

The effect of twelve weeks of resistance training and creatine hydrochloride supplementation on serum dopamine and serotonin levels in middle-aged men during brain games

Mahdi Mousavi¹, Rambod Khajei^{2*1}, Mohammad reza Hossein abadi³, Amene Barjaste Yazdi⁴

- ¹. PhD Student, Department of Physical Education and Sport Sciences, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran
- ². Assistance professor, Department of Physical Education and Sport Sciences, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran
- ³. Assistance professor, Department of Physical Education and Sport Sciences, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran
- ⁴. Assistance professor, Department of Physical Education and Sport Sciences, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran

Received: 17 November 2024; Accepted: 28 January 2025, Published: 21 July 2025

Abstract:

Introduction: The present study aimed to investigate the effect of twelve weeks of resistance training with and without creatine hydrochloride supplementation on serum serotonin and dopamine levels in middle-aged men during cognitive gaming.

Methods: In the present quasi-experimental study, 36 middle-aged men were divided into three groups: resistance training + supplementation (n=12), resistance training + placebo (n=12), and control group (n=12). Resistance training was performed for 12 weeks with a frequency of four sessions per week at an intensity of 70 to 85% of one repetition maximum. Creatine hydrochloride or maltodextrin supplements were also consumed as placebo at a dose of three grams per day. Blood sampling was performed before and after the Mafia game. A repeated measures analysis of variance and Bonferroni post hoc test were used for statistical analysis.

Results: There was no significant difference between the groups in the levels of serotonin and dopamine in the serum in the first (acute) phase ($P>0.05$). In the second phase; there was no significant difference in the levels of serotonin and dopamine in the control group compared to the resistance training + supplement group ($P>0.05$) and resistance training + placebo ($P>0.05$). Within-group changes showed that the decrease in serotonin and dopamine compared to the pre-test was significant in all groups ($P=0.001$).

Conclusion: Mafia game decreased serum dopamine and serotonin levels, but a period of resistance training and creatine phosphate supplementation had no significant effect on middle-aged men's serotonin and dopamine levels while playing Mafia game.

Keywords: Resistance training, cognitive game, creatine supplementation, serotonin, dopamine

¹. Corresponding author

Rambod Khajei

Address: Department of Physical Education & Sport Sciences, Neyshabur Branch, Islamic Azad University, Neyshabur, Iran

Phone: 09151141409

Email: Raambodkhajei@gmail.com

تأثیر دوازده هفته تمرین مقاومتی و مصرف مکمل کراتین هیدروکلراید بر سطوح سرمی دوپامین و سروتونین در مردان میانسال هنگام بازی شناختی

مهدی موسوی^۱، رامبد خواجه‌ای^{۱*}، محمدرضا حسین‌آبادی^۲، آمنه برجسته یزدی^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران
۲. استادیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران
۳. استادیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران
۴. استادیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۸/۲۷ تاریخ اکسپت: ۱۴۰۳/۱۱/۹ تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۳/۳۱

چکیده:

مقدمه: تحقیق حاضر با هدف تأثیر دوازده هفته تمرین مقاومتی با و بدون مصرف مکمل کراتین هیدروکلراید بر سطوح سرمی سروتونین و دوپامین در مردان میانسال هنگام بازی شناختی انجام شد.

روش کار: در تحقیق نیمه تجربی حاضر، ۳۶ مرد میانسال به سه گروه تمرین مقاومتی+مکمل (۱۲ نفر)، گروه تمرین مقاومتی+دارونما (۱۲ نفر) و گروه کنترل (۱۲ نفر) تقسیم شدند. تمرین مقاومتی به مدت ۱۲ هفته با تواتر چهار جلسه در هفته با شدت ۷۰ تا ۸۵ درصد یک تکرار بیشینه انجام شد همچنین از مکمل کراتین هیدروکلراید یا مالتودکسترین به عنوان دارونما به میزان سه گرم در روز مصرف شد. نمونه گیری خون قبل و پس از بازی مافیا انجام شد. از آزمون آنالیز واریانس با اندازه گیری مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد.

نتایج: نتایج بین گروهی در میزان سروتونین و دوپامین سرمی در مرحله اول (حاد) اختلاف معنی داری مشاهده نشد ($P > 0.05$). در مرحله دوم؛ تفاوت معنی داری در میزان سروتونین و دوپامین در گروه کنترل نسبت به گروه تمرین مقاومتی+مکمل ($P > 0.05$) و تمرین مقاومتی+دارونما ($P > 0.05$) مشاهده نشد. تغییرات درون گروهی نشان داد که کاهش سروتونین و دوپامین نسبت به پیش آزمون در تمام گروه‌ها معنی دار بود ($P = 0.001$).

نتیجه گیری: بازی مافیا موجب کاهش سطوح سرمی دوپامین و سروتونین شد ولی یک دوره تمرین مقاومتی و مصرف مکمل کراتین هیدروکلراید اثر معنی داری بر سطوح سروتونین و دوپامین مردان میانسال هنگام بازی مافیا نداشت.

واژگان کلیدی: تمرین مقاومتی، بازی شناختی، مکمل کراتین، سروتونین، دوپامین

^۱ نویسنده مسوول

رامبد خواجه‌ای

نشانی: گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران

تلفن: ۰۹۱۵۱۱۴۱۴۰۹

ایمیل: Raambodkhajei@gmail.com

مقدمه

خستگی احساسی است که معمولاً در زندگی روزمره ما، به عنوان مثال، در دوره های فعالیت بدنی شدید و یا طولانی مدت تجربه می شود (رضایی و همکاران، ۲۰۲۲). در تشخیص خستگی مرکزی، تعریف گاندویا متکی به کلمه «ارادی» است، که موضوع مهمی را در رابطه با اتکای تاریخی ما به اندازه گیری ذهنی خستگی مطرح می کند. در مقابل، وسلی و همکاران خستگی «شناختی» (شکلی از خستگی مرکزی) را به عنوان منبع آن در سطح نورون حرکتی فوقانی یا بالاتر تعریف کردند. شاید بهترین تعریف از خستگی مرکزی تا به امروز، تعریف چاودوری و بهان باشد که به عنوان «شکست در شروع و یا حفظ وظایف توجه و فعالیت های بدنی که نیاز به انگیزه شخصی دارند» توصیف می شود، بنابراین بر یک مؤلفه شناختی تأکید می شود (لیویت و همکاران، ۲۰۱۰).

