University of Tehran Press

Journal of
Sports and Motor Development and Learning

Online ISSN: 2676-4547

The Effect of Training with Different Rhythms of Music on Asymmetric Bimanual Coordination Movement Coupling

Ozra Narimisaei [1], Mohammadreza Doustan [2]✉, Masoumeh Hosseinzadeh[3]

1. Department of Motor Behavior and Sport Psychology, Faculty of Sport Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: o.narimisa90@gmail.com
2. Corresponding Author,Department of Motor Behavior and Sport Psychology, Faculty of Sport Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: mrdoostan@gmail.com
3. Department of Sports Physiology, Faculty of Sport Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: ehdahosseinzadeh1364@gmail.com

Article Info

Article type: Research

Article history:
Received:
23 June 2024
Received in revised form:
18 November 2024
Accepted:
6 January 2025
Published online :
22 June 2025

Keywords:
Bimanual Interference
Motor Coordination,
Musical Rhythm
Spatial Coupling,
Temporal Coupling.

ABSTRACT[

Introduction: The purpose of this research was to investigate the effect of training with different musical rhythms on bimanual movement coupling.

Methods: The participants were 48 students aged 15 to 17 years, randomly divided into three groups of 16 each. In the pre-test, they performed four bimanual tasks of varying difficulty, including circle-line drawing. During the training phase, only one task was practiced: drawing a circle with the right hand and a horizontal line with the left hand. Three training sessions were conducted, each consisting of 4 blocks of 10 trials lasting 30 seconds. During training, the first group listened to music with a tempo of 120 beats per minute (BPM), the second group listened to music at 90 BPM, and the third group trained without music (control group). Participants completed an immediate post-test, followed by retention and transfer tests 48 hours later. Statistical analysis was performed using mixed ANOVA and repeated measures ANOVA in SPSS at a significance level of 0.05.

Results: The results showed that training with music improved performance in the spatial pattern of the bimanual circle-line drawing task during the simple and moderate transfer and retention tests. However, in the difficult transfer test, training—especially with high-tempo music (120 BPM)—led to a decline in performance. Specifically, a decrease in the temporal pattern (i.e., number of circle-line cycles) was observed, indicating negative transfer.

Conclusion: Overall, after training, strong bimanual coupling did not occur, possibly due to the simplicity of the task. Temporal coupling was found to be stronger than spatial coupling. Moreover, higher music tempo was associated with greater bimanual coupling.

Cite this article: Narimisaei, O., Doustan, M., & Hosseinzadeh, M. (2025). The Effect of Training with Different Rhythms of Music on Asymmetric Bimanual Coordination Movement Coupling. *Journal of Sports and Motor Development and Learning*, 17 (2),101-121.
DOI: https://doi.org/10.22059/jsmdl.2025.378431.1786

Journal of Sports and Motor Development and Learning by University of Tehran Press is licensed under CC BY-NC 4.0| web site: https://jsmdl.ut.ac.ir/ | Email: jsmdl@ut.ac.ir.

© The Author(s). Publisher: University of Tehran Press.

University of Tehran Press

Journal of
Sports and Motor Development and Learning

Online ISSN: 2676-4547

Extended Abstract

Introduction

Bimanual coordination refers to the ability to coordinate movements between the left and right hands, which is essential for many everyday activities, occupational tasks, and sports skills. When activities require the simultaneous use of both hands, the movements must share the same spatial and temporal characteristics. However, performing two incompatible tasks at the same time can lead to interference at the behavioral level. Typically, when executing bimanual tasks, the hands are controlled as a coupled system rather than as separate entities to achieve high spatiotemporal coordination (Rodish et al., 2023). This interference is attributed to bimanual coupling, which reflects the central nervous system's limitations in controlling asymmetric bimanual movements (Bigio et al., 2021). Research has shown that continuous external rhythmic auditory stimuli can significantly impact motor coordination (Varlet et al., 2012). Additionally, practicing with music enhances performance on bimanual coordination tasks, particularly in terms of movement speed, compared to practicing in silence (Martinez et al., 2018; Hosseinzadeh et al., 2020). However, there have been few studies examining the effects of music on bimanual coupling. This study aims to investigate how training with music featuring two different rhythms influences bimanual coupling.

Methods

The present study was quasi-experimental in nature. The instruments utilized included the Bimanual Coordination Measurement Tool, the Labtop, the Edinburgh Handedness Assessment Questionnaire, a headset, and music with two different tempos. The participants were 48 students aged 15 to 17 years, all of whom were right-handed and participated voluntarily. They were divided into three groups of 16: Group 1 practiced with high-tempo music, Group 2 with low-tempo music, and Group 3 practiced without music. All participants completed four bimanual coordination tasks of varying difficulty in the pre-test. These tasks involved drawing a circle and a line using their right and left hands, respectively, in the following combinations: circle-horizontal line, circle-vertical line, horizontal line-circle, and vertical line-circle. During the training sessions, only the circle-horizontal line task was practiced. Training consisted of four blocks of 10 trials each, conducted over three consecutive days. Each trial lasted 30 seconds and was similar to the test. For the first and second groups, the music played had tempos of 120 and 90 beats per minute, respectively, while the third group practiced in silence. After the training, all participants took a post-test immediately and a retention test 48 hours later. Data analysis involved repeated measures analysis of variance, one-way ANOVA, and Bonferroni follow-up tests, conducted using SPSS version 22 software, with a significance level set at 0.05

.

Results

The findings indicated that training with music enhanced the learning of the asymmetric bimanual coordination task ($p < 0.05$). However, no significant difference was observed between the groups regarding the reduction of spatial error ($p > 0.05$). Notably, the high-tempo music group exhibited a greater improvement in movement speed ($p < 0.05$). Additionally, results from the second test (simple transfer) demonstrated that training with various musical rhythms effectively facilitates the transfer of a two-handed task with a different spatial pattern. Specifically, altering the spatial pattern of the left hand did not negatively impact the movement of the right hand. In medium and difficult transfer tests, where the bimanual pattern was completely shifted, there was an improvement in circle drawing, but there was no effect on the deviation of the line angle. When the dominant hand's pattern changed from horizontal to vertical, the first group showed improvement in the number of circles drawn, while all three groups experienced a decline in the number of lines completed.

Conclusion

In this study, the overall coupling was not very strong, as positive transfer was observed in all variables except for the number of lines. This may be attributed to the simplicity of the bimanual task used in the study. Temporal coupling was found to be stronger than spatial coupling. Additionally, music had a positive effect on both the transfer and retention stages of learning; notably, the higher the tempo of the music, the greater the learning rate. Overall, it is recommended that movement educators utilize high-tempo music to facilitate the learning of motor coordination tasks, particularly when focusing on temporal patterns. Furthermore, in movements where the temporal pattern differs between limbs rather than the spatial pattern, stronger coupling develops with practice.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines: This study protocol received approval from the ethics committee at Shahid Chamran University.(EE/1401.2.24.221951/scu.ac.ir).
Funding: This research did not receive any financial costs.
Authors' contribution: All authors contributed equally.
Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.
Acknowledgments: We would like to express our gratitude to all participants who helped us in this research.

رشد و یادگیری حرکتی ورزشی
شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۴۵۴۷
انتشارات دانشگاه تهران

تأثیر تمرین همراه با ریتم‌های مختلف موسیقی بر جفت‌شدگی حرکت هماهنگی دودستی نامتقارن

عذرا نریمیسایی[۱]، محمدرضا دوستان[۲]✉، معصومه حسین‌زاده[۳]

۱. گروه رفتار حرکتی و روانشناسی ورزشی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: mrdoostan@gmail.com

۲. نویسندهٔ مسؤول، گروه رفتار حرکتی و روانشناسی ورزشی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: o.narimisa90@gmail.com

۳. گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکدهٔ علوم ورزشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ehdahosseinzadeh1364@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۳

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:
تداخل دودستی،
جفت‌شدگی زمانی،
جفت‌شدگی فضایی، *ریتم موسیقی،*
هماهنگی حرکتی.

چکیده

مقدمه: هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تمرین همراه با ریتم‌های مختلف موسیقی بر جفت‌شدگی حرکت دودستی بود.

روش پژوهش: شرکت‌کنندگان در پژوهش ۴۸ دانش‌آموز (۱۵ تا ۱۷ ساله) بودند که به سه گروه ۱۶ نفره تقسیم شدند. آنها در پیش‌آزمون چهار حرکت دودستی با دشواری متفاوت، که شامل ترسیم دایره- خط بود، انجام دادند. در تمرین تنها تکلیفِ ترسیم دست راست دایره و دست چپ خط افقی انجام شد. سه جلسه تمرین (هر جلسه ۴ بلوک ۱۰ کوششی ۳۰ ثانیه‌ای) انجام شد. حین تمرین، گروه اول به موسیقی با ضرباهنگ ۱۲۰ ضربه در دقیقه و گروه دوم ۹۰ ضربه در دقیقه گوش می‌دادند. گروه سوم بدون موسیقی تمرین انجام کردند. آنها بلافاصله پس‌آزمون و ۴۸ ساعت بعد آزمون یادداری و انتقال را انجام دادند. برای تحلیل آماری، از آزمون‌های آنووای مرکب و تحلیل واریانس مکرر در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تمرین همراه با موسیقی در آزمون یادداری و انتقالِ ساده و متوسط سبب پیشرفت در الگوی فضایی تکلیف دودستی ترسیم دایره- خط شد، ولی در آزمون انتقالِ دشوار، تمرینات به‌ویژه در گروه اول (موسیقی با تمپوی بالا) موجب افت عملکرد شد. به‌طوری‌که در الگوی زمانی یا تعداد دایره-خط در آزمون انتقالِ دشوار، افت عملکرد مشاهده شد و انتقال منفی رخ داد.

نتیجه‌گیری: روی‌هم‌رفته پس از تمرین، شاید به‌دلیل سادگی حرکت، جفت‌شدگی دودستی قوی رخ نداد. همچنین جفت‌شدگیِ زمانی از جفت‌شدگی فضایی قوی‌تر بود و هرچه تمپوی موسیقی بالاتر بود، میزان جفت‌شدگی دودستی بیشتر بود.

استناد: نریمیسایی، عذرا؛ دوستان، محمدرضا؛ و حسین‌زاده، معصومه (۱۴۰۴). تأثیر تمرین همراه با ریتم‌های مختلف موسیقی بر جفت‌شدگی حرکت هماهنگی دودستی نامتقارن. *نشریهٔ رشد و یادگیری حرکتی ورزشی*، (۲) ۱۷، ۱۰۱-۱۲۱.

DOI: https://doi.org/10.22059/jsmdl.2025.378431.1786

این نشریهٔ علمی رایگان است و حق مالکیت فکری خود را بر اساس لایسنس کریتیو کامنز CC BY-NC 4.0 به نویسندگان واگذار کرده است. تارنما: https://jsmdl.ut.ac.ir | رایانامه: jsmdl@ut.ac.ir

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

هماهنگی دودستی یا توانایی استفاده از هر دو دست به‌صورت هماهنگ، یک مهارت حرکتی ضروری است که در گسترهٔ وسیعی از تکالیف نقش مهمی ایفا می‌کند (هونگ[۱] و همکاران، ۲۰۱۹). نگاتو[۲] و همکاران (۲۰۲۲) هماهنگی دودستی را هماهنگی مشاهده‌شده بین حرکات دست چپ و راست در انجام تکالیف حرکتی تعریف می‌کنند. از فعالیت‌های زندگی روزانه مانند بستن دکمهٔ پیراهن یا باز کردن یک شیشهٔ مربا گرفته تا انجام یک عمل جراحی، نوازندگی یا نگه‌داشتن جعبهٔ سنگین در یک محیط صنعتی، همهٔ این اقدامات به میزان مشخص از همکاری بین دست‌ها نیاز دارند.

