Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

March & April 2024. Volume 13. Num 1

Research Paper

Effect of Adding Neurofeedback to Neuromuscular Training on Brain Waves in Athletes With Chronic Ankle Instability: A Randomized Clinical Trial

*Ali Yalfani[1], Masoud Azizian[1], Hosein Mohagheghi[2], Mohammad Reza Zoghi Paidar[2], Behnam Gholami-Borujeni[3]

1. Department of Exercise Rehabilitation, Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2. Department of Psychology, Faculty of Economics and Social Sciences, Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran.
3. Department of Sport Biomechanics and Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation Yalfani A, Azizian M, Mohagheghi H, Zoghi Paidar MR, Gholami-Borujeni B. [Effect of Adding Neurofeedback to Neuromuscular Training on Brain Waves in Athletes With Chronic Ankle Instability: A Randomized Clinical Trial (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2024; 13(1):180-193. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.1.12

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.1.12

ABSTRACT

Background and Aims This study evaluated the effects of neuromuscular training compared with neurofeedback and neuromuscular training on brain waves, foot and ankle ability, and pain intensity of table tennis players with chronic ankle instability.

Methods This clinical trial study was conducted on 29 table tennis players with chronic ankle instability, which were randomly divided into combined neurofeedback+neuromuscular (Mean±SD age: 21.73±2.60 years, hieght: 173.42±5.57 cm, wieght: 77.10±10.42 kg) and neuromuscular groups (Mean±SD age: 22.14±2.53 years, Mean±SD height: 169.26±6.77 cm, Mean±SD weight:77.95±15.70 kg). ProComp Infiniti System and BioGraph Infiniti version 5 software were used to measure brain waves and perform neurofeedback protocol. The foot and ankle disability questionnaire and the visual analog scale were employed to assess foot and ankle ability and pain intensity, respectively. The rehabilitation protocol was performed for eight weeks. The paired t test and 1-way analysis of covariance were used for the data analyses.

Results The paired t test results revealed a significant decrease in the amplitude of theta, alpha, and sensorimotor rhythm (SMR) waves in both groups (P<0.05) and an increase in the amplitude of the beta wave only in the combined group (P<0.05). In addition, ankle ability was significantly increased during daily activities and exercise in both groups (P<0.05). On the other hand, the results of a 1-way analysis of covariance indicated a significant difference between the two groups regarding theta and beta amplitudes and degree of ankle disability during exercise, and the improvement was greater in the combined group (P<0.05).

Conclusion According to the results, combined exercises (neuromuscular and neurofeedback) can be used as rehabilitation in table tennis players with chronic ankle instability to correct brain waves, improve leg and ankle ability, and reduce pain.

Keywords Chronic ankle instability, Neurofeedback, Ankle ability, Brain waves, Pain intensity

Received: 15 Apr 2022
Accepted: 30 Apr 2022
Available Online: 20 Mar 2024

Corresponding Author:
Ali Yalfani, Professor.
Address: Department of Sport Injury and Corrective Exercises, Faculty of Sport Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
Tel: +98 (81) 38303241
E-Mail: yalfani@basu.ac.ir

Copyright © 2024 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Scientific Journal of
Rehabilitation Medicine

Extended Abstract

Introduction

Lateral ankle sprain is one of the most common musculoskeletal injuries, with a high prevalence among athletes. Chronic ankle instability is one of the most important side effects of this injury. Table tennis is considered among the most popular sports in the world, where the incidence of ankle joint injuries is reported to be about 13%. Unfortunately, half of all athletes do not seek any rehabilitation after the first lateral ankle sprain. Recent neurophysiological evidence suggests that musculoskeletal injuries may cause neuromechanical complications in patients. Previous studies also believe that the first lateral ankle sprain damages the sensory endings of the joint and disrupts the central nervous system, thereby altering the sensorimotor system as a whole.

Given that the sensorimotor system after injury needs proper rehabilitation, one of the new strategies in rehabilitation is neurofeedback training, which helps patients consciously control brain waves. These exercises are a biofeedback technique used to learn to regulate cortical activation patterns. On the other hand, neuromuscular training is also an effective rehabilitation method for improving foot instability. Therefore, in this study, we tried to find a way to more effectively rehabilitate chronic ankle instability in elite athletes by combining neurofeedback and neuromuscular training. Hypothesizing that the combination of neurofeedback and neuromuscular training improves brain waves, foot and ankle disability index, and pain intensity in athletes with chronic ankle instability, we examined the effect of a combination of neurofeedback and neuromuscular training on dependent variables in elite table tennis players with chronic ankle instability.

Materials and Methods

The present quasi-experimental study was conducted on 29 table tennis players with chronic ankle instability. They were randomly divided into two combined (neurofeedback+neuromuscular) and neuromuscular groups. In this study, the examiner and participants were blind. The participants in both groups were unaware of the other group's existence and application of the protocol in the other group and assumed that the main protocol applied to them. Before the study, the study objectives and methodology were explained to the participants. In this study, 8-channel ProComp Infiniti System (with ProComp hardware) and BioGraph Infiniti version 5 software (Thought Technology Ltd., Canada, at a sampling rate of 256 Hz and 5 Ʊ electrode resistance) were used to measure brain waves and perform neurofeedback rehabilitation protocol. The brain waves were recorded according to the international 10-20 system in O1 and O2 regions with open eyes in the pretest and posttest in both groups. The foot and ankle disability index and the visual analog scale were employed to assess foot and ankle ability and pain intensity, respectively. The visual analog scale was measured by drawing a 10 cm line, grading the pain intensity expressed as a number (each cm) between 0 (no pain) and 10 (worst possible pain). The neuromuscular rehabilitation intervention in the present study was performed for eight weeks, with three sessions per week, each lasting 30 minutes. For neurofeedback training, the electrodes were positioned on the points O1 and O2, and beta brainwaves increased, and theta brainwaves decreased.

Results

The paired t test results showed that both combined and neuromuscular training decreased the theta wave amplitude ($P<0.001$ for the combined group; $P<0.005$ for the neuromuscular group), alpha wave amplitude ($P=0.004$ for the combined group; $P=0.005$ for neuromuscular group), and sensorimotor rhythm (SMR) waves ($P=0.005$ for the combined group; $P=0.002$ for the neuromuscular group) as well as increased the beta wave amplitude in the combined group ($P<0.001$) among table tennis players with chronic ankle instability. The 1-way analysis of covariance results indicated a significant difference between the two groups in the theta ($P=0.015$) and the beta ($P<0.001$) wave amplitudes. Based on the paired t test results, the combined and neuromuscular training significantly improved foot and ankle ability during daily activity ($P<0.001$ for the combined group; $P=0.001$ for the neuromuscular group) and ankle ability during exercise ($P<0.001$ for the combined group; $P=0.001$ for the neuromuscular group) and pain intensity ($P<0.001$ for the combined group; $P<0.001$ for the neuromuscular group). The results of the 1-way analysis of covariance indicated a significant difference in the degree of ankle ability during exercise ($P=0.025$) between the two groups.

Conclusion

This study aimed to investigate the effects of neurofeedback and neuromuscular training on foot and ankle disability, brain waves, and pain intensity among table tennis players with chronic ankle instability. The results showed that adding a neurofeedback protocol could affect brain waves, so combined training was more effective than neuromuscular training. One of the mechanisms involved

Yalfani A, et al. Effect of Neurofeedback Training on Brain Waves, Foot and Ankle Ability Indexes, and Pain of Athletes With Chronic Ankle Instability. Sci J Rehab Med. 2024; 13(1):180-193.

in developing chronic ankle instability is neurocognitive dysfunction of the brain. Chronic joint injuries, such as chronic ankle instability, alter motor control in the central nervous system. The central nervous system changes are one of the important factors in neurophysiological mechanisms in chronic ankle instability patients. Neurofeedback helps the patient optimize brain activity by providing visual feedback, which leads to improved visual-spatial cognitive function. This mechanism, in turn, improves behavioral performance. Neurofeedback can regulate brain function, improving brain waves and foot and ankle disability.

Based on the results, the present intervention of neurofeedback training can be accompanied by proper activity of the central nervous system by affecting the areas of the cerebral cortex, ultimately leading to pain relief in these individuals. Therefore, combining neurofeedback and neuromuscular training can be more effective than neuromuscular training alone, in addition to brain waves on foot and ankle ability indices during exercise in people with chronic ankle instability. Accordingly, coaches, athletes, and physiotherapists are advised to pay attention to the neurocognitive indicators of athletes after ankle sprains to rehabilitate and properly prevent chronic ankle instability. In addition, the neurofeedback training should be performed in conjunction with routine rehabilitation techniques to rehabilitate people with ankle instability.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved and registered by the Bu-Ali Sina University Ethics Committee (Code: IR.BASU.REC.1400.037) and was registered by the Iranian Registry of Clinical Trials (ID: IRCT20211018052799N1).