فرآیند روانی-فیزیولوژیکی که باعث احساس خستگی می شود، پیچیده است و ممکن است ناشی از عوامل محیطی و مرکزی باشد (کوردیرو و همکاران، ۲۰۱۷). واضح است که انتقال دهنده های عصبی مغزی مختلف مانند سروتونین، دوپامین و نورآدرنالین در بروز خستگی نقش دارند (میوزن و همکاران، ۲۰۱۰). سروتونین به دلیل اثرات شناخته شده آن بر خواب، بی حالی و خواب آلودگی و از دست دادن انگیزه با خستگی مرتبط است. عملکرد مغز توسط یک سیستم انتقال دهنده عصبی منفرد تعیین نمی شود و تعامل بین سروتونین مغز و دوپامین به عنوان نقش تنظیم کننده در ایجاد خستگی نقش دارند (میوزن و همکاران، ۲۰۰۶). خستگی ذهنی به صورت اختلال در عملکرد شناختی بالقوه ظاهر می شود (ایشی و همکاران، ۲۰۱۴). عنوان شده است که خستگی شناختی با القای کاهش انرژی در مغز، کاهش انتقال دهنده های عصبی مغز یا تغییر در انگیزه، بر عملکرد فیزیکی و شناختی تأثیر می گذارد (مک موریس و همکاران، ۲۰۱۸).

تمرینات شناختی یک مداخله غیردارویی فزاینده محبوب برای بهبود عملکرد شناختی است (ون بالکام و همکاران، ۲۰۲۰). در طراحی و اجرای یک مداخله با فعالیت های شناختی و اوقات فراغت، استفاده از فعالیت های فرح بخش و جذاب مانند بازی هایی که منجر به فعالیت عملکرد شناختی شوند، اهمیت دارد (ورمیر و همکاران، ۲۰۲۰؛ اسمید و همکاران، ۲۰۲۰). بازی مافیا مانند دیگر بازی های فکری می باشد که به صورت گروهی برگزار می شود و با عملکرد شناختی از جمله درک کردن، حدس زدن، بلوف زدن، تصمیم گیری و تعامل با گروه همراه است (کیم و کیم، ۲۰۲۳). نتایج تحقیق ما نشان داد که طولانی شدن زمان بازی مافیا منجر به افزایش خستگی شناختی در افراد شرکت کننده می شود (موسوی و همکاران، ۲۰۲۵).

تمرین مقاومتی به یک روش تخصصی آماده سازی اشاره دارد که شامل استفاده تدریجی از طیف گسترده ای از بارهای مقاومتی و انواع روش های تمرینی است که برای افزایش سلامتی و عملکرد ورزشی طراحی شده اند. تمرینات مقاومتی عضلانی معمولاً شامل یک یا چند ست تکرار است که با فاصله زمانی استراحت با مقاومت یکسان یا متفاوت انجام می شود (کتان، ۲۰۲۱). عنوان شده است که تمرینات ورزشی منظم علاوه بر سازگاری های عصبی-عضلانی (جعفری و همکاران، ۲۰۲۱)، اثرات مثبتی بر کاهش خستگی ادراک شده در طول فعالیت های شدید و طولانی مدت دارد (مک موریس و همکاران، ۲۰۱۸). گزارش شده است که رویکردهای تمرین مقاومتی در بهبود عملکرد شناختی و عملکرد فیزیکی در سالمندان مبتلا به ضعف شناختی مؤثر است (یون و همکاران، ۲۰۱۸). این فواید شناختی ناشی از ورزش مقاومتی می تواند برای افراد در سنین میانسالی به عنوان یک توصیه برای پیشگیری از عوارض شناختی در مراحل پیری مورد استفاده قرار گیرد. به خوبی ثابت شده است که در طول تمرینات مقاومتی، بدون توجه به حجم و شدت کار، خستگی رخ می دهد. مکانیسم های محیطی خستگی نسبت به مکانیسم های مربوط به سیستم عصبی مرکزی با جزئیات بیشتری مورد مطالعه و توضیح قرار گرفته است (زاجاک و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین عنوان شده است که استفاده از مکمل کراتین اثرات مثبتی بر سازگاری های کسب شده از تمرینات مقاومتی از جمله کاهش خستگی محیطی و مرکزی دارد (واتانابه و

همکاران، ۲۰۰۲). با این حال در برخی تحقیقات عنوان شده است که استفاده از مکمل کراتین اثر معنی داری بر خستگی ندارد (اسمیت رایان و همکاران، ۲۰۱۴). که نشان دهنده گپ تحقیقاتی و نیاز به تحقیقات بیشتر در این خصوص می باشد سیستم هرمی تمرین به روش‌هایی اطلاق می‌شود که در آن ست‌ها با افزایش (یا کاهش) وزنه‌ها و تکرارها انجام می‌شوند، به گونه‌ای که در صورت بالا بودن وزنه، تعداد تکرارها کم باشد (و بالعکس) (کتان، ۲۰۲۱). گزارش شده است که تمرینات مقاومتی تغییرات عملکردی معنی داری در مغز به ویژه در لوب پیشانی را برانگیخته می‌کند که با بهبود عملکردهای اجرایی همراه است (هرولد همکاران، ۲۰۱۹). در واقع این سازگاری‌های مرکزی ناشی از تمرینات مقاومتی می‌تواند بر عملکرد شناختی موثر باشد (چو و همکاران، ۲۰۲۱). نتایج تحقیق موسوی و همکاران نیز نشان داد تمرینات مقاومتی هرمی اثرات مثبتی بر کاهش خستگی شناختی در مردان میانسال داشت (موسوی و همکاران، ۲۰۲۵). که نشان دهنده اهمیت تمرینات مقاومتی منظم بر کاهش خستگی ذهنی و در نتیجه بهبود عملکرد شناختی هنگام فعالیت‌های فکری و شناختی در طول بازی مافیا می باشد.

