Kharazmi University

Research in Sport Medicine and Technology

Print ISSN: 2252 - 0708 Online ISSN: 2588 - 3925

Homepage: https://jsmt.khu.ac.ir

Does Functional Fatigue Change The Effect Of Neuromuscular Training On Kinetic Variables During Cutting In Injury-Prone Male Athletes?

Behnam Moradi [1] | , Amir Letafatkar [2*] | Malihe Hadadnezhad [3] | Mehdi Hoseinzadeh [4] | , Mehdi Khaleghi [4]

1. Department of Biomechanics and Sports Injuries, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Kharazmi, Tehran, I
2. Department of Biomechanics and Sports Injuries, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Kharazmi, Tehran, Iran.
3. Department of Biomechanics and Sports Injuries, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Kharazmi, Tehran, Iran
4. Department of Sport Injuries and Corrective Exercises, Sport Sciences Research Institute, Tehran, Iran.
5. Department of Biomechanics and Sports Injuries, Faculty of Physical Education and Sport Sciences, University of Kharazmi, Tehran, Iran.

corresponding author: Amir Letafatkar, letafatkaramir@yahoo.com

CrossMark

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article history:
Received: 2023/12/24
Revised: 2024/04/28
Accepted: 2024/04/17

Keywords:
Fatigue, Neuromuscular Training, Ground Reaction Force, Athlete, Cutting

How to Cite:
Behnam Moradi, Amir Letafatkar, Malihe Hadadnezhad , Mehdi Hoseinzadeh , Mehdi Khaleghi. **Does Functional Fatigue Change The Effect Of Neuromuscular Training On Kinetic Variables During Cutting In Injury-Prone Male Athletes?** *Research In Sport Medicine and Technology, 2025: 23(29): 87-112.*

ABSTRACT

Introduction and aim: Fatigue of injury-prone athletes and their placement in situations such as performing shear maneuvers increases the risk of anterior cruciate ligament injury. Therefore, this research aims to answer the question, does functional fatigue change the effect of neuromuscular training on kinetic variables during cutting in injury-prone male athletes?

Methodology: The current research is semi-experimental and was carried out in two control and experimental groups as a pre-test and post-test design with and without fatigue before and after neuromuscular exercises. 32 males student-athletes aged 18 to 25 with trunk control defects were purposefully selected and randomly placed in the control group (16 people) and the experimental group (16 people). The force plane was used to measure ground reaction forces. Analysis of variance test was used for statistical analysis at a level smaller than $P<0.05$.

Results: The results of the present study showed a significant improvement in ground reaction force variables in the post-test of the experimental group compared to the pre-test ($P<0.05$). While none of these variables had significant changes in the control group ($P>0.05$).

Conclusion: It seems that doing trunk and hip neuromuscular training in athletes with a trunk control defect leads to a significant improvement in the stability of the trunk control, so in the conditions with and without fatigue, they were able to show a significant improvement in the selected parameters of the ground reaction forces. Therefore, this training method can probably be recommended as a beneficial method for athletes and the mentioned conditions

Published by Kharazmi University, Tehran, Iran. Copyright(c) The author(s) This is an open access article under e:
CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

پژوهش در طب ورزشی و فناوری

شاپا چاپی: ۰۷۰۸-۲۲۵۲ شاپا الکترونیکی: ۳۹۲۵-۲۵۸۸

Homepage: https://jsmt.khu.ac.ir

آیا خستگی عملکردی اثر تمرینات عصبی عضلانی بر متغیرهای کینتیکی حین اجرای کاتینگ را در مردان ورزشکار مستعد آسیب تغییر می‌دهد؟

بهنام مرادی[۱] امیر لطافت‌کار[۲] ملیحه حدادنژاد[۳] مهدی حسین‌زاده[۴] مهدی خالقی[۵]

۱ .گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران .
۲ .گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران .
۳ .گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران.
٤ .گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی، تهران، ایران.
۵. گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی تهران، ایران.

نویسنده مسئول: امیر لطافت‌کار letafatkaramir@yahoo.com

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: علمی–پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۳

ویرایش: ۱۴۰۳/۲/۹

پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۲۹

واژه‌های کلیدی:

خستگی، تمرینات عصبی عضلانی، نیروی عکس‌العمل زمین، ورزشکار، کاتینگ

ارجاع:

بهنام مرادی، امیر لطافت‌کار، ملیحه حدادنژاد، مهدی حسین‌زاده، مهدی خالقی. **آیا خستگی عملکردی اثر تمرینات عصبی عضلانی بر متغیرهای کینتیکی حین اجرای کاتینگ را در مردان ورزشکار مستعد آسیب تغییر می‌دهد؟**. *پژوهش در طب ورزشی و فناوری. ۱۴۰٤: ۲۳(۲۹):۱۱۲-۸۷*

چکیده

مقدمه و هدف: خسته شدن ورزشکاران مستعد آسیب و قرارگیری آنها در وضعیت‌هایی نظیر انجام مانور برشی احتمال ریسک آسیب لیگامان صلیبی قدامی را افزایش می‌دهد؛ لذا هدف از پژوهش حاضر پاسخ به این سؤال است که آیا خستگی عملکردی اثر تمرینات عصبی عضلانی بر متغیرهای کینتیکی حین اجرای کاتینگ را در مردان ورزشکار مستعد آسیب تغییر می‌دهد؟

روش بررسی: پژوهش حاضر نیمه‌تجربی بوده و در دو گروه کنترل و تجربی به‌صورت طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون با و بدون خستگی قبل و بعد تمرینات عصبی- عضلانی اجرا شد. ۳۲ دانشجوی مرد ورزشکار ۱۸ تا ۲۵ سال همراه با نقص کنترل تنه، به‌صورت هدفمند انتخاب و به‌صورت تصادفی در گروه کنترل (۱٦ نفر) و تجربی (۱٦ نفر) قرار گرفتند. از صفحه نیرو جهت اندازه‌گیری نیروهای عکس‌العمل زمین استفاده شد. آزمون تحلیل واریانس برای تجزیه‌وتحلیل آماری در سطح کوچک‌تر از P <۰/۰۵ بکار گرفته شد.

یافته‌ها: نتایج پژوهش حاضر بهبود معنی‌دار متغیرهای نیروی عکس‌العمل زمین را در پس‌آزمون گروه تجربی نسبت به پیش‌آزمون نشان داد (P<۰/۰۵). درحالی‌که هیچ یک از این متغیرها در گروه کنترل تغییر معنی‌داری نداشتند (P>۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد انجام تمرینات عصبی – عضلانی تنه و ران در ورزشکاران با نقص کنترل تنه سبب بهبود قابل توجهی در ثبات کنترل تنه می‌شود به طوریکه در شرایط با و بدون خستگی توانستند بهبود معناداری را در پارامترهای منتخب نیروهای عکس‌العمل زمین نشان دهند. لذا احتمالاً این شیوه تمرینی را بتوان بعنوان روشی سودمند در ورزشکاران و شرایط نامبرده توصیه نمود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

Extended Abstract

Introduction and purpose:

One of the most common injuries during sports activities is non-collision injury of the anterior cruciate ligament (1), which can occur during movements such as deceleration, landing, change of direction of movement, or shearing movements (2). In this regard, improper control in the central region and a defect in the ability to divide forces cause abnormal trunk movements, especially in the frontal plane, along with an increase in ground reaction force and valgus in the knee joint (11). In this regard, Mohammadi et al. (2019) stated in a study that the prevalence of trunk control defects in the male athletes studied was 26% and recommended the need to pay attention to prevention and rehabilitation programs for this defect (12). On the other hand, various factors such as fatigue can cause dysfunction in muscle function, coordination, timing, and activation, which ultimately leads to defects in movement patterns (13).

Therefore, despite the necessity of paying attention to modifiable risk factors and considering the main variable of trunk control deficit, along with the importance of using neuromuscular training in preventing anterior cruciate ligament injury, so far in the studies conducted (26, 25, 24), the issues expressed in fatigue conditions have been less addressed (26, 25, 24). Therefore, the researchers in the present study are seeking to answer the question of whether functional fatigue changes the effect of neuromuscular training on kinetic variables during cutting in male athletes prone to injury?

Materials and methods:

The method of the upcoming study was determined as a quasi-experimental and applied type with a pre-test-post-test design with a control group. Participants: All participants were informed about the purpose of the study, methods, duration of participation, benefits, risks or complications, voluntary nature of the study and confidentiality of data and signed an informed consent form before starting the study. Also, the present study tried to comply with the ethical principles mentioned in the 2008 Declaration of Helsinki Ethics and its generalities were approved and registered by the National Ethics Committee in Biomedical Studies under number IR.SSRC.REC.1401.032 on 31/2/1401. The statistical population of the present study included all male student athletes (in handball, basketball,

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

and soccer who had trunk control deficits) at Kharazmi University. 32 eligible male athletes from the aforementioned statistical population were selected purposefully and randomly into two control and experimental groups (16 people in each group) as a statistical sample, using GPower software with a statistical power of 0.8, alpha of 0.05, effect size of 0.28, and considering a 10% dropout rate, the mean and standard deviation of the population and the statistical sample of the variables under study were selected based on previous similar studies for a research design of analysis of variance with repeated measures (30).

The inclusion criteria for the study included: male student athletes (handball, basketball, and soccer) at Kharazmi University, with trunk control deficits (jump-tuck test), being between 18 and 25 years of age, having continuous sports activity based on the Beck questionnaire (score 13 to 15). Being in the second category according to McKinney criteria and being competitive athletes (based on which athletes exercise more than six hours per week, three sessions per week, each session lasting two hours or more, and were prepared to participate in official competitions) (31). Having a body mass index within the normal range (18.5-25). The exclusion criteria also included: participating in an injury prevention training program in the past 6 months. Having a history of injury in the trunk and lower extremities in the past year. Having lower extremity abnormalities (crossed knee, bowed knee, retroverted knee, and flat feet) that could be detected by visual assessment. The presence of pain at the time of the study or a history of surgery in the trunk and lower extremities. The presence of a history of vestibular, inner ear, and ligamentous injuries in the lower extremities in the past year (32), the subjects' dissatisfaction and unwillingness to participate in the research process, the absence of two consecutive sessions and three non-consecutive sessions in the exercises. Incompatibility with the exercises and fatigue protocol. Accordingly, the call to participate in the study and screening of the subjects was made between October and November 1401. The pre- and post-test of this study, along with the neuromuscular exercises and the fatigue protocol, were also conducted between December (pre-test) and March (post-test) 1401 in the Mofaqqian Laboratory of Sharif University of Technology (pre- and post-test with and without fatigue) and the Pahlavan Hall of Kharazmi University (six weeks of

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

neuromuscular exercises that were performed on the experimental group in the two months of January and February). Finally, 1 and 2 subjects from the experimental and control groups, respectively, were excluded from the study due to non-compliance with the aforementioned criteria. In the final analysis, the experimental group participated in the pre- and post-test with and without fatigue after six weeks of neuromuscular training. During this period, the control group also engaged in their daily activities (in fact, subjects from both groups first participated in the pre-test with and without fatigue. Then, the training group performed neuromuscular training for six weeks. During this period, the control group simply had their daily activities. After the completion of the six-week period, both groups participated in the pre-test with and without fatigue again).

Exhaustion Protocol: This protocol was adapted from the Functional Agility Exhaustion Protocol of Lucci et al. 2011, incorporating a combination of various agility and jumping movements to mimic the multidirectional changes of direction and sprinting patterns that an athlete performs during a competitive race. Each athlete was required to perform 4 sets of the protocol without rest between them (this protocol lasted approximately 5 minutes for each subject) until reaching the threshold of exhaustion using the Borg scale and Polar heart rate sensor (subjects with a score below 15 would continue for a few more sets until reaching the threshold of exhaustion of 15) (24).