Funding

This research received no specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

Conceptualization, design and preparing initial draft: Masoud Azizian and Behnam Gholami-Borujeni; analysis and interpretation of data: Ali Yalfani, Masoud Azizian, and Behnam Gholami-Borujeni; Review and editing: Ali Yalfani and Behnam Gholami-Borujeni; supervision: Ali Yalfani, Hosein Mohagheghi, and Mohammad Reza Zoghi Paydar; Final approval: All authors.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank all participants for their cooperation.

مقاله پژوهشی

تأثیر اضافه کردن نوروفیدبک به تمرینات عصبی‌عضلانی بر امواج مغزی ورزشکاران مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا: یک کارآزمایی بالینی تصادفی‌شده

*علی یلفانی[۱]، مسعود عزیزیان[۱]، حسین محققی[۲]، محمدرضا ذوقی پایدار[۲]، بهنام غلامی بروجنی[۳]

۱. گروه توانبخشی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران.
۲. گروه روانشناسی، دانشکده علوم اقتصادی و اجتماعی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، ایران.
۳. گروه بیومکانیک ورزشی و رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه مازندران، ایران.

Use your device to scan and read the article online

Citation Yalfani A, Azizian M, Mohagheghi H, Zoghi Paidar M, Gholami-Borujeni B. [Effect of Adding Neurofeedback to Neuromuscular Training on Brain Waves in Athletes With Chronic Ankle Instability: A Randomized Clinical Trial (Persian)]. Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2024; 13(1):180-193. https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.1.12

https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.1.12

چکیده

مقدمه و اهداف هدف مطالعه حاضر تأثیر تمرینات عصبی‌عضلانی در مقایسه با تمرینات عصبی‌عضلانی همراه با نوروفیدبک بر امواج مغزی، ناتوانایی پا و مچ پا و شدت درد بازیکنان تنیس روی میز مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا است.

مواد و روش‌ها کارآزمایی بالینی حاضر شامل ۲۹ ورزشکار مرد تنیس روی میز مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا بود که شرکت‌کنندگان به‌صورت تصادفی به دو گروه عصبی‌عضلانی (۱۴ نفر) با میانگین ۲۲/۱۴±۲/۵۳ سال، قد ۱۶۹/۲۶±۶/۷۷سانتی‌متر و وزن ۷۷/۹۵±۱۵/۷۰ و گروه ترکیبی عصبی‌عضلانی و نوروفیدبک (۱۵ نفر) با میانگین ۲۱/۷۳±۲/۶۰ سال، قد ۱۷۳/۴۲ ±۵/۵۷سانتی‌متر و وزن ۷۷/۱۰±۱۰/۴۲ تقسیم شدند. به منظور اندازه‌گیری امواج مغزی و انجام پروتکل نوروفیدبک از دستگاه نوروفیدبک پروکامپ اینفینیتی و نرم‌افزار بیوگراف اینفینیتی نسخه ۵ استفاده شد. جهت ارزیابی شاخص توانایی پا و مچ پا و شدت درد به‌ترتیب از پرسش‌نامه ناتوانی پا و مچ پا و مقیاس بصیری درد استفاده شد. پروتکل توانبخشی به‌مدت ۸ هفته انجام شد. برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از روش آماری تی همبسته و کوواریانس یک‌راهه استفاده شد.

یافته‌ها نتایج آزمون تی همبسته نشان داد که دامنه موج تتا، آلفا و امواج حسی‌حرکتی در هر دو گروه کاهش معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵) و دامنه موج بتا تنها در گروه ترکیبی افزایش معنی‌داری داشته است (P<۰/۰۵). نتایج آزمون تی همبسته افزایش معنی‌داری را در توانایی مچ پا در فعالیت‌های روزانه و ورزش در گروه ترکیبی و گروه عصبی‌عضلانی نشان داد (P<۰/۰۵). از طرفی نیز نتایج آزمون تحلیل کوواریانس یک راهه نشان داد که بین گروه ترکیبی و عصبی‌عضلانی در میزان دامنه تتا و دامنه بتا تفاوت معنی‌داری وجود دارد و اثربخشی در گروه ترکیبی بیشتر بود. همچنین نتایج آزمون کوواریانس یک‌راهه نشان داد که بین گروه ترکیبی و عصبی عضلانی در میزان ناتوانایی مچ پا در ورزش تفاوت معنی‌داری وجود دارد و بهبود در گروه ترکیبی بیشتر بوده است (P<۰/۰۵).

نتیجه‌گیری باتوجه‌به نتایج می‌توان گفت تمرینات ترکیبی (عصبی‌عضلانی و نوروفیدبک) می‌تواند به‌عنوان توانبخشی در بازیکنان تنیس روی میز مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا به منظور اصلاح امواج مغزی، بهبود توانایی پا و مچ پا و کاهش درد استفاده شود.

کلیدواژه‌ها بی‌ثباتی مزمن مچ پا، نوروفیدبک، توانایی مچ پا، امواج مغزی، شدت درد

تاریخ دریافت: ۲۶ فروردین ۱۴۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۰ اردیبهشت ۱۴۰۱
تاریخ انتشار: ۰۱ فروردین ۱۴۰۳

* **نویسنده مسئول:**
دکتر علی یلفانی
نشانی: همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم ورزشی، گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی.
تلفن: ۳۸۳۰۳۲۴۱ (۸۱) ۹۸+
رایانامه: yalfani@basu.ac.ir

Copyright © 2024 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-By-NC: https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه

اسپرین جانبی مچ پا[1] یکی از شایع‌ترین آسیب‌های اسکلتی‌عضلانی است که در بزرگسالان و نوجوانان شیوع بسیار زیادی دارد و بیشتر در شرکت‌کنندگان در فعالیت‌های ورزشی، بدنی و تفریحی اتفاق می‌افتد [۱، ۲]. همچنین میزان عود این آسیب در بیشتر ورزش‌ها به‌عنوان شایع‌ترین آسیب مجدد گزارش شده است [۲] گزارش شد که سالانه بیش از ۱ میلیون نفر به‌دلیل اسپرین‌های جانبی مچ پا به اورژانس‌های ایالات متحده آمریکا مراجعه کرده‌اند [۳]. هزینه‌های درمان در ایالت متحده آمریکا سالانه برای این آسیب نزدیک به ۶/۲ بیلیون دلار تخمین زده شده است[۴].

بااین‌حال، یکی از محبوب‌ترین ورزش‌های دنیا تنیس روی میز است. فدراسیون جهانی تنیس روی میز بازیکنان شرکت‌کننده در این ورزش را حدود ۳۰۰ میلیون نفر گزارش کرده است [۵]. میزان آسیب مفصل مچ پا در این ورزش محبوب حدود ۱۳ درصد گزارش شده است [۶]. باوجوداین، متأسفانه نیمی از ورزشکاران بعد از اولین اسپرین جانبی مچ پا به هیچ‌گونه توانبخشی نمی‌پردازند [۳].

شواهد علمی نشان می‌دهد یکی از مهم‌ترین عوارضی که بعد از اولین اسپرین جانبی مچ پا در بیماران باقی می‌ماند بی‌ثباتی مزمن مچ پا[2] است [۴]. بی‌ثباتی مزمن مچ پا به دو نوع بی‌ثباتی مکانیکی (ناشی از آسیب به لیگامنت که باعث شلی مفصلی می‌شود) و بی‌ثباتی عملکردی (اختلالات عصبی‌عضلانی و حس عمقی) تقسیم‌بندی می‌شوند [۳]. پژوهشگران دلایل مختلفی مانند اختلالات عصبی‌عضلانی، اختلالات حسی ادارکی و احساس خالی کردن پا[3] دررابطه‌با منشأ بی‌ثباتی مزمن مچ پا را شناسایی کرده‌اند [۷]. برخی محققین بر این باورند که بی‌ثباتی عملکردی یک احساس روانی است و عملاً بی‌ثباتی مکانیکی در این بیماران وجود ندارد [۸، ۹]. هیوستون[4] و همکاران نتیجه گرفتند که افراد مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا نسبت به افراد بدون بی‌ثباتی، افزایش ناتوانی در مچ پا در فعالیت‌های روزانه و ورزشی را تجربه می‌کنند [۱۰]. همچنین نتایج یک مطالعه‌ای مروری نظام‌مند در سال ۲۰۱۹ گزارش کرد که درد یکی از عوارض مهم در تعداد زیادی از افراد مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌باشد [۱۱].

