پژوهش‌های فیزیولوژی و مدیریت در ورزش
دورهٔ ۱۰، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۷
ص ص : ۴۳- ۳۱

مقایسهٔ تأثیر دو الگوی فعالیت ورزشی ساده (رکاب زدن) و پیچیده (ایروبیک) بر مقادیر عامل رشد عصبی مشتق از مغز و عملکرد شناختی دختران نوجوان

زینب راشکی[۱]– علی صمدی *[۲] - اسمعیل نصیری [۳]

۱. کارشناس‌ارشد فیزیولوژی ورزشی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران ۲. استادیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران ۳. استادیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

(تاریخ دریافت : ۰۵/ ۰۷ / ۱۳۹۶، تاریخ تصویب : ۲۵/ ۰۱ / ۱۳۹۶)

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، مقایسهٔ تأثیر دو الگوی فعالیت ورزشی (ساده و پیچیده) بر مقادیر سرمی عامل رشد عصبی مشتق از مغز (BDNF) و عملکرد شناختی دختران نوجوان بود. بدین‌منظور، نه آزمودنی (با میانگین سنی ۰/۹±۱۷/۳ سال و شاخص تودهٔ بدنی ۳/۰۲±۲۲/۴ کیلوگرم بر متر مربع) به فاصلهٔ یک هفته، دو فعالیت ورزشی پیچیده (ایروبیک) و ساده (رکاب زدن)، با شدت متوسط ۵۰ تا ۶۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی را انجام دادند. فعالیت ورزشی به مدت ۳۰ دقیقه در سه نوبت ۱۰ دقیقه‌ای با فواصل استراحت دو دقیقه انجام گرفت. قبل و پس از فعالیت ورزشی به‌منظور سنجش BDNF از آزمودنی‌ها نمونهٔ خون گرفته شد و برای ارزیابی عملکرد شناختی، آزمون‌های شناختی ارقام – نماد و رنگ - واژهٔ استروپ توسط آزمودنی‌ها کامل شد. برای ارزیابی داده‌ها از آزمون آماری t همبسته استفاده شد (P<۰/۰۵). بر مبنای یافته‌های به‌دست‌آمده، تفاوت معناداری در میزان سرمی عامل رشد عصبی مشتق از مغز در مقایسهٔ دو الگوی فعالیت ورزشی ساده و پیچیده یافت نشد (P=۰/۷۲۳). همچنین با توجه به نتایج آزمون شناختی رنگ – واژهٔ استروپ، فعالیت ورزشی پیچیده نسبت به فعالیت ورزشی ساده بهبود معناداری در عملکرد شناختی را نشان داد (P< ۰/۰۵). به‌طورکلی به‌نظر می‌رسد، الگوی فعالیت ورزشی (ساده و پیچیده) در دختران نوجوان مشابه آنچه در این پژوهش استفاده شد، تأثیر معناداری بر پاسخ عامل رشد عصبی مشتق از مغز ندارد. با وجود این، فعالیت ورزشی پیچیده دست‌کم بر برخی از جنبه‌های عملکرد شناختی تأثیر معنادار مطلوب‌تری دارد و می‌تواند موجب بهبود عملکرد شناختی شود.

واژه‌های کلیدی

الگوی فعالیت ورزشی، دختران نوجوان غیرورزشکار، عامل نوروتروفیک مشتق از مغز، عملکرد شناختی، فعالیت ورزشی پیچیده، فعالیت ورزشی ساده .

*- نویسنده مسئول : تلفن: ۰۹۱۲۷۹۹۶۸۵۳
Email : a.samadi@shahed.ac.ir

مقدمه

امروزه مشخص شده است فعالیت بدنی و فعالیت ورزشی راه‌حل مناسبی برای حفظ سلامت و راهکار مؤثری در بهبود عملکرد بافت‌های مختلف است (۱). مغز از پیچیده‌ترین اعضای بدن و مهم‌ترین بخش دستگاه عصبی است که کنترل تمام اندام‌های بدن را بر عهده دارد (۲). مطالعات جدید نشان می‌دهد فعالیت ورزشی می‌تواند با ایجاد تغییر در ساختار و عملکرد مغز موجب بهبود سلامت مغز و عملکردهای آن شود (۳). نوروتروفین‌ها، مجموعه‌ای از عوامل نوروتروفیکی و از مهم‌ترین میانجی‌های بین فعالیت ورزشی و سلامت مغز (در سطح مولکولی) هستند. در بین اعضای خانوادهٔ نوروتروفین‌ها، عامل نوروتروفیکی مشتق از مغز[1] (BDNF) فراوان‌ترین و بیشترین میزان بیان را طی رشد و تکامل مغز پستانداران داراست و بر حفظ حیات و رشد بسیاری از انواع نورون‌ها مؤثر است (۵، ۴). این عامل نوروتروفیکی در جنبه‌های گوناگون نمو، بلوغ و شکل‌پذیری مغز نقش دارد که شامل تکثیر، تمایز و بقای نورون‌ها، به تعویق انداختن مرگ آنها و نیز نورون‌زایی است. همچنین، از راه افزایش انتقال سیناپسی در شکل‌پذیری سیناپسی، افزایش تبادلات سیناپسی و تحریک‌پذیری سلول‌های عصبی و در نتیجه بهبود عملکرد شناختی، نقش مهمی ایفا می‌کند (۷، ۶). با توجه به کارکردهای شناخته‌شدهٔ BDNF، پیشنهاد شده است افزایش این عامل نوروتروفیکی می‌تواند شکل‌پذیری مغز را حفظ کند یا بهبود بخشد و موجب ارتقای عملکرد شناختی (تسهیل یادگیری) شود (۴). برای مثال نشان داده شده است تزریق BDNF به موش‌ها یادگیری آنها را افزایش می‌دهد (۸) و کمبود آن به کاهش یادگیری و اختلال در تقویت بلندمدت منجر می‌شود. در واقع، حضور BDNF با تقویت مداوم سیناپسی از طریق ارتباط مداوم سیناپس‌ها، فرایند حافظه و یادگیری را بهبود می‌بخشد (۴). به‌علاوه، اختلال در عملکرد BDNF به افت طولانی‌مدت عملکردهای شناختی می‌انجامد ازاین‌رو از BDNF به‌عنوان عامل بالقوه غیردارویی برای بهبود عملکرد مغز انسان یاد کرده‌اند (۸).