با توجه به نقش دوپامین و سروتونین در ایجاد خستگی مرکزی و همچنین نبود تحقیقی که به طور خاص تمرینات مقاومتی هرمی و مکمل کراتین هیدروکلراید را بر سطوح سروتونین و دوپامین به عنوان بیومارکرهای مرتبط با خستگی شناختی بررسی کرده باشد، تحقیق حاضر با هدف پاسخ به این سوال که آیا یک دوره تمرینات مقاومتی هرمی و مصرف مکمل کراتین هیدروکلراید بر متغیرهای مرتبط با خستگی مرکزی (دوپامین و سروتونین) اثر دارد.

روش کار

جامعه آماری پژوهش حاضر را مردان میانسال در شهرستان مشهد تشکیل دادند که تعداد ۳۶ نفر به عنوان حجم نمونه بصورت نمونه در دسترس بر اساس معیارهای ورود به پژوهش انتخاب شدند. پس از گزینش نهایی شرکت کنندگان، در سه گروه تمرین مقاومتی+مصرف مکمل، تمرین مقاومتی+ مصرف دارونما و کنترل بصورت تصادفی ساده تقسیم شدند. شرایط ورود به تحقیق شامل داشتن سلامت عمومی، عدم مصرف مکمل طی شش ماه گذشته، نداشتن بیماری خاص زمینه‌ای، داشتن سن ۴۰ تا ۵۰ سال، داشتن شاخص توده بدنی بین ۲۰ تا ۲۵ کیلوگرم بر مترمربع و داشتن حداقل یک سال شرکت در بازی‌های مافیا بود و معیارهای خروج از پژوهش شامل عدم شرکت در بازی مافیا، عدم شرکت برنامه‌های تمرین برای بیش از ۲ جلسه متوالی، عدم مصرف مکمل کراتین، شرکت در برنامه تمرینی دیگر، بروز آسیب اسکلتی-عضلانی در طول جلسات تمرینی و عدم شرکت در نمونه‌گیری‌های خونی بود.

روش جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها

مشخصات فردی و سوابق پزشکی: توسط محقق ابتدا پرسشنامه مشخصات فردی، رضایت‌نامه و سوابق پزشکی داده شد و از هر شرکت کننده تقاضا گردید که فرم را تکمیل نمایند و توسط پژوهشگر اطلاعات تکمیلی داده شد.

اندازه‌گیری قد و وزن:

سنجش قد و وزن با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری قد/وزن شرکت سکا ساخت کشور آلمانی استفاده گردید. تست‌های تن‌سنجی در نوبت صبح انجام شد. از شرکت کننده خواسته شد که با حداقل لباس یا لباس سبک روی ترازو بدون کفش قرار بگیرد و توسط محقق وزن فرد به کیلوگرم به یک رقم اعشار ثبت شد. سپس فرد خواسته شد که بدون کفش بر روی دستگاه به صورت صاف و کاملاً

کشیده بایستد به صورتی که وزن به طور مساوی روی هر دو پا تقسیم شده باشد و توسط محقق زبانه دستگاه قد سنج روی سر فرد ثابت و قد فرد به سانتیمتر ثبت گردید. لازم بذکر است که نسبت وزن به مجذور قد شاخص توده بدنی محاسبه شد.

اندازه‌گیری یک تکرار بیشینه:

برای اندازه یک تکرار بیشینه حرکات مورد استفاده از شیوه برآورد با فرمول برزیسکی انجام شد. ابتدا شرکت کننده ها با انتخاب وزنه های سبک خود را به مدت ۵ دقیقه گرم کردند و پس از استراحت دو دقیقه ای طبق برآورد هر شرکت کننده، وزنه ای را انتخاب کرده و بتواند حداقل یکبار و حداکثر ۵ مرتبه حرکت را بصورت کامل و صحیح انجام دهند. با جای گذاری مقدار وزنه و تعداد تکرارها در فرمول زیر، قدرت بیشینه آزمودنی ها در حرکات برنامه تمرین مقاومتی هرمی ساده محاسبه شد. برای اندازه گیری قدرت بیشینه از طریق فرمول برزیسکی، یک تکرار بیشینه برآورد گردید (برزیسکی و همکاران، ۱۹۹۳). با استفاده از این فرمول قدرت عضلانی ثبت گردید.

$$((\text{تعداد تکرار} \times 0.278) - 1.0278) \div \text{وزنه به کیلوگرم} = \text{یک تکرار بیشینه}$$

اندازه گیری نمونه خونی قبل در هر دو مرحله اولیه و انتهایی بازی مافیا اندازه گیری شد که توسط فرد متخصص به در محل بازی نمونه های خونی تهیه گردید. به عبارت دقیق این روند اندازه گیری قبل و بعد از بازی انجام شد. نمونه های خونی از ورید بازویی به میزان ۵ سی سی گرفته شد. پس از پایان هر وهله نمونه گیری، براساس مشخصات استاندارد کیت مورد نظر، نمونه ها به آزمایشگاه منتقل شده و در پایان نتایج ثبت و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پس از نمونه گیری با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ سرم نمونه های تهیه شده جدا شد و در فریزر نگهداری شدند. پس از مراحل آماده سازی برای اندازه گیری، نمونه ها با استفاده از دستگاه الیزا ریدر مدل بیوتک مدل ELX800TS خوانش شدند.

برای اندازه گیری دوپامین و سروتونین از کیت های تشخیصی اینویترژن کشور آمریکا استفاده شد. اندازه گیری دوپامین به صورت الایزای رقابتی بود که حساسیت سنجش ۱۸/۷۵ پیکوگرم بر میلی لیتر، دامنه سنجی بین ۳۱/۲۵ تا ۲۰۰۰ پیکوگرم بر میلی لیتر و تغییرات درون و بین سنجشی کمتر از ۱۰ درصد بود. همچنین برای اندازه گیری سروتونین به روش الایزای رقابتی از کیت های اینویترژن ساخت کشور آمریکا استفاده شد. حساسیت سنجش ۹/۳۸ نانوگرم بر میلی لیتر، تغییرات درون و بین سنجشی کمتر از ۱۰ درصد بود. همچنین دامنه سنجش بین ۱۵/۶۳ تا ۱۰۰۰ نانوگرم بر میلی لیتر بود.