بی‌ثباتی مزمن مچ پا باعث اختلال در عملکرد حسی مفصل و تغییرات طولانی‌مدت در کنترل حرکتی می‌شود، شواهد علمی نوروفیزیولوژیکی نشان می‌دهد که آسیب‌های اسکلتی‌عضلانی اثرات عصبی مکانیکی در بیماران ایجاد می‌کند که باعث تغییرات در عملکرد مغز می‌شود [۱۲، ۱۳].

مطالعات گذشته بر این باورند که بعد از اولین اسپرین جانبی مچ پا گیرنده‌های ورودی حسی مفصل آسیب می‌بیند و سیستم عصبی مرکزی[5] را دچار اختلال می‌کند. این اختلال در سیستم عصبی مرکزی نهادینه می‌شود و باعث تغییر در کل سیستم حسی‌حرکتی می‌شود [۱۳، ۱۴]. وارد[6] و همکاران گزارش کردند که تغییرات در سیستم عصبی مرکزی مخصوصاً در قشر حرکتی باعث به‌وجود آمدن اختلالات عصبی عضلانی در این بیماران می‌شود [۱۵]. بنابراین به نظر می‌رسد باتوجه‌به محدودیت‌هایی که بعد از آسیب باقی می‌ماند منطقی است که سیستم عصبی مرکزی برای عملکرد صحیح تنظیم شود و برای انجام توانبخشی مناسب به اصلاح سیستم عصبی مرکزی در این بیماران پرداخته شود [۷].

یکی از روش‌های نوین توانبخشی که اخیراً مورد استفاده محققین قرار گرفته است و می‌تواند سیستم عصبی مرکزی را اصلاح کند تمرینات نوروفیدبک[7] است. این تمرینات با تقویت امواج مغزی تغییرات سیستم عصبی مرکزی را اصلاح می‌کند [۱۶]. اجزای فرکانس‌های امواج مغزی شامل دلتا (کمتر از ۴ هرتز)، تتا (۴-۸)، آلفا (۸-۱۳ هرتز)، (امواج حسی‌حرکتی ۱۳-۱۵ هرتز) و موج بتا (۱۳-۳۰ هرتز) می‌باشند که هرکدام نمایانگر یک عملکرد خاص فیزیولوژیکی در مغز می‌باشند [۱۶]. امواج مغزی بتا به‌عنوان ریتم‌های حسی‌حرکتی، برنامه‌ریزی حرکتی و آمادگی حرکتی می‌باشند [۱۷]. این امواج در حین فعالیت‌های ورزشی، فعالیت‌های ذهنی، حین توجه و تمرکز فعال می‌شوند [۱۸]، اما امواج تتا در حالت‌های روحی روانی و ناکارآمدی مغز فعال و به بالاترین حد فعالیت خود می‌رسند [۱۹]. این تمرینات یک روش بازخورد بیولوژیکی می‌باشند که جهت یادگیری در تنظیم الگوی فعال شدن قشر مغز استفاده می‌شوند [۲۰]. محققین عقیده دارند این تمرینات می‌تواند الگوهای پاتولوژیک مغز که بر اثر آسیب دچار اختلال شده‌اند را بهبود ببخشد [۲۱]. همچنین شواهد علمی نشان می‌دهد این توانبخشی نوین باعث بهبود عملکرد ورزشی و کاهش درد در ورزشکاران با آسیب‌های حاد می‌شود [۲۲].

از طرفی یکی از توانبخشی‌های مؤثر در بهبود بی‌ثباتی مزمن مچ پا، تمرینات عصبی عضلانی هستند که شامل تمرینات تعادلی، حس عمقی و قدرتی می‌باشند [۲۳]. به نظر می‌رسد این تمرینات می‌تواند با بهبود حس عمقی از اسپرین‌های مکرر مچ پا پیشگیری کند [۲۴]. همان‌طورکه اشاره شد بعد از آسیب به لیگامنت‌ها سیستم عصبی مرکزی و سیستم حسی‌حرکتی دچار اختلال می‌شود. تمرینات نوروفیدبک می‌تواند با اصلاح امواج مغزی این اختلالات را بهبود ببخشد [۲۵، ۲۶]. در طراحی پروتکل درمانی در نظر گرفتن هم‌زمان سیستم‌های عصبی و عضلانی‌اسکلتی لازم است [۲۷]. بنابراین ما در این مطالعه سعی

1. Lateral ankle sprain
2. Chronic ankle instability
3. Giving way
4. Hieston
5. Central nervous system
6. Ward
7. Neurofeedback

کردیم که با ترکیب تمرینات نوروفیدبک و عصبی عضلانی راهی برای توانبخشی مؤثرتر بی‌ثباتی مزمن مچ پا در ورزشکاران نخبه پیدا کنیم. ما با این فرضیه که ترکیب تمرینات نوروفیدبک و عصبی عضلانی باعث بهبود و اصلاح امواج مغزی، شاخص ناتوانی پا و مچ پا و شدت درد ورزشکاران مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌شود، به بررسی تأثیر اضافه کردن تمرینات نوروفیدبک به عصبی عضلانی بر متغیرهای وابسته در بازیکنان نخبه تنیس روی میز مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا پرداختیم.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر یک مطالعه کارآزمایی بالینی است. شرکت‌کنندگان در این پژوهش شامل ۲۹ بازیکن مرد تنیس روی میز مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا بودند که در ۳ سال گذشته تمرینات تنیس روی میز را حداقل ۳ جلسه در هفته و به‌مدت ۹۰ دقیقه انجام می‌دادند که به‌صورت تصادفی به دو گروه تمرینات عصبی‌عضلانی و تمرینات ترکیبی (عصبی‌عضلانی و نوروفیدبک) تقسیم شدند. این مطالعه به شکل دو-سوکور انجام شد. به‌دلیل اینکه شرکت‌کنندگان هر دو گروه تمرینات توانبخشی را انجام می‌دادند، همچنین از وجود گروه دیگر و اعمال پروتکل در گروه دیگر اطلاعی نداشتند، تصور می‌کردند که پروتکل اصلی بر آن‌ها اعمال می‌شود. قبل از انجام پژوهش کلیه مراحل مطالعه برای شرکت‌کنندگان شرح داده شد. همچنین این اختیار داده شد که در هر مرحله از پژوهش، به هر دلیلی مایل به ادامه همکاری نبودند، می‌توانند انصراف خود را اعلام کنند، سپس شرکت‌کنندگان فرم‌های رضایت‌نامه را مطالعه و امضاء کردند. این مطالعه براساس معاهده هلسینکی انجام شد و تمامی موارد اخلاق در پژوهش رعایت شدند.

جامعه آماری پژوهش حاضر ورزشکاران تنیس روی میز با دامنه سنی ۱۸ تا ۲۵ سال بودند که پژوهشگر با مراجعه حضوری به باشگاه‌های تنیس روی میز و با کسب اجازه از مربی و آزمودنی‌ها غربالگری اولیه را براساس معیارهای ورود و خروج انجام داد. پس از بررسی‌ها و براساس معیارهای ورود از ۱۲۸ نفر جامعه آماری ۹۹ نفر باتوجه‌به معیارهای ورود و خروج از پژوهش حاضر کنار گذاشته شدند. ۳۰ نفر نمونه آماری با استفاده از نرم‌افزار جی‌پاور[8] (اندازه اثر=۰/۸۰، توان= ۰/۹۵ و α=۰/۰۵) انتخاب شدند و سپس به‌صورت تصادفی در دو گروه ترکیبی (۱۵ نفر در گروه تمرینات عصبی‌عضلانی همراه با نوروفیدبک) و گروه تمرینات عصبی‌عضلانی (۱۵نفر) تقسیم بندی شدند. یکی از آزمودنی‌های گروه عصبی‌عضلانی به‌دلیل غیبت بیش از ۳ جلسه از تحقیق کنار گذاشته شد و درنهایت ۲۹ نفر موفق به اتمام تمرینات و شرکت در پس‌آزمون شدند.

8. G*POWER

معیارهای ورود و خروج از تحقیق

افرادی که حداقل یک مرتبه سابقه اسپرین جانبی مچ پا را داشته‌اند و حداقل ۱۲ هفته از زمان این آسیب آن‌ها گذشته بود، یا احساس خالی کردن مچ پا را طی ۱ سال اخیر حداقل یک مرتبه تجربه کرده بودند به تکمیل پرسش‌نامه کامبرلند[9] پرداختند. این پرسش‌نامه شامل ۹ سؤال می‌باشد و درمجموع ۳۰ نمره دارد. افرادی مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا در نظر گرفته می‌شدند که نمره ۲۴ و کمتر را کسب کرده بودند. معیارهای خروج از تحقیق طی ۶ ماه قبل از انجام پژوهش سابقه آسیب در اندام تحتانی[10]، مشکلات عصبی و عضلانی، شکستگی و جراحی اندام تحتانی بود [۲۸، ۲۹].

