

گزارش مقدماتی: بهبود حافظه فضایی دیداری با تحریک دهلیزی گالوانیک

فاطمه السادات قاهری^۱، منصوره عادل قهرمان^۱، فرنوش جاراللهی^۲، شهره جلالی^۳

^۱ - گروه شنوایی‌شناسی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران

^۲ - گروه شنوایی‌شناسی، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

^۳ - گروه آمار زیستی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران

چکیده

زمینه و هدف: اطلاعات جهت‌یابی در مناطق مختلف مغز از جمله هیپوکامپ ذخیره و پردازش می‌شود. به دلیل ارتباطات آناتومیک متعدد بین هسته‌های دهلیزی و هیپوکامپ و نقایص شناختی به‌ویژه در حافظه فضایی متعاقب اختلالات دهلیزی، می‌توان فرض کرد تحریک سیستم دهلیزی منجر به بهتر شدن حافظه فضایی خواهد شد. هدف این مطالعه، بررسی تأثیر تحریک گالوانیک دهلیزی بر حافظه فضایی افراد هنجار بود.

روش بررسی: در این مطالعه مداخله‌ای-تجربی، ۶۰ زن ۱۸-۳۰ ساله به‌طور تصادفی در دو گروه مداخله و شاهد قرار گرفتند. به گروه مداخله تحریک دهلیزی گالوانیک دوقطبی، دوطرفه و زیر سطح آستانه الکتریکی و به گروه شاهد، تحریک کاذب ارائه شد. مدت تحریک ۱۵ دقیقه بود. تغییرات امتیازهای آزمون حافظه Corsi Block آنها قبل و بعد از تحریک در هر گروه و بین دو گروه مقایسه شد.

یافته‌ها: میانگین امتیاز تمام پارامترهای آزمون قبل از تحریک بین دو گروه برابر بود ($p > 0.05$). در گروه مداخله، امتیاز ظرفیت یادآوری توالی، امتیاز کل و امتیاز یادگیری افزایش معنی‌داری داشتند ($p < 0.05$) و امتیاز یادآوری تأخیری تغییر نداشت ($p = 0.06$). در گروه شاهد، امتیاز یادگیری بهتر ($p = 0.003$) و امتیاز یادآوری تأخیری بعد از تحریک کاذب بدتر شد ($p = 0.01$). درصد اختلاف امتیازهای ظرفیت یادآوری توالی و کل بین دو گروه اختلاف معنی‌داری داشتند ($p < 0.05$).

نتیجه‌گیری: تحریک دهلیزی گالوانیک بر حافظه‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت فضایی اثر تقویت‌کنندگی دارد. به نظر می‌رسد اثر یادگیری به‌طور ذاتی در این آزمون وجود دارد و از تحریک تأثیر نمی‌پذیرد.

واژگان کلیدی: تحریک دهلیزی گالوانیک، سیستم دهلیزی، هیپوکامپ، حافظه فضایی دیداری

(دریافت مقاله: ۹۱/۱۰/۲۰، پذیرش: ۹۱/۱۱/۱۸)

مقدمه

این سیستم در حفظ وضعیت بدن، راهبری (navigation) و حافظه فضایی نقش دارد (۲). در نتیجه، انتقال اطلاعات حرکتی فرد توسط سیستم دهلیزی برای رشد حافظه فضایی در نواحی مختلف مغز، از جمله هیپوکامپ، ضروری خواهد بود؛ به‌طوری که سیگنال‌های دهلیزی برای فعالیت سلول‌های اختصاصی مکانی در هیپوکامپ به‌منظور ایجاد یک لایه عصبی برای نمود فضایی از راهبری به‌کار می‌روند (۳).

اولین شواهد بالینی مبنی بر تأثیر ضعف دهلیزی بر

در پردازش اطلاعات و شکل‌گیری حافظه، نواحی مختلف مغز سهیم هستند که به‌عنوان یک سیستم اجرایی واحد عمل می‌کنند. در این راستا، هیپوکامپ در مرتبط ساختن اطلاعات پیچیده چندجنبه‌ای و ایجاد مسیرهای جدید حافظه‌ای، از نقش مهمی برخوردار است. به‌علاوه، ارتباط حافظه فضایی در هیپوکامپ با سیستم دهلیزی اثبات شده (۱) و ارتباطات آناتومیک متعددی بین هسته‌های دهلیزی و هیپوکامپ گزارش شده است. سیستم دهلیزی براساس یکپارچگی حسگرهای دوطرف عمل می‌کند و

عملکرد شناختی انسان‌ها در مطالعات Grimm و همکاران (۱۹۸۹) گزارش شد. به دنبال وی، تحقیقات مختلفی در دهه ۱۹۹۰ برای بررسی تأثیرات آسیب دهلیزی بر راهبری فضایی انسان‌ها انجام شد (۴۱). این اطلاعات نشان می‌دهد که راهبری فضایی، اساساً وابسته به عملکرد سالم دهلیز است و نقایص عملکردی هیپوکامپ حتی در صورت ثبات بیمار، بدون هیچ تحریک واقعی دهلیزی یا حس‌پیکری، به علت کمبود طولانی مدت ورودی دهلیزی بیشتر می‌شود (۵). مطالعات حیوانی با ضایعات دوطرفه دهلیزی، نشان از قطع شدید ریتم تتا (نوسانی قوی در ثبت سیگنال الکتروانسفالوگرافی از هیپوکامپ)، تغییرات بیوشیمیایی و تغییر فعالیت سلول‌های مکانی هیپوکامپ دارند و در مطالعات انسانی اخیر، با ضایعات دوطرفه دهلیزی، حتی آتروفی هیپوکامپ هم گزارش شده است (۳۱). با وجودی که اثر ضایعات دهلیزی روی هیپوکامپ، به علت استرس مزمن و افزایش سطح گلوکوکورتیکوئید، منطقی به نظر می‌رسد، امروزه شواهد کمی برای آن وجود دارد؛ چرا که تغییرات هیپوکامپ ممکن است به علت کاهش رفتارهای فعال و اکتشافی نیز اتفاق بیفتد (۱). تأثیر ضعف دهلیزی بر حافظه فضایی منجر به این فرضیه شد که در حین حرکت، هیپوکامپ از اطلاعات دهلیزی برای تشکیل حافظه‌های مرتبط با محیط فضایی استفاده می‌کند (۶). به نظر می‌رسد فعالیت سیستم دهلیزی در نبود حرکت فرد باعث فعال شدن مغز در رابطه با حافظه فضایی می‌شود. شواهدی از این دست، این پرسش را برانگیخت که آیا فعال کردن سیستم دهلیزی می‌تواند باعث بهبود حافظه شود؟