با توجه به ویژگی‌های تکلیف، حرکات دودستی را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: حرکات دوطرفه با هدف مستقل[۳] (BMIG) و حرکات دوطرفه با هدف مشترک[۴] (BMCG). هر دسته را می‌توان بیشتر به دو دسته تقسیم کرد، هدف مستقل متقارن (برای نمونه دسترسی برای گرفتن دو شی مختلف) و هدف مستقل نامتقارن (مانند استفاده از یک دست برای کشیدن یک دایره و دیگری برای کشیدن یک خط) (وو[۵] و همکاران، ۲۰۲۴). به‌طور کلی، تکالیف متقارن آسان‌تر از تکالیف نامتقارن انجام می‌شوند و بنابراین به فعالیت قشری کمتری نیاز دارند (دوستان و همکاران، ۲۰۱۸). در تحقیقی بیان شده است دلیل اینکه کنترل و هماهنگی تکالیف دودستی نامتقارن، دشوار است این است که تکلیف حرکتی دو دست نیاز به مسیرهای مکانی و یا زمانی متفاوت دارد (وو و همکاران، ۲۰۲۴). طبق پژوهش کندی[۶] و همکاران (۲۰۱۷)، تداخل زمانی قابل مشاهده است که دست‌ها با دامنه‌ها، جهت‌های فضایی، فازهای نسبی متفاوت حرکت کرده یا نیروهای متفاوتی تولید می‌کنند. نشان داده شده است که بیشترین تداخل در تکالیف دودستی زمانی رخ می‌دهد که همزمان دامنه و سرعت حرکت در دو دست متفاوت باشد (دوستان و باقرنژاد، ۲۰۲۰). بیگیو[۷] و همکاران (۲۰۲۱) این تداخل را با الگوی ترسیم خط و دایره بررسی کردند و نشان دادند که این طرح‌ها وقتی با هم اجرا می‌شوند، روی یکدیگر تأثیر می‌گذارند و در نتیجه دو شکل «بیضوی» ایجاد می‌شود. این نشان می‌دهد برنامه‌های حرکتی دست با هم تعامل دارند. این تمایل، اثر جفت‌شدگی دودستی را نشان می‌دهد (گاربارینی[۸]، ۲۰۱۴). رودیش[۹] و همکاران (۲۰۲۳) در این زمینه بیان کرده‌اند هنگام انجام تکالیف دودستی، دست‌ها به‌طور معمول به‌صورت جداگانه کنترل نمی‌شوند، بلکه به‌عنوان یک سیستم جفت‌شده برای دستیابی به هماهنگی مکانی- زمانی بالا کنترل می‌شوند. کریتز و گورمن[۱۰] (۲۰۱۷) نیز دلیل این تداخل را جفت‌شدگی دودستی می‌دانند. این جفت‌شدن حرکات دو دست، منعکس‌کنندهٔ محدودیت‌های سیستم عصبی مرکزی در کنترل حرکات دودستی نامتقارن است (بیگیو[۱۱] و همکاران، ۲۰۲۱؛ کریتز و گورمن، ۲۰۱۷).

جفت‌شدگی دودستی، به‌عنوان عدم استقلال مکانی و زمانی دست‌ها در طول انجام تکلیف با دو دست تعریف می‌شود (کریتز و همکاران، ۲۰۱۷). آشنایی با چگونگی کاهش جفت‌شدگی و افزایش استقلال عملکردی دودستی می‌تواند در بهبود مهارت‌های دودستی پیچیده مانند ورزش‌ها، موسیقی و مشاغل ظریف مفید باشد (کیم[۱۲] و همکاران، ۲۰۲۱). کریتز و گورمن (۲۰۱۷) بیان کردند جفت‌شدگی دودستی یکی از عواملی که سرعت تکالیف هماهنگی دودستی را مختل می‌کند. طبق نظر کندی[۱۳] و همکاران (۲۰۱۶) در حرکات دودستی نامتقارن، اندامِ سریع‌تر، تأثیر زیادی بر دقت و تغییرپذیری اندام کندتر دارد. به‌طور کلی، جفت‌شدگی به‌عنوان دو یا چند فرایند که نوعی تعامل با یکدیگر دارند، تعریف می‌شود (کریتز و گورمن، ۲۰۱۷). با وجود این، نشان داده شده است که افراد می‌توانند به‌وسیلهٔ تمرین و توجه،

---

1. Hung
2. Negatu
3. bilateral movements with an independent goal
4. bilateral movements with a common goal
5. Wu
6. Kennedy
7. Biggio
8. Garbarini
9. Rudisch
10. Crites & Gorman
11. Biggio
12. Kim
13. Kennedy

همزمانی حرکات دودستی را تغییر دهند و جفت‌شدگی جدیدی ایجاد کنند. در پی این جفت‌شدگی جدید دودستی پس از تمرین، درگیری و فعالیت نواحی حرکتی مغز نیز کاهش می‌یابد (دوستان و باقرنژاد، ۲۰۱۸).

مطالعهٔ سازوکارهای عصبی- شناختی زیربنای جفت‌شدگی حرکات دودستی نقشی کلیدی در دانش زیربنایی این حرکات دارد (گاربارینی و پیا[1]، ۲۰۱۳). رویکرد علوم اعصاب فرض می‌کند که هماهنگی دودستی توسط یک ابرعصبی یا یک ناحیهٔ خیلی بزرگ کنترل می‌شود که به‌عنوان یک ساختار متحدکننده برای اجرای صحیح تکالیف دودستی عمل می‌کند (سوینن و گویجرز[2]، ۲۰۱۵). بر اساس این رویکرد، نواحی مختلفی از مغز که با هماهنگی دودستی مرتبطاند، از جمله قشر حرکتی اولیه[3]، قشر پیش‌حرکتی[4]، ناحیهٔ حرکتی تکمیلی[5] (وو و همکاران، ۲۰۲۴؛ لی[6] و همکارن، ۲۰۲۳). هنگام انجام تکالیف دودستی دایره‌ای و مداوم، ناحیهٔ حرکتی تکمیلی، ناحیهٔ سینگولیت، قشر پیش‌حرکتی پشتی و مخچهٔ حرکتی در مقایسه با تکالیف تک‌دستی فعال می‌شود (کارابانوف[7] و همکاران، ۲۰۲۳).

نظریهٔ برنامهٔ حرکتی عمومی بیان می‌کند که یک برنامهٔ مشترک برای کنترل هر دو دست وجود دارد (اشمیت[8]، ۱۹۷۵؛ به نقل از لی[9] و همکاران، ۲۰۲۳). این نظریه بیان می‌کند که وقتی دو دست تمایل دارند که در حرکات دودستی، الگوهایی را تولید کنند که از نظر فضایی و زمانی مشابه هم باشند، این فرضیه به‌وجود می‌آید که برای هر دست یک برنامهٔ حرکتی وجود دارد (لی و همکاران، ۲۰۲۳). نظریهٔ سامرز[10] (۲۰۰۲) بر اهمیت تعامل و هماهنگی بین دو نیمکرهٔ مغز تأکید دارد. این نظریه بر این نکته تأکید دارد که حرکات دو دست به‌صورت یک سیستم هماهنگ عمل می‌کنند و به‌طور طبیعی به یکدیگر جفت می‌شوند؛ به‌طوری‌که تغییر در حرکت یکی از دست‌ها بر حرکت دست دیگر تأثیر می‌گذارد. این جفت‌شدگی می‌تواند به‌صورت خودکار و بدون نیاز به توجه آگاهانه انجام شود. تمرین و یادگیری می‌تواند به بهبود جفت‌شدگی و هماهنگی بیشتری بین دو دست منجر شود. این جفت‌شدگی به هماهنگی و همزمانی حرکات کمک می‌کند و به‌واسطه شبکه‌های عصبی در مغز ایجاد می‌شود (سامرز و همکاران، ۲۰۰۸). با این حال، در نظریهٔ سیستم‌های پویا، پس از تمرین، جفت‌شدگی حرکات دودستی به‌عنوان یک پدیدهٔ خودسازمان و تطبیق‌پذیر در نظر گرفته می‌شود. این نظریه تأکید دارد که تمرین به تغییرات در پویایی‌های حرکت منجر می‌شود و این تغییرات سبب بهبود هماهنگی و انعطاف‌پذیری حرکات می‌شود. جفت‌شدگی حرکات دودستی در این دیدگاه به‌عنوان نتیجهٔ تعاملات پیچیدهٔ بین فرد، محیط و تکلیف در حین تمرین شکل می‌گیرد (دیویدز[11]، ۲۰۰۸؛ اشمیت، ۲۰۱۸).

برخی پژوهشگران توانایی انسان برای همگام‌سازی حرکات خود با محرک‌های بیرونی را به‌طور گسترده بررسی کرده‌اند. نشان داده شده است که محرک‌های شنیداری ریتمیک بیرونی مداوم و پیوسته به‌شدت بر هماهنگی حرکتی تأثیر می‌گذارد (وارلت[12] و همکاران، ۲۰۱۲). موسیقی نوعی صدای ساختاریافته با محتوای احساسی و شناختی است که در زمان و مکان جریان دارد (دوبروتا[13] و همکاران، ۲۰۱۹). جاناتا[14] و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که شرکت‌کنندگان طبق موسیقی نه‌تنها با انگشت دست ضربه می‌زنند، بلکه سایر اعضای بدن مثل پاها و سر را هم حرکت می‌دهند. مارتینز[15] و همکاران (۲۰۱۸) و حسین‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که تمرین همراه با موسیقی نسبت به تمرینِ تنها، سبب بهبود در اجرای تکلیف هماهنگی دودستی، به‌ویژه در سرعت انجام حرکت می‌شود. همچنین نشان داده شده است که آموزش موسیقی بیشتر راهبردهای زمان‌بندی رویداد را تقویت می‌کند (براون جانزن[16] و همکاران، ۲۰۱۴).

---

1. Pia
2. Swinnen & Gooijers
3. Primary motor cortex
4. Pre-motor cortex
5. Supplementary motor area
6. Li
7. Karabanov
8. Schmidt
9. Li
10. Summers
11. Davids
12. Varlet
13. Dobrota
14. Janata
15. Martinz
16. Braun Janzen

بنابر گفتهٔ فیورنته و کالابرو[۱] (۲۰۲۳) موسیقی بسیاری از فرایندهای ادراکی و حرکتی را توسعه می‌دهد، زیرا همزمان بر نواحی مختلف مغزی که در پردازش موسیقی و ریتم‌های حرکتی نقش دارند تأثیر می‌گذارد. به‌طور ویژه، نواحی حرکتی، از جمله قشر حرکتی اولیه، ناحیهٔ حرکتی تکمیلی، قشر پیش‌حرکتی و عقده‌های قاعده‌ای، در گوش دادن به موسیقی درگیرند (چن[۲] و همکاران، ۲۰۰۸). وو و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که این نواحی در جفت‌شدگی دو دست در حرکات دودستی نیز درگیرند؛ به‌نظر می‌رسد موسیقی از طریق جفت شدن فرایندهای حسی- حرکتی در مغز، بر حرکت تأثیر می‌گذارد (جاناتا و همکاران، ۲۰۱۲). براون جانزن و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که موسیقی می‌تواند کنترل حرکتی و کنترل سرعت تکلیف ترسیم دایره را بهبود دهد. حسین‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان دادند که موسیقی از نوع ساز گیتار براسکا با ضرباهنگ ۱۰۰ ضرب در دقیقه همراه با تمرین نسبت به تمرین تنها با ریتم مترونوم برای یادگیری الگوهای زمانی و فضایی هماهنگی دودستی مفیدتر است. با وجود این، ویستی[۳] (۲۰۱۰) نشان داد اگر تکلیف انجام‌شده برای هر دو دست مشابه باشد، شرکت‌کنندگان پس از دریافت آموزش موسیقی، تکلیف را با سرعت و دقت بیشتری انجام می‌دهند، ولی اگر تکلیف برای دو دست متفاوت باشد، بدتر عمل می‌کنند. بنابراین تمرین و موسیقی از جمله عواملی هستند که می‌تواند روی هماهنگی و جفت‌شدگی دودستی موثر باشد همچنین گوش دادن به موسیقی، ارتباط تنگاتنگی با فرایندهای عصبی درون بدن دارد و می‌تواند فعالیت قشر حرکتی را تعدیل کند (ساپچر[۴] و همکاران، ۲۰۱۳). در این زمینه، فیورنته و کالابرو (۲۰۲۳) بیان کردند که نواحی مشترکی در مغز در پی گوش دادن به موسیقی و هماهنگی حرکتی فعال می‌شوند. افزون بر این موسیقی می‌تواند سبب آزادسازی دوپامین، که ناقل عصبی مرتبط با لذت و پاداش در مغز که یادگیری حرکتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد شود، زیرا آزادسازی به ایجاد احساس خوشایند و افزایش انگیزه کمک می‌کند (سلیم‌پور و همکاران، ۲۰۱۱). همچنین روی نواحی حسی و نیز عاطفی و احساسی مانند آمیگدال و قشر پیش‌پیشانی تأثیر می‌گذارد. همچنین تأثیر موسیقی بر مغز شامل آزادسازی مواد شیمیایی، فعالیت در نواحی مختلف مغز، بهبود اتصالات عصبی و تأثیر بر هورمون‌ها است (فدورنکو[۵] و همکاران، ۲۰۱۲). اشلاگ[۶] (۲۰۰۱) نشان داد که تمرین همراه با موسیقی می‌تواند به تغییرات ساختاری در مغز، از جمله افزایش حجم مادهٔ خاکستری و بهبود اتصالات عصبی منجر شود.

