10.22037/jrm.2019.112460.2194 Research Article

Effect of Mental Fatigue on Balance, Lower Extremity Function, and Landing Biomechanic Changes in Amateur Men Athletic

Mohammad Sarhad Hasan[1], Manochehr Haydary[2*], Farzaneh Gandomi[3]

1. MSc, Student of Corrective Exercises and Sport Injuries, Physical Education Faculty, Razi Univesity, Kermanshah Iran
2. PhD, Assistant Professor of Corrective Exercises and Sport Injuries, Physical Education Faculty, Razi Univesity, Kermanshah Iran
3. PhD, Assistant Professor of Corrective Exercises and Sport Injuries, Physical Education Faculty, Razi Univesity, Kermanshah Iran

Received: 2019.September.13 Revised: 2019.September.17 Accepted: 2019.September.21 Published Online: 2019.September.23

ABSTRACT

Background and Aims: Mental fatigue usually occurs after prolonged cognitive activities that decrease cognitive function and lead to changes in motor coordination. The purpose of the present study was to investigate the effect of mental fatigue on balance, lower extremity function, and landing biomechanic changes in amateur male athletes.

Materials and Methods**:** In the current quasi-experimental study, 35 amateur male students volunteered. Mental fatigue was induced by 45 minutes of cognitive activity (Stroop test). Before and after mental fatigue, the followings were evaluated: dynamic balance using Y-Test, semi-dynamic balance using Lafayette Stability Platform, knee proprioception using Inclinometer, lower extremity function using LEFT Test, landing mechanic using Balance Error Scoring System, and Jump-Landing skill film assessment using AutoCAD and Kinovea software. Data were analyzed making use of SPSS software (version 22) and running paired sample t-test at the significance level of 0.05.

Results**:** The results of Paired sample t-test showed that lower extremity function (P=0.0001), dynamic balance (P=0.0001), semi-dynamic balance (P=0.0001), and knee proprioception (P=0.0001) decresed and landing biomechanics (P=0.004), which have been reported as the predictors of lower extremity injuries risks after undergoing mental fatigue, increased significantly.

Conclusion: According to the results, significant decrease in balance, lower extremity function factors, and increased landing mechanics of amateurs after mental fatigue have been shown, and injury prevention experts should study the strategies for the prevention of mental fatigue.

Keywords: Mental Fatigue; Balance; Biomechanics of Landing; Lower Extremity Function

How to cite this article: Manochehr Haydary: Assistant Professor of Corrective Exercises and Sport Injuries, Physical Education Faculty, Razi Univesity, Kermanshah Iran. J Rehab Med. 2020; 9(2): 167-177.

*Corresponding Author: Manochehr Haydary. PhD, Assistant Professor of Corrective Exercises and Sport Injuries, Physical Education Faculty, Razi Univesity, Kermanshah Iran
Email: mhaidary2000@yahoo.com

مقاله پژوهشی
10.22037/jrm.2019.112460.2194

اثر خستگی ذهنی بر تغییرات تعادل، عملکرد اندام تحتانی و بیومکانیک فرود در مردان ورزشکار آماتور

محمد سرحد حسن[۱]، منوچهر حیدری[۲]، فرزانه گندمی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲. استادیار گروه آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳. استادیار گروه آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

دریافت مقاله ۱۳۹۸/۰۶/۲۲ بازنگری مقاله ۱۳۹۸/۰۶/۲۶ پذیرش مقاله ۱۳۹۸/۰۶/۳۰

چکیده

مقدمه و اهداف: امروزه خستگی ذهنی، معمولاً به دنبال فعالیت‌های طولانی‌مدت شناختی رخ می‌دهد؛ به گونه‌ای که عملکرد شناختی را کاهش داده و منجر به تغییر در هماهنگی‌های حرکتی می‌شود. هدف از پژوهش حاضر، مطالعه اثرگذاری خستگی ذهنی، بر تغییرات تعادل، عملکرد اندام تحتانی و بیومکانیک فرود در ورزشکاران مرد آماتور بود.

مواد و روش‌ها: در مطالعه نیمه‌تجربی حاضر، ۳۵ دانشجوی مرد آماتور، به صورت داوطلبانه شرکت نمودند. خستگی ذهنی با ۴۵ دقیقه فعالیت شاختی (تست استروپ) ایجاد گردید. قبل و پس از اعمال خستگی ذهنی، تعادل داینامیک با آزمون Y، تعادل نیمه‌پویا با دستگاه Lafayette Stability Platform، حس عمقی زانو با اینکلاینومتر، عملکرد اندام تحتانی با تست LEFT و بیومکانیک فرود با ابزار Balance Error Scoring System، ارزیابی فیلم مهارت Jump-Landing با نرم‌افزارهای AutoCAD, Kinovea، ارزیابی شدند. تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۲) و آزمون Paired Sample t-test، در سطح معناداری P=۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان داد که نتایج آزمون t-وابسته، عملکرد اندام تحتانی (P=۰/۰۰۰۱)، تعادل پویا (P=۰/۰۰۰۱)، تعادل نیمه‌پویا، حس عمقی زانو (P=۰/۰۰۰۱) و بیومکانیک فرود و نحوه‌ی قرارگیری پا روی زمین (P=۰/۰۰۴) که طبق مطالعات گذشته در پیش‌بینی ریسک وقوع آسیب‌های اندام تحتانی پررنگ گزارش شده‌اند، پس از دریافت وقوع خستگی ذهنی افزایش معناداری داشته است.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد کاهش معنادار فاکتورهای تعادل، عملکرد اندام تحتانی و افزایش خطاهای بیومکانیک فرود ورزشکاران آماتور پس از وقوع خستگی ذهنی 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.