اندازه‌گیری امواج مغزی[11]

جهت اندازه‌گیری امواج مغزی و پروتکل توانبخشی نوروفیدبک از دستگاه نوروفیدبک ۸ کاناله مدل پروکامپ اینفینیتی[12] با سخت‌افزار پروکامپ[13] و از نرم‌افزار بیوگراف اینفینیتی[14] نسخه ۵ ساخت شرکت تکنولوژی توگت[15] تولید کشور کانادا با اندازه نمونه‌برداری امواج ۲۵۶هرتز و مقاومت ۵ اهم استفاده شد. قبل از ثبت امواج مغزی و تمرینات نوروفیدبک، متخصص نوروفیدبک توضیحات و نکات ضروری درمورد دستگاه نوروفیدبک و عواملی که باعث کمک به بیماران در مراحل درمانی و ثبت صحیح دیتاها می‌شد، ارائه کرد. امواج مغزی در ناحیه O1 و O2 با چشم باز به‌صورت پیش‌آزمون و پس‌آزمون در هر دو گروه ثبت شد. قبل از ثبت امواج مغزی و جلسات تمرین، وسایلی که باعث ایجاد نویز[16] یا اختلال[17] می‌شوند مانند انگشتر، کمربند، موبایل و کارت بانکی دور از محدوده تمرینی قرار گرفتند. ثبت امواج مغزی به این صورت انجام گرفت که آزمودنی‌ها بر روی صندلی که تعبیه شده بود به‌صورت راحت می‌نشستند و متخصص نوروفیدبک براساس سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰ منطقه O1 و O2 که دقیقاً در پشت سر و نزدیک‌ترین محل به مخچه می‌باشد شناسایی و علامت‌گذاری می‌کرد. بعد از علامت‌گذاری منطقه O1 و O2، لاله‌های گوش توسط ژل ویژه لایه‌بردار نوپرپ[18] تمیز شدند، این پاکسازی‌ها، از آرتیفکت‌های مزاحم که باعث کمک به ثبت دیتاهای صحیح می‌شود، جلوگیری می‌کنند. در ادامه الکترود فعال توسط چسب مخصوص ۱۰-۲۰ کوناکتیو در منطقه O1 و الکترود رفرنس در منطقه O2 چسبانده می‌شدند و درنهایت

9. Combrand Questionnaire
10. Lower Limb
11. Electroencephalogram (EEG)
12. ProComp infiniti
13. ProComp2
14. Biograpth infiniti
15. Thought Technology
16. Noice
17. Artifact
18. Nuprep

۱: ایستادن تک پا با خم شدن زانو

۲: ایستادن رو انگشتان پا

۳: ایستادن تک پا

۴: وضعیت دوندگان

۵: نوسان متقاطع پا

۶: راه رفتن روی پنجه پا

تصویر ۱. پروتکل تمرینی عصبی عضلانی

طب توانبخشی

الکترود گراند به تراگوس راست (گوش راست) متصل شد.

قبل از انجام ارزیابی امواج مغزی جهت ثبت صحیح داده‌ها و جلوگیری از امواج مزاحم به آزمودنی‌ها آموزش داده شد که از پلک زدن، جابه‌جا شدن، بستن چشم‌ها، صحبت کردن و تکان دادن سر پرهیز کنند. مدت‌زمان ثبت امواج مغزی۲ دقیقه و ۱۰ ثانیه بود. بعد از اتمام اندازه‌گیری امواج مغزی متخصص نوروفیدبک به حذف نویز یا آرتیفکت‌های مزاحم پرداخت. سپس تحلیل دیتاها صورت گرفت [۲۶].

ابزار شاخص ناتوانایی پا و مچ پا[19]

ابزار شاخص ناتوانی پا و مچ پا یک ابزار اندازه‌گیری معتبر برای سنجش ناتوانی ورزشکاران مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌باشد. این ابزار شامل ۳۴ سؤال و به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول به فعالیت‌های روزمره مربوط می‌باشد که دارای ۲۶ سؤال است. بخش دوم به فعالیت‌های خاص ورزشی می‌پردازد که ۸ سؤال می‌باشد. هر سؤال در مقیاس ۵ امتیازی لیکرت[20] (۰-۴) امتیازبندی شد. امتیاز (۰) داشتن مشکل را بیان می‌دارد و امتیاز (۴) عدم وجود مشکل در انجام فعالیت‌ها را نشان می‌دهد. نمره بالاتر نشان‌دهنده نبود اختلال در عملکرد پا و مچ پا می‌باشد [۳۰].

مقیاس دیداری درد[21]

برای اندازه‌گیری شدت درد از یک خط کش ۱۰سانتی‌متری استفاده شده است. عدد (۰) هیچ‌گونه دردی را نشان نمی‌دهد. عدد ۱ تا ۳ درد خفیف، عدد ۴ تا ۶ درد متوسط و عدد ۷ تا ۱۰ درد شدید را بیان می‌کند. پایایی داخلی برای این مقیاس ۸۵ تا ۹۵ درصد گزارش شده است [۳۱].

پروتکل تمرینی عصبی‌عضلانی

مداخله توانبخشی عصبی‌عضلانی در پژوهش حاضر به‌مدت ۸ هفته، ۳ جلسه در هفته و هر جلسه به‌مدت ۳۰ دقیقه انجام شد [۲۴]. نحوه انجام پروتکل عصبی‌عضلانی در تصویر شماره ۱ و مشخصات کامل تمرینات در جدول شماره ۱ ارائه شده است. این تمرینات شامل

۱. ایستادن تک‌پا همراه با خم شدن زانو[22] (در سطح صاف، سطح ناهموار و روی تخته تعادل)،

۲. ایستادن روی انگشتان[23] (با کمک دست و بدون کمک دست)،

19. Foot and Ankle Disability Index (FADI)
20. Likert scale

21. Visual scale of pain (VAS)
22. One-legged knee flexion
23. Toe stand

جدول ۱. پروتکل تمرینات عصبی عضلانی

برنامه تمرینی		تمرین ۱	تمرین ۲	تمرین ۳	تمرین ۴	تمرین۵	تمرین۶
هفته	اول و دوم	۱۰تکرار۱ ست	۱۰ تکرار ۱ ست	۱۵ ثانیه	۸ تکرار ۱ ست	۱۰ تکرار ۱ ست	۳۰ ثانیه
	سوم و چهارم	۲ تکرار ۱۰ ست	۱۰ تکرار ۱ست	۲۰ ثانیه	۸ تکرار ۳ ست	۱۰ تکرار ۳ ست	۳۰ ثانیه
	پنجم و ششم	۳ تکرار ۱۰ ست	۱۰ تکرار ۳ ست	۳۰ ثانیه	۱۰ تکرار ۳ ست	۱۰ تکرار ۳ ست	۱ دقیقه
	هفتم و هشتم	۱۲تکرار ۳ ست	۱۰ تکرار ۳ ست	۳۰ ثانیه	۱۰ تکرار ۳ ست	۱۲ تکرار ۳ ست	۱دقیقه

طب توانبخشی

۳. ایستادن تک پا[24] (سطح صاف، سطح ناهموار با چشم بسته و روی تخته تعادل)،

۴. وضعیت دوندگان[25] در این حالت پا بیشتر از حالت طبیعی بالاتر حرکت می‌کند (سطح صاف، ناهموار با چشم بسته و روی تخته تعادل)،

۵. نوسان متقاطع پا[26] (با کمک دست، بدون کمک دست، بدون کمک دست با چشم بسته و روی تخته تعادل)،

۶. راه رفتن روی پنجه و پریدن روی پنجه[27].

این تمرینات به نظر می‌رسد می‌تواند با تقویت تعادل و حس عمقی به جلوگیری از بی‌ثباتی مزمن مچ پا کمک کند [۲۴].