وارلت[۷] و همکاران (۲۰۱۲) نشان داده‌اند که ویژگی محرک‌های شنیداری بیرونی بر هماهنگی حرکتی تأثیر می‌گذارد؛ به‌طور معمول این ویژگی‌های زمانی موسیقی، نبض، تمپو و الگوهای ریتمیک آن است که آنها را در این وضعیت قرار می‌دهد. ریتم شامل مدت زمان نسبی نُت‌ها (یا به‌طور دقیق‌تر، زمان نسبی فواصل بین شروع نُت‌ها) است (لویتین[۸] و همکاران، ۲۰۱۸). ریتم نبض اساسی است که شعر، موسیقی و رقص را در همهٔ فرهنگ‌ها زنده می‌کند (چین[۹] و همکاران، ۲۰۱۹). تمپو به سرعتِ موسیقی یا سرعتی که رویدادهای موسیقی در طول زمان رخ می‌دهند اشاره دارد (مک‌آلی[۱۰]، ۲۰۱۰). حرکت هماهنگ و ادراک ریتم هر دو لزوماً شامل سازوکارهای زمان‌بندی دقیقی هستند که مسلماً به مشترکات در پردازش عصبی منجر می‌شود (شولتز[۱۱] و همکاران، ۲۰۲۱). این مفهوم توسط یافته‌های تصویربرداری عصبی- شناختی پشتیبانی می‌شود. زمانی‌که افراد - نوازندگان یا غیرموسیقی‌دانان به ریتم‌های موسیقی گوش می‌دهند، نواحی حرکتی فعال هستند (شولتز و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین، ادراک ریتم، که احتمالاً با اتصال غنی بین سیستم‌های شنوایی و حرکتی مغز تسهیل می‌شود، به‌عنوان وسیله‌ای برای بهبود کارایی در یادگیری حرکتی توصیف شده است (تاوت[۱۲]، ۲۰۰۵). دایر[۱۳] و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که نوع ریتم و تمپوی موسیقی می‌تواند بر یادگیری تکلیف هماهنگی دودستی مؤثر باشد.

---

1. Fiorente & Calabro
2. Chen
3. Wisti
4. Stupacher
3. Fedorenko
6. Schlaug
7. Varlet
8. Levitin
9. Cheyne
10. McAuley
11. Schultz
12. Thaut
13. Dyer

با توجه به پژوهش‌های مختلف، به‌نظر می‌رسد هماهنگی بین دست‌ها برای افرادی مانند ورزشکاران یا نوازندگان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. از منظر علم اعصاب، ارزیابی تکالیف دودستی بینش‌هایی را در خصوص مهارت‌های حرکتی تخصصی، اختلالات حرکتی، ارتباط متقابل بین نواحی مغز، و عملکردهای شناختی و اجرایی بالاتر، مانند ادراک حرکتی، کنش حرکتی، و چندتکلیفی ارائه می‌دهد (ماس[1] و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به اهمیت مبحث جفت‌شدگی در حرکات دودستی و پژوهش‌های اندک در زمینهٔ تأثیر موسیقی بر این موضوع، پژوهش حاضر در نظر دارد، به بررسی تأثیر تمرین همراه با ریتم‌های مختلف موسیقی بر جفت‌شدگی حرکت هماهنگی دودستی نامتقارن بپردازد. با توجه به اینکه پژوهش‌های زیادی در زمینهٔ موسیقی و حرکت انجام شده است، هنوز مسائل دیگری مانند تأثیر موسیقی بر جفت‌شدگی حرکات هماهنگی دودستی ناشناخته مانده است. این پژوهش با رویکردی متفاوت در پی یافتن پاسخ به این پرسش‌هاست: آیا تمرین بر جفت‌شدگی دو دست در اجرای حرکت هماهنگی دودستی نامتقارن تأثیر دارد؟ جفت‌شدگی زمانی قوی‌تر است یا جفت‌شدگی فضایی؟ آیا تمرین همراه با موسیقی بر این جفت‌شدگی‌ها مؤثر است؟ آیا تأثیر نوع موسیقی متفاوت است؟ بنابراین در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر تمرین همراه با ریتم‌های مختلف موسیقی بر جفت‌شدگی حرکت دودستی می‌پردازیم.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع نیمه‌تجربی بود. شرکت‌کنندگان این پژوهش را دانش‌آموزان پسر و دختر با دامنهٔ سنی ۱۵ تا ۱۷ سال (۴۸ نفر) تشکیل دادند. ملاک‌های ورود شامل راست‌دست بودن، برخورداری از دید طبیعی، نداشتن تجربه در تکلیف حاضر و هرگونه فعالیت در حوزهٔ موسیقی، نداشتن هرگونه مشکل حرکتی یا جسمانی، عدم مصرف مواد مخدر و داشتن رضایت آگاهانه بود. ملاک‌های خروج از پژوهش نیز شامل بروز هرگونه بیماری، آسیب یا اختلال عملکرد در حین پژوهش، مشارکت نکردن یا تأخیر در ادامهٔ مشارکت در تمرینات و انصراف از ادامهٔ پژوهش بود.

ابزارهای اندازه‌گیری

– فرم اطلاعات فردی[2] در مورد سن، ملاک‌های ورود و مصدومیتی که ممکن است عملکرد فرد را در تکلیف ادراکی–حرکتی ضربه‌زنی تحت تأثیر قرار دهد، جزئیاتی را فراهم می‌کند.

– پرسشنامهٔ دست برتری ادینبورگ (اولدفیلد، ۱۹۷۱): این پرسشنامه، دارای اعتبار و پایایی قابل قبولی است. برای سنجش دست برتری از این پرسشنامه استفاده می‌شود. علی‌پور (۲۰۰۷) از طریق همبستگی تمام موارد آزمون با نمرهٔ کل، همسانی درونی آزمون را سنجید. دامنهٔ همبستگی بین ۹۸ تا ۸۳ درصد بود. همچنین آلفای کرونباخ پرسشنامه ۹۷ درصد و همبستگی دو نیمهٔ آن ۹۲ درصد بوده است.

– برای تعیین زمان اجرای آزمون از کرنومتر استفاده شد.

– مترونوم[3]دیجیتالی: جهت بازخورد شنوایی و تنظیم حرکت ریتمیک دست، از مترونوم استفاده شد. مترونوم ابزاری است که ضربات پی‌درپی و یکنواختی را تولید می‌کند، این ضربات، به آزمودنی‌ها در نگه‌داشتن ریتم حرکت کمک می‌کند. این ضربات با یکای ضرب در دقیقه [4] (BPM) سنجیده می‌شوند. در پژوهش حاضر از مترونوم دیجیتالی که بر روی موبایل نصب شده است، استفاده شد.

---

1. Maes
2. Demographic Information
3. Metronome
4. Bits per minutes

– دستگاه پخش‌کنندهٔ موسیقی (Mp3 Player).

– برای منتقل کردن صدای موسیقی به گوش آزمودنی‌ها از هدست استفاده شد.

– *ابزار سنجش هماهنگی دودستی*: این ابزار شامل دو بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است. این ابزار در تاریخ ۱۳۹۶/۰۷/۱۰ به شمارهٔ ثبت اختراع ۹۳۷۲۰ ثبت اختراع شده و در چندین پژوهش استفاده شده است (دوستان و همکاران، ۲۰۱۶؛ دوستان و باقرنژاد، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۰؛ حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۲۰). روایی این ابزار توسط متخصصان تأیید شد و پایایی آن در پژوهش دوستان (۱۳۹۵) با استفاده از روش آزمون– بازآزمون ۰/۹۲ به‌دست آمد. «سخت‌افزار» مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل دو قلم نوری G-Note 7100 با مارک مجهز به صفحهٔ حسگر با دقت 2000LPI، دو دستگاه لپ‌تاپ، مترونوم، کرونومتر و نرم‌افزار ویژه تکلیف دودستی بود. «نرم‌افزار هماهنگی دودستی» برای ترسیم دایرهٔ مورد استفاده در پژوهش حاضر توسط دوستان (۲۰۱۶)، مشابه کار تحقیقی ونگلو[1] و همکاران (۲۰۰۶) طراحی شد. برنامهٔ سنجش هماهنگی دودستی به‌گونه‌ای طراحی شده است که شرکت‌کننده ترسیم دایره با قلم نوری بر روی صفحهٔ حسگر را با یکی از دست‌ها انجام می‌دهد. به‌طوری‌که ویژگی و الگوی دوایر قبل از انجام توسط آزمونگر تعیین می‌شد. الگوی ترسیم‌شده روی صفحه به‌وسیلهٔ نرم‌افزارِ طراحی‌شده رقمی می‌شد و روی صفحهٔ نمایش لپ‌تاپ ثبت می‌شد. نرم‌افزار میزان خطای ترسیم را در قالب خطوط خارج از الگو تحت عنوان درصد خطوط خارج‌شده نسبت به کل خطوط ترسیم‌شده نمایش می‌داد. پس از هر کوشش، نرم‌افزار چند خروجی را به‌صورت عددی به ما می‌دهد. این اعداد شامل تعداد پیکسل‌های (نقاط) ترسیم‌شده، تعداد دایره‌های رسم‌شده، تعداد و درصد نقاط خارج محدوده (خارج از دایرهٔ بزرگ)، تعداد و نقاط داخل محدوده (داخل دایرهٔ کوچک)، تعداد نقاط قابل قبول (درصد صحیح روی الگوی موردنظر) است. در پژوهش کنونی، برای سنجش جفت‌شدگی زمانی، تعداد دوایر و تعداد خطوط و برای سنجش جفت‌شدگی فضایی برای دایره از درصد قابل قبول ترسیم الگو و برای خط از میانگین زوایای خطوط نسبت به خط الگو استفاده می‌شد.

– *فرم ثبت نتایج*: در این فرم، در هر کوششی که آزمودنی انجام می‌داد، خطای ترسیم دایره (تعداد دوایر و درصد قابل قبول اجرا) و خط (تعداد و میانگین زوایای خطوط) ثبت می‌شد.

روش اجرا

شرکت‌کنندگان پژوهش همگی به‌طور داوطلبانه و آزاد در پژوهش شرکت کردند. برای ارزیابی راست‌دست بودن آزمودنی‌ها از پرسشنامهٔ دست برتری ادینبورگ استفاده شد. آنها به‌طور تصادفی در سه گروه ۱۶ نفره (۸ پسر و ۸ دختر) قرار گرفتند. همهٔ شرکت‌کنندگان پیش از اجرای پیش‌آزمون توسط آزمونگر با موارد آزمون و با نحوهٔ ترسیم هریک از الگوها و هماهنگی با صدای مترونوم و موسیقی آشنایی پیدا می‌کردند.