Training protocol: The training program was derived from the research work of Mayer et al. in 2008 and was used for 6 weeks (in 18 training sessions). These exercises were performed with steppers, body weight, and medicine balls, Swiss balls, and Bosu balls. Each training session lasted about 30 minutes, including a 10-minute initial warm-up and final cool-down. These exercises were designed in 5 phases, such that at the beginning of each phase, the exercises were performed in a simple manner and with a lower volume, as well as with both legs, proper technique, and relative ease. Subsequently, based on the ability and performance of the subjects, the techniques and movements gradually progressed and became more difficult. When the trainer was confident in the athlete's efficiency and skill in performing individual techniques, the subject advanced to the next phase. The subject had to perform the exercises at the specified volume and intensity

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

with proper technique, and whenever necessary, he had to perform the exercises with feedback to perform the proper technique (35).

Results:

Analysis of variance analysis of within-group changes in ground reaction forces of the two control and experimental groups in conditions with and without fatigue is presented. According to this table, within-group changes in pre-tests with and without fatigue compared to post-tests with and without fatigue in the stability variables in the anterior-posterior, medial-lateral, vertical directions and time to reach total stability, maximum anterior-posterior, medial-lateral and maximum vertical force, time to reach peak force (milliseconds) and loading rate (Newton) are significant ($P<0.05$). This is while the changes in the aforementioned variables in the control group are not significant ($P>0.05$)

The analysis of variance of the intergroup changes in ground reaction forces of the two control and experimental groups in conditions with and without fatigue is presented. According to this table, the intergroup changes in the pre-tests with and without fatigue in the stability variables in the anterior-posterior, medial-lateral, vertical directions and time to reach total stability, maximum anterior-posterior, medial-lateral and maximum vertical force, time to reach peak force and loading rate are not significant between the two groups ($P>0.05$). This is while the changes in the aforementioned variables in the post-test between the control and experimental groups are significant ($P<0.05$).

Discussion:

The aim of the present study was to investigate the effect of functional fatigue on the change in the effectiveness of neuromuscular training on ground reaction forces in male athletes prone to injury during cutting. The findings of the present study indicate that performing neuromuscular training of the trunk and thigh in male athletes with trunk control deficits in conditions with and without functional fatigue is likely to cause significant changes and improvements in kinetic variables including time to reach stability in the anterior-posterior, medial-lateral, vertical directions and time to reach total stability, maximum anterior-posterior, medial-lateral and maximum vertical force, time to reach peak force and loading rate) in the pre- and post-test of the experimental group ($P<0.05$). In contrast, none of the aforementioned variables in the pre- and post-test of the control

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

group in different conditions with and without functional fatigue had any significant changes or improvements (P>0.05).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

مقدمه

یکی از شایع‌ترین آسیب‌ها حین فعالیت‌های ورزشی، آسیب غیربرخوردی لیگامان صلیبی قدامی[1] است (۱)، که معمولاً هنگام انجام حرکاتی مانند کاهش شتاب، فرود آمدن، تغییر جهت حرکت یا حرکات برشی[2] که سطح ضربه یا فشار بالایی وجود دارد می‌تواند شکل بگیرد (۲). از جمله مواردی که می‌تواند در شکل گیری آسیب غیر برخوردی لیگامان صلیبی قدامی نقش بسزایی داشته باشد کاهش یا نقص در کنترل بدن بویژه کنترل تنه بوده، که ورزشکار را به احتمال زیاد در خطر آسیب دیدگی اندام تحتانی قرار می‌دهد (۳). از جمله نقش‌های مهم ناحیه تنه، می‌توان به انتقال نیرو و ارتباط بین مفصلی اندام فوقانی و تحتانی اشاره کرد (٤). در حقیقت کنترل عصبی – عضلانی ناحیه تنه از راه ارتباط موثر و پیچیده هماهنگی عصبی – عضلانی، حس عمقی، قدرت و استقامت عضلات بخش تنه و ران، شکل می‌گیرد (۵). در این زمینه مطالعات صورت گرفته کنترل صحیح و ثبات تنه را در کاهش خطر وقوع آسیب لیگامان صلیبی قدامی مؤثر دانسته‌اند (٦). پژوهشگرانی همچون هوت[3] و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که کنترل عصبی – عضلانی تنه بر ریسک آسیب لیگامان صلیبی قدامی اثر گذار است، بنابراین نقص در ثبات تنه می‌تواند ریسک آسیب بیان شده را افزایش دهد (۷). همچنین در پژوهش آینده‌نگر سه ساله‌ای، نشان داده شد که ورزشکاران با ثبات تنه ضعیف، مستعد پارگی لیگامان صلیبی قدامی هستند (۸). علاوه بر این شرکت کنندگان با ثبات تنه پایین، کمتر قادر به مقاومت در برابر حرکت چرخش داخلی ران بودند که نتیجتاً حرکت والگوس زانوی زیادی را در تمرینات با تحمل وزن تجربه می‌کردند (۹). الگوهای نامناسب فعال‌سازی، توان و قدرت عضلانی تنه و اندام تحتانی سبب ایجاد نقص‌های کنترل عصبی – عضلانی هستند که در نهایت به افزایش بارهای وارده به لیگامان نامبرده و مفصل زانو ورزشکار حین اجرای فعالیت‌های ورزشی می‌انجامد (۱۰). لذا کنترل نامناسب در ناحیه مرکزی و نقص در توانایی تقسیم نیروها، سبب شکل گیری حرکات غیر نرمال تنه، به خصوص در صفحه فرونتال، همراه با افزایش نیروی عکس‌العمل زمین و والگوس در مفصل زانو می‌شود (۱۱). در این راستا محمدی[4] و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان، شیوع نقص‌های عصبی – عضلانی با آسیب‌های غیر تماسی لیگامان صلیبی قدامی دانشجویان ورزشکار در ارتباط می‌باشد، اظهار کردند که شیوع نقص کنترل تنه در ورزشکاران مرد مورد مطالعه، ۲٦ درصد بوده و با توجه به اهمیت ارتباط نقص کنترل تنه و آسیب اندام تحتانی، بویژه نیروهای وارده بر زانو، ضرورت توجه به برنامه‌های پیشگیری و بازتوانی این نقص را توصیه نمودند (۱۲).

عوامل مختلفی مانند خستگی، می‌تواند اختلال در عملکرد، هماهنگی، زمان‌بندی و فعال‌سازی را در عضلات ایجاد کند که در نهایت سبب بروز نقص در الگوهای حرکتی می‌شود (۱۳). خستگی پدیده‌ای شایع و نسبتاً پیچیده بوده که به‌صورت کاهش ظرفیت تولید نیرو هنگام فعالیت‌های ورزشی بوجود می‌آید و باعث اختلال در فاکتورهای مختلف عملکردی ورزشکاران، ایجاد ضعف و یا کاهش هماهنگی عضلات تنه می‌شود (١٤). در واقع خستگی مناطق مختلف اندام تحتانی

1 . Anterior Cruciat Ligament
2 . Shear Movements
3 . Hewett
4 . Mohammadi

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

می‌تواند در تغییر الگوی حرکتی این بخش از بدن موثر باشد که این اثر گذاری می‌تواند از طریق تغییر میزان فعالیت عضلانی و یا تغییرات کینتیکی و کینماتیکی مرتبط با مفاصل باشد (۱۵). تعدادی از پژوهش‌ها، متغیر خستگی را عاملی در افزایش خطر احتمالی آسیب لیگامان صلیبی قدامی معرفی کرده‌اند (۱٦). این در حالی است که برخی پژوهش‌ها گزارش کردند که ورزشکاران هنگام خستگی از تکنیک‌های محافظتی استفاده کرده که این مهم، بارهای کرنشی بر لیگامان صلیبی قدامی را کاهش می‌دهد (۱۷). همچنین خستگی قادر است کینماتیک حرکات مختلف ورزشی را بوسیله کاهش فلکشن زانو و افزایش حرکت آن در صفحه فرونتال، به مکانیسم آسیب لیگامان صلیبی قدامی نزدیک کند (۱۸). در حقیقت خستگی و شرایطی مانند ضعف عضلانی و کاهش هماهنگی عصبی – عضلانی، گشتاور نامتعادل و نیروهای برشی را در اطراف مفاصل ایجاد می‌کنند (بویژه در هنگام حرکات نامتعادلی که پایداری مفصل را به چالش می‌کشند) که موجب آسیب به ساختارهای عصبی– عضلانی – اسکلتی می‌گردند. در همین رابطه پژوهش‌های شیوع سنجی، وقوع آسیب اندام تحتانی را در پایان مسابقات (یا با افزایش زمان بازی) گزارش کرده‌اند (۱۸).

در حقیقت باید به توانایی مؤثر تغییر جهت، به‌عنوان مرکز موفقیت در ورزش‌های نیازمند این مهم اشاره کرد (۱۹). بر همین اساس اجرای تکنیک‌ها، کینتیک و کینماتیک کل بدن به احتمال زیاد با تفاوت در تغییر جهت‌های زاویه‌دار متفاوت خواهد بود (۲۰). با این حال حرکات همراه با تغییر جهت را، عاملی اساسی در شکل گیری آسیب غیر برخوردی لیگامان صلیبی قدامی می‌دانند (۲۱، ۲۰). هنگام تغییر جهت‌ها، تکنیک انتخاب شده نیز به تبع زاویه تغییر جهت، تغییر می‌یابد (۲۱). با این حال تعداد محدودی از مطالعات متغیرهای کینتیکی مانند نیروهای عکس‌العمل زمین را در تغییر جهت‌های زاویه‌ای ورزشکاران مستعد آسیب بررسی نمودند (۲۱).

ازآنجایی‌که ثبات تنه برای پیشگیری از آسیب‌های اندام تحتانی مهم تلقی می‌شود تکنیک‌های تقویت عضلات تنه به شکلی وسیع برای پیشگیری و بازتوانی مورد استفاده قرار می‌گیرند (٦). با توجه به مطالب مطرح شده، پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی از اهمیت خاصی برخوردار است. به علاوه توجه به عوامل خطر قابل تعدیل، احتمال اثر گذاری تمرینات ویژه به منظور کنترل این آسیب را، پر رنگ‌تر می‌سازد. معمولاً تمرینات پیشگیری از آسیب غیر برخوردی لیگامان صلیبی قدامی ، با هدف اصلاح، تعدیل عوامل خطر و در نهایت کاهش آسیب لیگامان صلیبی قدامی صورت می‌گیرد. تاکنون اثر مداخلات تمرینی مختلفی بر عوامل خطر آسیب لیگامان صلیبی قدامی مورد بررسی قرار گرفته است که از آن جمله می توان به تمرینات ثبات مرکزی، عصبی عضلانی و پروتکل‌های خستگی اشاره کرد (۲۲). در این بین تمرینات عصبی عضلانی از جمله تمریناتی می‌باشد که به منظور پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی توصیه شده است (۲۳). این تمرینات شامل تمرینات مقاومتی، پلایومتریک و تمرین مهارت‌های حرکتی پایه بوده که با هدف بالا بردن ثبات مفصلی، کارایی حرکتی، قدرت و کنترل عصبی – عضلانی به کار می‌رود (۲٤). این مداخله تمرینی به منظور کنترل عوامل خطر در ورزشکاران جوان طراحی شده و یافته‌ها حاکی از آنست که تمرینات عصبی – عضلانی در این افراد می‌تواند آسیب های حاد و مزمن را به ترتیب تا ٤۰ تا ۵۰ درصد کاهش دهد (۲۵). در حقیقت این تمرینات برای ارتقای اثربخشی مهارت های حرکتی، افزایش قدرت و بدنبال آن کاهش میزان بارگذاری مفصلی ناشی از فعالیت‌های پویایی مانند تغییر جهت

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

حرکت می‌باشد (۲۶). بنابراین تمرینات عصبی – عضلانی احتمالاً می‌تواند در ورزشکاران مستعد آسیب غیر برخوردی اندام تحتانی، بعنوان روشی کاربردی و سودمند واقع شود (۲۷).

