

Research Paper

The Effect of an 8-Week Yoga Training Program on Balance and Knee Proprioception After Mental Fatigue in Amateur Male Athletes

Mohammad Sarhad Hasan¹, *Manochehr Haydary¹ , Farzaneh Gandomi¹

1. Department of Corrective Exercises and Sport Injuries, Faculty of Physical Education, Razi University, Kermanshah, Iran.

**Citation:** Sarhad Hasan M, Haydary M, Gandomi F. [The Effect of an 8-Week Yoga Training Program on Balance and Knee Proprioception After Mental Fatigue in Amateur Male Athletes (Persian)]. Journal of Sport Biomechanics. 2020; 5(4):228-239. <https://doi.org/10.32598/biomechanics.5.4.3>

Article Info:

Received: 19 Jan 2019

Accepted: 13 Oct 2019

Available Online: 01 Mar 2020

Key words:

Yoga, Mental fatigue, Balance, Proprioception

ABSTRACT

Objective Mental fatigue is caused by long-term cognitive activities and lead to changes in motor coordination. The purpose of this study was to investigate the effect of yoga training on balance and knee proprioception after mental fatigue in amateur male athletes.**Methods** In this quasi-experimental study, 36 amateur male students were voluntarily selected as study samples and randomly divided into training (n=18) and control (n=18) groups. The training group received yoga exercises for eight weeks, three sessions per week, each for one hour. Mental fatigue was induced by 45 minutes of cognitive activity (Stroop test). Before and after mental fatigue and intervention, their dynamic balance was measured by Y-balance test and the semi-dynamic balance by Lafayette stability platform. Data were analyzed in SPSS v.22 software using paired sample t-test at the significant level of 0.05.**Results** The effects of time and group×time interaction on dynamic and semi-dynamic balances (P=0.0001), and on active and passive knee proprioception (P=0.0001) were significant after yoga training.**Conclusion** There were significant improvements in balance and knee proprioception of amateur athletes after yoga training. Further studies should be conducted to introduce solutions to the occurrence of mental fatigue in these athletes.

Extended Abstract

1. Introduction

Proper lower limb function is one of the most essential factors of participating in sports activities [1, 2]. Most of the ligament injuries have occurred during landings and rotations, as the most important mechanisms in the occurrence of lower limb injuries [3]. Functional stability is one of the essential indicators

for participating in sports [3], and plays an important role in people's activities, including simple daily tasks and high-level performances in sports based on their nature [4]. In this regard, proprioception as a very effective part of somatosensory system, plays a significant role in maintaining the balance of people. Therefore, any weakness and impairment in proprioception significantly increases the risk of injuries to athletes [5].

Since proprioception sense is responsible for collecting information for the central nervous system to be informed of different parts of the body in relation to each other, any factor

* Corresponding Author:

Manochehr Haydary, MSc.

Address: Department of Corrective Exercises and Sport Injuries, Faculty of Physical Education, Razi University, Kermanshah, Iran.

Tel: +98 (912) 5382491

E-mail: mhaydary2000@yahoo.com

that disrupts this sense is a cause of damage and must be controlled. One of the factors that impair the proprioception sense is fatigue, because it increases the threshold of muscle spindle discharge, disrupting afferent feedback, and causing change in the joint awareness [6]. Studies have shown that in the onset of fatigue, neuromuscular control is impaired and due to delayed neuromuscular activation, shear forces and torque increase which impair joint stability [7, 8]. Many sports that require cognitive activity are prone to mental fatigue; however, lower limb injuries in these sports are high. Due to the considerable effect of mental fatigue on the occurrence of injury and the fact that no research has been done in this field so far, this study aimed to evaluate the effect of yoga training on knee proprioception and balance after mental fatigue in amateur athletes.

2. Methods

In this quasi-experimental study with pretest/posttest design using control group, the study population consisted of all male physical education students of Razi University in Kermanshah, Iran during the second semester. Of these, 36 were selected as study samples and were divided into two groups of training (n=18) and control (n=18) randomly using Random Number Allocation software. The training group performed yoga for 8 weeks, while control group received no intervention. Study outcomes included: dynamic balance (Y-test), semi-dynamic balance (Lafayette Stability Platform) and knee joint proprioception (reconstruction error at 30 and 60 degrees angles). Each subject was assessed in three stages: before the intervention, after the fatigue protocol, and eight weeks after receiving the mental fatigue protocol (follow-up). To compare the mean values, repeated measures ANOVA (two groups in three times) was used. All statistical analyzes were performed in SPSS v. 22 software.

3. Results

For active and passive knee proprioception as well as static and dynamic balances, repeated measures ANOVA results showed that the effect of time ($P=0.001$) and time-group interaction ($P=0.001$) was significant. Moreover, the results of Benfroni post hoc test showed that these changes between pretest and posttest phases and between posttest and follow-up phases were statistically significant ($P=0.001$).

4. Discussion

The results of this study showed that yoga training inhibit mental fatigue by increasing the adaptive capacity of neurocognitive systems and modulating the autonomic nervous system, and can improve the balance function and knee joint proprioception by creating physical stability. It

is possible that yoga helps to increase adaptation by reducing stress, and brings peace of body and mind to humans by limiting tension and reducing arousal in the cerebral cortex [9]. Some sports scientists have considered the fatigue issue as one of the negative factors affecting athletic performance and its relationship with postural control, because fatigue and impaired postural control can be causes of musculoskeletal injuries in athletes [10].

Martino et al. reported that after mental fatigue, due to the accumulation of adenosine in the brain, increased resistance to effort, feeling and perception of fatigue and lack of energy were observed [11]. Some other researchers have reported a quantitative and qualitative decrease in the technical performance of footballers due to mental and physical fatigue. Kaštem et al. reported that endurance performance (time to reach fatigue, ability to speed up activity) decreased as a result of mental fatigue [12]. The results of these studies are consistent with our findings.

5. Conclusion

Yoga exercise can significantly improve balance and knee joint proprioception in amateur athletes. Mental fatigue is caused by long-term cognitive activities; it can affect balance control and perception of joint position and movement, and reducing the performance of athletes by exposing them to lower limb injuries. Therefore, doing yoga exercises to control and raise the threshold of mental fatigue can be a suitable intervention.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles are considered in this article. This study was approved by the Ethics Committee of Razi University (Code: IR.RAZI.REC.1398.001).

Funding

The present paper was extracted from the MSc. thesis of the first author, Department of Corrective Exercises and Sport Injuries, Faculty of Physical Education, Razi University.

Authors' contributions

All authors contributed in preparing this article.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgements

Thus, authors thanks and appreciation the Razi University Physical Education Administration and the physical education students who participated in the test.