ابتدا پیش‌آزمونِ تکلیف تمرینی (*الگوی ۱*: دست راست دایره در جهت ساعت‌گرد و دست چپ خط افقی) و پیش‌آزمون‌های انتقال (*الگوی ۲*: دست راست دایره در جهت ساعت‌گرد و دست چپ خط عمودی، الگوی ۳: دست راست خط افقی و دست چپ دایره در جهت پادساعت‌گرد، الگوی ۴: دست راست خط عمودی و دست چپ دایره در جهت پادساعت‌گرد) به‌عمل آمد (شکل ۱). شرکت‌کنندگان در هر کدام از آزمون‌ها بر اساس الگوی همان آزمون، به مدت۳۰ ثانیه بر اساس ریتم مترونوم به ترسیم الگوی دودستی می‌پرداختند. سپس تمرینات انجام شد. در جلسات تمرینی تنها الگوی ۱ تمرین شد. شرکت‌کنندگان در هر کوشش تمرینی، به مدت۳۰ ثانیه (در مدت زمانی

[1]. Sophie Vangheluwe

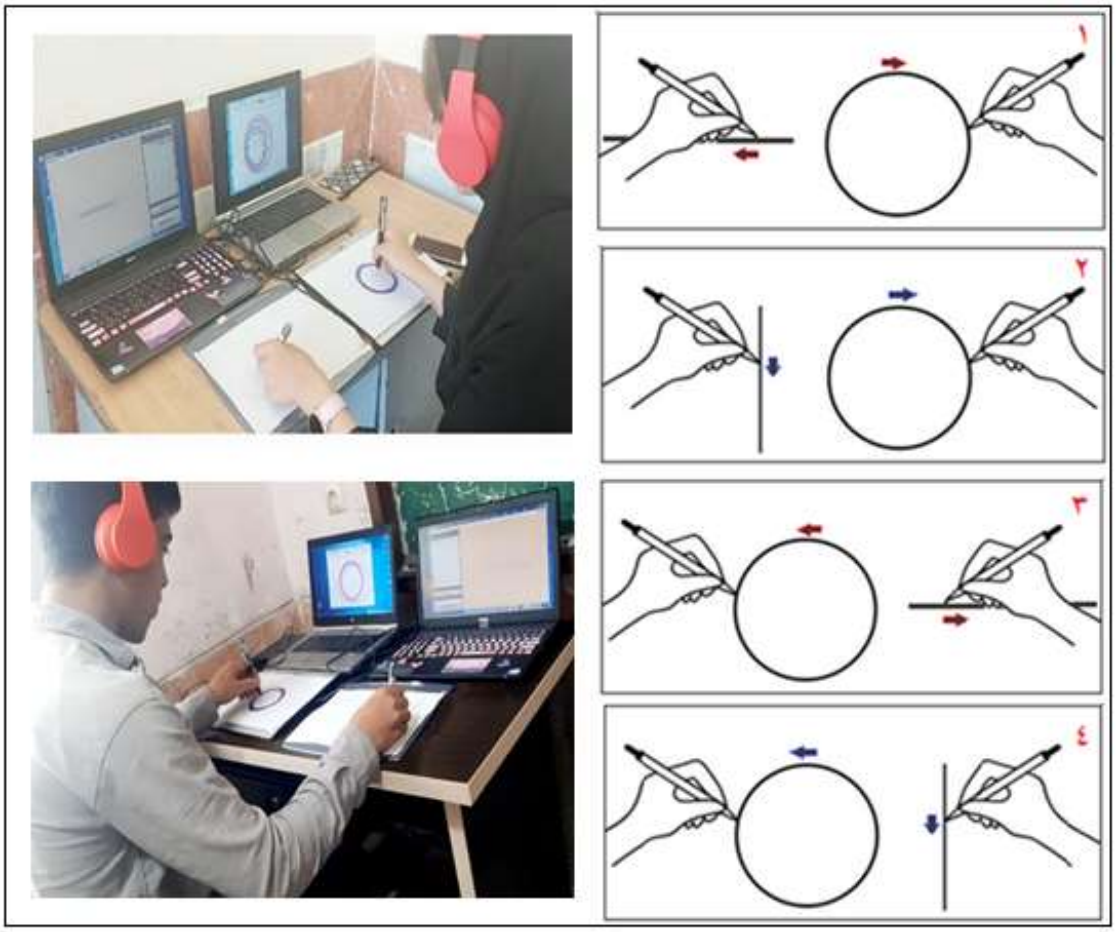
مشابه با آزمون‌ها) بر اساس ریتم مترونوم یا موسیقی به ترسیم الگوی تمرینی دودستی (الگوی ۱) می‌پرداختند. تمرینات در هر جلسه در ۴ بلوک ۱۰ کوششی در سه روز (یا جلسه) پیاپی انجام گرفت.

در دو گروه اول و دوم تمرینات همراه با گوش دادن به موسیقی انجام می‌شد. برای گروه اول با موسیقی با ضرباهنگ ۱۲۰ ضربه در دقیقه و گروه دوم با موسیقی با ضرباهنگ ۹۰ ضربه در دقیقه در هِدسِت پخش می‌شد. گروه سوم بدون استفاده از موسیقی تمرین را انجام داد. پس‌آزمون‌ها (در هر چهار الگو) پس از آخرین جلسهٔ تمرین، مشابه با پیش‌آزمون‌ها انجام شد. آزمون‌های یادداری (در هر چهار الگو) به فاصلهٔ ۴۸ ساعت پس از تمرین روز سوم انجام شد.

برای بررسی میزان یادگیری الگوی تمرین شده، آزمون الگوی ۱ که دقیقاً مشابه با الگوی تمرین شده بود ارزیابی شد. برای سنجش میزان جفت‌شدگی حرکت دودستی، سه نوع آزمون انتقال (تغییر در الگوهای حرکتی دست‌ها) در پیش‌آزمون، پس‌آزمون و یادداری ارزیابی شد. برای «*آزمون انتقال ساده*»، آزمون مربوط به الگوی ۲ (که در آن الگوی دست راست ترسیم دایره در جهت عقربه‌های ساعت بود و نسبت به الگوی تمرین‌شده بدون تغییر ماند، ولی جهت تکلیف دست چپ تغییر کرد، به‌طوری‌که ترسیم خط با دست چپ به‌صورت عمودی بود) ارزیابی شد. در «*آزمون انتقال متوسط*»، آزمون مربوط به الگوی ۳ (که در آن الگوی دو دست نسبت به الگوی تمرینی بین دو دست جابجا شد، به‌طوری‌که دست راست به ترسیم خط در جهت افقی و دست چپ به ترسیم دایره در جهت خلاف عقربه‌های ساعت پرداخت) ارزیابی شد. برای «آزمون انتقال دشوار»، آزمون مربوط به الگوی ۴ (که در آن هم الگوی دو دست معاوضه شد و هم جهت حرکت دست‌ها تغییر کرد، به‌طوری‌که دست راست ترسیم خط عمودی و دست چپ ترسیم دایره در جهت خلاف عقربه‌های ساعت را انجام می‌داد. در شکل ۱، چهار الگوی دودستی آزمون‌های به‌عمل‌آمده نشان داده شده است.

نرم‌افزار بررسی هماهنگی دودستی، خطای ترسیم دایره را در قالب درصد خطوط خروجی نسبت به کل خطوط ترسیم‌شده در الگوی دایره و تعداد دوایر و نیز میانگین زاویهٔ خط نسبت به خطِ الگو و نیز تعداد خطوط را به ما می‌داد.

برای بررسی میزان جفت‌شدگی دودستی (وابستگی حرکت دو دست در پی انجام تمرین تکلیف نامتقارن)، میزان خطای الگوهای دو دست در تکالیفِ آزمون‌های انتقال بررسی شد. هرچه میزان خطاهای دو دست در آزمون‌های انتقال پس از انجام جلسات تمرینی افزایش بیشتری داشته باشد، نشان‌دهندهٔ جفت‌شدگی قوی‌تر دست‌ها در پی تمرین دودستی بوده است. در پژوهش حاضر جفت‌شدگی زمانی و فضایی ارزیابی شد. برای بررسی جفت‌شدگی فضایی، در آزمون انتقال جهت حرکت دستی که تکلیف ترسیم خط را انجام داد، از افقی (شرایط تمرینی) به عمودی تغییر می‌کرد. اگر میزان خطای فضایی تکلیف ترسیم دایره نسبت به پیش‌آزمون افزایش یابد، نشان‌دهندهٔ جفت‌شدگی فضایی دو دست در تکلیف دودستی نامتقارن است. ضمن اینکه تعداد دوایر و خطوط (به‌عنوان خطاهای زمانی) در تکلیف ترسیم خط نیز بررسی شد (شکل ۱).



شکل ۱. تصویری از الگوی ترسیم حرکت دودستی در چهار آزمون مختلف. **سمت راست**) آزمون ۱: ترسیم دایره با دست برتر- خط افقی با دست غیربرتر (الگوی تمرینی)، آزمون ۲: ترسیم دایره با دست برتر- خط عمودی با دست غیربرتر (انتقال ساده)، آزمون ۳: ترسیم دایره با دست غیربرتر- خط افقی با دست برتر (انتقال متوسط) و آزمون ۴: ترسیم دایره با دست غیربرتر- خط عمودی با دست برتر (انتقال دشوار). ***سمت چپ***) تصاویری از شرکت‌کنندگان هنگام انجام تکالیف حرکتی دودستی.

روش‌های آماری

برای بررسی برابری ماتریس کوواریانس، از آزمون باکس، برابری واریانس‌های خطا از آزمون لون و برای بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو- ویلک استفاده شد؛ با توجه به سطوح معناداری به‌دست‌آمده در همهٔ آزمون‌ها که بالاتر از ۰/۰۵ بود، برای تحلیل استنباطی فرضیه‌ها، از آزمون‌های آنووای مرکب، و آزمون‌های پیگردی بنفرونی استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اس. پی. اس. اس. نسخهٔ ۲۲ انجام گرفت.

یافته‌های پژوهش

با توجه به اینکه پیش‌فرض استفاده از آزمون تحلیل واریانس مرکب، برقرار بود. برای تحلیل استنباطی، از آزمون آنووای مرکب استفاده شد که نتایج آن در جداول زیر آمده است. یافته‌ها در دو بخش الگوها یا خطاهای فضایی و خطاهای زمانی ارائه شد.

خطاهای فضایی

جدول ۱. نتایج آزمون آنووای مرکب برای بررسی تفاوت درصد قابل قبول ترسیم دایره و زاویهٔ خط هنگام ترسیم دایره در چهار آزمون مختلف در سه گروه

آزمون	الگو	منبع تغییرات	مجموع مجذورات	df	میانگین مجذورات	F	sig	η^2
آزمون اول (شرایط تمرینی)	دایره	آزمون	۲۳۱۶/۰۲۲	۲	۱۱۵۸/۰۱۱	۸/۹۳۸	*۰/۰۰۱	۰/۱۶۶
		آزمون* گروه	۶۴۲/۳۹۲	۴	۱۶۰/۶۹۸	۱/۲۴۰	۰/۳۰۰	۰/۰۵۲
		خطا	۱۱۶۵۹/۹۲۶	۹۰	۱۲۹/۵۵۵			
	خط	آزمون	۱۷۷۶/۳۴۷	۱/۷۱۶	۱۰۳۵/۰۸۰	۱۳/۵۶۰	*۰/۰۰۱	۰/۲۳۲
		آزمون* گروه	۱۹۹/۱۹۴	۳/۴۳۲	۵۸/۰۳۵	۰/۷۶۰	۰/۵۳۶	۰/۰۳۳
		خطا	۵۸۹۵/۱۲۵	۷۷/۲۲۷				
آزمون دوم (انتقال ساده)	دایره	آزمون	۳۸۶۰/۵۸۶	۲	۱۹۳۰/۲۹۳	۸/۹۳۸	۰/۰۰۱	۰/۲۷۸
		آزمون* گروه	۵۷۸/۷۵۱	۴	۱۴۴/۶۸۸	۱/۳۰۰	۰/۲۷۶	۰/۰۵۵
		خطا	۱۰۰۱۷/۴۴۹	۹۰	۱۱۱/۳۰۵			
	خط	آزمون	۵۵۱/۶۲۵	۲	۲۷۵/۸۱۲	۳/۷۶۸	*۰/۰۲۷	۰/۰۷۷
		آزمون* گروه	۹۴/۷۰۸	۴	۲۳/۶۷۷	۰/۳۲۳	۰/۸۶۲	۰/۰۱۴
		خطا	۶۵۸۸/۳۳۳	۹۰	۷۳/۲۰۴			
آزمون سوم (انتقال متوسط)	دایره	آزمون	۱۸۲۴/۰۸۸	۱/۶۶۴	۱۰۹۶/۰۵۰	۱۶/۲۴۴	*۰/۰۰۱	۰/۲۶۵
		آزمون* گروه	۳۷۲/۲۲۱	۳/۳۲۸	۱۱۱/۸۲۹	۱/۶۵۷	۰/۱۷۹	۰/۰۶۹
		خطا	۵۰۵۳/۱۸۴	۷۴/۸۹۱	۶۷/۴۷۴			
	خط	آزمون	۳۹۱/۶۸۱	۱/۷۱۹	۲۲۷/۹۰۹	۱/۹۱۵	۰/۱۶۰	۰/۰۴۱
		آزمون* گروه	۵۷۶/۵۲۸	۳/۴۳۷	۱۶۷/۷۳۴	۱/۴۱۰	۰/۲۴۳	۰/۰۵۹
		خطا	۹۲۰۱/۷۹۲	۷۷/۳۳۶	۱۱۸/۹۸۴			
آزمون چهارم (انتقال دشوار)	دایره	آزمون	۷۵۰/۷۲۷	۱/۷۱۲	۱۰۹۶/۰۵۰	۳/۳۶۸	*۰/۰۴۷	۰/۰۷۰
		آزمون* گروه	۹۵۵/۰۳۵	۳/۴۲۳	۱۱۱/۸۲۹	۲/۱۴۲	۰/۰۹۳	۰/۰۸۷
		خطا	۱۰۰۲۹/۸۶۱	۷۷/۰۲۰	۱۳۰/۲۲۴			
	خط	آزمون	۲۷۴/۶۸۱	۲	۱۳۷/۳۴۰	۱/۸۱۱	۰/۱۶۹	۰/۰۳۹
		آزمون* گروه	۱۲۹/۷۳۶	۴	۳۲/۴۳۴	۰/۴۲۸	۰/۷۸۸	۰/۰۱۹
		خطا	۶۸۲۳/۵۸۳	۹۰	۷۵/۸۱۸			