از جمله پژوهش‌های صورت‌گرفته در این زمینه می‌توان به پژوهش اخیر رد[1] و همکاران (۲۰۲۱) اشاره داشت که به بررسی اثر ٤ هفته تمرینات عصبی – عضلانی بر کینماتیک فرود قبل و بعد از اوج سرعت ارتفاع ورزشکاران مرد پرداخته و گزارش نمودند که تمرینات عصبی – عضلانی سبب کاهش نمره پرش تاک و خطای آزمون فرود شده است. به بیانی دیگر بهبود مکانیسم فرود و کاهش ریسک آسیب را بدون توجه به بلوغ افراد شرکت کننده نشان دادند (۲۸). در پژوهشی دیگر زاگو[2] و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی خستگی ناشی از تکرار تغییر جهت در زنان فوتبالیست نخبه: به بررسی اثر آن بر بیومکانیک اندام تحتانی و کاربرد آن در پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی، پرداختند. این پژوهشگران گزارش کردند که بازیکنان استراتژی‌های مختلفی را برای مقابله با تغییر جهت‌های مکرر، اعم از رفتارهای محافظتی تا رفتارهای بالقوه خطرناک، به نمایش گذاشتند. اگر چه مورد دوم اثری یکپارچه نبود، اما اهمیت ارزیابی بیومکانیکی فردی هنگام کنار آمدن با خستگی را تقویت می‌کند (۲۹).

از این رو علی رغم ضرورت توجه به عوامل خطرزای قابل تعدیل نیروهای عکس‌العمل زمین و در نظر گرفتن متغیر اصلی نقص کنترل تنه در کنار اهمیت بکارگیری تمرینات عصبی – عضلانی در پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی، تاکنون در پژوهش‌های صورت گرفته (۲٦، ۲۵، ۲٤)، به موارد بیان شده در شرایط خستگی کمتر پرداخته شده است (۲٦، ۲۵، ۲٤). اغلب پژوهش‌های انجام شده در این رابطه، به بررسی جداگانه اثر تمرینات عصبی – عضلانی و یا پروتکل‌های خستگی بر متغیرهای مذکور پرداخته‌اند (۲۹، ۲۵). در حالی که در مطالعه پیش رو اثر تمرینات عصبی – عضلانی بر متغیرهای قابل تعدیل آسیب لیگامان صلیبی قدامی در مردان ورزشکار با نقص تنه تحت شرایط خستگی بررسی شده، و با توجه به موارد مذکور بررسی این متغیرها در افراد مستعد آسیب به‌صورت همزمان ضروری به نظر می‌رسد تا مشخص شود که آیا اثر این تمرینات در شرایط ویژه‌ای مانند خستگی که هنگام ورزش شایع است می‌تواند به قوت خود باقی بماند؟ لذا پژوهشگران در پژوهش حاضر در پی پاسخ گویی به این سؤال هستند که آیا خستگی عملکردی اثر تمرینات عصبی عضلانی بر متغیرهای کینتیکی را، حین اجرای کاتینگ در مردان ورزشکار مستعد آسیب تغییر می‌دهد؟

روش‌شناسی

روش مطالعه: روش مطالعه پیشرو از نوع نیمه‌تجربی و کاربردی با طرح پیش‌آزمون – پس‌آزمون همراه با گروه کنترل تعیین شد. **شرکت‌کنندگان:** همه شرکت‌کنندگان در مورد هدف مطالعه، روش‌ها، مدت‌زمان شرکت، مزایا، خطرات یا عوارض، داوطلبانه بودن مطالعه و محرمانه بودن داده‌ها مطلع شدند و قبل از شروع مطالعه، فرم رضایت آگاهانه را امضا کردند. همچنین پژوهش حاضر سعی در رعایت اصول اخلاقی ذکر شده در بیانیهٔ اخلاق هلسینکی ۲۰۰۸ نموده و کلیات

1 . Read
2 . Zago

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

آن به شماره IR.SSRC.REC.1401.032 در تاریخ ۱۴۰۱/۲/۳۱ توسط کمیته ملی اخلاق در مطالعات زیست پزشکی تأیید و ثبت شده است. جامعه آماری پژوهش حاضر، شامل تمامی دانشجویان مرد ورزشکار (در رشته‌های هندبال، بسکتبال و فوتبال که دارای نقص کنترل تنه بودند) دانشگاه خوارزمی بود که تعداد ۳۲ مرد ورزشکار واجد شرایط از جامعه آماری مذکور به‌صورت هدفمند و بشکل تصادفی در دو گروه کنترل و تجربی (هر گروه ۱۶ نفر) بعنوان نمونه آماری، با استفاده از نرم افزار جی پاور با توان آماری ۰/۸، آلفای ۰/۰۵، اندازه اثر ۰/۲۸ و در نظر گرفتن ریزش ۱۰ درصدی، میانگین و انحراف استاندارد جامعه و نمونه آماری متغیرهای مورد مطالعه به استناد مطالعات مشابه قبلی برای طرح تحقیقی تحلیل واریانس با اندازه‌های مکرر انتخاب شدند (۳۰).

معیارهای ورود به مطالعه شامل: دانشجوی مرد ورزشکار (رشته‌های هندبال، بسکتبال و فوتبال) دانشگاه خوارزمی، دارای نقص کنترل تنه (آزمون پرش تاک[1])، قرارگیری در دامنه سنی ۱۸ تا ۲۵ سال، دارای فعالیت ورزشی مستمر بر اساس پرسشنامه بک[2] (امتیاز ۱۳ تا ۱۵ را کسب کند) باشند. بر اساس معیار مک کینی [3] در طبقه دوم قرار گرفته و جزو ورزشکاران رقابتی باشند (بر این اساس ورزشکاران هر هفته بیش از شش ساعت، سه جلسه در هفته، هر جلسه برای مدت دو ساعت و بیشتر به ورزش پرداخته و آمادگی شرکت در مسابقات رسمی را داشتند) (۳۱). دارای شاخص توده بدنی در محدوده طبیعی باشند (۲۵-۱۸/۵). **معیارهای خروج از مطالعه نیز شامل:** شرکت در برنامه تمرینات پیشگیری از آسیب در ۶ ماه گذشته. وجود سابقه آسیب‌دیدگی در یک سال گذشته در ناحیه تنه و اندام تحتانی. وجود ناهنجاری‌های اندام تحتانی (زانوی ضربدری، زانوی پرانتزی، زانوی عقب رفته و کف‌پای صاف) قابل تشخیص با ارزیابی بصری. وجود درد در زمان تحقیق و یا سابقه جراحی در ناحیه تنه و اندام تحتانی. وجود سابقه آسیب‌دیدگی وستیبولار، گوش داخلی و لیگامانی در اندام تحتانی در یک سال گذشته (۳۲)، عدم رضایت آزمودنی‌ها و عدم تمایل آن‌ها به روند تحقیق غیبت دو جلسه متوالی و سه جلسه غیر متوالی در تمرینات. عدم سازگاری با تمرینات و پروتکل خستگی. بر این اساس فراخوان شرکت در مطالعه و غربالگری آزمودنی‌ها در بازه زمانی مهر تا آبان ماه ۱۴۰۱ صورت گرفت. پیش و پس‌آزمون این تحقیق به همراه تمرینات عصبی عضلانی و پروتکل خستگی نیز در فاصله زمانی آذر (پیش‌آزمون) تا اسفند ماه (پس‌آزمون) ۱۴۰۱ در آزمایشگاه موفقیان مربوط به دانشگاه صنعتی شریف (پیش و پس‌آزمون با و بدون خستگی) و سالن پهلوانان دانشگاه خوارزمی (شش هفته تمرینات عصبی عضلانی که در دوماهه دی و بهمن روی گروه تجربی اجرا شد) انجام گرفت. در نهایت بترتیب ۱ و ۲ نفر از گروه تجربی و کنترل به دلیل عدم رعایت معیارهای مذکور از مطالعه حذف شدند و در تحلیل نهایی گروه تجربی پس از انجام شش هفته تمرین عصبی عضلانی، در پیش و پس‌آزمون با و بدون خستگی شرکت کردند. در این مدت، گروه کنترل نیز به فعالیت روزانه خود پرداختند (در واقع آزمودنی‌های هر دو گروه ابتدا در پیش‌آزمون با و بدون خستگی شرکت کردند. سپس گروه تمرین به مدت شش هفته تمرینات عصبی عضلانی را انجام

1 . Tuck jump test
2 . Baecke questionnaire
3 . McKinney

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

داد. در این مدت گروه کنترل صرفاً فعالیت روزانه خود را داشتند، بعد از اتمام دوره شش هفته‌ای، هر دو گروه مجدداً در پیش‌آزمون با و بدون خستگی شرکت کردند).

آزمون پرش تاک: اجرای آزمون پرش تاک برای تعیین نقص کنترل تنه به این صورت بود که هر یک از آزمودنی‌ها با پاهای باز به‌اندازه عرض شانه ایستاده و به‌صورت عمودی شروع به پرش می‌کرد و زانوهای خود را تا جایی که امکان داشت بالا می‌آورد تا در بالاترین نقطه پرش، ران‌ها موازی با زمین قرار گیرد. هنگام فرود، ورزشکار باید پرش تاک بعدی را شروع می‌کرد. این آزمون برای ۱۰ ثانیه اجرا میشد. برای بهبود دقت ارزیابی از دو دوربین فیلم برداری استفاده شد. دوربین‌ها با توجه به قد آزمودنی‌ها و به موازات صفحات عرضی و سهمی نسبت به آزمودنی تنظیم می‌شد. پس از انجام آزمون، برای بررسی سکانس‌های پرش از نرم افزار کینووا[1] استفاده شد. فردی که قادر نباشد در محل شروع پرش فرود بیاید، در نقطه اوج پرش ران‌هایش موازی زمین قرار نگیرد و پرش‌هایش در طول ۱۰ ثانیه با وقفه انجام شود به عنوان فرد مبتلا به نقص کنترل تنه در نظر گرفته شد. جهت حصول اطمینان در مورد وجود نقص تنه در مردان ورزشکار، قبل از انجام پژوهش، طرح آزمایشی یا پایلوت آزمون پرش تاک به عمل آمد (۱۲).



شکل ۱. نحوه اجرای آزمون پرش تاک

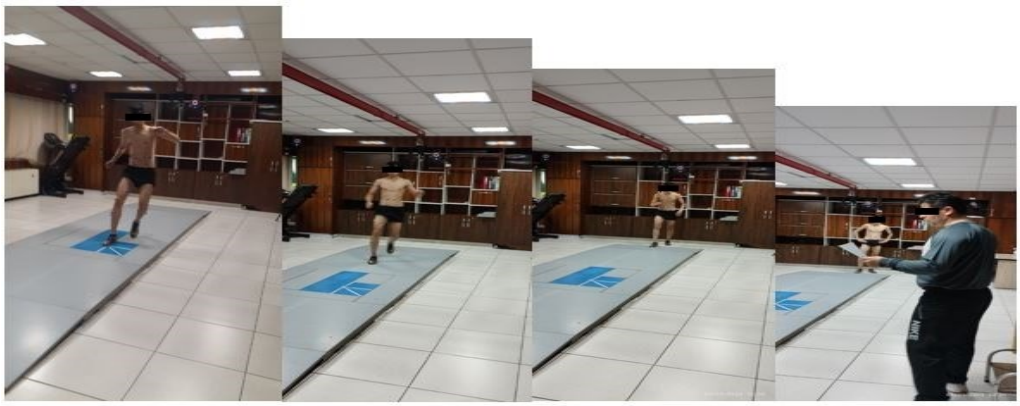
فورس پلیت: از صفحه نیرو با مارک تجاری کیستلر[2]، ساخت کشور سوئیس با نرم‌افزار کورتکس[3] جهت اندازه‌گیری زمان رسیدن به پایداری[4] (داده‌های این بخش، از ۵۰ درصد اولیه فاز استانس[5] یعنی همان مرحله شکست، استخراج گردید) و حداکثر نیرو در جهت قدامی- خلفی، داخلی- خارجی، عمودی، اوج نیرو و میزان بار وارده (داده های این بخش، از ۵۰ درصد پایانی فاز استانس یعنی همان مرحله رانش استخراج گردید) استفاده شد. دامنه اندازه‌گیری برای مؤلفه‌های برشی (جهت قدامی- خلفی، جهت داخلی- جانبی) ۲/۵- تا ۲/۵+ کیلو نیوتن و برای مؤلفه‌ی عمودی ۵ کیلو نیوتن، و فرکانس طبیعی برای مؤلفه‌های برشی ۴۰۰ و برای مؤلفه‌ی عمودی ۲۰۰ هرتز و حداکثر خطای مرکز فشار ۲ میلیمتر، تعیین شد.