اثر هشت هفته تمرین یوگا بر کنترل خستگی ذهنی و حس عمقی زانو و تعادل تغییر یافته در ورزشکاران آماتور: یک مطالعه نیمه تجربی

محمد سر حد حسن^۱،* منوچهر حیدری^۱، فرزانه گندمی^۱

۱. گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

حکیده

هدف: خستگی ذهنی، معمولاً به دنبال فعالیت‌های طولانی مدت شناختی رخ می‌دهد؛ به گونه‌ای که عملکرد شناختی را کاهش داده و منجر به تغییر در هماهنگی‌های حرکتی می‌شود. هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر گذاری تمرینات یوگا بر مهار خستگی ذهنی و تعادل، مکانیک فرود و عملکرد اندام تحتانی تغییر یافته در ورزشکاران آماتور بود.

روش‌ها: در مطالعه نیمه تجربی حاضر، چهل دانشجوی مرد آماتور، به صورت داوطلبانه به عنوان نمونه شرکت کردند و به طور تصادفی در دو گروه آزمایش (n=15) و کنترل (n=15) تقسیم شدند. گروه آزمایش، هشت هفته (سه جلسه در هفته) به تمرینات یوگا پرداختند و گروه کنترل در این مدت مداخله‌ای دریافت نکردند. خستگی ذهنی با ۴۵ دقیقه فعالیت شناختی اعمال شد. قبل و پس از خستگی ذهنی و پس از هشت هفته تمرینات یوگا، تعادل پویا با آزمون Y و تعادل نیمه پویا با دستگاه Lafayette Stability Platform ارزیابی شدند. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) و آزمون Paired sample t-test، در سطح معناداری $P < 0.05$ انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد اثر زمان و تعامل گروه \times زمان در فاکتور تعادل پویا و نیمه پویا ($P = 0.001$)، اثر زمان و تعامل گروه \times زمان در فاکتور حس عمقی فعال و غیرفعال زانو ($P = 0.001$) که طبق مطالعات گذشته در پیش‌بینی ریسک وقوع آسیب‌های اندام تحتانی پررنگ گزارش شده‌اند، پس از تمرینات یوگا دستخوش تغییرات معناداری شده‌اند.

نتیجه‌گیری: تغییر معنادار فاکتورهای تعادل پویا، نیمه پویا و حس عمقی زانوی ورزشکاران آماتور پس از تمرینات یوگا حاکی از اهمیت پرداختن به مسئله بوده و متخصصین پیشگیری از آسیب، می‌بایست در معرفی راهکارهای مقابله با وقوع خستگی ذهنی، به مطالعه و تحقیق بپردازند.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۲۹ دی ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش: ۲۱ مهر ۱۳۹۸

تاریخ انتشار: ۱۱ اسفند ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

یوگا، خستگی ذهنی، تعادل، حس عمقی

مقدمه

امروزه اکثر آسیب‌های ورزشی به دنبال برخورد فیزیکی مستقیم بین ورزشکاران ایجاد نمی‌شود [۱]، بلکه اکثر آسیب‌ها در نتیجه حرکات چرخشی، فرود از پرش، ایجاد عدم تعادل و عدم حس وضعیت مفاصل رخ می‌دهد [۲]. عملکرد مناسب اندام تحتانی، یکی از ضروری‌ترین اجزای شرکت در فعالیت‌های ورزشی است [۳، ۴]. تکنیک فرود، یکی از سازوکارهای رایج در وقوع آسیب‌های اندام تحتانی ورزشکاران است [۵]. اکثر آسیب‌های رباط قدامی در نتیجه برخورد فیزیکی مستقیم بین ورزشکاران ایجاد نشده [۶-۸]، بلکه در نیمرخ والیبالیست‌ها و فوتبالیست‌های آسیب‌دیده، از مهارت فرود و چرخش‌ها به منزله سازوکار آسیب غیر برخوردی رباط متقاطع قدامی یاد شده است [۶، ۸، ۹].

ثبات عملکردی یکی از اجزای ضروری برای شرکت در ورزش‌هاست [۲] و نقش مهمی در فعالیت‌های افراد، اعم از کارهای ساده روزانه و اجراهای سطح بالا در رشته‌های ورزشی بر اساس ماهیت آن‌ها، برعهده دارد [۴]. همچنین حس عمقی نقش بسیار زیادی در حفظ تعادل افراد دارد.

تأثیر نسبی حس عمقی^۱ و سیستم وستیبولار^۲ را در غیاب سیستم بینایی بر تعادل افراد، در گروه‌های سنی مختلف بررسی و مشخص شده است و تمام گروه‌های سنی برای حفظ تعادل بیش از هر چیز به حس عمقی وابسته‌اند [۵، ۶]. بنابراین هرگونه ضعف و اختلال در حس عمقی خطر بروز آسیب‌های ورزشکاران را به صورت قابل

1. Proprioception
2. Vestibular system

* نویسنده مسئول:

منوچهر حیدری

نشانی: کرمانشاه، دانشگاه رازی، دانشکده علوم ورزشی، گروه آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی.

تلفن: ۵۳۸۲۴۹۱ (۹۱۲) ۹۸+

پست الکترونیکی: mhadary2000@yahoo.com

یافته‌های تحقیقات حاکی از آن است که تمرینات یوگا باعث افزایش انعطافپذیری، عملکرد خودکار و کیفیت زندگی افراد می‌شود.

از سویی دیگر بسیاری از رشته‌های ورزشی مثل فوتبال، بسکتبال، هندبال و غیره که نیازمند فعالیت‌های شناختی هستند، در معرض وقوع خستگی ذهنی هستند. این در حالی است که آسیب‌های اندام تحتانی (پارگی رباط ACL پیچ‌خوردگی‌های مکرر میچ‌پا، استرین‌های عضلانی و رباطی و غیره) در این رشته ورزشی از آمارهای قابل توجهی برخوردار است.

با توجه به اینکه از یک طرف دستورالعمل‌های موجود برای اجرای اکثر برنامه‌های پیشگیری از آسیب‌های اندام تحتانی، از جمله پیشگیری از آسیب‌های جسمانی مبتنی بر کاهش خستگی عضلانی است و از طرف دیگر اکثر مطالعات تأثیر تمرینات یوگا بر کاهش خستگی جسمانی و استرس را نشان داده‌اند، مطالعه حاضر در نظر دارد اثر هشت هفته تمرین یوگا بر مهار خستگی ذهنی، تغییرات تعادل و حس عمقی در ورزشکاران آماتور را بررسی کند؛ بنابراین فرض بر این است که تمرینات یوگا باعث مهار خستگی ذهنی، بهبود تغییرات، تعادل و کنترل حس عمقی می‌شود.

