نوروپلاستیسیتی و نقش آن در بازیابی سینرژی عصبی–حرکتی به‌دنبال توانبخشی بیماران سکته مغزی: یک مرور نظامند

فریبا یدالهی[1*]
مسعود مهرپور[2]

۱- گروه فیزیوتراپی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.
۲- گروه نورولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

[*]نویسنده مسئول: تهران، خیابان دماوند، روبه‌روی بیمارستان بوعلی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، دانشکده توانبخشی، گروه فیزیوتراپی.
تلفن: ۷۷۶۹۹۰۰۰-۰۲۱
E-mail: fariba.yadolahi@sbmu.ac.ir

چکیده

دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۳ ویرایش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۰ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۰ آنلاین: ۱۳۹۸/۰۷/۳۰

زمینه و هدف: با اجرای تمرین‌های هدفمند توانبخشی عصبی می‌توان مهارت خاصی را در یک فرد سالم ایجاد کرد و نیز به بازتوانی در اندام‌ها دست یافت. پشتوانه این فرضیه، نوروپلاستیسیتی در مغز است. در صورت بروز اختلال در سامانه مرکزی اعصاب، قشر حرکتی و یا سنسوری مغز، یادگیری حرکت دستخوش تغییر و در بیشتر موارد دچار اختلال می‌گردد. با پژوهش در رهیافت کنترلی مغز در مورد نحوه استخدام المان‌های حرکتی در محیط بیرونی، مدل‌سازی بازتوانی عصبی امکان‌پذیر می‌گردد. هدف از مطالعه کنونی، مروری بر مطالعاتی است که به بررسی نقش نوروپلاستیسیتی مغزی و عوامل مرتبط با آن در بازتوانی عصبی–حرکتی پرداخته‌اند.

روش بررسی: برای تدوین مقاله کنونی به منابع مربوط از ژانویه ۲۰۰۵ تا ژانویه ۲۰۱۷ استناد گردیده است. به‌این‌منظور با استفاده از پایگاه‌های اطلاعاتی Google Scholar، ProQuest، PubMed، Web of Science و نیز با ترکیب کردن واژه‌ها، جستجو صورت پذیرفته و در مرحله اول ٤١ مقاله مرتبط با موضوع انتخاب گردید. سپس از بین این مقالات و بر مبنای یک روش گزینشی هدفمند، مقالاتی که محتوای آن‌ها با موضوع مطالعه مرتبط بودند، برگزیده شدند.

یافته‌ها: بررسی مطالعات نشان داد، تقویت نوروپلاستیستی مغز فرآیند یادگیری فعالیت‌های حرکتی و بهبودی را تسهیل می‌بخشد و برای بازتوانی افراد دچار سکته مغزی می‌توان بر روی سینرژی‌های عضلاتی که الگوی فعالیت آن‌ها پس از سکته دچار تغییر شده است تمرکز کرد.

نتیجه‌گیری: به حداکثر رساندن میزان نوروپلاستیسیته مغزی برای ارایه بیشترین پتانسیل جهت رسیدن به موفقیت بیشتر در درمان‌های توانبخشی به‌دنبال اختلالات عصبی است.

کلمات کلیدی: کنترل حرکت، نوروپلاستیسیتی، بازتوانی عصبی، سکته مغزی، سینرژی.

مقدمه

در سال‌های اخیر، در نتیجه نفوذ پژوهش‌های پایه و بالینی، علمِ توانبخشی دستخوش تغییر اساسی شده و درک ما از یادگیری حرکتی، نوروپلاستیسیتی و بازتوانی عملکردی به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. مطالعات نشان می‌دهد که مکانیزم تغییر ساختار مغز که ناشی از نوروپلاستیسیتی می‌باشد، در طی فرآیند بازیابی و همچنین توانبخشی به‌صورت یادگیری حرکتی نیز به اجرا در می‌آید که با توجه به پیشرفت‌های اخیر، نقش موثر پلاستیسیتی مغز در فرآیند یادگیری حرکات مهارتی به اثبات رسیده است.[1]

پس از سکته مغزی، تغییرات چشمگیری در سیستم سیناپسی و پلاستیسیته مغزی رخ می‌دهد. افزایش تحریک‌پذیری قشر مغز و همچنین تغییرات در پلاستیسیته سیناپسی مانند پتانسیل بلندمدت (Long-term potentiation, LTP)، افزایش در جریان‌های کلسیم، و فعال‌سازی عوامل نوروتروفیک در نیمکره مبتلا در واقع مکانیسم‌های مرتبط درجهت بهبود سکته مغزی هستند.[2] محرومیت از اکسیژن که در هنگام سکته مغزی رخ

