Motor Behavior **Volume 15, No 51, 2023, Page 91-114**

Research Paper

Effect of Neurofeedback and Motor Training on Acquisition and Consolidation of Procedural Motor Performance

F. Barzegar Kolour[1], H. Mohammad Zadeh[2], M A. Nazari[3]

1. Ph.D. Student, Department of Motor Behaviour Urmia University. Urmia, Iran (Corresponding Author)
2. Professor, Department of Motor Behaviour Urmia University. Urmia, Iran
3. Professor, Department of Neuroscience, Iran University of Medical Sciences

Received: 2020/12/30 **Accepted: 2021/07/19**

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of neurofeedback (NFB) and motor training (MT) on the learning and consolidation of procedural motor performance in novice adolescents. 44 elementary students (mean age 12.1 ±0.6), who had no access to smart devices, were selected as the sample of the research, and then were randomly assigned into four groups; NFB, MT, NFB+MT and control. The implementation of the study included six stages: first baseline, pre-test, intervention (NFB included a 30-minute single-session of alpha suppression on the C4 region for NFB and NFB+MT groups. MT by using 6 blocks of Pursuit Rotor Task (PRT) for NFB+MT and MT groups), secondary baseline, post-test and consolidation test, respectively. Stages 1-5 were done in one day but last stage (learning consolidation test) was conducted 48 hours after the rest period. Participants were right-handed and performed PRT in inverted mode with their non-dominant hand. One-way repeated measures analysis of variance (ANOVA) was used to analyse the data. The results showed significant difference between the performance of NFB and MT (P=0.010), NFB and NFB+MT (P=0.044), MT and Control (P=0.022) groups, but the difference between MT and NFB+MT (P=1.000), NFB+MT and Control (P=0.90), and NFB and Control (P=1.000) groups was not significant.

The present findings showed that the alpha suppression in C4 had no significant effect on learning and consolidation of unfamiliar and non-automatic motors in novice adolescents but motor training can be an effective way for these people in the first stage of their learning.

Keywords: Brain- Training, Alpha Rhythm, Human Movement, Adolescent, Mental Recall

1. Email: f.barzegar@urmia.ac.ir
2. Email: ha.moha64@gmail.com
3. Email: nazaripsycho@yahoo.com

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

Extended Abstract

Background and Purpose

Motor learning is a wide spectrum of events, including relatively low-level mechanisms for maintaining motor grading, to high-level cognitive decisions about how to act in a new situation, and which aspect of theoretical and experimental is of interest to psychologists and neuroscientists (1). This gradual process of acquiring new skills through repetitive practice is called procedural learning (2, 3). Review of literature indicated that motor and neurofeedback trainning have affected in acquiring such skills (4-8). Neurofeedback trainning usually uses sensory-motor rhythms or alpha wave suppression in region C4 to improve performance, which is the control center of procedural motor learning in the brain (8, 9). The aim of this study was to investigate the effect of neurofeedback (NFB) and motor training (MT) on the learning and consolidation of procedural motor performance in novice adolescents.

Materials and Methods

This study is an applied, quasi-experimental research with pretest, posttest, follow-up and control group. The target population included 11–13-year-old male and female students studying in Ardabils primary schools in 2020-2021 academic year. 44 participants (mean age 12.1 ±0.6), who had no access to smart devices and right dominant were selected as the sample of the research, and then were randomly assigned into four groups; three experimental groups: NFB (n = 12), MT (n = 10), NFB + MT (n = 12) and a control group, (n = 10) were selected by multistage cluster sampling method. Subjects participated in the research voluntarily. The consent form and self-declaration questionnaires were completed and signed by the parents which was approved by the local Ethics Board (Urmia University). Participants had normal vision but no learning disabilities, neurological disorders, and no prior familiarity with pursuit rotor task (PRT) and NFB trainning.

The study consisted of six phases: 1) Recording the baseline alpha wave at C4 site. 2) Performing block 1 of PRT by undominant hand (left) with the mouse normally mode, in order to familiarity with the PRT then performing block 2 with undominant hand (left) with the mouse in reverse, as a pre-test; 3) Interventions: a) Trainning of NFB (suppression of alpha wave in C4 site) for two NFB and combination (NFB+MT) groups in 30-minute single-session, b) Motor training including 3-8 blocks (six trials per block) of PRT (in this stage control group received no intervention). 4) Re-recording the EEG at C4 site. 5) Performing block 9 of PRT as a posttest (with a ten-minute break from the previous stage;

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

And 6) Performing block 10 of PRT after 48 hours of rest from the previous stage for all groups as a follow-up test.

Findings

In evaluating the effectiveness of neurofeedback (alpha wave suppression in C4), one-way analysis of variance indicates that the difference between the groups in the pretest was not significant (F=220.3, P=0.081). However, the differences between the groups were significant in the post-test (F=390.4, P=0.09). Benfroni post hoc test showed that the difference between control and NFB groups was significant (p = 0.031) and the difference between control and combination groups was significant (P=0.047) but the difference between the control and MT groups was not significant (P= 0.218).

One-way repeated measures analysis of variance (ANOVA) was used to analyse of intergroup performance in different stages of evaluation. The results of Kolmogorov-Smirnov test showed that the data had a normal distribution. The highest mean scores of time on target (TOT) with the nondominant hand (left) among the sample groups belonge to MT, NFB+MT, NFB and control groups, respectively. In the study of the presuppositions of repeated measures analysis of variance and marginal mean to examine the sphericity assumed of variables have been investigated by Mauchly's Statistical test, the results show no significant difference (P=0.682, Mauchly's w=0/981, Chi-square=0/765). That is, the variance of the values of the dependent variable between the groups at each level of the factor variable or groups is constant and equal. Therefore, the results obtained from the sphericity hypothesis test were used in the time dimension instead of other tests. (F=5/637, P=0.000). Comparing the means of the pairs between the groups during the factors (pre-test, posttest and followup) according to the number of subjects, the Bonferroni test was used. It can be seen that the NFB and MT groups are significantly different (P=0.010). The two groups of NFB and NFB+MT are significantly different from two others (P=0.044). But the two groups of NFB and control were not significantly different from each other (P=1.000). Moreover, the two groups of MT and NFB+MT were not different from each other (P=1.000). Based on these findings, it can facilitate and consolidate procedural motor learning of 11–13-year-old students by MT but the effect of NFB training is not significant.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

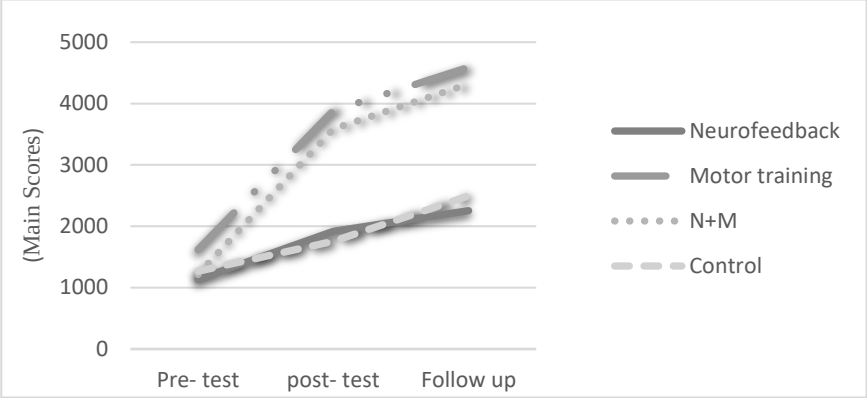


Figure 1- Time on target in groups in, pre-test, learning, and consolidation

Conclusion

According to Holyoak (1991), expert performers were characterized in the psychomotor domain as: (a) performing better than novices; (b) showing progressively greater skill as a function of practice; (c) solving problems with greater cognitive ease within their specific skill domain; and (d) exhibiting relative automaticity of action. Other investigators have also advanced the notion that the automation of skill in experts appears to enable movements with less cognitive involvement and effort relative to those who are unpracticed (10). Therefore, the novice learners were no successful by NFB. In addiotion, based on the neural efficacy theory (Del Percio, 2009), which states that expert performers perform the same action with less energy than novice (11); Based on this, it can be found that novices in learning and performing procedural movements in the C4 region benefit from a higher alpha wave, and if this wave is suppressed by using NFB training, it will weaken the learners' performance.

