

بررسی تأثیر سن بر کارکرد مخچه و عملکرد شناختی رفتاری در افراد مسن

سودابه زلفی^۱، محمد اژدرلو^۲، احمد اژدرلو^۳

چکیده

مقدمه: نقش مخچه در کاهش فعالیت‌ها و عملکرد شناختی و رفتاری افراد مسن بسیار مهم است و تحقیقات کمی در این زمینه انجام شده است. عملکرد مختلف مخچه در ساختمان مغزی افراد پیر بسیار حائز اهمیت است. بنابراین هدف از انجام این مطالعه بررسی تأثیر سن بر کارکرد مخچه و عملکرد شناختی رفتاری در افراد مسن بود.

روش پژوهش: تا به امروز شواهد نشان دادند که تفاوت مورفولوژیکی بین مخچه افراد وجود دارد که به مرور زمان و با بالا رفتن سن افراد، رفتارهای شناختی و حرکتی آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مورفولوژی مخچه برای پیش‌بینی عملکردها و انجام وظایف، بهتر از قشر پیشین مغز می‌باشد. برای تحلیل تحقیقات خود، از تحلیل اتصال‌های سلولی مغز و تصویربرداری رشته‌های عصبی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مخچه نقش بسیار مهمی را در کاهش عملکرد افراد پیر ایفا می‌کند. در تحقیق از چارچوب ادراکی برای تحت تأثیر قرار دادن نقش مخچه در عملکرد افراد استفاده شد و مدل داخلی مورد توجه قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: شواهد نشان دادند که مخچه تحت تأثیر سن افراد قرار گرفته و تحقیقات بیشتری باید در این زمینه انجام شوند تا بتوانند نقش مخچه را در عملکرد کنترل حرکتی و شناختی در سنین مختلف مشخص کنند.

واژگان کلیدی: رفتاری، سن، عملکرد شناختی - مخچه

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۹/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۷

استناد: زلفی سودابه، اژدرلو محمد، اژدرلو احمد. بررسی تأثیر سن بر کارکرد مخچه و عملکرد شناختی رفتاری در افراد مسن، خانواده و بهداشت، ۱۴۰۱؛

۱۲(۲): ۲۱۷-۲۳۲

^۱ - کارشناسی ارشد روانشناسی مثبت گرا، دانشگاه پیام نور، بروجرد، ایران. rozese fid1611@gmail.com

^۲ - (نویسنده مسئول)، کارشناسی ارشد روانشناسی عمومی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مرودشت، مرودشت، ایران. m.azhdarlo98@gmail.com

^۳ - کارشناسی ارشد روانشناسی بالینی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزآباد، فیروزآباد، ایران. ajdarlooahmad@gmail.com

مقدمه:

انجام فعالیت‌های روزانه به تغییر رفتارهای شناختی و حرکتی بستگی دارد. به طور مثال زمانی که شما به یک خواروبار فروشی می‌روید تا دنبال مواد غذایی مورد نظر برای شام باشید، اول باید در مغازه دوری بزنید و یک سری کارها برای پیدا کردن آن ماده غذایی انجام داده تا دقیقاً محل مورد نظر را پیدا کرده و از ذهن خود مطمئن شوید که اینجا دقیقاً ماده غذایی مورد نظر را به شما می‌دهد. البته این نوع کنش‌های رفتاری حرکتی و شناختی به مرور زمان و در دوره پیری کاهش می‌یابند. با بالا رفتن سن افراد، درک عواملی که به کنش‌ها و عملکردهای سنی مربوط هستند و به عنوان مقیاس واسطه و بازدارنده مد نظر قرار می‌گیرند، کاهش می‌یابد. این تکامل تا به امروز به کاهش درک این نوع عملکردها ارتباط داشته و اکثر تحقیقات بیشتر بر روی قشر مخ تأکید دارند. هرچند که شواهد گردآوری شده از نقش مخچه در رفتارهای حرکتی و شناختی حمایت می‌کنند (۱).

تحقیقات در این زمینه روند پیری را مد نظر قرار می‌دهند. ما با توجه به عملکردها و کنش‌های مختلف در سنین پیری، در قسمت ادبیات، نگاهی به ساختار قشری و کار آن می‌اندازیم. ما در قسمت مروری بر ادبیات، نقش مخچه را در سنین مختلف مدنظر قرار خواهیم داد. بیشتر تحقیقات ما بر روی مقایسه مقطعی مورفولوژی تأکید دارد و ما به طور خلاصه، تحقیق تصویر رزونانس مغناطیسی (fMRI) را بررسی کرده و از وضعیت استراحت MRI استفاده می‌کنیم. قسمت ادبیات از نقش مخچه در کاهش عملکردهای حرکتی و شناختی هنگام پیری حمایت می‌کند. شاید علت این امر، تحلیل مدل‌های داخلی رفتارهای شناختی و حرکتی می‌باشد. ما در قسمت آخر، بر روی اهداف بالقوه تحقیقات در آینده بحث خواهیم کرد و توجه خود را به سمت مخچه در جهت کاهش عملکرد آن در سنین پیری معطوف می‌کنیم.

عملکرد شناختی و حرکتی و پیری: حافظه کاری، سرعت پردازش، پردازش فضایی و حافظه درازمدت افراد میان سال در دامنه‌های مختلف با برودت سن، کاهش می‌یابد و همچنین دانش آن‌ها مثل دانش واژگانی ثابت خواهد ماند (۲). تغییر کنش‌های عصبی نیز در این سنین ایجاد می‌شود (۲). تحقیقات نشان می‌دهند که مغز سعی می‌کند تا عملکردها و کنش‌ها را حفظ کند. منابع اضافی راجع به قشر مغز پیشین در تحقیقات ما باید این کمبود را جبران کنند. البته این نارسایی عصبی در سنین جوانی اتفاق نمی‌افتد و این افراد مسن هستند که دچار نارسایی در این نوع عملکردها و کنش‌ها می‌شوند (۳). بالواقع فعالیت بیش از حد افراد در سنین پیری می‌تواند جلوی این عامل را بگیرد. در نتیجه، انجام وظایف شناختی، فعال‌سازی ناحیه‌ای از مغز در این سنین بهتر خواهد شد. (۴) ریوتر (۲۰۰۰) بر روی فعالیت دو طرفه مغز پیشین، هنگام انجام وظایف شناختی، کنش کلامی و وظیفه حافظه فضایی در افراد پیرتر کار کرد. تحقیقات نشان دادند که اینگونه الگوهای فعالیتی باعث ایجاد عدم تقارن در ناحیه نیمکره در افراد مسن می‌شود (۵). از این رو این الگو در تحقیقات، بسیار مورد بررسی قرار گرفته و تحقیقات نشان می‌دهند که بررسی وظایف شناختی در فعال‌سازی این الگوهای دو طرفه بین افراد جوان و مسن، کار بسیار سختی است (۲،۴).

همچنین سیدلر در تحقیق خود، نارسایی حرکتی را در افراد می‌انسال مورد بررسی قرار داد. بوهان (۱۹۸۴)، هولویالا (۲۰۱۰) در تحقیق خود، به کاهش فعالیت‌های حرکتی، کاهش وظایف یادگیری حرکتی هنگام سنین پیری اشاره کردند. البته این نوع عملکردها در این سنین کاملاً طبیعی بوده و یک سری تفاوت بین کارهای عصبی هنگام انجام وظایف حرکتی وجود دارد.

ماتی و همکاران با استفاده از روش button-pressing، نشان دادند که فعال‌سازی زیادی در قشر حرکتی همانند مخچه برای افراد بزرگسال وجود دارد (۶). به همین نحو ناکارتو (۲۰۰۶) با استفاده از روش انگشت finger-thumb، نشان داد که فعال‌سازی قشر حرکتی با روند سنی کاهش می‌یابد. اخیراً کارپ (۲۰۱۱) در تحقیقات خود از تحلیل چندگانه برای تجزیه و تحلیل وظایف حرکتی در افراد جوان و پیر استفاده کرد و نتیجه گرفت که فعالیت قشر حرکتی و مخچه بین آن‌ها متفاوت بوده و در افراد می‌انسال، کاهش می‌یابد. برنارد (۲۰۱۲) با استفاده از شبیه‌سازی مغناطیسی تغییر شکل جمجمه، بر روی فعالیت قشر حرکتی در افراد بزرگسال کار کرد.

هیونینچکسی (۲۰۰۸) بر روی فعالیت دو طرفه قشر حرکتی هنگام انجام وظایف حرکتی در افراد بزرگسال کار کرد و به این نتیجه رسید که این افراد به ناحیه اضافی از مغز پیشین نیاز دارند. بالواقع عملکرد حرکتی همانند جابجایی دست‌ها و حرکت پا، با میزان فعالیت مغز پیشین در افراد بزرگسال مرتبط است. (۷). آن‌ها در تحقیقات خود نشان دادند که افراد بزرگسال برای انجام کارهای حرکتی به منابع شناختی بیشتری نیاز دارند.

روی هم رفته، ما در قسمت ادبیات شواهد مربوط به فعالیت‌های حرکتی و شناختی و کاهش آن‌ها را در سنین پیری را گردآوری کردیم. تحقیق راجع به این نوع کاهش‌های عصبی، شدیداً بر روی قشر مغزی تاکید دارند. خواننده با خواندن قسمت ادبیات و مقالات مربوطه می‌تواند دانش کافی راجع به این نوع فعالیت‌ها کسب کند. تحقیقات قبلی بر روی تفاوت سنی در قشر مغزی تاکید داشتند و درک ذهنی و مغزی افراد می‌انسال را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که مخچه، نقش بسیار مهمی را در بالارفتن سن افراد ایفا می‌کند (۸). اکثر تحقیقات بر روی مورفولوژی مخچه تاکید داشته و شواهد برگرفته شده از fMRI و fMRI به نقش بسیار مهم مخچه با توجه به کاهش فعالیت‌های حرکتی و شناختی در سنین پیری اشاره کردند.