هیپوکامپی انسان اثر می‌گذارد (۷) و با تحریک یک طرفه، ساختارهای مغزی سمت مقابل فعال می‌شود. در تنها مطالعه‌ای که از کالریک استفاده شد با تحریک گوش چپ حافظه کلامی، و با تحریک گوش راست حافظه فضایی بهتر شد (۸). اما به دلیل مشکل در افتراق تأثیرات شناختی از رفکلس‌های دهلیزی حاصل، به علاوه اثرات ناخوشایند تحریک از جمله سرگیجه و تهوع و نیز کنترل کمتر این نوع محرک، استفاده از تحریک گالوانیک ترجیح داده می‌شود. تحریک دهلیزی گالوانیک (Galvanic Vestibular Stimulation: GVS) دوقطبی غالباً به صورت ورای پوستی بر زائده ماستوئید اعمال می‌شود و مستقیماً بر تخلیه نورون‌های گانگلیون اسکارپا اثر می‌گذارد و تخلیه ناگهانی آوران‌های دهلیزی را افزایش (با تحریک کاتدی) یا کاهش (با تحریک آندی) می‌دهد. با تصویربرداری تشدید مغناطیسی عملکردی در انسان‌ها، GVS مناطق مغزی شامل اینسولای خلفی، مناطق پشت اینسولار، شکنج گیجگاهی فوقانی، بخشی از قشر پس‌سری تحتانی، شیار بین پس‌سری، شیار پس‌مرکزی و پیش‌مرکزی، اینسولار قدامی، شیار پیشانی تحتانی، شیار کمر بندی قدامی و هیپوکامپ را فعال می‌کند. این فعالیت‌ها نامتقارن بوده و در نیمکره غیر غالب به سمت گوش تحریکی و به سمت فاز تند نیستاگموس دهلیزی، قوی‌تر است (۶).

در مطالعات قبلی اثر بهبوددهنده GVS نویزی بر حافظه بینایی دیده شده بود (۹). اخیراً و تقریباً موازی با پژوهش حاضر، در مطالعه دیگری تأثیر GVS نویزی بر حافظه فضایی شامل چرخش ذهنی (mental rotation)، درک بعد (perspective-taking) و تطبیق با الگو بررسی شد که در آن از تحریک زیرآستانه و فوق‌آستانه استفاده شد. براساس این مطالعه تحریک فوق‌آستانه اثر معکوس بر حافظه فضایی دارد و چرخش ذهنی تحت تأثیر GVS قرار نمی‌گیرد (۱۰). با توجه به نتایج حاصله و نیز هم‌سان نبودن گروه‌های مورد مطالعه پیش از ارائه تحریک در پژوهش‌های گذشته، این مطالعه با هدف تعیین اندازه تأثیر تحریک دهلیزی گالوانیک دوقطبی ثابت بر حافظه (کوتاه مدت، یادگیری و بلندمدت) فضایی افراد هنجار انجام شد.

با وجودی که حرکت دادن سر روشی طبیعی در تحریک گیرنده‌های دهلیزی محسوب می‌شود، اما در ارزیابی بالینی عملکرد دهلیز اغلب از تحریکات غیرفیزیولوژیک استفاده می‌شود؛ به طوری که بر خلاف حرکت سر، که همواره هر دو لایبرنت را به طور هم‌زمان تحریک می‌کند، تحریک کالریک و گالوانیک را می‌توان برای برانگیختن پاسخ از هر لایبرنت به طور مجزا به کار برد. در تحریک کالریک تغییر دما منجر به جریان آندولف و تحریک لایبرنت می‌شود که بر عملکرد هر دو نیمکره و تشکیلات

روش بررسی

این مطالعه به صورت مداخله‌ای-تجربی انجام گرفته است. به علت تأثیر جنس، سن، برتری دستی و سطح تحصیلات بر عملکردهای شناختی، نمونه‌های مورد مطالعه ۶۰ زن داوطلب ۱۸ تا ۳۰ ساله، راست‌دست، فارغ‌التحصیل یا دانشجوی رشته‌های مختلف تحصیلی در مقطع کارشناسی یا بالاتر با شرط سلامت سیستم شنوایی، تعادل، ماهیچه‌ای اسکلتی، ایمنولژیک، نورولوژیک، روانی، هورمونی (در دوره‌های خارج از زمان قاعدگی)، چشمی و وضعیت هنجار از نظر هیجان‌ات روحی و نیز نداشتن تاریخچه‌ای از مهارت‌های پیشرفته تعادلی و حرکتی (براساس تکمیل فرم پرسش‌نامه)، به روش نمونه‌گیری آسان انتخاب شدند و مطالعه روی ۳۰ نفر در گروه شاهد و ۳۰ نفر در گروه مداخله در تابستان و پاییز ۱۳۹۱ در کلینیک شنوایی‌شناسی دانشکده توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی تهران اجرا شد. از تمام افراد رضایت‌نامه کتبی برای شرکت در مطالعه گرفته شد.

افراد به طور تصادفی به دو گروه شاهد (عدم دریافت تحریک دهلیزی) و گروه مداخله (دریافت تحریک دهلیزی) تقسیم شدند. نحوه تخصیص افراد در این دو دسته به روش تصادفی بود. برای تحریک دهلیزی گالوانیک دوقطبی، از دستگاه Dynatone 438 (شرکت Enraf، هلند) و الکترودهایی با سطحی برابر با ۲۵ سانتی‌متر مربع (۷×۵ سانتی‌متر) (۹) روی ماستوئید دو طرف استفاده شد. جنس الکترودها از نوع کربنی (carbon rubber) بود و برای انتقال بهتر جریان از ژل مخصوص استفاده شد. برای اتصال الکترودها روی ماستوئید از نوارچسب‌های کاغذی و باند کشی استفاده شد. در این مطالعه کاتد در سمت راست و آند در سمت چپ (تحت عنوان تحریک دهلیزی گالوانیک دو قطبی چپ) با هدف تحریک گوش راست قرار گرفت. پیش از ارائه تحریک، آستانه تحریک الکتریکی در تمام افراد به دست می‌آمد؛ به این صورت که جریان الکتریکی از ۰/۱ میلی‌آمپر شروع شده و به تدریج تا جایی که فرد احساس سوزش یا خارش ملایمی در محل الکترودها احساس می‌کرد، بالا برده می‌شد و این سطح به عنوان آستانه تحریک الکتریکی آن فرد ثبت می‌شد (۹). پس از تعیین

سطح آستانه تحریک الکتریکی در هر فرد، شدت جریانی به اندازه ۰/۶ تا یک میلی‌آمپر به مدت ۱۵ دقیقه (۹) به طور ثابت ارائه می‌شد. در گروه شاهد نیز الکترودها در محل قرارگیری الکترودهای تحریک گالوانیک نصب می‌شدند و به مدت ۱۰ ثانیه محرک ارائه و سپس متوقف می‌شد (۹). به دلیل پایین بودن شدت جریان تحریک برای افراد، دریافت یا عدم دریافت تحریک قابل تمایز نبود.