1 . Kinova software
1 . Kistler-9260AA6
2. Cortex
4 . Time to Stability
5 . Stance

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

به منظور اندازه‌گیری فرکانس، صفحه نیرو با سرعت نمونه برداری ۱۰۰۰ هرتز تنظیم شد؛ همچنین با استفاده از فیلتر دیجیتال پایین گذر[1] درجه ٤ و با فرکانس برش ۵۰، نویز اطلاعات کاهش یافت (۳۳).

کاتینگ ۴۵ درجه: برای اجرای مانور کاتینگ آزمودنی‌ها از فاصله مشخص شده با حداکثر سرعت اقدام به دویدن نموده تا لحظه‌ای که پا با محل مشخص شده روی فورس پلیت تماس پیدا کرده و کاتینگ ٤۵ درجه (ابتدا با استفاده از نوارچسب سفیدرنگ و خط کش مندرج، زاویه ۹۰ درجه روی فورس پلیت رسم گردید، سپس زاویه ۹۰ درجه را با خط کش مندرج به دو زاویه ٤۵ درجه مساوی تقسیم نموده و نوارچسب برای مشخص‌کردن زاویه ٤۵ درجه چسبانده می‌شد) را اجرا می نمودند. به این صورت که آزمودنی با رسیدن به فورس پلیت و نقطه مشخص شده برای لمس پای غالب، سعی در تغییر جهت مستقیم به زاویه ٤۵ درجه، هم جهت با نوارچسب ترسیم شده می‌نمود. هر یک از آزمودنی‌ها چندین بار حرکت مورد نظر را برای به‌دست‌آوردن فاصله مورد نظر و اجرا با پای غالب تکرار نمود و میانگین تکرارهای آنها برای ارزیابی مورد استفاده قرار گرفته که بر اساس وزن آزمودنی‌ها نرمال‌سازی می‌شد (۳۰).



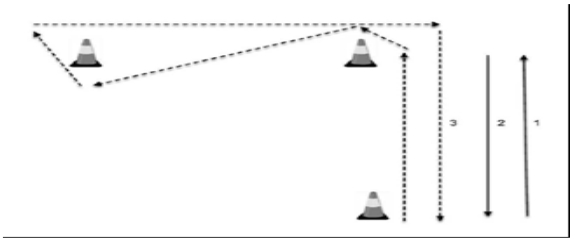
شکل ۲. نحوه اجرای مانور کاتینگ روی فورس پلیت

پروتکل خستگی: این پروتکل بر اساس پروتکل خستگی چابکی عملکردی لوچی[2] و همکاران ۲۰۱۱ تنظیم شده بود در برگیرنده ترکیبی از حرکات چابکی و پرشی مختلف به منظور تقلید از تغییر مسیرهای چند جهته و الگوی دوهای سرعت که یک ورزشکار در حین یک مسابقه رقابتی انجام می‌دهد بود. با اندازه گیری حداکثر پرش عمودی آزمودنی‌ها با استفاده از نوارهای مدرجی که بر روی دیوار مشخص می‌شد آغاز گردید. سپس آزمودنی روبروی دیوار می‌ایستاد و حرکات بالا و پایین پریدن را روی یک جعبه ۳۰ سانتیمتری به صورت تک پا و پشت سر هم به مدت ۲۰ ثانیه با سرعت ۲۲۰ ضربه در دقیقه انجام می‌داد. سپس بلافاصله آزمودنی‌ها یک تکرار تمرین L (با استفاده از سه مانع مخروطی که با فاصله ٤/۵ متر تنظیم شده بود شکل L ساخته می‌شد) بدین صورت انجام می‌داد که سه مخروط به فاصله ٤/۵ متر در سه نقطه به شکل L قرار داده شده و آزمودنی‌ها پشت مخروط اول می‌ایستاد و با سرعت به سمت مخروط دوم می‌دوید و بعد از رسیدن به

1 . Butter worthy
2 . Lucci

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

مخروط دوم سریع تغییر مسیر داده و با سرعت به سمت مخروط اول برگشته و دوباره با سرعت به سمت مخروط دوم می‌دوید و در سمت راست مخروط دوم قرار می‌گرفت، سپس به سمت چپ تغییر مسیر داده و از جلو با سرعت به سمت مخروط سوم می‌دوید. بلافاصله بعد از رسیدن به مخروط سوم، تغییر مسیر داده و با سرعت به سمت مخروط دوم برگشته و به جهت راست تغییر مسیر داده و به سمت مخروط اول برگشت می‌داد. به محض اتمام تمرین مذکور، آزمودنی‌ها ۵ تمرین پرش عمودی متوالی با حدود ۸۰ درصد حداکثر پرش عمودی‌شان که قبل از شروع پروتکل مشخص می‌شد را انجام می‌داد. بلافاصله پس از جهش عمودی، به سمت نردبان چابکی دویده و پشت نردبان چابکی قرار می‌گرفت. هنگام تکمیل پروتکل برای اولین و سومین بار، هر آزمودنی به سمت جلو دویده و مطمئن می‌شد که هر دو پا فضای داخل نردبان را لمس می‌کرد. هنگام تکمیل پروتکل برای دومین و چهارمین بار، از بغل حرکت می‌کرد مطمئن می‌شد که هر دو پا فضای داخل نردبان را لمس کند. آزمودنی‌ها نردبان چابکی را با استفاده از مترونوم با ریتم ۲۲۰ ضربه در دقیقه انجام می‌داد به طوری که باید یک سرعت ثابت را در سراسر پروتکل حفظ می‌کرد. مهارت L مهارت نردبان و پرش _ فرود به تقلید از نیازهای عملکردی رشته مختلف ورزشی همچون فوتبال، هندبال والیبال و بسکتبال بود. کل فعالیت ذکر شده بعنوان یک ست در نظر گرفته می‌شد که هر ورزشکار می‌بایست ٤ ست پروتکل را بدون وجود استراحت بین آنها انجام دهد (این پروتکل برای هر آزمودنی تقریباً ۵ دقیقه طول میکشید) تا به مرز خستگی با استفاده از مقیاس بورگ و حسگر ضربان قلب پلار برسد (افراد با نمره کمتر از ۱۵ چند ست دیگر ادامه خواهند داد تا به مرز خستگی ۱۵ برسند) (۲٤).



شکل ۳. نحوه اجرای پروتکل خستگی عملکردی

پروتکل تمرینی: برنامه تمرینی برگرفته از کار پژوهشی میر[1] و همکاران در سال ۲۰۰۸ بود که برای ٦ هفته (در ۱۸ جلسه تمرینی) بکار گرفته شد. این تمرینات با استپ‌ها، وزن بدن و مدیسن بال، سوئیس بال و بوسو بال انجام گرفت. هر جلسه تمرینی در حدود ۳۰ دقیقه طول کشید که ۱۰ دقیقه گرم کردن اولیه و سرد کردن پایانی را هم شامل می‌شد. این تمرینات در ۵ فاز طراحی شده بود به این صورت که در آغاز هر فاز، تمرینات به شکل ساده و با حجم کمتر، و همچنین با هر دو پا، تکنیک مناسب و سهولت نسبی انجام گرفت. در ادامه بر اساس توانایی و عملکرد آزمودنی‌ها، بتدریج تکنیک‌ها و حرکات پیشرفت کرده و دشوارتر می‌شد. زمانی که مربی به کسب کارایی و مهارت در اجرای تکنیک‌های فردی ورزشکار اطمینان پیدا می‌کرد، آزمودنی به فاز بعدی پیشرفت می‌داد. آزمودنی باید تمرینات را در حجم و شدت تعیین شده با

1 . Myer

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

تکنیک مناسب انجام می‌داد و هر زمان که لازم می‌شد باید تمرینات را به منظور انجام تکنیک مناسب، همراه با فیدبک انجام می‌داد (۳۵).

یافته‌ها

ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی‌ها که شامل سن، قد، وزن و شاخص توده بدنی بوده در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی‌ها

متغیر	گروه تجربی میانگین ± انحراف استاندارد	گروه کنترل میانگین± انحراف استاندارد
سن (سال)	۲۲/۸ ± ۲/۵	۲۳/٦ ± ۲/۷
قد (سانتیمتر)	۱۷۸/۱ ± ۸/۲	۱۷۷/۳ ± ٦/۳
وزن (کیلوگرم)	۷۵/۳ ± ۳/۲	۷٤/۵ ± ۲/۷
شاخص توده بدنی	۲۱/۹ ± ۲/۱	۲۲/٤ ± ۱/۰

در جدول شماره ۲ آنالیز تحلیل واریانس تغییرات درون گروهی نیروهای عکس‌العمل زمین دو گروه کنترل و تجربی در شرایط با و بدون خستگی آورده شده است. بر اساس این جدول تغییرات درون گروهی پیش آزمون‌های با و بدون خستگی نسبت به پس آزمون‌های با و بدون خستگی در متغیرهای پایداری در جهات قدامی- خلفی، داخلی- خارجی، عمودی و زمان رسیدن به پایداری کل، حداکثر نیروی قدامی- خلفی، داخلی- خارجی و حداکثر نیروی عمودی، زمان رسیدن به اوج نیرو (میلی ثانیه) و نرخ بارگذاری (نیوتن)معنادار می‌باشد (P<۰/۰۵). این در حالی است که تغییرات متغیرهای مذکور در گروه کنترل هیچکدام معنادار نیستند (P>۰/۰۵).

جدول ۲. آنالیز تحلیل واریانس تغییرات درون گروهی نیروهای عکس العمل زمین دو گروه کنترل و تجربی در شرایط با و بدون خستگی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