همان‌طورکه در جدول ۱ مشاهده می‌شود، یافته‌های مربوط به آزمون آنووای مرکب نشان داد که برای آزمون اول یا همان الگوی تمرین‌شده (ترسیم دایره با دست برتر– خط افقی با دست غیربرتر) و همچنین برای آزمون دوم (انتقال ساده: ترسیم دایره با دست برتر– خط عمودی با دست غیربرتر)، اثر تمرین بر درصد قابل قبول ترسیم دایره معنادار است. بدین‌معنا که تمرین در مجموعهٔ سه گروه بر درصد قابل قبول ترسیم دایره در پس‌آزمون و یادداری تأثیر داشته است، به‌طوری‌که برای آزمون اول، میانگین درصد قابل قبول ترسیم دایره در پیش‌آزمون، پس‌آزمون و یادداری به‌ترتیب ۲۹/۱۲۷، ۳۶/۳۲۴ و ۳۸/۵۱۷ و در آزمون دوم (انتقال ساده) به‌ترتیب ۲۷/۷۱۵، ۳۶/۸۷۰ و ۳۹/۸۹۴ به‌دست آمد. با این وجود در این دو آزمون اثر آزمون در گروه معنادار نشد. همچنین یافته‌های مربوط به انحراف زاویهٔ ترسیم خط نشان داد که در دو آزمون اول و دوم اثر تمرین بر کاهش زاویهٔ خط معنادار شد، بدین‌معنا که تمرین در مجموعهٔ سه گروه بر انحراف زاویهٔ ترسیم خط در پس‌آزمون و یادداری تأثیر داشته است. به‌طوری‌که میانگین انحراف زاویهٔ خط در پیش‌آزمون، پس‌آزمون و یادداری برای آزمون اول به‌ترتیب ۱۶/۹۴، ۸/۴۶ و ۱۱/۴۴ و برای آزمون انتقال ساده به‌ترتیب ۱۵/۸۵، ۱۱/۱۰ و ۱۲/۹۲ به‌دست آمد. با وجود این اثر آزمون در گروه معنادار نشد.

برای آزمون سوم (انتقال متوسط: ترسیم دایره با دست غیربرتر– خط افقی با دست برتر) و نیز آزمون چهارم (انتقال دشوار: ترسیم دایره با دست غیربرتر– خط عمودی با دست برتر)، نتایج نشان داد که اثر تمرین بر درصد قابل قبول ترسیم دایره معنادار است. بدین‌معنا که در این دو آزمون، تمرین در مجموعهٔ سه گروه بر درصد قابل قبول ترسیم دایره در پس‌آزمون و یادداری تأثیر داشته است. به‌طوری‌که میانگین درصد قابل قبول ترسیم دایره در پیش‌آزمون، پس‌آزمون و یادداری برای آزمون سوم به‌ترتیب ۲۵/۰۷۶، ۳۰/۴۴۲ و ۳۳/۷۱۰ و برای آزمون چهارم (انتقال دشوار) به‌ترتیب ۲۵/۹۰۷، ۳۰/۸۷۰ و ۳۰/۶۲۱ به‌دست آمد. با وجود این در آزمون انتقال دشوار، آزمون‌های پیگردی نشان داد که بین گروه اول با دو گروه دیگر تفاوت وجود دارد (به‌ترتیب P =۰/۰۳۳ و P=۰/۰۱۴). به‌طوری‌که پیشرفت در پس‌آزمون و یادداری در گروه اول (تمرین همراه با موسیقی با تمپوی بالا) از دو گروه دیگر بیشتر بود. ولی در هردو آزمونِ سوم و چهارم (انتقالِ متوسط و دشوار) اثر آزمون در گروه معنادار نشد. با وجود این، یافته‌های مربوط به انحراف زاویه ترسیم خط نشان داد که در هردو آزمونِ انتقال، اثر تمرین بر کاهش زاویه خط معنادار نشد. میانگین انحراف زاویه خط در پیش‌آزمون، پس‌آزمون و یادداری در آزمون سوم به‌ترتیب ۱۵/۵۸، ۱۱/۷۵ و ۱۲/۵۶ و در آزمون چهارم به‌ترتیب ۱۳/۶۷، ۱۰/۸۱ و ۱۰/۶۷ به‌دست آمد. همچنین اثر آزمون در گروه معنادار نشد.

خطاهای زمانی

جدول ۲. نتایج آزمون آنووای مرکب برای بررسی تفاوت تعداد ترسیم دایره و تعداد خط هنگام ترسیم دایره در چهار آزمون مختلف در سه گروه

آزمون	الگو	منبع تغییرات	مجموع مجذورات	df	میانگین مجذورات	F	sig	η^2
آزمون اول (شرایط تمرینی)	دایره	آزمون	۱۷۱۸/۸۴۷	۱/۷۴۵	۹۸۵/۲۲۲	۸/۵۲۶	*۰/۰۰۱	۰/۱۵۹
		آزمون* گروه	۶۲۴/۳۱۹	۳/۴۸۹	۱۷۸/۰۶۶	۱/۵۴۱	۰/۲۰۵	۰/۰۶۴
		خطا	۹۰۷۲/۵۰۰	۷۸/۵۰۸	۱۱۵/۵۶۱			
	خط	آزمون	۳۵۳۵/۰۹۷	۲	۱۷۴۷/۵۴۹	۳۸/۵۷۲	*۰/۰۰۱	۰/۲۳۲
		آزمون* گروه	۴۴۵/۳۶۱	۴	۱۱۱/۳۴۰	۲/۴۳۰	۰/۰۵۳	۰/۰۹۷
		خطا	۴۱۲۴/۲۰۸	۹۰				
آزمون دوم (انتقال ساده)	دایره	آزمون	۲۱۸۹/۵۹۷	۲	۱۰۹۴/۷۹۹	۹/۰۳۷	*۰/۰۰۱	۰/۱۶۷
		آزمون* گروه	۸۸۴/۷۷۸	۴	۲۲۱/۱۹۴	۰/۱۳۱	۰/۱۳۱	۰/۰۷۵
		خطا	۱۰۹۰۳/۶۲۵	۹۰	۱۲۱/۱۵۱			
	خط	آزمون	۲۴۰۳/۵۹۷	۱/۵۱۹	۱۵۸۲/۴۳۹	۱۸/۵۹۸	*۰/۰۰۱	۰/۲۹۲
		آزمون* گروه	۹۹۷/۹۰۳	۳/۰۳۸	۳۲۸/۴۹۱	۳/۸۶۱	*۰/۰۱۳	۰/۱۴۶
		خطا	۵۸۱۵/۸۳۳	۶۸/۳۵۱				
آزمون سوم (انتقال متوسط)	دایره	آزمون	۱۶۴۰/۹۳۱	۱/۶۸۱	۹۷۶/۱۱۶	۹/۰۷۰	*۰/۰۰۱	۰/۱۶۸
		آزمون* گروه	۶۹۶/۸۶۱	۳/۳۶۲	۲۰۷/۲۶۶	۱/۹۲۶	۰/۱۲۶	۰/۰۷۹
		خطا	۸۱۴۱/۵۴۲	۷۵/۶۴۹	۱۰۷/۶۲۳			
	خط	آزمون	۶۲۰/۹۳۱	۲	۳۱۰/۴۶۵	۵/۴۱۵	*۰/۰۰۶	۰/۱۰۷
		آزمون* گروه	۱۱۱۸/۶۱۱	۴	۲۷۹/۶۵۳	۴/۸۷۸	*۰/۰۰۲	۰/۱۷۸
		خطا	۵۱۵۹/۷۹۲	۹۰				
آزمون چهارم (انتقال دشوار)	دایره	آزمون	۲۸۶۱/۰۵۶	۲	۱۴۳۰/۵۲۸	۲۴/۲۲۷	*۰/۰۰۱	۰/۳۵۰
		آزمون* گروه	۷۳۷/۳۱۹	۴	۱۸۴/۳۳۰	۳/۱۲۲	*۰/۰۱۹	۰/۱۲۲
		خطا	۵۳۱۴/۲۹۲	۹۰	۵۹/۰۴۸			
	خط	آزمون	۲۸۶/۷۲۲	۲	۱۴۳/۳۶۱	۴/۱۵۱	*۰/۰۱۹	۰/۰۸۴
		آزمون* گروه	۴۹۶/۰۶۹	۴	۱۲۴/۰۱۷	۵/۶۰۶	*۰/۰۰۹	۰/۱۳۸
		خطا	۳۱۰۸/۵۴۲	۹۰	۳۴/۵۳۹			

در مورد خطاهای زمانی، همان‌طورکه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، یافته‌های مربوط به آزمون آنووای مرکب نشان داد که برای هر چهار آزمون اثر تمرین بر تعداد دایره معنادار است. بدین‌معنا که تمرین در مجموعهٔ سه گروه بر تعداد دایره در پس‌آزمون و یادداری تأثیر داشته است. به‌طوری‌که میانگین تعداد دایره در پیش‌آزمون، پس‌آزمون و یادداری به‌ترتیب در آزمون اول ۲۶/۱۹، ۳۱/۸۷ و ۳۴/۴۶، آزمون دوم ۲۳/۹۴، ۳۱/۱۳ و ۳۲/۹۸، آزمون سوم ۲۶/۳۹۵، ۳۱/۱۰۴ و ۳۰/۴۱۶ و آزمون چهارم ۲۳/۷۷، ۳۱/۸۱ و ۳۴/۱۹ به‌دست آمد. با این وجود اثر آزمون در گروه تنها در آزمون چهارم معنادار شد. آزمون‌های پیگردی نشان داد که بین گروه اول با دوم (P=۰/۰۰۱) و اول با سوم (P=۰/۰۰۱) تفاوت وجود دارد، به‌طوری‌که گروه اول (تمرین همراه با موسیقی با ریتم بالا) بهتر عمل کرده است.