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

می‌دهد به‌سرعت عملکرد طبیعی نورون‌ها را کاهش داده و حفظ شیب یونی دو طرف غشاء طبیعی را غیرممکن می‌سازد و این کاهش در فعال‌سازی نورون‌ها به‌دنبال از دست رفتن یکپارچگی مدارهای ورودی از بافت‌های مجاور که تحت تاثیر انفارکت، ادم، و کاهش فعالیت‌های متابولیکی می‌باشد، فرآیند بهبودی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بهبودی حرکتی پس از سکته مغزی به یکپارچگی مدارهای حرکتی و تعامل بین از نیمکره آسیب دیده و نیمکره سالم بستگی دارد.[٣] بیماران مبتلا به سکته مغزی تغییرات آشکاری در تحریک‌پذیری حرکتی قشر مغز دارند. در مطالعات اخیر این احتمال مطرح شده که مدولاسیون مغزی می‌تواند اثرات مفید آموزش حرکتی در پروسه توانبخشی را افزایش دهد. روش‌های تصویربرداری عملکردی می‌تواند امکان بررسی همبستگی عصبی در حین فرآیند بازیابی را فراهم نماید.[٤]

پس از آسیب مغزی در طی مدت کوتاهی تا حدود شش ماه امکان بازسازی مغز و پلاستیسیتی با سرعت بالاتری قابل اجرا می‌باشد. بنابراین امکان بازیابی مجموعه‌ای از حرکات به‌کمک توانبخشی در این بازه بسیار مطلوب است.[٤] در این مقاله، روند توانبخشی عصبی حرکتی بیماران دچار ضایعه مغزی و همچنین ایجاد مهارت در افراد سالم با تحلیل میزان پلاستیسیتی در مغز و بررسی تغییرات سینرژی عضلانی مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی

در مرحله نخست اجرای پژوهش کنونی، فرآیند جستجو در مرکز داده پایگاه‌های علمی با ترکیب کردن واژه‌ها، صورت گرفت. معیارهای ورود مقالات براساس نوع پژوهش شامل مطالعات مداخله‌ای، مطالعات تجربی و نیز مروری، نوع مشارکت کنندگان (افراد سالم و بیماران سکته مغزی) و نیز نوع پیامد (هر نوع پیامد مرتبط با بهبود جسمی–حرکتی) تقسیم‌بندی گردید. با توجه به هدف پژوهش کنونی، گردآوری شواهد مربوط به نقش نوروپلاستیسیتی در یادگیری و بازتوانی حرکتی، در مطالعه وارد شدند.

در مرحله اول ٤١ مقاله مرتبط با موضوع انتخاب گردید. سپس از بین این مقالات و بر مبنای یک روش گزینشی هدفمند، مقالاتی که محتوای آن‌ها با موضوعات کنترل حرکت، نوروپلاستیسیتی و سکته مغزی مرتبط بودند، برگزیده شدند.

یافته‌ها

در راستای پلاستیسیتی و عوامل اثرگذار بر آن، Hallett با ارایه یک مقاله مروری به بررسی پلاستیسیتی در روند بهبود افراد دچار سکته مغزی پرداخت.[٥] او ابتدا مکانیزم‌های پلاستیسیتی را در چهار روش خلاصه نمود و در ادامه به روند یادگیری حرکتی و چگونگی توانبخشی پس از سکته مغزی پرداخت. وی در نهایت ابراز داشت که استفاده از پلاستیسیتی جهت تغییر در ساختار قسمت آسیب‌دیده در فرآیند توانبخشی پس از سکته مغزی در مقایسه با بخش سالم در اولویت قرار دارد.[٥] مطالعات Krakauer نشان می‌دهد که مکانیزم تغییر ساختار مغز که ناشی از یادگیری حرکتی می‌باشد، در طی فرآیند بازیابی و همچنین توانبخشی نیز به اجرا در می‌آید، درحالی‌که دستیابی به مهارت‌های خاص در افراد سالم گاهی تا چندین سال به‌طول می‌انجامد.[٦] Page و همکارانش نشان دادند درصورتی‌که افراد دچار سکته مغزی در کنار جلسات فیزیوتراپی به انجام تمرین‌های ذهنی و روانی بپردازند، پیشرفت چشمگیری در روند توانبخشی آن‌ها ایجاد خواهد شد.[٧] Murphy و Corbett به بررسی سیناپسی تا عملکردی پلاستیسیتی در فرآیند بازیابی پس از سکته مغزی پرداختند. شواهد از مدل‌های حیوانی نشان می‌دهند که پلاستیسیتی نورون‌ها در یک پنجره زمان–محدود پس از سکته مغزی می‌تواند به‌شدت در فرآیند بازیابی بیماران نقش مفید و عمده‌ای ایفا نماید. در این حالت مکانیزم پلاستیسیتی مشتمل بر برقراری اتصالات مجدد و همچنین تقویت سیناپس به‌صورت وابسته به فعالیت می‌باشد. چالش اصلی در ارتقای فرآیند بازیابی پس از سکته مغزی، فهم چگونگی به‌کارگیری و اصلاح بهینه شبکه‌های عصبی به‌منظور دستیابی به استراتژی‌های جدید در جهت جبران از دست دادن بافت آسیب‌دیده می‌باشد. بدین‌ترتیب پلاستیسیتی در افراد دچار سکته مغزی، به‌صورت موازی با مکانیزم پلاستیسیتی در افراد بالغ در حین رشد و تطبیق سامانه عصبی در ارتباط است.[٨] Takeuchi و Izumi با ارایه یک مقاله مروری به بررسی رهیافت‌های مختلف توانبخشی پس از سکته مغزی با بررسی و تمرکز بر روی پلاستیسیتی مغز پرداختند. آن‌ها بیان داشتند که اجرای یک برنامه توانبخشی باید شامل آموزش معنادار، مکرر، با شدت مختلف و برای کار مشخص در حرکات مختلف در محیطی غنی باشد تا بتواند بر روی پلاستیسیتی عصبی تاثیر گذاشته و منجر به بازیابی عملکرد حرکتی در بیماران شود.[٩]