مطالعاتی که به‌تازگی در زمینهٔ تأثیر فعالیت ورزشی بر عوامل نوروتروفیکی و عملکرد شناختی انجام گرفته است، بیش‌تر به بررسی تأثیر این عوامل بر کودکان و نوجوانان تمرکز کرده‌اند، چراکه علاوه‌بر تکامل و رشد سیستم عصبی در این سنین، عملکرد ذهنی این گروه از افراد ممکن است با کاهش فعالیت بدنی- که امروزه در بین این قشر بسیار شایع شده است- به خطر افتد (۹). نوجوانی دوره‌ای حیاتی برای بلوغ فرایندهای نوروبیولوژیکی است، زیرا زمینهٔ عملکردهای شناختی، رفتار اجتماعی و عاطفی بهتری را فراهم می‌کند (۱۰). این فرایندهای نوروبیولوژیکی می‌تواند توسط فعالیت ورزشی منظم تسهیل و تقویت شود. برای مثال، براساس نتایج مطالعات فعالیت ورزشی در گروه‌های فعال در مقایسه با گروه‌های غیرفعال، اثر معناداری بر عملکرد شناختی در آزمون‌های مختلف (توجه، زمان واکنش، حافظه، استدلال و پیشرفت تحصیلی) داشته است (۱۱). به‌علاوه، نشان داده شده است مداخلات فعالیت ورزشی حاد یا طولانی‌مدت – هر دو– می‌توانند بر جنبه‌هایی از عملکرد شناختی تأثیرگذار باشند (۱۲).

یکی از جنبه‌های فعالیت ورزشی که به‌نظر می‌رسد در تأثیر فعالیت ورزشی بر BDNF و عملکرد شناختی مؤثر باشد، الگوی فعالیت ورزشی، یا به بیان دیگر، ساده یا پیچیده بودن فعالیت ورزشی است. در چند پژوهش تأثیر فعالیت‌های پیچیده در مقایسه با ساده بر تغییرات عواملی مثل الگوی فعال‌سازی مغز، میزان جریان خون قشر حرکتی و حجم مادهٔ سفید و خاکستری مغز

1. Brain Derived Neurotrophic Factor

بررسی شده است که اغلب این نتایج نشان‌دهندهٔ تأثیر بیشتر فعالیت‌های ورزشی پیچیده نسبت به ساده بر عوامل مذکور بوده است (۳۱، ۲۷ ،۱۷،۱۵-۱۳). همچنین در مقایسهٔ تأثیر محیط‌های ساده و پیچیده بر BDNF، نتایج یک مطالعهٔ حیوانی نشان داد میزان BDNF در حیوانات قراردادهشده در محیط‌های پیچیده (غنی‌سازی شده) نسبت به حیواناتی که در قفس معمولی (محیط ساده) نگهداری می‌شدند، در حد معناداری بالاتر بوده است (۱۶). به‌علاوه، براساس نتایج پژوهش‌ها فعالیت‌های ورزشی با پیچیدگی بیشتر و نیازمند هماهنگی (فوتبال و بسکتبال) تأثیر مثبتی بر توانایی‌های توجه و عملکرد اجرایی بازیکنان داشته است (۱۸، ۱۷). براساس این نتایج احتمالاً الگوی فعالیت ورزشی (ساده و پیچیده) به‌واسطهٔ تأثیرات متفاوت بر فعال‌سازی نورونی، جریان خون مغزی و ... می‌تواند عامل مهمی در پاسخ و سازگاری دستگاه عصبی و عملکرد شناختی به فعالیت ورزشی باشد.

براساس آنچه گفته شد، انواع فعالیت‌های ورزشی با الگوی متفاوت می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر ساختار و عملکرد مغز داشته باشد. ازاین‌رو دستیابی به‌نوعی از فعالیت ورزشی کارامد با بیشترین اثرگذاری مثبت بر دستگاه‌های گوناگون از جمله دستگاه عصبی در میان همهٔ افراد جامعه (به‌ویژه نوجوانان) حائز اهمیت است، زیرا می‌تواند برای بهبود سلامت و عملکرد دستگاه عصبی در ابعاد گوناگون مفید بوده و از نظر بالینی برای به تعویق انداختن بیماری‌های ناشی از اختلالات عصبی سودمند باشد. با توجه به موارد مذکور و نقش BDNF در حفظ سلامت مغز و عملکرد شناختی از یک سو و در نظر گرفتن این موضوع که مطالعات انجام‌گرفته در زمینهٔ BDNF و عملکرد شناختی اغلب به بررسی تأثیر مدت، شدت و نوع فعالیت ورزشی بر این عوامل پرداخته‌اند و همچنین از آنجا که اطلاعات اندکی در زمینهٔ تأثیر الگوی فعالیت ورزشی (ساده و پیچیده بودن) بر BDNF و عملکرد شناختی به‌ویژه در نوجوانان وجود دارد، هدف پژوهش حاضر بررسی و مقایسهٔ تأثیر دو الگوی فعالیت ورزشی (ساده و پیچیده) بر مقادیر BDNF و عملکرد شناختی در دختران نوجوان بود.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و روش انجام آن نیمه‌تجربی بود. پس از تشریح ماهیت و اهداف پژوهش، روش انجام کار، مدت و غیره، ۱۳ نفر آزمودنی نوجوان سالم و غیرورزشکار ۱۸-۱۵ ساله به‌صورت هدفمند و براساس معیارهای ورود به مطالعه (عدم ابتلا به بیماری، عدم مصرف دارو و مکمل، غیرورزشکار یا حداکثر یک جلسه فعالیت در هفته، قاعدگی منظم) به‌عنوان نمونه انتخاب شدند و رضایت‌نامهٔ کتبی آگاهانه از آنان و والدینشان برای شرکت در پژوهش اخذ شد. پروتکل پژوهش پس از تأیید کمیتهٔ اخلاق در پزشکی دانشگاه شاهد به تاریخ ۹۵/۶/۶ و به شمارهٔ ۴/۲۶۹۲۸۰ اجرا شد. پس از اخذ رضایت‌نامه، سنجش‌های اولیه (قد، وزن، ترکیب بدنی و شاخص تودهٔ بدنی) و جمع‌آوری اطلاعات پایه، آزمودنی‌ها در یک طرح مطالعهٔ متقاطع[1]، ابتدا پروتکل فعالیت ورزشی ساده و با یک هفته فاصله پروتکل فعالیت ورزشی پیچیده را اجرا کردند. فرایند آزمون در ساعات ۸ تا ۱۲ صبح برگزار شد. پیش از اجرای هر پروتکل از آزمودنی‌ها نمونهٔ خونی گرفته شد و سپس فرم آزمون ارقام – نماد[2] را تکمیل و آزمون رنگ- واژهٔ استروپ[3] را اجرا کردند. پروتکل فعالیت ورزشی شامل ۵ دقیقه گرم کردن و سپس ۳ تکرار ۱۰ دقیقه‌ای فعالیت ورزشی ساده یا پیچیده (با زمان استراحت فعال ۲ تا ۳