Keywords: Brain- Training, Alpha Rhythm, Human Movement, Adolescent, Mental Recall

References

1. Krakauer J W, Hadjiosif A M, Wong A L, Xu J, Haith A M. Motor Learning. (2019). Chapter in Comprehensive Physiology. 2019 March;9 (2):613-663. https://www.researchgate.net/publication/331774116 DOI: 10.1002/cphy.c170043.
2. Cohen NJ, Squire LR. Preserved learning and retention of pattern analyzing skills in amnesia: dissociation of knowing how and knowing that. Science 1980; 210: 207–10.
3. Halsband U and Lange R K 2006. Motor learning in man: a review of functional and clinical studies, *J Physiol Paris*, **99**, 414-24

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

4. Demos JN. (2005), Getting stated with neurofeedback. w.w.Norton & Company, New York, London. DOI: 10.22067/fedu.v7i1.65198
5. Klimesch W, Doppelmayer M, Schwaiger J, Auinger P, Winkler T. Paradoxical alpha synchronization in a memory task. Cogn. Brain Res. 1999; 7, 491–501.
6. Pfurtscheller G, Stancak A, Neuper, C. Event-related synchronization (ERS) in the alpha band - an electrophysiological correlate of cortical idling: a review. Int. J. Psychophysiol. 1996;24, 39–46.
7. Smith ME, McEvoy LK, Gevins A. Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition. Cogn. Brain Res. 1999;7, 389–404.
8. Chuang LY, Huang CJ, Hung TM. The differences in frontal midline theta power between successful and unsuccessful basketball free throws of elite basketball players. International Journal of Psychophysiology. 2013 Dec; 90(3):321-8.
9. Ros T, Munneke M A, Ruge D, Gruzelier JH, Rothwell JC. Endogenous control of waking brain rhythms induces neuroplasticity in humans. European Journal of Neuroscience, 2010; 31(4): 770-778.
10. Ros T, Munneke M, Parkinson L, & Gruzelier J. Neurofeedback facilitation of implicit motor learning. Biological Psychology.2014; 95, 54–58. doi: 10.1016/j.biopsycho.2013.04.013.
11. Holyoak, K.J., 1991. Symbolic connectionism: toward third-generation theories of expertise. In: Ericsson, K.A., and Smith, J. (Eds.), Toward a General Theory of Expertise: Prospects and Limits. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 301–335
12. Del Percio C, Infarinato F, Iacoboni M, Marzano N, Soricelli A, Aschieri P, Eusebi F, Babiloni C. Movement-related desynchronization of alpha rhythms is lower in athletes than non-athletes: a high-resolution EEG study. Clin Neurophysiol. 2010 Apr;121(4):482-91.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

رفتار حرکتی دوره ۱۵، شماره ۵۱، بهار ۱۴۰۲.، صص ۱۱۴-۹۱

مقالهٔ پژوهشی

تأثیر نوروفیدبک و تمرین حرکتی بر اکتساب و یادداری عملکرد حرکتی رویه‌ای

فرشته برزگر کلور[1]، حسن محمدزاده[2]، محمدعلی نظری[3]

۱. دانشجوی دکتری، گروه رفتار حرکتی پردیس دانشگاه ارومیه (نویسنده مسئول)

۲. استاد، دانشگاه ارومیه

۳. استاد گروه علوم اعصاب دانشگاه علوم پزشکی ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۸

چکیده

در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر تمرین‌های نوروفیدبک و حرکتی بر یادگیری عملکرد حرکتی رویه‌ای در افراد نوجوان مبتدی پرداخته شد. ابتدا ۴۴ دانش‌آموز (میانگین سنی ۱۲/۱±۰/۶) فاقد دسترسی به وسایل هوشمند، از بین دانش‌آموزان ابتدایی به‌صورت نمونه‌گیری خوشه‌ای چندمرحله‌ای انتخاب شدند. سپس به‌صورت تصادفی در چهار گروه نوروفیدبک، تمرین حرکتی، تمرین ترکیبی و کنترل جای‌دهی شدند. اجرای پژوهش حاوی شش مرحله به‌صورت ثبت اطلاعات پایهٔ امواج مغزی اولیه، پیش‌آزمون، مداخله‌ها (تمرین نوروفیدبک شامل یک جلسه سی‌دقیقه‌ای سرکوب موج آلفا در ناحیه حسی-حرکتی C4 برای گروه نوروفیدبک و ترکیبی و تمرین حرکتی شامل شش بسته تمرینی پیگردی چرخان برای گروه حرکتی و ترکیبی)، ثبت اطلاعات پایه امواج مغزی ثانویه، پس‌آزمون و آزمون یادداری بود. مراحل یک تا پنج در یک روز و مرحله آخر پس از ۴۸ ساعت استراحت اجرا شد. همه آزمودنی‌ها راست‌دست بودند و تکلیف پیگردی چرخان را به شیوهٔ معکوس با دست غیربرتر انجام دادند. برای تحلیل داده‌ها از آزمون تحلیل کواریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر یک‌طرفه استفاده شد. نتایج نشان داد، عملکرد گروه نوروفیدبک و حرکتی (P=0.010)، نوروفیدبک و ترکیبی (P=0.044) حرکتی و کنترل (p=0.022) تفاوت معناداری داشت، اما در نتایج عملکرد گروه حرکتی و ترکیبی (P=1.000)، ترکیبی و کنترل (P=0.090) و کنترل و نوروفیدبک تفاوت معنادار مشاهده نشد (P=1.000). یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد، کاهش آلفا در C4 بر اکتساب و یادداری حرکات ناآشنا و غیرخودکار در افراد مبتدی تأثیر معناداری ندارد، ولی تمرین حرکتی روش مؤثری برای یادگیری این افراد در اولین مرحله یادگیری است.

واژگان کلیدی: تمرین مغزی، ریتم آلفا، حرکت انسان، نوجوان، یادآوری.

1. Email: f.barzegar@urmia.ac.ir
2. Email: ha.moha64@gmail.com
3. Email: nazaripsycho@yahoo.com

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

مقدمه

یادگیری حرکتی[1] طیف گسترده‌ای از رویدادهاست که از مکانیزم‌های نسبتاً سطح پایین برای حفظ درجه‌بندی حرکات تا تصمیم‌گیری‌های شناختی سطح بالا درمورد نحوه اقدام در یک موقعیت جدید را در بر می‌گیرد که از لحاظ نظری و تجربی مدنظر روان‌شناسان و دانشمندان علوم اعصاب است (۱). تعریف عملیاتی از یادگیری حرکتی حاوی دو بخش است: ۱- اکتساب[2] مهارت: فرایندهایی که در آن‌ها فرد توانایی شناسایی سریع هدف مناسب حرکت را با توجه به زمینه کار خاص کسب کند، انتخاب عمل صحیح با توجه به محرک حسی یا وضعیت فعلی بدن و اطراف؛ و براساس آن، فرد عمل را با دقت و به‌درستی انجام دهد و ۲- حفظ مهارت: توانایی حفظ سطح عملکرد مهارت‌های موجود در شرایط متغیر (۱). البته مشخص است که مغز مکانیسم‌های اختصاصی برای کسب و حفظ مهارت دارد و به احتمال زیاد مدارهای عصبی هنگام یادگیری بایکدیگر همپوشانی دارند. بر اهمیت کاهش عملیات شناختی در عملکرد افراد خبره در ورزش تأکید شده است (۵-۱)، اما به نظر می‌رسد درگیری شناختی برای کسب هر مهارت حرکتی، حتی مهارت ابتدایی نیز مهم است. غالباً یادگیری حرکتی پدیده‌ای ضمنی در نظر گرفته می‌شود که فاقد هرگونه سهم شناختی آشکار است. برخلاف ادعای بعضی از پژوهشگران که عنوان کرده‌اند فرایندهای صریح نقش مهمی در یادگیری حرکتی دارند (۱)، اگر یک مهارت حرکتی برای اجرا به آگاهی و کنترل هوشیاری کمی نیاز داشته باشد، مهارت کسب می‌شود و در توالی دانش اخباری[3] به دانش رویه‌ای[4] تحکیم می‌یابد. این فرایند در سطح غیرکلامی و پنهان حافظه اتفاق می‌افتد (۷، ۶). درواقع، آموزش و تمرین در فرایند اکتساب دانش صریح تا زمانی که به یادگیری در سطح پنهان تبدیل می‌شود، از عناصر درخور ملاحظه‌اند (۸).