واژه‌های کلیدی: خستگی ذهنی؛ تعادل؛ عملکرد اندام تحتانی؛ بیومکانیک فرود

نویسنده مسئول: منوچهر حیدری، استادیار گروه آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
آدرس ایمیل: mhaidary2000@yahoo.com

مقدمه و اهداف

امروزه دستیابی به عملکرد بهینه بدون آسیب در ورزش حرفه‌ای، نیازمند داشتن فاکتورهایی چون حفظ تعادل، حفظ مرکز ثقل بدن درون تکیه‌گاه و کنترل وضعیت بدن در فضا می‌باشد.[۱] در واقع ثبات پاسچرال، به واسطه تجزیه‌وتحلیل داده‌های ارسالی از گیرنده‌های مکانیکی موجود در اندام‌های تحتانی در ترکیب با درون‌داده‌های بینایی، دهلیزی و حس حرکتی به وجود می‌آید.[۲] پرش فرود نوعی فعالیت حرکتی رایج در فعالیت‌های ورزشی ورزشکاران حرفه‌ای است، به‌طوری‌که بیشترین نرخ وقوع آسیب‌های مچ پا و زانو را در ورزش‌های دارای حرکات برشی و پرشی گزارش کرده‌اند. گری و همکاران (۱۹۸۵)، در این خصوص اذعان نموده‌اند که ۵۸ درصد از تمام آسیب‌های زنان بسکتبالیست، به دنبال فرود بعد از پرش اتفاق می‌افتد.[۳] در این زمینه، گودوین گربیریج و همکاران (۱۹۸۲) نیز معتقد بودند که ۶۳ درصد از آسیب‌های مچ پا و زانو در رقابت‌های والیبال به عامل پرش-فرود برمی‌گردد.[۴] فرود ناکارآمد در فعالیت‌های ورزشی غالباً یکی از سازوکارهای رایج در آسیب‌های اندام تحتانی است[۵]، به‌طوری‌که در این شکل از فرود، ورزشکار کنترل مناسبی بر اندام تحتانی نداشته و این امر منجر به چرخش یا زاویه‌دار شدن زانو و یا پیچش در ناحیه مچ پا شده و ورزشکار را با عواقب بسیار سنگینی مواجه می‌نماید.[۶] این مسئله زمانی که مهارت پرش-فرود با فاکتورهای شدت و سرعت ترکیب می‌شود، می‌تواند از پتانسیل بالاتری برای آسیب رساندن برخوردار باشد. در واقع می‌توان این‌گونه بیان نمود که هر گونه نقص و اختلالی که موجب شود فرد در حفظ ثبات پویا با مشکل مواجه شود، می‌تواند سبب به وجود آمدن نوسانات مرکز ثقل، کاهش تعادل و افزایش ریسک سقوط و بروز آسیب گردد.[۷] عوامل متعددی وجود دارد که می‌تواند بر توانایی فرد در حفظ و بازیابی ثبات پاسچرال اثرگذار باشد، از جمله می‌توان به وجود نقص در سیستم عصبی، ناکارآمدی سنسورهای عصب‌های نوری در شبکیه، فشارهای روانی، فعالیت‌های نیازمند تمرکز بالا، مکانیزم دهلیزی و خستگی اشاره کرد.[۸]

خستگی از عواملی است که با کاهش عملکرد سیستم عصبی-عضلانی ثبات مفصلی و زمان واکنش در رفتار مکانیکی و فعالیت عصبی-عضلانی عضلات اطراف زانو در هنگام فرود نقش ویژه‌ای ایفا می‌کند.[۸-۹] به عنوان نمونه در ورزشی مثل فوتبال به دلیل ماهیت سرعتی آن هنگام وقوع خستگی مرکزی، کنترل روی حرکات سریع (پرش-فرود، حرکات چرخشی، کاتینگ‌ها) به شدت به کیفیت اطلاعات آوران در سیستم حسی-پیکری وابسته است.[۱۱] اگر در طول چنین فعالیت‌هایی پایدارکننده‌های ایستا (لیگامنت)و پویا (عضلات) مفاصل نتوانند به‌درستی ثبات مفصل را برقرار کنند، مفصل صدمه خواهد دید.[۱۲]

خستگی ذهنی به عنوان یک وضعیت روانی-فیزیولوژیک تعریف شده است که در نتیجه استمرار انجام یک کار طولانی‌مدت یا کاری که نیازمند تمرکز است، حادث می‌گردد.[۱۳] در تعریفی دیگر، خستگی ذهنی را به عنوان یک وضعیت روانشناختی ناشی از دوره‌های پایدار فعالیت شناختی تعریف نموده‌اند که با احساس خستگی و کمبود انرژی آشکار می‌گردد.[۱۴]