برای بررسی حافظه فضایی از آزمون اشاره به مکعب Corsi (Corsi Block Tapping: CBT) به عنوان آزمون حافظه فضایی دیداری استفاده شد. آزمون شامل نه مکعب سیاه به ابعاد ۳۰×۳۰×۳۰ میلی‌متر بود که روی صفحه‌ای با ابعاد ۲۰۵×۲۲۵ میلی‌متر به رنگ سیاه چسبانده شده بودند و روی وجهی که تنها برای آزمونگر قابل رؤیت بود اعداد یک تا نه چاپ شده بود. فرد روی یک صندلی با قابلیت تنظیم ارتفاع در مقابل آزمونگر می‌نشست. آزمونگر پشت سر هم به مکعب‌ها اشاره می‌کرد که از توالی دو مکعب شروع می‌شد. دو مرحله برای هر توالی مشابه از مکعب‌ها ارائه می‌شد. اگر دست‌کم یکی از اینها به درستی تکرار می‌شد، مرحله بعدی با توالی افزایش یافته انجام می‌گرفت. به مکعب‌ها با انگشت اشاره و تقریباً با سرعت یک مکعب در هر ثانیه (بدون مکث بین هر مکعب) اشاره می‌شد. افراد می‌بایست توالی مکعب‌ها را به همان ترتیب و بلافاصله بعد از پایان اشاره آزمونگر نشان می‌دادند. آموزش برای اجرای تکلیف به این صورت بود: «من به یک سری مکعب روی صفحه اشاره خواهم کرد. وقتی تمام شد، از تو می‌خواهم تا به آن مکعب‌ها به همان ترتیب اشاره کنی. پس از آن، من توالی دیگری را نشان خواهم داد. طول این توالی‌ها به مرور افزایش می‌یابد» اگر فرد پیش از پایان اشاره آزمونگر شروع به اجرای تکلیف می‌کرد، از او درخواست می‌شد تا پایان آن صبر کند. در صورت ناموفق شدن فرد در اجرای دو توالی با طول برابر، آزمون پایان می‌یافت. تنها یک توالی کاملاً درست تکرار شده امتیاز درست را دریافت می‌کرد. اما امکان اصلاح توالی توسط خود فرد نیز وجود داشت (۱۱). سه شرایط مختلف امتیازدهی اجرا می‌شد که شامل ارزیابی حافظه کوتاه‌مدت، یادگیری و یادآوری تأخیری بود. در شرایط اول

چهار پارامتر آزمون CBT شامل ظرفیت یادآوری توالی، امتیاز کل، امتیاز یادگیری و یادآوری تأخیری قبل و بعد از تحریک دهلیزی گالوانیک در دو گروه مداخله و شاهد ارزیابی شد. از آنجاکه امتیازها به صورت متغیرهای کمی گسسته بودند، در ارائه نتایج قبل و بعد هر پارامتر، به جای میانگین از میانه استفاده شد. در آنالیز داده‌ها ابتدا نتایج هر پارامتر در هر گروه به صورت اختلاف قبل و بعد از تحریک دهلیزی گالوانیک واقعی یا کاذب، با آزمون آماری ناپارامتری ویلکاکسون بررسی شد و سپس برای مقایسه بین دو گروه به جای امتیازهای خام از درصد اختلاف آنها استفاده شد، تا به این وسیله داده‌های کمی گسسته به متغیرهای کمی پیوسته تبدیل شود. درصد اختلاف مثبت به معنای بهبود حافظه فضایی در آن پارامتر پس از تحریک، درصد اختلاف منفی به معنای تضعیف حافظه فضایی بعد از تحریک و درصد صفر به معنای عدم تغییر آن پارامتر قبل و بعد از تحریک دهلیزی گالوانیک واقعی یا کاذب بود. میانگین درصد اختلاف پارامترهای آزمون CBT بین دو گروه با آزمون آماری t مستقل مقایسه شد. سطح معنی‌داری $0/05$ در نظر گرفته شد. بنابر فرضیه اول، انتظار بر این بود که تنها در گروه مداخله تفاوت معنی‌دار بین داده‌های قبل و بعد از تحریک دیده شود و طبق فرضیه دوم، میانگین درصد اختلاف همه پارامترهای آزمون بین دو گروه تفاوت معنی‌داری داشت.

یافته‌ها

دامنه سنی افراد دو گروه در محدوده ۱۹ تا ۳۰ سال با میانگین سنی ۲۳ سال و انحراف معیار $2/9$ قرار داشت. در بررسی آستانه تحریک الکتریکی در کل افراد شرکت‌کننده در مطالعه، محدوده‌ای بین $0/3$ تا چهار میلی‌آمپر مشخص شد که در گروه مداخله با میانگین $1/56$ میلی‌آمپر و انحراف معیار $0/87$ و در گروه شاهد با میانگین $1/02$ میلی‌آمپر با انحراف معیار $0/73$ تقریباً همگی در یک سطح قرار داشتند ($p=0/01$). در $21/7$ درصد افراد گروه مداخله، آستانه تحریک الکتریکی بین دو تا چهار میلی‌آمپر قرار داشت. با وجودی که هدف از این مطالعه ارائه تحریکی زیر

(ارزیابی حافظه کوتاه‌مدت)، امتیاز مربوط به ظرفیت یادآوری توالی، براساس بلندترین توالی که فرد می‌توانست به درستی تکرار کند، از دو تا نه (بر حسب تعداد توالی‌های مورد پرسش) محاسبه می‌شد و امتیاز کل بر مبنای حاصل ضرب ظرفیت یادآوری توالی در تعداد مراحل که به درستی اشاره می‌شد، در محدوده‌ای بین ۲ تا ۱۴۴ به دست می‌آمد. در شرایط دوم (ارزیابی یادگیری) افراد می‌بایست توالی ۸ مکعب را که توسط آزمونگر ارائه شده بود فرا می‌گرفتند. معیار یادگیری، سه بار تکرار درست و پشت سر هم توالی بود (حداکثر تعداد مراحل ارائه برای آموزش ۱۸ دفعه بود). امتیاز یادگیری براساس تعلق یک امتیاز به هر مکعب درست تکرار شده تا زمان رسیدن به معیار یادگیری بود. سپس، این عدد به امتیاز عملکرد درست از باقی مراحل (تا مرحله هجدهم) افزوده می‌شد که در محدوده‌ای برابر با دو تا ۱۴۴ قرار می‌گرفت. برای مثال، اگر فردی در بهترین حالت، در تکرار سوم از اولین مرحله ارائه (اولین مرحله از ۱۸ مرحله) به معیار یادگیری می‌رسید، وی ۲۴ امتیاز (۸ مکعب ضرب در سه تکرار درست) به علاوه ۱۲۰ امتیاز (۸ مکعب ضرب در ۱۵ مرحله باقی‌مانده در صورت ارائه) برای باقی مراحل کسب می‌کرد. بنابراین، امتیاز کلی وی ۱۴۴ (حداکثر امتیاز) می‌شد. پنج دقیقه بعد، شرایط سوم (یادآوری تأخیری) اجرا می‌شد. آزمونگر از فرد می‌خواست توالی ۸ مکعب یادگرفته قبلی در مرحله یادگیری را تکرار کند. امتیاز وی براساس تعداد مکعب‌های درست تکرار شده محاسبه می‌شد که به علت ارزیابی تکرار توالی ۸ مکعب، از یک تا هشت به دست می‌آمد. در این مطالعه علاوه بر اختلاف امتیازهای قبل و بعد افراد، برای بررسی تأثیر تحریک گالوانیک بر پارامترهای این آزمون، از شاخص آماری درصد اختلاف (نسبت بین اختلاف امتیاز قبل و بعد از تحریک به امتیاز قبل از تحریک در هر فرد) استفاده شد. پس از ارائه تحریک (دهلیزی گالوانیک یا کاذب)، دوباره تمام افراد تحت آزمون حافظه فضایی قرار می‌گرفتند. برای جلوگیری از تأثیر یادگیری توالی‌ها (learning effect) توسط افراد، در هر مرحله (قبل و بعد از تحریک) از یک فهرست توالی جداگانه در آزمون حافظه فضایی استفاده شد.