مراحل اجرایی پژوهش:

با تأیید طرح پژوهشی اولین اقدام محقق، گزینش افراد شرکت کننده می باشد که براساس معیارهای ورود به پژوهش انجام شد که با تبلیغ در فضای مجازی و نصب پوستر دعوت به همکاری در سطح شهر مشهد، این مرحله تکمیل گردید. پس از تعیین نفراتی که حضور داوطلبانه خود را برای شرکت در پژوهش اعلام کردند، پرسشنامه های مشخصات فردی، فعالیت جسمانی و سلامتی عمومی به هر شرکت کننده داده شد و به دنبال آن نفرات نهایی گزینش شدند و از آن ها خواسته شد که فرم رضایت نامه-ی آگاهانه شرکت در پژوهش را مطالعه و آن را امضاء نمایند. توسط محقق درباره روش اجرای تمرین و پیامدهای طرح پژوهشی اطلاعات کامل و کافی به شرکت کنندگان داده شد. طی برنامه زمانبندی شده شاخص های تن سنجی (قد و وزن افراد) اندازه گیری شد. به دنبال آن با حضور در باشگاه ورزشی، یک تکرار بیشینه حرکات اندازه گیری شد. لازم بذکر دستورالعمل اجرای هر حرکت توسط محقق ارائه

گردید. اجرای حرکت های برای برآورد یک تکرار بیشینه زیر نظر داوران و مربیان مورد تأیید فدراسیون بدنسازی و پرورش اندام انجام شد. تحقیق حاضر توسط کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور تأیید شده است و به شماره (IR.IAU.NEYSHABUR.REC.1403.022) به ثبت رسیده است.

با اندازه گیری متغیرهای پژوهشی قبل و بعد از بازی مافیا، شرکت کنندگان در سه گروه تمرین مقاومتی + مکمل (۱۲ نفر)، تمرین مقاومتی + دارونما (۱۲ نفر) و کنترل (۱۲ نفر) بصورت تصادفی تقسیم شدند. برنامه تمرین به مدت (۱۲ هفته) با تواتر چهار جلسه در هفته با شدت ۷۰ تا ۸۵ درصد یک تکرار بیشینه با سیستم تمرین هرمی تکمیل گردید. حرکات منتخب در روزهای شنبه و دوشنبه شامل پرس سینه، فلای سینه، پرس بالا سینه، نشر طرفین، سرکول، سرشانه هالتر، پشت بازو سیم کش، پشت بازو دمبل و شکم کراچ و در روزهای سه شنبه و پنجشنبه حرکات پرس پا، پشت ران با دستگاه، جلوبازو با دستگاه، لت سیم کش، قایقی نشسته، جلوبازو با هالتر، جلوبازو دمبل و فیله کمر انجام شدند. پس از پایان مداخله تمرین و با ۴۸ ساعت استراحت مجدداً تست های پیش آزمون در مرحله پیگیری یا پس آزمون اندازه گیری شد. بدین صورت که قبل و بعد از بازی مافیا، مجدداً متغیرهای پیش آزمون اندازه گیری و ثبت شد (کتان، ۲۰۲۱).

پس از پایان چهار هفته تمرین و با ۴۸ ساعت استراحت مجدداً تست های پیش آزمون در مرحله پیگیری یا پس آزمون اندازه گیری شد. بدین صورت که قبل و بعد از بازی مافیا، مجدداً متغیرهای پیش آزمون اندازه گیری و ثبت شد.

جدول ۱. برنامه تمرین مقاومتی

جلسات	شدت تمرین (IRM)	تواتر	ست	تکرار	تیمپو*	استراحت بین حرکات	استراحت بین ست ها
۳-۱	۷۵ درصد	۴	۳	تا مرز ناتوانی	۲-۰-۲	۱۲۰ ثانیه	۶۰ تا ۹۰ ثانیه
۴-۶	۸۰ درصد	۴	۳	تا مرز ناتوانی	۲-۰-۲	۱۲۰ ثانیه	۶۰ تا ۹۰ ثانیه
۷-۹	۸۵ درصد	۴	۳	تا مرز ناتوانی	۲-۰-۲	۱۲۰ ثانیه	۶۰ تا ۹۰ ثانیه

بازی مافیا:

در پژوهش حاضر شرکت کنندگان با بازی مافیا آشنایی قبلی داشتند و حداقل یک سال سابقه فعالیت در این بازی داشتند. این بازی شامل سناریو پدرخوانده از ۱۱ بازیکن که شامل هفت شهروند، سه مافیا و یک فرد مستقل است، تشکیل می شود. سناریوی پدرخوانده نوستراداموس مانند تمام سناریوهای دیگر مافیا توسط یک نفر داور و هدایت می شود که با نام هایی چون گرداننده، راوی، لرد و گاد شناخته می شود. این شخص به عنوان داور وظیفه دارد تا بازی را هدایت کند و قوانین بازی را به بازیکنان گوشزد کرده و همه چیز را مدیریت کند. عموماً بازی مافیا یک بازی نقش مخفی است که بر اساس استدلال و استنتاج پیش می رود و دو جناح دارد، اما سناریوی پدرخوانده نوستراداموس سه جناح دارد، علاوه بر جناحهای شهر و مافیا، جناح سومی به نام مستقل نیز در این سناریو وجود دارد. روند سناریوی پدرخوانده نوستراداموس، به گونه ایست که امکان پیروز شدن هر یک از سه جناح با میانگین احتمال ۳۰ درصد پیروزی امکانپذیر است، افزون بر اینها این سناریو یک سناریو با قابلیت احیا شدن برای افراد خارج شده از روند بازی است و نیز چون از نظر جناح بندی یک سناریوی شناور و منعطف است، تا نزدیکی اواخر بازی هم باز ممکن است بازیکن ها با جناح خودشان یا جناحی متفاوت، در بازی احیا شده یا اصطلاحاً به روند بازی برگردانده شوند، لذا در سناریوی پدرخوانده نوستراداموس، لازم است تا بازیکن

در بیش از دو سوم زمان بازی حتی اگر از روند بازی خارج شده باشد، باز هم بصورت متمرکز اتفاقات بازی را تعقیب کرده و متمرکز باشد (موسوی و همکاران، ۲۰۲۵).

برنامه گروه کنترل: از گروه کنترل خواسته شد از شرکت در فعالیت های ورزشی خودداری کرده، همچنین الگوی زندگی قبلی خود را حفظ کنند و به فعالیت روزانه بپردازد.