مورفولوژی مخچه در افراد پیر: همان طور که در بالا اشاره کردیم، اکثر تحقیقات بر روی نقش مخچه در سنین پیری تاکید دارند. ما در قسمت ادبیات، از چندین رویکرد استفاده می‌کنیم. این رویکردها شامل تحقیقات استریولوژیکی انجام شده بر روی مغز پسین، روش تصویربرداری عصبی برای محاسبه حجم ناحیه دست، تحقیقات چندگانه مورفولوژی (VBM) و تصویربرداری پراکندگی تانسور (DTI) می‌باشند که بر روی قشر کاملاً سفید مغز تاکید دارند. یافته‌های برگرفته شده از این تحقیقات یکسان بوده و نشان دادند که اندازه مخچه و قسمت کاملاً سفید رنگ در افراد پیر کوچک می‌شود. این نوع تحقیقات به طور جزئی در قسمت زیر توضیح داده خواهند شد.

استریولوژی: تحقیقات استریولوژی بر روی انواع سلول در مغز پسین تاکید داشته و روش تحقیقی، تصویربرداری عصبی ^۱vivo می‌باشد. ما با بررسی تحقیقات، می‌توانیم تفاوت قشر مخچه را درک کنیم. به طور مثال اندرسون (۲۰۰۳) در تحقیقات خود نشان داد که اندازه سلول‌های پیشین (قدامی) و در نتیجه اندازه ناحیه سفید در افراد می‌انسال کوچک‌تر است و سلول‌های Granular و Purkinje در مخچه پیشین آن‌ها قرار گرفته است. اخیراً روش‌های مشابه به تفاوت در اندازه مخچه در مغز بیماران آلزایمری و افراد سالم در سنین پیری اشاره کردند. تحقیقات نشان دادند که هیچ تفاوتی در سلول Granular و Purkinje در بین آن‌ها وجود ندارد. آخرین یافته‌ها به تأثیر سن بر روی بیماری‌های مخچه‌ای اشاره داشته که باید بیشتر مورد بررسی قرار گیرند.

تحقیقات استریولوژیکی در مخچه موش‌های پیر انجام شد. تأثیر سن هم بر روی هیپوکامپوس و هم مخچه در بین موش‌های ۴ تا ۲۴ ماهه مشاهده شد (۹). همچنین اندازه سلول‌های Purkinje در مخچه نیز با بالارفتن سن کوچک شدند. اما تعداد سلول‌های هرمی در بین آن‌ها، ثابت بود. به علاوه هم وظایف مخچه‌ای (همانند چشمک زدن) و هیپوکامپوس (همانند ترس در شرایط مختلف) نیز در میان موش‌ها مورد تحقیق و بررسی قرار گرفتند. موش‌های ۲۴ ماهه، هنگام چشمک زدن بدترین عملکرد را داشته، اما سن، هیچ تأثیری بر روی ناحیه هیپوکامپوس آن‌ها هنگام ترس از شرایط نداشت (۹). روی هم رفته تحقیقات استریولوژیکی انجام شده بر روی انسان و حیوان نشان دادند که تعداد سلول‌های مخچه با بالارفتن سن، کاهش یافته و حجم مخچه نیز بین آن‌ها کوچک می‌شود. **اندازه مخچه:** شاه (۱۹۹۱) اندازه مخچه را در سنین مختلف مورد تحقیق و بررسی قرار داد. قسمت ادبیات از این ایده حمایت می‌کند که اندازه مخچه در افراد می‌انسال کوچک‌تر از افراد جوان است. ما در قسمت ادبیات، در ابتدا یک نگاه کلی به مخچه انداخته و سپس ورمیس مخچه‌ای و یا نیمکره مخچه‌ای و بعد از آن، تغییر نواحی مخچه را در سنین مختلف مورد توجه و بررسی قرار خواهیم داد. تکنیک‌های استریولوژیکی همانند روش‌های قبلی که بر روی موش‌ها انجام دادیم، نیز برای انسان مورد استفاده قرار گرفتند.

^۱. تصویربرداری از بافت‌های زنده

توانگی تحقیقات طولی بر روی اندازه مغز، قشر مخچه، بطن مغز انجام داد. او در تحقیق خود از اسکن‌های جداگانه برای هریک از نمونه‌ها استفاده کردیم تا ناحیه مغزی و اندازه آن را تعیین کنیم. ما در تحقیقات خود مشاهده کردیم که اندازه مخچه با بالا رفتن سن، ۱.۲٪ کاهش می‌یابد. (۱۰).

حجم کلی مخچه با استفاده از اصول خودکار مورد بررسی قرار گرفته و چندین تحقیق نشان دادند که اندازه مخچه با بالا رفتن سن، کاهش می‌یابد. نکته جالب توجه اینجاست که اندازه مخچه رابطه مستقیم با سن ندارد. اندازه مخچه با بالا رفتن سن افراد، کاهش می‌یابد (۱۱). در مقایسه با ناحیه مغز، مخچه رابطه منفی با سن و رابطه مثبت با هیپوکامپس دارد (۱۲). در هر دو مورد، ماده سفید رنگ مخچه بزرگتر از ناحیه خاکستری رنگ می‌باشد. تحقیقات نشان دادند که ناحیه سفید رنگ، اندازه مخچه را در سنین مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. هوگندام و همکاران به این نکته اشاره کردند که عوامل فیزیولوژیکی می‌توانند بر روی نواحی مختلف مغز تأثیر گذارند. شاه و همکاران (۱۹۹۱) با استفاده از MRI داخل جمجمه افراد بین ۲۶ تا ۷۹ سال، به رابطه منفی بین سن و اندازه ورمیس مخچه اشاره کردند. تحقیقات دیگر نیز این نتایج را تأیید کرده و به این نتیجه رسیدند که اندازه ورمیس مخچه در افراد بزرگسال کوچک‌تر می‌شود (۱۳). همچنین تحقیقات نشان دادند که لوب‌های ورمیس VI و VII همانند VII-X نسبت به تأثیر سن بسیار تأثیرگذار می‌باشند. تفاوت سن در اندازه مخچه مورد بررسی قرار گرفته است. (۱۴).

اندازه نیمکره مخچه در میان افراد بسیار متفاوت است. دو تحقیق در نمونه‌های مقطعی انجام شدند که افراد میان سال را مورد توجه قرار دادند. راز (۲۰۰۱) به کاهش اندازه نیمکره مخچه در افراد بزرگسال اشاره کرد. تحقیقات نشان دادند که قشر مخچه بسیار تحت تأثیر سن قرار می‌گیرد (۱۵).

به علاوه تحقیقاتی که از روش‌های خودکار استفاده کردند (۱۶) و یا روش دستی (۱۵)، تراکم بخش خاکستری (ماده سفید) را مورد بررسی و حجم آن را مورد ارزیابی قرار دادند. VBM روش نسبتاً خودکاری است که ناحیه خاکستری مغز را مورد بررسی قرار داده و تراکم آن را در نواحی خاص (در سطح سه بعدی) در افراد مختلف ارزیابی می‌کند. VBM در تحلیل کل مغز نشان داد که ماده خاکستری در مخچه سن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. لوب پسین در مخچه بالاخص Crus I و Crus II تحت تأثیر سن قرار می‌گیرد (۱۷). VBM داده‌هایی مربوط به مخچه افراد را در می‌انسانی تهیه کرد. ما در وهله اول بر روی مخچه افراد میان سال تأکید کردیم. ما در تحقیقات خود به این قضیه پی بردیم که مخچه با توجه به سن افراد، کاملاً تغییر می‌دهد. تربیلی (۲۰۱۱) دریافت که نواحی قشر پیشین همانند مخچه رابطه منفی با سن دارند و نواحی خاکستری رنگ در افراد پیر، تراکم کمتری دارد.

الکساندر (۲۰۰۶) با استفاده از VBM، به تفاوت بین نواحی مغزی اشاره کرد. شبکه ناحیه خاکستری که شامل ناحیه دوطرفه پیشین، شقیقه‌ای و تالاموسی می‌باشد و در سمت راست مخچه در نواحی Crus I و Crus II واقع شده است، رابطه مستقیم با سن دارند. نکته جالب توجه اینجاست که این نواحی بسیار شبیه به وضعیت شبکه‌های Crus I و Crus II می‌باشند و لوب آن‌ها دارای ماده سفیدی است (۱۸). نارسایی در شبکه قشر مخچه‌ای، با عملکرد شناختی رابطه دارد و با بالا رفتن سن افراد، منجر به کاهش عملکرد شناختی آن‌ها می‌شود.