برخی از محققین در این حوزه، مطالعاتی به انجام رسانده‌اند که از آن جمله می‌توان به یافته‌های ساموئل و همکاران (۲۰۰۹) اشاره نمود، به‌طوری‌که اثر خستگی ذهنی بر عملکرد جسمانی افراد سالمی که با ۸۰ درصد حداکثر توان خروجی خود بر روی دوچرخه کارسنج فعالیت می‌کردند را بررسی و در نتیجه گزارش نمودند که گروه دارای خستگی ذهنی زمان رسیدن به خستگی خودگزارشی آنها کاهش یافته است.[۱۵] رانجانا و همکاران (۲۰۱۴) نیز با استفاده از یک روش نوروارگونومی[1] و ارزیابی فعالیت قشر لب پیشانی مغز در طول تمرینات زیربیشینه خسته‌کننده بر روی عضلات بالاتنه، اثر خستگی ذهنی بر توسعه خستگی جسمانی را در دو گروه کنترل (خستگی جسمانی) و گروه دارای خستگی ذهنی و جسمانی بررسی کردند. از روش طیف‌سنجی مغناطیسی[2] جهت اندازه‌گیری فعالیت قشر لب پیشانی و از روش الکترومیوگرافی و ثابت کردن مفصل جهت اندازه‌گیری فعالیت عضله استفاده شد. نتایج نشان داد که در مقایسه با گروه کنترل، اکسیژن خون در قشر دو طرف لب پیشانی در طول انقباضات خسته‌کننده در فعالیت زیربیشینه در گروه دارای خستگی ذهنی و جسمی به طور معناداری پایین بود، اما نتایج مرتبط با پاسخ عضلانی عکس بود؛ لذا به این نتیجه دست یافتند که تداخل در قشر لب پیشانی ممکن است بر خروجی حرکت در طول وظایفی که هم به پردازش شناختی و هم فیزیکی نیاز دارد، تأثیرگذار باشد.[۱۶] در حوزه مطالعاتی خستگی ذهنی، کاستم و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که عملکرد استقامتی (افزایش زمان رسیدن به خستگی، توان یا سرعت فعالیت یا زمان کلی افزایش‌یافته فعالیت)* کاهش داشته است، اما متغیرهای فیزیولوژیکی مرتبط با عملکرد استقامتی (ضربان قلب، لاکتات خون، اکسیژن دریافتی، برونده قلبی و حداکثر اکسیژن مصرفی) تحت تأثیر خستگی ذهنی قرار نگرفتند. نتایج حاصل نشان داد که مدت و شدت فعالیت‌ها و کاهش عملکرد فیزیکی به دنبال خستگی ذهنی از فاکتورهای مهمی هستند که تحت تأثیر قرار می‌گیرند.[۱۷] دیاگوکاتینگهو و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعه مروری خود اثر خستگی ذهنی و

1 Neuroergonomics

2 Spectroscopy

عضلانی را بر عملکرد زمان حرکت و تاکتیک بازیکنان فوتبال بررسی کردند و نتایج آنها نشان داد که به دنبال خستگی ذهنی عملکرد فیزیکی مانند توانایی دویدن ویژه فوتبال، سرعت و دقت تصمیم‌گیری و همچنین دقت در فعالیت‌های نیازمند هماهنگی کاهش می‌یابد.[۱۸] همه موارد مطرح‌شده حاکی از اثرگذاری و نقش قابل توجه خستگی ذهنی در عملکرد ورزشی ورزشکاران است؛ این در حالی است که بسیاری از رشته‌های ورزشی مثل فوتبال که نیازمند فعالیت‌های شناختی می‌باشد، در معرض وقوع خستگی ذهنی است. آسیب‌های اندام تحتانی (پارگی رباط ACL، پیچ‌خوردگی‌های مکرر مچ پا، استرین‌های عضلانی و رباطی و غیره) در این رشته ورزشی از آمارهای قابل توجهی برخوردار می‌باشد. از سوی دیگر، تاکنون مطالعه‌ای به بررسی این فرضیه نپرداخته است که آیا بروز خستگی ذهنی در اثر فعالیت‌های شناختی مکرر می‌تواند پتانسیل وقوع آسیب در اندام تحتانی را افزایش دهد یا خیر؛ بنابراین هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی اثرگذاری وقوع خستگی ذهنی، در بروز اختلال در فاکتورهایی چون بیومکانیک فرود، حس عمقی مفصل زانو، تعادل و عملکرد اندام تحتانی ورزشکاران آماتور بود.