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

در این راستا اصول توانبخشی بایستی به‌گونه‌ای باشد که در آن تعریف تمرین‌ها با توجه به نیازهای عملکردی روزانه بیمار سازگاری داشته باشد. این امر بیمار را در راستای تسهیل اجرای فعالیت‌های روزانه یاری می‌نماید. همچنین شواهد قوی نشان می‌دهد که آموزش حرکات مشخص می‌تواند به بازیابی عملکرد موتوری کمک نماید که این امر از طریق راه‌اندازی تطبیق‌پذیر پلاستیسیتی عصبی قابل اجرا می‌باشد.[۱۰] بدین‌ترتیب با تکرار این تمرین‌ها میزان توانایی عملکرد بیمار افزایش خواهد یافت.[۱۱] در این مقالات پلاستیسیتی با استفاده از تصویربرداری تشدید مغناطیسی کارکردی مورد ارزیابی قرار گرفته است. همچنین محیط اجرای فرآیند درمان نقش بسیار مهمی در توانبخشی پس از سکته مغزی ایفا می‌نماید. محیطی که امکان بیشتری برای فعالیت فیزیکی و انگیزه فراهم می‌آورد به‌عنوان محیط غنی یاد می‌شود.[۱۲]

بدین‌ترتیب برنامه توانبخشی افراد سکته مغزی بایستی مشتمل بر آموزش حرکات معنادار، مکرر، با شدت و برای کار مشخص در یک محیط غنی در نظر گرفته شود تا بتواند به ارتقای پلاستیسیتی عصبی و بازیابی عملکرد و حرکت منجر شود.[۱۳و۱۴] رهیافت‌های متعددی در زمینه توانبخشی حرکتی در بیماران دچار آسیب مغزی و سکته مطرح شده‌اند که نقش آن‌ها در تغییرات پلاستیسیتی مغز نیز به اثبات رسیده‌اند. از آن جمله می‌توان به حرکت عضو فلج و ثابت نگه داشتن عضو سالم نام برد. نتایج نشان می‌دهد، اندازه عضو فلج پس از اجرای این تمرینات بزرگ‌تر می‌شود.[۱۵] همچنین نتایج تصاویر MRI نیز نشان می‌دهد پس از انجام این‌گونه تمرینات، ماده خاکستری در قشر حسی-حرکتی مغز بزرگ‌تر می‌شود.[۱۶] بدین‌ترتیب شواهد کافی مبنی بر ایجاد تغییرات ساختاری مغز (پلاستیسیتی) و فیزیولوژیک در بیماران پس از اجرای تمرینات حرکت درمانی براساس ایجاد محدودیت وجود دارد. رهیافت دیگر بهره‌گیری از ربات توانبخشی است که در آن در حین حرکت هم می‌تواند به بیمار کمک نموده و هم در مقابل حرکت آن مقاوت نماید. همچنین این‌گونه ربات‌ها می‌توانند اندازه‌گیری‌های کمی و مناسبی از عملکرد سوژه انسانی را نیز در اختیار قرار دهند. نکته حایز اهمیت در بهره‌گیری از ربات توانبخشی، کنترل تاخیر ناشی از زمان ورود و خروج سیگنال در نوار عصب-عضله و یا سیگنال موقعیت می‌باشد که در مسیر پس‌خور ربات مورد استفاده قرار می‌گیرد.[۱۷-۱۹] در واقع کاهش این زمان تاخیر از آنجا اهمیت دارد که همزمانی بین داده‌های حسی و حرکتی روند پلاستیسیتی مغز را تسهیل می‌نماید.[۱۷] ارزیابی میزان پلاستیسیتی در این روش با استفاده از تحریک مغناطیسی مغز صورت گرفته است. لازم به یادآوری است اگرچه می‌توان با اجرای حرکات و تمرین‌های توانبخشی موثر به‌صورت غیرمستقیم برروی پلاستیسیتی مغز تاثیر گذاشت، اما می‌توان با بهره‌گیری از تحریک الکتریکی خارجی از طریق تحریک الکتریکی عملکردی با افزودن قدرت ورودی‌های آوران، روند تطبیق پلاستیسیتی را به‌صورت مستقیم تسهیل نمود.[۲۰] همچنین با بهره‌گیری از پس‌خور چندین حسگر می‌توان نقش عمده‌ای در یادگیری حرکتی از طریق به‌کارگیری حلقه حسی-حرکتی که در طی سکته دچار نقصان شده است، ایفا نمود. رهیافت‌های متفاوتی در جهت استفاده پس‌خور چندین حسگر ارایه شده است که از جمله می‌توان به آموزش از طریق تماشای حرکت مورد نظر در فرد دیگر، آموزش از طریق واقعیت مجازی[۲۱و۲۲] و همچنین فن‌آوری تعامل مغز-رایانه اشاره نمود. در تمامی موارد یادشده تاثیر پس‌خور حسگرهای مربوطه در روند یادگیری حرکتی و تغییرات نوروپلاستیستی مغز به‌خوبی مورد تایید قرار گرفته است.[۲۵-۲۳]