1. Cross-over design
2. Digit-symbol test
3. stroop color-word test

دقیقه) با شدت متوسط یعنی ۵۰ تا ۶۰ درصد حداکثر اکسیژن مصرفی (VO_{2max}) بود (۱۹). برای کنترل شدت فعالیت ورزشی در دو پروتکل از شاخص درک فشار بورگ (RPE برابر با ۱۲ تا ۱۳) و ضربان قلب (۱۳۰-۱۲۰ ضربه در دقیقه) استفاده شد. در پایان آزمودنی‌ها ۵ دقیقه حرکات کششی و سرد کردن را انجام دادند. سپس، بلافاصله خون‌گیری انجام گرفت و آزمودنی‌ها مجدداً فرم آزمون ارقام – نماد را تکمیل و آزمون رنگ - واژه استروپ را اجرا کردند. پیش از اجرای اولین پروتکل طی سه جلسه، حرکات ایروبیک توسط مربی به‌طور جداگانه به آزمودنی‌ها آموزش داده شد. در این جلسات ترکیب حرکات دست و پا، بدون آموزش زنجیره (به‌منظور حذف اثر یادگیری) به آنها ارائه شد. همچنین آزمودنی‌ها با مقیاس درک شدت فشار بورگ برای تعیین شدت متوسط آشنا شدند. هماهنگی و ریتم حرکات با استفاده از مترونوم (۱۳۵-۱۳۰ ضربه در دقیقه معادل شدت متوسط) کنترل شد. از آزمودنی‌ها خواسته شد تا در طول مدت اجرای پروتکل پژوهش الگوی خواب و برنامهٔ غذایی معمول خود را حفظ کنند. به‌علاوه، توصیه شد تا در روز آزمون در ساعات اولیه صبح و یک تا دو ساعت پیش از آزمون، یک صبحانهٔ یکسان مصرف کنند. آزمودنی‌ها در روزهای آزمون در فاز تقریباً یکسانی از دورهٔ قاعدگی قرار داشتند.

پروتکل فعالیت ورزشی ساده: هدف فعالیت ورزشی ساده اعمال فشار فیزیولوژیک با حداقل نیاز به توجه و هماهنگی حرکتی از سوی آزمودنی‌ها بود. بدین‌منظور از رکاب زدن بر روی چرخ کارسنج (PU۳۰۰ و PR۳۰۰، impulse، چین) استفاده شد که مجهز به مانیتور و حسگرهای ضربان قلب و بار کاری بودند. ریتم رکاب زدن توسط مترونوم ۱۳۵ ضربه در دقیقه تعیین شد که معادل ۵۰ تا ۶۰ دور رکاب در دقیقه بود و این میزان با توجه به وزن آزمودنی‌ها و مقاومت اعمال‌شده برای هر آزمودنی اختصاصی شد، تا آزمودنی‌ها بار کاری یکسانی را در حین فعالیت تجربه کنند. ضربان قلب آزمودنی‌ها بین ۱۲۰ تا ۱۳۰ حفظ شد و برای این منظور در زمان‌های استراحت ضربان هر یک با استفاده از دستگاه پالس اکسی متر[1] انگشتی تعیین شد.

پروتکل فعالیت ورزشی پیچیده: هدف از پروتکل فعالیت ورزشی پیچیده اعمال فشار فیزیولوژیک با حداکثر نیاز به هماهنگی عصبی- عضلانی، توجه، تمرکز و هماهنگی حرکتی بود. بدین‌منظور از زنجیرهٔ ترکیبی حرکات ایروبیک استفاده شد که شامل ۴ زنجیره بود که شرکت‌کنندگان در روز آزمون هر زنجیره را برای اولین بار انجام دادند (۲۰). هر زنجیره با مجموع ۳۲ ضرب طراحی شد و هر دو زنجیره با هم در یک تکرار ۱۰ دقیقه‌ای استفاده شد، به‌طوری‌که هر کدام به‌صورت یک در میان با ۸ تکرار اجرا شد تا برای آزمودنی به تکرار ناخودآگاه تبدیل نشود. در تکرار اول دو زنجیرهٔ ۱و۲، تکرار دوم ۲و۳ و تکرار سوم زنجیره‌های ۳و۴ استفاده شد. زنجیره‌ها از ساده شروع و در ادامه بر میزان پیچیدگی آنها افزوده شد. شدت اعمال‌شده علاوه‌بر مقیاس درک فشار بورگ و مترونوم، با تعیین ضربان قلب (۱۳۰-۱۲۰ ضربه در دقیقه) با استفاده از دستگاه پالس اکسی متر در زمان‌های استراحت کنترل شد.

سنجش مقادیر BDNF: نمونهٔ خونی از آزمودنی‌ها در دو مرحله (۳۰ دقیقه قبل از اجرای پروتکل و تقریباً بلافاصله پس از اتمام فعالیت در حالت نشسته) و هر بار به مقدار ۳ سی‌سی از ورید بازویی دست غیرغالب جمع‌آوری شد. برای نگهداری نمونه‌های خون از لوله‌های خلأ مخصوص جداسازی سرم استفاده شد که پس از یک ساعت قرارگیری در دمای اتاق در دستگاه سانتریفیوژ (به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه در دمای ۴

1. Pulse Oximeter

درجهٔ سانتی‌گراد) قرار گرفتند. سرم خون پس از جداسازی در دمای ۸۰- درجهٔ سانتی‌گراد تا زمان سنجش ذخیره شد. سنجش میزان BDNF با استفاده از کیت اختصاصی سنجش BDNF انسانی (Bioassay Technology laboratory, china)، با میزان حساسیت ۰/۰۱ نانوگرم/ میلی‌لیتر با ضریب تغییرات درون‌سنجی کمتر از ۸ درصد و ضریب تغییرات برون‌سنجی کمتر از ۱۰ درصد و با دامنهٔ حساسیت ۱۰- ۰/۰۵ نانوگرم/ میلی-لیتر به روش الایزا و مطابق با دستورالعمل شرکت سازندهٔ کیت، در آزمایشگاه بیمارستان علوم پزشکی بقیةالله انجام گرفت.

آزمون ارقام – نماد: آزمون ارقام - نماد[1] یکی از خرده‌آزمون‌های مقیاس هوش وکسلر است که برای ارزیابی سرعت پردازش اطلاعات، به‌کار می‌رود. در این آزمون، به ازای هر عدد یک نشانهٔ مربوط وجود دارد که آزمودنی در بازهٔ زمانی ۹۰ ثانیه با توجه به کلید بالای صفحه به‌ترتیب شروع به نوشتن نمادهای مربوط به هر عدد در خانه‌های خالی زیر آنها می‌کند. حداکثر نمره در این آزمون ۹۰ امتیاز است. آزمودنی‌ها پشت یک میز در محیطی آرام و با استفاده از قلم نرم بدون پاک‌کن و فرم آزمون موظف به تکمیل آزمون شدند. برای هر پاسخ صحیح یک نمره در نظر گرفته شد.

