

The Role of BDNF Val66met Polymorphism on the Learning of a Motor Sequence Task: The Challenge of Visual-Spatial and Motor Coordination Systems

Abolfazl Shayan¹, Hamideh Iranmanesh², Mehdi Yazdanpanah³
, Mohammad Ali Dowlati⁴

1. Department of Sport Sciences, Faculty of literature and humanities, Jahrom University, Jahrom, Iran. E-mail: ab.shayana@jahromu.ac.ir
2. Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: Hamideh.iranmanesh@alumni.um.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Physical Education and Sport Science, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran. E-mail: m-yazdanpanah@tvu.ac.ir
4. Anatomical Sciences Research Center, Institute for Basic Sciences, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, Iran. E-mail: dovlati@razi.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received:

02 June 2022

Received in revised form:

17 July 2022

Accepted:

11 September 2022

Published online:

22 September 2022

Keywords:

BDNF,

motor sequence task,

motor transfer,

val⁶⁶met polymorphism,

visual-spatial transfer.

ABSTRACT

Introduction: Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) is a protein that is highly expressed in the structures of the central nervous system and affects synaptic plasticity and the acquisition of motor and cognitive skills. This is while val⁶⁶met polymorphism disrupts the amount and expression of BDNF. So, in the present study, the researchers aimed to investigate the effect of polymorphism on the learning of a motor sequence task.

Methods: One hundred students from Kashan University (mean age 21.60 ± 2.60) participated in the study. After extraction of Genomic DNA, implementation of the polymerase chain reaction (PCR) by forwarding primer 5-ACTCTGGAGAGCGTGAAT-3 and reverse primer 5-ATACTGTCACACACGCTG-3, analyzing PCR by 1.5 percent Electrophoresis Gel, and eventually, DNA sequencing by Sequencing Analyzer, 46 participants were identified without the polymorphism and 54 participants were identified met-carriers (affected by the polymorphism). Then, retention, visual-spatial transfer, and motor transfer of the motor sequence task were tested by the Dynamic Arm Movement Task.

Results: Results showed people without the polymorphism progressed faster than met-carriers and also performed the task better on the retention test ($P=0/001$). They were also better than met-carriers in the motor transfer test ($P=0/001$), but there was no significant difference between the two groups in the visual-spatial transfer test ($P=0/176$).

Conclusion: It seems that met-carriers, in any way, go through the early stages of motor learning, but due to possible problems caused by the polymorphism, they are weak in completing the learning process.

Cite this article: Shayan, A., Iranmanesh, H., Yazdanpanah, M., & Dowlati, M.A. (2022). The Role of BDNF Val66met Polymorphism on the Learning of a Motor Sequence Task: The Challenge of Visual-Spatial and Motor Coordination Systems. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, 14(2), 118-135. DOI:<http://doi.10.22059/JSMDL.2022.343938.1654>.



Extended Abstract

Introduction

Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) is a protein that is highly expressed in the structures of the central nervous system and affects synaptic plasticity and the acquisition of motor and cognitive skills. BDNF's effect on synaptic plasticity, with a known role in the induction and maintenance of memory and learning, is due to its capacity to regulate vital synaptic functions such as synaptic transmission, neuronal survival, differentiation, and development. Since it is difficult to directly investigate the human brain, BDNF's effect has been largely revealed through studying individuals with a single nucleotide polymorphism (SNP) of the BDNF gene which is called val66met polymorphism. The SNP at codon 66 of the *BDNF* gene of some individuals, located on chromosome 11, results in an amino acid substitution that eventually leads to the division of people into two groups: met-carriers (affected by the polymorphism) and people without the polymorphism. Studies demonstrate that this polymorphism disrupts the amount and severity of BDNF expression. So, in the present study, the researchers aimed to investigate the effect of polymorphism on the learning of a motor sequence task. In fact, by examining the acquisition process, memory test, and special transfer test, they tried to figure out the role of the SNP in visual-spatial and motor coordination systems.

Methods

One hundred students from Kashan University (mean age 21.60 ± 2.60) participated in the study. After extraction of Genomic DNA, implementation of the polymerase chain reaction (PCR) by forwarding primer 5-ACTCTGGAGAGCGTGAAT-3 and reverse primer 5-ATACTGTCACACAGCTG-3, analyzing PCR by 1.5 percent Electrophoresis Gel, and eventually, DNA sequencing by Sequencing Analyzer, 46 participants were identified without the polymorphism and 54 participants were identified as met-carriers. Then, retention, visual-spatial transfer, and motor transfer of the motor sequence task were tested by the Dynamic Arm Movement Task.

Results

In terms of the response time to the stimulus, data showed that people without the polymorphism progressed faster than met-carriers and also performed the task better on the retention test ($p=0/001$). They had also a lower response time than met-carriers in the motor transfer test ($p=0/001$), but there was no significant difference between the two groups in the visual-spatial transfer test ($p=0/176$). However, there wasn't any significant between-groups difference in terms of the stimulus-response error in the retention test ($p=0/083$), motor transfer test ($p=0/627$), and visual-spatial transfer test ($p=0/719$).

Conclusion

Generally, the results of the present research suggest that met-carriers probably advance the process of progress in task execution at a slower speed, and by continuing with the practice, they compensate for the backwardness and reach a favorable state of task execution. In any way, met-carriers go through the early stages of motor learning, but due to their possible weakness in executive functions, working memory, attention, and other cognitive factors, it seems they have some difficulty passing through the stage of visual-spatial processing. In fact, they are highly dependent on the processing of visual-spatial components and therefore do not enter into the process of motor control processing.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines:

Funding: The research was done using the financial resources of Kashan University of medical sciences

Authors' contribution: The authors have contributed equally

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest

Acknowledgments: This research was done with the guidance of distinguished professors and the cooperation of research participant.



رشد یادگیری حرکتی ورزشی



نقش چندریختی عامل نوروتروفیکی مشتق از مغز در یادگیری یک مهارت توالی دار حرکتی: چالش سیستم های هماهنگی بینایی - فضایی و هماهنگی حرکتی

ابوالفضل شایان^۱ ID، حمیده ایرانمنش^۲ ID، مهدی یزدان پناه^۳ ID✉، محمدعلی دولتی^۴ ID

۱. گروه علوم ورزشی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران. رایانامه: ab.shayana@jahromu.ac.ir

۲. گروه رفتار حرکتی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: Hamideh.iranmanesh@alumni.um.ac.ir

۳. نویسنده مسؤؤل، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران. رایانامه: m-yazdanpanah@tvu.ac.ir

۴. مرکز تحقیقاتی علوم تشریحی، گروه آموزشی علوم پایه، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کاشان، کاشان، ایران. رایانامه: dovlati@razi.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	مقدمه: عامل نوروتروفیکی مشتق از مغز (BDNF)، پروتئینی است که به میزان زیادی در ساختارهای دستگاه عصبی مرکزی بیان می شود و شکل پذیری سیناپسی و فراگیری مهارت های حرکتی و شناختی را تحت تاثیر قرار می دهد. این درحالیست که چندریختی val ⁶⁶ met مقدار و بیان BDNF را مختل می کند. لذا محققان در تحقیق حاضر درصد بررسی تاثیر چندریختی مذکور بر یادگیری یک مهارت توالی دار حرکتی بودند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۲	روش پژوهش: بدین منظور صد نفر از دانشجویان مرد دانشگاه کاشان (میانگین سنی ۲۱/۶۰±۲/۲۰) تحت مطالعه قرار گرفتند. پس از استخراج DNA ژنومیک، انجام واکنش زنجیره پلی مرز (PCR) با استفاده از پرایمر رو به جلو ۳- ACTCTGGAGAGCGTGA-۵- تایید صحت محصول PCR با استفاده از ژل الکتروفورز ۱/۵ درصد و در نهایت تعیین توالی با استفاده از آنالیزگر Sequencing. مشخص شد ۴۶ نفر فاقد چندریختی مذکور و ۵۴ نفر حامل متیونین (دچار چندریختی) هستند. سپس با استفاده از تکلیف حرکتی بازوی دینامیک، یادداری، انتقال بینایی- فضایی و انتقال حرکتی در مهارت توالی دار حرکتی آزمون شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۲۶	یافته ها: نتایج نشان داد، افراد فاقد چندریختی با سرعت بیشتری نسبت به حاملان متیونین پیشرفت کردند و در آزمون یادداری هم بهتر عمل کردند (p = ۰/۰۰۱). آنها در آزمون انتقال حرکتی نیز از حاملان متیونین بهتر بودند (p = ۰/۰۰۱) ولی در آزمون انتقال بینایی- فضایی تفاوت معناداری بین دو گروه نبود (p = ۰/۱۷۶).
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰	نتیجه گیری: بنابراین به نظر می رسد حاملان متیونین به هرصورت از مراحل اولیه یادگیری حرکتی عبور می کنند ولی با توجه به مشکلات احتمالی ایجاد شده توسط چندریختی، در تکمیل فرایند یادگیری دچار ضعف می باشند.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۶/۳۱	
کلیدواژه ها: انتقال بینایی- فضایی، انتقال حرکت، تکلیف توالی دار حرکتی، چندریختی عامل رشد عصبی.	

استناد: شایان، ابوالفضل؛ ایرانمنش، حمیده؛ یزدان پناه، مهدی؛ و دولتی، محمدعلی. (۱۴۰۱). نقش چندریختی عامل نوروتروفیکی مشتق از مغز در یادگیری یک مهارت توالی دار حرکتی: چالش سیستم های هماهنگی بینایی- فضایی و هماهنگی حرکتی. نشریه رشد و یادگیری حرکتی ورزشی، ۱۴(۲)، ۱۱۸-۱۲۵.