همچنین یافته‌های مربوط به انحراف زاویهٔ ترسیم خط نشان داد که در هر چهار آزمون، اثر تمرین بر تعداد خطوط معنادار است. بدین معنا که تمرین در مجموعهٔ سه گروه بر تعداد خط در پس‌آزمون و یادداری تأثیر داشته است. با وجود این، اثر آزمون در گروه در آزمون‌های دوم تا چهارم معنادار شد، بدین‌معنا که بین اثر تمرینات بر میانگین تعداد خط در سه گروه مختلف تفاوت معناداری وجود دارد. در آزمون دوم (انتقال ساده)، گروه اول (تمرین همراه با موسیقی با ریتم بالا) بهتر از گروه دوم و گروه دوم بهتر از گروه سوم عمل کرده است. برای آزمون سوم (انتقال متوسط)، آزمون‌های پیگردی نشان داد که بین گروه اول با دوم (P=۰/۰۱۰) تفاوت وجود دارد. نکتهٔ شایان توجه اینکه که گروه سوم (تمرین بدون موسیقی) تعداد خطوط در پس‌آزمون و یادداری حتی از پیش‌آزمون کمتر شده است.

در آزمون چهارم (انتقال دشوار)، تعداد خط در پس‌آزمون با یادداری تفاوت داشت (P=۰/۰۲۲). به‌طوری که میانگین در پیش‌آزمون، پس‌آزمون و یادداری به‌ترتیب ۲۴/۰۰، ۲۲/۹۵۸ و ۲۶/۳۳۳ به‌دست آمد. نکتهٔ شایان توجه نسبت به سایر آزمون‌ها این است که در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون گروه‌ها افت کرده‌اند و تعداد خطوط ترسیمی کاهش یافته است. هرچند در یادداری دوباره افزایش یافته است. همچنین اثر آزمون در گروه معنادار شد، بدین‌معنا که بین اثر تمرینات سه گروه مختلف بر تعداد خط تفاوت معناداری وجود دارد. آزمون‌های پیگردی نشان داد که بین گروه اول با سوم (P=۰/۰۲۴) و دوم با سوم (P=۰/۰۲۵) تفاوت وجود دارد. به‌طوری‌که گروه اول (تمرین همراه با موسیقی با ریتم بالا) و گروه سوم (تمرین بدون موسیقی) در پس‌آزمون افت عملکرد داشته‌اند و گروه دوم (تمرین همراه با موسیقی با ریتم پایین) نیز پیشرفت نداشته، ولی در یادداری گروه اول پیشرفت داشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر در پی پاسخگویی به این پرسش بودیم که آیا تمرین حرکت دودستی همراه با گوش دادن به دو نوع موسیقی با تمپوی متفاوت، سبب یادگیری حرکتی و نیز جفت‌شدگی بین دست‌ها و در نتیجه کاهش استقلال عملکردی دست‌ها می‌شود یا خیر. هنگامی‌که انسان همزمان هر دو دست استفاده می‌کند، تأثیرات جفت‌شدگی قوی ایجاد می‌شود و هیچ‌یک از دو دست قادر به انجام اقدامات مستقل نیستند. پیشنهاد شده است که چنین محدودیت‌های حرکتی به‌جای اجرای حرکت به بازنمایی عمل مرتبط‌اند. ازاین‌رو تکالیف دودستی می‌تواند یک ابزار تجربی ایده‌آل برای بررسی بازنمایی‌های حرکتی درونی در شرایط عصب‌شناختی که در آن حرکت یک دست مختل است، نشان دهد (گاربارینی و پیا[1]، ۲۰۱۳). جفت‌شدگی دودستی به‌طور معمول از طریق الگوی ترسیم خط و دایره بررسی می‌شود، این

[1]. Gabarini & Pia

طرح‌ها وقتی با هم اجرا شوند روی یکدیگر تأثیر منفی می‌گذارند، هنگامی‌که انسان همزمان حرکات مختلفی را با هر دست انجام می‌دهد، حرکت هر دست در حرکت دست مقابل اختلال ایجاد می‌کند (بیگیو و همکاران، ۲۰۲۱).

یافته‌ها نشان داد که تمرین همراه با موسیقی سبب پیشرفت در یادگیری تکلیف هماهنگی دودستی نامتقارن می‌شود؛ بین گروه‌ها از نظر کاهش خطای فضایی تفاوت شایان توجهی مشاهده نشد؛ با وجود این، در سرعت انجام حرکت و کاهش خطای زمانی بین گروه‌های مختلف، تفاوت مشاهده شد. به‌طوری‌که در گروه موسیقی با تمپوی بالا پیشرفت بیشتری حاصل شد. در آزمون مربوط به یادگیری تکلیف تمرین‌شده، تمرین همراه با موسیقی سبب پیشرفت ترسیم دایره در مرحلهٔ پس‌آزمون و یادداری شد؛ همچنین سبب کاهش زاویهٔ خط در مراحل پس‌آزمون و یادداری شد. نتایج پژوهش حاضر در مورد بهبود زمان‌بندی حرکت در پی تمرین همراه با موسیقی با تمپوی بالا، با نتایج برخی پژوهش‌ها که نشان دادند تمرین و موسیقی می‌تواند روی هماهنگی و جفت‌شدگی دودستی مؤثر باشد (مانند استاپچر[1] و همکاران، ۲۰۱۳)، همراستاست. فیورنته و کالابرو (۲۰۲۳) نیز بیان کردند که نواحی مشترکی در مغز در پی گوش دادن به موسیقی و هماهنگی حرکتی فعال می‌شوند. برخی پژوهش‌ها نشان داده است که محرک‌های موسیقی با زمان‌های مختلف، تغییرات عصبی را در امواج آلفا و بتا قشر حرکتی و شنوایی ایجاد می‌کنند (نیکولوئا[2] و همکاران، ۲۰۱۷). هنگام گوش دادن به موسیقی تحریک‌کننده و به‌طور معمول سریع، امواج بتا در لوب گیجگاهی و ناحیهٔ حرکتی سمت چپ افزایش می‌یابد (هیورلس[3] و همکاران، ۲۰۱۳). مطالعات تصویربرداری رزونانس مغناطیسی عملکردی نیز نشان داده است که موسیقی با تمپوی بالاتر، که احساسات مثبت ایجاد می‌کند، با فعال‌سازی زیاد در قشر شنوایی، ناحیهٔ حرکتی و سیستم‌های لیمبیک همراه است (بوگرت[4] و همکاران، ۲۰۱۶). در پژوهش حاضر موسیقی با تمپوی بالاتر تأثیر بیشتری بر یادگیری ویژگی زمانی هماهنگی دودستی داشته است. لیو[5] و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که موسیقی با تمپوی بالا نسبت به موسیقی با تمپوی پایین و متوسط، فعال‌سازی قوی‌تری در سیستم عصبی ایجاد می‌کند.

از نظر خطای فضایی هم در ترسیم دایره و هم در کاهش زاویهٔ خط تفاوت زیادی بین گروه‌ها مشاهده نشد. همچنین نتایج به‌دست‌آمده از آزمون دوم (انتقال ساده)، این موضوع را که تمرین همراه با ریتم‌های مختلف موسیقی بر انتقال تکلیف دودستی با الگوی فضایی مؤثر است تأیید کرده است؛ یعنی تغییر الگوی فضایی دست چپ، تأثیر منفی بر حرکت دست راست ندارد. با وجود این در آزمون‌های انتقال متوسط و دشوار که الگوی دو دست به‌طور کامل معاوضه شد، سبب پیشرفت ترسیم دایره شد، ولی بر انحراف زاویهٔ خط تأثیری نداشت. البته به این موضوع باید اشاره کرد که بخشی از عدم تفاوت در کاهش خطای فضایی می‌تواند به‌دلیل کاهش سرعت ترسیم دایره- خط در گروه تمرین بدون موسیقی رخ داده باشد؛ بدین‌معنا که حفظ دقت حرکتی، با فدا کردن سرعت انجام حرکت حاصل شده است. این موضوع می‌تواند تفاوت واقعی بین گروه‌ها و برتری گروه تمرین همراه با موسیقی را در این زمینه پنهان نگه داشته باشد.

در برخی پژوهش‌ها نشان داده شده است تداخل‌های زمانی و مکانی، که به‌عنوان جفت‌شدگی دودستی شناخته می‌شوند، هم از نظر عملکردی و هم از نظر تشریحی تفکیک‌پذیرند (گاربارینی و پیا، ۲۰۱۳). ایشان این تمایز را بین جهت و دامنهٔ حرکت، در ترسیم همزمان با یک دست خطوط و با دست دیگر دایره نشان دادند و بیان کردند جفت‌شدگی شامل این واقعیت است که شرکت‌کنندگان تمایل به ایجاد خطوط منحنی و دایره‌های خط‌مانند دارند (گاباریني و همکاران، ۲۰۱۴).

---

[1]. Stupacher
[2]. Nicolaou
[3]. Hurless
[4]. Bogert
[5]. Liu

عدم پیشرفت و حتی کاهش تعداد ترسیم خطوط در آزمون چهارم (انتقالِ دشوار) پژوهش کنونی، نشان می‌دهد هنگامی‌که الگوی یکی از اندام‌ها تغییر کند، جفت‌شدگی دودستی اجرای الگوی جدید را دچار مشکل می‌کند و اثری منفی بر انجام الگوی دودستی جدید دارد. جفت‌شدگی دودستی در شرایطی که فرد بخواهد مهارت حرکتی دودستی نامتقارن جدیدی انجام دهد، یک ویژگی منفی و محدودکننده است. اگر در انجام حرکت دودستی جدید، نیاز به تغییر در الگوی یکی از دست‌ها باشد، این جفت‌شدگی تأثیر منفی بیشتری دارد. نشان داده شده است که اگر این تغییر در الگوی زمانی و دامنهٔ حرکتیِ دست باشد، جفت‌شدگی دودستی تأثیر بیشتری دارد و استقلال عملکردی دست‌ها بیشتر مورد چالش قرار می‌گیرد (دوستان و همکاران، ۲۰۱۹). استقلال عملکردی دودستی به توانایی انجام همزمان و مستقل حرکات با هر دو دست، به‌ویژه حرکات ظریف اشاره دارد (کیم[1] و همکاران، ۲۰۲۱؛ پنگ[2] و همکاران، ۲۰۲۳). در پژوهش حاضر جفت‌شدگی ایجادشده در پی تمرین، به‌ویژه در مؤلفهٔ فضایی، چندان قوی نبود و استقلال عملکردی دست‌ها در آزمون‌های انتقال در شرایط مختلف تقریباً حفظ شد؛ این یافته با نظریهٔ سامرز در مورد جفت‌شدگی دودستی ناهمخوان است، زیرا جفت‌شدگی فضایی ایجادشده چندان قوی نبود. احتمالاً به دو دلیل این موضوع رخ داده است؛ نخست اینکه شرکت‌کنندگان در پی تمرین، الگوهای حرکتی یا برنامهٔ حرکتی دو دست را آموخته و به‌نوعی توانسته‌اند این برنامه‌های حرکتی (دایره و خط) را با هر دو اندام اجرا کنند. این موضوع از طریق نظریهٔ برنامهٔ حرکتی تأیید می‌شود، زیرا طبق این نظریه دو برنامهٔ جداگانه برای هر کدام از دست‌ها وجود دارد، بنابراین قابل انتقال به اندام یا شرایط دیگر هستند؛ دوم اینکه، تکالیف دو دست ساده‌تر از آن بوده‌اند که بتوانند جفت‌شدگی قوی ایجاد کنند و سیستم عصب‌عضلانی را در آزمون‌های انتقال به چالش بکشند. البته جفت‌شدگی در مؤلفهٔ زمانی حرکت به‌ویژه در گروه تمرین همراه با موسیقی با تمپوی بالا رخ داد؛ این یافته با نتایج پژوهش دوستان و همکاران (۲۰۱۸) که جفت‌شدگی در ریتم زمانی حرکات دودستی نامتقارن را قوی‌تر از سایر ویژگی‌ها تشخیص دادند، همخوانی دارد.

در پژوهش ما، ریتم موسیقی یک متغیر مؤثر بر تعداد ترسیم دایره و خط و بنابراین بر جفت‌شدگی دودستی بود، که البته می‌تواند جالب توجه هم باشد. نتایج نشان داد که تعداد خطوط ترسیم‌شده در آزمون انتقالِ دشوار کمتر شده است. این موضوع نشان می‌دهد که جفت‌شدگیِ زمانی و فضایی با هم قوی‌تر از هر کدام به‌تنهایی است. در آزمون انتقال سوم علاوه بر جابه‌جایی الگوی دو دست، الگوی فضایی ترسیم خط تغییر کرد که این موضوع سیستم عصبی را دچار چالش بیشتری می‌کند.