آزمون رنگ – واژهٔ استروپ: در پژوهش حاضر از آزمون رنگ - واژهٔ استروپ[2] رایانه‌ای استفاده شد. آزمودنی‌ها پیش از آغاز فعالیت پشت یک میز در محیطی آرام و با استفاده از نرم‌افزار رنگ - واژهٔ استروپ (ساخت مؤسسهٔ تحقیقات علوم رفتاری شناختی سینا، ایران) مشغول تکمیل آزمون شدند. در این آزمون تعداد ۴۸ کلمهٔ رنگی همخوان و ۴۸ کلمهٔ رنگی ناهمخوان با رنگ-های قرمز، آبی، زرد و سبز به‌طور تصادفی به آزمودنی نمایش داده شد. مجموعهٔ ۹۶ کلمه رنگی همخوان و ناهمخوان به‌صورت تصادفی و متوالی نشان داده شد. آزمودنی صرف‌نظر از معنای کلمات، تنها رنگ ظاهری آن را مشخص کرد. زمان ارائهٔ هر محرک بر روی مانیتور ۲ ثانیه و فاصلهٔ بین ارائهٔ دو محرک ۸۰۰ هزارم ثانیه بود. عملکرد نهایی آزمودنی براساس زمان تکمیل آزمون و تعداد خطاها سنجیده شد.

روش آماری: برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف – اسمیرنوف استفاده شد. برای مقایسهٔ تغییرات درون‌گروهی (پیش‌آزمون - پس‌آزمون) برای داده‌های با توزیع طبیعی از آزمون آماری t همبسته و برای مقایسهٔ بین‌گروهی پس از محاسبهٔ خالص تغییرات به روش gain score از آزمون t همبسته استفاده شد. سطح معناداری برای همهٔ داده‌ها $P < ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد. شایان ذکر است به دلایلی مانند عدم همکاری مناسب برخی از آزمودنی‌ها در مراحل گوناگون پژوهش، خطای آزمون و ... تجزیه‌وتحلیل‌های نهایی براساس داده‌های ۹ آزمودنی در هر مرحله انجام گرفت.

نتایج

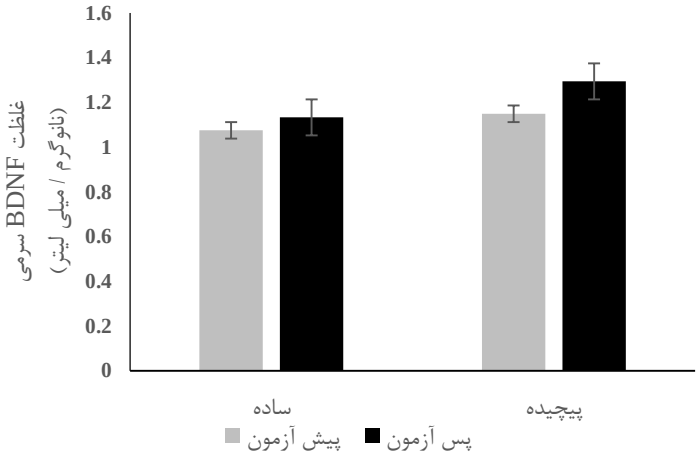
مشخصات عمومی آزمودنی‌های پژوهش (۹ آزمودنی) در جدول ۱ ارائه شده است.

1. Digit symbol substitution test
2. Stroop color–word test

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار داده‌های توصیفی آزمودنی‌ها

شاخص		میانگین ± انحراف معیار
سن (سال)		۱۷ ± ۰/۹
قد (سانتی‌متر)		۱۵۸/۵ ± ۶/۶
وزن (کیلوگرم)		۵۶ ± ۶/۸
شاخص تودهٔ بدن (کیلوگرم بر متر مربع)		۲۲/۴ ± ۳/۰۲
درصد چربی (درصد)		۳۳/۳۶ ± ۴/۸
ضربان قلب (ضربه در دقیقه)	فعالیت ورزشی ساده	۱۱۷/۸ ± ۹/۵
	فعالیت ورزشی پیچیده	۱۲۵/۸ ± ۱۲/۳

تغییرات BDNF سرمی: نتایج آزمون t همبسته برای بررسی تغییرات پیش‌آزمون به پس‌آزمون BDNF نشان داد یک جلسه فعالیت ورزشی ساده و پیچیده به‌ترتیب سبب افزایش ۵ و ۱۳ درصدی مقادیر BDNF شد، اما این میزان افزایش از نظر آماری معنادار نبود (P >۰/۰۵). همچنین، نتایج نشان داد بین دو الگوی فعالیت ورزشی ساده و پیچیده تفاوت معناداری از نظر میزان تغییرات BDNF وجود نداشت (P >۰/۰۵) (شکل ۱).



شکل ۱. میزان تغییرات غلظت BDNF در دو الگوی فعالیت ورزشی ساده و پیچیده

تغییرات عملکرد شناختی: براساس نتایج آزمون ارقام – نماد فعالیت ورزشی پیچیده سبب بهبود معنادار توجه و سرعت پردازش اطلاعات از پیش‌آزمون به پس‌آزمون شد (P=۰/۰۰۸)، اما در گروه فعالیت ورزشی ساده تغییرات در حد معنادار نبود (P=۰/۰۷۵). با وجود این، مقایسهٔ بین‌گروهی نشان داد تفاوت بین الگوی فعالیت ساده و پیچیده در حد معنادار نبود (P=۰/۱۳۳). نتایج درون-گروهی داده‌های آزمون رنگ - واژهٔ استروپ نشان داد که فعالیت ورزشی ساده تنها از نظر نمرهٔ تداخل پاسخ معناداری داشت (P=۰/۰۳۴) درحالی‌که فعالیت ورزشی پیچیده در مؤلفه‌های زمان آزمایش همخوان، زمان آزمایش ناهمخوان، زمان پاسخ همخوان و زمان پاسخ

ناهمخوان بهبود معناداری در عملکرد شناختی نشان داد (به‌ترتیب P=۰/۰۰۸، P=۰/۰۳۳، P=۰/۰۱۱ و P=۰/۰۳۳). از مقایسهٔ بین‌گروهی فعالیت ورزشی ساده و پیچیده در مؤلفه‌های زمان پاسخ ناهمخوان، زمان واکنش ناهمخوان، نمرهٔ تداخل، زمان تداخل، تعداد خطا، تعداد صحیح و بدون پاسخ، تأثیر معناداری بین دو نوع الگوی فعالیت ورزشی در عملکرد شناختی مشاهده نشد (P>۰/۰۵)، اما در نتایج مؤلفه‌های زمان آزمایش همخوان و زمان پاسخ همخوان بهبود معناداری در فعالیت ورزشی پیچیده نسبت به ساده مشاهده شد (به‌ترتیب P=۰/۰۴۶ و P=۰/۰۴۸) (جدول ۲).