سو و همکاران (۲۰۱۰) از تحلیل چندگانه MVPA برای ایجاد تمایز کوواریانس ماده خاکستری بین افراد جوان و پیر استفاده کردند. MVPA روشی است که به محققان اجازه می‌دهد تا شباهت عصبی بین گروه‌ها را تحت شرایط مختلف مورد بررسی قرار داده و بتوانند تمایز بین الگوی فعالیت مغزی و ساختار آن را ارزیابی کنند (۱۹). دو الگوی کوواریانس با استفاده از این روش می‌توانند سن افراد را طبقه‌بندی کنند. اولین ناحیه شامل ناحیه حلزونی پیشین و پسین مغزی است. در حالی که دومین ناحیه شامل مخچه، تالاموس و ناحیه حلزونی پیشین است (۲۰). نکته جالب توجه اینجاست که الگوی کوواریانس مغز می‌تواند باعث ایجاد تمایز بین ناحیه پیشین و مخچه افراد جوان از افراد مسن شود و همچنین عملکرد شناختی آن‌ها را از طریق حلقه‌های قشری-تالاموسی-مخچه‌ای مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

در نهایت تحقیقات انجام شده در زمینه تغییر در اندازه مخچه در افراد بزرگسال، منابع کمی را در بردارند. تحقیقات طولی، میزان کاهش اندازه مخچه را با بالارفتن سن، مورد تأیید قرار می‌دهند (۱۵). در طول ۵ سال، اندازه مخچه در هر زمان تغییر کرده و سنین مختلف می‌توانند بر روی اندازه آن، تأثیر گذارند. به علاوه توجه داشته باشید که اندازه مخچه هنگام تغییر سن از جوانی به بزرگسالی کاهش یافته و سپس با بالارفتن سن، بزرگ شده و اندازه مخچه و هیپوتالاموس با بالا رفتن سن کاهش می‌یابد. تغییرات ایجاد شده در اندازه مخچه‌ای با بالارفتن سن، کمتر از ۶ ماه اتفاق افتاده و آموزش‌های شناختی می‌توانند به کاهش این تغییرات کمک کنند (۱۵). علاوه بر این تحقیقات طولی VBM بر روی مغز، به کوچک شدن ماده خاکستری مخچه و همچنین کاهش کل ماده خاکستری مغز، ناحیه آهیانه و شقیقه اشاره کردند (۱۴).

اندازه ناحیه مخچه‌ای: کاملاً مشخص است که اندازه مخچه با بالارفتن سن، کوچک می‌شود. توجه داشته باشید که اکثر تحقیقات انجام شده در این زمینه، علیرغم ساختار لوبی متمایز و عملکرد متنوع ساختارها، بر روی اندازه کل مخچه و یا زیربخش‌های آن همانند ورمیس و نیمکره‌ها تأکید کردند. نقش مخچه در رفتارهای شناختی و حرکتی بسیار حائز اهمیت است (۲۱). علاوه بر این تحقیقات اخیر انجام شده بر روی نمونه‌های غیر انسانی، به تمایز شناختی و مدار حلقه‌ای مخچه‌ای-قشری اشاره کردند. این مدارهای متمایز با استفاده از fMRI در انسان مورد بررسی قرار گرفتند (۲۲). روی هم رفته این تحقیق به اهمیت تحقیق در زمینه ناحیه‌های مخچه‌ای اشاره دارد که می‌توانند خود مخچه و همچنین عملکردهای حرکتی و شناختی را برای افراد مسن تحت تأثیر قرار دهند. این تحقیق، مسئله فوق را مورد بررسی قرار می‌دهد.

همان طور که در بالا اشاره شد، روش‌های استرولوژیکی نشان دادند که لوب پیشین مخچه، تحت تأثیر عامل سن قرار می‌گیرد. لوفت (۱۹۹۹) با استفاده از تصویربرداری عصبی، بر روی افراد ۱۹ تا ۷۳ سال کار کرد. نویسندگان مخچه را به دو نیمکره جانبی و میانی تقسیم کردند که نیمکره جانبی خود به ۲ قسمت تقسیم می‌شود. به علاوه آن‌ها ورمیس را به ۳ ناحیه تقسیم کردند. کل اندازه مخچه تا سنین ۵۰ سال ثابت بوده و بعد از آن، با بالارفتن سن، کوچک می‌شود. ورمیس به شدت تحت تأثیر سن قرار گرفته و ناحیه مخچه میانی، حداقل تأثیر را از مقوله سن پذیرفته و در نهایت سن نمی‌تواند ناحیه جانبی را تحت تأثیر قرار دهد. لوفت و همکاران به کوچک شدن ناحیه جانبی مخچه به خاطر بالا رفتن سن اشاره کردند. اخیراً پل (۲۰۰۹) تفاوت سنی را در اندازه ورمیس مخچه‌ای مورد بررسی قرار داد. آن‌ها در تحقیقات خود، ورمیس را به بخش‌های مختلف تقسیم کرده و دریافتند که ناحیه پسین مخچه (لوب‌های Crus I، VI و Crus II و VIIb) به شدت تحت تأثیر سن قرار می‌گیرند. آن‌ها در تحقیقات خود، ورمیس را با دیگر نواحی جانبی مخچه مقایسه نکردند.

اخیراً ما نگاهی به رویکردهای lobular انداختیم تا تفاوت اندازه در مخچه را در سنین مختلف مورد بررسی قرار دهیم (۱۲). ما با استفاده از این روش که توسط اطلس SUIT تعریف شد، دریافتیم که اندازه مخچه با بالارفتن سن، کوچک می‌شود (۲۳). ما در تحقیقات خود دریافتیم که مخچه پیشین (قدامی) و Crus I تحت تأثیر سن قرار می‌گیرند. شواهدی برای حمایت از اندازه مخچه میانی-جانبی که تحت تأثیر سن قرار می‌گیرد، وجود ندارد. لوفت (۱۹۹۹) از روش‌هایی برای تقسیم مخچه و اندازه آن استفاده کردند. هر دو تحقیق نشان دادند که موفولوژی مخچه به شدت تحت تأثیر مقوله سن قرار می‌گیرد.

تصویربرداری از انتشار تانسور در ماده سفید مغز: تصویربرداری پراکندگی تانسور (DTI)، ساختار یکپارچه ماده سفید مغزی را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. DTI انتشار آب در آکسون‌های مغزی را اندازه‌گیری کرده و آن‌ها را به عنوان آنیستروپی فراکشنال (FA)، ضریب بخش (RD) کمیت داده که به عنوان مقیاس myelination، انتشار محوری که شاخص یکنواختی آکسونی می‌باشد، مد نظر قرار می‌گیرد. DTI در افراد بزرگسال و سالخورده، اطلاعات مهمی را راجع به مغز آن‌ها تهیه کرده و به طور کلی یکنواختی ماده سفید با بالارفتن سن، کاهش می‌یابد. (۲۴). سالیوان و پفرام به این نکته اشاره کردند که ماده سفید مغزی در سنین مختلف، از

تکوین مغز پیشین تا پسین متفاوت می‌باشد و این ماده در ناحیه پیشین مغزی بیشتر تحت تأثیر سن قرار می‌گیرد. آن‌ها به این نکته اشاره کردند که مخچه به خاطر تعامل با قشر پیشین و نقش آن در عملکرد شناختی می‌تواند باعث نارسایی عملکردی در افراد مسن شود. یافته‌ها نشان دادند که یکنواختی ماده سفید در قشر پیشین و جسم پینه‌ای، در این افراد مرتباً کاهش می‌یابد (۲۵). مهم‌تر اینکه شبکه مخچه‌ای و ماده سفید مغز افراد جوان با استفاده از DTI مورد بررسی قرار می‌گیرند (۲۳). تحقیقات اخیر بر روی اندازه ماده سفید مغز و یکنواختی ساختاری در سنین پیری کار کردند.

تحلیل اندازه ماده سفید و خاکستری مغز همانند تحلیل یکنواختی ساختمان آن، به رابطه خطی بین اندازه ماده سفید و سن در دوران پیری اشاره دارد و تحقیقات نشان می‌دهند که حجم این ماده سفید در دوران پیری کاهش می‌یابد (۲۶). هرچند که تحقیقات مقطعی نشان دادند که ماده سفید رنگ مخچه، رابطه غیر خطی با بالارفتن سن دارد. تحقیقات طولی نیز این امر را تأیید می‌کنند (۲۵). بنت (۲۰۱۰) با استفاده از DTI ثابت کرد که یکنواختی ماده سفید مخچه همانند دیگر ناحیه‌ها تحت تأثیر سن قرار گرفته و کوچک می‌شوند. محققان بحث می‌کنند که درجه این کوچکی که تحت تأثیر سن قرار گرفته، نشان می‌دهد که الگوی یکنواختی ماده سفید بسیار پیچیده‌تر از تکوین مغز پیشین و پسین می‌باشد (۲۷). در نهایت کاهش FA در سمت راست مخچه و افزایش انتشار در ماده سفید رنگ مخچه توسط آب و همکاران (۲۰۰۸) مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت.

پاگانی (۲۰۰۸) با استفاده از تکنیک سه بعدی بر روی تغییر بافت ماده سفید هنگام پیری کار کرد و به این نتیجه رسید که بین اندازه ماده سفید (که توسط DTI و FA اندازه‌گیری شده است) و سن در پایک مخی سمت چپ مخچه رابطه وجود دارد. اندازه این پایک در قسمت چپ مخچه برای افراد پیر، کوچک شده است. تفاوت سنی در تابش کورونا، فورنیکس و بافت‌های عصبی مشهود است (۲۶). دو تحقیق اخیر بر روی حرکت و راه رفتن در سنین پیری تاکید داشته که می‌توانند یکنواختی ماده سفید مخچه را تحت تأثیر قرار دهند. پایک‌های مخی، تارهای عصبی ماده سفید مخچه می‌باشند. پایک بالای مخچه، منبع خروجی اولیه مخچه به مغز میانی می‌باشد، در حالی که پایک مخچه میانی و پایین آن، با قشر مخچه و ناحیه نخاعی و دهلیزی اتصال دارد. در افراد بین سنین ۷۵ تا ۹۰ سال، هیچ علامتی از نارسایی مخچه، حرکت (راه رفتن با حداکثر سرعت، شدت راه رفتن و تعادل در نشستن) و یکنواختی ساختمان ماده سفید رنگ مخچه (نواحی بالایی، پایینی و میانی) دیده نمی‌شود (۱۷). محققان کشف کردند که در حرکت دو گروه (امتیاز بالای حرکتی در مقابل امتیاز پایین)، یکنواختی ماده سفید در پایک مخی دچار تغییر می‌شود. علاوه بر این در افراد پیر، اندازه‌گیری چندگانه یکنواختی ساختمان ماده سفید (شامل FA و RD هم در میانگین انتشار و هم انتشار محوری) در مخ، رابطه مستقیمی با اندازه‌گیری حرکتی و سن دارد. کاوالاری (۲۰۱۳) در تحقیق خود بر روی اهمیت ماده سفید رنگ مخچه بر روی حرکت افراد مسن کار کرد و در شواهد خود نشان داد که سن هیچ تأثیری بر روی یکنواختی ساختمان ماده سفید رنگ مخچه ندارد.