یافتهٔ ما در خصوص جفت‌شدگی زمانی به‌ویژه در گروه تمرین همراه با موسیقی با تمپوی بالا، با نظریهٔ سامرز (۲۰۰۲) که بیان می‌کند در پی تمرین جفت‌شدگی دودستی و وابستگی حرکت دو دست به یکدیگر افزایش می‌یابد، همخوان است. بنابراین نظریهٔ سامرز را می‌توان با توجه به ویژگی نامتقارن در دو دست تفسیر کرد. نظریهٔ برنامهٔ حرکتی بر تأثیر تمرین روی ذخیره‌سازی و بهبود برنامه‌های حرکتی تأکید دارد. بر اساس این نظریه، تمرین می‌تواند به تقویت برنامه‌های حرکتی مربوط به جفت‌شدگی حرکات دودستی منجر شود. با تمرین مکرر، افراد می‌توانند الگوهای حرکتی را به‌خوبی یاد بگیرند و بهبود یابند. این بهبود می‌تواند شامل افزایش دقت، سرعت و کارایی حرکات دودستی باشد (اشمیت، ۲۰۱۸). یافتهٔ پژوهش ما در زمینهٔ سرعت، به‌ویژه در انتقال دشوار با نظریهٔ برنامهٔ حرکتی در یک راستاست، زیرا تمرین موجب تقویت برنامهٔ حرکتی دودستی و در نتیجه جفت‌شدگی بیشتر شده است. ولی بر اساس نظریهٔ سیستم‌های پویا، توانایی خودسازمانی و سازگاری با شرایط جدید حاصل نشده است. البته می‌توان گفت که تمرین دودستی همراه با موسیقی، سبب جفت‌شدگی دودستی عمیق و در پی آن تغییرات درونی در سیستم عصب– عضلانی فرد شده است که توانایی سازگاری با شرایط جدید در اجرای تکلیف دودستی را

[1]. Kim
[2]. Pang

دچار چالش می‌کند. بنابراین در اینجا جفت‌شدگی دودستی سبب یک محدودیت فردی شده است. همان‌طورکه فدورنکو و همکاران (۲۰۱۲) و اشلاگ (۲۰۰۱) بیان کرده‌اند که تمرین همراه با موسیقی تغییرات ساختاری در مغز و بهبود اتصالات عصبی منجر می‌شود.

جالب توجه است که سرعت ترسیم در الگوی خط که الگوی ساده‌تر است تحت تأثیر قرار گرفت. با توجه به اینکه در تکلیف انتقالِ دشوار، دستِ برتر تکلیف ترسیم خط و دست غیربرتر تکلیف ترسیم دایره را انجام می‌داد، این یافته بر خلاف پژوهش‌های کیم و همکاران (۲۰۲۱) و کپیز[1] و همکاران (۲۰۰۶) است. کیم و همکاران (۲۰۲۱) بیان کردند که در تکالیف دودستی برای راست‌دست‌ها، دست چپ عملکردی ضعیف‌تر و کندتر نشان می‌دهد. کپیز[2] و همکاران (۲۰۰۶) نیز اشاره کردند که در راست‌دست‌ها، مهارت‌های دست چپ در عمل نیاز به توجه بیشتری دارند، زیرا عملکرد بهینه در یک تکلیف چالش‌برانگیز دودستی تنها در صورتی حاصل می‌شود که تفاوت‌های دست حداقل باشد. سیستم عصب- حرکتی انسان این قابلیت را دارد که با تمرین جفت‌شدگی‌های جدیدی در عملکرد دودستی نامتقارن ایجاد کند؛ این ویژگی می‌تواند در نواختن برخی سازهای موسیقی مانند پیانو یا ارگ، به هماهنگی بهتر حرکات دست‌ها کمک کند (کیم و همکاران، ۲۰۲۱؛ پنگ و همکاران، ۲۰۲۳).

یافته‌های مربوط به خطاهای زمانی نشان داد که تمرین تکلیف دودستی موجب پیشرفت در تعداد دایره و خط می‌شود. با وجود این، از نظر تعداد دایره بین سه گروه تفاوتی ایجاد شد؛ اما از نظر تعداد خط گروه تمرین همراه با موسیقی که تکلیف را همراه با موسیقی تمپوی بالا انجام داده بودند، نسبت به دو گروه دیگر یعنی تمرین با موسیقی تمپوی پایین و تمرین بدون موسیقی، پیشرفت داشت. یافته‌ها همچنین نشان داد هنگامی‌که الگوی دست غیربرتر تغییر کرده و از حالت افقی به عمودی تغییر پیدا کند، احتمالاً به‌دلیل سادگی الگوی حرکت، جفت‌شدگی اثر نامطلوبی ندارد و تعداد دایره و خط در هر سه گروه پیشرفت می‌کند. گروه‌ها نیز از نظر تعداد دایره تفاوتی باهم نداشتند، ولی از نظر تعداد خطوط گروه موسیقی با تمپوی بالاتر بهتر عمل کردند؛ همچنین ما دریافتیم که اگر الگوهای هر دو دست به‌طور کامل عوض شوند، باز هم یادگیری رخ می‌دهد و گروهی که تمرین خود را همراه با موسیقی تمپوی بالا انجام دادند، نسبت به دو گروه دیگر پیشرفت بیشتری داشت. اما هنگامی‌که الگوی دست برتر از افقی به عمودی تبدیل شد، گروه اول از نظر تعداد دایره پیشرفت داشتند، ولی هر سه گروه از نظر تعداد خط پسرفت داشتند و این نشان‌دهندهٔ جفت‌شدگی زمانی در تکالیف دودست است. این افت عملکردی در آزمون انتقالِ دشوار که نمایشی از خودکاریِ مهارت و جفت‌شدگی دودستیِ قوی‌تر است، در گروه تمرین همراه با موسیقی تمپوی بالا بیشتر بود.

در برخی پژوهش‌های انجام‌گرفته تمرین و موسیقی نقش بسزایی در هماهنگ کردن حرکات بدن دارند (حسین‌زاده و همکاران، ۲۰۲۰؛ وروی[3]، ۲۰۲۳). در پژوهش ما تمرین همراه با موسیقی توانست بین حرکات دو دست (ترسیم دایره و خط) هماهنگی ایجاد کند. این یافته با نتایج پژوهش حسین‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد. در پژوهش زنتنر و ایرولا[4] (۲۰۱۰) به این موضوع اشاره شده است که انسان می‌تواند حرکات خود را با موسیقی بیرونی هماهنگ کند و کیفیت زمانی حرکت را افزایش دهد؛ این موضوع در پژوهش حاضر نیز رخ داد. این پژوهش‌ها از این حیث با یافته‌های ما همخوانی دارد که تکالیف پژوهش ما ترسیم دایره و خط بود؛ بنابر گفتهٔ زلازنیک و روزنبام[5] (۲۰۱۰) ترسیم دایره یک حرکت مداوم محسوب می‌شود که موسیقی می‌تواند دقت اجرای آن را افزایش دهد. حسین‌زاده و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که موسیقی سبب بهبود چشمگیری در عملکرد ترسیم دودستی متقارن با عناصر زمانیِ مشابه و متفاوت می‌شود.

1. Kopiez
2. Kopiez
3. Verwey
4. Zentner & Eerola
5. Zelaznik & Rosenbaum

دوستان و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش خود تکالیف هماهنگی دودستی را که از نظر زمانی مشابه بودند، ولی از نظر فضایی متفاوت بودند بررسی کردند، آزمودنی‌ها به‌راحتی توانستند به‌وسیلهٔ تمرین بر جفت‌شدگی غلبه کنند.

نشان داده شده است که جفت‌شدگی دودستی می‌تواند اثر منفی روی حرکات هماهنگی دودستی نامتقارن داشته باشد (بیگیو و همکاران، ۲۰۲۱). ویستی (۲۰۱۰) نشان داد که اگر در تکلیف دودستی نامتقارن، شرکت‌کنندگان پس از دریافت آموزش موسیقی، در سرعت و دقت بدتر عمل می‌کنند؛ یافته‌های ما در این زمینه که تمرین و موسیقی، با وجود تغییر در الگوی دست‌ها، و غلبه بر جفت‌شدگی، سبب پیشرفت تکالیف دودستی می‌شود، با نتایج پژوهش شی[1] و همکاران (۲۰۱۶) نیز همخوان است.

نتایج پژوهش حاضر با دیدگاه نظریهٔ برنامهٔ حرکتی عمومی که بیان می‌کند که در حرکات دودستی نامتقارن یک برنامهٔ حرکتی وجود دارد که در آن حرکت دو دست از نظر فضایی و زمانی متفاوت است (اشمیت، ۱۹۷۵؛ به نقل از لی و همکاران، ۲۰۲۳)، در تناقض است. شی و همکاران (۲۰۱۶) بیان کردند که تمرین اساسی می‌تواند به اجراکنندگان اجازه دهد تا بر برخی از این محدودیت‌ها برای الگوهای هماهنگی دودستی نسبتاً ساده غلبه کنند. همان‌طورکه در این پژوهش به این نتایج دست یافتیم که با تمرین می‌توان بر محدودیت‌هایی که حین اجرای تکالیف دودستی (دایره–خط) پیش آمد، غلبه کرد.

از نظر آناتومیک، یک شبکهٔ پیش‌پیشانی– آهیانه‌ای (اغلب شامل پیش‌مکمل حرکتی، سینگولیت سمت راست و جداری خلفی دوطرفه) تأثیرات جفت‌شدگی دودستی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (گاربارینی و پیا، ۲۰۱۳). وجود این شبکهٔ مغزی منحصربه‌فرد زیربنای جفت‌شدگی در اجرا و تصویرسازی حرکات دودستی، با این ایده سازگار است که مکانیزم‌های فوق‌نخاعی (مانند برنامه‌های حرکتی، پیش‌بینی‌های حسی و بازنمایی انتزاعی اعمال) ممکن است برای ایجاد این تأثیرات کافی باشد (گاربارینی و پیا، ۲۰۱۳). اگر این درست باشد که تأثیرات جفت‌شدگی در درجهٔ اول در سطح برنامه‌ریزی و سازماندهی حرکت ظاهر می‌شود، باید هر زمان که عملی برنامه‌ریزی می‌شود (حتی در غیاب حرکات) وجود داشته باشند (گاربارینی و پیا، ۲۰۱۳). دوستان و باقرنژاد (۲۰۲۰) بیان کردند اینکه تفاوت الگوی حرکت دو دست در چه ویژگی حرکتی باشد، تعیین می‌کند که جفت‌شدگی حرکات دودستی در چه سطح عصبی طرح‌ریزی می‌شود. اگر تفاوت در نیرو باشد در سطح اجرا و اگر در سرعت و دامنهٔ حرکت باشد در سطوح بالاتر عصبی برنامه‌ریزی و کنترل می‌شود. به‌نظر می‌رسد تکلیف ترسیم دایره–خط با توجه به سطح دشواریِ متوسطِ آن و انتقال نسبتاً منفی در آزمون چهارم پژوهش حاضر (در مؤلفهٔ زمانی)، احتمالاً در سطح سلسله‌مراتبیِ بالاتر از متوسط طرح‌ریزی و کنترل می‌شود. پژوهش میستر و همکاران (۲۰۱۰) فعال شدن بیشتر قشر پیش‌پیشانیِ خلفی–جانبی راست را در طول حرکات تفکیک زمانی نسبت به حرکات متقارن گزارش کرد. بررسی وو و همکاران (۲۰۲۴) به این نتیجه رسید که یک شبکهٔ دودستی عمومی شامل قشر حرکتی اولیه، مکمل و مخچهٔ دوطرفه در حین تکالیف دودستی نامتقارن فعال است.

با توجه به اینکه تکلیف پژوهش ما ساده بود و احتمالاً نتایج را تحت تأثیر قرار داده است، در پژوهش‌های آینده دشواری تکلیف دودستی و نوع نامتقارنی دو دست را در نظر داشت تا نظریه‌های موجود در این زمینه را با دقت بیشتری تفسیر کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده تکالیف دودستی در محیط‌های واقعی و نه آزمایشگاهی به‌ویژه جفت‌شدگی در افراد ماهر در این تکالیف بررسی شود.