مواد و روش‌ها

آزمودنی‌های مطالعه

تحقیق حاضر، یک مطالعه نیمه‌تجربی یک‌سویه‌کور با طرح پیش‌آزمون پس‌آزمون و گروه کنترل است. جامعه آماری شامل کلیه دانشجویان تربیت‌بدنی پسر ترم دوم دانشگاه رازی بود که از بین آن‌ها چهل نفر به عنوان نمونه آماری به صورت تصادفی انتخاب شدند. شرایط ورود به مطالعه عبارت بود از سنین ۱۸ تا ۲۵ سال، سابقه فعالیت ورزشی حرفه‌ای، همگن بودن آزمودنی‌ها از نظر ویژگی‌های جمعیت‌شناختی و فعالیت‌های ورزشی تخصصی در سطح دانشگاه و شرایط عدم ورود به مطالعه آزمودنی‌ها عبارت بود از سابقه هر گونه آسیب در اندام تحتانی، وجود اختلالات عصبی - عضلانی، وجود هر گونه بیماری تعادلی و روحی - روانی، وجود سابقه جراحی در ستون فقرات یا اندام تحتانی، وجود اختلالات ستون فقرات از جمله انواع دیسکوپاتی‌ها، سیاتیک، تنگی کانال نخاعی و وجود ناهنجاری‌های قامتی قابل توجه.

تعداد آزمودنی‌ها بر اساس نرم افزار G.Power نسخه ۳/۱ استخراج گردید؛ در این نرم افزار برای توان آماری ۰/۸۰، اندازه اثر متوسط ۰/۶۰ و سطح معناداری ۰/۰۵ و تعداد ۳۶ نفر تعیین گردید. برای تقسیم آزمودنی‌ها در گروه‌ها از نرم‌افزار Random Number Allocation استفاده شد و اعداد یک تا ۳۶ به صورت کاملاً تصادفی در دو گروه (که از قبل نام‌گذاری شده بودند) (آزمایش ۱۸=n و کنترل ۱۸=n) در این نرم‌افزار قرار گرفتند.

لیست اعداد در اختیار فردی غیردرگیر در کار تحقیقی قرار گرفت و از وی خواسته شد تا هر دفعه اطلاع دهد که آزمودنی

توجهی افزایش می‌دهد [۷]. از طرفی حس عمقی بخشی از سیستم حس پیکری است که مسئول گردآوری اطلاعات برای سیستم عصبی مرکزی به منظور آگاهی بخش‌های مختلف بدن از وضعیت یکدیگر است.

یکی از عوامل ایجاد اختلال در حس عمقی خستگی است؛ زیرا خستگی ممکن است آستانه تخلیه دوک عضلانی را افزایش دهد؛ بنابراین، با اختلال در بازخورد آوران موجب تغییر در تحریک‌پذیری و کاهش کنترل پاسچر مفصل می‌شود [۸]. مطالعات نشان داده‌اند که در مواقع خستگی، کنترل عصبی - عضلانی متزلزل شده و تأخیر در فعال شدن عصبی - عضلانی، نیروهای برشی و گشتاور را افزایش می‌دهد و ثبات مفصل را به خطر می‌اندازد [۹، ۱۰]. از نظر علوم عصب‌شناختی، خستگی ذهنی با کاهش فعالیت سیستم اعصاب مرکزی می‌تواند موجب کندی ذهن در تصمیم‌گیری، بی‌خوابی، ضعف مفاصل، عدم تعادل و حتی درد عضلانی شود [۱۱]. از آنجایی که خستگی ذهنی ناحیه قدامی کورتکس مغز را تحت تأثیر قرار می‌دهد، می‌تواند به دنبال انجام اعمال ورزشی روی عملکرد ورزشی نیز اثرگذار باشد [۱۲]؛ بنابراین خستگی ذهنی می‌تواند بر اعمال حرکتی و حتی خستگی عضلانی نیز اثر بگذارد. از طرفی مطالعات انجام‌شده حاکی از آن است که خستگی سبب افت عملکرد اندام تحتانی، تعادل داینامیک و حس عمقی مفصل نیز می‌شود که همه این موارد در پیش‌بینی بروز آسیب‌های اندام تحتانی نقش مؤثری دارند.

در همین راستا خسروی و همکاران و گندمی و همکاران نیز گزارش کردند خستگی عضلات مرکزی بدن بر پارامترهای کینماتیکی مرتبط با آسیب رباط قدامی زانو اثر دارد و سبب تغییر در میزان زاویه فلکشن^۲ و والگوس^۴ زانو در لحظه تماس اولیه پا با زمین می‌شود [۱۳، ۱۴]. ساموئل و همکاران در پژوهشی اثر خستگی ذهنی بر عملکرد جسمانی افراد سالمی را که با ۸۰ درصد حداکثر توان خروجی خود روی دوچرخه کارسنج (Bike Ergometer) فعالیت می‌کردند، بررسی و در نتیجه گزارش کردند در گروه دارای خستگی ذهنی زمان رسیدن به خستگی خودگزارشی کاهش یافته است [۱۵].

یوگا به عنوان یک نظریه شخصیت نیز در نظر گرفته می‌شود که هدفش درک مکانیسم‌های روانی مرتبط با تنظیم هیجان‌ات همراه با رشد جسمی است که از طریق رشد نیروی بالقوه بدن، باعث غلبه بر استرس و خستگی می‌شود [۱۶]. یوگا به مجموعه‌ای از تمرینات فیزیکی وضعیت‌گزینی آسان^۵ تمرینات کنترل‌شده تنفسی پرانایاما^۶ و تمرینات رهاسازی و تن‌آرامی شواسانا^۷ گفته می‌شود [۱۷].

3. Flexion
4. Valgus
5. Asana
6. Pranayama
7. Shavasana



تصویر ۱. نحوه اندازه‌گیری تست تعادل ۷

مجله بیومکانیک ورزشی

و ۱۳۵ و ۱۳۵) می‌ایستاد. اگر پای راست برتر بود، آزمون را خلاف جهت عقربه‌های ساعت و اگر پای چپ برتر بود، در جهت عقربه‌های ساعت انجام می‌داد. خطاهایی که سبب توقف تست و تکرار مجدد آن می‌شد عبارت بود از لمس زمین توسط پایی که عمل رسیدن را انجام می‌داد، برهم خوردن تعادل فرد و لمس زمین با دست و تحمل وزن روی پایی که عمل رساندن را انجام می‌داد. هر آزمودنی سه بار تست را انجام می‌دهد. نمرات تعادل بر اساس طول پا (فاصله بین خار خاصرهای قدامی فوقانی تا قوزک داخلی در وضعیت خوابیده به پشت) نرمال می‌گردد و نمره نهایی آزمون از میانگین سه تکرار در هر جهت و با استفاده از فرمول ۱ بدست خواهد آمد (تصویر شماره ۱) [۱۸].