به‌طور کلی فرآیند یادگیری فعالیت‌های حرکتی را می‌توان به پنج فاز مختلف تقسیم‌بندی کرد. فاز اول، مرحله‌ی یادگیری سریع (اولیه) که در آن پیشرفت چشمگیری در عملکرد فرد در طی یک مرحله‌ی تمرین رخ می‌دهد. فاز دوم، مرحله‌ی یادگیری کند (ثانویه) که در آن پیشرفت در اثر مراحل تمرینی بیشتر رخ می‌دهد. فاز سوم، مرحله‌ی تثبیت نام دارد که در آن پیشرفت خودبه‌خودی در عملکرد فرد می‌تواند رخ دهد که این فرآیند با گذشت مدت زمان ٤ تا ٦ ساعت پس از اولین تمرین و بدون انجام تمرین اضافی روی فعالیت رخ می‌دهد. فاز چهارم، مرحله‌ی غیرارادی نام دارد که در طی آن، فعالیتِ فراگرفته‌شده به نظر نیاز کمتری به منابع شناختی دارد و در مقابلِ گذر زمان و مداخلات به‌وجودآمده مقاوم شده است. در نهایت فاز پنجم، مرحله‌ی حافظه نام دارد که در آن مهارت حرکتی می‌تواند به‌راحتی پس از گذشت مدت زمان طولانی و بدون تمرین مجدد انجام شود. با استفاده از روش‌های تصویربرداری کاربردی می‌توان وسعت شبکه عصبی فعال در این نوع از یادگیری را شناسایی کرد. افزون‌براین می‌توان تغییرات و پلاستیسیتی سیستم‌های عصبی در اثر کسب مهارت در فعالیت‌های حرکتی در اثر تمرین را نیز بهتر شناخت. مطالعات زیادی در حیوانات و انسان نشان می‌دهد که

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

ساختارهای متعددی از مغز که سیستم‌های آناتومیکی استریاتال-قشری یا قشری-مخچه‌ای را تشکیل می‌دهند برای فراگیری و انجام مهارت‌های حرکتی و به‌دست آوردن فازهای مختلف یادگیری، ضروری هستند.[۲۶و۲۷] تحت چنین شرایطی به‌نظر می‌رسد که بین توصیف درونی (In task space) و بیرونی (Motor execution level) حرکت باید ارتباطی برقرار باشد. اهمیت این نکته در آنجا آشکار می‌گردد که در اثر بروز اختلال در سامانه مرکزی اعصاب- به‌عنوان نمونه در قشر حرکتی مغز- به‌طور معمول در توصیف شناختی حرکت و در توصیف آن در فضای بیرونی تغییری ایجاد نمی‌شود، بلکه مشکلات در سطح کنترل و اجرای فرامین کنترلی بروز می‌نماید، به‌طوری‌که تاثیر تغییرات ایجاد شده در به‌کارگیری متعارف عضلات و به‌عبارتی در وزن‌دهی سینرژی‌های عضلانی قابل مشاهده است.[۲۸] سینرژی‌های عضلانی یک الگوی همکاری از فعالیت‌های عضلانی در مجموعه مشخصی از ماهیچه‌ها را تعریف می‌نمایند، به‌طوری‌که کنترل نحوه ترکیب سینرژی‌ها امکان کنترل و انجام حرکات متفاوتی را به‌وجود می‌آورد و فرآیند کنترلی را به مراتب ساده‌تر می‌نماید. چالش اصلی در این زمینه نحوه تعیین سینرژی‌های عضلانی است. ما بر این نظر هستیم که سینرژی‌ها نه‌تنها با در نظر گرفتن فرامین کنترلی، بلکه در ارتباط با شرایط حرکت و فضای فیزیکی حرکت تعریف می‌شوند و بنابراین به‌نظر می‌رسد که بین توصیف حرکت در دو فضای عمل و اجرا، باید ارتباطی برقرار باشد. یکی از اهداف ما بررسی این نظریه است. اهمیت این نکته در آنجا آشکار می‌گردد که در اثر بروز اختلال در سامانه مرکزی اعصاب به‌طور معمول در توصیف شناختی و فضای عمل تغییری ایجاد نمی‌شود، بلکه عدم توانایی در انجام کار، کمابیش در سطح کنترل و اجرای فرامین کنترلی بروز می‌نماید، به‌طوری‌که تاثیر تغییرات ایجاد شده در به‌کارگیری نامتعارف عضلات و وزن‌دهی سینرژی‌های عضلانی قابل مشاهده است.