گروه	متغیر (میلی‌ثانیه)	انحراف میانگین ± استاندارد پیش‌آزمون بدون خستگی	انحراف میانگین ± استاندارد پس‌آزمون بدون خستگی	اندازه اثر	معنی‌داری	انحراف میانگین ± استاندارد پیش‌آزمون با خستگی	انحراف میانگین ± استاندارد پس‌آزمون با خستگی	اندازه اثر	معنی‌داری
کنترل	پایداری قدامی – خلفی	۱/۷۵±۰/۶۲	۱/۷۳±۰/۴۷	۰/۰۰۶	۰/۷۱۶	۱/۹۸±۰/۵۹	۱/۹۵±۰/۶۴	۰/۰۰۸	۰/۶۱۲
تجربی		۱/۷۶±۰/۴۴	۰/۹۰±۰/۲۱	۰/۶۹۲	۰/۰۰۴	۱/۹۶±۰/۶۸	۱/۱۴±۰/۳۲	۰/۴۱۹	۰/۰۲۲
کنترل	پایداری داخلی – خارجی	۱/۸۲±۰/۵۴	۱/۸۷±۰/۴۷	۰/۰۱۱	۰/۶۱۰	۱/۹۵±۰/۵۲	۱/۹۰±۰/۴۲	۰/۰۰۷	۰/۵۴۹
تجربی		۱/۸۵±۰/۴۹	۱/۰۰±۰/۳۴	۰/۵۳۶	۰/۰۰۱	۱/۹۰±۰/۲۸	۱/۱۰±۰/۲۹	۰/۴۱۹	۰/۰۱۰
کنترل	پایداری در راستای عمودی	۰/۷۲±۰/۱۴	۰/۷۰±۰/۲۲	۰/۰۱۹	۰/۷۵۹	۰/۸۶±۰/۱۲	۰/۸۴±۰/۱۶	۰/۰۱۲	۰/۷۵۱
تجربی		۰/۷۵±۰/۱۹	۰/۴۰±۰/۲۰	۰/۸۵۳	۰/۰۰۱	۰/۸۷±۰/۲۱	۰/۴۵±۰/۲۹	۰/۷۳۱	۰/۰۰۶
کنترل	پایداری کل	۱/۹۲±۰/۱۱	۱/۹۰±۰/۰۹	۰/۰۲۰	۰/۴۶۷	۲/۰۰±۰/۰۴	۱/۹۹±۰/۱۰	۰/۰۲۷	۰/۶۵۰
تجربی		۱/۸۹±۰/۲۳	۰/۹۸±۰/۲۰	۰/۴۱۹	۰/۰۰۲	۲/۰۲±۰/۰۳	۱/۱۵±۰/۲۹	۰/۵۶۹	۰/۰۰۸
کنترل	حداکثر نیروی قدامی – خلفی	۰/۲۰±۰/۱۱	۰/۲۰±۰/۰۹	۰/۰۱۴	۰/۴۱۷	۰/۲۷±۰/۰۴	۰/۲۸±۰/۱۰	۰/۰۴۷	۰/۶۹۰
تجربی		۰/۲۲±۰/۰۶	۰/۱۰±۰/۰۷	۰/۶۷۰	۰/۰۰۵	۰/۲۸±۰/۰۲	۰/۱۴±۰/۲۳	۰/۸۸۱	۰/۰۰۱
کنترل	حداکثر نیروی داخلی – خارجی	۰/۳۸±۰/۰۹	۰/۳۷±۰/۱۵	۰/۰۲۲	۰/۵۴۹	۰/۴۷±۰/۱۴	۰/۴۸±۰/۱۰	۰/۰۱۹	۰/۵۶۰
تجربی		۰/۳۹±۰/۱۰	۰/۲۵±۰/۲۰	۰/۶۹۴	۰/۰۰۱	۰/۴۸±۰/۱۱	۰/۳۲±۰/۱۹	۰/۴۹۲	۰/۰۰۳
کنترل	حداکثر نیروی عمودی	۰/۸۵±۰/۰۴	۰/۸۶±۰/۱۱	۰/۰۱۲	۰/۶۱۱	۰/۹۴±۰/۱۶	۰/۹۵±۰/۲۶	۰/۰۱۸	۰/۵۷۹
تجربی		۰/۸۷±۰/۰۷	۰/۴۵±۰/۲۴	۰/۴۲۵	۰/۰۰۹	۰/۹۶±۰/۲۲	۰/۶۲±۰/۱۱	۰/۵۱۹	۰/۰۰۱
کنترل	اوج نیرو	۰/۳۸±۰/۲۶	۰/۳۸±۰/۱۵	۰/۰۲۹	۰/۷۶۶	۰/۴۵±۰/۲۰	۰/۴۴±۰/۲۶	۰/۰۲۶	۰/۴۴۹
تجربی		۰/۳۹±۰/۱۹	۰/۲۴±۰/۲۱	۰/۶۲۵	۰/۰۰۱	۰/۴۴±۰/۱۸	۰/۳۰±۰/۱۷	۰/۴۶۵	۰/۰۰۲
کنترل	نرخ بارگذاری (نیوتن)	۰/۴۸±۰/۱۷	۰/۴۹±۰/۱۵	۰/۰۴۳	۰/۶۱۲	۰/۵۷±۰/۶۵	۰/۵۷±۰/۱۸	۰/۰۳۸	۰/۵۱۶
تجربی		۰/۴۹±۰/۱۹	۰/۳۵±۰/۵۴	۰/۵۷۷	۰/۰۱۱	۰/۵۸±۰/۷۳	۰/۴۲±۰/۲۲	۰/۷۲۳	۰/۰۰۴

در جدول شماره ۳ آنالیز تحلیل واریانس تغییرات بین گروهی نیروهای عکس‌العمل زمین دو گروه کنترل و تجربی در شرایط با و بدون خستگی آورده شده است. بر اساس این جدول تغییرات بین گروهی پیش آزمون‌های با و بدون خستگی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

در متغیرهای پایداری در جهات قدامی- خلفی، داخلی- خارجی، عمودی و زمان رسیدن به پایداری کل، حداکثر نیروی قدامی- خلفی، داخلی- خارجی و حداکثر نیروی عمودی، زمان رسیدن به اوج نیرو و نرخ بارگذاری بین دو گروه معنادار نیست (P>۰/۰۵). این در حالی است که تغییرات متغیرهای مذکور در پس‌آزمون بین گروهی کنترل و تجربی معنادار می‌باشد (P<۰/۰۵).

جدول ۳. آنالیز تحلیل واریانس تغییرات بین گروهی نیروهای عکس العمل زمین دو گروه کنترل و تجربی در شرایط با و بدون خستگی

گروه	متغیر (میلی‌ثانیه)	انحراف میانگین± استاندارد پیش‌آزمون بدون خستگی	معنی‌داری	آماره متغیر	انحراف میانگین± استاندارد پیش‌آزمون با خستگی	آماره متغیر	معنی‌داری	انحراف میانگین± استاندارد پس‌آزمون بدون خستگی	آماره متغیر	معنی‌داری	می±انحراف انگین استاندارد پس‌آزمون با خستگی	آماره متغیر
کنترل	پایداری قدامی- خلفی	۷±۰/۶۲ ۱/۵	۰/۷۰۵	۰۹۶ ۰/	۹±۰/۵۹ ۱/۸	۰/۶۱۲	۱۱۲ ۰/	۷±۰/۴۷ ۱/۳	/۲۳۳ ۱۰	۰/۰۰۱	۱/۹۵±۰/۶۵	/۱۸۹ ۱۱
تجربی		۷±۰/۴۴ ۱/۶			۹±۰/۶۸ ۱/۶			۹±۰/۲۱ ۰/۰			۱/۱۴±۰/۳۲	
کنترل	پایداری داخلی- خارجی	۸±۰/۵۴ ۱/۲	۰/۵۰۵	۰۸۹ ۰/	۹±۰/۵۲ ۱/۵	۰/۶۴۳	۰۹۹ ۰/	۸±۰/۴۷ ۱/۷	/۵۴۳ ۱۲	۰/۰۰۱	۱/۹۰±۰/۴۲	/۶۷۲ ۱۰
تجربی		۸±۰/۴۹ ۱/۵			۹±۰/۲۸ ۱/۰			۰±۰/۳۴ ۱/۰			۱/۱۰±۰/۲۹	
کنترل	پایداری در راستای عمودی	۷±۰/۱۴ ۰/۲	۰/۶۳۲	۰۷۷ ۰/	۸±۰/۱۲ ۰/۶	۰/۷۰۹	۰۸۳ ۰/	۷±۰/۲۲ ۰/۰	/۱۵۱ ۹	۰/۰۱۷	۰/۸۴±۰/۱۶	/۸۱۱ ۷
تجربی		۷±۰/۱۹ ۰/۵			۸±۰/۲۱ ۰/۷			۴±۰/۲۰ ۰/۰			۰/۴۵±۰/۲۹	

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

کنترل تجربی	پایداری کل	۹±۰/۱۱ ۱/۲	۰/۷۸۸	۰۶۵ ۰/	۰±۰/۰۴ ۲/۰	۰/۸۲۴	۰۸۵ ۰/	۹±۰/۰۹ ۱/۰	۰/۰۱۵	/۴۴۴ ۶	۱/۹۹±۰/۱۰	۰/۰۱۲	/۹۸۰ ۷
		۸±۰/۲۳ ۱/۹			۰±۰/۰۳ ۲/۲			۹±۰/۲۰ ۰/۸			۱/۱۵±۰/۲۹		
کنترل تجربی	حداکثر نیروی قدامی - خلفی	۲±۰/۱۱ ۰/۰	۰/۶۲۲	۰۷۷ ۰/	۲±۰/۰۴ ۰/۷	۰/۷۱۶	۰۶۳ ۰/	۲±۰/۰۹ ۰/۰	۰/۰۰۴	/۶۱۹ ۹	۰/۲۸±۰/۱۰	۰/۰۰۱	/۲۱۳ ۱۱
		۲±۰/۰۶ ۰/۲			۲±۰/۰۲ ۰/۸			۱±۰/۰۷ ۰/۰			۰/۱۴±۰/۲۳		
کنترل تجربی	حداکثر نیروی داخلی - خارجی	۳±۰/۰۹ ۰/۸	۰/۴۱۷	۰۸۲ ۰/	۴±۰/۱۴ ۰/۷	۰/۳۵۴	۰۲۳ ۰/	۳±۰/۱۵ ۰/۷	۰/۰۰۸	/۳۴۲ ۱۱	۰/۴۸±۰/۱۰	۰/۰۱۰	/۵۶۹ ۷
		۳±۰/۱۰ ۰/۹			۴±۰/۱۱ ۰/۸			۲±۰/۲۰ ۰/۵			۰/۳۲±۰/۱۹		
کنترل تجربی	حداکثر نیروی عمودی	۸±۰/۰۴ ۰/۵	۰/۶۵۸	۰۲۵ ۰/	۹±۰/۱۶ ۰/۴	۰/۴۷۹	۰۹۴ ۰/	۸±۰/۱۱ ۰/۶	۰/۰۳۳	/۷۹۸ ۸	۰/۹۵±۰/۲۶	۰/۰۴۵	/۹۳۳ ۵
		۸±۰/۰۷ ۰/۷			۹±۰/۲۲ ۰/۶			۴±۰/۲۴ ۰/۵			۰/۶۲±۰/۱۱		
کنترل تجربی	اوج نیرو	۳±۰/۲۶ ۰/۸	۰/۵۴۴	۰۷۲ ۰/	۴±۰/۲۰ ۰/۵	۰/۳۴۷	۰۶۸ ۰/	۳±۰/۱۵ ۰/۸	۰/۰۱۶	/۱۱۲ ۱۱	۰/۴۴±۰/۲۶	۰/۰۱۱	/۴۳۱ ۹
		۳±۰/۱۹ ۰/۹			۴±۰/۱۸ ۰/۴			۲±۰/۲۱ ۰/۴			۰/۳۰±۰/۱۷		
کنترل تجربی	نرخ بارگذاری (نیوتن)	۴±۰/۱۷ ۰/۸	۰/۶۷۷	۰۶۹ ۰/	۵±۰/۶۵ ۰/۷	۰/۶۹۸	۰۵۵ ۰/	۴±۰/۱۵ ۰/۹	۰/۰۲۱	/۷۷۷ ۶	۰/۵۷±۰/۱۸	۰/۰۱۸	/۵۵۸ ۸
		۴±۰/۱۹ ۰/۹			۵±۰/۷۳ ۰/۸			۳±۰/۵۴ ۰/۵			۰/۴۲±۰/۲۲		

بحث

هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر خستگی عملکردی روی تغییر اثربخشی تمرینات عصبی عضلانی بر نیروهای عکس‌العمل زمین در مردان ورزشکار مستعد آسیب حین اجرای کاتینگ بود. یافته‌های پژوهش پیشرو نشان می‌دهد که انجام تمرینات عصبی عضلانی تنه و ران در مردان ورزشکار با نقص کنترل تنه در شرایط با و بدون خستگی عملکردی احتمالاً موجب تغییر و بهبود معنادار متغیرهای کینتیکی شامل زمان رسیدن به پایداری در جهات قدامی- خلفی، داخلی-

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

خارجی، عمودی و زمان رسیدن به پایداری کل، حداکثر نیروی قدامی- خلفی، داخلی- خارجی و حداکثر نیروی عمودی، زمان رسیدن به اوج نیرو و نرخ بارگذاری در پیش و پس‌آزمون گروه تجربی می‌شود (P<۰/۰۵). در مقابل هیچ‌کدام از متغیرهای مذکور در پیش و پس‌آزمون گروه کنترل در شرایط متفاوت با و بدون خستگی عملکردی تغییر یا بهبود معناداری را نداشته‌اند (P>۰/۰۵).

