chinchilla. *Hear Res*. 1997;113(1-2):198-206.
 21. Yamasoba T, Schacht J, Shoji F, Miller JM. Attenuation of cochlear damage from noise trauma by an iron chelator, a free radical scavenger and glial cell line-derived

- neurotrophic factor in vivo. *Brain Res.* 1999;815(2):317-25.
22. Pourbakht A, Yamasoba T. Ebselen attenuates cochlear damage caused by acoustic trauma. *Hear Res.* 2003;181(1-2):100-8.
 23. Aruoma OI, Halliwell B, Hoey BM, Butler J. The antioxidant action of N-acetylcysteine: its reaction with hydrogen peroxide, hydroxyl radical, superoxide, and hypochlorous acid. *Free Radic Biol Med.* 1989;6(6):593-7.
 24. Salehi N, Akbari M, Motallebi Kashani M, Haghani H. A survey on the protective effect of N-acetylcystein on the hearing of rabbits exposed to noise and carbon monoxide. *Audiol.* 2011;20(1):36-46. Persian.
 25. Kopke R, Bielefeld E, Liu J, Zheng J, Jackson R, Henderson D, et al. Prevention of impulse noise-induced hearing loss with antioxidants. *Acta Otolaryngol.* 2005;125(3):235-43.
 26. Young JS, Upchurch MB, Kaufman MJ, Fechter LD. Carbon monoxide exposure potentiates high-frequency auditory threshold shifts induced by noise. *Hear Res.* 1987;26(1):37-43.
 27. Chen GD, McWilliams ML, Fechter LD. Intermittent noise-induced hearing loss and the influence of carbon monoxide. *Hear Res.* 1999;138(1-2):181-91.
 28. Fechter LD, Chen GD, Rao D, Larabee J. Predicting exposure conditions that facilitate the potentiation of noise-induced hearing loss by carbon monoxide. *Toxicol Sci.* 2000;58(2):315-23.
 29. Fay RR. Hearing in vertebrates: a psychophysics databook. Winnetka, IL: Hill-Fay Associates; 1988.
 30. Heffner H, Masterton B. Hearing in glires: domestic rabbit, cotton rat, feral house mouse, and kangaroo rat. *J Acoust Soc Am.* 1980;68(6):1584-99.