تقدیر و تشکر

از همهٔ شرکت‌کنندگان در پژوهش و مسئولان مدارس کمال سپاسگزاری را داریم.

1. Shea

References

Alipour, A., & Agah Haris, M. (g). Investigating the reliability and validity of the Edinburgh hand superiority questionnaire in Iran, *Psychological Science Quarterly*. *6*(22), 1. (In Persian)

Biggio, M., Bisio, A., Garbarini, F., & Bove, M. (2021). Bimanual coupling effect during a proprioceptive stimulation. *Scientific Reports*, *11*(1), 15015. https://doi.org/10.1038/s41598-021-94569-8

Bogert, B., Numminen-Kontti, T., Gold, B., Sams, M., Numminen, J., Burunat, I., ... & Brattico, E. (2016). Hidden sources of joy, fear, and sadness: Explicit versus implicit neural processing of musical emotions. *Neuropsychologia*, *89*, 393-402. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.07.005

Braun Janzen, T., Thompson, W. F., Ammirante, P., & Ranvaud, R. (2014). Timing skills and expertise: discrete and continuous timed movements among musicians and athletes. *Front. Psychol*, 5,1482. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01482.

Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral cortex*, *18*(12), 2844-2854. https://doi.org/10.1093/cercor/bhn042

Cheyne, P., Hamilton, A., & Paddison, M. (Eds.). (2019). *The philosophy of rhythm: Aesthetics, music, poetics*. Oxford University Press, USA.

Crites, M. J., & Gorman, J. C. (2017, September). Bimanual coupling and the intermanual speed advantage. In *Proceedings of the Human Factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 61, No. 1, pp. 1385-1389). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications. https://doi.org/10.1177/1541931213601830

Davids, K., Button, C., & Bennett, S. (2008). *Dynamics of skill acquisition: A constraints-led approach*. Human kinetics.

Dobrota, S., Reić Ercegovac, I., & Habe, K. (2019). Gender differences in musical taste: The mediating role of functions of music. *Društvena istraživanja: časopis za opća društvena pitanja*, *28*(4), 567-586. https://doi.org/10.5559/di.28.4.01

Doostan, M. R., Namazi Zadeh, M., Sheykh, M., & Naghdi, N. (2016). The effect of change in different characteristics in movements of two hands on transfer of asymmetrical bimanual movement to its converse pattern. *Motor Behavior*, *8*(24), 133-152. https://doi.org/10.22089/mbj.2016.759(In Persian)

Doostan, M., & Baghernezhad, Z. (2018). Behavioral and neurological investigation of learning and transfer of asymmetric bimanual task. *Neuropsychology*, *4*(12), 9-30.(In Persian)

Doustan, M., & Baghernezhad, Z. (2020). Evaluation of learning and transfer of complex bimanual task asymmetrical in combination of features of speed, effect of gravity and amplitude of movement. *Journal of Sport Management and Motor Behavior*, *16*(31), 252-235. https://doi.org/10.22080/JSMB.2020.11026.2481(In Persian)

Doustan, M., Namazizadeh, M., Sheikh, M., & Naghdi, N. (2019). Evaluation of learning of asymmetrical bimanual tasks and transfer to converse pattern: load, temporal and spatial asymmetry of hand movements. *Acta Gymnica*, *49*(3), 115-124. https://doi.org/10.5507/ag.2019.0102019(In Persian)

Dyer, J. F., Stapleton, P., & Rodger, M. W. M. (2017). Advantages of melodic over rhythmic movement sonification in bimanual motor skill learning. *Experimental brain research*, *235*, 3129-3140. https://doi.org/10.1007/s00221-017-5047-8

Fedorenko, E., McDermott, J. H., Norman-Haignere, S., & Kanwisher, N. (2012). Sensitivity to musical structure in the human brain. *Journal of neurophysiology*, *108*(12), 3289-3300. https://doi.org/10.1152/jn.00209.2012

Fiorente, N., & Calabrò, R. S. (2023). Music in Parkinson's Disease Rehabilitation: Are We Heading in the Right Direction? *Innovations in Clinical Neuroscience*, *20*(4-6), 11.

Garbarini, F., & Pia, L. (2013). Bimanual coupling paradigm as an effective tool to investigate productive behaviors in motor and body awareness impairments. *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*, 737. https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00737

Garbarini, F., D'Agata, F., Piedimonte, A., Sacco, K., Rabuffetti, M., Tam, F., ... & Berti, A. (2014). Drawing lines while imagining circles: neural basis of the bimanual coupling effect during motor execution and motor imagery. *Neuroimage*, *88*, 100-112. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.10.061

Hoseinzade, B., Shetabbushehri, S. N., & Doustan, M. (2020). The effect of music on learning the spatial and temporal pattern of bimanual coordination. *Neuropsychology*, *6*(22), 9-26. https://doi.org/10.30473/clpsy.2020.38848.1306 (In Persian)

Hung, Y. C., Robert, M. T., Friel, K. M., & Gordon, A. M. (2019). Relationship between integrity of the corpus callosum and bimanual coordination in children with unilateral spastic cerebral palsy. *Frontiers in human neuroscience*, *13*, 334. https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00334

Hurless, N., Mekic, A., Pena, S., Humphries, E., Gentry, H., & Nichols, D. (2013). Music genre preference and tempo alter alpha and beta waves in human non-musicians. Impulse, *22*(4), 1-11.

Janata, P., Tomic, S. T., & Haberman, J. M. (2012). Sensorimotor coupling in music and the psychology of the groove. *Journal of Experimental Psychology: General*, *141*(1), 54. https://doi.org/10.1037/a0024208

Karabanov, A. N., Chillemi, G., Madsen, K. H., & Siebner, H. R. (2023). Dynamic involvement of premotor and supplementary motor areas in bimanual pinch force control. *NeuroImage*, 276, 120203. https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.120203

Kennedy, D. M., Rhee, J., Jimenez, J., & Shea, C. H. (2017). The influence of asymmetric force requirements on a multi-frequency bimanual coordination task. *Human Movement Science*, *51*, 125-137. https://doi.org/10.1016/j.humov.2016.12.007

Kim, S., Park, J. M., Rhyu, S., Nam, J., & Lee, K. (2021). Quantitative analysis of piano performance proficiency focusing on difference between hands. *PloS one*, *16*(5), e0250299. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250299

Kopiez, R., Galley, N., & Lee, J. I. (2006). The advantage of a decreasing right-hand superiority: The influence of laterality on a selected musical skill (sight reading achievement). *Neuropsychologia*, *44*(7), 1079-1087. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.10.023

Levitin, D. J., Grahn, J. A., & London, J. (2018). The psychology of music: Rhythm and movement. *Annual review of psychology*, *69*, 51-75. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-122216-011740

Li, Y., Niu, R., Liu, L., & Liu, Y. (2023). Premotor function in interpersonal bimanual coordination: Neural responses to varying frequencies and spatio–temporal relationships. Physiology & Behavior, 270, 114303. https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114303

Liu, Y., Liu, G., Wei, D., Li, Q., Yuan, G., Wu, S., ... & Zhao, X. (2018). Effects of musical tempo on musicians' and non-musicians' emotional experience when listening to music. *Frontiers in Psychology*, *9*, 2118. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02118

Maes, C., Gooijers, J., de Xivry, J. J. O., Swinnen, S. P., & Boisgontier, M. P. (2017). Two hands, one brain, and aging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *75*, 234-256. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.01.052

McAuley, J. D. (2010). Tempo and rhythm. *Music perception*, 165-199. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6114-36

Meister, I. G., Foltys, H., Gallea, C., & Hallett, M. (2010). How the brain handles temporally uncoupled bimanual movements. *Cerebral cortex*, *20*(12), 2996-3004. https://doi.org/10.1093/cercor/bhq048

Negatu, R., Blackwood, B., Swain, N., Bokavitz, L., Greenle, J., & Holden, J. (2022). Influencing Bimanual Coordination By Changing Environmental Circumstances. *Undergraduate Scholarly Showcase*, *4*(1).

Nicolaou, N., Malik, A., Daly, I., Weaver, J., Hwang, F., Kirke, A., ... & Nasuto, S. J. (2017). Directed motor-auditory EEG connectivity is modulated by music tempo. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, 502. https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00502

Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*(1), 97-113. https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4

Pang, J., Zhao, S., Wang, Y., Wang, Q., & Fang, Q. (2023). Piano practice with emphasis on left hand for right handers: Developing pedagogical strategies based on motor control perspectives. *Frontiers in Psychology*, *14*, 1124508. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1124508

Rudisch, J., Fröhlich, S., Pixa, N. H., Kutz, D. F., & Voelcker-Rehage, C. (2023). Bimanual coupling is associated with left frontocentral network activity in a task-specific way. *European Journal of Neuroscience*, *58*(1), 2315-2338. https://doi.org/10.1111/ejn.16042

Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature neuroscience*, *14*(2), 257-262. https://doi.org/10.1038/nn.2726

Schlaug, G. (2001). The brain of musicians: A model for functional and structural adaptation. *Annals of the New York academy of sciences*, *930*(1), 281-299. https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb05739.x

Schmidt, R. A., Lee, T. D., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. N. (2018). *Motor control and learning: A behavioral emphasis*. Human kinetics.

Schultz, B. G., Brown, R. M., & Kotz, S. A. (2021). Dynamic acoustic salience evokes motor responses. *Cortex*, 134, 320-332. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.10.019

Shea, C. H., Buchanan, J. J., & Kennedy, D. M. (2016). Perception and action influences on discrete and reciprocal bimanual coordination. *Psychonomic bulletin & review*, *23*, 361-386. https://doi.org/10.3758/s13423-015-0915-3

Summers, J. (2002). Practice and training in bimanual coordination tasks: strategies and constraints. *Brain and cognition*, *48*(1), 166-178. https://doi.org/10.1006/brcg.2001.1311

Summers, J. J., Maeder, S., Hiraga, C. Y., & Alexander, J. R. (2008). Coordination dynamics and attentional costs of continuous and discontinuous bimanual circle drawing movements. *Human Movement Science*, *27*(5), 823-837.

Stupacher, J., Hove, M. J., Novembre, G., Schütz-Bosbach, S., & Keller, P. E. (2013). Musical groove modulates motor cortex excitability: A TMS investigation. *Brain and cognition*, *82*(2), 127-136. https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.03.003

Swinnen, S. P., & Gooijers, J. (2015). Bimanual coordination. *Brain mapping: an encyclopedic reference*, *2*, 475-482. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-397025-1.00030-0

Thaut, M. H. (2005). Neurologic music therapy techniques and definitions. *Rhythm, music and the brain: Scientific foundations and clinical applications*.

Vangheluwe, S., Suy, E., Wenderoth, N., & Swinnen, S. P. (2006). Learning and transfer of bimanual multifrequency patterns: effector-independent and effector-specific levels of movement representation. *Experimental Brain Research*, *170*, 543-554. https://doi.org/10.1007/s00221-005-0238-0

Varlet, M., Marin, L., Issartel, J., Schmidt, R. C., & Bardy, B. G. (2012). Continuity of visual and auditory rhythms influences sensorimotor coordination. *PLoS One*, *7*(9),e44082. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044082

Verwey, W. B. (2023). Chord skill: learning optimized hand postures and bimanual coordination. *Experimental brain research*, *241*(6), 1643-1659. https://doi.org/10.1007/s00221-023-06629-2

Wisti, A. (2010). *The Effects of Musical Training on Bimanual Control and Interhemispheric Transfer* (Doctoral dissertation).

Wu, J., Jiaqi, L. I., Kwong, P. W. H., Zhang, J. J., & Sidarta, A. (2024). Neural Mechanisms underlying Bimanual Coordination in Healthy and Stroke Individuals and Application of Non-Invasive Brain Stimulation: A Scoping Review. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3975753/v1

Zelaznik, H. N., & Rosenbaum, D. A. (2010). Timing processes are correlated when tasks share a salient event. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *36*(6), 1565. https://doi.org/10.1037/a0020380

Zentner, M., & Eerola, T. (2010). Rhythmic engagement with music in infancy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *107*(13), 5768-5773. https://doi.org/10.1073/pnas.1000121107