مواد و روش‌ها

در مطالعه نیمه‌تجربی حاضر، جامعه آماری شامل کلیه دانشجویان تربیت بدنی پسر ترم دوم دانشگاه رازی بود که از بین آنها ۳۵ نفر به عنوان نمونه آماری به صورت تصادفی ساده انتخاب شدند. آزمودنی‌ها همگی فرم رضایت آگاهانه را تکمیل نمودند. موضوع در کمیته اخلاق دانشگاه رازی مطرح شد و مورد پذیرش قرار گرفت. شرایط ورود به مطالعه عبارت بود از سن بین ۱۸ تا ۲۵ سال، جنسیت مرد و آماتور، سابقه فعالیت ورزشی حداکثر ۲ سال، همگن بودن آزمودنی‌ها از نظر ویژگی‌های دموگرافیکی و انجام 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 ستوان فقرات از جمله انواع دیسکوپاتی‌ها، سیاتیک، تنگی کانال نخاعی و انصراف از ادامه مشارکت به هر دلیل.[۱۹] تعداد آزمودنی‌ها بر اساس جدول مورگان انتخاب شدند (افراد جامعه ۴۰ و تعداد نمونه ۳۶). از آزمودنی‌ها خواسته شد تا مطابق برنامه اعلامی در آزمایشگاه حرکات اصلاحی دانشگاه رازی حضور یافته و پس از تشریح پروتکل و فرآیند آشنایی با تست‌ها و مداخله خستگی ذهنی در فرآیند تحقیق وارد شوند. پروتکل خستگی در محیطی آرام برای تمرکز کامل آزمودنی‌ها اجرا گردید. قبل و پس از مداخله خستگی ذهنی، تعادل داینامیک به وسیله تست Y، تعادل ایستا توسط صفحه ناپایدار پلت‌فورم (IN 47904 USA Model 16030 Lafayette Stability Platform)و مکانیک فرود در مهارت فرود از روی جعبه ۴۰ سانتی‌متری، توسط پرسشنامه سیستم نمره‌دهی خطای فرود در زمان واقعی، ارزیابی فیلم پرش و فرود با دوربین‌های فیلم‌برداری و نرم‌افزارهای اتوکد وکاینوا بررسی شد.

پروتکل خستگی ذهنی: بعد از آشنایی آزمودنی‌ها با ماهیت و نحوه همکاری با اجرای پژوهش و آموزش نکات عمده و ضروری درباره نحوه اجرای پروتکل خستگی ذهنی، آزمودنی‌ها ۴۵ دقیقه به انجام یک فعالیت شاختی شامل فعالیت کامپیوتری کلمات رنگی استروپ پرداختند؛ به این صورت که چهار کلمه (قرمز، آبی، سبز و زرد) بر روی مانیتور با پس‌زمینه خاکستری به صورت هم‌زمان نشان داده شد و سپس از آزمودنی‌ها خواسته شد که یکی از چهار کلید مشخص‌شده روی کیبورد کامپیوتر که مطابق با رنگ کلمه نشان داده شده است را به جای معنی آن فشار دهند .برای افزایش دشواری فعالیت، زمانی که کلمه قرمز نشان داده می‌شد، آزمودنی باید کلید مرتبط با معنی آن را فشار می‌داد. ۵۰ درصد این آزمون به صورت مطابقت دادن رنگ با کلمه و ۵۰ درصد دیگر آن مرتبط با معنی کلمات بود. هر کلمه به مدت ۱۰۰۰ms پس از نمایان شدن یک صفحه سیاه رنگ نشان داده می‌شد و پس از ۱۰۰۰ms کلمه بعدی ظاهر می‌شد. به‌همین‌ترتیب، کلمه جدید در هر ۲۰۰۰ms ارائه می‌شد و در مجموع در طول کل پروتکل ۹۰۰ محرک ارائه شد. در پاسخ‌های نادرست یا عدم پاسخ (بیشتر از ۱۵۰۰ms) با صدای بوق به آزمودنی هشدار داده می‌شد تا به عنوان یک محرک باعث شود آزمودنی‌ها سریع‌تر و با دقت بیشتری عمل کنند. برای افزایش انگیزه، آزمودنی‌هایی که سریع‌تر، دقیق‌تر و با موفقیت مراحل را پشت سر می‌گذاشتند، در صورت امکان نسبت به دیگر آزمودنی‌ها در طول ۴۵ دقیقه فعالیت، کلمات بیشتری برای آنها ارائه می‌شد.[۲۰]

تعادل پویای Y: یک آزمون معتبر برای ارزیابی تعادل پویا می‌باشد (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 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 تست سه مرتبه تکرار شد و میانگین نمرات مطابق با فرمول زیر با طول پا (فاصله بین خار خاصره‌ای قدامی-فوقانی تا قوزک داخلی در وضعیت خوابیده به پشت) نرمال شده و نمره نهایی آزمون به‌دست می‌آمد.[۲۱]

تعادل نیمه‌پویا توسط صفحه ناپایدار:[1] آزمودنی ابتدا یک دقیقه جهت آشناسازی با تخته تعادل و نحوه انجام تست روی دستگاه می‌ایستاد (شکل۱)؛ 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 درجه قرار می‌داد و در این حالت تعادل خود را روی دستگاه حفظ می‌نمود. دستگاه مدت زمانی که آزمودنی می‌توانست صفحه ناپایدار را در ±3 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 شد و هر دفعه ۳۰ ثانیه طول کشید. قبل و حین آزمون هیچ دستورالعمل یا بازخورد کلامی به آزمودنی داده نشد.[۲۲]