DOI:<http://doi.org/10.22059/JSMDL.2022.343938.1654>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تهران، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی.

مقدمه

عامل رشد عصبی مشتق شده از مغز^۱ (BDNF)، پروتئینی است که به میزان زیادی در ساختارهای دستگاه عصبی مرکزی بیان می شود (فرندلیپ و همکاران؛ ۲۰۱۲) و در رشد، تمایزپذیری و محافظت از سلول های عصبی، نقشی ویژه دارد. این عامل نوروتروفیک با شکل پذیری^۲ سیناپسی، یادگیری و تسهیل فرایندهای شناختی در ارتباط است (ایگان و همکاران؛ ۲۰۰۳). تحقیقات مختلف نقش BDNF در یادگیری ترس (او و جین؛ ۲۰۰۶)، یادگیری تکالیف دسترسی (ویوندم بوش؛ ۲۰۰۷)، یادگیری فضایی و غیر فضایی (گریفن و همکاران؛ ۲۰۰۹)، بهبود عملکرد تکلیف انطباق نام - چهره^۳ و تکلیف رنگ واژه استروپ (گریفن و همکاران؛ ۲۰۱۱)، را نشان داده اند.

این درحالیست که نوعی چند ریختی تک نوکلئوتیدی^۴ موجود در کدین ۶۶ ژن BDNF برخی از افراد، بر روی کروموزوم ۱۱، منجر به مبادله اسیدآمینو والین با اسیدآمینو متیونین، در یک یا هر دو آلل موجود در این ناحیه می شود. این رخداد منجر به تمایز سه نوع ژنوتایپ می شود؛ یعنی افراد با دو والین، افراد با یک والین و یک متیونین و افراد با دو متیونین (فرندلیپ و همکاران ، ۲۰۱۲). به افراد دارای یک یا دو متیونین، حاملان متیونین^۵ یا "افراد دارای چندریختی" گفته می شود و به افرادی که تحت تاثیر این چندریختی نیستند "افراد بدون چندریختی" اطلاق می شود. بر اساس تحقیقات گذشته، درصد بالایی از افراد یک جامعه دچار این چند ریختی هستند و میزان آن در جوامع مختلف بین ۳۰ تا ۶۰ درصد متفاوت است (گاجوسکی و همکاران؛ ۲۰۱۱).

چند ریختی val⁶⁶met مقدار و شدت بیان BDNF را دچار اختلال می کند و با کاهش رهایی وابسته به فعالیت این عامل رشد عصبی همراه است (ایگان و همکاران، ۲۰۰۳). با توجه به گزارش تفاوت های رفتاری و نورواناتومیکی در بین افراد جوان حامل متیونین، از جمله تفاوت در حجم هیپوکامپ (پزاوس و همکاران؛ ۲۰۰۳) و کارکردهای آن (ایگان و همکاران، ۲۰۰۳؛ هو و همکاران؛ ۲۰۰۶) و همچنین با توجه به بیان BDNF در اغلب ساختارهای مغزی از جمله قشر مغز و هیپوکامپ، این فرضیه که چندریختی مذکور ممکن است سیستم های یادگیری و عملکردهای شناختی مرتبط با آن را تحت تاثیر قرار دهد، تامل برانگیز است. برای مثال جاندی^۶ و همکاران (۲۰۱۲) و دولتی، شایان و زر^۷ (۲۰۲۰) در مطالعه ای نشان دادند که حاملان متیونین نسبت به افراد فاقد چندریختی در یادگیری تکلیف تطابق دیداری حرکتی^۸ به صورت معنی داری ضعیف تر عمل می کنند (جاندی و همکاران، ۲۰۱۲؛ دولتی، شایان و زر ، ۲۰۲۰).

1. Brain Derived Neurotrophic Factor
2. Freundlieb & et al
3. Plasticity
4. Egan, & et al
5. Ou & Gean
6. V von dem Bussche
7. Griffin, & et al
8. Face-name matching task
9. Griffin, & et al
10. A single nucleotide polymorphism (SNP)
11. Met-carrier (met/met val/met)
12. Gajewski, & et al
13. Pezawas, & et al
14. Ho, & et al
15. Joundi, & et al
16. Dwlati, Shayan & Zar
17. Visuomotor adaptation task

در مطالعاتی دیگر، با استفاده از FMRI و تحریکات مغزی غیر هجومی، پیشنهاد شده است که چندریختی با شکل پذیری کوتاه مدت قشر حرکتی در ارتباط است (مک هیگن و همکاران؛ ۲۰۱۰؛ مک هیگن و همکاران؛ ۲۰۱۱؛ آنتال و همکاران؛ ۲۰۱۰). علاوه بر آن (حریری و همکاران؛ ۲۰۰۳) در مطالعه ای با استفاده از BOLD FMRI نشان دادند که حاملان متیونین، در طول فرایندهای رمزگذاری و بازیابی، فعالسازی هیپوکامپی ضعیف تری نسبت به حاملان والین دارند و در تکلیف حافظه اخباری ضعیف تر عمل کردند (حریری و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین نشان داده شده است که حاملان متیونین عملکردهای اجرایی لوب پیشانی را به شکل ضعیف تری انجام می دهند. (ریباکووسکی و همکاران؛ ۲۰۰۶) و (آکر و همکاران؛ ۲۰۰۵) نیز از طریق بررسی ماده خاکستری نواحی مختلف مغز به این نتیجه رسیدند که چندریختی BDNF اثر منفی معناداری روی ساختارهایی از مغز که در شبکه های حافظه کاری درگیر هستند، دارد (ریباکووسکی و همکاران، ۲۰۰۶؛ آکر، و همکاران، ۲۰۰۵).

نکته تامل برانگیز، بررسی اثر چندریختی روی رفتار حرکتی انسان و به ویژه یادگیری حرکتی، در برخی از مطالعات قبلی است. هرچند اثر منفی این چندریختی بر عملکرد دیداری حرکتی (جانندی و همکاران، ۲۰۱۲؛ دولتی و همکاران، ۲۰۲۰)، یادگیری توالی حرکتی پنهان (جانندی و همکاران، ۲۰۱۲؛ فرنلپ و همکاران، ۲۰۱۲؛ دولتی و همکاران، ۲۰۲۰)، الگوهای یادگیری پنهان کوتاه مدت و بلند مدت و یادگیری واژگان (فرنلپ و همکاران، ۲۰۱۲)، کم و بیش نشان داده شده است، با نگاهی دقیق به این تحقیقات می توان پی برد که محققان از تکالیف توالی داری استفاده کرده اند، که بیشتر وابسته به فرایند های شناختی بوده اند و فرایند حرکتی آنها مستلزم پردازش کنترلی خاصی نبوده، و به همین دلیل تفکیک و بررسی مراحل مختلف یادگیری حرکتی و تأثیری که این چندریختی بر مکانیزم های درگیر در این مراحل دارند، مغفول مانده است. این درحالی است که بر اساس مدل (هیگوساکا و همکاران؛ ۱۹۹۹) تلاش فرد برای سازمان دهی اجزای یک توالی در ابتدای تمرین به میزان زیادی به اطلاعات حس حرکتی برگرفته شده از حافظه فضایی وابسته است و با ادامه تمرین، این وابستگی به تدریج کم شده و توالی توسط دومکانیزم موازی، یعنی سیستم هماهنگی بینایی- فضایی^۹ (وابسته به پردازش های شناختی) و سیستم هماهنگی حرکتی (وابسته به پردازش های حرکتی) کدگذاری می شود (هیگوساکا و همکاران، ۱۹۹۹؛ کیل و همکاران؛ ۲۰۰۳). اکتساب مهارت های توالی دار در مکانیزم مبتنی بر سیستم هماهنگی بینایی- فضایی، سریع، انعطاف پذیر و به فرایند های توجه و حافظه کاری وابسته است، در حالی که اکتساب اطلاعات کدگذاری شده در مکانیزم مبتنی بر سیستم هماهنگی حرکتی، آهسته تر اتفاق افتاده و در نهایت، بدون نیاز به توجه و آگاهی اجرا می شوند (ساکای و همکاران؛ ۱۹۹۸).

بنابراین به نظر می رسد اثر چندریختی مذکور بر یادگیری تکلیفی که بر خلاف تکالیف تحقیقات گذشته، می توان در مراحل مختلف یادگیری آن به صورت تفکیک شده، هر دو پردازش شناختی و پردازش حرکتی را مورد بررسی قرارداد، تا از این طریق مدل و فرض (هیگوساکا و همکاران، ۱۹۹۹) را تحلیل کند تأمل برانگیز باشد و بنابراین ضرورت اصلی تحقیق حاضر به حساب می

¹ . Functional magnetic resonance imaging

² . McHughen, & et al

³ . McHughen, & et al

⁴ . Antal, & et al

⁵ . Hariri, & et al

⁶ . Rybakowski, & et al

⁷ . Eker, & et al

⁸ . Hikosaka, & et al

⁹ . Visual-spatial coordinates

¹⁰ . Motor coordinate

¹¹ . Keele, & et al

¹² . Sakai, & et al

آید. از این رو در تحقیق حاضر، محققان با استفاده از تکلیف حرکتی بازوی دینامیک^۱ و با بررسی فرایند اکتساب، آزمون یادداری و آزمون های انتقال ویژه، سعی در پاسخ به این سوال اساسی دارند که نقش چندریختی تک نوکلئوتیدی عامل رشد عصبی مشتق شده از مغز در فرایندهای پردازشی بینایی - فضایی و حرکتی چگونه است؟

روش‌شناسی پژوهش

در مطالعه حاضر، صد نفر از دانشجویان مرد دانشگاه کاشان (میانگین سنی 20.2 ± 21.6)، مطابق استانداردهای اخلاقی دانشگاه علوم پزشکی کاشان، تحت مطالعه قرار گرفتند. افراد دارای سلامت عمومی، فاقد سابقه بیماری های بهداشتی، عصبی و روانی، و مشکلات رفتاری و حرکتی بودند و از داروهای غیر قانونی محرک عصبی و همچنین داروهای خواب آور استفاده نمی کردند. همه آنها راست دست بودند، محدودیت حرکتی در اندام فوقانی نداشتند، دید طبیعی و یا اصلاح شده طبیعی داشتند و هیچ تجربه قبلی در مورد تکلیف استفاده شده در تحقیق نداشتند و دارای ضریب هوشی طبیعی و متوسط بودند. به دلیل اثر احتمالی فعالیت هورمون های جنسی بر تنظیم بیان BDNF (جو و همکاران،^۲ ۲۰۰۵؛ کربن و هاندا،^۳ ۲۰۱۳) فقط افراد مرد و مجرد انتخاب شدند.