توانایی انطباق دستورات حرکتی با محیطی که همواره در حال نوسان است، یکی از جنبه‌های اصلی کنترل و یادگیری حرکتی است. یادگیری رویه‌ای شکلی از حافظه پنهان یا غیراظهاری[5] بوده که فرایند تدریجی اکتساب مهارت حرکتی جدید یا مهارت‌های شناختی در طول تمرین است. اکتساب چنین مهارت‌هایی به‌وسیله افزایش دقت یا سرعت عملکرد، نتیجهٔ قرارگرفتن مکرر درمعرض یک روش خاص بدون یادآوری آگاهانه از یادگیری ضمنی قبلی یا قوانین تحت تکلیف است. بسیاری از

1. Motor Learning
2. Acquisition
3. Declarative Knowledge
4. Procedural Knowledge
5. Implicit Memory

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

مهارت‌های حرکتی دورهٔ کودکی دارای توالی‌اند و در سایهٔ تمرین و تکرار، خودکار می‌شوند. این فرایند تدریجی اکتساب مهارت‌های جدید، از راه تمرین تکراری، «یادگیری رویه‌ای»[1] نامیده شده است (۹). هرچه میزان تمرین فرد بیشتر باشد، مهارت او عمیق خواهد بود. پیشینه‌های پژوهشی حاکی از آن است که در اکتساب چنین مهارت‌هایی تمرین‌های حرکتی و نوروفیدبک[2] مؤثر بوده‌اند. نوروفیدبک روش غیرتهاجمی و بدون عوارض جانبی است که در آن هیچ محرک فیزیکی به مغز وارد نمی‌شود. در این روش، فرد به‌صورت برخط[3] الگوی امواج مغزی خود را مشاهده می‌کند و با استفاده از اصل تقویت در صورت بروز پاسخ مطلوب یا تقویت منفی در مواقعی که فرد از پاسخ مطلوب دور می‌شود (شرطی‌سازی عامل)، در راستای اصلاح آن کارکرد هدایت می‌شود. با استفاده از همین تقویت‌ها و بازداری‌هاست که مغز می‌تواند عمل خودتنظیمی را انجام دهد (۱۳-۱۰).

در تمرینات نوروفیدبک معمولاً برای ارتقای عملکرد از ریتم‌های حسی-حرکتی[4] یا سرکوب موج آلفا در منطقه حسی-حرکتی مغز (نقطه C4) استفاده می‌شود که درواقع مرکز کنترل یادگیری حرکتی رویه‌ای در مغز است (۱۵، ۱۴). طاهری و نوریان تمرینات نوروفیدبک را در تعدیل استرس و بهبود خواب ورزشکاران مؤثر دانستند که بر عملکرد ورزشکاران تأثیر بسزایی می‌گذارد (۱۶). نتایج پژوهش کوک[5] و همکاران نشان داد، فعالیت توان آلفای بیشتر با تخصیص منابع توجه بیشتر، به برنامه‌ریزی حرکتی ارتباط دارد (۱۷) و قدرت آلفای کمتر با کنترل حرکتی کاملاً اتوماتیک‌تر مرتبط است (۱۸). اکنون تحقیقات معاصر از این نظر حمایت می‌کنند که قدرت آلفا در پردازش شناختی نقش فعالی دارد (۱۹). کلیمش[6] استدلال کرده است، میزان کنترل هشیار عملکرد حرکتی را می‌توان از نظر درجه افزایش قدرت آلفا عملیاتی و اندازه‌گیری کرد؛ بر این اساس، کنترل هشیار حرکتی با توان مشخصی از آلفا همبستگی دارد (۲۰)؛ بنابراین کنترل حرکتی آگاهانه با افزایش آلفا همراه است (۱۸)؛ درحالی‌که کنترل حرکتی ناخودآگاه و ضمنی با سرکوب قدرت آلفا در ارتباط است. میکیسن و کوالزیک[7] اظهار کردند، تک‌تیراندازها، کمان‌داران و بازیکنان گلف به‌منظور بهبود آرامش و دقت بهتر به افزایش دامنه موج آلفا نیاز دارند؛ درحالی‌که سایر رشته‌های ورزشی مانند ژیمناستیک، اسکی،

1. Procedural Learning
2. Neurofeedback
3. Online
4. Sensory Motor Rhythm
5. Cooke
6. Klimesch
7. Mikicin & Kowalczyk

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

اسکیت، هاکی، بسکتبال، و ورزش‌های رزمی برای افزایش بهبود روانی و تعادل جسمانی به کاهش دامنه موج آلفا نیاز دارند (۲۱). با در نظر گرفتن این موضوع به نظر می‌رسد که کاهش دامنه آلفا بر عملکرد افراد در گروه کاهش آلفا در مقایسه با دیگر گروه‌های آزمایشی تأثیر منفی داشته باشد. نتایج پژوهش ژوو[1] و همکاران نشان داد، افرادی که به‌صورت هوشیار به مشاهده مانیتور و کنترل حرکاتشان پرداختند، موج آلفا را با قدرت بیشتری نشان دادند. علاوه بر این، افرادی که به‌صورت پنهان مهارت را یاد گرفته بودند، آلفا را با قدرت کمتری نشان دادند (۲۲). جانل[2] و همکاران بیان کردند، امواج آلفای نیمکرهٔ چپ تیراندازان ماهر قبل از کشیدن ماشه به‌صورت تصاعدی افزایش می‌یابد (۲۳). این یافته پژوهش جانل و همکاران با ادعای لندرز[3] و همکاران همسوست که نشان دادند، افرادی که تمرین می‌کردند تا سطح فعالیت قشری را به نیمکره چپ تغییر دهند، باعث افزایش آلفا و بهبود عملکرد شدند و کسانی که سطح فعالیت قشری را به نیمکره راست انتقال دادند، باعث عملکرد ضعیف‌تر شدند (۲۴).

ریتم آلفا یکی از گسترده‌ترین موضوع مطالعات درباره باندهای فرکانسی امواج مغزی در میان ورزشکاران ماهر و نخبه است (۲۷-۲۵، ۲۳). با وجود تحقیقات فراوان در زمینه نوروفیدبک، این مطالعات بیشتر بر جنبه‌های عملکرد ماهرانه و میزان استرس و خواب در میان بزرگسالان و ورزشکاران سطوح مختلف متمرکز بوده‌اند، ولی پژوهشی یافت نشد که به بررسی تمرین نوروفیدبک و به‌طور خاص بر موج آلفا در افراد مبتدی و نوجوان پرداخته باشد؛ بلکه بیشتر پژوهش‌ها بر ورزشکاران نخبه، نزدیک به نخبه یا ماهر بزرگسال متمرکز شده‌اند و درمقابل از بررسی افراد مبتدی نوجوان غفلت شده است؛ درحالی‌که جمعیت این افراد، بیشتر از نخبگان و افراد ماهر ورزشی است (۲۵). دل پرسیو[4] و همکاران دریافتند، افراد خبره عملکردهای تخصصی خویش را با مصرف انرژی کمتری انجام می‌دهند و هنگام اجرای آن موج آلفای آنان کاهش می‌یابد (۲۸). این یافته در گروه‌های نمونه ورزشکار نخبه و گروه ورزشی پیوسته، تأیید شد، اما در گروه‌های عادی نتایج متفاوتی حاصل شد؛ ازاین‌رو این سؤال مطرح می‌شود آیا استفاده از تمرینات نوروفیدبک و حرکتی در اکتساب و یادداری عملکرد حرکتی رویه‌ای نوجوانان مبتدی تأثیر دارد؟

1. Zhu
2. Janelle
3. Landers
4. Del Percio

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

روش پژوهش

روش پژوهش، کاربردی از نوع نیمه‌تجربی با سه گروه آزمایشی، نوروفیدبک (۱۲ نفر)، تمرین حرکتی (۱۰ نفر)، نوروفیدبک و تمرین حرکتی (۱۲ نفر) و گروه کنترل (۱۰ نفر) بود که به‌صورت میدانی با استفاده از طرح پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری با گروه کنترل اجرا شد. جامعه هدف، دانش‌آموزان پسر و دختر ۱۱ تا ۱۳ ساله مشغول به تحصیل در مقطع ابتدایی شهرستان اردبیل (نواحی یک و دو) در سال تحصیلی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ بودند. ابتدا از دانشگاه ارومیه کد اخلاق دریافت شد (IR.URMIA.REC.1399013). سپس مجوز اجرایی از اداره کل آموزش و پرورش استان اردبیل و نواحی تابع، کسب شد. نمونه‌گیری به روش خوشه‌ای چندمرحله‌ای انجام شد؛ به این صورت که ابتدا ۲۵ مدرسه محروم شهری و روستایی که دانش‌آموزان فاقد دسترسی به وسایل هوشمند بودند با راهنمایی کارشناسان واحد پژوهش و تحقیق ادارات مشخص شد. سپس پنج مدرسه از بین آن‌ها به‌عنوان مدرسه هدف برگزیده شد. پس از مراجعه به مدارس و هماهنگی با مسئولان مدرسه، دانش‌آموزان احتمالی برای گروه نمونه مشخص شدند. از دانش‌آموزان دارای شرایط احتمالی به‌صورت شفاهی و مستقیم درباره دسترسی به وسایل هوشمند سؤال‌هایی پرسیده شد؛ بر این اساس، نمونه اولیه مشخص شد و اولیای گروه نمونه اولیه به جلسه دعوت شدند. پس از توضیح اهداف پژوهش و پاسخ به سؤالات، اولیا فرم رضایت‌نامه و پرسش‌نامه‌های خوداظهاری را تکمیل و امضا کردند. شرکت‌کنندگان فاقد هرگونه ناتوانی یادگیری، اختلالات روانی و عصب‌شناختی و دارای بینایی طبیعی و فاقد آشنایی قبلی با تمرین نوروفیدبک بودند. بعد از دسترسی به شرکت‌کنندگان با رعایت ملاک‌های ورود به پژوهش و خروج از آن، درنهایت ۴۴ نفر انتخاب شدند و داوطلبانه در پژوهش شرکت کردند. ریتم آلفا به‌دلیل رابطه بین آلفا و تحریک‌پذیری، نقطه C4، استفاده افراد از دست غیر برتر (دست چپ) هنگام اجرای تکلیف و کنترل حرکات دست چپ از طریق قشر حرکتی در نیمکره راست، انتخاب شد (،۵،۲۹۳۰). برای ارزیابی یادگیری رویه‌ای از شکل تعدیل‌یافته تکلیف پیگردی چرخان استفاده شد. مراحل شش‌گانه اجرای پژوهش (O_1-O_6[1]) مطابق با جدول شماره یک انجام شد که عبارت‌اند از: نخست، ثبت خط پایه اندازه موج آلفای مغزی در نقطه C4 برای همه گروه‌ها (O_1) و اجرای بسته اول پروتکل پیگردی چرخان با دست غیربرتر (چپ) با ماوس به‌شکل عادی برای همه گروه‌ها (O_2) برای آشنایی با تکلیف انجام شد؛