شکل ۱. دستگاه سنجش ثبات نیمه‌پویا

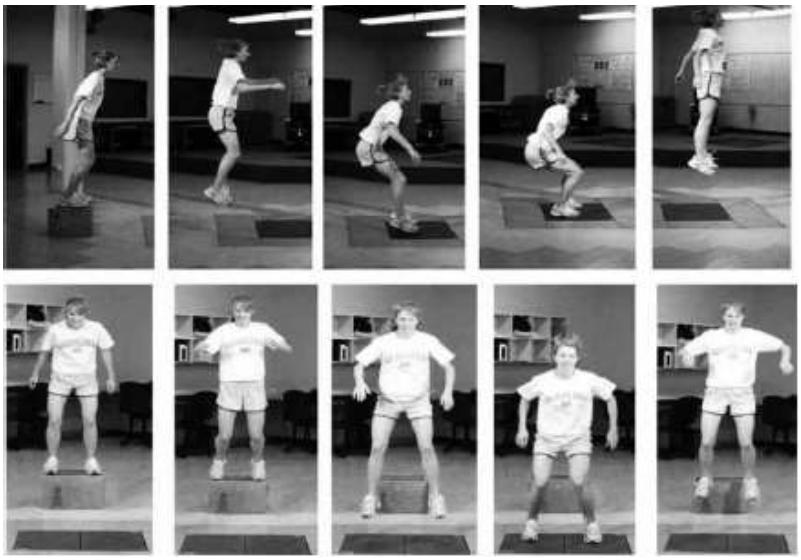
سیستم نمره‌دهی خطای فرود:[2] این ابزار از سیستم نمره‌دهی خطای فرود اصلی الهام گرفته (جدول ۱) که در قالب ۱۷ پرسش از نحوه اجرای مهارت پرش-فرود طراحی شده است. در این پرسشنامه سوالات مطرح‌شده از نحوه انجام مهارت پرش-فرود توسط یک ارزیاب پاسخ داده شد. ارزیاب پرسش‌ها را بر اساس فیلم‌های سه اجرای پرش-فرود پاسخ داد. دوربین‌های فیلم‌برداری (Canon-Jepan) در نماهای قدامی و جانبی هر کدام با فاصله 3 متر از آزمودنی قرار گرفته بود. آزمونگر در این سیستم حرکات خاص پاها، زانوها و تنه را ارزیابی کرد. پرش-فرود اول برای ارزیابی فاصله پاها از هم در حالت ایستاده قبل از پرش چرخش پاها و وضعیت پاها در اولین لحظه برخورد پاها به زمین (اینکه آیا به طور قرینه به زمین می‌خورند یا خیر) بود (گزینه ۱ تا ۳). پرش-فرود دوم برای ارزیابی وضعیت زانوها و تنه در سطح فرونتال به کار گرفته شد (گزینه‌های ۴ و ۵). در پرش-فرود سوم و چهارم آزمونگر آزمودنی‌ها را از نمای جانبی ارزیابی کرد، به‌طوری‌که در پرش-فرود سوم چگونگی فرود بعد از پرش آزمودنی ارزیابی شد (گزینه ۶ و ۷) و بالاخره آزمایش چهارم برای ارزیابی حرکات تنه در سطح ساجیتال ارزیابی گردید (گزینه ۸). گزینه‌های ۹ و ۱۰ بر اساس نظر کلی آزمونگر از نحوه انجام مهارت پرش-فرود نمره‌دهی شد (گزینه ۹ بر اساس برداشت کلی از سطح ساجیتال و گزینه ۱۰ ایرادات کلی هر دو سطح ساجیتال و فرونتال). در این ارزیابی، آزمودنی‌ها از روی جعبه‌های به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر روی خطی فرود آمدند که در فاصله‌های برابر نصف طول قد آزمودنی بر روی زمین ترسیم شده بود و به محض برخورد پا به زمین پرش عمودی حداکثری انجام دادند. آزمونگر دو مرتبه پرسش‌های مربوط به سطح ساجیتال و دو مرتبه پرسش‌های مربوط به سطح فرونتال را در ابزار BESS پاسخ داد. پایایی پرسشنامه مذکور را پادوا و همکاران ۰/۷۲-۰/۸۱ گزارش کردند. علاوه بر ارزیابی بیومکانیک فرود توسط پرسشنامه BESS، زوایای ارزیابی‌شده در پرسشنامه با استخراج فریم‌های مورد نظر از مهارت پرش-فرود با نرم‌افزار کاینوا (نسخه ۸/۱۵) و تعیین زوایای مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار اتوکد در دو نمای ساجیتال و فرونتال محاسبه گردید. این زوایا شامل فلکشن تنه، فلکشن زانو، فلکشن مچ پا در نمای ساجیتال و فلکشن جانبی تنه، ولگوس زانو، فواصل بین قوزک‌ها و مرکز کشکک‌ها در نمای فرونتال بود (شکل ۲).[۲۳]