یافته‌های مطالعه حاضر با یافته پژوهشگرانی مانند مشیل اکینو[1] و همکاران (۲۰۲۲)، زاگو و همکاران (۲۰۲۱)، لطافت کار و همکاران (۲۰۲۱)، هوت و همکاران (۲۰۱۷) در شاخص‌های کینتیکی هم‌راستا است (۳۶، ۲۹، ۱۳، ۷). در همین رابطه مشیل اکینو و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای مروری با رویکرد آینده‌نگر، به بررسی اثر خستگی بر اجرا و متغیرهای بیومکانیکی پرداختند. این پژوهشگران در مطالعه خود عنوان کردند که بررسی ارتباط کینتیک مانورهایی مانند فرود و برش با آسیب‌های احتمالی مهم بوده و عاملی که نیازمند توجه در ارتباط با خطر آسیب است، شامل اثر خستگی فیزیولوژیکی است. خستگی منجر به کندی یا توقف شلیک واحد حرکتی و کاهش حداکثر نیرو و توان می‌شود. فعالیت ورزشی به‌ندرت منجر به نارسایی عضلانی لحظه‌ای می‌شود، زیرا بسیاری از ورزش‌ها شامل دوره‌های متناوب فعالیت هستند که با دوره‌های استراحت کوتاهی که امکان ریکاوری را فراهم می‌کند، هستند. بااین‌حال، در طول مسابقه، خستگی همچنان می‌تواند ادامه‌دار باشد و می‌تواند منجر به اختلال در عملکرد شود (۳۶). مطالعه مشیل اکینو و همکاران از نظر بررسی اثر گذاری خستگی بر متغیرهای کینتیکی با مطالعه حاضر همخوانی دارد زیرا این پژوهشگران در مطالعه خود خستگی را بعنوان عاملی مهم در ایجاد اختلال عملکردی معرفی کرده که در مطالعه پیش رو نیز، آزمودنی‌های گروه کنترل و تجربی در پیش‌آزمون با خستگی نسبت به پیش‌آزمون بدون خستگی ضعف عملکردی در متغیرهای مختلف کینتیکی از خود نشان دادند. همچنین در بیانی دیگر گروه تجربی با شرکت در تمرینات عصبی - عضلانی سازمان یافته در پس‌آزمون با خستگی نسبت به گروه کنترل که فعالیت معمول خود را داشتند احتمالاً توانستند به مقدار قابل توجهی ضعف ناشی از خستگی و نقص کنترل تنه را پوشش دهند که این مسئله نیز می‌تواند با گفته پژوهشگران مذکور مبنی بر وجود دوره‌های متناوب فعالیت و استراحت در ورزش‌های مختلف، که امکان ریکاوری را فراهم کرده و نارسایی لحظه‌ای را پوشش می‌دهد همسو باشد.

در پژوهشی دیگر زاگو و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی خستگی ناشی از تکرار تغییر جهت در زنان فوتبالیست نخبه: به بررسی اثر آن بر بیومکانیک اندام تحتانی و کاربرد آن در پیشگیری از آسیب لیگامان صلیبی قدامی، پرداختند. هدف از این پژوهش را ارزیابی میزان اثر خستگی بر کینتیک حین انجام تغییرات مکرر جهت در کنار عوامل خطر لیگامان صلیبی قدامی بیان نمودند. این پژوهش مشاهده‌ای- مقطعی شامل بیست بازیکن زن (سن: ۲۰ - ۳۱ سال، بخش اول - دوم ایتالیا) یک تست دوی رفت و برگشت پیوسته شاتل (۵ متر) را انجام دادند که شامل تغییر جهت‌های ۱۸۰ درجه‌ای تکرار شده تا زمان خستگی بود. این پژوهشگران گزارش نمودند که تغییرات کینتیکی در ۸۵ درصد بازیکنان روی داده که از این نظر با مطالعه حاضر همراستا می‌باشد (۲۹). در مطالعه زاگو و همکاران برای خسته کردن آزمودنی‌ها از تکرار تغییر جهت

1 . Aquino

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

استفاده شده است که از این نظر با مطالعه پیش رو که خستگی را با استفاده از پروتکل خستگی لوچی و همکاران که متشکل از دوهای رفت و برگشت همراه با تغییر مسیر بوده همخوانی دارد. همچنین تغییرات بوجود آمده در متغیرهای کینتیکی و اختلال در آن‌ها با تغییرات شکل گرفته در متغیرهای کینتیکی مطالعه حاضر (ناشی از خستگی عملکردی) همخوان بود. هر چند جنسیت ورزشکاران مطالعه حاضر در مقایسه با مطالعه زاگو و همکاران متفاوت می‌باشد اما هر دو مطالعه از ورزشکاران فعال در رشته‌های ورزشی نیازمند مهارت کاتینگ و تغییر جهت استفاده نموده و در بازه سنی مشابهی قرار دارند. لذا هر دو مطالعه هم از نظر روش شناسی و هم از نظر نتایج بدست آمده همراستا می‌باشند.

در همین رابطه لطافتکار و همکاران (۲۰۲۱) اثر تمرینات عصبی – عضلانی را با استفاده از تمرکز خارجی توجه در مردان ورزشکار با بازسازی لیگامان صلیبی قدامی مورد بررسی قرار دادند. بیست و چهار مرد ورزشکار که در مراحل اولیه، به‌صورت یک‌طرفه بازسازی لیگامان صلیبی قدامی – همسترینگ و توان‌بخشی مرسوم بعد از عمل جراحی را انجام داده بودند به‌صورت تصادفی در دو گروه تجربی (۱۲ نفر) و کنترل دارونما (۱۲ نفر) قرار گرفتند. تمرین تجربی شامل تقویت اندام تحتانی، تمرینات پلایومتریک، تمرین تعادلی و تمرین مجدد الگوی حرکتی بود. بیومکانیک فرود تک پا، حس عمقی زانو و عملکرد گزارش‌شده بیمار قبل و بعد از ۸ هفته تمرین ارزیابی شد. ورزشکاران گروه تجربی در نیروهای عکس‌العمل زمین به‌ویژه نیروی عمودی واکنش زمین کاهش را تجربه کردند. گروه کنترل تغییرات معناداری را تجربه نکردند. این پژوهشگران در نهایت گزارش کردند که تمرینات نوروماسکولار با تمرکز خارجی توجه، بیومکانیک فرود را در بیماران پس از بازسازی لیگامان صلیبی قدامی بهبود می‌بخشد. بدین ترتیب نتایج این پژوهشگران نیز با مطالعه حاضر همخوانی دارد (۱۳). دررابطه‌با توجیه همخوانی مطالعه حاضر با لطافت کار و همکاران باید اظهار داشت که هر دو مطالعه از تمرینات عصبی – عضلانی برای بازتوانی آزمودنی‌های خود استفاده نموده‌اند هر چند مطالعه لطافت کار و همکاران همراه با تمرکز بر توجه خارجی نیز بوده است. همچنین هر دو مطالعه از آزمودنی‌های مرد ورزشکار که از اختلالی رنج‌برده بهره گرفته‌اند و دوره تمرینات هر دو مطالعه نزدیک به هم است (مطالعه لطافت کار و همکاران ۸ هفته، مطالعه حاضر ٦ هفته). در نهایت هر دو مطالعه بهبود گروه تجربی را در تغییرات گزارش شده متغیرهای نیروی عکس‌العمل زمین نسبت به گروه کنترل گزارش نمودند.

در این میان یافته‌های پژوهش پیشرو با یافته‌های پژوهشی الکسیس[1] و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی ندارد این پژوهشگران در مطالعه خود به بررسی روشی نوین از تمرینات ثبات مرکزی بر عوامل خطر عصبی – عضلانی آسیب لیگامان صلیبی قدامی زنان فوتبالیست دانشگاهی پرداخته‌اند و در مطالعه خود اظهار نمودند که ضعف کنترل عصبی – عضلانی تنه می‌تواند مکانیسم ضعیف اندام تحتانی را به وجود آورد و در نتیجه آسیب لیگامان صلیبی قدامی شکل بگیرد. متغیرهای بیومکانیکالی مانند نیروی عکس‌العمل زمین، زاویه فلکشن زانو و حرکات آبداکشن زانو، حین کاتینگ طرفی از جمله عوامل خطری است که می‌تواند با تمرینات ثبات مرکزی تغییر یابد. این محققان آنالیز سه‌بعدی متغیرهای نامبرده را در سه زمان قبل، بین و بعد از تمرینات ثبات مرکزی حین کاتینگ طرفی بررسی کردند. تعداد آزمودنی‌های مطالعه ۹ نفر بوده

1 . Alexis

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

که ٤ نفر آنها در گروه کنترل، ٥ نفر دیگر در گروه تجربی قرار گرفتند. گروه مداخله برای مدت ٨ هفته و سه جلسه در هفته تمرینات را انجام دادند. همچنین از تست‌های پلانک، برای ارزیابی ناحیه تنه در هر دو گروه، استفاده شد. نتایج مطالعه، تفاوت معنی‌داری در متغیرهای بیان شده نشان نداد. همچنین عنوان کرد که به‌صورت موردبه‌مورد، گروه مداخله دارای پیشرفت‌های بیومکانیکی جزئی مشابه تحقیقات قبلی بوده است. اما اندازه نمونه کوچک ممکن است بازتاب واقعی اثرات مثبتی نباشد که مداخله می‌توانست با اندازه نمونه بزرگ‌تر داشته باشد (۳۷). از دلایل احتمالی این ناهمخوانی می‌توان به مواردی مانند مدت و نوع تمرینات اعمال شده (که در مطالعه حاضر تمرینات به مدت شش هفته و از نوع عصبی – عضلانی بوده درحالی‌که تمرین مطالعه الکسیس و همکاران روشی نوین از ثبات مرکزی است)، آزمودنی‌های مورد مطالعه (در مطالعه حاضر مردان ورزشکار با نقص کنترل تنه در شرایط قبل و بعد از خستگی مورد بررسی قرار گرفتند درحالی‌که مطالعه الکسیس روی زنان فوتبالیست دانشگاهی تمرکز دارد و تعدادشان ۹ نفر است) اشاره کرد.

در حقیقت افراد مختلف هر چه زمان بیشتری را برای رسیدن به پایداری پویا نیاز داشته باشند به همان میزان بیشتر در معرض آسیب‌های احتمالی قرار می‌گیرند (۳۸). با توجه به اینکه آزمودنی‌های حاضر در مطالعه پیش رو از ضعف کنترل تنه رنج می‌بردند و نظر به اهمیت نقش کنترل و ثبات تنه در انتقال انرژی و اتصال اندام فوقانی و تحتانی، آزمودنی‌ها در پیش آزمون بهبود معناداری در متغیرهای کینتیکی از خود نشان ندادند، زیرا نقص‌های کنترل عصبی – عضلانی، ممکن زمینه الگوی نامناسب فعال‌سازی، توان و قدرت عضلانی ناچیز ناحیه تنه و اندام تحتانی فراهم کرده باشند که نهایتاً منجر به افزایش بارهای وارده به لیگامان صلیبی قدامی و مفاصل هنگام فعالیت‌های ورزشی می‌شوند (۳۸).