پروتکل تمرینات نوروفیدبک به همراه تمرینات عصبی‌عضلانی

به منظور اجرای مداخله درمانی نوروفیدبک پژوهش حاضر، از دستگاه ۸ کاناله پروکامپ اینفینیتی با سخت‌افزار پروکامپ و از نرم‌افزار بیوگراف اینفینیتی نسخه ۵ ساخت شرکت تکنولوژی توگت کانادا با اندازه نمونه‌برداری امواج ۲۵۶ هرتز و مقاومت ۵ اهم استفاده شد. قبل از اجرای پروتکل تمرینی، متخصص نوروفیدبک درمورد اجزای دستگاه نوروفیدبک و مؤلفه‌هایی که باعث اثربخشی بهتر این روش درمانی بود نکاتی به بیماران ارائه کرد. قبل از انجام هر جلسه تمرین وسایلی که باعث ایجاد نویز یا اختلال می‌شود مانند انگشتر، کمربند، موبایل و کارت بانکی دور از محدوده تمرینی قرار گرفتند [۲۵]. پروتکل ترکیبی شامل تمرینات نوروفیدبک و عصبی‌عضلانی بود که شرکت‌کنندگان این گروه علاوه‌بر تمرینات مربوط به گروه عصبی‌عضلانی تمرینات نوروفیدبک را به‌مدت ۸ هفته، ۳ جلسه در هفته و هر جلسه به‌مدت ۳۰ دقیقه انجام دادند. جهت انجام پروتکل تمرینی ورزشکار آسیب‌دیده به‌صورت راحت بر روی صندلی مینشست. متخصص نوروفیدبک براساس سیستم بین‌المللی[28] ۱۰-۲۰ نقاط ۱۰ و ۲۰ را شناسایی می‌کرد. سپس منطقه مذکور و لاله گوش توسط الکل طبی و ژل مخصوص لایه‌بردار نوپرپ[29] که ساخت کشور آمریکا بود، تمیز شد. سپس الکترود اکتیو[30] بر روی منطقه ۱۰ و الکترود رفرنس[31] بر روی منطقه ۲۰ و الکترود گرند[32] روی گوش راست قرار می‌گرفت. الکترود اکتیو و رفرنس توسط چسب ۱۰-۲۰ کوندکتیو[33] ساخت کشور آمریکا در منطقه ۱۰ و ۲۰ چسبانده می‌شدند که در این مداخله کاهش موج تتا (۷-۴ هرتز) و افزایش موج بتا (۱۵-۲۰ هرتز) انجام شد. جهت بازخورد مثبت یا منفی دو قایق مسابقه‌ای برای بیماران نمایش داده می‌شد. باتوجه‌به مداخله حاضر که کاهش موج تتا و افزایش موج بتا بود، درصورتی‌که بیمار باتوجه‌به بازخورد آگاهانه‌ای که دریافت می‌کرد، سعی می‌کرد اموج تتا را کاهش و اموج بتا را که در مداخله حاضر تنظیم شده بود افزایش دهد و حفظ کند، قایق دوم به سمت جلو حرکت می‌کرد که در پایان چراغ سبز به‌عنوان بازخورد مثبت یا پاداش و چراغ قرمز به‌عنوان بازخورد منفی به بیمار نشان داده می‌شد.

افزایش بار تمرینات نوروفیدبک به این طریق انجام می‌شد که در هفته دوم، چهارم و ششم از طریق نرم‌افزار دستگاه سطح سختی افزایش پیدا می‌کرد. به این طریق که ورزشکار آسیب‌دیده باید مدت‌زمان بیشتری در حفظ صحیح امواج مغزی که کاهش امواج تتا و افزایش امواج مغزی بتا بود را حفظ می‌کرد تا بازخورد مثبت را دریافت می‌کرد. بلافاصله پس از انجام تمرینات نوروفیدبک، ورزشکاران آسیب‌دیده در تمرینات عصبی‌عضلانی معرفی‌شده، دقیقاً مشابه با گروه تمرینات عصبی‌عضلانی شرکت می‌کردند [۲۵].

روش آماری

داده‌ها در پیش‌آزمون و پس‌آزمون ثبت و سپس تجزیه‌وتحلیل این داده‌ها انجام شد. برای تعیین نرمال بودن توزیع داده‌ها از

24. One-legged stand
25. Runner's pose
26. Cross-legged sway
27. Toe walk
28. International 10–20 system

29.Nuprep
30. Alectrod active
31. Electrode Reference
32. Alectrod grand
33. Ten 20 Cundoctive Gel

جدول ۲. میانگین و انحراف‌معیار مشخصات جمعیت‌شناختی

متغیر	تعداد	میانگین±انحراف‌معیار			
		سن (سال)	قد (سانتی متر)	وزن (کیلوگرم)	شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع)
گروه ترکیبی	۱۵	۲۱/۷۳±۲/۶۰	۱۷۳/۴۲±۵/۵۷	۷۷/۱۰±۱۰/۴۲	۲۵/۵۲±۳/۴۳
گروه عصبی‌عضلانی	۱۴	۲۲/۱۴±۲/۵۳	۱۶۹/۲۶±۶/۷۷	۷۷/۹۵±۱۵/۷۰	۲۵/۹۴±۵/۴۵

طب توانبخشی

آزمون شاپیرو-ویلک[34] و از آزمون لون[35] برای بررسی همگنی داده‌ها استفاده شد. از آزمون تی همبسته[36] برای تغییرات درون‌گروهی و آزمون تحلیل کوواریانس یک‌راهه برای تعیین تفاوت بین گروهی اثر تمرینات نوروفیدبک و عصبی‌عضلانی بر امواج مغزی، شاخص‌های توانایی پا و مچ پا و شدت درد بازیکنان تنیس روی میز[37] مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا استفاده شد. داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ تجزیه‌وتحلیل و سطح معناداری برابر با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

شاخص‌های دموگرافیک قد، وزن و شاخص توده بدنی[38] شرکت‌کنندگان در جدول شماره ۲ گزارش شد.

یافته‌ها

نتایج آزمون تی وابسته نشان داد که تمرینات ترکیبی و عصبی‌عضلانی سبب کاهش دامنه موج تتا (گروه ترکیبی P<۰/۰۰۱؛ گروه عصبی عضلانی P=۰/۰۰۵)، کاهش دامنه موج آلفا (گروه ترکیبی P=۰/۰۰۴؛ گروه عصبی‌عضلانی P=۰/۰۰۵). امواج حسی‌حرکتی (گروه ترکیبی P=۰/۰۰۵؛ گروه عصبی‌عضلانی P=۰/۰۰۲) شد و همچنین این تمرینات سبب افزایش موج بتا در گروه ترکیبی (P>۰/۰۰۱) در بازیکنان تنیس روی میز مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا شده است. نتایج آزمون کوواریانس یک‌راهه نشان داد که با تعدیل نمرات پیش‌آزمون بین گروه ترکیبی و عصبی‌عضلانی در میزان دامنه تتا (P=۰/۰۱۵) و دامنه بتا (P<۰/۰۰۱) تفاوت معنی‌داری وجود دارد و کاهش در گروه ترکیبی بیشتر بود اما در سایر متغیرها تفاوت معنی‌داری بین دو گروه مشاهده نشد (جدول شماره ۳).

در جدول شماره ۴ نتایج آزمون وابسته گزارش شد که نشان می‌دهد تمرینات ترکیبی و عصبی عضلانی سبب بهبود معنی‌دار توانایی پا و مچ پا در فعالیت روزانه (گروه ترکیبی P<۰/۰۰۱؛ گروه عصبی عضلانی P=۰/۰۰۱) و ناتوانایی مچ پا در ورزش (گروه ترکیبی P<۰/۰۰۱؛ گروه عصبی عضلانی P=۰/۰۰۱) و شدت درد (گروه ترکیبی P<۰/۰۰۱؛ گروه عصبی عضلانی P<۰/۰۰۱) در بازیکنان تنیس روی میز مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا شده است.

34. Shapiro-Wilk
35. Levene
36. Paired sample t test
37. Table Tennis Players
38. Body Mass Index (Bmi)

جدول ۳. نتایج آزمون تی همبسته و تحلیل کوواریانس یک راهه

نوع سیگنال	گروه	میانگین±انحراف‌معیار		T	P	F	P	Eta Squared
		پیش‌آزمون	پس‌آزمون					
تتا	نوروفیدبک+عصبی عضلانی	۴/۵۹±۲/۰۱	۲/۲۸±۰/۸۴	۵/۵۵/	<۰/۰۰۱*	۶/۷۵	۰/۰۱۵*	۰/۲۰۶
	عصبی عضلانی	۴/۳۰±۱/۹۸	۳/۰۳±۱/۳۷	۳/۲۸	۰/۰۰۵*			
آلفا	نوروفیدبک+عصبی عضلانی	۳/۴۷±۱/۶۰	۲/۸۷±۱/۲۵	۳/۴۴	۰/۰۰۴*	۱/۹۲	۰/۱۷۷	۰/۰۶۹
	عصبی عضلانی	۳/۱۳±۱/۲۷	۲/۴۰±۰/۷۹	۳/۶۳	۰/۰۰۳*			
بتا	نوروفیدبک+عصبی عضلانی	۲/۸۳±۱/۴۳	۴/۴۷±۱/۳۴	۶/۸۴	<۰/۰۰۱*	۲۶/۷۹	<۰/۰۰۱*	۰/۵۰۸
	عصبی عضلانی	۲/۵۵±۱/۱۷	۲/۷۴±۱/۲۱	۱/۹۱	۰/۰۷۸			
حسی‌حرکتی	نوروفیدبک+عصبی عضلانی	۱/۷۳±۰/۹۳	۱/۱۶±۰/۳۸	۳/۲۸	۰/۰۰۵*	۰/۳۴۷	۰/۵۶۱	۰/۰۱۳
	عصبی عضلانی	۱/۸۵±۰/۸۱	۱/۲۹±۰/۶۳	۳/۹۴	۰/۰۰۲*			

* معنی‌داری آزمون در سطح ۰/۰۵ است.