1 Lafayette Stability Platform with Digital Control

2 Balance Error Scoring System

جدول ۱. پرسشنامه سیستم نمره‌دهی خطای فرود–زمان واقعی

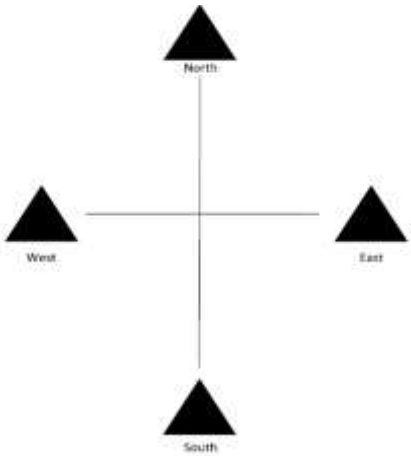
سطح فرونتال	سطح ساجیتال
عرض پاها در حالت ایستاده	اولین نقطه فرود پاها
۰ نرمال	۰ انگشتان به پاشنه
۱ پهن	۱ پاشنه به انگشتان
۱ باریک	۱ با کف پاها
وضعیت ماکسیمم چرخش پاها	میزان جابه‌جایی فلکشن زانو
۰ نرمال	۰ بزرگ
۱ چرخش داخلی	۱ متوسط
۱ چرخش خارجی	۲ کم
برخورد اولیه پاها با زمین	میزان جابه‌جایی فلکشن تنه
۰ متقارن	۰ بزرگ
۱ نامتقارن	۱ متوسط
	۲ کم
ماکسیمم زاویه والگوس زانو	جابه‌جایی کلی مفصل در سطح ساجیتال
۰ ندارد	۰ نرم
۱ کمی والگوس دارد	۱ متوسط
۲ والگوس زیادی دارد	۲ سفت
میزان فلکشن جانبی تنه	برداشت کلی
۰ ندارد	۰ عالی
۱ کمی تا متوسطی دارد	۱ متوسط
	۲ ضعیف



شکل ۲. نحوه انجام تست پرش–فرود[۱۱]

تست عملکرد اندام تحتانی: تست شامل ۸ مرحله تمرین چابکی بر روی یک مسیر لوزی‌شکل است. در حقیقت این تست برای ارزیابی میزان توانایی ورزشکاران برای برگشت به ورزش پس از وقوع آسیب استفاده می‌شده است، اما اخیرا از آن برای ارزیابی میزان وقوع آسیب در جمعیت‌های ورزشکار هم مورد استفاده قرار گرفته است. در این تست قبل از شروع به کار، ورزشکاران حداقل ۵ دقیقه به گرم کردن پرداختند. در این تست جهت شمال–جنوب ۹/۱۴ متر و جهت شرق–غرب ۳/۵ متر بود و مثلث‌ها به وسیله نوارچسب در انتهای محورها ساخته شدند. سپس مراحل تست به این شکل انجام می‌گرفت: دویدن به سمت جلو، دویدن به سمت عقب، دویدن جانبی، دویدن جانبی حرکت یک بار به پشت و یکبار به جلو، دویدن به شکل ۸، دویدن دور تمام نوارچسب‌های مثلثی، دویدن دور مثلث ابتدایی به صورت پا به خارج، دویدن دور مثلث ابتدایی به صورت پا به داخل، دویدن به سمت جلو و دویدن به سمت عقب. ورزشکار برای شروع در مثلث جنوبی قرار گرفت و در شروع و پایان تست دویدن به جلو و دویدن به عقب (به‌ترتیب جنوب–شمال–جنوب)

انجام و مراحل دیگر در جهت ساعتگرد و پادساعتگرد اجرا شد. در نهایت زمان انجام تست با کرونومتر ثبت گردید. پایایی تست بین ۹۵ تا ۹۷ درصد گزارش شده است.[۲۵]



شکل ۳. تست عملکرد اندام تحتانی

حس عمقی مفصل زانو: در این تست از روش خطای بازسازی زاویه استفاده گردید. آزمودنی دمر روی تخت آزمایش دراز کشیده، به‌طوری‌که پای فرد بیرون از لبه تخت قرار می‌گرفت. آزمونگر یک شیب‌سنج کالیبره‌شده روی پشت ساق پای فرد قرار داد و از وی خواسته شد تا زانو را تا زاویه ۵۰ درجه به صورت اکتیو خم کند، ۳ ثانیه مکث و به وضعیت اولیه برگشت داده شد. ۳ ثانیه مکث و مجدد از وی خواسته شد تا زانو را به زاویه قبلی برگرداند. مقدار خطای بین زوایای فلکشن زانو در دو مرحله به عنوان خطای بازسازی زاویه استفاده گردید. هرچه این زاویه به صفر نزدیک‌تر می‌شد، میزان حس عمقی فرد به تناسب بهتر تخمین زده می‌شد.[۲۶]

در مطالعه حاضر، آزمودنی‌های شرکت‌کننده در تحقیق پس از اعلام آمادگی شرکت در تحقیق و ثبت نام، در روز مقرر وارد آزمایشگاه تخصصی حرکات اصلاحی دانشگاه رازی شدند، پس از تکمیل فرم رضایت‌نامه و اطلاعات عمومی و حائز بودن شرایط ورود به مطالعه، با فرآیندهای مرحله به مرحله آزمایشات و مداخله خستگی ذهنی آشنا شدند. سپس ۱۰ دقیقه با حرکات جهشی و کشش به گرم کردن پرداختند. در ابتدا تست‌های ایستگاهی تعادل ایستا، تعادل نیمه‌پویا، حس عمقی مفصل زانو و عملکرد اندام تحتانی را تکمیل و بلافاصله پس از آن پروتکل خستگی ذهنی که ۴۵ دقیقه به طول انجامید، دریافت کردند. بلافاصله پس از تکمیل پروتکل خستگی ذهنی در ارزیابی ثانویه، تست‌های مذکور در پیش-آزمون تکرار و بین مراحل هیچ استراحتی اختصاص داده نشد.