1. Observation

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

دوم، اجرای بسته دوم پروتکل پیگردی چرخان با دست غیربرتر (چپ) با ماوس به‌شکل معکوس، برای همه گروه‌ها به‌عنوان پیش‌آزمون (O_3) انجام شد؛

سوم، مداخله‌ها اجرا شد: الف- اجرای برنامه تمرین نوروفیدبک (سرکوب موج آلفا در منطقه C4، X_1) برای دو گروه نوروفیدبک و ترکیبی (نوروفیدبک و حرکتی) در یک جلسه به‌مدت سی دقیقه و ب) اجرای تمرین حرکتی شامل اجرای بسته‌های سه تا هشت تکلیف پیگردی چرخان (X_2) (هر مرحله شش تلاش) برای گروه‌های حرکتی و ترکیبی (توضیح اینکه در گروه ترکیبی، نخست تمرین نوروفیدبک و بعد تمرین حرکتی اجرا شد). در این مرحله، گروه کنترل هیچ برنامه مداخله دریافت نکرد؛

چهارم، ثبت مجدد خط پایهٔ اندازه موج آلفای مغزی در همه گروه‌ها (O_4)؛

پنجم، اجرای بسته نهم پروتکل پیگردی چرخان با فاصله ۱۰ دقیقه استراحت از مرحله قبل برای همه گروه‌ها به‌عنوان پس‌آزمون (O_5)؛

ششم، اجرای بسته دهم پروتکل پیگردی چرخان پس از ۴۸ ساعت استراحت از مرحله قبل برای همه گروه‌ها به‌عنوان آزمون پیگیری (O_6).

جدول ۱- طرح نیمه‌آزمایشی پیش‌آزمون، پس‌آزمون و پیگیری با گروه کنترل

Table 1- Quasi-experimental pre test, post test and follow up with control group (Design of study)

Group گروه	Sampling نمونه‌گیری	Pre tests پیش‌آزمون‌ها			Interventions مداخله‌ها		Post tests پس‌آزمون‌ها		Follow up آزمون پیگیری
E_1	R	O_1	O_2	O_3	X_1	-	O_4	O_5	O_6
E_2	R	O_1	O_2	O_3	-	X_2	O_4	O_5	O_6
E_3	R	O_1	O_2	O_3	X_1	X_2	O_4	O_5	O_6
C	R	O_1	O_2	O_3	-	-	O_4	O_5	O_6

این طرح دارای دو متغیر مستقل (سرکوب موج آلفا و تمرین حرکتی) و دو متغیر وابسته (اندازه موج آلفا در نقطه C4 و زمان ماندن روی هدف[1] (TOT) در تمرین پیگردی چرخان) بود.

1. Time-on-Target

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

ابتدا اطلاعات پایه امواج مغزی[1] در حالت استراحت با چشم باز به‌مدت ۱۳۰ ثانیه با فرکانس ۲۵۶ هرتز در نقطه C4 به‌وسیله دستگاه پروکامپو و نرم‌افزار بیوگراف ساخت کانادا ثبت شد. الکترودهای منفی و مرجع به‌ترتیب به لاله گوش راست و چپ وصل شدند. مرحله دوم، اجرای پیش‌آزمون تکلیف پیگردی چرخان بود. شرکت‌کنندگان در یک اتاق آرام مقابل یک لپ‌تاپ نشستند و به آن‌ها گفته شد که نشانگر را روی هدف قرمزرنگ (به قطر یک سانتی‌متر) در یک صفحه رایانه با نمایشگر ۱۵/۶ اینچی نگه دارند. زمانی که نشانگر روی هدف قرار می‌گرفت، رنگ هدف روشن‌تر می‌شد. شرکت‌کنندگان باید مسیر دایره‌ای سفیدرنگ در جهت ساعت‌گرد، با استفاده از یک نشانگر (ماوس) بی‌سیم، به حالت معکوس تعقیب و ردیابی می‌کردند (شعاع مسیر حرکت ۵۳۵ میلی‌متر و شعاع هدف ۲۵ میلی متر) مسیر حرکت هدف، قابل‌مشاهده بود و نشانه‌های آشکاری از مسیر حرکت هدف را فراهم می‌آورد. تکلیف پیگردی چرخان، درمجموع ده بسته حاوی شش کوشش تمرینی بود. بسته اول، تکلیف آمادگی بودو به آزمودنی‌ها گفته شد که تمرین را با حالت عادی نشانگر (ماوس) انجام دهند. انتظار می‌رفت دقت فراوانی داشته باشند، اما در بسته دوم که تکلیف پیش‌آزمون بود، نشانگر در حالت معکوس قرار گرفت و ارتباط بین حرکات نشانگر و علامت آن روی صفحه، برعکس شده بود؛ بدین‌ترتیب، هنگامی که نشانگر به سمت چپ یا پایین حرکت می‌کرد، علامتِ آن روی نمایشگر، به‌ترتیب به راست یا بالا می‌رفت و برعکس. در همه بسته‌ها مسیر دایره‌ای مشخص‌شده، دو دور با سرعت تعیین‌شده (۰/۰۷ و ۰/۰۸ هرتز) به‌مدت ۱۵ ثانیه و به‌شکل تعقیبی در هر کوشش دنبال می‌شد. بین هر کوشش تمرینی پنج ثانیه استراحت بود و هر بسته درحدود دو دقیقه طول کشید.

در مرحله سوم، تکالیف گروه‌ها متفاوت بود. گروه‌های نوروفیدبک و ترکیبی تمرین نوروفیدبک داشتند. دامنه موج برای بازخورد موج آلفا (۸ تا ۱۲ هرتز) بود. دامنه پاداش طوری تنظیم شده بود که در ۷۰ درصد مواقع دامنه موج در زیر دامنه میانگین اولیه (خط پایه) موج آلفا بود. در اجرای راهبرد تمرین نوروفیدبک، شرکت‌کنندگان هیچ‌گونه آموزش و دستورالعمل کلامی آشکاری دریافت نکردند و گفته شد که به‌وسیله فرایند نوروفیدبک هدایت خواهند شد. (۱۰). این امواج پس از دریافت روی صفحهٔ نمایشگر ترسیم می‌شوند. تمرین نوروفیدبک به‌شکل بصری به‌وسیله برنامه بیوگراف به‌همراه برنامه نرم‌افزاری در یک رایانه اینتل دوهسته‌ای با صفحه نمایش پانزده اینچی اجرا شد. رایانه امواج مغزی را شبیه‌سازی می‌کرد و به‌عنوان بازی رایانه‌ای با ویدئو به شرکت‌کنندگان نشان می‌داد. شش بازی پس‌خوراندی به حالت تصادفی و هریک به مدت پنج دقیقه اجرا شد. هنگامی که سطوح

1. Baseline

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

امواج مغزی آلفا بیشتر از سطح آستانه پاداش‌دهی قرار داشت، نمادک‌ها متوقف می‌شدند و زمانی که سطوح امواج مغزی آلفا کمتر از آستانه پاداش‌دهی بود، نمادک‌ها حرکت می‌کردند؛ بنابراین مغز باید به‌صورت ضمنی یاد می‌گرفت تا برخی از فعالیت‌های خود را کنترل کند (۱۰). در مرحله چهارم ثبت اطلاعات پایه، امواج مغزی مجدد از تمامی گروه‌ها برای مقایسه اثر تمرین نوروفیدبک بر امواج مغزی گرفته شد.