۱. نمره تعادل پویا = مسافت طی شده از سه جهت / طول پا ×

۱۰۰

ارزیابی شده در کدام گروه قرار می‌گیرد. بدین ترتیب ارزیابی از اینکه افراد در کدام گروه قرار خواهند گرفت اطلاعی نداشت. آزمودنی‌ها مطابق برنامه اعلام شده از قبل، در آزمایشگاه حرکات اصلاحی دانشگاه حضور یافتند. پس از تشریح کامل تست‌ها و مراحل تکمیل هر تست، متغیرهای مطالعه قبل و پس از پروتکل خستگی ذهنی ارزیابی شدند. سپس گروه آزمایش به مدت هشت هفته تحت تمرینات یوگا قرار گرفتند و پس از مداخله مجدداً گروه‌ها در معرض خستگی ذهنی قرار گرفتند و بلافاصله پس از آن متغیرها برای بار سوم اندازه‌گیری شدند.

تعادل پویای ۷: یک آزمون معتبر برای ارزیابی تعادل پویاست (ضریب پایایی درون‌آزمونگر و بین‌آزمونگر برای جهات مختلف توسط پلیسکی و همکاران ۰/۹۱ تا ۰/۹۹ گزارش شده است). در این آزمون فرد با پای برتر وسط وای (زاویه بین بازوها ۹۰



تصویر ۲. نحوه اندازه‌گیری تست تعادل به وسیله پلت‌فرم ناپایدار

مجله بیومکانیک ورزشی

به منظور دقت بیشتر اندازه‌گیری، آزمون بازسازی زاویه سه‌بار تکرار شد و بین هر تکرار شش ثانیه استراحت داده می‌شد. سه اختلاف زاویه آزمون و بازسازی به عنوان خطای مطلق در نظر گرفته می‌شد. منظور از خطای مطلق، میزان انحراف از زاویه هدف در بازسازی زاویه‌ای حرکت بدون احتساب جهت انحراف مثبت یا منفی بود. زاویه هدف در این پژوهش ۳۰ و ۶۰ درجه و در جهت اکستنشن - فلکشن بود [۲۲]. خطای مطلق هر فرد در بازسازی زاویه آموزش داده‌شده، به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد.

روش‌ها و تجزیه و تحلیل آماری

جهت بررسی توصیف داده‌ها و رسم نمودارها از آمار توصیفی و برای تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو ویلک استفاده و سطح معنی‌داری $P \geq 0.05$ استفاده شد. برای مقایسه میانگین‌ها از روش‌های آماری تحلیل واریانس در اندازه‌های تکراری با طرح (دو در سه) (گروه در زمان) استفاده شد. کلیه بررسی‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

نتایج

اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها شامل میانگین و انحراف استاندارد سن بر حسب سال، وزن بر حسب کیلوگرم، قد بر حسب سانتی‌متر و سابقه ورزشی دو گروه کنترل و آزمایش در **جدول شماره ۱** ارائه شده است.

حس عمقی فعال زانو

همان‌طور که از **جدول شماره ۲** برمی‌آید، یافته‌های آزمون تحلیل واریانس^{۱۰} مکرر^{۱۱} نشان داد اثر زمان ($P=0.001$) و تعامل ($P=0.04$) معنادار بود؛ بنابراین برای بررسی تغییرات بین مراحل اندازه‌گیری از آزمون تعقیبی بنفرونی^{۱۲} استفاده شد که داده‌های حاصل از بررسی این آزمون نشان داد تغییرات در مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون

تعادل نیمه‌پویا توسط صفحه ناپایدار^۸ آزمودنی ابتدا یک دقیقه جهت آشناسازی با تخته تعادل و نحوه انجام تست، روی دستگاه می‌ایستاد (**تصویر شماره ۲**)؛ میزان انحراف صفحه تعادل به طرفین (شیب دستگاه به طرفین) حداکثر ۱۵ درجه تعریف شده بود که آزمودنی هنگام قرار گرفتن روی صفحه ناپایدار دستگاه، می‌بایست صفحه را در حالت موازی با زمین و نهایتاً در انحراف استاندارد $3 \pm$ درجه قرار می‌داد و در این حالت تعادل خود را روی دستگاه حفظ می‌کرد. دستگاه مدت‌زمانی که آزمودنی می‌توانست صفحه ناپایدار را در $3 \pm$ حفظ کند، به عنوان تعادل فرد ثبت می‌کرد؛ اگر آزمودنی قادر بود عدد بالاتری را کسب کند، تعادل نیمه‌پویای بهتری داشت. برای هر آزمودنی، آزمون سه مرتبه اجرا و هر دفعه سی ثانیه طول می‌کشید. قبل و حین آزمون هیچ دستورالعمل یا بازخورد کلامی به آزمودنی داده نمی‌شد [۱۹].

ارزیابی حس عمقی مفصل زانو

حس وضعیت مفصل زانوی پای غالب این ورزشکاران از طریق بازسازی زاویه‌های ۳۰ و ۶۰ درجه با چشم بسته (برای جلوگیری از ارسال پیام‌های بینایی به سیستم عصبی مرکزی) در زنجیره حرکتی بسته به طور فعال ارزیابی شد [۲۰]. برای اندازه‌گیری زاویه مفصل زانو در حالی که فرد به صورت دمر بر روی میز معاینه دراز کشیده و اینکلاینومتر^۹ را روی عضله دو قلو قرار داده در حالی که زانو در حالت اکستنشن و چشمان فرد موردآزمایش بسته بود با گرفتن پاشنه پا و با حرکت پاسیو و سرعت تقریبی ۱۰ درجه در ثانیه بدون اینکه تغییری در وضعیت مچ پا ایجاد شود زانو به زاویه تقریباً ۳۰ و ۶۰ درجه برده می‌شد و در آن زاویه از فرد درخواست می‌شد تا زاویه موردنظر را پنج ثانیه نگه دارد و روی آن تمرکز کند. سپس زانو به وضعیت استراحتی برگردانده شده و بعد از هفت ثانیه، یک‌بار محقق به صورت غیرفعال و یک‌بار به صورت فعال از فرد می‌خواست تا ساق پا را حرکت داده و زاویه تست‌شده را با سرعت دلخواه ساق پا بازسازی کند [۲۱].