یافته‌ها

جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها، از آزمون شاپیرو-ویلک و جهت ارزیابی همگنی واریانس‌ها، از آزمون Leven استفاده شد. برای ارزیابی درون‌گروهی (مقایسه میانگین‌های پیش‌آزمون-پس‌آزمون) از روش آماری تی تست زوجی در سطح معناداری ۰/۰۵≥ استفاده گردید. برای اندازه‌گیری اندازه اثر[1] از شاخص مجذور ایتا استفاده گردید که رهنمون-های تفسیر این مقدار عبارت بود از اثر بزرگ=۰/۱۴، اثر متوسط=۰/۰۶ و اثر کوچک=۰/۰۱. برای تجزیه‌وتحلیل و مقایسه داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده گردید.

بحث

اطلاعات توصیفی آزمودنی‌ها شامل میانگین و انحراف استاندارد سن (سال)، وزن (کیلوگرم)، قد (سانتی‌متر) و سابقهٔ ورزشی دو گروه کنترل و تجربی در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲. ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی‌ها (N=۳۵)

ویژگی	Mean±SD
سن (سال)	۲۰/۵±۲/۱
وزن (کیلوگرم)	۶۹/۷±۱۱/۱
قد (سانتی‌متر)	۱۷۸/۳±۶/۸
سابقه ورزشی (سال)	۳/۴±۳/۲

1 Effect Size

علاوه بر آن، برای بررسی اثرگذاری خستگی ذهنی بر فاکتورهای تعادل، عملکرد اندام تحتانی، حس عمقی مفصل زانو و مکانیک فرود از آزمون آماری t-زوجی در سطح ۰/۰۵ استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۳ قابل تأمل است.

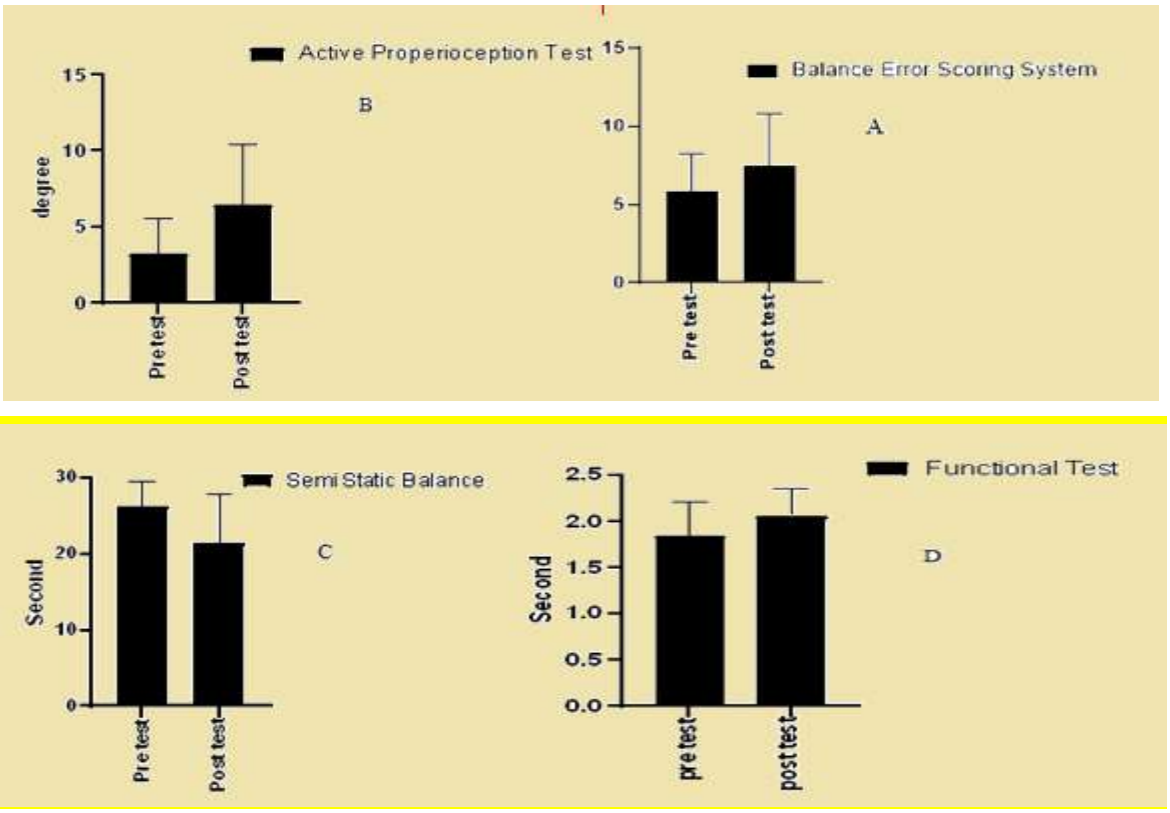
جدول ۳. مقایسه شاخص‌های عملکرد اندام تحتانی، تعادل، حس عمقی مفصل زانو و BESS قبل و پس از اجرای مداخله خستگی ذهنی