تمرین حرکتی (ادامه مرحله سوم) برای گروه‌های ترکیبی و حرکتی عبارت بود از بسته‌های تمرینی پیگردی چرخان سه تا هشت. تمامی بسته‌های پیگردی چرخان از یک تا ده از نظر اجرایی مشابه بوده، اما از نظر هدف متفاوت بودند. در قسمت مداخله، گروه کنترل تکلیفی دریافت نکرد. در مرحله پنجم، بسته نهم تکلیف پیگردی چرخان به‌عنوان پس‌آزمون (اکتساب یادگیری) برای تمامی شرکت‌کنندگان اجرا شد. تمامی مراحل یک تا پنج برای هریک از شرکت‌کنندگان در یک روز اجرا شد، اما در مرحله ششم بسته دهم پیگردی چرخان به‌عنوان آزمون پیگیری (یادداری)، پس از ۴۸ ساعت تأخیر و استراحت اجرا شد. این آزمون برای بررسی یادداری (تحکیم یادگیری) در آزمودنی‌ها انجام گرفت.

به‌منظور توصیف و مقایسه عملکرد بین گروه‌ها در مراحل مختلف از آمار توصیفی و برای آزمون فرضیه‌ها از تحلیل کواریانس یک‌راهه استفاده شد. برای تعیین محل تفاوت‌ها از آزمون تعقیبی بنفرونی[1] و برای بررسی اثربخشی متغیرهای مستقل بر اکتساب یادگیری حرکتی رویه‌ای و یادداری از تحلیل کُواریانس اندازه‌های مکرر استفاده شد. تمام محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس نسخه ۲۶[2] انجام گرفت.

نتایج

نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد، داده‌ها توزیع نرمال داشتند. همان‌طورکه در جدول شماره دو مشاهده می‌شود، بیشترین میانگین نمرات زمان باقی‌ماندن بر هدف با دست غیربرتر (چپ) در بین گروه‌های نمونه، در مرحله پس‌آزمون به‌ترتیب به گروه‌های حرکتی، ترکیبی، نوروفیدبک مربوط بود و درنهایت گروه کنترل در جایگاه آخر قرار داشت.

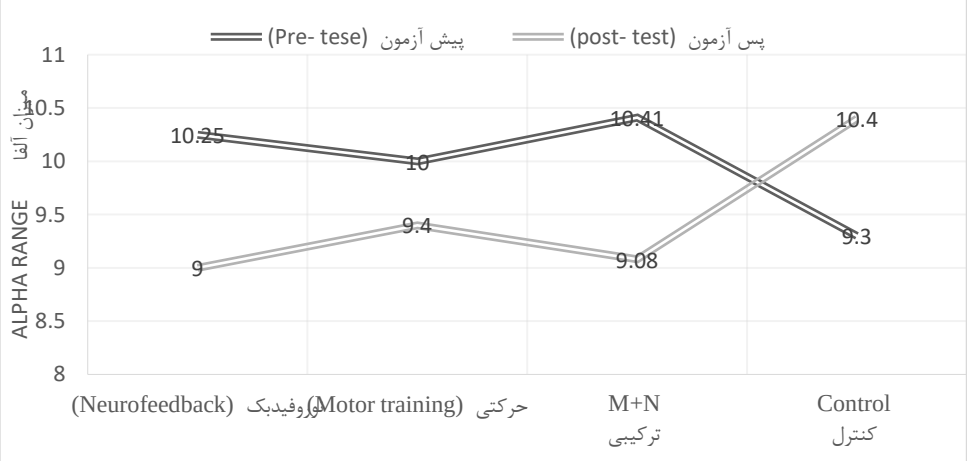
1. Bonferroni
2. SPSS 26

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

جدول ۲- آمار توصیفی برای زمان باقی‌ماندن بر هدف در بین گروه‌ها

Table 2- Descriptive Statistics for time on target within groups

Control کنترل	M+N ترکیبی	Motor training حرکتی	Neurofeedback نوروفیدبک		Group گروه
1266.7	1215.2	1618.4	1134.00	M میانگین	Score of time on target (pretest) block 2 نمرات زمان باقی‌ماندن بر هدف (پیش‌آزمون) بسته ۲
6935	8432	1024	7738.4	SD انحراف معیار	
1754.03	3588.5	3883.2	1915.33	M میانگین	Score of time on target (post test) block 9 نمرات زمان باقی‌ماندن بر هدف (پس‌آزمون) بسته ۹
1091.8	1328.1	2106	1320	SD انحراف معیار	
2495.53	4319.73	4590.23	2254.63	M میانگین	Score of time on target (follow up) block 10 نمرات زمان باقی‌ماندن بر هدف مرحله یادداری بسته ۱۰
1188.53	1852.53	1525.53	1248.03	SD انحراف معیار	



شکل ۱- میزان تغییرات میانگین آلفا در جلسات قبل و بعد از مداخله در بین گروه‌ها

Figure 1- Change of alpha range mean before- after intervention session within groups

در شکل شماره یک، میزان تغییرات آلفا در جلسات قبل و بعد از مداخلهٔ شرکت‌کنندگان در چهار گروه مشاهده می‌شود. تحلیل واریانس یک‌راهه حاکی از آن است که تفاوت بین گروه‌ها در پیش‌آزمون معنادار نبود (P=0.081،F=3.220)، اما تفاوت بین گروه‌ها در پس‌آزمون معنادار بود (P=0.09،F=4.390). آزمون تعقیبی بنفرونی نشان داد، تفاوت بین گروه‌های کنترل و نوروفیدبک معنادار بود (P=0.031) و

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

همچنین تفاوت بین گروه‌های کنترل و ترکیبی معنادار بود (P=0.047)، اما تفاوت بین گروه‌های کنترل و حرکتی معنادار نبود (P=0.218).

تفاوت عملکرد گروهی در زمان باقی‌ماندن بر هدف، در بین بسته اول و دوم، با تحلیل واریانس مکرر دوعاملی (بسته × گروه) بررسی شد و نشان داد، تفاوت معناداری بین بسته‌ها وجود داشت (جدول شماره سه) که حاکی از افت عملکرد در حرکت معکوس‌شدهٔ نشانگر به‌عنوان یک تکلیف جدید بود. به‌علاوه، بین عامل گروهی تفاوت معناداری وجود نداشت.

جدول ۳- نتایج تحلیل واریانس دومتغیری مکرر برای مقایسهٔ پیش‌آزمون‌ها (بسته یک و دو) به‌صورت مجزا و در تعامل با گروه‌ها

Table 3– MANOVA test within (blocks 1&2) × groups

Sig معناداری	F	Value ارزش	Effect اثر	
0.000	1.608	0.801	Pilla`s Trace پیلایی	Block 1 and 2 بسته‌های ۱ و ۲
0.793	0.345	0.025	Pilla`s Trace پیلایی	Blocks 1 and 2 × groups بسته‌های ۱ و ۲ × گروه‌های چهارگانه

براساس جدول شماره چهار و ستون معناداری می‌توان فرض صفر را (یعنی برابری میانگین در بین بسته‌ها و گروه‌ها) رد کرد؛ زیرا مقدار معناداری کوچک‌تر از حداقل احتمال خطای نوع اول بود (P<0.005)؛ درنتیجه همه آماره‌های آزمون نیز به رد فرض صفر رأی دادند.

جدول ۴- نتایج تحلیل واریانس چند متغیری مکرر برای آزمون معناداری تفاوت‌های بین گروه‌ها در مراحل پیش‌آزمون، اکتساب و یادداری

Table 4- MANOVA test of hypothesis (repeated measure)

Observed power توان آزمون	Effect size اندازه اثر	Sig معناداری	Error df درجه آزادی خطا	Hypothesis df درجه آزادی فرضیه	Value ارزش	Effect اثر	
0.971	0.241	0.001	80	6	0.481	Pilla`s trace پیلایی	Block× group بسته ×گروه

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

در بررسی پیش‌فرض‌های تحلیل واریانس مکرر، تحلیل دو به دو و میانگین حاشیه‌ای برای بررسی فرض کرویت[1] متغیرها آزمون موچلی[2] به کار رفت. نتایج نشان می‌دهد، این آزمون معنادار نبود (P=0.682، 0.981=موچلیw، 0.765=مجذور خی‌دو)؛ یعنی واریانس مقادیر متغیر وابسته در بین گروه‌ها در هریک از سطوح متغیر عامل یا گروه‌ها، ثابت و برابر بود؛ بنابراین نتایج به‌دست‌آمده از آزمون فرض کرویت (اسپرسیتی اسامد)[3] در بعد زمان به‌جای سایر آزمون‌ها به کار گرفته شد. مطابق با ستون معناداری آزمون اثرات درون‌گروهی، فرض صفر رد شده و تأثیرگذاری سطوح متغیر عامل بر متغیر وابسته به‌خوبی مشخص شده است (F= 5.637، P= 0.000). در آزمون معناداری اثرات متغیر عامل در سطوح مختلف بر متغیر وابسته، روند تغییرات میانگین در سطوح مختلف متغیرهای عامل را می‌توان یک ترکیب خطی[4] در نظر گرفت (F=8.474، P=0.000).