تعیین ژنوتایپ BDNF

تعیین ژنوتایپ BDNF دقیقاً مطابق با فرایندی انجام شد که در مطالعه (شایان، دولتی و زر،^۴ ۲۰۲۰) تشریح شده است (شایان، دولتی و زر، ۲۰۲۰). بر اساس تحلیل ژنتیکی انجام شده، شرکت کنندگان به دو گروه فاقد چندریختی (۴۶ نفر) و حاملان متیونین (۵۴ نفر) تقسیم شدند.

ابزار پژوهش

تکلیف حرکتی بازوی دینامیک طراحی شده توسط (ایرانمنش و همکاران،^۵ ۲۰۲۲)، ابزاری جهت سنجش توالی های حرکتی است که برگرفته از ابزار (پارک و شی،^۶ ۲۰۰۵) می باشد (ایرانمنش و همکاران،^۷ ۲۰۲۲؛ پارک و شی،^۸ ۲۰۰۵). این ابزار شامل یک اهرم افقی و مانیتور (۴۳ اینچی) است. محور اهرم آزادانه به کمک بلبرینگ^۹ می چرخد و به اهرم اجازه می دهد تا در صفحه افقی بالای سطح میز حرکت کند. اهرم در نزدیکی انتهای محور عمودی ثابت شده و نزدیک به انتهای تحتانی اهرم، دسته عمودی متصل می شود. موقعیت دسته به گونه ای تنظیم شده تا شرکت کنندگان ساعد خود را به راحتی بر روی اهرم قرار دهند و آرنجشان همراستا با محور چرخش باشد تا بتوانند به راحتی دسته را بگیرند. لازم به ذکر است که محل قرارگیری دست هر فرد بر روی اهرم با توجه به طول دست شرکت کننده قابل تنظیم است (بوتین و همکاران،^۸ ۲۰۱۰). حرکت افقی اهرم توسط یک روتاری اینکودر افزایشی^۹ که به انتهای پایین محور متصل است، کنترل شده تا داده ها جهت تجزیه و تحلیل بعدی در کامپیوتر ذخیره گردند. یک اشاره گر به انتهای اهرم متصل گشته، به طوری که افراد بتوانند با کمک حرکات خم شدن و باز شدن بازو آن را حرکت و در درون اهداف ارائه شده در مانیتور قرار دهند. برای به حداقل رساندن میزان خطا در جابه جایی، تعدادی گیرنده نوری بر روی بدنه اصلی دستگاه و در زیر اهرم قرار داده شد تا دستگاه از کالیبریزاسیون دقیق تری برخوردار باشد. همچنین، اشاره گر دیگری به صورت عمود بر

1. Dynamic Arm Movement Task

2. Zhou, & et al

3. Carbone & Handa

4. Shayan, Dowlati & Zar

5. Iranmanesh, & et al

6. Park & Shea

7. Ball-bearing

8. Boutin, & et al

9. Increment rotary encoder

اهرم قرار دارد که وظیفه آن برقراری ارتباط با گیرنده های نوری است. فاصله اشاره گر تا مانیتوری که در روبروی آن قرار دارد حدود ۲۰ سانتی متر است و فاصله فرد از مانیتور حدود ۸۰ سانتی متر تعبیه شد (ایرانمنش، ۲۰۲۲؛ پارک و شی، ۲۰۰۵؛ کوواکس، مالبر و شی، ۲۰۰۹). (شکل ۱).



شکل ۱. نمایی از دستگاه تکلیف حرکتی بازوی دینامیک (برگرفته از ایرانمنش و همکاران، ۲۰۲۲)

روش اجرا

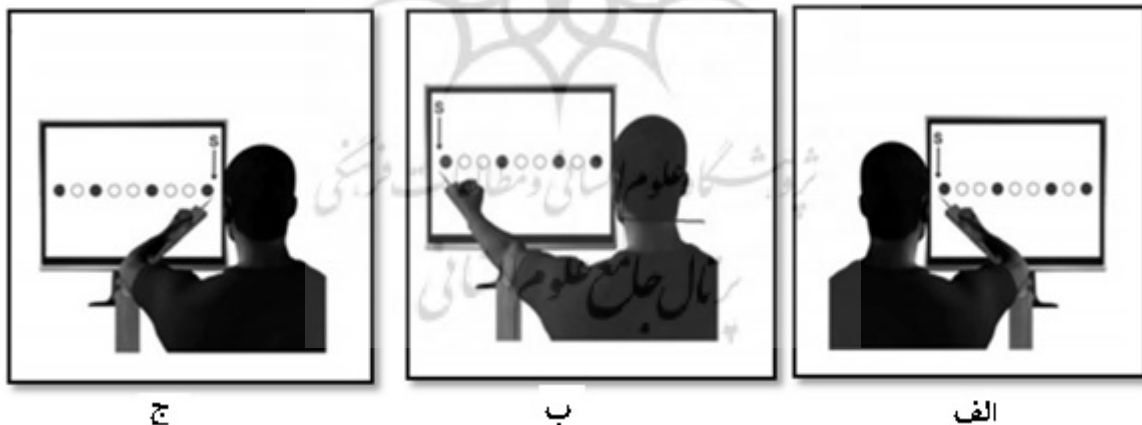
برای انجام آزمون، شرکت کنندگان در مقابل مانیتور بر روی صندلی با قابلیت تنظیم ارتفاع نشستند. صندلی به گونه ای تنظیم شد که بازوی شرکت کنندگان تقریباً ۶۰ درجه نسبت به ساعد وی در موقعیت شروع قرار گرفت. دامنه حرکت برای شرکت کنندگان ۸۰ درجه بود. به تمامی شرکت کنندگان اطلاعاتی در مورد چگونگی اجرای تکلیف با بازوی دینامیک داده شد. اهداف در مانیتور مقابل شرکت کنندگان قرار گرفته و شرکت کنندگان با حرکات خم و باز کردن بازوی خود، اشاره گر را درون اهداف ارائه شده در مانیتور قرار دادند (پارک و شی، ۲۰۰۵؛ بوتین و همکاران، ۲۰۱۰). قطر اهداف تقریباً دو درجه از خم شدن یا باز شدن مفصل آرنج بود که از مرکز اهداف در نظر گرفته شد. ده هدف در صفحه مانیتور نمایش داده شد، اما تنها چهار محرک (۱،۴،۷،۱۰) روشن و خاموش شدند. در شروع هر بلوک از شرکت کنندگان خواسته شد تا اهرم را در موقعیت شروع قرار دهند. زمانی که موقعیت شروع ایجاد شد، اهداف بر روی صفحه نمایش ظاهر گشتند. صدایی کوتاه به نشانه شروع بلوک آغاز و در زمان مشابه اولین محرک نمایش داده شد (کوواکس و همکاران، ۲۰۰۹). به تمامی شرکت کنندگان گفته شد که به محض مشاهده اولین محرک، اهرم را از نقطه شروع به سمت محرک های ارائه داده شده با حداکثر سرعت، دقت و روانی ممکن حرکت دهند. اما، هیچ گونه دستورالعملی در مورد ترتیب و تکراری بودن توالی ها داده نشد. پس از ضربه زدن به محرک، هدف خاموش و بلافاصله محرک بعدی نمایش داده شد. این کار تا زمانی که کل کوشش ها و توالی تکمیل شد، ادامه یافت. بعد از پاسخ به آخرین هدف در هر بلوک، صدایی به نشانه اتمام بلوک به گوش رسیده و نمایش محرک ها در صفحه مانیتور حذف گردیدند (ایرانمنش و همکاران، ۲۰۲۲؛ پارک و شی، ۲۰۰۵؛ بوتین و همکاران، ۲۰۱۰؛ کوواکس و همکاران، ۲۰۰۹).