نحوه مصرف مکمل:

مصرف مکمل کراتین بصورت یک سو کور بود. در این پژوهش از مکمل کراتین هیدروکلراید کان کرایت محصول کشور آمریکا استفاده شد. برای گروه مکمل + تمرین مقاومتی مقدار مصرف مکمل ۳ گرم در روز بود که در روز تمرین ۳۰ دقیقه قبل از هر جلسه تمرین و در روزهای غیرتمرین، در همان ساعت مشابه قبل از تمرین مصرف شد (راوسون و همکاران، ۲۰۱۹). گروه دارونما در شرایط یکسان از مالتودکسترین استفاده شد. مکمل ها برای هر شرکت کننده بصورت هفتگی بسته بندی و تحویل داده شد که مکمل را به صورت روزانه مصرف کنند. از شرکت کنندگان خواسته شد که پاکت های حاوی مکمل و دارونما را با خود به محل تمرین آورده و ۳۰ دقیقه قبل از تمرین آن را مصرف کنند. همچنین برای عدم فراموشی از آوردن مکمل و دارونما با تماس تلفنی به آن ها یادآوری گردید.

ملاحظات تغذیه ای:

از آزمودنی ها خواسته شد که رژیم غذایی خود را در طول دوره تمرین تغییر ندهند و از رژیم غذایی معمول در طول هفته استفاده نمایند. همچنین کالری مصرفی رژیم غذایی قبل و بعد از دوره تمرینی اندازه گیری شد. بدین منظور بطور متوسط میانگین کالری مصرف شده در هفته در کل طرح پژوهشی محاسبه شد تا اثر رژیم غذایی به حداقل میزان خود برسد.

تجزیه و تحلیل داده ها:

برای تجزیه و تحلیل داده ها از شاخص های آمار توصیفی میانگین و انحراف استاندارد برای توصیف ویژگی های جمعیت شناختی گروه های پژوهشی استفاده شد. تأیید طبیعی بودن توزیع داده ها با آزمون شاپیروویلیک و برای همگنی واریانس های بین گروه ها تست لون انجام شد و به دنبال آن از آزمون آنالیز واریانس با اندازه گیری مکرر برای معنی داری بین گروهی و همچنین از آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه جفت گروهی استفاده شد. کلیه محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین سطح معنی داری $p < 0.05$ در نظر گرفته شد.

یافته ها

در جدول ۲، مشخصات دموگرافی آزمودنی ها ارایه شده است

جدول ۲. مشخصات دموگرافی آزمودنی ها

متغیر	گروه تمرین مقاومتی + مکمل	گروه تمرین مقاومتی + دارونما	گروه کنترل
سن (سال)	$42/08 \pm 1/50$	$42/33 \pm 1/72$	$41/91 \pm 1/37$
قد (متر)	$176/08 \pm 2/42$	$177/08 \pm 2/42$	$177/09 \pm 2/42$
وزن (کیلوگرم)	$76/08 \pm 2/42$	$77/08 \pm 2/42$	$77/08 \pm 2/42$
شاخص توده بدنی (kg/m^2)	$24/53 \pm 0/1$	$24/57 \pm 0/1$	$24/57 \pm 0/1$

جدول ۳. نتایج آزمون آنالیز واریانس با اندازه گیری مکرر مربوط به سروتونین در بین گروه ها

نام متغیر	مراحل	گروه	پیش آزمون	پس آزمون	اثر اصلی	اثر گروه	اثر تعاملی
سروتونین (نانوگرم بر میلی لیتر)	اول	تمرین مقاومتی+مکمل	۱۴۵/۰۰ ± ۲۲/۲۵	۱۱۷/۵۰ ± ۱۸/۰۲	F=۲۹۰/۰۵	F=۰/۰۹۹	F=۱/۶۱
		تمرین مقاومتی+دارونما	۱۵۰/۲۵ ± ۱۹/۹۹	۱۱۵/۱۶ ± ۱۵/۳۶	*P=۰/۰۰۱	P=۰/۹۰۶	P=۰/۲۱۴
		کنترل	۱۵۱/۶۶ ± ۲۰/۵۳	۱۱۷/۳۳ ± ۱۵/۴۲			
دوپامین (پیکوگرم بر میلی لیتر)	دوم	تمرین مقاومتی+مکمل	۱۵۵/۰۰ ± ۲۲/۲۵	۱۳۷/۰۰ ± ۱۷/۲۰	F=۱۶۸/۹۰	F=۰/۴۶۹	F=۶/۳۰
		تمرین مقاومتی+دارونما	۱۵۴/۲۵ ± ۱۹/۹۹	۱۲۹/۱۶ ± ۱۵/۳۶	*P=۰/۰۰۱	P=۰/۶۳۰	*P=۰/۰۰۵
		کنترل	۱۵۷/۰۸ ± ۲۰/۶۱	۱۲۱/۶۶ ± ۱۰/۰۷			
سروتونین (پیکوگرم بر میلی لیتر)	اول	تمرین مقاومتی+مکمل	۲۰/۵۰ ± ۴/۵۸	۱۳/۵۰ ± ۳/۶۰	F=۴۱۶/۱۱	F=۰/۰۷۵	F=۰/۲۶۲
		تمرین مقاومتی+دارونما	۲۰/۰۰ ± ۵/۱۱	۱۲/۸۳ ± ۳/۶۳	*P=۰/۰۰۱	P=۰/۹۲۸	P=۰/۷۷۱
		کنترل	۱۹/۶۶ ± ۵/۹۵	۱۳/۰۸ ± ۳/۸۹			
دوپامین (پیکوگرم بر میلی لیتر)	دوم	تمرین مقاومتی+مکمل	۲۳/۵۰ ± ۴/۵۸	۱۹/۲۵ ± ۳/۸۱	F=۳۳۱/۱۶	F=۱/۹۰	F=۱۰/۲۷
		تمرین مقاومتی+دارونما	۲۴/۰۰ ± ۵/۱۱	۱۸/۳۳ ± ۳/۶۳	*P=۰/۰۰۱	P=۰/۱۶۵	*P=۰/۰۰۱
		کنترل	۲۲/۳۳ ± ۴/۹۴	۱۴/۵۰ ± ۳/۰۶			

در بررسی اثر مداخلات بر سطح سروتونین و دوپامین سرمی نتایج بدست آمده از آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری تکراری (جدول ۳) نشان داد که اثر اصلی برای مراحل اول و دوم (تغییرات درون گروهی) معنادار بود، همچنین اثر تعاملی (گروه × زمان) برای مرحله دوم معنادار بود.