برای مقایسه دو به دوی میانگین‌ها در بین گروه‌ها در طول عامل‌ها (پیش‌آزمون، اکتساب و یادداری) با توجه به تعداد آزمودنی‌ها از آزمون بنفرونی استفاده شد که نتایج آن در جدول شماره پنج ارائه شده است. مشاهده می‌شود که گروه‌های نوروفیدبک و حرکتی و نیز دو گروه نوروفیدبک و ترکیبی با همدیگر تفاوت معناداری داشتند، اما دو گروه نوروفیدبک و کنترل و همچنین دو گروه حرکتی و ترکیبی با همدیگر تفاوت معناداری نداشتند. دو گروه حرکتی و کنترل با همدیگر تفاوت معناداری داشتند، اما دو گروه ترکیبی و کنترل تفاوت معناداری با همدیگر نداشتند؛ بر این اساس می‌توان گفت، اثر تمرین نوروفیدبک (سرکوب موج آلفا) و حرکتی (تمرین پیگردی چرخان) بر اکتساب و یادداری حرکتی رویه‌ای دانش‌آموزان ۱۱ تا ۱۳ ساله متفاوت بوده است. با مراجعه به جدول شماره دو (داده‌های توصیفی) و نتایج جدول شماره پنج می‌توان ادعا کرد که اثر تمرین حرکتی بر تسهیل و تحکیم یادگیری حرکتی رویه‌ای دانش‌آموزان ۱۱ تا ۱۳ ساله، افزایشی بود و اثر تمرین نوروفیدبک بر اکتساب و یادداری حرکتی رویه‌ای دانش‌آموزان ۱۱ تا ۱۳ ساله معنادار نبود.

1. Sphericity
2. Mauchly’s Statistics
3. Sphericity Assumed
4. Linear

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

جدول ۵- مقایسه‌های دوگانه گروه‌ها در مراحل پیش‌آزمون، اکتساب و یادداری

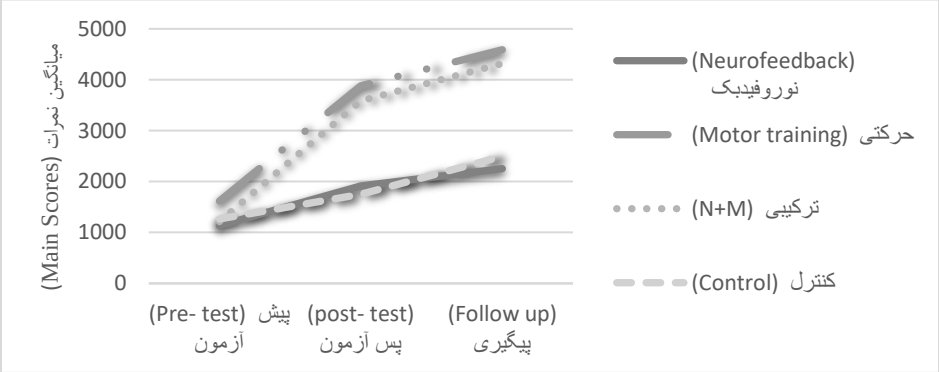
Table5- Multiple Comparisons in pre-test, learning and consolidation

Confidence interval فاصله اطمینان		Sig معناداری	Std. error خطای انحراف معیار	Mean difference اختلاف میانگین		Group گروه
Upper bound کران بالا	Lower bound کران پایین					
-283.3460	-2908.5951	0.010	4728.72	-1595.9706	M حرکتی	Neurofeedback نوروفیدبک
-21.6357	-2524.7126	0.044	4508.62	-1273.1742	N+M ترکیبی	
1241.8424	-1383.4068	1.000	4728.72	-70.7822	C کنترل	
2908.5951	283.3460	0.010	4728.72	1595.9706	N نوروفیدبک	Motor training حرکتی
1635.4210	-989.8282	1.000	4728.72	322.7964	N+M ترکیبی	
2896.1800	154.1967	0.022	4938.92	1525.1883	C کنترل	
2524.7126	21.6357	0.044	4508.62	1273.1742	N نوروفیدبک	N+M ترکیبی
989.8282	-1635.4210	1.000	4728.72	-322.7946	M حرکتی	
2515.0165	-110.2326	0.090	4728.72	1202.3919	C کنترل	
1383.4068	-1241.8424	1.000	4728.72	70.7822	N نوروفیدبک	Control کنترل
-154.1967	-2896.1800	0.022	4938.92	-1525.1883	M حرکتی	
110.2326	-2515.0165	0.090	4728.72	-1202.3919	N+M ترکیبی	

*P≤0.05

در ادامه، نمودار روند تغییرات میانگین متغیر وابسته در گروه‌های مختلف ارائه شده است.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen



شکل ۲- نمودار زمان باقی‌ماندن بر هدف گروه‌ها در مراحل پیش‌آزمون، اکتساب و یادداری

Figure 2- Time on target in groups in, pre-test, learning, and consolidation

به‌طورکلی همان‌طورکه در شکل شماره دو مشاهده می‌شود، میانگین چهار گروه در مرحله پیش‌آزمون نسبتاً همسان بود و تفاوت معناداری نداشت. همه گروه‌ها در مرحله اکتساب روند افزایشی داشتند که احتمال اثر پیش‌آزمون را نشان می‌دهد. نکته مهم این است که تفاوت گروه‌های کنترل و نوروفیدبک معنادار نبود و میانگین گروه ترکیبی کمتر از میانگین گروه حرکتی بود؛ اگرچه این تفاوت معنادار نبود. در مرحله یادداری، گروه‌های حرکتی و ترکیبی فاصله میانگین‌های خویش را حفظ کردند، اما میانگین گروه نوروفیدبک کمتر از گروه کنترل بود؛ هرچند این تفاوت معنادار نبود.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر تمرینات نوروفیدبک و حرکتی بر اکتساب و یادداری (تحکیم) عملکرد حرکتی رویه‌ای در دانش‌آموزان ۱۱ تا ۱۳ ساله بود. پروتکل نوروفیدبک شامل کاهش موج آلفا در منطقه C4 افراد، بلافاصله قبل از شروع تمرین مهارت حرکتی انجام شد. زیربنای استفاده از این پروتکل، نتایج پژوهشی بود که رز[1] و همکاران انجام داده بودند که براساس آن، بین کاهش آلفا قبل از جلسات یادگیری و میزان اکتساب و یادداری رابطه وجود داشت (۵).

تغییر امواج مغزی: به‌طورکلی، نتایج بررسی برنامه سرکوب باند فرکانسی موج آلفا در گروه‌های آزمایشی در زمان‌های قبل و بعد از تمرین حاکی از اثربخشی تمرین کاهش آلفا بود و برنامه تمرین کاهش آلفا در هر دو گروه آزمایشی (نوروفیدبک و ترکیبی) موفق بود و دامنه آلفا کاهش معناداری داشت؛ بر این

1. Ros

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

اساس می‌توان تمرینات نوروفیدبک را به‌عنوان یک روش غیرتهاجمی در کنترل (سرکوب) موج آلفا در منطقه حسی-حرکتی (C4) دانش‌آموزان (۱۱ تا ۱۳ ساله) مؤثر دانست. این یافته با یافته‌های مطالعات نوروزی و همکاران (۴)، رز و همکاران (۱۵، ۵)، سپهری و همکاران (۳۰) و قاسمیان‌مقدم و همکاران (۳۱) هم‌راستاست. با توجه به این نتایج، اثرات متعاقب و موردانتظار این تغییرات در عملکرد حرکتی افراد بررسی شد.