طب توانبخشی

جدول ۴. نتایج آزمون تی همبسته و تحلیل کوواریانس یک راهه

متغیر	گروه	میانگین±انحراف‌معیار		T	P*	F	P	Eta Squared
		پیش‌آزمون	پس‌آزمون					
ناتوانایی مچ پا در فعالیت روزانه	ترکیبی	۷۹/۹۸±۱۰/۰۷	۹۰/۰۷±۶/۲۷	۶/۸۱	<۰/۰۰۱	۱/۰۶	۰/۳۱۲	۰/۰۳۸
	عصبی‌عضلانی	۷۲/۲±۱۷/۱۸	۸۰/۷۲±۱۶/۲۴	۴/۰۴	۰/۰۰۱			
ناتوانایی مچ پا در ورزش	ترکیبی	۶۸/۸۳±۱۳/۳۴	۸۳/۳۳±۹/۶۱	۶/۳۰	<۰/۰۰۱	۵/۶۵	۰/۰۲۵*	۰/۱۷۳
	عصبی‌عضلانی	۶۲/۲۸±۱۹/۰۳	۶۷/۸۹±۲۰/۵۱	۴/۲۵	<۰/۰۰۱			
شدت درد	ترکیبی	۸/۱۳±۲/۷۹	۵/۹۳±۲/۴۶	۵/۴۳	<۰/۰۰۱	۰/۲۲۶	۰/۶۳۸	۰/۰۰۹
	عصبی‌عضلانی	۸/۰۱±۳/۳۷	۵/۶۴±۱/۸۶	۴/۸۳	<۰/۰۰۱			

* معنی‌داری آزمون در سطح ۰/۰۵ است.

طب توانبخشی

همچنین نتایج آزمون کوواریانس یک‌راهه نشان داد که با تعدیل نمرات پیش‌آزمون بین گروه ترکیبی و عصبی‌عضلانی در میزان توانایی مچ پا در ورزش (P=۰/۰۲۵) تفاوت معنی‌داری وجود دارد و بهبود در گروه ترکیبی بیشتر بود اما در سایر متغیرها تفاوت معنی‌داری بین دو گروه مشاهده نشد.

بحث

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تمرینات نوروفیدبک همراه با تمرینات عصبی‌عضلانی بر شاخص‌های ناتوانایی پا و مچ پا، امواج مغزی و شدت درد در بازیکنان تنیس روی میز مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا بود. نتایج مربوط به تأثیر تمرینات ترکیبی عصبی‌عضلانی و نوروفیدبک بر امواج مغزی نشان داد که اضافه کردن پروتکل نوروفیدبک می‌تواند بر امواج مغزی اثرگذار باشد، به‌طوری‌که تمرینات ترکیبی نسبت به تمرینات عصبی‌عضلانی مؤثرتر بودند. یکی از مکانیسم‌های که در پیشرفت بی‌ثباتی مزمن مچ پا نقش دارد اختلال در عملکرد شناختی عصبی مغز می‌باشد [۳۱].

از طرفی هاس و همکاران بیان کردند که آسیب‌های مزمن مفصلی مانند بی‌ثباتی مزمن مچ پا کنترل حرکتی را در سیستم عصبی مرکزی تغییر می‌دهد. تغییرات سیستم عصبی‌مرکزی یکی از عوامل مهم در مکانیسم‌های نوروفیزیولوژیک در افراد مبتلا به بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌باشد [۳۲]. همچنین تغییرات در سیستم عصبی مرکزی فرایند عملکرد حسی و تحریک‌پذیری قشر حرکتی را پس از آسیب لیگامنتی مختل می‌کند [۳۱]. شواهد علمی نشان می‌دهد که در افراد مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا بین تغییر سطح فوق نخاعی کنترل حرکتی در سیستم عصبی مرکزی و اختلالات عصبی‌عضلانی در کف پا ارتباط وجود دارد [۳۲].

همچنین اختلال در سیستم عصبی باعث پیشروی در بی‌ثباتی مفصل مچ پا می‌شود [۳۲]. بر همین اساس پژوهش حاضر به توانبخشی ترکیبی نوروفیدبک و عصبی‌عضلانی پرداخت که هم ازنظر روانی و هم ازنظر جسمانی بتواند به توانبخشی مناسب دست یابد. براساس نتایج، نوروفیدبک می‌تواند با تأثیر گذاشتن بر روی نواحی قشر مغزی، فعالیت مناسب سیستم عصبی مرکزی را همراه داشته باشد که این امر درنهایت به کاهش درد در این افراد منجر می‌شود [۳۳]. استدلال می‌شود درک اولیه درد در تالاموس در قشر حسی ایجاد می‌شود. به نظر می‌رسد در مطالعه حاضر پروتکل نوروفیدبک مکانیسم‌های مهاری تالاموس را با تمرکز بر قشر حسی حرکتی تسهیل می‌کند [۳۳].

اثر اولیه نوروفیدبک بر ساختارهای زیر قشری به‌ویژه تالاموس است و نقش مهمی در تنظیم سیستم عصبی مرکزی و تغییرات آن دارد [۳۴].یکی از مزیت‌های پروتکل نوروفیدبک این است که فعالیت‌های مغز را ثبت می‌کند و بازخورد مستقیمی از تنظیم عصبی در طول درمان ارائه می‌دهد [۳۵]. نوروفیدبک با ارائه بازخورد بصری به بیمار کمک می‌کند بهینه‌سازی فعالیت مغزی که به افزایش عملکرد شناختی عصبی منجر می‌شود را انجام دهد. این مکانیسم به‌نوبه‌خود باعث بهبود عملکرد رفتاری می‌شود [۱۵]. درحقیقت نوروفیدبک می‌تواند عملکرد مغز را تنظیم کند و از همین مکانیسم کنترل پاسچر را بهبود ببخشد و باعث بهبود امواج مغزی و ناتوانی پا و مچ پا شود [۳۶].

در شاخص‌های ناتوانی پا و مچ پا نیز اگرچه هر دو گروه بهبود معنی‌داری را نشان دادند اما در شاخص ناتوانایی مچ پا در فعالیت‌های ورزشی در گروه توانبخشی ترکیبی هم از لحاظ آماری و هم کلینیکی (Eta Squred=۰/۱۷۳) بهتر بود. در این پژوهش با اضافه کردن تمرینات نوروفیدبک به تمرینات عصبی‌عضلانی علاوه‌بر اینکه از مزایای تمرینات عصبی‌عضلانی که به‌صورت سنتی در توانبخشی آسیب‌های مفصل مچ پا استفاده شد، از مزایای روانی و بازآموزی سیستم عصبی مرکزی تمرینات نوروفیدبک استفاده شده است. به همین دلیل اضافه کردن این درمان مکمل علاوه‌بر بهبود عوامل فیزیکی بر شاخص‌های ناتوانی

پا و مچ پا نیز اثر مثبت داشته است. ژیانگ[39] و همکاران بیان کردند که تمرینات نوروفیدبک با اثر بر عوامل عصبی و روانی، عملکرد ورزشکاران را بهبود می‌بخشد [۲۰]. بنابراین اضافه کردن تمرینات نوروفیدبک به برنامه توانبخشی می‌تواند به بهبود شاخص‌های ناتوانی پا و مچ پا که از فاکتورهای مهم بازگشت پس از آسیب است کمک کند.