جدول ۲. تغییرات عملکرد شناختی (نتایج آزمون ارقام-نماد و رنگ-واژهٔ استروپ) در دو الگوی فعالیت ورزشی ساده و پیچیده

متغیر		الگوی فعالیت	پیش‌آزمون	پس‌آزمون	تغییرات درون گروهی		تغییرات بین گروهی	
					t	P	t	P
ارقام-نماد (نمره)		ساده	۶۸/۰۰±۱۴/۳	۷۶/۰۰±۱۲/۰۹	۲/۰۴	۰/۰۷۵	-۱/۶۷۲	۰/۱۳۳
		پیچیده	۵۷/۵±۱۰/۶	۶۹/۶۷±۱۳/۳۶	۳/۵	۰/۰۰۸*		
رنگ-واژه استروپ	زمان آزمایش همخوان	ساده	۴۱/۱±۲/۲	۴۰/۱۱±۲/۱۳	۰/۷۲۷	۰/۵۶۹	۲/۳۵۳	۰/۰۴۶*
		پیچیده	۴۹/۵±۳/۴۴	۴۲/۷۸±۲/۷۹	۳/۵۱۶	۰/۰۰۸*		
	زمان آزمایش ناهمخوان	ساده	۴۲/۸±۱/۹	۴۲±۲/۰۳	۰/۵۷۴	۰/۵۸۲	۱/۶۸۹	۰/۱۳
		پیچیده	۵۲/۴±۳/۷	۴۵/۲۲±۲/۹	۲/۵۸۱	۰/۰۳۳*		
	زمان پاسخ همخوان	ساده	۸۶۵/۶±۴۳/۴	۸۶۰/۸۹±۴۲/۶۱	۰/۹۹	۰/۳۴۷	۲/۳۲۳	۰/۰۴۸*
		پیچیده	۱۰۲۴/۶±۶۹/۷	۸۸۹±۵۸/۰۱	۳/۲۸	۰/۰۱۱*		
	زمان پاسخ ناهمخوان	ساده	۹۰۱±۳۸/۲	۸۸۱/۸۹±۴۱/۲۹	۰/۶۴۱	۰/۵۳۹	۱/۷۱۸	۰/۱۲۴
		پیچیده	۱۰۷۹/۹±۶۹/۲	۹۴۴/۲۲±۶۰/۱۸	۲/۵۶۷	۰/۰۳۳*		
	نمره تداخل	ساده	-۰/۷۸±۰/۲۷	-۰/۱۱±۰/۲۶	-۲/۱۲۱	۰/۰۳۴*	-۱/۵۲۷	۰/۱۲۷
		پیچیده	۰/۴۴±۰/۶۴	-۰/۲۲±۰/۳۶	-۰/۹۵۴	۰/۳۴		

*تفاوت معنادار در سطح P <۰/۰۵

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش بررسی و مقایسهٔ تأثیر دو الگوی فعالیت ورزشی (ساده و پیچیده) بر مقادیر BDNF و عملکرد شناختی در دختران نوجوان بود. بنا به بررسی ما این پژوهش نخستین پژوهشی است که تأثیر الگوی فعالیت ورزشی، یعنی ساده و پیچیده بودن فعالیت ورزشی را بر عوامل مذکور بررسی کرده است. یافته‌های پژوهش در زمینهٔ تأثیر دو الگوی فعالیت ورزشی بر مقادیر BDNF نشان داد در دختران نوجوان فعالیت ورزشی ساده و پیچیده با شدت و پیچیدگی مشابه آنچه در این پژوهش استفاده شد، تأثیر معناداری بر مقادیر BDNF نداشت. برخی پژوهش‌ها همسو با نتایج پژوهش حاضر افزایش غیرمعنادار مقادیر BDNF را بر اثر یک جلسه فعالیت ورزشی گزارش کرده‌اند (۲۳-۲۱)، درحالی‌که نتایج پژوهش حاضر با نتایج وینتر[1] و همکاران (۲۰۰۷) ناهمسوست (۲۴). به‌نظر می‌رسد تناقض در این یافته‌ها می‌تواند مربوط به شدت فعالیت ورزشی و جنسیت

1. Winter

آزمودنی‌ها باشد، چراکه در مطالعهٔ مذکور فعالیت ورزشی با شدت زیاد بوده (غلظت لاکتات خون بیش از ۱۰ میلی مول) و از آزمودنی‌های مرد استفاده شده است که جنسیت آزمودنی‌های شرکت‌کننده نیز خود می‌تواند عامل دیگری بر عدم همسویی نتایج باشد. برخی مطالعات به تأثیر فعالیت‌های با شدت متوسط تا شدید بر پاسخ BDNF به یک جلسه فعالیت ورزشی تأکید می‌کنند (۲۶، ۲۵). همچنین در برخی پژوهش‌ها نشان داده شده است که نوعاً پاسخ BDNF به فعالیت ورزشی در زنان نسبت به مردان کمتر است (۲۶، ۲۲). در این زمینه برخی محققان گزارش کردند که کاهش غلظت استروژن، افزایش سطوح BDNF وابسته به فعالیت ورزشی را از بین می‌برد (۲۷). با توجه به پژوهش‌های صورت‌گرفته زنان از میزان BDNF پایه‌ای کمتر و تغییرات کمتری نسبت به مردان (به‌طور میانگین و به‌ترتیب ۶/۱۴ و ۲۸/۴۷) برخوردارند (۲۵).

بیان شده است یکی از عوامل مؤثر بر پاسخ BDNF به فعالیت ورزشی آلودگی هواست. در پژوهشی در همین زمینه تأثیر آلودگی هوا بر میزان تغییرات BDNF در پاسخ به فعالیت ورزشی بررسی شد. در این پژوهش زنانی که به دوچرخه‌سواری در یک اتاق با کمترین میزان آلودگی پرداخته بودند، افزایش معناداری در BDNF مشاهده شد، درحالی‌که هیچ افزایشی در گروه دوچرخه‌سوار جاده‌ای گزارش نشد، در پژوهش مذکور میزان آلودگی برای ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون، ۶۴ میکروگرم بر متر مکعب و برای ذرات معلق کمتر از دو و نیم میکرون به میزان ۲۴ میکروگرم بر متر مکعب گزارش شده بود (۲۸). در پژوهش حاضر در روزهای اجرای پروتکل براساس گزارش شرکت کنترل کیفیت هوا میزان ذرات معلق کمتر از دو و نیم میکرون و کمتر از ۱۰ میکرون در این دو روز به‌طور میانگین ۹۱ میکروگرم بر متر مکعب در ایستگاه محل اجرای پروتکل گزارش شده بود که ممکن است عاملی برای توجیه تفاوت در یافته‌های این پژوهش با پژوهش‌های ناهمسو باشد.