جدول ۱- مقایسه میانه امتیاز پارامترهای آزمون قبل و بعد از تحریک در دو گروه و مقدار احتمال مقایسه اختلاف قبل و بعد آنها

پارامترهای آزمون	گروه مداخله		گروه شاهد	
	قبل از تحریک	بعد از تحریک	قبل از تحریک	بعد از تحریک
ظرفیت یادآوری توالی	۶	۷	۶	۶
امتیاز کل	۶۰	۷۰	۵۸	۶۰
امتیاز یادگیری	۱۲۴/۵	۱۳۶/۵	۱۲۸/۵	۱۳۸
امتیاز یادآوری تأخیری	۸	۸	۸	۸

برای مقایسه دو گروه در هر پارامتر از میانگین درصد اختلاف امتیازها استفاده شد. میانگین درصد اختلاف ظرفیت یادآوری توالی و امتیاز کل به ترتیب در گروه مداخله ۰/۱۰ با انحراف معیار ۰/۱۸ و ۰/۲۱ با انحراف معیار ۰/۴۱ به دست آمد که با گروه شاهد (به ترتیب میانگین ۰/۰۲- و انحراف معیار ۰/۱۵ و ۰/۰۲ و انحراف معیار ۰/۳۳) تفاوت معنی داری داشتند (به ترتیب $p=0/02$ و $p=0/05$). بین درصد اختلاف امتیاز یادگیری با $p=0/72$ و یادآوری تأخیری با $p=0/07$ دو گروه تفاوت معنی داری وجود نداشت. نمودار ۱ به مقایسه فرد به فرد درصد اختلاف هر پارامتر به تفکیک گروه‌های مورد مطالعه و نمودار ۲ به مقایسه میانگین درصد اختلاف‌ها بین دو گروه می‌پردازد.