کفری (۲۰۱۳) اسکن DTI را برای افراد پیری انجام داد که دچار نارسایی کنترل در راه رفتن هستند. ناحیه بالای پایک مخ، کپسول داخلی (تارهای عصبی ماده سفید در مغز) و پایک مخچه (ماده سفید رنگ در مغز میانی) در میان افراد پیر و جوان در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت و با هم مقایسه شدند. افراد پیری که دچار نارسایی بالایی از حرکت می‌باشند، دارای FA کمتری در نواحی به جز سمت چپ کپسول داخلی هستند. بنابراین آن‌ها نمی‌توانند تعادل خود را هنگام راه رفتن حفظ کنند. چرا که این مسئله، به یکنواختی ساختمان ماده سفید بستگی دارد و برای مقایسه این امر با افراد جوان، انجام تحقیقات بیشتری مورد نیاز است. علاوه بر این تحقیق راجع به رفتارهای شناختی در رابطه با تارهای عصبی ماده سفید رنگ مخچه بسیار آموزنده بوده و تحقیقات با در نظر گرفتن چارچوب ارائه شده توسط سالیوان و پفرام (۲۰۰۶) نشان دادند که مخچه، برای کاهش عملکرد شناختی در افراد پیر، نقش بسیار مهمی را ایفا کرده و علت این امر، ارتباط قوی بین مخچه و قشر پیشین مخ می‌باشد.

مورفولوژی مخچه و کار آن: قسمت عظیمی از تحقیقات انجام شده بر روی مورفولوژی مخچه در سنین مختلف نشان دادند که مخچه نقش بسیار مهمی را در دوران پیری ایفا می‌کند. نقش مخچه در سنین پیری، با تفاوت‌های مورفولوژیکی در عملکرد رفتاری در ارتباط است. در حالی که مخچه باعث نارسایی نشده و این ارتباط به معنای کاهش عملکرد شناختی و حرکتی است.

چندین تحقیق به رابطه کارهای حرکتی افراد مسن با نیمکره‌های مخچه اشاره کردند. در یکی از تحقیقات، وظایف یادگیری (حرکات چرخشی) و دو کار حافظه (کلامی و غیر کلامی) در افراد ۲۲ و ۸۰ ساله، مورد بررسی قرار گرفت. اندازه نیمکره مخچه، قشر پیشین و مخطط و هیپوکامپوس در این تحقیق برآورد شدند (۱۵). افراد جوان بهتر از افراد پیر می‌توانند حرکات چرخشی انجام دهند. هر چقدر که عملکرد افراد بدتر باشد، اندازه نیمکره مخچه و قشر پوسته مغز کاهش می‌یابد. نویسندگان نشان دادند که کوچک شدن مخچه و پوسته میانی مغز، می‌تواند بر روی یادگیری افراد پیر تأثیر گذارد. (۱۵). در مرحله یادگیری، پوسته مغز هیچ رابطه‌ای با عملکرد نداشته و مخچه و حافظه کارگر غیر کلامی بسیار مهم می‌باشند. توجه داشته باشید که اندازه نیمکره‌های مخچه رابطه مستقیمی با عملکرد در حافظه کارگر در انجام وظایف کلامی و غیر کلامی دارد. این تحقیق نشان داد که کوچک شدن اندازه مخچه می‌تواند با عدم توانایی یادگیری در افراد پیر ارتباط داشته باشد و نقش بسیار مهم را در کارایی حافظه کارگر ایفا می‌کند.

شرایط چشمک زدن نیز شکلی از یادگیری است. فوت کردن نیز توسط چشم انجام می‌شود که نتیجه همان چشمک زدن است. تن صدا از فوت کردن هم مهم‌تر است. یادگیری فوت کردن و تن صدا قبل از چشمک زدن اتفاق می‌افتد. درجه یادگیری چشمک زدن در افراد جوان دقیقاً به اندازه و حجم مخچه بستگی دارد. افراد پیر، به رابطه بین حجم کلی مخچه و شرایط چشمک زدن اشاره داشته و تحقیقات نشان می‌دهند که اندازه مخچه آن‌ها کوچک‌تر از افراد جوان است و علت رابطه ضعیف بین فوت کردن و تن صدا نیز به خاطر اولویت دهی آن‌ها بر چشمک زدن می‌باشد (۲۴). مجدداً این امر نشان می‌دهد که اندازه مخچه در افراد بزرگسال می‌تواند بر میزان یادگیری آن‌ها تأثیر گذارد.

راه رفتن و حفظ تعادل در افراد پیر دقیقاً به مخچه ارتباط دارد. روزانو (۲۰۰۷) سرعت راه رفتن و تعادل در ایستادن (مدت زمان ایستاده بر روی یک پا) را همراه با اندازه ماده خاکستری مغز مورد بررسی قرار داد و در تحقیق خود از روش خودکار استفاده کرد. سرعت پایین راه رفتن، با کوچک شدن حجم مخچه و قشر پیشین مغز ارتباط دارد. از آنجایی که عدم تعادل با اندازه مخچه، پوسته مغز و لوب پسین آهیانه‌ای ارتباط دارد. (۲۸). این تحقیق شامل چندین کوواریانس است که سلامت جسمانی و توانایی شناختی را مورد بررسی قرار می‌دهد. تعادل و سرعت راه رفتن، دقیقاً به اندازه نواحی مخچه بستگی دارند. یافته‌ها نشان دادند که فعالیت‌های حرکتی با کوچک شدن اندازه مخچه در افراد پیر کم شده و مدار پیشین-مخچه‌ای برای کارهای حرکتی و شناختی در افراد پیر بسیار مهم است.

عملکرد شناختی در رابطه با اندازه ورمیس مخچه توسط مکولویچ در سال ۲۰۰۴ و پل در سال ۲۰۰۹ مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. میلر و مکولویچ هر دو بر روی اندازه ۴ ناحیه ورمیس مخچه همراه با آزمون شناختی کار کردند. آن‌ها در تحقیقات اولیه خود پی بردند که ناحیه ورمیس که با لوب Crus I، VI و Crus II در ارتباط است، بر روی پردازش سرعت راه رفتن، حافظه و تولید بصری تأثیر گذاشته، در حالی که ناحیه‌های پیشین ورمیس همانند لوب‌های IV و V بیشتر با تولید بصری در ارتباط هستند. در همه موارد هرچه اندازه بزرگتر باشد، عملکرد بهتر خواهد شد. آن‌ها در تحقیقات خود رابطه بین لوب‌های VIII-X ورمیس و عملکرد شناختی را مورد بررسی قرار دادند. رابطه دیگری که بین لوب‌های IV و V وجود دارد که شامل توانایی خواندن، سرعت پردازش و عملکرد اجرایی می‌باشد (۲۸). به طور کلی می‌توان بیان کرد که اندازه مخچه می‌تواند بر روی عملکردهای شناختی در افراد پیر تأثیر گذارد.

پل و همکاران بر روی عملکرد شناختی و ورمیس مخچه در قشر پیشین مغز افراد پیر کار کردند. هم ورمیس مخچه‌ای و هم قشر پیشین در افراد پیر، کوچک‌تر از افراد جوان است. علاوه بر این اندازه قشر پیشین و ورمیس با عملکرد شناختی در ارتباط هستند. آن‌ها در تحقیقات خود، قشر پیشین مغز را در ورمیس مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که رابطه فوق، اهمیت چندانی ندارد. مخچه نقش بسیار مهمی را در عملکرد شناختی افراد پیر ایفا می‌کند. توجه داشته باشید که نواحی مغزی به اندازه تعامل بین مخچه و نواحی مخی حائز اهمیت هستند.

ماده خاکستری رنگ مخ و مخچه که با استفاده از VBM مورد بررسی قرار گرفتند، با عملکرد شناختی در افراد پیر در ارتباط هستند. Lee و همکاران نگاهی به ماده خاکستری رنگ مغز انداختند تا میزان هوش افراد پیر را بررسی کنند. آن‌ها در تحقیقات خود به رابطه بین هوش و ماده خاکستری اشاره کردند که در قشر پیشین قرار گرفته و این رابطه در مخچه پسین در Crus I نیز وجود دارد. نویسندگان به این نکته توجه دارند که هنگام کنترل سطح آموزشی، ماده خاکستری رابطه منفی با مخچه دارد. (قشر پیشین).

این یافته‌ها نشان دادند که ماده خاکستری در VBM با توانایی شناختی در ارتباط است که به عنوان استدلال غیر کلامی، سرعت پردازش و هم حافظه کوتاه و بلند مدت در نظر گرفته می‌شود (۱۹). نواحی مخچه همانند قشر، رابطه مثبتی با هوش کلی دارد. نکته جالب توجه اینجاست که تنها در مخچه، زمانی که ماده خاکستری و سفید قشر پیشین تحت کنترل می‌باشند، این رابطه بسیار مهم است و نشان می‌دهد که مخچه رابطه مستقیمی با عملکرد شناختی در افراد بزرگسال دارد. هوگان (۲۰۱۱) و لی (۲۰۰۵) در تحقیقات خود نشان دادند که مخچه نقش بسیار مهمی را در عملکرد شناختی افراد پیر ایفا می‌کند.