10. Variance

11. Repeated measure

12. Bonfroni

8. Lafayette Stability Platform with Digital Control

9. Inclinator

جدول ۱. ویژگی‌های جمعیت‌شناختی آزمودنی‌ها (N=۵۳)

ویژگی	میانگین \pm انحراف معیار
سن (سال)	۲۰/۵ \pm ۲/۱
وزن (کیلوگرم)	۶۹/۷ \pm ۱۱/۱
قد (سانتی‌متر)	۱۷۸/۳ \pm ۶/۸
سابقه ورزشی (سال)	۳/۴ \pm ۳/۲

جدول ۲. آزمون تعقیبی بنفرومی جهت ارزیابی اثر تغییرات مراحل اندازه‌گیری حس عمقی فعال زانو

سطح معناداری	اختلاف میانگین	زمان	زمان
۰/۰۰۱*	-۳	پس آزمون اول	پیش آزمون
۰/۰۰۱*	۱	پس آزمون دوم	پس آزمون اول
۰/۰۰۵*	-۱	پس آزمون دوم	پیش آزمون

مجله بیومکانیک ورزشی

$P < 0.05^*$

جدول ۳. آزمون تعقیبی بنفرومی جهت ارزیابی اثر تغییرات مراحل اندازه‌گیری حس عمقی غیرفعال زانو

سطح معناداری	اختلاف میانگین	زمان	زمان
۰/۰۴*	-۱	پس آزمون اول	پیش آزمون
۰/۰۰۱*	-۲	پس آزمون دوم	پس آزمون اول
۰/۰۰۱*	-۱	پس آزمون دوم	پیش آزمون

مجله بیومکانیک ورزشی

$P < 0.05^*$

جدول ۴. آزمون تعقیبی بنفرومی جهت ارزیابی اثر تغییرات مراحل اندازه‌گیری بر تعادل پویا Y

سطح معناداری	اختلاف میانگین	زمان	زمان
۰/۰۴*	۱۵	پس آزمون اول	پیش آزمون
۰/۰۰۱*	-۲	پس آزمون دوم	پس آزمون اول
۰/۰۰۱*	۱۴	پس آزمون دوم	پیش آزمون

مجله بیومکانیک ورزشی

$P < 0.05^*$

جدول ۵. آزمون تعقیبی بنفرومی جهت ارزیابی اثر تغییرات مراحل اندازه‌گیری بر تعادل نیمه‌پویا روی صفحه ناپایدار پلت‌فرم

سطح معناداری	اختلاف میانگین	مرحله	مرحله
۰/۰۰۱*	۴	پس آزمون اول	پیش آزمون
۰/۰۰۱*	-۳	پس آزمون دوم	پس آزمون اول
۰/۰۰۱*	۴	پس آزمون دوم	پیش آزمون

مجله بیومکانیک ورزشی

$P < 0.05^*$

که خستگی ذهنی بر حس عمقی زانو اثر گذار بود و با ایجاد خستگی ذهنی در آزمودنی، میزان خطای حس عمقی غیرفعال افزایش می‌یابد. همچنین یافته‌ها نشان داد بین مرحله پس‌آزمون دوم و سوم نیز اختلاف معنادار بوده است ($P=0.001$)؛ به طوری که نشان می‌دهد انجام تمرینات یوگا اثر خستگی ذهنی را مهار می‌کند و بر عملکرد حس عمقی غیرفعال زانو اثر مثبت دارد.

تعادل پویای Y

یافته‌های آزمون تحلیل واریانس مکرر نشان داد اثر زمان ($P=0.001$) و تعامل ($P=0.001$) در فاکتور تعادل پویا معنادار بود. بنابراین برای بررسی تغییرات بین مراحل اندازه‌گیری از آزمون تعقیبی بنفرومی استفاده شد که یافته‌های حاصل از بررسی این آزمون نشان داد تغییرات در مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون اول،

اول، معنادار بود ($P=0.001$). بدین معنی که خستگی ذهنی بر حس عمقی فعال زانو اثر گذار بوده و با ایجاد خستگی ذهنی در آزمودنی، حس عمقی فعال دچار اختلال می‌شود. همچنین یافته‌ها نشان داد بین پس‌آزمون دوم و سوم اختلاف معنادار بوده است ($P=0.001$).

حس عمقی غیرفعال زانو

همان‌طور که از جدول شماره ۳ برمی‌آید، یافته‌های آزمون تحلیل واریانس مکرر نشان داد اثر زمان ($P=0.001$) و تعامل ($P=0.001$) معنادار بود؛ بنابراین برای بررسی تغییرات بین مراحل اندازه‌گیری از آزمون تعقیبی بنفرومی استفاده شد.

داده‌های حاصل از بررسی این آزمون نشان داد تغییرات در مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون اول، معنادار بود ($P=0.044$). بدین معنی

معنادار بود ($P=0/001$)؛ بدین معنی که خستگی ذهنی بر تعادل پویا γ اثرگذار بوده و با ایجاد خستگی ذهنی در آزمودنی، میزان تعادل پویای آزمودنی‌ها روی γ افزایش یافته است. همچنین یافته‌ها نشان داد بین پس‌آزمون دوم و سوم اختلاف معنادار بوده است ($P=0/001$)، به این معنا که انجام تمرینات یوگا اثر خستگی ذهنی را مهار می‌کند و بر عملکرد تعادل داینامیک اثر مثبت دارد (جدول شماره ۴).

تعادل نیمه‌پویا روی صفحه پلت‌فرم

یافته‌های آزمون تحلیل واریانس مکرر نشان داد اثر زمان ($P=0/001$) و تعامل ($P=0/001$) در فاکتور تعادل نیمه‌پویا معنادار بود؛ بنابراین برای بررسی تغییرات بین مراحل اندازه‌گیری از آزمون تعقیبی بنفرونی استفاده شد که یافته‌های حاصل از بررسی این آزمون نشان داد تغییرات در مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون اول، معنادار بود ($P=0/001$)؛ بدین معنی که خستگی ذهنی بر تعادل نیمه‌پویا اثرگذار بوده و با ایجاد خستگی ذهنی در آزمودنی، میزان تعادل آزمودنی‌ها روی صفحه ناپایدار کاهش یافته است. همچنین یافته‌ها نشان داد بین پس‌آزمون دوم و سوم اختلاف معنادار بوده است ($P=0/001$)، به این معنا که انجام تمرینات یوگا اثر خستگی ذهنی را مهار می‌کند و بر عملکرد تعادل نیمه‌پویا اثر مثبت دارد (جدول شماره ۵).