پروتکل تمرینی تحقیق حاضر، شامل جلسات اکتساب، یادداری و انتقال بوده است. جلسه اکتساب شامل ده بلوک ۹۶ کوششی (۱۲ جز توالی با هشت تکرار) با فاصله استراحت یک دقیقه در بین بلوک ها بود که در این فاصله زمانی بازخوردی به فرد داده نمی شد (ایرانمنش و همکاران، ۲۰۲۲؛ ایرانمنش، ۲۰۲۲؛ میبیر و کاک، ۲۰۱۴) قبل از شروع جلسه اکتساب، شرکت کنندگان یک بلوک تصادفی ده کوششی را جهت آشنا شدن با تکلیف انجام دادند (پارک و شی، ۲۰۰۵). ظهور محرک ها به غیر از بلوک نهم که به

1. Kovacs, Mühlbauer, & Shea

2. Meier & Cock

صورت تصادفی بود، از یک الگو و توالی از پیش تعیین شده پیروی می کرد. ترتیب توالی مورد استفاده شامل اهداف (۴،۷،۱۰،۷،۴،۱،۴،۱،۴،۷،۴،۱) بود که این اهداف دارای فواصل مساوی ۲۰ درجه نسبت به یکدیگر بودند. جهت جلوگیری از اکتساب دانش الگو، علاوه بر تصادفی بودن بلوک ها، در تمامی بلوک ها سه کوشش اول به صورت تصادفی بود که جهت تجزیه و تحلیل داده ها از تحلیل حذف شدند (ایرانمنش، ۲۰۲۲؛ میسر و کاک، ۲۰۱۴). جلسه آزمون یادداری شامل یک بلوک ۹۶ کوششی بود که ۴۸ ساعت پس از آخرین بلوک تمرینی اجرا شد. بعد از انجام آزمون یادداری آزمون های انتقال صورت گرفت. در تحقیقات گذشته برای اینکه آثار تعمیم پذیری مهارت حرکتی نشان داده شود، از آزمون انتقال اندام مجری استفاده می شد که اجزای تکلیف جدید با اندام غیرتمرین شده مورد آزمون قرار می گرفتند. اما در تحقیق حاضر، به طور ویژه از دو آزمون انتقال بینایی- فضایی و حرکتی جهت تعمیم پذیری هر دو اجزای بینایی- فضایی و حرکتی مهارت حرکتی استفاده گردید (بوتین، پانزر و بلانندین، ۲۰۱۳). این دو آزمون به ما نشان خواهند داد که افراد در حین تمرین وابسته به پردازش های بینایی - فضای بوده اند و یا وابسته به پردازش های حرکتی. در این نوع انتقالات، شرکت کنندگان در دو شرایط (نقطه شروع سمت راست و چپ) و با عضو تمرین نشده (دست غیر برتر) آزمون دادند (پانزر و همکاران، ۲۰۰۹؛ کوواکس و همکاران، ۲۰۰۹). در یکی از این آزمون ها، شرکت کنندگان به طور متوالی موقعیت اهداف را که نیازمند الگوی مشابهی از خم شدن و بازشدن آرنج بود، با اندام غیر تمرین شده حرکت دادند. این مدل از انتقال، انتقال حرکتی یا آینه ای نامیده می شود، زیرا الگوی حرکت اهرم و موقعیت اهداف برای حرکات اندام چپ، تصاویر آینه ای بوده است. در آزمون دیگر، شرکت کنندگان موقعیت اهداف را که مشابه مرحله اکتساب و یادداری بودند با اندام غیر تمرین شده آزمون دادند. این نوع پاسخ دهی به اهداف، الگوی جدیدی از فعالسازی عضلات را مورد نیاز داشت (پانزر و همکاران، ۲۰۱۱). این نوع انتقال، انتقال بینایی - فضایی (هدف) نامیده می شود، زیرا با تغییر اندام، الگوی اولیه حفظ شده (الگوی مشابه هدف)، گرچه توالی موقعیت پاسخ تغییر می کند (پارک و شی، ۲۰۰۵؛ پانزر و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل ۲. نقطه شروع و اندام مورد استفاده در: (الف) آزمون های یادداری، (ب) انتقال بینایی-فضایی، (ج) انتقال حرکتی (برگرفته از بوتین و همکاران، ۲۰۱۰).

در پایان آزمون، دانش آشکار الگو و توالی توسط مصاحبه از شرکت کنندگان و آزمون بازشناسی مورد ارزیابی قرار گرفت، تا در صورت کسب دانش و آگاهی از ترتیب کوشش های توالی از تحقیق حذف گردند. مصاحبه شامل سوالاتی در مورد موقعیت محرک ها و پاسخ ها بود. از جمله " آیا شما در طول اجرای تمرین برای ظاهر شدن محرک به نظم و راهبرد خاصی توجه کرده اید؟ اگر جوابتان مثبت می باشد از چه نوع راهبردی (سرعت و دقت) استفاده نمودید؟ آیا توپر شدن دایره ها از یک توالی تکراری تبعیت

1. Boutin, Panzer & Blandin

2. Panzer, & et al

می کند. در صورت بلی. لطفاً توالی را ذکر نمایید". ذکر شش جز توالی پشت سر هم در صورت بیان و حدس توالی، نشان دهنده آگاهی از دانش خاص آن توالی بوده است (میبر و کاک، ۲۰۱۴). علاوه بر این از آزمون بازشناسی جهت شناسایی دانش آشکار استفاده گردید. شرکت کنندگان در مقابل مانیتور نشسته، پنج توالی متفاوت به آنها نشان داده شد که فقط یکی از آنها، توالی اصلی ارائه شده در تحقیق بوده است. پاسخ صحیح به توالی مورد نظر نشان دهنده آگاهی از قواعد تکلیف و دانش آشکار توالی بود و منجر به حذف شرکت کننده از تحقیق حاضر می شد (ایرانمنش و همکاران، ۲۰۲۲؛ پارک و شی، ۲۰۰۵). جهت ذخیره و پردازش داده ها از نرم افزار متلب (Math works, R2014a) استفاده شد. پس از تایید نرمال بودن توزیع داده ها توسط آزمون کولموگروف اسمیرنوف، جهت تجزیه و تحلیل آماری داده ها از آزمون پارامتریک تحلیل کواریانس در نرم افزار SPSS 26 استفاده گردید. متغیرهای پژوهش شامل زمان پاسخ اجزا و خطای پیش بینی بوده اند. زمان پاسخ اجزا به زمان سپری شده از ضربه زدن به محرک که اخیراً نشان داده شده تا ضربه زدن به محرک ظاهر شده بعدی است. خطای پیش بینی نشان دهنده حرکت در خلاف جهت رسیدن به هدف بوده است. این بدان معناست که فرد در انتخاب محرک صحیح، پیش بینی اشتباه داشته است. باتوجه به اینکه الگوی مورد نظر دارای شش تغییر جهت طبیعی در هر ۱۲ جزء توالی بوده است. هر تغییر جهت غیرضروری و مازاد بر شش تغییر جهت های پیش فرض در مسیر حرکت، به عنوان خطا ثبت شد.

یافته ها

داده های توصیفی مربوط به متغیرهای تحقیق در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد (M±SD) داده های تحقیق

حاملان متیونین		حاملان والین		مراحل تمرین و آزمون
خطا (تعداد)	زمان پاسخ (میلی ثانیه)	خطا (تعداد)	زمان پاسخ (میلی ثانیه)	
۱۶/۴۴ ± ۶/۳۸	۹۳۲/۳۷ ± ۷۷/۲۰	۱۷/۹۶ ± ۴/۵۸	۹۱۲/۳۴ ± ۷۶/۵۹	بلوک ۱
۱۴/۷۴ ± ۶/۵۲	۸۴۹/۸۶ ± ۹۷/۸۹	۱۳/۴۰ ± ۴/۶۶	۸۱۵/۵۲ ± ۸۷/۶۴	بلوک ۲
۸/۸۶ ± ۳/۳۵	۸۶۳/۱۳ ± ۹۸/۳۸	۱۰/۵۴ ± ۵/۱۲	۷۸۰/۰۱ ± ۷۹/۹۱	بلوک ۳
۱۱/۴۴ ± ۶/۸۰	۸۳۲/۴۲ ± ۹۱/۳۰	۹/۶۸ ± ۶/۰۷	۷۵۴/۳۱ ± ۸۹/۵۴	بلوک ۴
۱۰/۸۰ ± ۵/۲۸	۸۴۴/۴۷ ± ۹۷/۴۵	۱۰/۳۴ ± ۵/۶۲	۷۱۸/۳۶ ± ۹۵/۸۶	بلوک ۵
۱۰/۴۶ ± ۵/۴۱	۷۹۱/۷۱ ± ۹۲/۲۰	۹/۷۸ ± ۵/۶۶	۷۲۳/۱۵ ± ۸۳/۲۵	بلوک ۶
۹/۵۴ ± ۴/۲۰	۷۶۵/۸۰ ± ۹۲/۰۱	۸/۵۶ ± ۴/۵۳	۷۳۱/۶۰ ± ۷۳/۲۱	بلوک ۷
۸/۹۰ ± ۳/۷۷	۷۳۴/۲۶ ± ۹۲/۵۰	۱۰/۰۰ ± ۵/۵۳	۷۰۱/۷۳ ± ۷۹/۹۳	بلوک ۸
۱۳/۲۰ ± ۵/۶۱	۸۵۵/۶۷ ± ۹۷/۱۴	۱۱/۷۸ ± ۴/۳۷	۸۳۸/۶۸ ± ۷۹/۵۶	بلوک ۹
۹/۱۲ ± ۳/۷۳	۶۶۵/۶۱ ± ۹۱/۷۳	۹/۹۰ ± ۴/۴۶	۶۳۵/۳۶ ± ۸۴/۴۱	بلوک ۱۰
۸/۰۲ ± ۵/۹۴	۶۴۳/۵۸ ± ۷۵/۱۳	۷/۰۰ ± ۳/۷۷	۷۵۴/۲۵ ± ۸۷/۳۱	یادداری
۱۰/۸۲ ± ۴/۵۷	۷۶۳/۳۶ ± ۷۳/۵۹	۱۱/۳۰ ± ۲/۷۷	۷۴۱/۸۳ ± ۷۰/۷۳	انتقال بینایی - فضایی
۷/۳۲ ± ۲/۹۷	۸۵۱/۴۴ ± ۸۰/۴۳	۷/۶۲ ± ۱/۴۰	۶۶۸/۱۶ ± ۷۰/۷۳	انتقال حرکتی