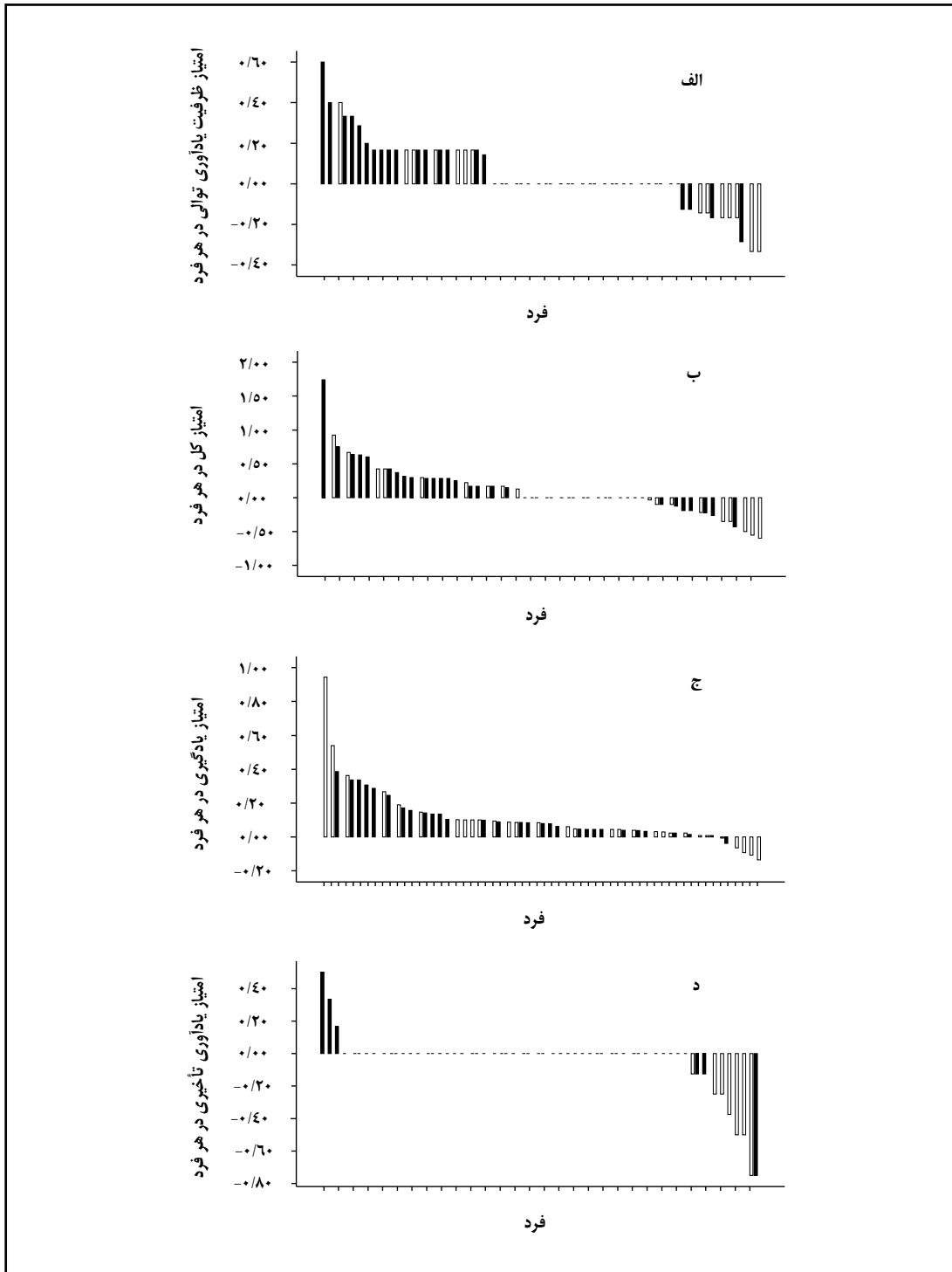
بحث

در این مطالعه تحریک گالوانیکی با میانگین شدتی ۰/۸ میلی‌آمپر و انحراف معیار ۰/۳۵ به مدت ۱۵ دقیقه (به علت محدودیت در حداکثر شدت دستگاه) ارائه شد و به این طریق با این جریان ثابت از ایجاد آسیب‌های پوستی نیز جلوگیری به عمل آمد، زیرا بر طبق مطالعات مروزی Utz و همکاران (۲۰۱۰) تحریک الکتریکی با میانگین ۰/۸ میلی‌آمپر با انحراف معیار ۰/۲ برای حداکثر ۲۰ دقیقه در انسان‌ها ایمن است (۱۲). از سوی دیگر، طبق مطالعه Holstein و همکاران (۲۰۱۲) وقتی تحریک صورت می‌گیرد، آنچه که فعالیت نورون را نشان می‌دهد بیان

سطح آستانه هر فرد بود، در این دسته از افراد گروه مداخله به علت رعایت ملاحظات اخلاقی و علم بر حداکثر سطح ایمنی ارائه تا دو میلی‌آمپر، از ارائه تحریک بالاتر از دو میلی‌آمپر اجتناب شد. میانگین شدت ارائه تحریک گالوانیک ۰/۸۹ میلی‌آمپر با انحراف معیار ۰/۳۵ بود.

با توجه به نتایج، میانگین امتیاز تمام پارامترهای آزمون CBT قبل از تحریک، بین دو گروه برابر بود ($p>0/05$) که نشان از نداشتن تفاوت معنی دار بین نتایج پارامترهای مورد ارزیابی (ظرفیت یادآوری توالی، امتیاز کل، امتیاز یادگیری و امتیاز یادآوری تأخیری) بین دو گروه، قبل از ارائه تحریک دهلیزی واقعی یا کاذب بود.

مقایسه امتیازهای هر پارامتر قبل و بعد از تحریک گالوانیک واقعی یا کاذب در هر گروه نشان داد که در گروه مداخله ظرفیت یادآوری توالی، امتیاز کل و امتیاز یادگیری بعد از تحریک به طور معنی داری تفاوت دارد (در ظرفیت یادآوری توالی $p=0/01$ ، در امتیاز کل $p=0/02$ و در امتیاز یادگیری $p<0/001$). به عبارت دیگر، این امتیازها افزایش یافته بودند، اما میانگین امتیاز یادآوری تأخیری تغییر معنی داری نکرده بود ($p>0/05$). در گروه شاهد، امتیاز یادگیری هم بهبود نشان داد ($p=0/002$). امتیاز یادآوری تأخیری کاهش یافت ($p=0/01$) و امتیازهای ظرفیت یادآوری توالی و کل تغییر معنی داری نداشتند ($p>0/05$) جدول ۱ نشان دهنده این موارد است.



نمودار ۱- مقایسه فرد به فرد درصد اختلاف چهار پارامتر آزمون CBT به تفکیک گروه: الف- ظرفیت یادآوری توالی، ب- امتیاز کل، ج- امتیاز یادگیری، د- امتیاز یادآوری تأخیری (ستون‌های سیاه: افراد گروه مداخله؛ ستون‌های سفید: افراد گروه شاهد) در افرادی که ستونی مشاهده نمی‌شود، درصد اختلاف صفر به معنی نبود اختلاف بین قبل و بعد آن پارامتر است.

پروتئین c-Fos است. برای بیان ژن آن، لازم است ۱۵ تا ۳۰ دقیقه تحریک صورت گیرد و بین ۲۴۰-۹۰ دقیقه بعد از ارائه تحریک، بیان پروتئین c-Fos به حداکثر خود خواهد رسید (۱۳). بنابراین، در این پژوهش مدت تحریک، حداکثر زمان ارائه دستگاه یعنی ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد.

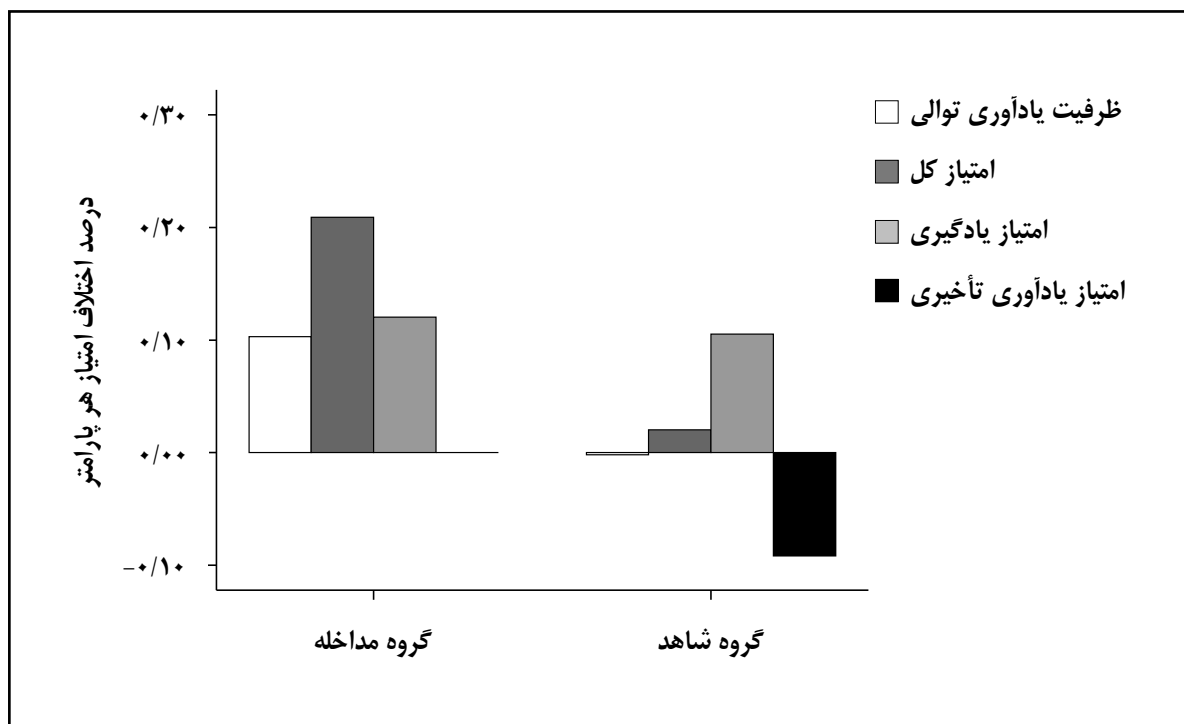
براساس نتایجی که در این مطالعه به دست آمد میانه امتیازهای CBT کل افراد پیش از ارائه تحریک واقعی یا کاذب، در ظرفیت یادآوری توالی (به عنوان حافظه کوتاه مدت) برابر با ۶ امتیاز کل برابر با ۶۰، امتیاز یادگیری برابر با ۱۲۸ و امتیاز یادآوری تأخیری (به عنوان حافظه بلند مدت) برابر با ۸ شد. امتیازهای ظرفیت یادآوری توالی، امتیاز کل و امتیاز یادگیری در گروه مداخله بعد از ارائه تحریک افزایش معنی داری داشت و امتیاز یادآوری تأخیری آنها تفاوت معنی داری نداشت. در گروه شاهد امتیاز یادگیری بعد از ارائه تحریک کاذب بهتر و امتیاز یادآوری تأخیری بدتر شد.