در زمینهٔ تأثیر الگوی فعالیت ورزشی (ساده و پیچیده) بر مقادیر BDNF، در نتایج به‌دست‌آمده تفاوت معناداری بین دو الگوی فعالیت ورزشی بر تغییرات BDNF یافت نشد، با وجود این شایان ذکر است که با محاسبهٔ درصد تغییرات BDNF بین دو الگوی فعالیت ورزشی روند افزایشی ۱۳ درصد طی الگوی پیچیده و ۵ درصد افزایش طی الگوی ساده را نشان داد که افزایش بیشتر از دو برابری BDNF را بر اثر الگوی پیچیده در مقایسه با ساده نشان می‌دهد. با توجه به اینکه بنا به بررسی محقق این پژوهش نخستین مطالعه‌ای است که تأثیر الگوی فعالیت ورزشی (ساده و پیچیده) بر مقادیر BDNF، را بررسی کرده است، پیشینهٔ مستقیمی در این زمینه یافت نشد. اما برخی نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات حیوانی، در مقایسه با محیط ساده، غنی‌سازی محیطی[1] را عاملی مؤثر در افزایش میزان نوروتروفین‌هایی مانند BDNF گزارش کرده‌اند (۲۹). بر این اساس شاخص‌های مورفولوژیک و بیوشیمیایی مغز در پاسخ به تأثیرات محیطی تغییر می‌کند. در پژوهش مذکور تأثیرات کوتاه‌مدت نوروتروفین‌ها بر عملکردهای عصبی به‌ویژه نقش BDNF در شکل‌پذیری سیناپسی مورد تأیید قرار گرفته است. در پژوهش دیگری، محققان افزایش BDNF را در هر دو محیط پیچیده و ساده گزارش کردند اما اختلاف معناداری بین آنها وجود نداشت. الگوی فعالیت ورزشی پیچیده در پژوهش حاضر به‌عنوان یک پیش‌فرض در مقابل الگوی فعالیت ورزشی ساده مطرح شد. به‌طوری‌که اجرای این الگو (حرکات ایروبیک) در مقایسه با حرکات تکراری، نیمه آگاهانه و خودکار ساده (رکاب زدن) نیازمند تمرکز و

1. Environmental enrichment

توجه و اجرای آگاهانه است و با درگیر کردن حواس چندگانه و ارتباط و هماهنگی عصبی- عضلانی بیش‌تر، به لحاظ نظری می‌تواند موجب فعال‌سازی نورونی بیشتری از طریق فعال کردن سیناپس‌های خاموش و یا کمتر فعال شود (۳۱، ۳۰). به‌علاوه، از آنجا که مغز به‌عنوان یکی از منابع تولید BDNF که سهم حدود ۸۰ درصدی از BDNF خون را به خود اختصاص می‌دهد و توجه به این موضوع که هنگام فعالیت ورزشی دو تا سه برابر حالت استراحت، آزادسازی آن از مغز افزایش می‌یابد (۳۱)، انتظار می‌رود تحریک عصبی – عضلانی ایجادشده طی فعالیت ورزشی پیچیده در نهایت به تسهیل تقویت بلندمدت به میزان بیشتری منجر می‌شود (۳۲). تسهیل تقویت بلندمدت خود با راه‌اندازی آبشاری از واکنش‌ها با رونویسی از ژن BDNF میزان این پروتئین را افزایش دهد. با وجود این، یافته‌های این پژوهش نشان داد، پاسخ BDNF به یک جلسه فعالیت ورزشی با شدت متوسط در دختران نوجوان متأثر از الگوی فعالیت ورزشی نبوده است، اما با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، هر دو الگو موجب افزایش غیرمعنادار BDNF شده‌اند و در این میان سهم یک جلسه فعالیت ورزشی پیچیده با شدت متوسط (۱۳ درصد افزایش) به نسبت فعالیت ورزشی ساده (۵ درصد افزایش) بیشتر بوده است. وجود محدودیت‌هایی در این پژوهش مثل ریزش آزمودنی‌ها و متعاقباً کاهش توان آزمون آماری و نیز محدودیت شدت استفاده‌شده در این پژوهش - به‌دلیل حضور افراد تمرین‌نکرده و با توجه به الگوی فعالیت ورزشی پیچیده که نیازمند هماهنگی و تمرکز در انجام حرکات بود – جمع‌بندی تأثیر الگوی فعالیت ورزشی بر مقادیر BDNF را دشوار می‌سازد. براساس نتایج روند تغییرات به نفع تأثیر نسبی مطلوب‌تر فعالیت ورزشی پیچیده بر BDNF است، با وجود این برای اثبات تأثیر الگوی فعالیت ورزشی پیچیده بر مقادیر BDNF به پژوهش‌های بیشتری نیاز است.

تأثیر الگوی فعالیت ورزشی بر عملکرد شناختی: یافته‌های این مطالعه در زمینهٔ تأثیر الگوی فعالیت ورزشی بر عملکرد شناختی نشان داد در دختران نوجوان فعالیت ورزشی پیچیده در مقایسه با فعالیت ورزشی ساده، بر برخی از جنبه‌های عملکرد شناختی (سرعت واکنش) تأثیر معنادار مطلوب‌تری داشته است. یافته‌های مطالعهٔ حاضر در زمینهٔ تأثیر فعالیت ورزشی حاد با شدت متوسط بر عملکرد شناختی (با توجه به نمره‌های آزمون رنگ - واژهٔ استروپ) همسو با یافته‌های برخی پژوهش‌هاست که با بررسی اثر شدت فعالیت ورزشی بر عملکرد شناختی گزارش کردند ۴۰ دقیقه فعالیت ورزشی با شدت متوسط بهبود معناداری را در زمان واکنش آزمودنی‌ها ایجاد کرد (۲۴، ۲۱). از طرف دیگر، نتایج به‌دست‌آمده از آزمون ارقام – نماد نشان داد یک جلسه فعالیت ورزشی موجب بهبود معنادار عملکرد شناختی از نظر توجه و سرعت پردازش اطلاعات شد. این نتایج با اطلاعات به‌دست‌آمده از پژوهشی که نشان داد میزان توجه در آزمودنی‌های نوجوانان ۱۸-۱۳ سال طی یک جلسه فعالیت ورزشی بهبود معناداری یافته بود، همسوست (۱۷). از سوی دیگر، نتایج به‌دست‌آمده از آزمون ارقام – نماد در پژوهش حاضر غیرهمسو با نتایج کوپر و همکاران (۲۰۱۶) است که با بررسی اثر یک جلسه فعالیت ورزشی بر عملکرد شناختی در نوجوانان تفاوت معناداری بین نمره‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون ارقام - نماد مشاهده نکردند (۳۳). همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از آزمون رنگ – واژهٔ استروپ غیرهمسو با نتایج دو پژوهش انجام‌گرفته در این زمینه است که گزارش کردند، یک جلسه فعالیت ورزشی حاد بر زمان واکنش آزمون رنگ – واژهٔ استروپ در آزمودنی‌های با آمادگی جسمانی پایین تا متوسط تأثیری ندارد (۳۵،