جدول ۴. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی مربوط به تغییرات سروتونین در گروه ها

زمان	گروه	زمان	سروتونین	دوپامین
مرحله اول	تمرین مقاومتی+مکمل	پیش آزمون پس آزمون	*/۰۰۱	*/۰۰۱
	تمرین مقاومتی+دارونما	پیش آزمون پس آزمون	*/۰۰۱	*/۰۰۱
	کنترل	پیش آزمون پس آزمون	*/۰۰۱	*/۰۰۱
مرحله دوم	تمرین مقاومتی+مکمل	پیش آزمون پس آزمون	*/۰۰۱	*/۰۰۱
	تمرین مقاومتی+دارونما	پیش آزمون پس آزمون	*/۰۰۱	*/۰۰۱
	کنترل	پیش آزمون پس آزمون	*/۰۰۱	*/۰۰۱

پس از معنی دار بودن اثر تعاملی از آزمون تعقیبی بونفرونی نتایج درون گروهی و بین گروهی بررسی شد. همچنین نتایج تغییرات درون گروهی (اثر زمان) در کلیه گروه ها حاکی از کاهش معنی دار سروتونین و دوپامین بین پیش آزمون-پس آزمون بود (جدول ۴).

جدول ۵. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی مربوط به تغییرات سروتونین در بین گروه ها

زمان	گروه	زمان	سروتونین	دوپامین
مرحله اول	تمرین مقاومتی+مکمل	تمرین مقاومتی+دارونما	۱/۰۰	۱/۰۰
	تمرین مقاومتی+دارونما	کنترل	۱/۰۰	۱/۰۰
	کنترل	تمرین مقاومتی+ مکمل	۱/۰۰	۱/۰۰
مرحله دوم	تمرین مقاومتی+مکمل	تمرین مقاومتی+دارونما	۱/۰۰	۱/۰۰
	تمرین مقاومتی+دارونما	کنترل	۱/۰۰	۰/۳۴۱
	کنترل	تمرین مقاومتی+ مکمل	۱/۰۰	۰/۲۶۹

بحث

این پژوهش با هدف تاثیر تمرین مقاومتی و مصرف مکمل کراتین هیدروکلراید بر تغییرات سروتونین و دوپامین سرمی مردان میانسال در هنگام بازی مافیا انجام شد. نتایج بدست آمده از تغییرات پیش آزمون-پس آزمون مرحله اول بازی مافیا نشانگر عدم تفاوت معنادار در سروتونین و دوپامین بین گروه های تحقیق بود. هرچند که تغییرات درون گروهی کاهش معنی دار سروتونین و دوپامین را در هر سه گروه تمرین مقاومتی+مکمل، تمرین مقاومتی+دارونما و کنترل نشان می دهد. نتایج بدست آمده بیانگر این امر است که بازی مافیا به دلیل درگیری ذهنی بالا در تصمیم گیری صحیح برای برنده شدن بازی در این چالش، کاهش سطوح سروتونین و دوپامین را در برداشته است.

تغییرات سروتونین در مرحله دوم نیز حاکی از کاهش سطوح سرمی دوپامین و سروتونین بود با این حال تفاوت معناداری بین گروه های تحقیق مشاهده نشد. این نتایج نشان دهنده ارتباط خستگی ذهنی با تغییرات سروتونین و دوپامین می باشد (کوردیرو و همکاران، ۲۰۱۷). به نظر می رسد انتقال دهنده های عصبی محتمل ترین کاندیداها برای یک مکانیسم نیروبخش برای کنترل عملکرد کار در شرایط غیربهبینه مانند خستگی هستند. در واقع، خستگی، چه مزمن و چه حاد، شامل یک مدار عصبی است که به تجمع انتقال دهنده های عصبی خاص در سیناپس و همچنین به حساسیت آنها برای اتصال به گیرنده های پس سیناپسی بستگی دارد. این شامل انتقال دهنده های عصبی مونوآمین خاص، که شامل سروتونین، نورآدرنالین و دوپامین است. عنوان شده است که تعامل بین سروتونین و دوپامین بر خستگی سیستم عصبی مرکزی تاثیر می گذارد (کوردیرو و همکاران، ۲۰۱۷؛ دیویس و همکاران، ۲۰۰۰). در تحقیق ما امکان مطالعه مستقیم سطوح سروتونین و دوپامین وجود نداشت با این حال تغییرات سرمی این بیومارکرها حاکی از کاهش سروتونین و دوپامین متعاقب بازی مافیا بود. گزارش شده است که سطوح سروتونین و دوپامین و نسبت این دو برای تعیین خستگی مرتبط است (کوک و همکاران، ۲۰۲۲). استدلال شده است که دوپامین همچنین با خستگی ذهنی مرتبط است (کوردیرو و همکاران، ۲۰۱۷). لوریست و همکاران پیشنهاد کردند که خستگی ذهنی می تواند منجر به کاهش سطح دوپامین شود، که ممکن است بر ارزیابی تلاش

یا پاداش تأثیر منفی بگذارد و در نتیجه گزینه‌های رفتاری کم‌هزینه انتخاب^۱ شود (لریست و همکاران، ۲۰۰۹). در مقایسه با مرحله اول تغییرات در مرحله برای گروه تمرین مقاومتی+مکمل ۱۹/۳ درصد به ۱۱/۶ درصد، گروه تمرین مقاومتی+دارونما ۲۳/۳ درصد به ۱۶/۲ رنده کاهشی را نشان داد و برای گروه کنترل تغییرات ۲۲/۶ و ۲۲/۵ درصد بود. همچنین نتایج تغییرات دوپامین مشابه با تغییرات سروتونین بود. بدین ترتیب که شاهد اختلاف معنی داری در بین گروه‌های برای مرحله دوم نبودیم، اما کاهش معنی دار پیش آزمون-پس آزمون برای هر سه گروه مشاهده شد. همچنین تغییرات پیشرفت در مرحله اول و دوم برای گروه تمرین مقاومتی+مکمل ۲۷/۴ درصد به ۱۸ درصد و در گروه تمرین مقاومتی+دارونما ۳۶ درصد به ۲۳/۶ درصد بود، اما در برای گروه کنترل ۳۴ و ۳۴/۹ درصد بود.