تغییرات عملکرد افراد در طول مراحل اکتساب: نتایج نشان داد، در جلسه پیش‌آزمون در متغیر زمان باقی‌ماندن بر هدف، تفاوت معناداری بین چهار گروه وجود نداشت؛ بنابراین هرگونه افزایش عملکرد را می‌توان ناشی از برنامه نوروفیدبک یا کوشش‌های تمرینی یادگیری حرکتی رویه‌ای نسبت داد. براساس نتایج ذکرشده، عملکرد افراد در مرحله اکتساب در تمامی گروه‌ها در طول دوره اکتساب پیشرفت داشت؛ بر این اساس می‌توان گفت که تمرینات نوروفیدبک یا حرکتی در تمامی افراد باعث پیشرفت عملکرد شد. از سوی دیگر، در تمامی گروه‌ها پیشرفت در زمان باقی‌ماندن بر هدف مشاهده شد و با وجود برتری ظاهری‌ای که گروه تمرین نوروفیدبک در مقایسه با گروه کنترل در طول تمرین داشت، اما هیچ تفاوت معناداری بین این دو گروه در طول مرحله اکتساب مشاهده نشد. نتایج نشان داد، گروه‌های حرکتی و ترکیبی در مقایسه با گروه‌های نوروفیدبک و کنترل در مرحله اکتساب عملکرد بهتری نشان دادند و تفاوت معناداری داشتند. این تفاوت در این دو گروه در مقایسه با گروه‌های دیگر در مرحله یادداری نیز به‌طور معناداری حفظ شد. این نتایج با یافته‌های مطالعات راس و همکاران (۱۵، ۵)، سپهری و همکاران (۳۰) و قاسمیان‌مقدم و همکاران (۳۱) همسوست. در مقایسه نتایج عملکرد گروه نوروفیدبک با گروه کنترل تفاوت معناداری مشاهده نشد. شایان ذکر است، مشاهده‌نشدن تفاوت معنادار بین گروه نوروفیدبک و کنترل در مرحله اکتساب و یادداری را می‌توان به رابطه بین عملکرد حرکتی و انگیختگی و به وجود حد بهینه‌ای از تحریک‌پذیری مؤثر بر عملکرد مربوط دانست. براساس شواهد موجود، سطح انگیختگی کمتر یا بیشتر از حد باعث افت عملکرد می‌شود (۳۳)؛ ازاین‌رو به نظر می‌رسد، برای بهبود عملکرد در نتیجه افزایش تحریک‌پذیری قشر حرکتی نیز سطح بهینه‌ای از تحریک وجود دارد که می‌تواند در پژوهش‌های آینده بررسی شود.

یافته‌ها نشان داد، اثر تمرین حرکتی بر اکتساب و یادداری تکلیف حرکتی رویه‌ای دانش‌آموزان ۱۱ تا ۱۳ ساله افزایشی بود و اثر تمرین نوروفیدبک بر اکتساب و یادداری تکلیف حرکتی رویه‌ای دانش‌آموزان ۱۱ تا ۱۳ ساله معنادار نبود. این یافته با یافته‌های پژوهش ژانت[1] و همکاران همسوست. آن‌ها اشاره

1. Jeunet

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

کردند، به‌طور آشکار همبستگی بین تحریک‌پذیری مغز با استفاده از نوروفیدبک و درنتیجهٔ آن افزایش مهارت‌های حرکتی را مشاهده نکردند (۳۴). همچنین یافتهٔ مذکور پژوهش با نتایج مطالعات لندرز و همکاران (۲۴)، ورنون[1] (۳۴) و آلوس پینتو[2] (۳۵) که نشان داد، هیچ همبستگی معناداری با کاهش در زمان واکنش با تمرین نوروفیدبک مشاهده نشد، همسوست؛ درحالی‌که با یافته‌های پژوهش‌های راس و همکاران (۱۵) و قاسمیان‌مقدم و همکاران (۳۱) ناهمسوست. دلیل این ناهمسویی را می‌توان به تفاوت در دامنه سنی نمونه‌ها، تکلیف استفاده‌شده، میزان مهارت و ورزشکاربودن افراد نمونه پژوهش آن‌ها نسبت داد و همچنین تعداد جلسات نوروفیدبک که در پژوهش حاضر مدت‌زمان تمرین، یک جلسه ۳۰ دقیقه‌ای بود.

تکلیف پیگردی چرخان با ماوس به‌شکل معکوس با دست غیربرتر (چپ) برای دانش‌آموزان ۱۱ تا ۱۳ ساله فاقد وسایل هوشمند که هیچ تجربه قبلی در این زمینه‌ها نداشتند، یک تکلیف پیچیده است که به عبور از مرحله شناختی نیاز دارد و هنوز برای سازگاری با تکلیف و واردشدن به مرحله خودکار فاصله زیادی دارد. از طرفی محمدزاده و صالحی معتقدند، آموزش بازخورد عصبی به تأثیرگذاری چشمگیر بر فعالیت EEG قادر است، اما به‌سهولت نمی‌تواند بر عملکرد شناختی تأثیر بگذارد. درحقیقت، موج آلفا نشان‌دهندهٔ حالت استراحت مغز در حالت بیداری است و برای حفظ موج آلفا باید بین آرام‌سازی و گوش‌به‌زنگی تعادل ایجاد شود. درواقع، موج آلفا حالت هوشیاری خالص و بدون انجام‌دادن کار است (۳۷).

بنابراین براساس نتایج این پژوهش نمی‌توان ادعا کرد که تمرین نوروفیدبک (سرکوب موج آلفا) بر اکتساب و یادداری حرکتی رویه‌ای دانش‌آموزان ۱۱ تا ۱۳ ساله اثر دارد؛ نتایج این پژوهش با یافته مطالعات لندرز و همکاران (۲۴)، سپهری و همکاران (۳۰)، قاسمیان و همکاران (۳۱)، ژانت و همکاران (۳۳) و ورنون (۳۴) هم‌راستاست. آن‌ها بیان کردند، امکان بهبود برخی از جنبه‌های مهم عملکرد فیزیکی یا شناختی از طریق استفاده از آموزش نوروفیدبک وجود دارد، ولی در ادامه بیان کردند که ارتباط روشن بین نوروفیدبک و افزایش عملکرد وجود ندارد. مطابق با مدل فیتز و پوسنر (۱۹۶۷) در تبیین نتایج می‌توان گفت، افراد مبتدی به‌دلیل قرارگرفتن در سطح اول یادگیری (مرحله شناختی) و آشنانبودن با تمرین‌ها و اختصاص منابع توجهی بیشتر در اکتساب و یادداری، نتایج موفقیت آمیزی

1. Vernon
2. Alves-Pinto

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

کسب نکردند. براساس نظریه سیستم‌های پویا (برنشتاین[1]، ۱۹۶۷)، مدل سه‌مرحله‌ای وریجن[2] (۱۹۹۱) چالش اصلی یادگیرنده در مراحل یادگیری سطح مبتدی، مشکل درجات آزادی یعنی چگونگی کنترل عضلات و مفاصل، سطح پیشرفته[3]، رهاسازی هرچه‌بیشتر درجات آزادی سیستم‌های حرکتی درگیر برای کسب الگوهای هماهنگی بیشتر و در سطح ماهر، بهره‌برداری از نیروهای درونی و بیرونی به شیوه‌های معنادار برای اثربخشی حرکت، در نظر گرفته می‌شود (۳۸). این مراحل یادگیری، با نظریه کارایی عصبی (دل پرسیو، ۲۰۰۹) هماهنگ است که بیان می‌کند، افراد ماهر با صرف انرژی کمتر در مقایسه با افراد مبتدی عمل واحدی را انجام می‌دهند (۲۸)؛ بر این اساس می‌توان دریافت که افراد مبتدی در یادگیری و اجرای حرکات رویه‌ای در منطقه C4 از موج آلفای بیشتری بهره می‌برند و چنانچه با استفاده از تمرین نوروفیدبک این موج سرکوب شود، موجب تضعیف عملکرد یادگیرندگان خواهد شد.

اجرای این پژوهش مانند هر پژوهش دیگری محدودیت‌هایی داشت که ازجمله به محدودبودن تعداد نمونه‌ها می‌توان اشاره کرد.

پیام مقاله

تمرین عملی برای سنین کمتر و افراد مبتدی، شیوه آموزش و تمرین مناسبی است، ولی اثر مثبت استفاده از نوروفیدبک به‌صورت سرکوب موج آلفا در منطقه C4 به‌رغم تأیید آن برای افراد بزرگسال و ماهر در پژوهش‌های قبلی، برای افراد نوجوان مبتدی تأیید نشد؛ بنابراین با توجه به یافته‌های این پژوهش، شیوه تمرین مستقیم برای سنین کمتر، مناسب‌تر است.

تشکر و قدردانی

از همه مسئولان محترم مدارس شهری و روستایی، دانش‌آموزان و اولیای گرانقدر که در اجرای این پژوهش ما را یاری کردند، قدردانی می‌شود.