زمان پاسخ به محرک و تعداد خطاها در پاسخ به محرک در بلوک های تمرینی و آزمون های مختلف تحقیق در شکل های ۳ و ۴ به خوبی نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود تقریباً تفاوتی بین خطاهای دو گروه در بلوک ها و آزمون های مختلف وجود ندارد (جدول ۳). با این حال، در زمان پاسخ به محرک تفاوت های قابل توجهی بین دو گروه وجود دارد که مهم ترین

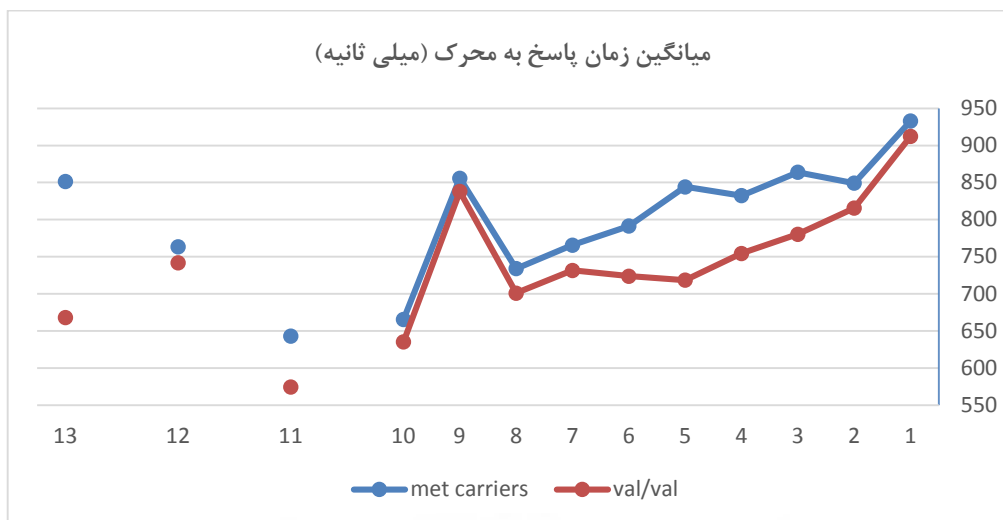
۱. Recognition Test

آن تفاوت های معناداری است که آزمون کواریانس در مراحل یادداری ($p < 0.001$, $F = 17/619$) و انتقال حرکتی ($p < 0.001$) نشان داده است (جدول ۲).

جدول ۲. تحلیل کواریانس به منظور تعیین تفاوت بین دو گروه در زمان پاسخ به محرک

Sig.	F	Mean Square	df	Type III Sum of Squares	Dependent Variable	Source
.000	9/615	61702/096	2	^a 1233404/192	یادداری	Corrected Model
.391	.949	6241/154	2	^b 12482/309	انتقال بینایی - فضایی	
.000	72/711	420478/445	2	^c 840956/891	آزمون انتقال حرکتی	
.000	30/733	197212/581	1	197212/581	یادداری	Intercept
.000	62/986	420896/206	1	420896/206	انتقال بینایی - فضایی	
.000	75/237	435084/752	1	435084/752	آزمون انتقال حرکتی	
.479	.506	3244/803	1	3244/803	یادداری	Response time of Block1
.714	.135	889/867	1	889/867	انتقال بینایی - فضایی	
.649	.209	1208/576	1	1208/576	آزمون انتقال حرکتی	
.000	17/619	113061/085	1	113061/085	یادداری	Group
.179	1/861	12241/170	1	12241/170	انتقال بینایی - فضایی	
.000	144/169	833716/793	1	833716/793	آزمون انتقال حرکتی	
		6417/052	97	622454/055	یادداری	Error
		6577/980	97	638064/037	انتقال بینایی - فضایی	
		5782/894	97	57290092/754	آزمون انتقال حرکتی	
			100	37823744/923	یادداری	Total
			100	57290092/548	انتقال بینایی - فضایی	
			100	59131268/280	آزمون انتقال حرکتی	
			99	745858/248	یادداری	Corrected Total
			99	650546/346	انتقال بینایی - فضایی	
			99	1401897/645	آزمون انتقال حرکتی	

a. R Squared = .165 (Adjusted R Squared = .148)
b. R Squared = .019 (Adjusted R Squared = -.001)
c. R Squared = .600 (Adjusted R Squared = .592)



شکل ۳. زمان پاسخ ده بلوک مرحله اکتساب و آزمون های یادداری (۱۱)، انتقال بینایی - فضایی (۱۲) و انتقال حرکتی (۱۳)

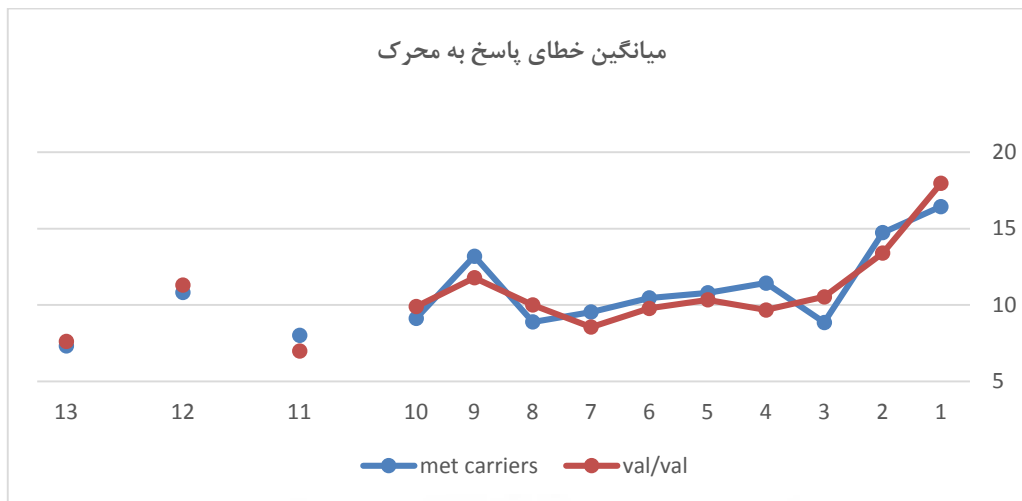
جدول ۳. تحلیل کواریانس به منظور تعیین تفاوت بین دو گروه در خطای پاسخ به محرک

Sig.	F	Mean Square	df	Type III Sum of Squares	Dependent Variable	Source
.000	۱۱/۳۷۲	۲۳۳/۱۵۶	۲	^a ۴۶۶/۳۱۳	یادداری	Corrected Model
.۱۰۸	۲/۲۷۹	۳۱/۴۵۰	۲	^b ۶۲/۹۰۰	انتقال بینایی - فضایی	
.۴۳۵	۰/۸۴۰	۴/۵۱۸	۲	^c ۹/۰۳۵	آزمون انتقال حرکتی	
.۵۲۷	۰/۴۰۴	۸/۲۷۶	۱	۸/۲۷۶	یادداری	Intercept
.000	۵۰/۷۷۴	۷۰۰/۷۵۵	۱	۷۰۰/۷۵۵	انتقال بینایی - فضایی	Response error of Block1
.000	۷۶/۳۰۲	۴۱۰/۵۱۴	۱	۴۱۰/۵۱۴	آزمون انتقال حرکتی	
.000	۲۱/۴۷۶	۴۴۰/۳۰۳	۱	۴۴۰/۳۰۳	یادداری	
.۰۴۵	۴/۱۴۰	۵۷/۱۴۰	۱	۵۷/۱۴۰	انتقال بینایی - فضایی	Group
.۲۶۴	۱/۲۶۱	۶/۷۸۵	۱	۶/۷۸۵	آزمون انتقال حرکتی	
.۰۸۳	۳/۰۶۴	۶۲/۸۱۳	۱	۶۲/۸۱۳	یادداری	
.۷۱۹	۰/۱۳۱	۱/۸۰۲	۱	۱/۸۰۲	انتقال بینایی - فضایی	Error
.۶۲۷	۰/۲۳۷	۱/۲۷۵	۱	۱/۲۷۵	آزمون انتقال حرکتی	
		۲۰/۵۰۲	۹۷	۱۹۸۸/۶۷۷	یادداری	
		۱۳/۸۰۱	۹۷	۱۳۳۸/۷۴۰	انتقال بینایی - فضایی	Total
		۵/۳۸۰	۹۷	۵۲۱/۸۷۵	آزمون انتقال حرکتی	
			۱۰۰	۸۰۹۵/۰۰۰	یادداری	
			۱۰۰	۱۳۶۳۴/۰۰۰	انتقال بینایی - فضایی	Corrected Total
			۱۰۰	۶۱۱۱/۰۰۰	آزمون انتقال حرکتی	
			۹۹	۲۴۵۴/۹۹۰	یادداری	
			۹۹	۱۴۰۱/۶۴۰	انتقال بینایی - فضایی	Corrected Total
			۹۹	۵۳۰/۹۱۰	آزمون انتقال حرکتی	

a. R Squared = .190 (Adjusted R Squared = .173)

b. R Squared = .045 (Adjusted R Squared = .025)

c. R Squared = .017 (Adjusted R Squared = -.003)