Overduin و همکارانش به بررسی نحوه مدولاسیون سینرژی‌های عضلانی در اجرای حرکت گرفتن دست پرداختند. آن‌ها اعلام داشتند با توجه به اینکه سینرژی‌های عضلانی در واقع نوعی الگوهای از پیش تعیین شده و تغییرناپذیر از فعالیت عضلات در بین ماهیچه‌ها فراهم می‌کنند، می‌توان از سینرژی‌ها به‌عنوان واحدهایی که با ترکیب خطی آن‌ها با در نظر گرفتن ضرایب زمانی و وزنی مناسب آرایه‌های وسیعی از الگوهای عضلانی را شکل داد، استفاده کرد. بنابراین چنانچه بتوان نحوه به‌کارگیری و کنترل سینرژی‌های عضلانی را در ارتباط با فضای حرکت و نوع آن تحلیل نمود، ممکن است بتوان معیاری کمی تعریف کرد تا با کمک آن در آینده به ارزیابی نحوه عملکرد سامانه مرکزی اعصاب پرداخت، و با اجرای تمرین‌های "مناسب" سرعت یادگیری حرکتی را افزایش داد. ازآنجاکه تمامی فرآیندهای یادگیری در ارتباط با پلاستیسیته مدارهای نورونی هستند.[۲۹] Cheung و همکاراش به مقایسه سینرژی افراد سالم و افراد دچار ضایعه سکته مغزی در حرکات رسنده دست پرداختند و نشان دادند چون سینرژی‌ها مربوط به نخاع هستند، در طی آسیب مغزی تغییری نکرده و ناتوانی فرد در اجرای حرکات، مربوط به ضریب تحریک نادرست سینرژی‌هاست. این نتیجه‌گیری گام بسیار بزرگی در جهت‌دهی و سرعت‌بخشی به توانبخشی بیماران دچار آسیب مغزی است.[۳۰] با استفاده از سینرژی‌های ثابت در طول توانبخشی، می‌توان ضرایب آسیب‌دیده را تشخیص داد و استراتژی‌های توانبخشی را در راستای اصلاح آن‌ها جهت‌دهی کرد.

Safavynia و همکارانش از سینرژی به‌عنوان معیاری جهت ارزیابی عملکرد موتوری سامانه عصبی در بدن انسان نام بردند. آن‌ها بر این امر تاکید داشتند که در واقع تحلیل سینرژی عضلانی در بیماران و حتی افراد سالم می‌تواند میزان صحت عملکرد را نه‌تنها در مختصات بیرونی و عملکرد اندام‌ها بلکه در فرآیند به‌کارگیری سینرژی‌های عضلانی در سامانه عصبی در بدن انسان ارایه نماید.[۳۱] Byadarhaly و همکارانش با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه کنترل حرکت در انسان و حیوانات به این نتیجه رسیدند که بهره‌گیری از ترکیب سینرژی‌ها به‌عنوان ماژول‌های کنترلی، نسبت به روش‌های استاندارد کنترل فیدبک برپایه تعقیب پیوسته و مستمر مسیر مطلوب بسیار مناسب‌تر به‌نظر می‌رسد.[۳۲]

d'Avella و همکارانش به بررسی تاثیر سینرژی‌های عضلانی در حرکت دست انسان در هشت جهت مختلف و تاثیر پلاستیسیته مغزی پرداختند. در این پژوهش اثر تغییرپذیری با زمان و هچنین سرعت حرکت در سینرژی‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. بدین‌ترتیب نشان دادند که چنانچه بتوان نحوه به‌کارگیری و کنترل سینرژی‌های عضلانی را در ارتباط با فضای حرکت و نوع آن تحلیل نمود ممکن است بتوان در آینده به ارزیابی نحوه عملکرد سامانه مرکزی اعصاب پرداخت، و با اجرای تمرین‌های "مناسب" سرعت

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

یادگیری حرکتی را در افراد بیمار (به‌عنوان نمونه بیماران پس از سکته مغزی) افزایش داد که این امر به خاصیت نوروپلاستیسیتی در مغز مربوط می‌باشد.[۳۳]

آن‌گونه که از بررسی‌های انجام‌شده مشخص می‌گردد با افزایش میزان بازیابی حرکتی، وسعت نواحی فعال کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که پس از سکته، نواحی گسترده‌ای از مغز در اثر یک فعالیت حرکتی فعال می‌شوند که گستردگی این نواحی با گذشت زمان و افزایش میزان بازیابی کاهش می‌یابد. شایان ذکر است که در هیچ‌کدام از افراد گروه کنترل، هیچ‌گونه افزایش یا کاهش خطی در میزان فعالیت نواحی مغز در اثر فعالیت حرکتی دیده نشده است.[۲۹]

بحث

تغییرناپذیری سینرژی عضلات در اثر سکته مغزی از نکات مهمی است که باید در توانبخشی این بیماران مدنظر قرار گیرد. یکی از فاکتورهایی که باعث افزایش پیچیدگی فعالیت‌های موتوری پایین رونده می‌شود این است که نواحی موتوری قشر مغز بایستی فعالیت تعداد زیادی از عضلات با هزاران واحد حرکتی در اعضای بدن را برای ساده‌ترین حرکات نیز جهت‌دهی کنند. به‌احتمال سیستم اعصاب مرکزی با استراتژی‌های کنترل حرکت، با این پیچیدگی‌ها مقابله می‌کند. بدین‌صورت که بر پیچیدگی‌های کنترل حرکتی به‌کمک ترکیب خطی از سینرژی‌های حرکتی که هرکدام یک گروه از عضلات را فعال می‌کنند، غلبه می‌کند.