1. Bernstein
2. Vereijken
3. Advanced Stage of Learning

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

منابع

1. Krakauer JW, Hadjiosif AM, Wong AL, Xu J, Haith AM. Motor Learning. (2019). Compr Physiol. 2019;9(2):613-663.
2. Vine SJ, Moore LJ, Cooke A, Ring C, Wilson MR. Quiet eye training: a means to implicit motor learning. International Journal of Sport Psychology. 2013;44(4):367-86.
3. Gardner F, Moore Z. Clinical sport psychology. Champaign: Human Kinetics; 2006. ISBN:9780736053051, 0736053050
4. Norouzi E, Hosseini F S, Vaezmosavi M, Gerber M, Pühse U & Brand S. effects of quiet mind training on alpha power suppression and fine motor skill acquisition. J Mot Behav. 2018;53(1):1-10. doi: 10.1080/00222895.2018.1528203.
5. Ros T, Munneke M, Parkinson L, & Gruzelier J. Neurofeedback facilitation of implicit motor learning. Biological Psychology.2014;95:54–8.
6. Lam W, Maxwell J, & Masters R. Analogy versus explicit learning of a modified basketball shooting task: Performance and kinematic outcomes. Journal of Sports Sciences. 2009;27(2):179–91.
7. Masters R S. Knowledge, knerves and know-how: the role of explicit versus implicit knowledge in the breakdown of a complex motor skill under pressure. British Journal of Psychology. 1992;83(3):343–58.
8. Schmidt RA, Lee T, Winstein C, Wulf G, & Zelaznik H. Motor control and learning. Champaign, IL: Human Kinetics;2018. ISBN-13978-1492547754
9. Cohen NJ, Squire LR. Preserved learning and retention of pattern analyzing skills in amnesia: dissociation of knowing how and knowing that. Science. 1980; 210:207–10.
10. Demos JN. Getting stated with neurofeedback. New York, London: W.W. Norton & Company; 2005. ISBN-13978-0393704501
11. Klimesch W, Doppelmayer M, Schwaiger J, Auinger P, Winkler T. Paradoxical alpha synchronization in a memory task. Cogn. Brain Res. 1999; 7:491–501.
12. Pfurtscheller G, Stancak A, Neuper, C. Event-related synchronization (ERS) in the alpha band - an electrophysiological correlate of cortical idling: a review. Int J Psychophysiol. 1996; 24:39–46.
13. Smith ME, McEvoy LK, Gevins A. Neurophysiological indices of strategy development and skill acquisition. Cogn Brain Res. 1999; 7:389–404.
14. Chuang LY, Huang CJ, Hung TM. The differences in frontal midline theta power between successful and unsuccessful basketball free throws of elite basketball players. International Journal of Psychophysiology. 2013;90(3):321-8.
15. Ros T, Munneke MA, Ruge D, Gruzelier JH, Rothwell JC. Endogenous control of waking brain rhythms induces neuroplasticity in humans. European Journal of Neuroscience, 2010;31(4):770-8.
16. Taheri M, Noorian F. The effect of neurofeedback training on sleep quality and psychological skills of athletes with psychophysiological approach. Journal of Motor Learning and Movement. 2017;9(2):239-51. (In Persian)

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

17. Cooke A, Gallicchio G, Kavussanu M, Willoughby A, McIntyre D, & Ring C. Premovement high-alpha power is modulated by previous movement errors: Indirect evidence to endorse high-alpha power as a marker of resource allocation during motor programming. Psychophysiology. 2015;52(7):977–81.
18. Gallicchio G, Cooke A, & Ring C. Lower left temporal- frontal connectivity characterizes expert and accurate performance: High-alpha T7-Fz connectivity as a marker of conscious processing during movement. Sport, Exercise, and Psychology. 2016;5(1):14-24.
19. Park JL, Fairweather MM, Donaldson DI. Making the case for mobile cognition: EEG and sports performance. Neuroscience & Biobehavioral Reviews. 2015;31(52):117-30.
20. Klimesch W. Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. Trends in Cognitive Sciences. 2012;16(12):606–17.
21. Mikicin M, Kowalczyk M. Audio-Visual and autogenic relaxation alter amplitude of alpha EEG band, causing improvements in mental work performance in athletes. Appl Psychophysiol Biofeedback. 2015; 40:219–27.
22. Zhu FF, Poolton JM, Wilson MR, Maxwell JP, Masters RS. Neural co-activation as a yardstick of implicit motor learning and the propensity for conscious control of movement. Biological Psychology. 2011;87(1):66-73.
23. Janelle CM, Hillman CH, Apparies RJ, Murray NP, Meili L, Fallon EA, et al. Expertise differences in cortical activation and gaze behavior during rifle shooting. Journal of Sport and Exercise Psychology. 2000;22(2):167-82.
24. Landers DM, Petruzzello SJ, Salazar W, Crews DJ, Kubitz KA, Gannon TL, et al. The influence of electrocortical biofeedback on performance in pre-elite archers. Medicine & Science in Sports & Exercise. Med Sci Sports Exerc. 1991 Jan;23(1):123-9.
25. Rienhoff R, Baker J, Fischer L, Strauss B, & Schorer J. Field of vision influences sensory-motor control of skilled and less-skilled dart players. Journal of Sports Science and Medicine. 2012;11(3):542 –550.
26. Vickers JN. Perception, cognition, and decision training: the quiet eye in action Champaign, IL: Human Kinetics; June 2007: Publisher: Human Kinetics Publishers. ISBN: 13:978-0-7360-4256-7
27. Vine SJ, Wilson MR. The influence of quiet eye training and pressure on attention and visuo-motor control. Acta Psychologica. 2011;136(3):340–6.
28. Del Percio C, Infarinato F, Iacoboni M, Marzano N, Soricelli A, Aschieri P, et al. Movement-related desynchronization of alpha rhythms is lower in athletes than non-athletes: a high-resolution EEG study. Clin Neurophysiol . 2010;121(4):482-91.
29. Piper BJ. Age, handedness, and sex contribute to fine motor behavior in children . Journal of Neuroscience Methods. 2011;195(1):88-91.
30. Noguchi T, Demura S, Nagasawa Y, Uchiyama M. Influence of measurement order by dominant and nondominant hands on performance of a pursuit-rotor task. Perceptual and Motor Skills. 2009;108(3):905-14.

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen

31. Sepehri Bonab H, Mohammadzade H, Ebrahimi Sani S. Procedural motor learning facilitation and consolida-tion by neurofeedback. Motor Behavior. 2018;10(31):129-46. (In Persian).
32. Ghasemian MR, Taheri HR, Saberi Kakhki AR, Ghoshuni M. Effects of alpha suppression and theta enhancement neurofeedback protocols on learning a pursuit tracking task. Journal of Psychophysiology .2016;53(7):965-73.
33. Nitsche MA, Schauenburg A, Lang N, Liebetanz D, Exner C, Paulus W et al. Facilitation of Implicit Motor Learning by Weak Transcranial Direct Current Stimulation of the Primary motor cortex in the human. Journal of Cognitive Neuroscience. 2003;15(4):619-26.
34. Jeunet C, Glize B, McGonigal A, Batail G_M, Micoulaud-Franchi G-A. Review using EEG-based brain computer inter face and neurofeedback targeting sensorimotor rhythms to improve motor skills: Theoretical background, applications and prospects. Neurophysiologie Clinique. 2019;49(2):125-36.
35. Vernon DJ. Can neurofeedback training enhance performance? an evaluation of the evidence with implications for future research. Applied Psychophysiology and Biofeedback. 2005;30(4):347-64.
36. Alves-pinto A, Turova V, Blumenstein T, Hantuschke C, Lampe R.Implicit Learning of a Finger Motor Sequence by Patients with Cerebral palsy after Neurofeedback. Appl Psychophysiol Biofeedback. 2017;42(1):27-37.
37. Mohammad Zadeh H, Salehi M. An introduction to biofeedback application in sport (with an emphasis on neurofeedback): First.Urmia University;2015. P. 105-108. (In Persian).
38. Heydari M, Torabi F. Movement learning. 1st ed.. Tehran: Payam Noor University; 2021. (In Persian).

استناد به مقاله

برزگر کلور فرشته، محمدزاده حسن، نظری محمدعلی. تأثیر نوروفیدبک و تمرین حرکتی بر اکتساب و یادداری عملکرد حرکتی رویه‌ای. بهار ۱۴۰۲؛ ۱۵(۵۱): ۱۱۴-۹۱. شناسهٔ دیجیتال: 10.22089/MBJ.2021.9935.1942

Barzegar Kolour F, Mohammad Zadeh H, Nazari M. A. Effect of Neurofeedback and Motor Training on Acquisition and Consolidation of Procedural Motor Performance. Motor Behavior. Spring 2023; 15 (51): 91-114. (In Persian). Doi: 10.22089/MBJ.2021.9935.1942

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International Public Licen