شکل ۴. خطای پیش بینی در ده بلوک مرحله اکتساب و آزمون های یادداری (۱۱)، انتقال بینایی- فضایی (۱۲) و انتقال حرکتی (۱۳)

بحث

هدف از تحقیق حاضر بررسی تاثیر چندریختی $val^{66}met$ بر یادگیری یک مهارت توالی دار حرکتی بوده است که به طور متفاوت از تکالیف موجود در تحقیقات قبلی، هردو فرایندهای شناختی و حرکتی را در حین تمرین یک تکلیف به کار می گرفت. محققین با استفاده از تکلیف حرکتی بازوی دینامیک به این نتیجه رسیدند که افراد فاقد چندریختی با سرعت بیشتری نسبت به حاملان متیونین پیشرفت می کنند و در آزمون یادداری هم بهتر عمل می کنند. با این حال موضوعی که جالب توجه است بررسی آزمون های انتقال بینایی - فضایی و انتقال حرکتی است، چرا که این آزمونها به صورت ویژه تفاوت دو گروه را در گذر از مراحل مختلف یادگیری حرکتی نشان می دهد و مشخص می نماید که افراد در حین تمرین بیشتر وابسته به پردازش های بینایی فضایی و شناختی بوده اند یا وابسته به پردازش های حرکتی. همانطور که در شکل های ۳ و ۴ مشاهده می شود، دو گروه تفاوت قابل توجهی در میزان خطای پاسخ در مراحل مختلف تمرین و آزمون ندارند، ولی تفاوت های بین دو گروه در زمان پاسخ به محرک، به ویژه در شروع روند تمرین، آزمون یادداری و آزمون انتقال حرکتی جلب توجه می کند و نیازمند بحث و تفسیر است. با نگاهی دقیق به فرایند تمرین در شکل ۳، به وضوح می توان دید که زمان پاسخ در هر دو گروه در بلوک های ابتدایی تمرین به صورت قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. این موضوع کاملاً طبیعی به نظر می رسد چرا که در ابتدای تمرین یک مهارت چیزهای زیادی، از جمله اجزای شناختی برای یادگیری وجود دارد و اصطلاحاً فرد با فرایند و محیط تمرین آشنا می شود. در حقیقت علت این امر را به قرار داشتن افراد در مرحله شناختی (فیتز و پوزنر، ۱۹۶۷) می توان نسبت داد. مشخصه این مرحله، پردازش هوشیارانه اطلاعات مربوط به تکلیف از طریق راهبردهای موجود در ذهن فرد می باشد. لذا در شروع تمرین زمان پاسخ به محرک بسیار زیاد است و با تمرین اولیه به سرعت کاهش می یابد (ایرانمنش، ۲۰۲۰؛ مسترز و همکاران، ۲۰۰۸). با این حال در ادامه و از بلوک دوم تا ششم تفاوت قابل توجهی بین دو گروه مشاهده می شود و به نظر می رسد حاملان متیونین کمی دچار مشکل شده اند و به محرک ها با سرعت کمتری پاسخ می دهند. جالب توجه است که حاملان متیونین در بلوک های هفتم و هشتم تفاوتشان با افراد فاقد چندریختی را کاهش داده و در بلوک های ۹ و ۱۰ این تفاوت تقریباً از بین می رود. به نظر می رسد، مشکلات که حاملان متیونین

1. Fitts & Posner

2. Masters, & et al

در کارکردهای اجرایی و حافظه کاری و به صورت کلی مسائل شناختی دارند و در مبانی نظری و تحقیقات گذشته (جانندی و همکاران، ۲۰۱۲؛ مک هیگن و همکاران، ۲۰۱۰؛ مک هیگن و همکاران، ۲۰۱۱؛ آنتال و همکاران، ۲۰۱۰؛ حریری و همکاران، ۲۰۰۳؛ آکر و همکاران، ۲۰۰۵؛ ریباکوسکی و همکاران، ۲۰۰۶؛ دولتی و همکاران، ۲۰۲۰) نیز مشاهده شده است باعث ضعف آنها در بلوک های ابتدایی شده ولی با ادامه تمرین کافی و مناسب تا حدودی از بین رفته است. برخی تحقیقات بر روی تکالیف مشابه با تکلیف حاضر اثر افزایش فراوانی تمرین بر پیشرفت در تکلیف را قبلاً نشان داده اند (ایرانمنش و همکاران، ۲۰۲۲؛ ایرانمنش، ۲۰۲۲؛ آلبوی و همکاران، ۲۰۱۳؛ پنزر و همکاران، ۲۰۱۱؛ بوتین و همکاران، ۲۰۱۰؛ میسر و کاک، ۲۰۱۴) به عبارت دیگر به نظر می رسد سرعت پیشرفت گروه فاقد چندریختی از بلوک پنجم به بعد کاهش پیدا می کند و این به این معنی است که این افراد به نوعی به سقف اولیه یادگیری مهارت رسیده و به همین دلیل گروه حامل متیونین با ادامه تمرین فاصله را جبران می کند.

با این حال در ادامه و پس از وقفه ای ۴۸ ساعته، پیشرفت قابل توجهی در آزمون یادداری در گروه فاقد چندریختی مشاهده می شود که همین باعث تفاوت معنادار ($F=17/619$, $p<0/001$) با گروه حامل متیونین می شود که عملکرد آزمون یادداری این گروه تفاوت چندانی با آخرین بلوک مرحله اکتساب ندارد. این موضوع می تواند بیانگر ضعف یا مشکل احتمالی در تحکیم حافظه در گروه حامل متیونین باشد، که با توجه به مشکلاتی که حاملان متیونین در هیپوکامپ، لوب پیشانی و ساختارهای مغزی دیگر دارند (ایگان و همکاران، ۲۰۰۳؛ یزاوس و همکاران، ۲۰۰۴؛ هو و همکاران، ۲۰۰۶) عجیب نیست. همسویی نتایج بسیاری از تحقیقات گذشته (فرندلیپ و همکاران، ۲۰۱۲؛ جانندی و همکاران، ۲۰۱۲؛ مک هیگن و همکاران، ۲۰۱۰؛ مک هیگن و همکاران، ۲۰۱۱؛ آنتال و همکاران، ۲۰۱۰؛ حریری و همکاران، ۲۰۰۳؛ آکر و همکاران، ۲۰۰۵؛ ریباکوسکی و همکاران، ۲۰۰۶؛ دولتی و همکاران، ۲۰۲۰؛ شایان و همکاران، ۲۰۲۰) با نتایج آزمون یادداری تحقیق حاضر اطمینان از نتیجه حاصله را بیشتر می کند. همچنین یافته های جدیدتری نیز وجود دارد که نقش چندریختی val⁶⁶met در مدار عصبی قشر حرکتی انسان را به خوبی نشان می دهد و بر اثر آن بر مکانیزم یادگیری و قشر حرکتی انسان تاکید می کند. در یکی از این تحقیقات (کش و همکاران، ۲۰۲۱)، تاثیر چندریختی BDNF را فراتر از شکل پذیری نورونی دانست و با استفاده از تحریک مغناطیسی ترانس کرانیال (TMS) به بررسی تعادل تحریکی- بازدارندگی^۵ در قشر حرکتی انسان پرداخت و در نتیجه اثرپذیری انتقال دهنده های عصبی را نیز به چالش کشید (کش و همکاران، ۲۰۲۱). در تحقیقی دیگر نیز، (جیوردانو و همکاران، ۲۰۲۲)، نقش چندریختی مذکور در بازتوانی بیماران ام اس پیشرفته را نشان دادند، که حاکی از تایید نقش BDNF در شکل پذیری سیناپسی^۷ می باشد (جیوردانو و همکاران، ۲۰۲۲).

با این حال تحقیقاتی نیز وجود دارد که نتایجی همراستا با تحقیق حاضر ندارند. از آن جمله می توان به کار (فرندلیپ و همکاران، ۲۰۱۲)، اشاره کرد که در آن از نظر الگوهای یادگیری پنهان کوتاه مدت، تفاوتی بین دو گروه نبود (فرندلیپ و همکاران، ۲۰۱۲). در تحقیق مذکور تعداد شرکت کنندگان به وضوح از تحقیق حاضر کمتر بود و کنترل جنسیت صورت نگرفته بود این موضوع می تواند دلیل اصلی تفاوت نتیجه بین دو تحقیق باشد، چرا که هورمون زنانه استروژن نقش مهمی در بیان BDNF دارد. در تحقیق (هریسبرگر و همکاران، ۲۰۱۴) و همچنین (کیم و همکاران، ۲۰۱۵) نیز ارتباطی بین حجم هیپوکامپ و چندریختی val⁶⁶met نبود و نه تنها با تحقیق حاضر، که با اکثر تحقیقات قبلی ناهمسو است. خود این محققان دلیل تفاوت نتیجه تحقیقتان با غالب

1. Albouy, & et al

2. Cash, & et al

3. Neuroplasticity

4. Transcranial magnetic stimulation

5. The excitatory/inhibitory (E/I) balance

6. Giordano, & et al

7. Synaptic plasticity

8. Harrisberger, & et al

9. kim, & et al

تحقیقات را در حجم نمونه بسیار بالا و روش تحقیقاتی متفاوت ذکر کرده اند (هریسبرگر و همکاران، ۲۰۲۲؛ کیم و همکاران، ۲۰۲۲). نتیجه عجیب‌تر در کار (بست و همکاران؛ ۲۰۱۰)، رقم خورد، جایی که حاملان متیونین در توانایی بازداری پاسخ، به افراد فاقد چندریختی برتری داشتند هرچند این تحقیق نیز از نظر تعداد نمونه، روش کار و کنترل جنسیت با تحقیق حاضر متفاوت بود، دلیل اصلی تفاوت در نتیجه، همان طور که خود این محققان اشاره کرده اند به این موضوع برمی گردد که، بازداری پاسخ حرکتی به وسیله چرخه های عقده های قاعده ای کنترل می‌شود و اختلال در بیان BDNF منجر به کاهش در فعالیت نیگرواستریاتال^۲ در عقده های قاعده ای می‌شود. این امر هرچند فعالیت گذرگاه های مستقیم عقده های قاعده ای را کاهش می دهد، باعث افزایش فعالیت گذرگاه های غیرمستقیم آن می شود. بنابراین این موضوع می‌تواند گذرگاه غالب در حاملان متیونین را تغییر دهد و به همین دلیل نتیجه حاصله چالش انگیز باشد (بست و همکاران، ۲۰۱۰).