در مطالعه Piccardi و همکاران (۲۰۰۸) که به بررسی ۳۵ زن هنجار دانشجوی کارشناسی با ۱۳ سال سابقه تحصیلی و میانگین سنی ۲۳/۲۶ سال پرداختند، میانگین امتیازهای یادآوری توالی (حافظه کوتاه مدت)، یادگیری و یادآوری تأخیری (حافظه بلند مدت) به ترتیب ۴/۸۳، ۱۱۵/۹۱ و ۷/۱۱ گزارش شد (۱۴) که می توان عنوان کرد میانه امتیاز افراد شرکت کننده در این مطالعه، در مقایسه با نتایج مطالعه Piccardi و همکاران (۲۰۰۸)، کمی بهتر است. با وجود مشابهت سنی، جنسی و تحصیلی گروه ها در مطالعه حاضر و مطالعه آنها، اختلاف دیده شده را شاید بتوان به تفاوت های دیگر نسبت داد. از جمله این که نتایج آنها از نظر دست برتری تفکیک نشده بود و این که بین جامعه ایتالیایی و ایرانی تفاوت های شناختی وجود دارد.

مقایسه درصد اختلاف پارامترهای آزمون بین دو گروه تنها در ظرفیت یادآوری توالی و امتیاز کل بین دو گروه مداخله و شاهد تفاوت معنی دار نشان داد ($p < 0.05$). در نتیجه، این مطالعه نشان داد که ارائه تحریک گالوانیک دوطرفه دوقطبی زیر سطح آستانه به طور بارزی حافظه کوتاه مدت فضایی (ظرفیت یادآوری توالی و

امتیاز کل) را افزایش می دهد و ورودی دهلیزی بر این جنبه از فعالیت های حافظه فضایی تأثیر مثبت دارد. باید به این نکته توجه کرد که با توجه به عدم مشاهده تفاوت معنی دار در درصد اختلاف امتیاز یادآوری تأخیری بین دو گروه ($p = 0.07$)، این امکان وجود داشت که احتمالاً با افزایش حجم نمونه، شاهد تفاوت معنی دار در این پارامتر آزمون بین دو گروه باشیم. اما چنان که پیش تر گفته شد، امتیاز قبل و بعد یادآوری تأخیری در گروه مداخله تفاوت نکرده بود، اما در گروه شاهد تضعیف شده بود. بر این اساس می توان نتیجه گرفت که احتمالاً تحریک باعث حفظ حافظه بلند مدت در گروه مداخله شده است. در رابطه با افزایش معنی دار امتیاز یادگیری بعد از تحریک در دو گروه و نبود تفاوت معنی دار بین دو گروه، می توان این مطلب را بیان داشت که امتیاز یادگیری، پارامتری است که ذاتاً در این آزمون وجود داشته و با ارائه تحریک تأثیری بر این پارامتر دیده نشده است.

مطالعه Dilda و همکاران (۲۰۱۲) هم که تنها مطالعه در دسترس از بررسی تأثیر تحریک دهلیزی گالوانیک بر جنبه های مختلف عملکردهای شناختی از جمله حافظه فضایی بود، به بهبود عملکرد افراد در برخی جنبه های حافظه فضایی پس از تحریک زیر آستانه اشاره داشت. آنها عملکرد شناختی افراد را قبل و حین GVS دوقطبی نویزی دوطرفه فوق آستانه با گروه شاهد (بدون ارائه GVS یا تحت تحریک زیر آستانه) مقایسه کردند. در این مطالعه ۱۲۰ فرد سالم تحت ارائه تصادفی GVS با شدت صفر یا ۱ یا ۳/۵ یا ۵ میلی آمپر قرار گرفتند. مجموعه ای از آزمون های شناختی از جمله حافظه فضایی شامل چرخش ذهنی، درک بعد و تطبیق با الگو در سه وضعیت (ارزیابی پایه پیش از تحریک، حین تحریک متناوب و ۱۵ دقیقه بعد از ارائه تحریک) اجرا شد. در بررسی نتایج، دیده شد که مقدار خطا در درک بعد و تطبیق با الگو با ارائه GVS فوق آستانه به طور بارزی بیشتر از تحریک زیر آستانه است که نشان می دهد تحریک فوق آستانه اثر معکوس بر این فعالیت ها دارد. چرخش ذهنی تحت تأثیر GVS قرار نگرفت. تفاوت بارزی در عملکرد گروه دریافت کننده تحریک صفر میلی آمپری و گروه دریافت کننده تحریک زیر آستانه (تحریکات



نمودار ۲- مقایسه درصد اختلاف امتیاز هر پارامتر به تفکیک در هر گروه، از آنجایی که میانگین درصد اختلاف امتیاز یادآوری تأخیری در گروه مداخله صفر درصد شده است در نمودار دیده نمی‌شود

می‌توان این چنین بیان کرد که مسیرهای آناتومیک متعددی برای اتصال هسته‌های دهلیزی با هیپوکامپ پیشنهاد شده‌اند، به طوری که به دلیل گستردگی این مسیرها می‌توان دست کم سه مسیر متفاوت را برای ارتباط هسته‌های دهلیزی با هیپوکامپ گزارش کرد: (۱) مسیر تالاموسی-قشری، (۲) مسیر مولد تا (θ) (generating pathway) (۳) مسیر سیستم حساس به جهت سر (head-direction system). به علاوه، ممکن است اطلاعات دهلیزی از مسیر دهلیز-مخچه-قشر مغز نیز به هیپوکامپ منتقل شوند (۱۵) که توسط سلول‌های حساس به جهت سر در تالاموس و سلول‌های مکانی هیپوکامپ تعدیل می‌شوند (۲). در تفسیر الگوی پیچیده فعالیت تحریک گالوانیک باید این نکته را مدنظر داشت که هیچ قشر دهلیزی اولیه‌ای در مقایسه با قشر استریای بینایی یا قشر هشل شنوایی وجود ندارد، در نتیجه قشر دهلیزی بخشی از قشر چندحسی به حساب می‌آید که سایر وجوه حسی را برای