۳۴). در پژوهش مذکور آزمودنی‌هایی با دامنهٔ سنی ۱۰ تا ۱۳ سال آزمون شدند که با توجه به روند تکاملی سیستم عصبی این احتمال وجود دارد نتایج این پژوهش به عامل سن، جنس و میزان تحصیلات وابسته باشد. از آنجا که مدارهای عصبی قشر پیش‌پیشانی[1] که در اواخر نوجوانی بالغ می‌شود، در طول دوران بلوغ متحمل تغییرات پیش‌رونده (میلین‌دار شدن) و پس‌رونده (حذف سیناپسی) می‌گردد، که می‌تواند سبب پاسخ‌های متنوعی بسته به میزان بلوغ نسبت به فعالیت ورزشی در سنین مختلف شود. علاوه‌بر این، با توجه به نتایج بریس والتر[2] و همکاران (۲۰۰۲)، شدت‌ها و مدت زمان‌های متفاوت می‌تواند موجب اثرهای متفاوتی بر جنبه‌های مختلف عملکرد شناختی شود (۳۶).

در زمینهٔ تأثیر الگوی فعالیت ورزشی بر عملکرد شناختی طی بررسی‌های انجام‌گرفته پیشینهٔ مستقیمی از تأثیر الگوی فعالیت ورزشی پیچیده بر عملکرد شناختی در انسان یافت نشد، ازاین‌رو با توجه به سازماندهی فعالیت‌های ورزشی به ساده و پیچیده براساس تعاریف می‌توان گفت نتایج به‌دست‌آمده همسو با یافته‌های پژوهش‌هایی است که نشان دادند یک جلسه فعالیت ورزشی پیچیده به‌طور معناداری تأثیر بیشتری بر فرایندهای شناختی در مقایسه با فعالیت‌های ورزشی معمول داشته است (۲۰، ۱۷). نتایج مطالعات حیوانی نیز نشان داده‌اند که پیچیدگی‌های محیطی به‌عنوان عامل محرکی در جهت فعالیت پیچیده موش‌ها در مقایسه با فعالیت‌های معمول در یک قفس استاندارد موجب بهبود در یادگیری و حافظه می‌شود (۳۷، ۲۹). با توجه به ساختارهای عصبی مسئول هماهنگی عضلانی و نیز عملکرد شناختی فرض بر آن است که فعالیت ورزشی پیچیده با پیش‌فعال‌سازی عمومی شبکه‌های عصبی مرتبط با شناخت می‌تواند موجب بهبود سرعت و دقت آزمون‌های تمرکز و توجه در آزمودنی‌های نوجوان در مقایسه با فعالیت ورزشی ساده شود (۱۸). ازاین‌رو همسو با نتایج پژوهش حاضر برخی پژوهش‌ها گزارش کرده‌اند، فعالیت‌های ورزشی پیچیده‌ای مانند بسکتبال و فوتبال به‌طور چشمگیری توانایی‌های توجه و عملکردهای اجرایی بازیکنان را بهبود می‌بخشند (۲۰). عملکرد اجرایی و مدارهای عصبی زمینه‌ای در نوجوانی هنوز نابالغ‌اند و در نتیجه تجارب خاص مانند فعالیت ورزشی پیچیده، ممکن است رشد آنها را تسهیل کند یا به‌طور موقت عملکردشان را افزایش دهد (۳۸). هرچند به نقل از مورئو[3] و همکاران (۲۰۱۵) بیشتر مردم به‌طور کلی تمایل به اجتناب از تکالیف پیچیده دارند و از قانون حداقل تلاش پیروی می‌کنند (۳۰)، اما نتایج پژوهش وی از ارزیابی اثربخشی فعالیت‌های حرکتی پیچیده بر افزایش شناخت با نتایج مطالعهٔ حاضر همسوست.

در مجموع پژوهش حاضر نشان می‌دهد در مقایسه با یک فعالیت ورزشی ساده (رکاب زدن)، فعالیت ورزشی پیچیده می‌تواند بر برخی جنبه‌های عملکرد شناختی مانند توجه و سرعت واکنش تأثیر مطلوب‌تری داشته باشد. با توجه به اهمیت عملکرد شناختی و نقش نوروتروفین‌ها در حفظ و بهبود عملکرد شناختی (به‌ویژه در نوجوانان که فرایندهای شناختی آنها در حال تکامل و شکل‌گیری است) آگاهی از تأثیر انواع فعالیت‌های ورزشی به‌ویژه تأثیر الگوی فعالیت ورزشی می‌تواند در توصیه‌های فعالیت ورزشی بر بهبود عملکرد شناختی مؤثر و کمک‌کننده باشد. ازاین‌رو توصیه می‌شود به‌ویژه در مدارس، ورزش صبحگاهی با الگوی پیچیده بیشتر استفاده شود. هرچند پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی مانند تعداد آزمودنی و آشنایی آزمودنی با آزمون‌های شناختی روبه‌رو

1. Prefrontal Cortex
2. Brisswalter
3. Moreau

بوده است. بنابراین، پژوهش حاضر بررسی‌های بیشتری را به‌همراه تعداد بیشتری آزمودنی در دختران و پسران و با شدت‌ها و الگوهای مختلف به پژوهشگران علاقه‌مند توصیه می‌کند.

تقدیر و تشکر: از کلیهٔ آزمودنی‌ها که در این پژوهش شرکت داشتند و همچنین از کارکنان آزمایشگاه بیمارستان علوم پزشکی بقیةالله (عج) که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع و مآخذ

1. Simon HB. Exercise and Health: Dose and Response, Considering Both Ends of the Curve. The American Journal of Medicine. 2015;128(11):1171-7.
2. Perry Bruce D, Pollard Ronnie A, Blakley Toi L, Baker William L, Vigilante D. Childhood trauma, the neurobiology of adaptation, and "use-dependent" development of the brain: How "states" become "traits". Infant Mental Health Journal. 1995;16(4):271-91.
3. Imai K, Nakajima H. Exercise and Nervous System. In: Mechanosensitivity in Cells and Tissues. Mechanosensitivity of the Nervous System. A.Kamkin and I.Kiseleva (eds.) Springer, 2008. p. 299–318.
4. Cotman CW, Berchtold NC. Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. Trends in neurosciences. 2002;25(6):295-301.
5. Murer MG, Yan Q, Raisman-Vozari R. Brain-derived neurotrophic factor in the control human brain, and in Alzheimer's disease and Parkinson's disease. Progress in Neurobiology. 2001;63(1):71-124.
6. Huang T, Larsen KT, Ried-Larsen M, Moller NC, Andersen LB. The effects of physical activity and exercise on brain-derived neurotrophic factor in healthy humans: A review. Scandinavian journal of medicine & science in sports. 2014;24(1):1-10.
7. Molteni R, Zheng JQ, Ying Z, Gomez-Pinilla F, Twiss JL. Voluntary exercise increases axonal regeneration from sensory neurons. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2004;101(22):8473-8.
8. Cotman CW, Berchtold NC, Christie L-A. Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. Trends in neurosciences. 2007;30(9):464-72.
9. Landers, D. M., & Arent, S. M. Physical activity and mental health. *Handbook of sport psychology*, *2*. 2001. 740-765.
10. Korol DL, Gold PE, Scavuzzo CJ. Use it and boost it with physical and mental activity. Hippocampus. 2013;23(11):1125-35.
11. Piepmeier AT, Etnier JL. Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) as a potential mechanism of the effects of acute exercise on cognitive performance. Journal of Sport and Health Science. 2015;4(1):14-23.
12. Tomporowski PD, McCullick B, Pendleton DM, Pesce C. Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition. Journal of Sport and Health Science. 2015;4(1):47-55.