Cheung و همکارانش به بررسی این فرضیه پرداخته‌اند که سینرژی‌های عضلات توسط شبکه‌های عصبی نخاع یا ساقه‌ی مغز تعیین می‌شوند و قشر حرکتی مغز وظیفه‌ی انتخاب و فعال‌سازی آن‌ها را دارد[۳۰] برای پاسخ به این سؤال، ثبت‌هایی از عضلات بیماران دچار سکته مغزی با ضایعه در لوب پیشانی که فعالیت‌های حرکتی آن‌ها را دچار اختلال جدی کرده است، گرفته شد. بدین‌منظور سیگنال‌های عضله بازو و شانه‌ی هر دو دست هشت بیمار دچار سکته مغزی که دارای ضایعه‌های محدود و در برخی موارد شدید در قسمت لوب پیشانی هستند، به‌همراه شش فرد سالم به‌عنوان گروه کنترل، ثبت گردید. مشاهدات نشان می‌دهد که در بیشتر بیماران سینرژی‌های عضلات مربوط به بازویی که تحت تأثیر سکته قرار گرفته است و بازوی سالم شباهت بسیار زیادی دارد. ولی با وجود اینکه شباهت زیادی بین سینرژی‌های دو بازو در افراد بیمار وجود دارد ولی سیگنال‌های ثبت‌شده از دو بازو تفاوت زیادی با یکدیگر دارند که این تفاوت بیانگر ناتوانایی‌های حرکتی مربوط به بازویی که تحت تأثیر سکته مغزی قرار گرفته است. همچنین چنانچه سینرژی‌های به‌دست‌آمده برای افراد بیمار و افراد سالم را با یکدیگر مقایسه کنیم مشاهده می‌شود که سازگاری زیادی بین آن‌ها وجود دارد. این نتایج بیان می‌کند که ساختار این سینرژی‌ها به احتمال زیاد توسط مدارات واسطه‌ی عصبی مربوط به نخاع و یا نورون‌های داخل هسته‌ی ساقه‌ی مغز ایجاد شده است، از طرف دیگر همان‌طور که از نتایج بر می‌آید آسیب‌های ناشی از سکته با ایجاد تداخل در نحوه‌ی فعال‌سازی سینرژی‌ها باعث ناتوانایی‌های حرکتی می‌شود. با توجه به این مطلب برای بازتوانی افراد دچار سکته مغزی می‌توان بر روی سینرژی‌های عضلاتی که الگوی فعالیت آن‌ها پس از سکته دچار تغییر شده است، تمرکز کرد.

به‌طور خلاصه کنترل پیمانه‌ای یا ماژولار یکی از فرضیه‌های جذاب در عرصه علم کنترل حرکت می‌باشد. در این فرضیه تعدادی پایه حرکتی (موتوری) به‌عنوان واحد سازنده در نظر گرفته می‌شوند و مجموعه حرکات متنوع حاصل ترکیب متفاوت این واحدهای حرکتی است. ماژول‌های حرکتی یک چارچوب قدرتمند برای برطرف کردن محدودیت‌های فعلی در توسعه درمان‌های موثر توانبخشی فردی مهیا می‌کنند. ماژول‌های استخراج‌شده در افراد مختلف و برحسب نوع ضایعه نورولوژیک متفاوت است و ماژول‌های حرکتی با توجه به تعداد و الگوی هم‌افزایی عضلات در یک فرآیند انطباق پیکربندی شده‌اند. پس از آسیب عصبی این ماژول‌ها یا همان سینرژی‌های عضلانی و ضرایب استخدام آن‌ها تغییر می‌کند. اگر آسیب قشر مغز بر روی استخدام و ترکیب سینرژی‌های ساختار یافته در ناحیه قشر مغز اثر منفی گذاشته باشد، با ارایه فیدبک از عملکرد نادرست ضرایب فعال‌سازی سینرژی‌ها می‌توان زمان بازیابی پس از اختلالات مختلف را در این‌گونه موارد کاهش داد. چگونگی مواجهه سامانه مرکزی اعصاب با پیچیدگی کنترل حرکات پایدار و منعطف هنوز به‌طور کامل روشن نشده است. در حال حاضر تلاش برای به حداکثر رساندن میزان تغییرات نوروپلاستیسیته قشر مغز برای ارایه بیشترین

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

پتانسیل جهت رسیدن به موفقیت بیشتر در درمان‌های توانبخشی به‌دنبال اختلالات عصبی است. شواهد خوبی از مطالعات اخیر وجود دارد که نشان می‌دهد استفاده از مدولاسیون غیرتهاجمی قشر مغز می‌تواند تاثیر ماندگاری بر پلاستیسیته قشر مغز داشته باشد. مطالعات متعددی نشان می‌دهد که این تکنیک‌ها می‌توانند یک روش درمانی جدید در انواع اختلالات عصبی باشند و می‌توان از آن‌ها به‌عنوان یک استراتژی نوظهور در توانبخشی اعصاب با افزایش نوروپلاستیسیتی استفاده شود. اگرچه آنچه در این مقاله بحث شد تنها یک جنبه از فرآیندهای کنترل نوروموتور را بیان می‌کند لیکن تحلیل بازیابی عصبی حرکتی اولین گام ارزشمند برای آنالیز الگوهای حرکتی به‌طور کلی است. مطالعات بیشتری در زمینه مکانیزم‌های ناشناخته ماژول‌های حرکتی باید انجام گیرد تا به چگونگی مراحلی که ماژول‌های حرکتی توسط ساختارهای خاص عصبی و نیز تعاملات نورومکانیک منتقل می‌شوند پاسخ داده شود.