ما در رویکردی منحصر به فرد، نگاهی به رابطه بین نواحی مغز، تغییر در ناحیه خاکستری و سفید هم در قشر پیشین و مخچه با کاهش سرعت پردازش در افراد پیر انداختیم (۲۹). این رویکرد به رابطه بین نواحی مغز و ارتباط آن‌ها با رفتار اشاره دارد. رابطه بین قشر پیشین و مخچه با عملکرد، نه تنها اهمیت سرعت پردازش در افراد بزرگسال را نشان می‌دهد، بلکه این رابطه به توانایی نواحی مغز و شبکه‌هایی اهمیت می‌دهد که بر رفتار تأثیر می‌گذارند.

ما در تحقیقات خود، اندازه مخچه را در راستای عملکرد شناختی و حرکتی در افراد پیر و جوان و توپوگرافی مخچه انسان را مورد تحقیق و بررسی قرار دادیم (۲۵). همان طور که در بالا اشاره کردیم، ما بر روی اندازه و حجم لوب‌ها هم در نیمکره مخچه و هم ورمیس تحقیق کردیم. افراد پیر و جوانی که در تحقیق ما شرکت کردند، ارزیابی تست حرکتی و شناختی را پر کردند که شامل حافظه کارگر، اندازه‌گیری عملکرد اجرایی، تعادل، یادگیری حرکتی (تعادل در دیداری-حرکتی) و زمان‌بندی می‌باشند. ما در تحقیقات خود دریافتیم که عملکرد حافظه کارگر، رابطه مستقیمی با اندازه مخچه پسین دارد (Crus II از طریق لوب X) از آنجایی که عملکرد حرکتی (همانند زمان‌بندی، حفظ تعادل و انتخاب زمان عکس العمل) رابطه منفی با اندازه مخچه پسین و Crus I دارد (۱۴). ما در تحقیقات خود به اندازه ناحیه مخچه اشاره کردیم که عملکرد شناختی را تحت تأثیر قرار داده و شامل مخچه پیشین است. ما در شواهد خود نشان دادیم که نواحی مخچه می‌توانند عملکردهای مختلف افراد پیر را تحت تأثیر قرار دهند.

ما در تحقیقات خود بر روی مورفولوژی حرکت مخچه و تأثیر رفتاری در افراد پیر کار کردیم. اولاً پر واضح است که مخچه با عملکرد حرکتی و شناختی افراد پیر در ارتباط است و این مسئله نشان می‌دهد که تفاوت در اندازه مخچه منجر به کاهش این نوع عملکردها در افراد فوق می‌شود. دوما نواحی زیرین مخچه نیز می‌توانند عملکرد افراد پیر را تحت تأثیر قرار دهند. البته تحقیقات کمی در مورد این نواحی و عملکردها صورت گرفته است. تحقیق راجع به این مسائل، بسیار حائز اهمیت است. سوما رابطه بین مخچه و نواحی دیگر آن، بالاخص قشر پیشین، بسیار اهمیت دارند. توجه به شبکه‌ها در تغییر رفتاری برای درک مغز و ذهن افراد پیر بسیار مهم می‌باشد. در نهایت ما در تحقیقات خود بر روی مخچه و قشر پیشین نشان دادیم که مخچه همانند قشر پیشین با کاهش عملکرد رفتاری در افراد پیر در ارتباط است (۲۶).

توجه داشته باشید که رابطه قوی مخچه و عملکرد رفتاری منجر به اندازه‌گیری نسبی مخچه در قشر پیشین شده و به همین خاطر مخچه، شاخص بهتری برای کاهش عملکردها در افراد پیر محسوب می‌شود. حقیقت امر این است که مخچه دارای الگوهای دقیقی است و رابطه آن با قشر پیشین بسیار اهمیت دارد. تحقیق در این زمینه بسیار ارزشمند و آموزنده می‌باشد.

تحقیقات کاربردی در زمینه عملکرد و وظایف مخچه در سنین پیری:

fMRI تحقیقات

افراد پیر هنگام انجام وظایف شناختی و حرکتی، دارای الگوهای مختلفی از فعال‌سازی مغزی می‌باشند (۱۸). این تفاوت‌ها در فعالیت‌های دو جانبه حرکتی و مغز پیشین مشهود است. الگوی این نوع فعالیت‌ها در مخچه مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است.

ماتی (۲۰۰۲) بر روی فعالیت دو جانبه مخچه افراد جوان و پیر تحقیق و بررسی کرد. او در تحقیقات خود نشان داد که این فعال سازی در مخچه افراد پیر و جوان تا مخچه ادامه دارد.

به همین نحو زمانی که ما از افراد پیر می‌خواهیم تا حرکات پشت سرهم انگشتان را به خاطر بسپارند، آن‌ها تلاش کردند تا همانند افراد جوان عمل کنند. اما طبیعتاً سرعت آن‌ها پایین‌تر از افراد جوان بود. فعال سازی کاربردی و عملکردی در حرکت انگشتان، در افراد پیر بهتر از افراد جوان بود. فعال سازی دو جانبه در نواحی حرکتی مخی و قشر پیشین وجود دارد (۱۶) نویسندگان نشان دادند که عدم فعال سازی در جوانان بیشتر بوده که علت این امر به نقص وضعیت شبکه آن‌ها برمی‌گردد. بنابراین نه تنها افراد پیرتر هنگام انجام وظایف حرکتی، از مخچه و حرکت مخی بیشتر استفاده می‌کنند، بلکه می‌توانند وضعیت شبکه خود را خیلی بهتر از افراد جوان فعال کنند. این امر منجر به بدتر شدن عملکرد آن‌ها می‌شود.

اخیراً روش‌های تحلیلی بر روی الگوهای فعال سازی دو جانبه هنگام انجام وظایف حرکتی در نواحی قشر و قسمت زیرین مخ کار کردند. تحلیل‌های چند جانبه، رشته‌های عصبی را با حرکات انگشتی تنها در یک دست در افراد جوان و پیر مقایسه کردند و نشان دادند که عملکرد حرکتی در این افراد با هم متفاوت است (۹). توجه داشته باشید که کاهش در این نوع عملکردها به خاطر نواحی حرکتی مخ و مخچه است.

در نهایت شواهد نشان دادند که زمانی که افراد وظایف خود را تکمیل می‌کنند، فعال سازی حرکتی دو جانبه آن‌ها در مخچه بیشتر می‌شود (۱۰). در اینجا افراد جوان و پیر وظایف ایزومتریکی را هم با تسلط دست و هم بدون آن انجام دادند. افراد پیر هنگام ضربه زدن با انگشت خود و انجام وظایف پشت سر هم، الگوی فعال سازی دو جانبه بیشتری در قشر مخی و مخچه داشتند.

یافته‌ها در این زمینه نشان دادند که فعال سازی در مخچه در افراد پیرتر کاهش می‌یابد. ما در تحقیقات خود که بر روی حرکات دست انجام دادیم، مشاهده کردیم که فعالیت اولیه در قشر حرکتی افراد پیر بیشتر است. تانیواکی و همکاران به کاهش فعالیت مخچه در افراد پیر اشاره کردند. علت این امر این است که آن‌ها علاقه بیشتری به تعامل بین لوپ‌های مخچه‌ای و عقده‌های قاعده‌ای نشان داده و نویسندگان از مدل سازی برابری برای بررسی این شبکه‌ها استفاده کردند. آن‌ها دریافتند که تفاوت سنی در شبکه عقده‌های قاعده‌ای و مخچه‌ای در انجام این وظایف مشهود است که در افراد پیر کاهش می‌یابد. روی هم رفته این تحقیق ثابت کرد که مخچه از لحاظ کاربردی تحت تأثیر سن قرار می‌گیرد.

ما نشان دادیم که افراد پیرتر نسبت به افراد جوان در لوب VI مخچه هنگام یادگیری حرکتی نمادین، فعالیت کمتری دارند. این ناحیه در افراد جوان تحت شرایطی فعال می‌شود که در آن‌ها، حرکات نمادین هستند و این نوع فعال سازی با درجه یادگیری در ارتباط است. رابطه بین افزایش فعال سازی لوب VI و یادگیری در افراد پیر وجود دارد که به مرور زمان، این فعال سازی کاهش می‌یابد. این افراد در مقایسه با افراد جوان، یادگیری کمتری دارند.

تحقیق بر روی ادراک حسی به تغییر در فعال سازی کاربردی مخی با روند سنی اشاره کرد. فردون و مورفی (۲۰۰۳) با استفاده از تست بویایی و آستانه حس بویایی افراد بزرگسال، بر روی Crus I و II همانند لوب VI کار کردند. افراد پیرتر، عملکرد بهتری را نشان دادند. همچنین فعالیت Crus I و II در آن‌ها زمانی کاهش یافت که آن‌ها را با جوانان مقایسه کردیم. این تحقیق نشان داد که مخچه نقش مهمی را در عملکرد حسی افراد بزرگسال ایفا می‌کند. علاوه بر این، ناحیه مخچه (Crus I و II) با عملکرد شناختی و شبکه قشر پیشین مغز در ارتباط است (۲۰). آن‌ها در تحقیق خود نشان دادند که کاهش فعال سازی در افراد پیر، هنگام انجام وظایف شناختی در نواحی یکسان صورت می‌گیرد. توجه داشته باشید که تحقیقات قبلی بر روی تفاوت مخچه در عملکرد شناختی کار کردند و خیلی متمرکز واقع نشدند. در نتیجه یافته‌های مخچه‌ای در رابطه با عملکرد فعال سازی مورد توجه قرار نگرفت. هم تحلیل متابی در قسمت ادبیات و هم تحقیقات مستقیمی که بر روی مخچه هنگام انجام وظایف غیر حرکتی افراد پیر انجام شدند، باید به طور کامل بتوانند نقش مخچه را در کاهش عملکرد شناختی آن‌ها درک کنند.