از طرفی خستگی، بر بافت عضلانی بیشتر از گیرنده‌های مفصلی اثر می‌گذارد و فعالیت گیرنده‌های حس عمقی به‌ویژه دوک‌های عضلانی و اندام وتری گلژی را کاهش می‌دهد. احتمالاً این ناکارآمدی عصبی– عضلانی، اثر نامطلوبی بر نقش کنترل عضلات تنه و اندام تحتانی ورزشکاران با نقص تنه در پس‌آزمون همانند پیش‌آزمون با و بدون خستگی گروه کنترل گذاشته به همین دلیل شاهد بهبود معنادار یا کاهش اعمال نیروهای عکس‌العمل زمین در بخش‌های مختلف آن نیستیم. همچنین تفاوت و تغییر معنادار نیروهای اعمال شده در مقایسه پس‌آزمون با و بدون خستگی دو گروه نیز احتمالاً به سبب اثرگذاری تمرینات عصبی – عضلانی تنه و ران در گروه تجربی و در نتیجه پوشش ضعف کنترل تنه باشد، علاوه بر این گروه کنترل، اثر نقص کنترل تنه را بدون انجام تمرینات تقویتی در مقایسه پس‌آزمون بدون خستگی و همچنین در شرایطی متفاوت یعنی با خستگی عملکردی در مقایسه پس‌آزمون با خستگی ادغام نموده است که خود این عوامل می‌توانند بر مجموعه عصبی– عضلانی – اسکلتی اثر نامطلوب گذاشته و زمینه‌ساز تفاوت معنادار باشند (٢٤). در واقع اعمال برنامه خستگی عضلانی عملکردی بر بخش‌های مختلف بدن، و عضلات عمل‌کننده مفاصل اثر گذاشته و موجب ارسال پیام‌هایی از گیرنده‌های حسی به سیستم عصبی مرکزی شده و سیستم مذکور نیز با ارسال پیامی مبنی بر کاهش فعالیت انقباضی عضلات خسته شده (احتمالاً جهت جلوگیری از آسیب‌های مختلف عضلانی، لیگامانی و غیره) پاسخ می‌دهد. این رو،

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

خستگی عملکردی گروه‌های عضلانی، سبب کاهش سرعت انتقال عصبی در مسیرهای آوران و وابران[1] منتهی به گروه عضلات مورد نظر می‌شود که این عامل نیز در کنار وجود نقص کنترل تنه (نظر به اهمیت نقش تنه در کنترل، ثبات و اعمال نیروهای وارده بر بدن و برعکس) ورزشکاران شرکت‌کننده در گروه کنترل، سبب کاهش کنترل صحیح نیروهای وارده بر زمین و بر عکس شده است (۲۷). در مقابل گروه تجربی احتمالاً با بهره‌بردن از مزایای تمرینات عصبی – عضلانی تنه و ران، نقص کنترل تنه را پوشش داده و در مقایسه پس‌آزمون بدون خستگی دو گروه عملکرد و بهبود معناداری از خود نشان دادند. همچنین گروه تجربی ممکن است با انجام تمرینات نامبرده توانسته باشد در مقابل اثرات خستگی مقاومت بیشتری از خود نشان داده و در مقایسه پس‌آزمون با خستگی دو گروه در متغیرهای کینتیکی، تغییر و بهبود معناداری را به نمایش بگذارد.

بعد از تقویت ساختارهای عضلانی از طریق تمرینات عصبی – عضلانی، توانایی حس عمقی می‌تواند از طریق تحریک دوک عضلانی و اندام وتری گلژی افزایش یابد. دوک‌های عضلانی محرک‌ها را از نورون‌های آوران گامای استاتیک و داینامیک دریافت می‌کند و ممکن است که این تمرینات فعالیت آوران‌های گاما را افزایش دهند که در نتیجه باعث افزایش بیشتر حس وضعیت مفاصل، الگوهای صحیح فعال‌سازی و اعمال نیروهای دوطرفه شود (۱۸). در همین رابطه تحت‌تأثیر قرارگرفتن نوسانات پوسچرال و پایداری پویا در ورزشکاران دارای نقص کنترل تنه به‌وسیله تمرینات عصبی عضلانی احتمالاً طبق نظریه عملکرد سیستمی که توانایی کنترل وضعیت بدن در فضا را ناشی از اثر متقابل و پیچیده سیستم عصبی و سیستم اسکلتی– عضلانی می‌داند، قابل‌توجیه باشد. این سیستم کنترل پاسچر، حفظ تعادل و متعاقب آن ایجاد حرکت را مستلزم تداخل داده‌های حسی برای تشخیص موقعیت بدن در فضا و همچنین توانایی سیستم عضلانی– اسکلتی برای اعمال نیرو می‌داند. طبق این نظریه عوامل اسکلتی–عضلانی مؤثر در تنظیم کنترل بدن شامل دامنه حرکتی مفصل، خصوصیات عضله و ارتباط بیومکانیکی قسمت‌های مختلف است (۳۱).

در حقیقت سیستم حسی–حرکتی مکانیزم‌های دخیل در دریافت تحریک حسی و تبدیل آن به سیگنال عصبی، انتقال آن از طریق مسیرهای آوران به سیستم عصبی مرکزی، روند تلفیق به‌وسیله مراکز مختلف در سیستم عصبی مرکزی و پاسخ‌های حرکتی که منجر به فعالیت عضلانی برای انجام فعالیت‌های عملکردی و ثبات مفصلی می‌شوند را در بر می‌گیرد (۲۲). آوران های عصبی اجزاء مهمی برای کنترل حرکتی هستند و دوک‌های عضلانی که گیرنده‌های حسی عضله هستند به میزان زیادی تحت‌تأثیر اطلاعاتی قرار می‌گیرند که از طریق آوران‌های مفصلی مخابره می‌شوند. یعنی یک ارتباط مفصلی– تاندونی–عضلانی به‌صورت یک پاسخ وابران به پیام‌های آوران که باعث کنترل پویای مفصل می‌شوند بیان می‌گردد (۲۹)؛ بنابراین بهبود متغیرهای کینتیکی در ورزشکاران ناشی از تمرینات عصبی – عضلانی شاید به دلیل تحت‌تأثیر قرارگرفتن مسیرهای آوران – وابران و همچنین گیرنده‌های حسی عضله، ناشی از این تمرینات باشد. از دیگر دلایل احتمالی دیگر افزایش پایداری و بهبود نوسان پوسچر در ورزشکاران ناشی از تمرینات ورزشی، تحت‌تأثیر قرارگرفتن ارگان‌های تماسی

[1] . Afferent and efferent pathways

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

حسی است که توانایی تأثیر بر روی حرکت و وضعیت بدن را نیز دارند (۱۹). به بیانی دیگر اثرگذاری تمرینات مورد استفاده در تحقیق حاضر را می‌توان به‌نوعی به بهبود عملکرد سیستم عصبی مرکزی در فعال‌سازی عضلات تنه و اندام تحتانی و به دنبال آن تصحیح زوایای حرکتی مفاصل نسبت داد. این موضوع خود می‌تواند آمادگی بدن برای جذب نیروهای عکس‌العمل زمین را بالا برده و نیروهای وارده از سمت زمین می‌توانند به‌خوبی در سرتاسر اندام تحتانی توزیع شوند و از ایجاد حرکات آسیب‌زا جلوگیری کنند (۲۳). در واقع پاسخ و واکنش به نیروهای ضربه‌ای خارجی حین تغییر جهت (نیروی عکس‌العمل زمین)، به‌وسیلهٔ هماهنگی و تعامل بین فعالیت فیدفورواردی و فیدبکی عضلات اندام تحتانی که منجر به ایجاد یک سفتی عضلانی مناسب در عضلات اندام تحتانی می‌شود، به دست می‌آید. گزارش شده است که فعالیت فیدبکی عضلات زانو پس از برخورد پا با زمین، عمدتاً ماهیتی بازتابی (رفلکسی) دارد (۳۳). یافته‌های علمی بیان می‌کنند که برخلاف فعالیت فیدفورواردی عضلات که عمدتاً به‌وسیلهٔ برنامه‌های ازپیش‌طراحی‌شده سیستم عصبی وارد عمل می‌شود، فعالیت فیدبکی عمدتاً به‌صورت رفلکسی و در پاسخ به اطلاعات ارسالی وارد عمل می‌شود. در واقع حس وضعیت یک تنظیم‌کنندهٔ ثانویه است که در فعال‌سازی فیدبکی عضلات نقش دارد (۳۳). حرکات مورد استفاده در تمرینات به کار برده شده در تحقیق حاضر نیز به دلیل آنکه بیشتر در زنجیره حرکتی بسته اجرا می‌شوند، موجب درگیری بیشتر گیرنده‌های حسی شده و به طور مداوم سیستم حسی–حرکتی را درگیر و موجب فعال‌سازی کامل گیرنده‌های حس عمقی مفصل زانو و ارسال اطلاعات آورانی به سمت سیستم عصبی می‌شود. این موضوع باعث می‌شود تا سیستم عصبی نیز در پاسخ به نیازهای حرکتی مفاصل، دستورات حرکتی دقیق‌تری را ارسال کند (۳۷). در همین رابطه به‌کارگیری تمرینات عصبی عضلانی در افراد مستعد آسیب تحت شرایط خستگی از جمله نکات متمایز پژوهش پیش حاضر با مطالعات قبلی بوده که برای نتیجه‌گیری مطمئن‌تر و درک بهتر اثرگذاری این تمرینات در ورزشکاران مستعد آسیب تحت شرایط واقعی رقابت‌های ورزشی نیازمند مطالعه‌های آتی هستیم و باتوجه‌به اینکه در فعالیت‌های ورزشی علاوه بر خستگی عملکردی، خستگی ذهنی نیز روی می‌دهد از جمله پیشنهادهای پژوهشی مطالعه پیش رو، می‌توان به انجام مطالعاتی با رویکرد خستگی ذهنی در ورزشکاران مستعد آسیب اشاره کرد. همچنین انجام مطالعه‌ای مشابه مطالعه پیشرو بر زنان دارای نقص کنترل تنه و مقایسه با پژوهش حاضر می‌تواند به فهم بهتر اثرگذاری تمرینات بیان شده تحت شرایط خستگی و جنسیت متفاوت کمک کند. در ادامه به درمانگران و مربیان ورزشی توصیه می‌شود در بازتوانی ورزشکاران مستعد آسیب، به برنامه‌های تمرین عصبی عضلانی تنه و ران به‌عنوان بخش مهمی از پروتکل‌های تمرینی بازگشت به ورزش این ورزشکاران، به‌ویژه اهمیت قرارگیری ورزشکاران نامبرده در شرایطی مانند خستگی و اجرای حرکاتی نظیر کاتینگ توجه ویژه نمایند. محدودیت‌های مطالعه حاضر نیز شامل عدم کنترل روی شرایط روحی روانی و میزان انگیزه آزمودنی‌ها در انجام تست‌ها و پروتکل‌های متفاوت تمرینی و خستگی، عدم توانایی در ارزیابی دقیق خستگی یکسان آزمودنی‌ها (برای مثال استفاده از سطح اسید لاکتیک) و عدم توانایی درنظرگرفتن دیگر نقص‌های عصبی عضلانی بود.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

نتیجه‌گیری

باتوجه‌به یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که احتمالاً تمرینات عصبی – عضلانی تنه و ران در ورزشکاران با نقص کنترل تنه توانسته ضعف ناشی از بی‌ثباتی تنه در ورزشکاران مذکور را پوشش یا برطرف کند و در شرایط با و بدون خستگی نیز احتمالاً توانسته مقاومت آزمودنی‌ها را نسبت به گروه کنترل بالا ببرد تا در پس‌آزمون شاهد تغییر و بهبود معنادار در پارامترهای منتخب نیروی عکس‌العمل زمین (زمان رسیدن به پایداری و حداکثر نیرو در راستای قدامی – خلفی، داخلی – خارجی، عمودی، اوج نیرو و میزان بارگذاری) گروه تجربی باشیم. از جمله مؤثرترین دلایل ممکن جهت توجیه این یافته‌ها را، احتمالاً می‌توان در بهبود اطلاعات حس عمقی، افزایش یکپارچگی ورودی‌های حسی و افزایش تونیسیته‌ی عضلات در نظر گرفت، لذا باتوجه‌به اهمیت بهبود معناداری شاخص‌های اندازه‌گیری شده در پیشگیری، ارتقای سطح عملکرد حرکتی ورزشکاران دارای نقص کنترل تنه یا مستعد آسیب در شرایط با و بدون خستگی، احتمالاً انجام این تمرینات در ورزشکاران مستعد آسیب به‌عنوان روشی ارزشمند و اثربخش در پیشگیری از آسیب‌های احتمالی باشد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از تمامی آزمودنی‌های شرکت‌کننده در مطالعه حاضر، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