بحث

فراوانی آسیب‌ها به‌خصوص در اندام تحتانی در بین ورزشکاران آماتور یکی از عمده‌ترین مشکلات است که ورزشکاران با آن روبه‌رو بوده و با وجود پژوهش‌های فراوان انجام‌شده در زمینه علت ریسک فاکتورهای کلیدی، هنوز علت وقوع فراوانی آسیب نامشخص مانده و پژوهشی در این زمینه (آیا در فعالیت‌هایی که نیازمند تمرکز و درگیری‌های شناختی بالای ورزشکاران است، و احتمال وقوع خستگی ذهنی به دلیل فعالیت طولانی‌مدت شناختی وجود دارد، تمرینات یوگا می‌تواند خستگی ذهنی را مهار و ریسک وقوع آسیب‌های اندام تحتانی را کاهش دهد؟) انجام نشده است.

با وجود انجام مطالعات در زمینه اثر تمرینات یوگا بر خستگی عمومی، خستگی عضلات موضعی، سلامت و کاهش استرس، هنوز در حوزه تحقیقات پژوهشگران، پژوهشی در خصوص اثر تمرینات یوگا در مهار خستگی و ریسک فاکتورهای آسیب انجام نشده است. با توجه به وجود شکاف تحقیقات، محققین در این مطالعه بر آن شدند اثرگذاری تمرینات یوگا بر مهار خستگی ذهنی، تغییرات تعادل و حس عمقی در مردان ورزشکار آماتور را بیازمایند.

نتایج این پژوهش نشان داد تمرینات یوگا با افزایش توان سازگاری دستگاه‌های عصبی، شناختی و تعدیل سیستم عصبی خودکار، مهار خستگی ذهنی و افزایش پایداری جسمی می‌تواند بر افزایش عملکرد، تعادل و حس عمقی مفصل زانو در وضعیت فلکشن و اکستنشن

تأثیرگذار باشد، به گونه‌ای که میزان خطای بازسازی زاویه هدف در پس‌آزمون و پس از انجام تمرینات یوگا به طور معنی‌داری کمتر از پیش‌آزمون بود که تغییرات در مرحله پیش‌آزمون و پس‌آزمون اول، معنادار بود ($P=0/001$)؛ بدین معنی که خستگی ذهنی بر حس عمقی فعال و غیرفعال زانو و تعادل اثرگذار بوده و با ایجاد خستگی ذهنی در آزمودنی، حس عمقی فعال دچار اختلال می‌شود. یوگا با کاستن از تنش به افزایش سازگاری کمک کرده و با محدود کردن تنش و کاهش انگیختگی قشر مخ، آرامش جسم و ذهن را برای انسان به ارمغان می‌آورد، لذا از اضطراب و افسردگی می‌کاهد [۲۳].

مارتین و همکاران گزارش کردند بعد از خستگی ذهنی، به علت تجمع آدنوزین در مغز، مقاومت در برابر تلاش افزایش یافته، احساس و درک خستگی و کمبود انرژی ظاهر می‌شود [۲۴]. احتمالاً به دلیل احساس و اماندگی و درک خستگی، کنترل عصبی - عضلانی متزلزل شده و تأخیر در فعال شدن عصبی - عضلانی، نیروهای برشی و گشتاور را افزایش می‌دهد و ثبات مفصل را به خطر می‌اندازد [۹، ۱۰]. فرضیه دیگر احتمالاً بعد خستگی ذهنی می‌تواند بر اعمال حرکتی و حتی خستگی عضلانی نیز اثر بگذارد؛ از طرفی مطالعات انجام‌شده حاکی از آن است که خستگی سبب افت عملکرد اندام تحتانی، تعادل داینامیک و حس عمقی مفصل نیز می‌شود که همه این موارد در پیش‌بینی بروز آسیب‌های اندام تحتانی نقش مؤثری دارند.

در این زمینه، تحقیقی که اثر تمرینات یوگا بر مهار خستگی ذهنی، تغییرات تعادل و حس عمقی را مورد بررسی قرار داده باشد، یافت نشد. با وجود این، می‌توان به طور غیرمستقیم نتایج تحقیقات دیگری که اثر خستگی عضلانی را بر ثبات پاسچر مطالعه کرده‌اند بررسی کرد؛ از جمله به یافته‌های گونکالوس و همکاران اشاره کرد که طبق آن تمرینات یوگا باعث افزایش انعطاف‌پذیری، عملکرد خودکار و کیفیت زندگی افراد سالمند می‌شود. این تمرین‌ها باعث کاهش فعالیت سیستم عصبی مرکزی و خودکار در حالت‌های پراسترس شده، در نتیجه آرام‌سازی در یوگا با تأثیر بر سیستم عصبی خودکار و کنترل عواطف منجر به احساس سلامتی در فرد می‌شود [۲۳].

بارنی و همکاران نیز در تحقیق خود که فوتبالیست‌ها را مورد مطالعه قرار داده بودند، گزارش کردند ایجاد خستگی عضلانی ناشی از فعالیت عملکردی شدید، می‌تواند جابه‌جایی مرکز فشار را در جهت قدامی - خلفی با مشکل مواجه کند و میزان نوسانات آن را در این جهت افزایش دهد [۲۵]. این یافته‌ها را با توجه به یافته رانجانا و همکاران می‌توان با یافته‌های این مطالعه همسو دانست؛ چراکه ارنجا و همکارانش اثر خستگی ذهنی بر توسعه خستگی جسمانی را بررسی و گزارش کردند خستگی ذهنی بر افزایش خستگی جسمانی اثرگذار است [۲۶].

همچنین مشخص شده است که اعمال این نوع از تحریکات می‌تواند باعث سازگاری‌هایی در ساختار بخش کورتیکال مغز که کنترل اجرای حرکات را در اختیار قرار دارند، شود و از آن طریق

رخ داده و دوره تأخیر واکنش عضله افزایش می‌یابد و مدت‌زمان اصلاح و بازسازی مرکز تعادل طولانی می‌شود [۲۹، ۳۰].