چارچوبی برای مخچه در افراد پیر: کاملاً مشخص است که مخچه در افراد پیر، نه تنها از لحاظ مورفولوژی فرق دارد، بلکه در شبکه وضعیت استراحت و فعال سازی عملکردی در هنگام انجام وظایف نیز در آن‌ها متفاوت است. علاوه بر این، این تفاوت‌ها بیشتر در قسمت کاهش عملکرد شناختی و حرکتی در افراد پیر به چشم می‌خورند. هرچند که مخچه در افراد پیر متفاوت است و می‌تواند بر روی رفتار آن‌ها تأثیر گذارد. کوچک شدن اندازه مخچه بر روی عملکرد وظایف تأثیر می‌گذارد. البته مخچه دارای ساختمان مستقلی نمی‌باشد و شبکه آن همراه با نواحی زیرین و قشری همانند عقده‌های قاعده‌ای زمانی بسیار مهم هستند که نقش مخچه در عملکرد شناختی و حرکتی افراد پیر درک شود.

ما می‌دانیم که مخچه دارای شبکه متمایزی با قشر مخی می‌باشد که یک سری رشته‌های حلقه‌ای با نواحی حرکتی و شناختی تشکیل می‌دهد و دارای عقده‌های قاعده‌ای است (۲۹). تعامل بین مخچه و قشر مغزی و یا عقده‌های قاعده‌ای به خاطر فرآیند نرمال روند سن است که باعث ایجاد تغییراتی در رفتار می‌شود. بالاخص شبکه مخچه-قشری همراه با تفاوت بین عملکرد و مورفولوژی افراد جوان و مسن می‌تواند بر روی تشکیل مدل‌های داخلی جدید تأثیر گذاشته و در نتیجه می‌تواند رفتارهای شناختی و حرکتی را تحت تأثیر قرار دهد.

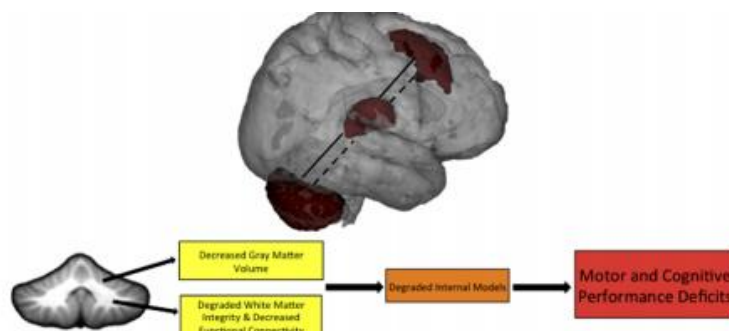
نقش مخچه در تحت تأثیر قرار دادن دامنه رفتاری حرکتی و شناختی و ایجاد تمایز در رشته‌های حلقه‌ای قشری-مخچه‌ای و تشکیل وضعیت درونی رفتارها بسیار مهم است (۳۰). در دامنه حرکتی، مخچه به کنترل حرکات از طریق مدل‌های معکوس و جلو^۱ کمک می‌کند و به افراد اجازه می‌دهد تا مسیر حرکت را پیش‌بینی کرده و سپس بتوانند خود را درگیر تغییرات سریع کنند (۳۰). بالواقع در زمینه یادگیری، وظایف حرکتی جدید می‌تواند درگیری مخچه را تغییر دهند و در این زمان مخچه می‌تواند مدل‌های جدیدی از عملکرد را تشکیل دهد. چارچوب مدل‌های داخلی برای رفتارهای شناختی نیز مورد باید مورد بررسی قرار گیرند. در این مورد، مخچه مدل داخلی پردازش ذهنی را ایجاد کرده و منجر به عملکردهای شناختی می‌شود. مخچه در افراد پیر دارای مورفولوژی و فعال سازی عملکردی متفاوتی است و می‌تواند نتایج رفتاری را پیش‌بینی کند (۳۱). معیوب بودن اطلاعات در این مدل‌های جدید منجر به کاهش عملکرد می‌شود. ما فرض می‌کنیم که مدل‌های جلو و معکوس، افراد پیر را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند.

همان طور که در قسمت بالا نشان داده شد، مورفولوژی مخچه در میان افراد پیر و جوان بسیار متفاوت است. مورفولوژی مخچه می‌تواند بر روی عملکرد رفتاری افراد تأثیر گذارد. علت این تفاوت، به خاطر نقص رفتاری غیر قابل پیش‌بینی و یا ارزیابی و تشکیل سخت مدل‌های داخلی برای وظایف مدنظر می‌باشد. بنابراین عدم توانایی برخاسته از رفتارهای شناختی و حرکتی در افراد پیر، به خاطر مخچه می‌باشد که عملکرد آن‌ها را پایین می‌آورد. افراد مسن سالم قطعاً دارای وضعیت پاتولوژی مشخصی نمی‌باشند. اندازه مخچه با بالا رفتن سن افراد کوچک شده و رفتار آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ما پیشنهاد می‌دهیم که مدل‌های جلو که از طریق تخلیه تبعی، رفتارها را نظارت می‌کنند، می‌تواند رفتارهای بعدی را پیش‌بینی کنند. داده‌ها نشان دادند که کاهش یکنواختی ماده سفید مغزی در افراد پیر منجر به کاهش اتصال سلول‌های مغزی در مخچه و قشر مخی می‌شود. اگر مخچه در افراد مسن نتواند به خاطر کاهش اتصالات سلولی در مغز با قشر مخی ارتباط برقرار کند، در نتیجه عملکرد رفتارهای واقعی مؤثر نبوده (همانند فعالیت حرکتی و یا پردازش ذهنی که غیر قابل مشاهده است) و نقص در رفتار ایجاد می‌شود. این امر منجر به عدم تشکیل مدل‌های داخلی دقیق مربوط به رفتار می‌شود و می‌تواند هنگام یادگیری وظایف جدید، تأثیر منفی بر روی فعالیت‌های رفتاری هم در دامنه حرکتی و هم شناختی گذارد. (شکل ۱). در حقیقت شواهد اخیر در زمینه رفتار از مدل‌های داخلی‌ای حمایت کردند که در افراد جوان و پیر متفاوت هستند (۲۵).

در حقیقت این چارچوب، رابطه بین مخچه و عملکرد رفتاری را مورد توجه قرار داد. همان طور که در بالا هم گفته شد، علت این رابطه رفتاری، به خاطر قشر پیشین مغز می‌باشد. کاهش مدل‌های داخلی می‌تواند رفتار را تحت تأثیر قرار داده و وظایف مختلفی را

¹ forward

در برداشته باشد. این تأثیر رفتاری توضیح می‌دهد که چرا مخچه حتی در بالا و یا کنار قشر پیشین، رابطه قوی با کاهش عملکرد رفتاری در افراد پیر دارد. کارهای آتی باید بر روی تعامل بین مخچه و قشر پیشین تحقیق و بررسی کنند. شواهد نشان دادند که مخچه، برای تشکیل مدل‌های داخلی رفتاری بسیار مهم است. تحقیقات دیگر ثابت کردند که مخچه برای زمان‌بندی رفتاری، نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند (۳۲). همچنین مخچه برای پردازش متوالی و پشت سرهم نیز بسیار مهم است (۳۱). هیچ یک از این فرضیه‌ها صرفاً مختص به مدل‌های داخلی نبوده و شاخصی برای محاسبات ما محسوب می‌شوند. (یعنی در نظر گرفتن مخچه به عنوان قسمتی از این مدل‌های داخلی). عدم توانایی مخچه هم در زمان‌بندی و هم در پردازش‌های پشت سر هم می‌تواند باعث کاهش عملکرد افراد در سنین مختلف شود. تحقیقات زیادی به عدم توانایی زمان‌بندی اشاره کردند. شواهد نشان می‌دهند که افراد بزرگسال نمی‌توانند یادگیری پشت سر هم داشته باشند. ما در تحقیقات اخیر فهمیدیم که کاهش فعال‌سازی در مخچه افراد مسن با میزان یادگیری آن‌ها در ارتباط است. این عدم توانایی به خاطر نارسایی مخچه در سنین پیری می‌باشد که تا دامنه فعالیت‌های غیر حرکتی کشیده شده و منجر به کاهش فعالیت‌های حرکتی و شناختی در افراد پیر می‌شود. بنابراین مخچه افراد پیر نمی‌تواند زمان‌بندی و پردازش پشت سر هم را انجام دهد. پس در نتیجه عملکرد شناختی و حرکتی افراد پیر را پایین می‌آورد. کارهای دیگر، این توجیهات را مورد بررسی قرار داده تا بتوانند به درک بیشتری از نقش مخچه در افراد پیر برسند. در نهایت تعامل عقده‌های قاعده‌ای-مخچه‌ای برای کاهش عملکرد و فعالیت افراد پیر بسیار مهم است. تحقیق بر روی نمونه حیوانات به اتصال آناتومی بین مخچه و عقده‌های قاعده‌ای اشاره کرد. ما در تحقیقات خود، به اتصالات یکسانی از رشته‌های سلولی در وضعیت استراحت دست یافتیم. این اتصال سلولی در مغز افراد پیر بین نواحی مغزی و هنگام استراحت کاهش می‌یابد. مقاومت این اتصال به عملکرد رفتاری وظایف حرکتی و شناختی بستگی دارد. این نقص به مدل‌های داخلی افراد پیر برمی‌گردد و تفاوت سنی در تعامل بین مخچه و عقده‌های قاعده‌ای می‌تواند رفتارها را تحت تأثیر قرار دهد. اطلاعاتی که بین این دو ساختمان به اشتراک گذاشته می‌شوند، اطلاعات واضحی نیستند. اما مخچه در این وضعیت می‌تواند رفتارها را نظارت کرده و خطای این مدل‌ها را کشف کند. عقده‌های قاعده‌ای نقش به یار مهم را در محرک‌های رفتاری ایفا کرده و منجر به به روزرسانی اهداف می‌شوند. اگر این سیستم ارتباطاتی متوقف شده و یا به خاطر تغییرات سنی، میزان اتصال سلول‌های مغزی کاهش یابد، در نتیجه رفتار تحت تأثیر چندین عامل قرار خواهد گرفت. همه این فرضیه‌ها قابل بررسی بوده و تحقیقات بیشتری برای درک نقش مخچه در سنین پیری و همچنین بررسی تغییر مکانیزم‌های خاص به خاطر کاهش توانایی و عملکرد در این سنین مورد نیاز می‌باشد.