References

1. Kubo T, Hoshikawa Y, Muramatsu M, Iida T, Komori S, Shibukawa K, Kanehisa H. Contribution of trunk muscularity on sprint run. International journal of sports medicine. 2010 Dec 16:223-8. DOI:10.1055/s-0030-1268502.
2. Kızılgöz V, Sivrioğlu AK, Ulusoy GR, Aydın H, Karayol SS, Menderes U. Analysis of the risk factors for anterior cruciate ligament injury: an investigation of structural tendencies. Clinical imaging. 2018 Jul 1;50:20-30. DOI: 10.1016/j.clinimag.2017.12.004.
3. Xia R, Zhang X, Wang X, Sun X, Fu W. Effects of two fatigue protocols on impact forces and lower extremity kinematics during drop landings: implications for noncontact anterior cruciate ligament injury. Journal of healthcare engineering. 2017; doi: 10.1155/2017/5690519
4. Jeong J, Choi DH, Shin CS. Core strength training can alter neuromuscular and biomechanical risk factors for anterior cruciate ligament injury. The American journal of sports medicine. 2021 Jan;49(1):183-92. DOI: 10.1177/0363546520972990
5. Arundale AJ, Bizzini M, Giordano A, Hewett TE, Logerstedt DS, Mandelbaum B, Scalzitti DA, Silvers-Granelli H, Snyder-Mackler L, Altman RD, Beattie P. Exercise-based knee and anterior cruciate ligament injury prevention: clinical practice guidelines linked to the international classification of functioning, disability and health from the academy of orthopaedic physical therapy and the American Academy of sports physical therapy. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy. 2018 Sep;48(9):A1-42. doi/10.2519/jospt.2018.0303.
6. Gheidi N, Sadeghi H, Talebian Moghadam S, Tabatabaei Ghoshe F, Walter Kernozek T. Kinematics and kinetics predictor of proximal tibia anterior shear force during single leg drop landing. Physical Treatments-Specific Physical Therapy Journal. 2014 Jul 10;4(2):102-8. http://ptj.uswr.ac.ir/article-1-148-en.html
7. Hewett TE, Ford KR, Xu YY, Khoury J, Myer GD. Effectiveness of neuromuscular training based on the neuromuscular risk profile. The American journal of sports medicine. 2017 Jul;45(9):2142-7. DOI: 10.1177/0363546517700128

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

8. Steib S, Rahlf AL, Pfeifer K, Zech A. Dose-response relationship of neuromuscular training for injury prevention in youth athletes: a meta-analysis. Frontiers in physiology. 2017 Nov 14;8:304579. doi: 10.3389/fphys.2017.00920
9. Åkerlund I, Waldén M, Sonesson S, Hägglund M. Forty-five per cent lower acute injury incidence but no effect on overuse injury prevalence in youth floorball players (aged 12–17 years) who used an injury prevention exercise programme: two-armed parallel-group cluster randomised controlled trial. British journal of sports medicine. 2020 Sep 1;54(17):1028-35. DOI: 10.1136/bjsports-2019-101295
10. Özkal Ö, Demircioğlu A, Topuz S. Clarifying the relationships between trunk muscle endurance, respiratory muscle strength and static/dynamic postural control in Latin dancers. Sports Biomechanics. 2024 Jan 10:1-4. doi.org/10.1080/14763141.2024.2301984
11. Forrest MR, Hebert JJ, Scott BR, Brini S, Dempsey AR. Risk factors for non-contact injury in adolescent cricket pace bowlers: a systematic review. Sports medicine. 2017 Dec;47:2603-19. DOI:10.1007/s40279-017-0778-z
12. Mohammadi H, Ghaeeni S. Prevalence of Neuromuscular Deficiencies Associated With Non-Contact Anterior Cruciate Ligament Injury in Healthy Collegiate Student-Athletes. Physical Treatments. 2019; 9(4):193-202. http://dx.doi. org/10.32598/ptj.9.4.193.
13. Ghaderi M, Letafatkar A, Thomas AC, Keyhani S. Effects of a neuromuscular training program using external focus attention cues in male athletes with anterior cruciate ligament reconstruction: A randomized clinical trial. BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation. 2021 Dec;13(1):1- DOI: 10.1186/s13102-021-00275-3.
14. Zhang L, Liu G, Han B, Wang Z, Yan Y, Ma J, Wei P. Knee joint biomechanics in physiological conditions and how pathologies can affect it: a systematic review. Applied bionics and biomechanics. 2020 Apr 4;2020. doi: 10.1155/2020/7451683
15. Fatahi M, Fatahi F. The relationship between activity level of some lower extremity muscle and anterior shear force during single-leg jump landing. Journal of Research in Rehabilitation Sciences. 2013 Oct 1;9(4). doi:10.22122/JRRS.V9I4.1133
16. Ghazaleh L, Salar F, sharifi F. Comparing The Effect Of Fatigue Induced By Endurance Running And Sprinting On The Knee Muscles Co-Contraction In Active Young Women: With The Approach Of Identifying The Origin Of Fatigue. RSMT 2024; 22 (28) :173-189 URL: http://jsmt.khu.ac.ir/article-1-635-fa.html
17. Takahashi S, Nagano Y, Ito W, Kido Y, Okuwaki T. A retrospective study of mechanisms of anterior cruciate ligament injuries in high school basketball, handball, judo, soccer, and volleyball. Medicine. 2019 Jun;98(26). DOI: 10.1097/MD.0000000000016030
18. Mansourizadeh R, Letafatkar A, Khaleghi-Tazji M. Does athletic groin pain affect the muscular co-contraction during a change of direction. Gait & Posture. 2019 Sep 1;73:173-9. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2019.07.249
19. Åkerlund I, Waldén M, Sonesson S, Hägglund M. Forty-five per cent lower acute injury incidence but no effect on overuse injury prevalence in youth floorball players (aged 12–17 years) who used an injury prevention exercise programme: two-armed parallel-group cluster randomised controlled trial. British journal of sports medicine. 2020 Sep 1;54(17):1028-35. DOI: 10.1136/bjsports-2019-101295
20. Letafatkar A, Rabiei P, Afshari M. Effect of neuromuscular training augmented with knee valgus control instructions on lower limb biomechanics of male runners. Physical Therapy in Sport. 2020 May 1;43:89-99. DOI: 10.1016/j.ptsp.2020.02.009
21. Kalantariyan M, Samadi S, Beyranvand R. Investigating The Changes Of Some Internal Risk Factors Of Lower Limb Injuries In Teenage Taekwondo Athletes Before And After Applying The Fatigue Protocol. RSMT 2024; 22 (28) :152-172 URL: http://jsmt.khu.ac.ir/article-1-633-fa.html.
22. Kulas AS, Hortobágyi T, DeVita P. The interaction of trunk-load and trunk-position adaptations on knee anterior shear and hamstrings muscle forces during landing. Journal of athletic training. 2010 Jan 1;45(1):5-15. doi: 10.4085/1062-6050-45.1.5
23. Hammami M, Negra Y, Billaut F, Hermassi S, Shephard RJ, Chelly MS. Effects of lower-limb strength training on agility, repeated sprinting with changes of direction, leg peak power, and neuromuscular adaptations of soccer players. The Journal of Strength & Conditioning Research. 2018 Jan 1;32(1):37-47. DOI: 10.1519/JSC.0000000000001813

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]

24. Myer GD, Ford KR, Khoury J, Succop P, Hewett TE. Development and validation of a clinic-based prediction tool to identify female athletes at high risk for anterior cruciate ligament injury. The American journal of sports medicine. 2010 Oct;38(10):2025-33. doi: 10.1177/0363546510370933
25. Verschueren J, Tassignon B, De Pauw K, Proost M, Teugels A, Van Cutsem J, Roelands B, Verhagen E, Meeusen R. Does acute fatigue negatively affect intrinsic risk factors of the lower extremity injury risk profile? A systematic and critical review. Sports medicine. 2020 Apr;50:767-84. DOI: 10.1007/s40279-019-01235-1.
26. Soltandoost Nari SM, Ebrahimi Atri A, Khoshraftar Yazdi N. Effect of FIFA 11+ Injury prevention program on anterior knee shear force in teenage male soccer players. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2017 Mar 21;6(1):1-9. DOI:10.5742/MEWFM.2018.93475
27. Jamison ST, Pan X, Chaudhari AM. Knee moments during run-to-cut maneuvers are associated with lateral trunk positioning. Journal of biomechanics. 2012 Jul 26;45(11):1881-5. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2012.05.031.
28. Read PJ, Oliver JL, Dobbs IJ, Wong MA, Kumar NT, Lloyd RS. The effects of a four-week neuromuscular training program on landing kinematics in pre-and post-peak height velocity male athletes. Journal of Science in Sport and Exercise. 2021 Feb;3:37-46. DOI: 10.1519/JSC.0000000000003210
29. Zago M, David S, Bertozzi F, Brunetti C, Gatti A, Salaorni F, Tarabini M, Galvani C, Sforza C, Galli M. Fatigue induced by repeated changes of direction in élite female football (soccer) players: impact on lower limb biomechanics and implications for ACL injury prevention. Frontiers in bioengineering and biotechnology. 2021 Jul 5;9:666841. doi.org/10.3389/fbioe.2021.666841
30. Naserpour H, Khaleghi Tazji M, Letafatkar A. Immediate effect of cryotherapy on the kinetic factors associated with injury during the side-cutting maneuver in healthy male athletes: Pilot study. The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine. 2020 Jun 21;9(2):1-8. DOI:10.22037/jrm.2020.113786.2436
31. McKinney J, Velghe J, Fee J, Isserow S, Drezner JA. Defining athletes and exercisers. The American journal of cardiology. 2019 Feb 1;123(3):532-5. DOI: 10.1016/j.amjcard.2018.11.001
32. de Almeida Paz I, Frigotto MF, Cardoso CA, Rabello R, Rodrigues R. Hip abduction machine is better than free weights to target the gluteus medius while minimizing tensor fascia latae activation. Journal of Bodywork and Movement Therapies. 2022 Apr 1;30:160-7. DOI: 10.1016/j.jbmt.2022.01.001
33. Eimani zadeh S, Sahebzamani M, Amiri khorasani M T. Effect of Soccer Specific Functional Fatigue On hip and knee Joints Kinematics In professional players during Landing. RSMT 2015; 13 (10) :35-46. 10.18869/acadpub.jsmt.13.10.35.
34. Lucci S, Cortes N, Van Lunen B, Ringleb S, Onate J. Knee and hip sagittal and transverse plane changes after two fatigue protocols. Journal of science and medicine in sport. 2011 Sep 1;14(5):453-9. DOI: 10.1016/j.jsams.2011.05.001
35. Myer GD, Ford KR, Hewett TE. Tuck jump assessment for reducing anterior cruciate ligament injury risk. International Journal of Athletic Therapy and Training. 2008 Sep 1;13(5):39-44. doi: 10.1123/att.13.5.39
36. Aquino M, Petrizzo J, Otto RM, Wygand J. The impact of fatigue on performance and biomechanical variables—A narrative review with prospective methodology. Biomechanics. 2022 Oct 1;2(4):513-24. https://doi.org/10.3390/biomechanics2040040.
37. Olivares-Jabalera J, Fílter-Ruger A, Dos' Santos T, Afonso J, Della Villa F, Morente-Sanchez J, Soto-Hermoso VM, Requena B. Exercise-based training strategies to reduce the incidence or mitigate the risk factors of anterior cruciate ligament injury in adult football (Soccer) players: A systematic review. International journal of environmental research and public health. 2021 Dec 18;18(24):13351. doi: 10.3390/ijerph182413351
38. Ma J, Zhang T, He Y, Li X, Chen H, Zhao Q. Effect of aquatic physical therapy on chronic low back pain: a systematic review and meta-analysis. BMC Musculoskeletal Disorders. 2022 Dec 2;23(1):1050. DOI: 10.1186/s12891-022-05981-8

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-03]
[DOR: 20.1001.1.22520708.1404.23.29.6.2]