بی‌ثباتی مزمن مچ پا درنتیجه مکانیسم‌های عصبی شامل تأخیر در فعال‌سازی عضلات مچ پا و ران، اختلال در حس عمقی، قدرت، خستگی عضلانی و مکانیسم‌های مکانیکی شامل آسیب به لیگامنت رخ می‌دهد [۳۷]. از طرفی نیز درد یکی از نگرانی‌های رایج بعد از اسپرین‌های جانبی مچ پا می‌باشد. انجمن بین‌المللی درد، درد را به‌عنوان یک تجربه حسی و احساس ناخوشایند همراه با آسیب اسکلتی‌عضلانی تعریف می‌کند. همچنین محققان باتوجه‌به شواهد عنوان می‌کنند افرادی که درد طولانی‌مدت دارند تغییرات ساختاری در امواج مغزی خود دارند که این نیز به نوبه خود باعث درد می‌شود. درد در افراد مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا موجب می‌شود افراد در فعالیت‌های عملکردی تفاوت‌های مشهودی را از خود نشان دهند [۱۱]. همچنین پژوهشگران عنوان کردند دردهای مزمن به حساسیت شبکه عصبی منجر می‌شود که این عامل نیز می‌تواند باعث افزایش درد و تغییر امواج مغزی در مسیر درد شود [۳۸].

در یک پژوهش مروری نظام‌مند تأثیر تمرینات نوروفیدبک بر شدت درد پرداخته شده است. درنهایت یافته‌ها نشان داد که این تمرینات موجب کاهش شدت درد می‌شوند [۳۳-۳۷]. مطالعات گزارش کرده‌اند که افراد مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا نسبت به افراد سالم اختلال در توجه و دقت را از خود گزارش می‌کنند [۳۳]. به نظر می‌رسد نوروفیدبک می‌تواند اختلال در الگوهای فعالیت قشر مغز را اصلاح کند و توجه و تمرکز را افزایش دهد [۱۶]. امواج بتا به‌عنوان ریتم برنامه‌ریزی حسی‌حرکتی شناخته شده است [۱۴] همچنین دامنه امواج تتا که مربوط به درد، دقت و توجه می‌باشد در مداخله حاضر کاهش یافته است و باعث تنظیم سیستم عصبی مرکزی و درنهایت کاهش درد شده است [۱۶]. بنابراین پژوهشگران از این توانبخشی به‌عنوان روشن‌کننده مجدد مغز یاد می‌کنند [۱۹].

تمرینات عصبی‌عضلانی با تأکید بر تقویت قدرت عضلات مچ پا، حس عمقی و تعادل افراد می‌تواند تأثیر مثبت بر روی الگوی حرکتی بگذارد [۲۳]. همچنین این تمرینات باعث تحریک گیرنده‌های مکانیکی مفصل می‌شود که درنهایت به بهبود عملکرد گیرنده‌های حس عمقی مفصل منجر می‌شود، بهبود تعادل با استفاده از تقویت حس عمقی شکل می‌گیرد باعث بهبود در عملکرد سیستم عصبی مرکزی می‌شود [۱۴]. درنتیجه باعث کاهش درد و عملکرد بهتر در افراد مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا می‌شود. از طرفی نیز این مداخلات موجب تغییراتی در فعالیت‌های قشر مغز شده است و سازگاری‌های مفید برای اجرای حرکت یا آماده‌سازی حرکت را فراهم کرده است [۱۹].

مطالعه حاضر با پژوهش بورکال و همکاران و صمدی و همکاران که به تأثیر تمرینات عصبی‌عضلانی بر عملکرد شاخص‌های ناتوانایی پا و مچ پا در افراد مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پرداخته‌اند هم‌راستا است [۳۹] در پژوهش حاضر نیز نشان داده شد که تمرینات استفاده‌شده موجب بهبود توانایی عملکردی شاخص‌های پا و مچ پا می‌شود.

نتیجه‌گیری

تأثیر اضافه کردن تمرینات نوروفیدبک به تمرینات عصبی عضلانی نشان داد که این پروتکل می‌تواند علاوه‌بر امواج مغزی بر شاخص‌های توانایی پا و مچ پا در هنگام فعالیت‌های ورزشی در افراد مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا مؤثرتر از گروه تمرین عصبی عضلانی باشد. باتوجه‌به اینکه مطالعات جدید بر شاخص‌های عصب‌شناختی در افراد مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا تأکید دارند. ازاین‌رو به مربیان، ورزشکاران و فیزیوتراپیست‌ها پیشنهاد می‌شود بعد از اسپرین مچ پای ورزشکاران جهت توانبخشی مناسب و جلوگیری از بی‌ثباتی مزمن مچ پا به شاخص‌های عصبی شناختی ورزشکاران توجه کنند و به انجام تمرینات نوروفیدبک همراه با روش‌های معمول توانبخشی به منظور بازتوانی افراد مبتلا به بی‌ثباتی مفصل مچ پا پرداخته شود.

از محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به این مورد اشاره کرد که این پژوهش تنها بر روی ورزشکاران مرد تنیس روی میز مبتلابه بی‌ثباتی مزمن مچ پا بوده است. باتوجه‌به تفاوت‌های جنسیتی که می‌تواند عامل مؤثری در بروز آسیب باشد، به سایر محققین توصیه می‌شود برای مطالعات آینده این تمرینات ترکیبی را بر روی زنان مبتلا به بی‌ثباتی‌های مزمن مچ پا یا افراد مبتلابه آسیب سایر مفاصل انجام دهند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق دانشگاه بوعلی در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره (IR.BASU.REC.1400.037) و کد کار آزمایی بالینی (IRCT20211018052799N1) از مرکز ثبت کارآزمایی بالینی ایران دریافت شده است.

39. Xiang

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

ایده و طراحی و پیش‌نویس مقاله: مسعود عزیزیان و بهنام غلامی بروجنی؛ تحلیل و تفسیر داده‌ها: علی یلفانی، مسعود عزیزیان و بهنام غلامی بروجنی؛ بازنگری و ویرایش انتقادی برای مطالب مهم فکری: علی یلفانی و بهنام غلامی بروجنی؛ نظارت بر پیشرفت: علی یلفانی، حسین محققی و محمدرضا ذوقی پایدار؛ تأیید نهایی: همه نویسندگان.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

References

[1] Torp DM, Thomas AC, Hubbard-Turner T, Donovan L. Biomechanical Response to External Biofeedback During Functional Tasks in Individuals With Chronic Ankle Instability. Journal of Athletic Training. 2021; 56(3):263-71. [DOI:10.4085/197-20] [PMID]

[2] Delahunt E, Remus A. Risk factors for lateral ankle sprains and chronic ankle instability. Journal of Athletic Training. 2019; 54(6):611-6. [DOI:10.4085/1062-6050-44-18] [PMID]

[3] Gribble PA, Bleakley CM, Caulfield BM, Docherty CL, Fourchet F, Fong DT, et al. Evidence review for the 2016 International Ankle Consortium consensus statement on the prevalence, impact and long-term consequences of lateral ankle sprains. British Journal of Sports Medicine. 2016; 50(24):1496-505. [DOI:10.1136/bjsports-2016-096189] [PMID]

[4] McGrath ML, Yentes JM, Rosen AB. Cognitive loading produces similar change in postural stability in patients with chronic ankle instability and controls. Athletic Training & Sports Health Care. 2020; 12(6):249-56. [DOI:10.3928/19425864-20200610-02] [PMID]

[5] Gu Y, Yu C, Shao S, Baker JS. Effects of table tennis multi-ball training on dynamic posture control. PeerJ. 2019; 6:e6262. [DOI:10.7717/peerj.6262] [PMID]

[6] Kondric M, Matković BR, Furjan-Mandić G, Hadzić V, Dervisević E. Injuries in racket sports among Slovenian players. Collegium Antropologicum. 2011; 35(2):413-7. [PMID]

[7] Tretriluxana J, Nanbancha A, Sinsurin K, Limroongreungrat W, Wang HK. Neuromuscular control of the ankle during pre-landing in athletes with chronic ankle instability: Insights from statistical parametric mapping and muscle co-contraction analysis. Physical Therapy in Sport. 2021; 47:46-52. [DOI:10.1016/j.ptsp.2020.11.023] [PMID]

[8] Minoonejad H, Bazrafshan H, Akoochakian M, Aslani M. Effect of attention instructions of balance training in athletes with ankle instability. Physical Treatments-Specific Physical Therapy Journal. 2018; 8(1):45-54. [DOI:10.32598/ptj.8.1.45]

[9] Hadadi M, Heghighat F, Hossein I. Comparison of health-related quality of life in different types of chronic ankle instability. Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin. 2020; 30(04):230-6. [DOI:10.1055/a-1128-6424]

[10] Houston MN, Van Lunen BL, Hoch MC. Health-related quality of life in individuals with chronic ankle instability. Journal of Athletic Training. 2014; 49(6):758-63. [DOI:10.4085/1062-6050-49.3.54] [PMID]