به هر حال با توجه به این اصل که فرایند یادگیری با یادداری تکمیل نمی شود و فصل الخطاب آن امکان اجرای مهارت در شرایط متفاوت با تمرین است، هدف اصلی تحقیق حاضر بحث انتقال و بررسی وابستگی افراد به پردازش های اجزای بینایی - فضایی و اجزای کنترل حرکتی است. بنابراین بهتر است به جای تفصیل بحث یادداری، که به تنهایی به نظر ضروری نمی رسد و در تحقیقات قبلی محققین حاضر به صورت کامل بحث شده است، به ادامه کار و بحث انتقال بپردازیم.

هر دو گروه در آزمون انتقال بینایی - فضایی تا حدودی دچار ضعف شدند و این موضوع با توجه به این که تکلیف با دست غیر برتر انجام می شد طبیعی است. اما موضوع مهم تر در این مرحله عدم تفاوت بین دو گروه است ($F=1/861, p>0/05$). از بین رفتن این تفاوت نشان می دهد که گروه حامل متیونین در آزمون یادداری، هم زمان که در حال دادن آزمون بوده است، به نوعی یک بلوک دیگر نیز تمرین کرده است. بنابراین فراوانی تمرین دوباره جلب توجه می کند. به عبارت دیگر با ادامه تمرین گروه حامل متیونین از مراحل اول گذشته و خود را به گروه فاقد چند ریختی رسانده است. بنابراین با بررسی فرایند تمرین و آزمون های یادداری و انتقال بینایی - فضایی و فراز و نشیب های آن می توان به این نتیجه رسید که هرچند حاملان متیونین در مراحل شناختی و فرایندهای پردازشی بینایی- فضایی (کدگذاری بینایی - فضایی) مشکلاتی دارند ولی با ادامه تمرین این مشکلات از بین خواهد رفت و تفاوتی با افراد فاقد چندریختی نخواهند داشت. با این حال سوال بعدی این است که حاملان متیونین در این فرایند از مرحله دوم یادگیری هم می گذرند و در فرایندهای پردازش حرکتی نیز درگیر می شوند یا خیر؟

با بررسی محققین، حداقل در تحقیق حاضر پاسخ منفی است. با توجه به شکل ۳، درحالی که گروه فاقد چندریختی عملکرد بسیار خوبی در آزمون انتقال حرکتی دارد، گروه حامل متیونین پسرفت شدیدی داشته و زمان پاسخ آنها به حدود بلوک دوم مرحله اکتساب رسیده است و در نتیجه تفاوت قابل توجه و معناداری با گروه فاقد چندریختی دارد. به عبارت دیگر، به نظر می رسد وقتی نقطه شروع حرکت و در نتیجه اجزای بینایی - فضایی مرتبط با هدف، در قالب آزمون انتقال حرکتی دچار تغییرات هدفمند می شود، حاملان متیونین به شروع تمرین برمی گردند و گویا تمرین را تازه از سر گرفته اند، به گونه ای که میزان تمرین برای آنها به اندازه ای نیست که به صورت کامل از مرحله بینایی - فضایی عبور کرده و وارد مرحله پردازش حرکتی شوند. به عبارت دیگر، مطابق با مدل یکپارچگی (هیگوساکا و همکاران، ۱۹۹۹) تکیه بر بازنمایی بینایی - فضایی به طور تدریجی در طول تمرین می بایست کاهش می یافت و تولید الگوی توالی‌دار، با ادامه ی تمرین باید بیشتر به بازنمایی های حرکتی متکی می بود. اما توالی های استفاده شده در این تحقیقات هم از نظر توالی و هم اجزای حرکتی و شناختی ساده بوده است (هیگوساکا و همکاران، ۱۹۹۹؛ هیگوساکا و همکاران، ۲۰۰۲). به همین دلیل به نظر می رسد، هرچند گروه فاقد چندریختی، با وجود پیچیدگی تکلیف، با تمرین

¹. Beste, & et al

². Nigro-striatal

مناسب به راحتی از مراحل بازنمایی بینایی - فضایی گذشته اند، اما گروه حامل متیونین با توجه به مشکلات شناختی ذکر شده ای که دارند، وابستگی به فرایندهای شناختی آنها حتی با تمرین گسترده از بین نمی رود و نمی توانند به بازنمایی های حرکتی منتقل شوند. لذا این انتظار می رود که انتقال ارجح برای گروه حامل متیونین، حتی پس از تمرین مناسب، انتقال بینایی - فضایی باشد.

نتیجه گیری

به صورت کلی، نتایج تحقیق حاضر پیشنهاد می کند، احتمالاً حاملان متیونین فرایند پیشرفت در اجرای تکلیف را با سرعت کمتری پیش می گیرند و با ادامه تمرین تفاوت ها را جبران کرده و به وضعیت مطلوبی از اجرای تکلیف می رسند. آن ها به هرصورت از مراحل اولیه یادگیری حرکتی عبور می کنند ولی با توجه به ضعفی که در کارکردهای اجرایی، حافظه کاری، توجه و دیگر عوامل شناختی دارند، به نظر می رسد عبور از مرحله فرایندهای پردازشی بینایی - فضایی سخت و دیرتر اتفاق می افتد. در واقع آنها وابستگی زیادی به پردازش اجزای بینایی - فضایی دارند و به همین دلیل وارد فرایند پردازش کنترل حرکتی نمی شوند یا احتمالاً این امر دیرتر اتفاق می افتد. نقطه ی عطف تحقیق حاضر رسیدن به تمایز بین این مراحل است. با این حال از آنجا که اکثر مهارت ها در مراحل مختلف تمرین تحت تاثیر اثر سقف و کف امتیازی قرار می گیرند، پاسخ دقیق به سوالات مطرح شده در تحقیق حاضر نیازمند تحقیقات بیشتر است. بنابراین هرچند تعداد تحقیقات انجام شده بر روی افراد دچار چندریختی val⁶⁶met کم نیست، این تحقیق نشان داد که شایسته است با بررسی تکالیفی شبیه به تکلیف حاضر، که در آنها بتوان به وضوح مراحل مختلف یادگیری را تفکیک کرد، اثر چندریختی بر مراحل مختلف یادگیری حرکتی و نوع پردازش احتمالی، موشکافانه تر مورد آزمون و بررسی قرار گیرد.

با توجه به اثرپذیری ترشح و بیان BDNF از هورمون های جنسی، بررسی آن با در نظر گرفتن متغیرهای جنسیت و بلوغ (یا سن افراد) برای تحقیقات آینده پیشنهاد می شود. همچنین با توجه به اینکه متغیر اصلی تحقیق حاضر یادگیری است، استفاده از انواع مانیتورینگ مغزی نیز می تواند پیشنهاد خوبی برای تحقیقات آینده باشد، هرچند دسترسی به امکانات مذکور خود از محدودیت های احتمالی است. از جمله محدودیت های اصلی دیگری که تحقیقات مشابه با تحقیق حاضر با آن روبرو خواهد بود می توان به عدم دسترسی آسان به نمونه تحقیق، عدم امکان کنترل کامل شرکت کنندگان تحقیق، به ویژه از نظر روانی، و کیفیت و میزان خواب اشاره نمود.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر مستخرج از طرح تحقیقاتی به شماره ۹۵۱۱۲ بوده که دارای مجوز و تأییدیه اخلاقی از دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کاشان با کد ثبت (کد اخلاق) IR.KAUMS.REC.1396.17 است. نویسندگان از تمامی شرکت کنندگان در این پژوهش کمال تشکر و قدردانی را دارند.