در بررسی اثر تمرینات مقاومتی بر بیومارکرهای سروتونین و دوپامین در تحقیق ما تغییرات معنی داری مشاهده نشد. حامدی نیا و همکاران نیز گزارش کردند که هشت هفته تمرینات مقاومتی تأثیر معنی داری بر سروتونین سرمی در مردان جوان ندارد (حامدی نیا و همکاران، ۲۰۱۷)، که با یافته‌های تحقیق حاضر همخوانی داشت. بهرام و همکاران در تحقیقشان گزارش کردند که تمرینات مقاومتی کل بدن می‌تواند موجب افزایش سطوح سرمی سروتونین و دوپامین افراد سالمند موثر شود (بهرام و همکاران، ۲۰۲۲)، که با یافته‌های تحقیق ما همخوانی نداشت. علت اختلاف در نتایج ممکن است به علت سطح فعالیت اولیه آزمودنی‌ها و همچنین شرایط دیگر از جمله سن آزمودنی‌ها در دو تحقیق باشد چون در تحقیق حاضر آزمودنی‌ها افراد میانسال فعال بودند که در اوقات فراغت نیز فعالیت تفریحات از جمله بازی مافیا را نیز انجام می‌دادند. ورزش مقاومتی می‌تواند اثر مفیدی بر عملکرد مغز از طریق تغییرات جریان خون، تحریک مواد هدایت عصبی و متابولیسم غدد درون ریز، ترویج بازسازی عروق مغزی و حجم ماده خاکستری مغز داشته باشد و از بروز یا به تاخیر انداختن عوارض شناختی در سنین بالاتر جلوگیری کند. پارامترهایی مانند شدت تمرین مقاومتی، مقدار تمرین، مدت زمان، زمان آزمون ارزیابی و تفاوت آزمودنی‌ها ممکن است درجات مختلفی بر مزایای شناختی و بیومارکرهای مرتبط با عملکرد شناختی تأثیر بگذارند (چنگ و همکاران، ۲۰۲۲). احتمالاً عدم تأثیر تمرینات مقاومتی هر می بر سطوح سروتونین و دوپامین تحت تأثیر شرایط آزمودنی‌ها از جمله سن، سطح سلامت، سابقه فعالیت بدنی و همچنین فعالیت شناختی آنها باشد. همچنین ممکن است که علت عدم تغییرات سروتونین و دوپامین به علت نوع تمرین باشد چون در تحقیق حامدی نیا و همکاران تمرینات هوازی موجب افزایش سطح سروتونین در مردان جوان شد (حامدی نیا و همکاران، ۲۰۱۷).

با توجه به مطالب بیان شده از نقش ترانسسمیترها و یافته‌های بدست آمده از دو مرحله بازی مافیا در مردان میانسال نشان داد که ماهیت بازی مافیا به دلیل درگیر ذهنی و تصمیم‌گیری می‌تواند روی تمرکز و خستگی هنگام چالش مافیا اثر بگذارد، که این تغییرات از طریق نوروترانسمیترها در مرحله اول یا دور اول بازی مافیا آشکارتر بود. با این وجود در مرحله دوم شاهد کاهش کمتر سطوح سرمی سروتونین و دوپامین بودیم. که می‌تواند تا حدودی کاهش خستگی ناشی از بازی مافیا را توجیه کند (موسوی و همکاران، ۲۰۲۵). با این حال اثر تمرینات مقاومتی هر می با و بدون مکمل کراتین بر سطوح سرمی سروتونین و دوپامین معنی دار نبود. از محدودیت‌های تحقیق حاضر می‌توان به عدم اندازه‌گیری این نوروترانسمیترها در سطح مغز اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

در مجموع یافته‌های تحقیق ما نشان داد که چالش بازی مافیا موجب کاهش سطوح سرمی سروتونین و دوپامین در مردان میانسال شد نتایج این مطالعه نشان داد که در مقایسه با مرحله اول، در مرحله دوم خستگی و سطوح سرمی دوپامین و سروتونین کمتر کاهش

¹ low-cost behavioral alternatives

یافته اند و استدلال می شود که مصرف کراتین و تمرین مقاومتی بتواند از بروز خستگی بیشتر در بازی های فکری همچون مافیا جلوگیری کند و با توجه به اطلاعات کم و ناشناخته درباره مکانیزم های نیاز است که مطالعات بیشتری با هدف پیشگیری یا کاهش خستگی ذهنی در چنین بازی های فکری انجام گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از تمامی کسانی که در پیشبرد اجرای این مطالعه همکاری داشتند و از شرکت کنندگان محترم سپاسگزاری می کنند.

حامی مالی

این مقاله حامی مالی ندارد.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافی برای نویسندگان وجود ندارد.

منابع

- Bahram, M. E., Afroudeh, R., Rivaz, E., Davarpanah, S., & Ghiyami, S. H. (2022). The effect of 12 weeks of total body resistance training (TRX) on serum serotonin, dopamine and happiness levels in overweight elderly men. *Daneshvar Medicine*, 30(4), 48-61. doi:10.22070/daneshmed.2022.16195.1206. doi: 10.22070/DANESHMED.2022.16195.1206
- Brzycki, M. (1993). Strength testing—predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 64(1), 88-90. doi.org/10.1080/07303084.1993.10606684
- Cattan, G. H. (2021). Pyramidal Systems in Resistance Training. *Encyclopedia*, 1(2), 423-432.
- Cheng, A., Zhao, Z., Liu, H., Yang, J., & Luo, J. (2022). The physiological mechanism and effect of resistance exercise on cognitive function in the elderly people. *Frontiers in Public Health*, 10, 1013734. doi.org/10.3389/fpubh.2022.1013734
- Chow, Z.-S., Moreland, A. T., Macpherson, H., & Teo, W.-P. (2021). The central mechanisms of resistance training and its effects on cognitive function. *Sports Medicine*, 51(12), 2483-2506. doi.org/10.1007/s40279-021-01535-5
- Cordeiro, L. M., Rabelo, P. C., Moraes, M. M., Teixeira-Coelho, F., Coimbra, C. C., Wanner, S. P., & Soares, D. D. (2017). Physical exercise-induced fatigue: the role of serotonergic and dopaminergic systems. *Brazilian journal of medical and biological research*, 50, e6432. doi.org/10.1590/1414-431X20176432
- Davis, J. M., Alderson, N. L., & Welsh, R. S. (2000). Serotonin and central nervous system fatigue: nutritional considerations. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(2), 573S-578S. doi.org/10.1093/ajcn/72.2.573S
- Hamedinia, M., Sharifi, M., & Hosseini-Kakhak, A. (2017). The effect of eight weeks of aerobic, anaerobic and resistance training on some factor of endocannabinoid system, serotonin, beta-endorphin and BDNF in young men. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 14(3), 1201. doi.org/10.13005/bbra/2562
- Herold, F., Törpel, A., Schega, L., & Müller, N. G. (2019). Functional and/or structural brain changes in response to resistance exercises and resistance training lead to cognitive improvements—a systematic review. *European Review of Aging and Physical Activity*, 16, 1-33. doi.org/10.1186/s11556-019-0217-2
- Ishii, A., Tanaka, M., & Watanabe, Y. (2014). Neural mechanisms of mental fatigue. *Reviews in the Neurosciences*, 25(4), 469-479. doi.org/10.1515/revneuro-2014-0028