سینوسی و نویزی با حداکثر قله یک میلی‌آمپر) دیده نشد. البته باید این مسئله را نیز در نظر داشت که عملکرد پایه گروه صفر و یک میلی‌آمپری (تحریک زیرآستانه) با یکدیگر تفاوت معنی‌داری داشتند. به اعتقاد این پژوهشگران، اثر معکوس GVS بر درک بعد بی‌تأثیر بودن آن بر چرخش ذهنی با مطالعات تصویربرداری همخوانی دارد. این مطالعات نشان داده‌اند تبدیل‌های خودمدار (egocentric) نظیر درک بعد عمدتاً در مناطق قشری‌ای (خط اتصال آهیانه‌ای-گیجگاهی و لب آهیانه‌ای فوقانی) رخ می‌دهد که ورودی دهلیزی دارند، اما تبدیل‌های مبتنی بر شئ (چرخش ذهنی) در منطقه پیشانی-آهیانه‌ای اتفاق می‌افتند. افزایش مقدار خطای فعالیت تطبیق با الگو احتمالاً به دلیل تداخل با پردازش حافظه فضایی در هیپوکامپ است که این مورد نیز با مطالعات تصویربرداری در بیماران دهلیزی نشان داده شده است (۱۰). در ارتباط با علت تأثیر GVS بر پارامترهای آزمون

جهت‌یابی فضایی، درک از حرکت خود و کنترل حرکات چشمی درگیر می‌سازد. در حقیقت یک شبکه عصبی پیچیده و عمدتاً در نواحی گیجگاهی-اینسولار و گیجگاهی-پس‌سری در هر دو نیمکره افراد سالم با تحریک کالریک و گالوانیک فعال می‌شود (۶و۲). در نتیجه، یکی از علل مبهم بودن چگونگی تأثیر تحریک گالوانیک بر حافظه فضایی آن است که هرگونه تأثیرات سودمند این تحریک در نتیجه ارتباط اطلاعات دهلیزی به مناطق متفاوتی از نئوکورتکس به وجود می‌آید و احتمالاً باعث تغییر در یکپارچگی اطلاعات حسی می‌شود (۶) و دقیقاً مشخص نشده است که هر پارامتر از این آزمون‌ها کدام قسمت از قشر دهلیزی-فضایی به‌ویژه هیپوکامپ را درگیر می‌سازد. تأثیر تحریک دهلیزی بر عملکردهای شناختی با یافته‌های نورواناتومی منطبق است (۶)، به طوری که احتمالاً به علت افزایش جریان خون به ساختارهای گیجگاهی و پس‌سری نیمکره راست و طرفی شدن استراتژی‌های فضایی ترجیحاً در نیمکره راست، می‌توان گفت با تحریک آندی چپ، عملکرد حافظه فضایی کوتاه‌مدت افراد افزایش می‌یابد (۹). همانطور که در یافته‌های Batchold و همکاران (۲۰۰۱) نیز می‌توان دید تحریک کالریک سرد به گوش چپ موجب یادآوری سریع‌تر تصاویر اشیا می‌شود (۸). در مطالعه آنها تأثیر تحریک کالریک دهلیزی یک‌طرفه (سمت راست/چپ/هیچ‌کدام) با آب سرد (۲۴ درجه سانتیگراد) بر ۱۰۸ فرد هنجار طی دو آزمون شناختی بررسی شد. در آزمایش اول (فعالیت نیمکره راست)، افراد محل اشیا را حین تحریک آب سرد به گوش راست یا چپ و یا عدم تحریک (گروه شاهد) به‌خاطر می‌سپردند. در آزمایش دوم (فعالیت نیمکره چپ)، افراد فهرستی از واژه‌های کاربردی را که به‌طور متوالی ارائه می‌شد، حین تحریک همانند آزمایش اول حفظ می‌کردند. یک مرحله آزمون یادآوری، پس از هر مرحله کدگذاری وجود داشت. در آزمایش اول افرادی که از گوش چپ تحریک شده بودند محل اشیا را به‌طور معنی‌داری سریع‌تر از گروه تحریک به گوش راست و شاهد به یاد می‌آوردند. آزمایش دوم نتیجه عکس داشت و بازشناسی درست واژه‌ها در گروه ارائه تحریک به گوش راست، سریع‌تر از گروه تحریک به گوش چپ و شاهد بود.

محققان در این مطالعه پیشنهاد دادند که احتمالاً تحریک کالریک یک‌طرفه منجر به فعال‌سازی انتخابی ساختارهای مغزی سمت مقابل و افزایش سرعت پردازش‌های شناختی توسط این ساختارها می‌شود. به طوری که حافظه کلامی اساساً با نیمکره چپ و حافظه فضایی با نیمکره راست کنترل می‌شود (۸). براساس شواهد جدیدتر، احتمالاً هیپوکامپ راست به حافظه فضایی بر مبنای محیط (allocentric)، کشف آگاهی فضایی و قضاوت درباره دوری و نزدیکی اختصاص یافته و هیپوکامپ چپ با حافظه راهبری ذهنی (topokinetic) مرتبط است (۱۶و۵) و از سوی دیگر، مناطق قدامی هیپوکامپ در حافظه مکانی اشیا در فضایی کوچک (near space) فعال می‌شود (۱۶).

با آن که اخیراً بر استفاده از GVS نویری به دلیل تأثیر بهتر آن بر سیستم عصبی تأکید می‌شود، در مطالعه حاضر نشان داده شد که GVS ثابت هم بر حافظه فضایی مؤثر است. Wilkinson و همکاران (۲۰۰۸) با مقایسه تحریک گالوانیک نویری و ثابت اظهار داشتند که تحریک گالوانیک ثابت بر حافظه یادآوری چهره افراد تأثیری نداشته است (۹).

نتیجه‌گیری

با مقایسه امتیاز پارامترهای آزمون CBT، شامل ظرفیت یادآوری توالی، امتیاز کل، امتیاز یادگیری و یادآوری تأخیری قبل و بعد از ارائه تحریک گالوانیک دهلیزی یا تحریک کاذب در دو گروه مداخله و شاهد می‌توان نتیجه گرفت ظرفیت یادآوری توالی و امتیاز کل که به حافظه کوتاه‌مدت فضایی دیداری مربوط هستند، بر اثر تحریک تقویت می‌شود. کیفیت عملکرد افراد در یادآوری تأخیری (حافظه بلندمدت) نیز پس از تحریک در گروه مداخله حفظ می‌شود. بهتر شدن امتیاز یادگیری در هر دو گروه به‌طور مساوی، احتمالاً نشان می‌دهد این پارامتر آزمون CBT به‌طور ذاتی بر اثر یادگیری افزایش می‌یابد و تحریک بر آن مؤثر نیست.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه

دانشگاه علوم پزشکی تهران، برای مشاوره علمی، و سرکار خانم دکتر صوفیا نقدی، استادیار دانشکده توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی تهران، برای در اختیار قرار دادن تجهیزات مورد نیاز سپاسگزاری نمایند.