نتیجه‌گیری نهایی

اعمال تمرینات یوگا به طور قابل توجهی باعث بهبود تعادل، حس عمقی، کارایی ورزشی، مهارت‌های عملکرد جسمانی در ورزشکاران حاضر در تحقیق شد؛ بنابراین با توجه به یافته‌های این تحقیق، خستگی ذهنی اصل فعالیت ذهنی درگیری‌های شناختی طولانی‌مدت است و می‌تواند کنترل تعادل و حس عمقی را تحت تأثیر قرار دهد و کاهش عملکرد ورزشی و افزایش ریسک وقوع آسیب‌های اندام تحتانی ورزشکاران را در پی داشته باشد؛ بنابراین انجام تمرینات یوگا و ورزش‌های دیگر برای مهار و بالا بردن آستانه خستگی مغز و محدود کردن این خستگی و تقویت حس عمقی این ناحیه شاید بتواند کارایی ورزشی را افزایش دهد و میزان بروز آسیب‌های مرتبط با نقصان حس عمقی و تعادل در ورزشکاران را کاهش دهد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمام آزمودنی‌های مطالعه، پس از تکمیل آگهیانه فرم‌های رضایت‌نامه آگهیانه در تحقیق شرکت داده شدند. روش انجام تحقیق در راستای ملاحظات اخلاقی هلسینکی بود و پروپوزال تحقیق در کمیته اخلاق دانشگاه رازی کرمانشاه بررسی شد و مورد تأیید قرار گرفت (IR.RAZI.REC.1398.001). آزمودنی‌ها اجازه داشتند در هر مرحله از تحقیق از ادامه کار سر باز زنند.

حامی مالی

این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول، گروه آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه رازی است.

مشارکت‌نویسندگان

تمامی نویسندگان در نگارش این پایان‌نامه مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

نویسندگان هیچ تعارض منافی گزارش نکرده‌اند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان از مدیریت تربیت‌بدنی دانشگاه رازی و دانشجویان تربیت‌بدنی شرکت‌کننده در آزمون‌ها تشکر و قدردانی می‌کنند.

نیز می‌تواند به بهبود کنترل حرکات فرد کمک کند [۲۷]. برخی از دانشمندان علوم ورزشی به مقوله خستگی، به عنوان یکی از عوامل منفی اثرگذار بر عملکرد ورزشی و ارتباط آن با کنترل قامت توجه کرده‌اند؛ زیرا خستگی و کم شدن کنترل قامت می‌تواند از عوامل آسیب‌های اسکلتی‌عضلانی در ورزشکاران باشد [۲۸]. برخی از مطالعات کاهش کمی و کیفی عملکرد تکنیکی فوتبالیست‌ها به دنبال خستگی ذهنی و جسمی را گزارش کرده‌اند. علاوه بر موارد ذکرشده، کاستم و همکاران هم گزارش کردند عملکرد استقامتی (افزایش زمان رسیدن به خستگی، توانایی سرعت در فعالیت) در نتیجه خستگی ذهنی کاهش داشته است [۱۶].

دیاگنوستیک‌ها و همکاران در تحقیقات خود اثر خستگی ذهنی و عضلانی را بر عملکرد زمان حرکت و تاکتیک بازیکنان فوتبال نشان دادند که خستگی ذهنی باعث کاهش عملکرد فیزیکی (توانایی دویدن ویژه فوتبال، سرعت، دقت تصمیم‌گیری و همچنین دقت در فعالیت‌های نیازمند هماهنگی) شده است [۲۳] که می‌تواند نتیجه کاهش عملکرد اندام تحتانی به دنبال خستگی ذهنی در این مطالعه را تأیید کند.

علاوه بر آن نتایج این مطالعه نشان داد تمرینات یوگا باعث تحریک گیرنده مفاصل و عضلات ناحیه و باعث بهبود اطلاعات ارسال این گیرنده‌ها به سیستم اعصاب مرکزی شده و از آن طریق باعث کاهش خطای بازسازی زاویه و تعادل می‌شود که نشانه‌ای از تأثیرگذاری و بهبود حس عمقی مفصل زانو و مچ پای آزمودنی‌های مورد مطالعه است. در همین راستا نیز خسروی و همکاران و گندمی و همکاران نیز گزارش کردند خستگی عضلات مرکزی بدن بر پارامترهای کینماتیکی مرتبط با آسیب رباط قدامی زانو اثر دارد و سبب تغییر در میزان زاویه فلکشن و والگوس زانو در لحظه تماس اولیه پا با زمین می‌شود [۱۴، ۱۳].

ساموئل و همکاران در پژوهشی اثر خستگی ذهنی بر عملکرد جسمانی افراد سالمی که با ۸۰ درصد حداکثر توان خروجی خود روی دوچرخه کارسنگ فعالیت می‌کردند را بررسی کردند و در نتیجه گزارش کردند در گروه دارای خستگی ذهنی زمان رسیدن به خستگی خودگزارشی کاهش یافته است [۱۵] که همگی یافته‌های این مطالعه را تأیید می‌کند.

به طور کلی می‌توان گفت یوگا به عنوان یک نظریه شخصیت نیز در نظر گرفته می‌شود که هدفش درک مکانیسم‌های روانی مرتبط با تنظیم هیجانات همراه با رشد جسمی است و از طریق رشد نیروی بالقوه بدن، باعث غلبه بر استرس و مهار خستگی می‌شود [۱۶]. از طرفی خستگی ذهنی حالتی است سایکو فیزیولوژی که در نتیجه حفظ طولانی‌مدت کارایی در یک کار سخت شناختی رخ می‌دهد؛ به گونه‌ای که عملکرد شناختی را کاهش داده و منجر به تغییر در هماهنگی‌های حرکتی می‌شود؛ زیرا هنگامی که نرون‌های عصبی مغز خسته می‌شوند، پروسه‌های دیگر بدن نیز تحت تأثیر قرار گرفته، اختلال در فعال‌سازی گیرنده‌های مکانیکی