نقش مخچه در پاتولوژی افراد مسن

بیشتر تحقیقات علاوه بر در نظر گرفتن مداخله مخچه در عملکرد رفتاری افراد مسن، به طور عمیقی بر روی نقش مخچه در پاتولوژی این افراد تأکید کردند. بالنجر (۲۰۰۸) دریافت که فعالیت عصبی در مخچه بیماران پارکینسون هنگام انجام وظایف حرکتی (همانند فشار دادن دکمه) افزایش می‌یابد. آن‌ها در تحقیقات خود نشان دادند که این نوع فعال‌سازی مخچه‌ای می‌تواند نقص غده‌های قاعده‌ای را در این بیماران برطرف کند و باعث شود تا بیماران حرکات سریع‌تری را انجام دهند. به همین نحو فعالیت بیش از حد مخچه این

بیماران هنگام انجام وظایف حرکتی، رابطه منفی با فعال سازی در پوسته مغز دارد (۲۳). افرادی که در قسمت پوسته مغز، فعال سازی کمتری دارند، در قسمت مخچه، فعال سازی آن ها افزایش یافته و توجه داشته باشید که مخچه می تواند نقص و نارسایی غده های قاعده ای را در این بیماران بهبود بخشد. نقش مخچه در این نوع بیماری، نقش جبرانی می باشد (۳۳).

همچنین توجه داشته باشید که نقش مخچه برای بیماری آرایمر (AD) بسیار مهم است. تحقیقات استرولوژیکی پست مدرن، زنان آرایمری و گروه های کنترل شده ای را با هم مقایسه کردند و دریافتند که هیچ تفاوتی بین تعداد سلول های granular در مخچه این افراد وجود ندارد و اندازه مخچه در زنان AD کوچک تر است (۱۸). علاوه بر این تحقیقات پست مدرن نشان دادند که از ۱۰۰ نفر خانم مبتلا به AD، در ۴۷ نفر از آن ها مشاهده شد که مخچه آن ها دارای پلاکت است. اما هیچ یک از بیماران کنترلی دارای این پلاکت ها در مخچه نیستند (۳۴). این تحقیق نشان داد که مخچه تحت تأثیر AD قرار گرفته و می تواند باعث نارسایی و اختلال در این بیماران شود.

تحقیقات اخیر به اهمیت نقش مخچه در بیماران AD اشاره کردند. گروهی از افراد مسن بر طبق شدت زوال عقلی طبقه بندی می شوند. اندازه و حجم مخچه آن ها، نیمکره مخچه، ورمیس و لوب پسین و لوب جمجه در آن ها مورد بررسی قرار گرفت (۲۸). کوچک شدن اندازه این نواحی در بیماران بسیار زیاد است و اندازه مخچه و لوب جمجه رابطه مستقیمی با زوال عقلی و عملکرد فعالیت افراد دارد. هرچه اندازه این نواحی بزرگتر باشد، عملکرد افراد نیز بهبود می یابد. در نهایت توجه داشته باشید که کوچک بودن اندازه لوب جمجه، مخچه پسین و ورمیس مخی، باعث زوال عقلی در افرادی می شود که در تحقیقات اولیه سالم بودند (۲۸). لوب جمجه در مخچه قرار دارد و نقش مخچه در پاتولوژی AD بسیار مهم است. در نهایت تحقیقات fMRI در بیمارانی که دچار اختلال شناختی هستند، نشان داد که اتصال سلول های مغزی بین هیپوکامپوس و نواحی مختلف مغز همانند مخچه منجر به بازیابی اتفاقی حافظه می شود (۲۹). از اینرو تعامل مخچه ای-هیپوکامپوسی تا حدی می تواند در نارسایی حافظه بیماران AD دخیل باشد. شواهد نشان می دهند که نقش مخچه در بیماران AD بسیار مهم است و درک مخچه در مغز افراد پیر در پاتولوژی آن ها مهم بوده و تحقیقات را به چالش می کشد.

نتیجه گیری:

تفاوت در اندازه و حجم مخچه همانند حجم نواحی آن، در سنین پیری نقش بسزایی دارند. تفاوت در اندازه مخچه منجر به عملکرد متفاوت در افراد شده و اتصال سلول های مغزی در وضعیت استراحت نیز بسیار اهمیت دارد. ما در تحقیقات انجام شده مشاهده کردیم که مخچه تحت تأثیر سن قرار گرفته و نقش بسیار مهمی را در وظایف مختلف ایفا می کند. درک شبکه های عصبی در مخچه که باعث کاهش عملکرد شناختی و حرکتی در افراد سن بالا می شود، در زمینه تحقیقاتی بسیار مهم است. در حقیقت هم مورفولوژی مخچه ای و هم اتصال سلول های مغزی در وضعیت استراحت، با عملکرد رفتاری افراد پیر در ارتباط است. ما فرض می کنیم که تفاوت در مورفولوژی مخچه و عملکرد افراد پیر باعث کاهش مدل های داخلی شده و جلوی تشکیل مدل های جدید را گرفته و منجر به ایجاد اختلال شناختی و حرکتی در این افراد می شود. تحقیقات آینده باید نقش مخچه را همانند تعامل بین مخچه و قشر مخی را در افراد پیر مورد بررسی قرار دهند. این تحقیقات باید چشم انداز جدیدی به ذهن و مغز افراد پیر داشته و نقش مخچه را در تحت تأثیر قرار دادن رفتارها مورد توجه قرار دهند.

References:

1. Abe O., Yamasue H., Aoki S., Suga M., Yamada H., Kasai K., Masutani Y., Kato N., Kato N., Ohtomo K. Aging in the CNS: comparison of gray/white matter volume and diffusion tensor data. *Neurobiol*, 2008; 29: 102–116.
2. Alexander, G. E. , Chen, K. , Merkley, T. L. , Reiman, E. M. , Caselli, R. J. , Aschenbrenner, M. , Santerre-Lemmon, L. , Lewis, D. J. , Pietrini, P. , Teipel, S. J. , Hampel, H. ,

- Rapoport, S. I., Moeller, J. R., 2006. Regional network of magnetic resonance imaging gray matter volume in healthy aging. *Neuroreport* 17:951–956.
3. Andersen B.B., Gundersen H.J.G., Pakkenberg B.. Aging of the human cerebellum: a stereological study. *J. Comp. Neurol*, 2003; 466: 356–365.
 4. Andersen K., Andersen B.B., Pakkenberg B. Stereological quantification of the cerebellum in patients with Alzheimer's disease. *Neurobiol. Aging*, 2012; 33: 197e11–197e20.
 5. Andrews-Hanna J.R., Snyder A.Z., Vincent J.L., Lustig C., Head D., Raichle M.E., Buckner R.L. Disruption of large-scale brain systems in advanced aging. *Neuron*, 2007; 56: 924–935.
 6. Anguera J.A., Reuter-Lorenz P.A., Willingham D.T., Seidler R.D. Failure to engage spatial working memory contributes to age-related declines in visuo-motor learning. *J. Cogn. Neurosci*, 2011; 23: 11–25.
 7. Ashburner J., Friston K.J. Voxel-based morphometry – the methods. *Neuroimage*, 2000; 11: 805–821.
 8. Bai F., Zhang Z., Watson D.R., Yu H., Shi Y., Yuan Y., Zang Y., Zhu C., Qian Y. Abnormal functional connectivity of hippocampus during episodic memory retrieval processing network in amnesic mild cognitive impairment. *Biol. Psychiatry*, 2009; 65: 951–958.
 9. Baldac Ara L., Guilherme J., Borgio F., André W., Luiz A., Lacerda T., Beatriz M., Macedo M., Tufik S., Bressan R.A., Ramos L.R., Jackowski A.P. Cerebellar volume in patients with dementia (Volume cerebelar em pacientes com demência). *Rev. Bras. Psiquiatr*, 2010; 33: 122–129.
 10. Ballanger B., Baraduc P., Broussolle E., Le Bars D., Desmurget M., Thobois S.. Motor urgency is mediated by the contralateral cerebellum in Parkinson's disease. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 2008; 79: 1110–1116.
 11. Baudouin A., Vanneste S., and Pouthas V., Isingrini M. Age-related changes in duration reproduction: involvement of working memory processes. *Brain Cogn*, 2006; 62: 17–23.
 12. Bennett I.J., Madden D.J., Vaidya C.J., Howard D.V., Howard J.H. Age-related differences in multiple measures of white matter integrity: a diffusion tensor imaging study of healthy aging. *Hum. Brain Mapp*, 2010; 31: 378–390.
 13. Bernard J.A., Peltier S.J., Wiggins J.L., Jaeggi S.M., Buschkuehl M., Fling B.W., Kwak Y., Jonides J., Monk C.S., Seidler R.D.. Disrupted cortico-cerebellar connectivity in older adults. *Neuroimage*, 2013; 83: 103–119.
 14. Bernard J.A., Seidler R.D.. Evidence for motor cortex dedifferentiation in older adults. *Neurobiol. Aging*, 2012; 33: 1890–1899.
 15. Bernard J.A., Seidler R.D., Hassevoort K.M., Benson B.L., Welsh R.C., Wiggins J.L., Jaeggi S.M., Buschkuehl M., Monk C.S., Jonides J., and Peltier S.J. Resting state cortico-cerebellar functional connectivity networks: a comparison of anatomical and self-organizing map approaches. *Front. Neuroanat*, 2012; 6: 31.
 16. Bernard J.A., Peltier S.J., Benson B.L., Wiggins J.L., Jaeggi S.M., Buschkuehl M., Jonides J., Monk C. S., Seidler R.D.. Dissociable functional networks of the human dentate nucleus. *Cereb. Cortex*; 2013