References

1. Dayan E, Cohen LG. Neuroplasticity subserving motor skill learning. *Neuron* 2011;72(3):443-54.
2. Dimyan MA, Cohen LG. Neuroplasticity in the context of motor rehabilitation after stroke. *Nat Rev Neurol* 2011;7(2):76-85.
3. Xu Y, Hou QH, Russell SD, Bennett BC, Sellers AJ, Lin Q, et al. Neuroplasticity in post-stroke gait recovery and noninvasive brain stimulation. *Neural Regen Res* 2015;10(12):2072-80.
4. Vallence AM, Kurylowicz L, Ridding MC. A comparison of neuroplastic responses to non-invasive brain stimulation protocols and motor learning in healthy adults. *Neurosci Lett* 2013;549:151-6.
5. Hallett M. Neuroplasticity and rehabilitation. *J Rehabil Res Dev* 2005;42(4):xvii-xxii.
6. Krakauer JW. Arm function after stroke: from physiology to recovery. *Semin Neurol* 2005;25(4):384-95.
7. Page SJ, Szaflarski JP, Eliassen JC, Pan H, Cramer SC. Cortical plasticity following motor skill learning during mental practice in stroke. *Neurorehabil Neural Repair* 2009;23(4):382-8.
8. Murphy TH, Corbett D. Plasticity during stroke recovery: from synapse to behaviour. *Nat Rev Neurosci* 2009;10(12):861-72.
9. Takeuchi N, Izumi S. Rehabilitation with poststroke motor recovery: a review with a focus on neural plasticity. *Stroke Res Treat* 2013;2013:128641.
10. Langhorne P, Bernhardt J, Kwakkel G. Stroke rehabilitation. *Lancet* 2011;377(9778):1693-702.
11. Arya KN, Pandian S, Verma R, Garg RK. Movement therapy induced neural reorganization and motor recovery in stroke: a review. *J Bodyw Mov Ther* 2011;15(4):528-37.
12. Langhorne P, Bernhardt J, Kwakkel G. Stroke rehabilitation. *Lancet* 2011;377(9778):1693-702.
13. Casadio M, Tamagnone I, Summa S, Sanguineti V. Neuromotor recovery from stroke: computational models at central, functional, and muscle synergy level. *Front Comput Neurosci* 2013;7:97.
14. Winstein C, Lewthwaite R, Blanton SR, Wolf LB, Wishart L. Infusing motor learning research into neurorehabilitation practice: a historical perspective with case exemplar from the accelerated skill acquisition program. *J Neurol Phys Ther* 2014;38(3):190-200.
15. Blicher JU, Near J, Næss-Schmidt E, Østergaard L, Johansen-Berg H, Stagg CJ, et al. Neuroplasticity in constraint-induced movement therapy. In: Jenson W, Andersen O, Akay O, editors. Replace, Repair, Restore, Relieve-Bridging Clinical and Engineering Solutions in Neurorehabilitation. Cham, Berlin: Springer; 2014. P. 23-4.
16. Salatino A, Berra E, Troni W, Sacco K, Cauda F, D'Agata F, et al. Behavioral and neuroplastic effects of low-frequency rTMS of the unaffected hemisphere in a chronic stroke patient: a concomitant TMS and fMRI study. *Neurocase* 2014;20(6):615-26.
17. Pons JL. Rehabilitation exoskeletal robotics. The promise of an emerging field. *IEEE Eng Med Biol Mag* 2010;29(3):57-63.
18. Massie CL, Kantak SS, Narayanan P, Wittenberg GF. Timing of motor cortical stimulation during planar robotic training differentially impacts neuroplasticity in older adults. *Clin Neurophysiol* 2015;126(5):1024-32.
19. Comani S, Schinaia L, Tamburro G, Velluto L, Sorbi S, Conforto S, et al. Assessing neuro-motor recovery in a stroke survivor with high-resolution EEG, robotics and virtual reality. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2015;2015:3925-8.
20. Blank AA, French JA, Pehlivan AU, O'Malley MK. Current trends in robot-assisted upper-limb stroke rehabilitation: promoting patient engagement in therapy. *Curr Phys Med Rehabil Rep* 2014;2(3):184-195.
21. Peri E, Ambrosini E, Pedrocchi A, Ferrigno G, Nava C, Longoni V, et al. Can fes-augmented active cycling training improve locomotion in post-acute elderly stroke patients? *Eur J Transl Myol* 2016;26(3):6063.
22. Gachet Páez D, Aparicio F, de Buenaga M, Padrón V. Personalized health care system with virtual reality rehabilitation and appropriate information for seniors. *Sensors (Basel)* 2012;12(5):5502-16.
23. Kiper P, Piron L, Turolla A, Stożek J, Tonin P. The effectiveness of reinforced feedback in virtual environment in the first 12 months after stroke. *Neurol Neurochir Pol* 2011;45(5):436-44.
24. Turolla A, Dam M, Ventura L, Tonin P, Agostini M, Zucconi C, et al. Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial. *J Neuroeng Rehabil* 2013;10:85.
25. Caraiman S, Stan A, Botezatu N, Herghelegiu P, Lupu RG, Moldoveanu A. Architectural design of a real-time augmented feedback system for neuromotor rehabilitation. In: Control Systems and Computer Science (CSCS). Bucharest, Romania: 20th International Conference; 2015. P. 850-55.
26. Moldoveanu A, Moldoveanu F. 3D visualization in IT systems used for post stroke recovery: rehabilitation based on virtual reality. In: Control Systems and Computer Science (CSCS). Bucharest, Romania: 20th International Conference; 2015. P. 850-62.
27. Caroni P, Donato F, Muller D. Structural plasticity upon learning: regulation and functions. *Nat Rev Neurosci* 2012;13(7):478-90.
28. Doyon J, Benali H. Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Curr Opin Neurobiol* 2005;15(2):161-7.
29. Overduin SA, d'Avella A, Carmena JM, Bizzi E. Microstimulation activates a handful of muscle synergies. *Neuron* 2012;76(6):1071-7.
30. Cheung VC, Piron L, Agostini M, Silvoni S, Turolla A, Bizzi E. Stability of muscle synergies for voluntary actions after cortical stroke in humans. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2009;106(46):19563-8.