[11] Al Adal S, Pourkazemi F, Mackey M, Hiller CE. The prevalence of pain in people with chronic ankle instability: A systematic review. Journal of Athletic Training. 2019; 54(6):662-70. [DOI:10.4085/1062-6050-531-17] [PMID]

[12] Needle AR, Lepley AS, Grooms DR. Central nervous system adaptation after ligamentous injury: A summary of theories, evidence, and clinical interpretation. Sports Medicine. 2017; 47(7):1271-88. [DOI:10.1007/s40279-016-0666-y] [PMID]

[13] Kosik KB, Terada M, Drinkard CP, Mccann RS, Gribble PA. Potential corticomotor plasticity in those with and without chronic ankle instability. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2017; 49(1):141-9. [DOI:10.1249/MSS.0000000000001066] [PMID]

[14] Burcal CJ, Jeon H, Gonzales JM, Faust ME, Thomas AC, Hubbard-Turner TJ, et al. Cortical measures of motor planning and balance training in patients with chronic ankle instability. Journal of Athletic Training. 54(6):727-36. [DOI:10.4085/1062-6050-450-17] [PMID]

[15] Ward S, Pearce AJ, Pietrosimone B, Bennell K, Clark R, Bryant AL. Neuromuscular deficits after peripheral joint injury: A neurophysiological hypothesis. Muscle & Nerve. 2015; 51(3):327-32. [DOI:10.1002/mus.24463] [PMID]

[16] Marzbani H, Marateb HR, Mansourian M. Neurofeedback: A comprehensive review on system design, methodology and clinical applications. Basic and Clinical Neuroscience. 2016; 7(2):143-58. [DOI:10.15412/J.BCN.03070208] [PMID]

[17] Uzlaşır S, Özdıraz KY, Dağ O, Tunay VB. The effects of stroboscopic balance training on cortical activities in athletes with chronic ankle instability. Physical Therapy in Sport. 2021; 50:50-8. [DOI:10.1016/j.ptsp.2021.03.014] [PMID]

[18] Rezaei K, Nami M, Sinaei E, Bagheri Z, Kordi Yoosefinejad A. A comparison between effects of neurofeedback and balance exercise on balance of healthy older adults. Journal of Biomedical Physics and Engineering. 2021; 11(6):713-22. [DOI:10.31661/jbpe.v0i0.1203]

[19] Hammond DC. Neurofeedback with anxiety and affective disorders. Child and Adolescent Psychiatric Clinics. 2005; 14(1):105-23. [DOI:10.1016/j.chc.2004.07.008] [PMID]

[20] Xiang MQ, Hou XH, Liao BG, Liao JW, Hu M. The effect of neurofeedback training for sport performance in athletes: A meta-analysis. Psychology of Sport and Exercise. 2018; 36:114-22. [DOI:10.1016/j.psychsport.2018.02.004]

[21] Bjelland I, Dahl AA, Haug TT, Neckelmann D. The validity of the Hospital Anxiety and Depression Scale: An updated literature review. Journal of Psychosomatic Research. 2002; 52(2):69-77. [DOI:10.1016/S0022-3999(01)00296-3] [PMID]

[22] Tummala SV, Hartigan DE, Makovicka JL, Patel KA, Chhabra A. 10-year epidemiology of ankle injuries in men's and women's collegiate basketball. Orthopaedic Journal of Sports Medicine. 2018; 6(11):2325967118805400. [DOI:10.1177/2325967118805400] [PMID]

[23] Kim E, Choi H, Cha JH, Park JC, Kim T. Effects of neuromuscular training on the rear-foot angle kinematics in elite women field hockey players with chronic ankle instability. Journal of Sports Science & Medicine. 2017; 16(1):137-46. [PMID]

[24] Van Reijen M, Vriend I, Zuidema V, van Mechelen W, Verhagen EA. Increasing compliance with neuromuscular training to prevent ankle sprain in sport: Does the 'Strengthen your ankle'mobile App make a difference? A randomised controlled trial. British Journal of Sports Medicine. 2016; 50(19):1200-5. [DOI:10.1136/bjsports-2015-095290] [PMID]

[25] Shahrbanian S, Hashemi A, Hemayattalab R. The comparison of the effects of physical activity and neurofeedback training on postural stability and risk of fall in elderly women: A single-blind randomized controlled trial. Physiotherapy Theory and Practice. 2021; 37(2):271-8. [DOI:10.1080/09593985.2019.1630877] [PMID]

[26] Maszczyk A, Dobrakowski P, Nitychoruk M, Żak M, Kowalczyk M, Toborek M. The effect of neurofeedback training on the visual processing efficiency in judo athletes. Journal of Human Kinetics. 2020; 71:219-227. [DOI:10.2478/hukin-2019-0097] [PMID]

[27] Tassignon B, Verschueren J, Delahunt E, Smith M, Vicenzino B, Verhagen E, et al. Criteria-based return to sport decision-making following lateral ankle sprain injury: A systematic review and narrative synthesis. Sports Medicine. 2019; 49(4):601-19. [DOI:10.1007/s40279-019-01071-3] [PMID]

[28] Herb C, Donovan L, Feger M, Blemker S, Hart J, Saliba S, et al. Chronic ankle instability patients exhibit higher variability in lower extremity joint-coupling variability during drop vertical jumps. Journal of Biomechanics. 2022; 21(4):472-86. [DOI:10.1080/14763141.2020.1821758] [PMID]

[29] Nanbancha A, Tretriluxana J, Limroongreungrat W, Sinsurin K. Decreased supraspinal control and neuromuscular function controlling the ankle joint in athletes with chronic ankle instability. European Journal of Applied Physiology. 2019; 119(9):2041-52. [DOI:10.1007/s00421-019-04191-w] [PMID]

[30] Hanna M, Whicker EA, Traub B, Allam E, Labib SA. Sport activity levels following ankle fusion. International Orthopaedics. 2021; 45(9):2347-54. [DOI:10.1007/s00264-021-05100-7] [PMID]

[31] Ahmadnezhad L, Yalfani A, Gholami Borujeni B. Inspiratory muscle training in rehabilitation of low back pain: A randomized controlled trial. Journal of Sport Rehabilitation. 2020; 29(8):1151-8. [DOI:10.1123/jsr.2019-0231] [PMID]

[32] Rosen AB, Johnston M, Chung S, Burcal CJ. The reliability and validity of a digital version of the Cumberland Ankle Instability Tool. Disability and Rehabilitation. 2021; 43(12):1738-41. [DOI:10.1080/09638288.2019.1671504] [PMID]

[33] Colzato LS. Theory-driven cognitive enhancement: Costs and benefits. In: Colzato LS, editor. Theory-driven approaches to cognitive enhancement. Cham: Springer; 2017. [DOI:10.1007/978-3-319-57505-6_23]

[34] Ahmadi M, Yalfani A, Gandomi F, Rashid K. The Effect of Twelve-Week Neurofeedback Training on Pain, Proprioception, Strength and Postural Balance in Men with Patellofemoral Pain Syndrome: A Double-Blind Randomized Control Trial. Journal of Rehabilitation Sciences & Research. 2020 ; 7(2):66-74. [DOI:10.30476/jrsr.2020.84868.1067]

[35] Vučković A, Altaleb MK, Fraser M, McGeady C, Purcell M. EEG correlates of self-managed neurofeedback treatment of central neuropathic pain in chronic spinal cord injury. Frontiers in Neuroscience. 2019; 13:762. [DOI:10.3389/fnins.2019.00762] [PMID]

[36] Azarpaikan A, Taheri-Torbati HR, Sohrabi M. [Effect of neurofeedback training on postural stability and fall risk in patients with Parkinson's Disease (Persian)]. Journal of Isfahan Medical School. 2014; 31(270):2352-61. [Link]

[37] Alghamdi A, Shawki M. The effect of kinesio taping on balance control and functional performance in athletes with chronic ankle instability. MOJ Orthopedics & Rheumatology. 2018; 10(2):114-20. [DOI:10.15406/mojor.2018.10.00398]

[38] Moseley GL, Flor H. Targeting cortical representations in the treatment of chronic pain: A review. Neurorehabilitation and Neural Repair. 2012; 26(6):646-52. [DOI:10.1177/1545968311433209] [PMID]

[39] Samadi H, Rajabi R, Alizadeh MH, Jamshidi A. [Effect of six weeks neuromuscular training on dynamic postural control and lower extremity function in male athletes with functional ankle instability (Persian)]. Studies in Sport Medicine. 2014; 5(14):73-90. [Link]