13. Kawashima R, Matsumura M, Sadato N, Naito E, Waki A, Nakamura S, et al. Regional cerebral blood flow changes in human brain related to ipsilateral and contralateral complex hand movements--a PET study. The European journal of neuroscience. 1998;10(7):2254-60.
14. Park J-W, Kwon YH, Lee MY, Bai D, Nam K-S, Cho YW, et al. Brain activation pattern according to exercise complexity: a functional MRI study. NeuroRehabilitation. 2007;23(3):283-8.
15. Rehfeld K, Hoekelmann A, Lueders A, Kaufmann J and Mueller NG . The effects of six-month exercise programs on structural changes in gray and white matter volume and balance abilities in senior citizens: the case for dance training. *Frontiers in Human* Neuroscience. Conference Abstract: XII International Conference on Cognitive Neuroscience (ICON-XII). 2015.
16. Klintsova AY, Dickson E, Yoshida R, Greenough WT. Altered expression of BDNF and its high-affinity receptor TrkB in response to complex motor learning and moderate exercise. Brain Research. 2004;1028(1):92-104.
17. Budde H, Voelcker-Rehage C, Pietraßyk-Kendziorra S, Ribeiro P, Tidow G. Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. Neuroscience Letters. 2008;441(2):219-23.
18. Cortis C, Tessitore A, Perroni F, Lupo C, Pesce C, Ammendolia A, et al. Interlimb coordination, strength, and power in soccer players across the lifespan. Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association. 2009;23(9):2458-66.
19. Saucedo Marquez CM, Vanaudenaerde B, Troosters T, Wenderoth N. High-intensity interval training evokes larger serum BDNF levels compared with intense continuous exercise. Journal of applied physiology (Bethesda, Md : 1985). 2015;119(12):1363-73.
20. Kimura K, Hozumi N. Investigating the acute effect of an aerobic dance exercise program on neuro-cognitive function in the elderly. Psychology of Sport and Exercise. 2012;13(5):623-9.
21. Ferris LT, Williams JS, Shen C-L. The effect of acute exercise on serum brain-derived neurotrophic factor levels and cognitive function. Medicine and science in sports and exercise. 2007;39(4):728-34.
22. Gustafsson G, Lira CM, Johansson J, Wisén A, Wohlfart B, Ekman R, et al. The acute response of plasma brain-derived neurotrophic factor as a result of exercise in major depressive disorder. Psychiatry Research. 2009;169(3):244-8.
23. Rojas Vega S, Strüder HK, Vera Wahrmann B, Schmidt A, Bloch W, Hollmann W. Acute BDNF and cortisol response to low intensity exercise and following ramp incremental exercise to exhaustion in humans. Brain Research. 2006;1121(1):59-65.
24. Winter B, Breitenstein C, Mooren FC, Voelker K, Fobker M, Lechtermann A, et al. High impact running improves learning. Neurobiology of Learning and Memory. 2007;87(4):597-609.

25. Knaepen K, Goekint M, Heyman EM, Meeusen R. Neuroplasticity - exercise-induced response of peripheral brain-derived neurotrophic factor: a systematic review of experimental studies in human subjects. Sports medicine (Auckland, NZ). 2010;40(9):765-801.
26. Schmidt-Kassow M, Schadle S, Otterbein S, Thiel C, Doehring A, Lotsch J, et al. Kinetics of serum brain-derived neurotrophic factor following low-intensity versus high-intensity exercise in men and women. Neuroreport. 2012;23(15):889-93.
27. Berchtold NC, Kesslak JP, Pike CJ, Adlard PA, Cotman CW. Estrogen and exercise interact to regulate brain-derived neurotrophic factor mRNA and protein expression in the hippocampus. The European journal of neuroscience. 2001;14(12):1992-2002.
28. Bos I, Jacobs L, Nawrot TS, de Geus B, Torfs R, Int Panis L, et al. No exercise-induced increase in serum BDNF after cycling near a major traffic road. Neuroscience Letters. 2011;500(2):129-32.
29. Ickes BR, Pham TM, Sanders LA, Albeck DS, Mohammed AH, Granholm A-C. Long-Term Environmental Enrichment Leads to Regional Increases in Neurotrophin Levels in Rat Brain. Experimental Neurology. 2000;164(1):45-52.
30. Moreau D. Brains and Brawn: Complex Motor Activities to Maximize Cognitive Enhancement. Educational Psychology Review. 2015;27(3):475-82.
31. Rasmussen P, Brassard P, Adser H, Pedersen MV, Leick L, Hart E, et al. Evidence for a release of brain-derived neurotrophic factor from the brain during exercise. Experimental Physiology. 2009;94(10):1062-9.
32. Lu Y, Christian K, Lu B. BDNF: A key regulator for protein synthesis-dependent LTP and long-term memory? Neurobiology of Learning and Memory. 2008;89(3):312-23.
33. Cooper SB, Bandelow S, Nute ML, Dring KJ, Stannard RL, Morris JG, et al. Sprint-based exercise and cognitive function in adolescents. Preventive Medicine Reports. 2016;4:155-61.
34. Lin T-W, Chen S-J, Huang T-Y, Chang C-Y, Chuang J-I, Wu F-S, et al. Different types of exercise induce differential effects on neuronal adaptations and memory performance. Neurobiology of Learning and Memory. 2012;97(1):140-7.
35. Griffin ÉW, Mullally S, Foley C, Warmington SA, O'Mara SM, Kelly ÁM. Aerobic exercise improves hippocampal function and increases BDNF in the serum of young adult males. Physiology & Behavior. 2011;104(5):934-41.
36. Brisswalter J, Collardeau M, René A. Effects of Acute Physical Exercise Characteristics on Cognitive Performance. Sports Medicine. 2002;32(9):555-66.
37. Vaynman S, Ying Z, Gomez-Pinilla F. Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. European Journal of Neuroscience. 2004;20(10):2580-90.
38. Best JR. Effects of Physical Activity on Children's Executive Function: Contributions of Experimental Research on Aerobic Exercise. Developmental review : DR. 2010;30(4):331-55.