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

31. Safavynia SA, Torres-Oviedo G, Ting LH. Muscle synergies: implications for clinical evaluation and rehabilitation of movement. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2011;17(1):16-24.
32. Byadarhaly KV, Perdoor MC, Minai AA. Synergistic organization of action: a computational model. In: The International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). San Jose, California, USA: IJCNN; 2011. P. 2961-8.
33. d'Avella A, Giese M, Ivanenko YP, Schack T, Flash T. Editorial: Modularity in motor control: from muscle synergies to cognitive action representation. *Front Comput Neurosci* 2015;9:126.

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]

TUMJ Tehran University Medical Journal, October 2019; Vol. 77, No. 7: 415-422 Original Article

Neuroplasticity and neuromotor synergies in context of rehabilitation after stroke: a systematic review

Fariba Yadolahi M.D., Ph.D.[1*]
Masoud Mehrpour M.D.[2]

1- Department of Physiotherapy, School of Rehabilitation, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
2- Department of Neurology, Faculty of Medicine, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

[*] Corresponding author: Department of Physiotherapy, Faculty of Rehabilitation, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Across Bu Ali Hospital, Damavand St., Tehran, Iran.
Tel: +98 21 77699000
E-mail: fariba.yadolahi@sbmu.ac.ir

Abstract

Received: 23 Apr. 2019 Revised: 30 Apr. 2019 Accepted: 12 Oct. 2019 Available online: 22 Oct. 2019

Background: Alterations of neuroplasticity and cortical excitability are important pathophysiological factors in stroke. Modulation of the neuroplasticity has been proposed as an underlying mechanism of recovery in different neurological disorders. But it is not still clear how the CNS faces the complexity of muscle control. Neuroplastic processes may be used for the functional improvement of stroke, in particular for improving cortical functions. Neuromotor synergies is one of the most attractive hypotheses in motor control. Emerging evidence suggests that rehabilitation efforts that challenge to maximize the extent of neuroplastic changes can provide the greatest potential for rehabilitation success. A better understanding of the basic mechanisms of neuroplasticity will guide advances in neural repair and rehabilitation. Resolving the relationship of neural plasticity and individual field differences and may also have important clinical utility in developing appropriate neurorehabilitation outcomes and recovery. The objective of the present study was to review evidence of the effect of neuroplasticity on neuromotor synergies in healthy and stroke individuals on rehabilitation programs.

Methods: In the present systematic review study, we investigated the neuroplasticity interventions in stroke individuals. Articles published between January 2005 and January 2017 were reviewed. We searched for five keywords (neuroplasticity, motor learning, muscle synergy, rehabilitation, and stroke) using ProQuest, PubMed, Web of Science, and Google Scholar.

Results: After initial screening and deleting irrelevant studies, 41 studies were chosen for the analysis. Studies were assessed and analyzed methodologically. Proper interventions were selected according to the least error criteria and outcome. Using a targeted selection approach. During the review process, eight articles were selected as the main articles for the review.

Conclusion: Considering the results of the current study, it seems that the neuroplasticity affects the domain of rehabilitation and muscle synergy in individuals with stroke and provides a desirable environment for plasticity-based intervention aimed at motor learning in this population. Large studies with long follow-ups are needed to explain the beneficial effects of neuroplasticity based training combined with rehabilitation protocols.

Keywords: motor control, neuroplasticity, neurorehabilitation, stroke, synergy.

[Downloaded from tumj.tums.ac.ir on 2024-10-19]