References

- Albouy, G., Fogel, S., Pottiez, H., Nguyen, V. A., Ray, L., Lungu, O., Carrier, J., Robertson, E., & Doyon, J. (2013). Daytime sleep enhances consolidation of the spatial but not motoric representation of motor sequence memory. *PLoS One*, 8(1), e52805.
- Antal, A., Chaieb, L., Moliadze, V., Monte-Silva, K., Poreisz, C., Thirugnanasambandam, N., Nitsche, M. A., Shoukier, M., Ludwig, H., & Paulus, W. (2010). Brain-derived neurotrophic factor (BDNF) gene polymorphisms shape cortical plasticity in humans. *Brain stimulation*, 3(4), 230-237.
- Beste, C., Baune, B., Domschke, K., Falkenstein, M., & Konrad, C. (2010). Paradoxical association of the brain-derived-neurotrophic-factor val66met genotype with response inhibition. *Neuroscience*, 166(1), 178-184.
- Boutin, A., Fries, U., Panzer, S., Shea, C. H., & Blandin, Y. (2010). Role of action observation and action in sequence learning and coding. *Acta psychologica*, 135(2), 240-251.
- Boutin, A., Panzer, S., & Blandin, Y. (2013). Retrieval practice in motor learning. *Human movement science*, 32(6), 1201-1213.
- Carbone, D. L., & Handa, R. J. (2013). Sex and stress hormone influences on the expression and activity of brain-derived neurotrophic factor. *Neuroscience*, 239, 295-303.
- Cash, R., Udupa, K., Gunraj, C., Mazzella, F., Daskalakis, Z., Wong, A., Kennedy, J., & Chen, R. (2021). Influence of BDNF Val66Met polymorphism on excitatory-inhibitory balance and plasticity in human motor cortex. *Clinical Neurophysiology*, 132(11), 2827-2839.
- Dowlati, M. A., Shayan, A., & Zar, A. (2020). The Effect of Brain-Derived Neurotrophic Factor Single Nucleotide Polymorphism on Cognitive Factors. *Middle East Journal of Rehabilitation and Health Studies*, 7(3).
- Egan, M. F., Kojima, M., Callicott, J. H., Goldberg, T. E., Kolachana, B. S., Bertolino, A., Zaitsev, E., Gold, B., Goldman, D., & Dean, M. (2003). The BDNF val66met polymorphism affects activity-dependent secretion of BDNF and human memory and hippocampal function. *Cell*, 112(2), 257-269.
- Eker, Ç., Kitis, Ö., Ozan, E., Okur, H., Eker, O. D., Ersoy, M. A., Akdeniz, F., Vahip, S., Akarsu, N., & Gonul, A. S. (2005). BDNF Gene Val66met Polymorphism Associated Grey Matter Changes in Human Brain. *Klinik Psikofarmakoloji Bulteni*, 15(3).
- Freundlieb, N., Philipp, S., Schneider, S. A., Brüggemann, N., Klein, C., Gerloff, C., & Hummel, F. C. (2012). No association of the BDNF val66met polymorphism with implicit associative vocabulary and motor learning. *PLoS One*, 7(11), e48327.
- Gajewski, P. D., Hengstler, J. G., Golka, K., Falkenstein, M., & Beste, C. (2011). The Met-allele of the BDNF Val66Met polymorphism enhances task switching in elderly. *Neurobiology of aging*, 32(12), 2327. e2327-2327. e2319.
- Giordano, A., Clarelli, F., Cannizzaro, M., Mascia, E., Santoro, S., Sorosina, M., Ferrè, L., Leocani, L., & Esposito, F. (2022). BDNF Val66Met Polymorphism Is Associated With Motor Recovery After Rehabilitation in Progressive Multiple Sclerosis Patients. *Frontiers in neurology*, 13.
- Griffin, E. W., Bechara, R. G., Birch, A. M., & Kelly, Á. M. (2009). Exercise enhances hippocampal-dependent learning in the rat: evidence for a BDNF-related mechanism. *Hippocampus*, 19(10), 973-980.

- Griffin, É. W., Mullally, S., Foley, C., Warmington, S. A., O'Mara, S. M., & Kelly, Á. M. (2011). Aerobic exercise improves hippocampal function and increases BDNF in the serum of young adult males. *Physiology & behavior*, 104(5), 934-941.
- Hariri, A. R., Goldberg, T. E., Mattay, V. S., Kolachana, B. S., Callicott, J. H., Egan, M. F., & Weinberger, D. R. (2003). Brain-derived neurotrophic factor val66met polymorphism affects human memory-related hippocampal activity and predicts memory performance. *Journal of Neuroscience*, 23(17), 6690-6694.
- Harrisberger, F., Spalek, K., Smieskova, R., Schmidt, A., Coynel, D., Milnik, A., Fastenrath, M., Freytag, V., Gschwind, L., & Walter, A. (2014). The association of the BDNF Val66Met polymorphism and the hippocampal volumes in healthy humans: a joint meta-analysis of published and new data. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 42, 267-278.
- Hikosaka, O., Nakahara, H., Rand, M. K., Sakai, K., Lu, X., Nakamura, K., Miyachi, S., & Doya, K. (1999). Parallel neural networks for learning sequential procedures. *Trends in neurosciences*, 22(10), 464-471.
- Hikosaka, O., Nakamura, K., Sakai, K., & Nakahara, H. (2002). Central mechanisms of motor skill learning. *Current opinion in neurobiology*, 12(2), 217-222.
- Ho, B.-C., Milev, P., O'Leary, D. S., Librant, A., Andreasen, N. C., & Wassink, T. H. (2006). Cognitive and magnetic resonance imaging brain morphometric correlates of brain-derived neurotrophic factor Val66Met gene polymorphism in patients with schizophrenia and healthy volunteers. *Archives of general psychiatry*, 63(7), 731-740.
- Iranmanesh, H. (2022). The effect of sleep, type of instructions and motor sequence structure in retention and transfer of motor task: Motor memory consolidation in children Ferdowsi University of Mashhad.Iran. (In Persian)
- Iranmanesh, H., Kakhki, A. S., Taheri, H., & Shea, C. H. (2022). Motor memory consolidation in children: The role of awareness and sleep on offline general and sequence-specific learning. *Biomedical Human Kinetics*, 14(1), 83-94. (In Persian).
- Joundi, R. A., Lopez-Alonso, V., Lago, A., Brittain, J.-S., Fernandez-del-Olmo, M., Gomez-Garre, P., Mir, P., Jenkinson, N., Cheeran, B., & Brown, P. (2012). The effect of BDNF val66met polymorphism on visuomotor adaptation. *Experimental brain research*, 223(1), 43-50.
- Keele, S. W., Ivry, R., Mayr, U., Hazeltine, E., & Heuer, H. (2003). The cognitive and neural architecture of sequence representation. *Psychological review*, 110(2), 316.
- Kim, A., Fagan, A. M., Goate, A. M., Benzinger, T. L., Morris, J. C., & Head, D. (2015). Lack of an association of BDNF Val66Met polymorphism and plasma BDNF with hippocampal volume and memory. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 15(3), 625-643.
- Kovacs, A. J., Mühlbauer, T., & Shea, C. H. (2009). The coding and effector transfer of movement sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(2), 390.
- Masters, R., Poolton, J. M., Maxwell, J. P., & Raab, M. (2008). Implicit motor learning and complex decision making in time-constrained environments. *Journal of motor behavior*, 40(1), 71-79.
- McHughen, S. A., Pearson-Fuhrhop, K., Ngo, V. K., & Cramer, S. C. (2011). Intense training overcomes effects of the Val66Met BDNF polymorphism on short-term plasticity. *Experimental brain research*, 213(4), 415-422.

- McHughen, S. A., Rodriguez, P. F., Kleim, J. A., Kleim, E. D., Crespo, L. M., Procaccio, V., & Cramer, S. C. (2010). BDNF val66met polymorphism influences motor system function in the human brain. *Cerebral cortex*, 20(5), 1254-1262.
- Meier, B., & Cock, J. (2014). Offline consolidation in implicit sequence learning. *cortex*, 57, 156-166.
- Ou, L.-C., & Gean, P.-W. (2006). Regulation of amygdala-dependent learning by brain-derived neurotrophic factor is mediated by extracellular signal-regulated kinase and phosphatidylinositol-3-kinase. *Neuropsychopharmacology*, 31(2), 287-296.
- Panzer, S., Gruetzmacher, N., Fries, U., Krueger, M., & Shea, C. H. (2011). Age-related effects in interlimb practice on coding complex movement sequences. *Human movement science*, 30(3), 459-474.
- Panzer, S., Muehlbauer, T., Krueger, M., Buesch, D., Naundorf, F., & Shea, C. H. (2009). Short article: Effects of interlimb practice on coding and learning of movement sequences. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 62(7), 1265-1276.
- Park, J.-H., & Shea, C. H. (2005). Sequence learning: Response structure and effector transfer. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58(3), 387-419.
- Pezawas, L., Verchinski, B. A., Mattay, V. S., Callicott, J. H., Kolachana, B. S., Straub, R. E., Egan, M. F., Meyer-Lindenberg, A., & Weinberger, D. R. (2004). The brain-derived neurotrophic factor val66met polymorphism and variation in human cortical morphology. *Journal of Neuroscience*, 24(45), 10099-10102.
- Rybakowski, J., Borkowska, A., Skibinska, M., & Hauser, J. (2006). Illness-specific association of val66met BDNF polymorphism with performance on Wisconsin Card Sorting Test in bipolar mood disorder. *Molecular psychiatry*, 11(2), 122-124.
- Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., Takino, R., Sasaki, Y., & Pütz, B. (1998). Transition of brain activation from frontal to parietal areas in visuomotor sequence learning. *Journal of Neuroscience*, 18(5), 1827-1840.
- Shayan Nooshabadi, A., Dowlati, M. A., & Zar, A. (2020). The effect of brain-derived neurotrophic factor single nucleotide polymorphism on memory of university students. *Advances in Cognitive Science*, 22(1), 61-69. (In Persian)
- Von dem Bussche, M. (2007). The role of brain-derived neurotrophic factor in cortical motor learning. University of California, San Diego.
- Zhou, J., Zhang, H., Cohen, R. S., & Pandey, S. C. (2005). Effects of estrogen treatment on expression of brain-derived neurotrophic factor and cAMP response element-binding protein expression and phosphorylation in rat amygdaloid and hippocampal structures. *Neuroendocrinology*, 81(5), 294-310.