References

- [1] Hashemi J, Chandrashekar N, Jang T, Karpat F, Oseto M, Ekwaro-Osire S. An alternative mechanism of non-contact anterior cruciate ligament injury during jump-landing: In-vitro simulation. *Exp Mech*. 2007; 47(3):347-54. [DOI:10.1007/s11340-007-9043-y]
- [2] Shimokochi Y, Shultz SJ. Mechanisms of noncontact anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train*. 2008; 43(4):396-408. [DOI:10.4085/1062-6050-43.4.396] [PMID] [PMCID]
- [3] Letafatkar K, Alizadeh MH, Kordi MR. The effect of exhausting exercise induced fatigue on the double-leg balance of elite male athletes. *J Soc Sci*. 2009; 5(4):445-51. [DOI:10.3844/jssp.2009.445.451]
- [4] Salavaati M. [Study the functional controlling disorders in patients with chronic low back pain and effect of core stabilization training on it (Persian)]. [PhD Thesis]. Tehran: Tarbiat Modares University.
- [5] Vaugoyeau M, Viel S, Amblard B, Azulay JP, Assaiante C. Proprioceptive contribution of postural control as assessed from very slow oscillations of the support in healthy humans. *Gait posture*. 2008; 27(2):294-302. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2007.04.003] [PMID]
- [6] Ergen E, Ulkar B. Proprioception and Ankle Injuries in Soccer. *Clin Sports Med*. 2008; 27(1): 195-217. [DOI: 10.1016/j.csm.2007.10.002] [PMID]
- [7] Cameron ML, Adams RD, Maher CG. The effect of neoprene shorts on leg proprioception in Australian football players. *J Sci Med Sport*. 2008; 11(3):345-52. [DOI:10.1016/j.jsams.2007.03.007] [PMID]
- [8] Gribble PA, Hertel J, Denegar CR, Buckley WE. The effects of fatigue and chronic ankle instability on dynamic postural control. *J Athl Train*. 2004; 39(4):321-9. [PMID] [PMCID]
- [9] Biedert R. Contribution of the three levels of nervous system motor control: Spinal cord, lower brain, cerebral cortex. In: Lephart SM, Fu FH (Editors), Proprioception and neuromuscular control in joint stability. Champaign: Human Kinetics; 2000. p. 23-31.
- [10] Ortiz A, Olson SL, Etnyre B, Trudelle-Jackson EE, Bartlett W, Venegas-Rios HL. Fatigue effects on knee joint stability during two jump tasks in women. *J Strength Cond Res*. 2010; 24(4):1019-27. [DOI:10.1519/JSC.0b013e3181c7c5d4] [PMID] [PMCID]
- [11] Smith MR, Zeuwts L, Lenoir M, Hens N, De Jong LMS, Coutts AJ. Mental fatigue impairs soccer-specific decision-making skill. *J Sports Sci*. 2016; 34(14):1297-304. [DOI:10.1080/02640414.2016.1156241] [PMID]
- [12] Marcora SM, Staiano W, Manning V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. *J Appl Physiol*. 2009; 106(3):857-64. [DOI:10.1152/jappphysiol.91324.2008] [PMID]
- [13] Gandomi F, Najafi M. Effect of core muscles fatigue on landing mechanic and lower extremity function. *J Rehab Med*. 2018; 7(4):30-40. [DOI: 10.22037/JRM.2018.110926.1631]
- [14] Khosravi S, Eraghi ES, Seydi F. The effect of core muscle functional fatigue on some of kinematics parameters related to ACL injury during single-leg stop-jump task in female athletes. *J Rehab Med*. 2018; 7(1):10-21. [DOI: 10.22037/JRM.2018.110698.1467]
- [15] Gonçalves LC, de Souza Vale RG, Barata NJF, Varejão RV, Dantas EHM. Flexibility, functional autonomy and Quality of Life (QoL) in elderly yoga practitioners. *Arch Gerontol Geriatr*. 2011; 53: 158-162. [DOI:10.1016/j.archger.2010.10.028] [PMID]
- [16] Raub JA. Psychophysiological effects of Hatha yoga on musculoskeletal and cardiopulmonary function: A literature review. *J Altern Complement Med*. 2002; 8(6):797-812. [DOI:10.1089/1075530260511810] [PMID]
- [17] Villien F, Yu M, Barthelemy P, Jammes Y. Training to yoga respiration selectively increases respiratory sensation in healthy man. *Respir Physiol Neurobiol*. 2005; 146(1):85-96. [DOI:10.1016/j.resp.2004.11.010] [PMID]
- [18] Coughlan GF, Fullam K, Delahunty E, Gissane C, Caulfield BM. A comparison between performance on selected directions of the star excursion balance test and the Y balance test. *J Athl Train*. 2012; 47(4):366-71. [DOI:10.4085/1062-6050-47.4.03] [PMID] [PMCID]
- [19] Zech A, Meining S, Hötting K, Liebl D, Mattes K, Hollander K. Effects of barefoot and footwear conditions on learning of a dynamic balance task: A randomized controlled study. *Eur J Appl Physiol*. 2018; 118(12):2699-706. [DOI:10.1007/s00421-018-3997-6] [PMID]
- [20] Herrington L. Knee-joint position sense: The relationship between open and closed kinetic chain Tests. *J sport rehabil*. 2005; 14(4):356-62. [DOI:10.1123/jsr.14.4.356]
- [21] Clapis PA, Davis SM, Davis RO. Reliability of inclinometer and goniometric measurements of hip extension flexibility using the modified Thomas test. *Physiother Theory Pract*. 2008; 24(2):135-41. [DOI:10.1080/09593980701378256] [PMID]
- [22] Fouladi R, Nasser N, Rajabi R, Geranmayeh M. [Joint position sense of the knee in healthy female athletes across the menstrual cycle (Persian)]. *Koomesh*. 2010; 12(1):31-8. <http://koomeshjournal.semums.ac.ir/article-1-957-en.html>
- [23] Coutinho D, Gonçalves B, Wong DP, Travassos B, Coutts AJ, Sampaio J. Exploring the effects of mental and muscular fatigue in soccer players' performance. *Hum Mov Sci*. 2018; 58:287-96. [DOI:10.1016/j.humov.2018.03.004] [PMID]
- [24] Martin K, Meeusen R, Thompson KG, Keegan R, Rattray B. Mental fatigue impairs endurance performance: A physiological explanation. *Sports Med*. 2018; 48(9):2041-51. [DOI:10.1007/s40279-018-0946-9] [PMID]
- [25] Baroni BM, Wiest MJ, Generosi RA, Vaz MA, Leal Junior ECP. Effect of muscle fatigue on posture control in soccer Players during the short-pass movement. *Rev bras cineantropom desempenho hum*. 2011; 13(5):348-53. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2011v13n5p348>.
- [26] Mehta RK, Parasuraman R. Effects of mental fatigue on the development of physical fatigue: A neuroergonomic approach. *Hum factors*. 2014; 56(4):645-56. [DOI:10.1177/0018720813507279] [PMID]
- [27] Carel C, Loubinoux I, Boulanouar K, Manelfe C, Rascol O, Celsis P, et al. Neural substrate for the effects of passive training on sensorimotor cortical representation: A study with functional magnetic resonance imaging in healthy subjects. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2000; 20(3):478-84. [DOI:10.1097/00004647-200003000-00006] [PMID]
- [28] Guskiewicz KM, Perrin DH. Research and clinical applications of assessing balance. *J Sport Rehabil*. 1996; 5(1):45-63. [DOI:10.1123/jsr.5.1.45]
- [29] Cortes N, Quammen D, Lucci S, Greska E, Onate J. A functional agility short-term fatigue protocol changes lower extremity mechanics. *J Sports Sci*. 2012; 30(8):797-805. [DOI:10.1080/02640414.2012.671528] [PMID] [PMCID]
- [30] Earl JE, Hertel J. Lower-extremity muscle activation during the Star Excursion Balance tests. *J Sport Rehabil*. 2001; 10(2):93-104. [DOI:10.1123/jsr.10.2.93]

This Page Intentionally Left Blank