- Jafari, M., Ghalavand, A., Rajabi, H., Khaledi, N., & Motamedi, P. (2021). A review of the effect of exercise training on neuromuscular junction in throughout life: A logical analysis of animal experimental studies. *RJMS*, 28(3), 37-47. URL: <http://rjms.iuims.ac.ir/article-1-6316-en.html>
- Kim, M., & Kim, S. (2023). Generative AI in Mafia-like Game Simulation. arXiv preprint arXiv:2309.11672. doi.org/10.48550/arXiv.2309.11672
- Kok, A. (2022). Cognitive control, motivation and fatigue: A cognitive neuroscience perspective. *Brain and Cognition*, 160, 105880. doi.org/10.1016/j.bandc.2022.105880
- Leavitt, V. M., & DeLuca, J. (2010). Central fatigue: issues related to cognition, mood and behavior, and psychiatric diagnoses. *PM&R*, 2(5), 332-337. doi.org/10.1016/j.pmrj.2010.03.027
- Lorist, M. M., Bezdan, E., ten Caat, M., Span, M. M., Roerdink, J. B., & Maurits, N. M. (2009). The influence of mental fatigue and motivation on neural network dynamics; an EEG coherence study. *Brain research*, 1270, 95-106. doi.org/10.1016/j.brainres.2009.03.015
- McMorris, T., Barwood, M., & Corbett, J. (2018). Central fatigue theory and endurance exercise: Toward an interoceptive model. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 93, 93-107. doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.03.024
- McMorris, T., Barwood, M., Hale, B. J., Dicks, M., & Corbett, J. (2018). Cognitive fatigue effects on physical performance: A systematic review and meta-analysis. *Physiology & behavior*, 188, 103-107. doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.01.029
- Meeusen, R., & Roelands, B. (2010). Central fatigue and neurotransmitters, can thermoregulation be manipulated? *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20, 19-28. doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01205.x
- Meeusen, R., Watson, P., Hasegawa, H., Roelands, B., & Piacentini, M. F. (2006). Central fatigue: the serotonin hypothesis and beyond. *Sports Medicine*, 36, 881-909. doi.org/10.2165/00007256-200636100-00006
- Mousavi, M., Khajei, R., Hossein abadi, M. r., & Barjaste Yazdi, A. (2025). The effect of twelve weeks of resistance training and creatine hydrochloride supplementation on blood oxygen levels and fatigue in cognitive activities of middle-aged men. *Jundishapur Scientific Medical Journal*, 23(6), 521-534. doi:10.22118/jsmj.2024.489138.3741.
- Rawson, E. S., Dolan, E., Saunders, B., Williams, M. E., & Gualano, B. (2019). Creatine supplementation in sport, exercise and health. In *Dietary supplementation in sport and exercise* (pp. 141-164): Routledge.
- Rezaee, R., Khayami, M., Ghalavand, A., Noroozi, S., Taleshi, M., & Nersi, S. (2022). The effect of fatigue due to exhausting running on static and dynamic balance in women with hyperlordosis. *Jundishapur Scientific Medical Journal*, 20, 664-679. doi: 10.32598/JSMJ.20.2332
- Smid, C. R., Karbach, J., & Steinbeis, N. (2020). Toward a science of effective cognitive training. *Current Directions in Psychological Science*, 29(6), 531-537. doi.org/10.1177/0963721420951
- Smith-Ryan, A. E., Ryan, E. D., Fukuda, D. H., Costa, P. B., Cramer, J. T., & Stout, J. R. (2014). The effect of creatine loading on neuromuscular fatigue in women. *Med. Sci. Sports Exerc*, 46, 990-997. doi: 10.1249/MSS.0000000000000194
- van Balkom, T. D., van den Heuvel, O. A., Berendse, H. W., van der Werf, Y. D., & Vriend, C. (2020). The effects of cognitive training on brain network activity and connectivity in aging and neurodegenerative diseases: a systematic review. *Neuropsychology Review*, 30(2), 267-286. doi.org/10.1007/s11065-020-09440-w
- Vermeir, J. F., White, M. J., Johnson, D., Crombez, G., & Van Ryckeghem, D. M. (2020). The effects of gamification on computerized cognitive training: systematic review and meta-analysis. *JMIR serious games*, 8(3), e18644. doi:10.2196/18644
- Watanabe, A., Kato, N., & Kato, T. (2002). Effects of creatine on mental fatigue and cerebral hemoglobin oxygenation. *Neuroscience research*, 42(4), 279-285. doi.org/10.1016/S0168-0102(02)00007-X
- Yoon, D., Lee, J.-Y., & Song, W. (2018). Effects of resistance exercise training on cognitive function and physical performance in cognitive frailty: a randomized controlled trial. *The journal of nutrition, health and aging*, 22(8), 944-951. doi.org/10.1007/s12603-018-1090-9
- Zajac, A., Chalimoniuk, M., Maszczyk, A., Gołaś, A., & Lngfort, J. (2015). Central and peripheral fatigue during resistance exercise—a critical review. *Journal of human kinetics*, 49, 159. doi: 10.1515/hukin-2015-0118