17. Bernard J.A., Seidler R.D.. Relationships between regional cerebellar volume and sensorimotor and cognitive function in young and older adults. *Cerebellum*, 2013; 12: 721–737.
18. Biswal B., Yetkin F.Z., Haughton V.M., Hyde J.S.. Functional connectivity in the motor cortex of resting. *Magn. Reson. Med*, 1995; 34: 537–541.
19. Chen S.H.A., Desmond J.E.. Temporal dynamics of cerebro-cerebellar network recruitment during a cognitive task. *Neuropsychologia*, 2005; 43:1227–1237.
20. Chen S.H.A., Desmond J.E.. Cerebrocerebellar networks during articulatory rehearsal and verbal working memory tasks. *Neuroimage*, 2005; 24: 332–338.
21. Craik F.I., Hay J.F.. Aging and judgments of duration: effects of task complexity and method of estimation. *Percept. Psychophys*, 1999; 61: 549–560.
22. Curran T. Effects of aging on implicit sequence learning: accounting for sequence structure and explicit knowledge. *Psychol. Res*, 1997; 60:24–41.
23. Damoiseaux J.S., Beckmann C.F., Arigita E.J.S., Barkhof F., Scheltens P., Stam C.J., Smith S.M., Rombouts S.A.R.B.. Reduced resting-state brain activity in the “default network” in normal aging. *Cereb. Cortex*, 2008; 18: 1856–1864.
24. Diedrichsen J. A spatially unbiased atlas template of the human cerebellum. *Neuroimage*, 2006; 33:127–138.
25. Diedrichsen J., Balsters J.H., Flavell J., Cussans E., Ramnani N.. A probabilistic MR Atlas of the human cerebellum. *Neuroimage*, 2009; 46: 39–46.
26. Dum R.P., Strick P.L. An unfolded map of the cerebellar dentate nucleus and its projections to the cerebral cortex. *J. Neurophysiol*, 2009; 89: 634–639.
27. Eckert M.A., Keren N.I., Roberts D.R., Calhoun V.D., Harris K.C.. Age-related changes in processing speed: unique contributions of cerebellar and prefrontal cortex. *Front. Hum. Neurosci*, 2010; 4: 10.
28. Ferdon S., Murphy C.. The cerebellum and olfaction in the aging brain: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroimage*, 2003; 20: 12–21.
29. Ferreira L.K., Busatto G.F.. Resting-state functional connectivity in normal brain aging. *Neurosci. Biobehav. Rev*, 2013; 37: 384–400.
30. Ferrucci R., Marceglia S., Vergari M., Cogiamanian F., Mrakic-Spota S., Mameli F., Zago S., Barbieri S., Priori A.. Cerebellar transcranial direct current stimulation impairs the practice-dependent proficiency increase in working memory. *J. Cogn. Neurosci*, 2008; 20: 1687–1697.
31. Ferrucci R., Priori A. Transcranial cerebellar direct current stimulation (tcDCS): motor control, cognition, learning and emotions. *Neuroimage*, 2013: 1–6.
32. Fjell A.M., Westlye L.T., Grydeland H., Amlien I., Espeseth T., Reinvang I., Raz N., Holland D., Dale A.M., Walhovd K.B.. Critical ages in the life course of the adult brain: nonlinear subcortical aging, *Neurobiol. Aging*, 2013; 34: 2239–2247.
33. Heuninckx S., Wenderoth N., Swinnen S.P. System's neuroplasticity in the aging brain: recruiting additional neural resources for successful motor performance in elderly persons. *J. Neurosci*, 2008; 28:91–99.
34. Hogan M.J., Staff R.T., Bunting B.P., Murray A.D., Ahearn T.S., Deary I.J., Whalley L.J. Cerebellar brain volume accounts for variance in cognitive performance in older adults. *Cortex*, 2011; 47: 441–450.

35. Holviala J., Kraemer W.J., Sillanpää E., Karppinen H., Avela J., Kauhanen A., Häkkinen K.. Effects of strength, endurance and combined training on muscle strength, walking speed and dynamic balance in aging men. *Eur. J. Appl. Physiol*, 2012; 112: 1335–1347.
36. Kafri M., Sasson E., Assaf Y., Balash Y., Aiznstein O., Hausdorff J.M., Giladi N.. High-level gait disorder: associations with specific white matter changes observed on advanced diffusion imaging. *J. Neuroimaging*, 2013; 23: 39–46.
37. Kalpouzos G., Chételat G., Baron J.-C., Landeau B., Mevel K., Godeau C., Barré L., Constans J.-M., Viader F., Eustache F., Desgranges B. Voxel-based mapping of brain gray matter volume and glucose metabolism profiles in normal aging. *Neurobiol. Aging*, 2009; 30: 112–124.
38. Keele S.W., Ivry R.B.. Does the cerebellum provide a common computation for diverse tasks? A timing hypothesis. *Ann. N. Y. Acad. Sci*, 1990; 6–8: 179–211.
39. Kelly R.M., Strick P.L.. Cerebellar loops with motor cortex and prefrontal cortex of a nonhuman primate. *J. Neurosci*, 2003; 23: 8432–8444.
40. Krienen F.M., Buckner R.L.. Segregated fronto-cerebellar circuits revealed by intrinsic functional connectivity. *Cereb. Cortex*, 2009; 19: 2485–2497.
41. Kwak Y., Peltier S., Bohnen N.I., Müller M.L.T.M., Dayalu P., Seidler R.D. Altered resting state cortico-striatal connectivity in mild to moderate stage Parkinson's disease. *Front. Syst. Neurosci*, 2010; 4: 143.
42. Langan J., Peltier S.J., Bo J., Fling B.W., Welsh R.C., Seidler R.D. Functional implications of age differences in motor system connectivity. *Front. Syst. Neurosci*, 2010; 4: 17.
43. Laughton C.A., Slavin M., Katdare K., Nolan L., Bean J.F., Kerrigan D.C., Phillips E., Lipsitz L.A., Collins J.J.. Aging, muscle activity, and balance control: physiologic changes associated with balance impairment. *Gait Posture*, 2003; 18: 101–108.
44. Luft A.R., Skalej M., Schulz J.B., Kolb R., Bürk K., Klockgether T.. Patterns of age-related shrinkage in cerebellum and brainstem observed in vivo using three-dimensional MRI volumetry. *Cereb. Cortex*, 1999; 9: 712–721.
45. MacLulich A.M.J., Edmond C.L., Ferguson K.J., Wardlaw J.M., Starr J.M., Seckl J.R., Deary I.J. Size of the neocerebellar vermis is associated with cognition in healthy elderly men. *Brain Cogn*, 2024; 56: 344–348.
46. Miall R.C., Weir D.J., Wolpert D.M., Stein J.F. Is the cerebellum a smith predictor? *J. Mot. Behav*, 1993; 2: 203–216.
47. Paul R., Grieve S.M., Chaudary B., Gordon N., Lawrence J., Cooper N., Clark C.R., Kukla M., Mulligan R., Gordon E. Relative contributions of the cerebellar vermis and prefrontal lobe volumes on cognitive function across the adult lifespan. *Neurobiol. Aging*, 2009; 30: 457–465.
48. Raz N., Dupuis J.H., Briggs S.D., McGavran C., Acker J.D.. Differential effects of age and sex on the cerebellar hemispheres and the vermis: a prospective MR study. *Am. J. Neuroradiol*, 1998; 19: 65–71.
49. Raz N., Gunning-Dixon F., Head D., Williamson A., Acker J.D.. Age and sex differences in the cerebellum and the ventral pons: a prospective MR study of healthy adults. *Am. J. Neuroradiol*, 2001; 22: 1161–1167.

50. Sullivan E.V., Deshmukh A., Desmond J.E., Lim K.O., Pfefferbaum A.. Cerebellar volume decline in normal aging, alcoholism, and Korsakoff's syndrome: relation to ataxia. *Neuropsychology*, 2000; 14: 341–352.
51. Sullivan E.V., Pfefferbaum A.. Diffusion tensor imaging and aging. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2006; 30:749–761.
52. Tang Y., Whitman G.T., Lopez I., Baloh R.W. Brain volume changes on longitudinal magnetic resonance. *J. Neuroimaging*, 2001; 11: 393–400.
53. Taniwaki T., Okayama A., Yoshiura T., Togao O., Nakamura Y., Yamasaki T., Ogata K., Shigeto H., Ohyagi Y., Kira J.-I., Tobimatsu S. Age-related alterations of the functional interactions within the basal ganglia and cerebellar motor loops in vivo. *Neuroimage*, 2007; 36: 263–276.