شنوایی‌شناسی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران است. نویسندگان تمایل دارند از جناب آقای دکتر سعید فراهانی، مدیر محترم گروه، به دلیل در اختیار گذاشتن فضای لازم، و سرکار خانم دکتر مریم زحمتکش، استادیار دانشکده فناوری‌های نوین

REFERENCES

- Smith PF, Brandt T, Strupp M, Darlington CL, Zheng Y. Balance before reason in rats and humans. *Ann N Y Acad Sci*. 2009;1164(1):127-33.
- Dieterich M, Brandt T. Functional brain imaging of peripheral and central vestibular disorders. *Brain*. 2008;131(10):2538-52.
- Smith PF, Darlington CL, Zheng Y. Move it or lose it--is stimulation of the vestibular system necessary for normal spatial memory? *Hippocampus*. 2010;20(1):36-43.
- Hanes DA, McCollum G. Cognitive-vestibular interactions: a review of patient difficulties and possible mechanisms. *J Vestib Res*. 2006;16(3):75-91.
- Brandt T, Schautzer F, Hamilton DA, Bruning R, Markowitsch HJ, Kalla R, et al. Vestibular loss causes hippocampal atrophy and impaired spatial memory in humans. *Brain*. 2005;128(11):2732-41.
- Smith PF, Geddes LH, Baek JH, Darlington CL, Zheng Y. Modulation of memory by vestibular lesions and galvanic vestibular stimulation. *Front Neurol*. 2010;1:141.
- Suzuki M, Kitano H, Ito R, Kitanishi T, Yazawa Y, Ogawa T, et al. Cortical and subcortical vestibular response to caloric stimulation detected by functional magnetic resonance imaging. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2001;12(3):441-9.
- Bachtold D, Baumann T, Sandor PS, Kritos M, Regard M, Brugger P. Spatial- and verbal-memory improvement by cold-water caloric stimulation in healthy subjects. *Exp Brain Res*. 2001;136(1):128-32.
- Wilkinson D, Nicholls S, Pattenden C, Kilduff P, Milberg W. Galvanic vestibular stimulation speeds visual memory recall. *Exp Brain Res*. 2008;189(2):243-8.
- Dilda V, MacDougall HG, Curthoys IS, Moore ST. Effects of galvanic vestibular stimulation on cognitive function. *Exp Brain Res*. 2012;216(2):275-85.
- Utz KS, Dimova V, Oppenländer K, Kerkhoff G. Electrified minds: transcranial direct current stimulation (tDCS) and galvanic vestibular stimulation (GVS) as methods of non-invasive brain stimulation in neuropsychology--a review of current data and future implications. *Neuropsychologia*. 2010;48(10):2789-810.
- Kessels RP, van Zandvoort MJ, Postma A, Kappelle LJ, de Haan EH. The corsi block-tapping task: standardization and normative data. *Appl Neuropsychol*. 2000;7(4):252-8.
- Holstein GR, Friedrich Jr VL, Martinelli GP, Ogorodnikov D, Yakushin SB, Cohen B. Fos expression in neurons of the rat vestibulo-autonomic pathway activated by sinusoidal galvanic vestibular stimulation. *Front Neurol*. 2012;28:3-4.
- Piccardi L, Iaria G, Ricci M, Bianchini F, Zompanti L, Guariglia C. Walking in the corsi test: which type of memory do you need? *Neurosci Lett*. 2008;432(2):127-31.
- Hüfner K, Hamilton DA, Kalla R, Stephan T, Glasauer S, Ma J, et al. Spatial memory and hippocampal volume in humans with unilateral vestibular deafferentation. *Hippocampus*. 2007;17(6):471-85.

16. Piccardi L, Iaria G, Bianchini F, Zompanti L, Guariglia C. Dissociated deficits of visuo-spatial memory in near space and navigational space: evidence from brain-damaged patients and healthy older participants. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn.* 2011;18(3):362-84.

Research Article

Visuo-spatial memory enhancement by galvanic vestibular stimulation: A preliminary report

Fatemehsadat Ghaheri¹, Mansoureh Adel Ghahraman¹, Farnoush Jarollahi², Shohreh Jalaie³

¹- Department of Audiology, School of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences, Iran

²- Department of Audiology, Faculty of Rehabilitation Sciences, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

³- Department of Biostatistics, School of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences, Iran

Received: 9 January 2013, accepted: 6 February 2013

Abstract

Background and Aim: Navigation information is processed and stored in different brain areas such as hippocampus. Since multiple pathways has been reported between vestibular nuclei and hippocampus and also cognitive dysfunction specifically in spatial memory is induced by vestibular deficits, it can be assumed that vestibular system stimulation ameliorates spatial memory. The aim of study was to evaluate the effect of galvanic vestibular stimulation on normal individual's spatial memory.

Methods: In this experimental-interventional study, sixty 18-30-years-old women were randomly allocated in intervention and control groups. Intervention group undergone subthreshold bilateral bipolar galvanic vestibular stimulation and control group received sham stimulation. Stimulation was presented for 15 minutes. Corsi Block Tapping (CBT) test scores were compared before and after subthreshold bipolar galvanic vestibular stimulation exposure or no stimulation in each group and between groups.

Results: All test parameters were the same in both groups before stimulation ($p < 0.050$). There were significant improvement in block span, total score and learning score in intervention group after galvanic vestibular stimulation ($p < 0.050$), no significant difference in delayed score ($p = 0.600$). Learning score was improved ($p = 0.003$) and delayed score was deteriorated ($p = 0.010$) in control group. Percentages of block span and total score in intervention group were significantly different compared to the other group ($p < 0.050$).

Conclusion: Galvanic vestibular stimulation improves short-term and long-term spatial memory. This test may inherently have learning effect that is not influenced by stimulation.

Keywords: Galvanic vestibular stimulation, vestibular system, hippocampus, visuo-spatial memory

Please cite this paper as: Ghaheri F, Adel Ghahraman M, Jarollahi F, Jalaie S. Visuo-spatial memory enhancement by galvanic vestibular stimulation: A preliminary report. *Audiol.* 2014;23(1):50-61. Persian.

Corresponding author: Department of Audiology, School of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences, Pich-e-Shemiran, Enghelab Ave., Tehran, 1148965141, Iran. Tel: 009821-77530636, E-mail: madel@tums.ac.ir