شاخص / متغیر	پیش‌آزمون M±SD	پس‌آزمون M±SD	P-value	Eta-square
عملکرد اندام تحتانی	۱/۸±۰/۳	۲/۰۵±۰/۲	۰/۰۰۰۱*	۰/۳
تست Y	۹۷/۶±۸/۰۳	۹۲/۲±۸/۳	۰/۰۰۰۱*	۰/۷
حس عمقی زانو	۳/۴±۲/۵	۶/۴±۳/۹	۰/۰۰۰۱*	۰/۳
تعادل نیمه‌پویا	۲۶/۱±۳/۳	۲۱/۴±۶/۳	۰/۰۰۰۱*	۰/۵
BESS	۵/۸±۲/۳	۷/۵±۲/۳	۰/۰۰۴*	۰/۲

*P≤۰/۰۵

همان‌طور که از جدول ۳ و نمودار ۳ برمی‌آید، فاکتورهای عملکردی چون عملکرد اندام تحتانی با P=۰/۰۰۰۱ و اندازه اثر ۰/۳ حاکی از آن است که متغیر مستقل اندازه اثر بزرگی در این فاکتور بر جای گذاشته است، در خصوص تعادل نیمه-پویا مشاهده شد که این فاکتور با P=۰/۰۰۰۱ و اندازه اثر بسیار بزرگ ۰/۵ تحت تأثیر تغییرات خستگی ذهنی قرار گرفته است؛ به علاوه، تعادل پویا نیز با P=۰/۰۰۰۱ و اندازه اثر بسیار بزرگ ۰/۷ به طور معناداری از خستگی ذهنی متأثر بوده است.

بیومکانیک فرود (BESS) هم با P=۰/۰۰۰۱ و اندازه اثر به نسبت بزرگ ۰/۲ به طور معناداری پس از بروز خستگی تغییر یافته است. در خصوص حس عمقی مفصل زانو هم مشاهده شد که با P=۰/۰۰۰۱، و مجذور ایتای نسبتاً بزرگ ۰/۳ به طور معناداری تحت تأثیر خستگی ذهنی قرار گرفته است. تغییرات پس‌آزمون فاکتورهای مورد مطالعه نسبت به پس‌آزمون را در شکل ۴ می‌توان مشاهده نمود.



شکل ۴.

A. افزایش تعداد خطاهای فرود در پس‌آزمون نسبت به پیش آزمون؛
B. افزایش میزان خطای بازسازی زاویه حس عمقی فعال در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون؛
C.افزایش زمان انجام تست عملکرد اندام تحتانی در پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون؛
D. کاهش میزان تعادل آزمودنی‌ها در پس‌آزمون نسبت به قبل از بروز خستگی ذهنی؛
علامت (*) حاکی از بروز تغییرات آماری معنادار می‌باشد.

نتیجه‌گیری

شیوع آسیب‌های اندام تحتانی در بین ورزشکاران آماتور یکی از مشکلاتی است که ورزشکاران با آن مواجه بوده و با وجود مطالعات متعدد انجام‌شده در زمینه یافتن ریسک‌فاکتورهای کلیدی، تاکنون علت وقوع آمار بالای این آسیب‌ها نامشخص مانده و جای خالی انجام پژوهشی در این زمینه که "آیا در فعالیت‌هایی که نیازمند تمرکز و درگیری‌های شناختی بالای ورزشکاران است، و احتمال وقوع خستگی ذهنی به دلیل فعالیت طولانی‌مدت شناختی وجود دارد، می‌تواند ریسک وقوع آسیب‌های اندام تحتانی بالا رود یا خیر؟" احساس می‌شود.

با وجود انجام تحقیقات گسترده در خصوص اثرگذاری خستگی عمومی و خستگی عضلات موضعی بر ایجاد زمینه و پتانسیل وقوع آسیب‌های اندام تحتانی، متأسفانه در حوزه مطالعاتی محققین، پژوهشی در حوزه اثرگذاری وقوع خستگی ذهنی بر افزایش ریسک وقوع آسیب‌های اندام تحتانی انجام نشده است. با توجه به وجود این شکاف تحقیقی، محققین در مطالعه حاضر بر آن شدند تا اثر خستگی ذهنی بر تغییرات تعادل، عملکرد اندام تحتانی، حس عمقی مفصل زانو و بیومکانیک فرود در مردان ورزشکار آماتور را به بوته آزمایش بگذارند.

نتایج این مطالعه نشان داد که بین خستگی ذهنی و تغییرات تعادل پویا و نیمه‌پویا در ورزشکاران آماتور رابطه منفی و معناداری وجود دارد؛ به این معنا که با افزایش سطح خستگی ذهنی، تعادل پویا و نیمه‌پویا تضعیف شده است. در واقع تعادل، یکی از اجزای اصلی اغلب فعالیت‌های روزمره و عامل مهمی برای عملکرد ورزشی ورزشکاران است. مارتین و همکاران عنوان نمودند که به دنبال خستگی ذهنی، به دلیل تجمع آدنوزین در مغز، مقاومت در برابر تلاش افزایش‌یافته، احساس و درک خستگی و فقدان انرژی حادث می‌شود.[۲۷] به نظر می‌رسد که این احساس واماندگی و درک خستگی، در عملکرد مخچه برای عملکرد بهینه در کنترل پاسچر نقش داشته باشد. فرضیه دیگر این است که احتمالاً بعد از وقوع خستگی ذهنی، اثر دستورات حرکتی ارسال‌شده به عضله کاهش یافته و از این طریق تنش یا نیروی عضلات درگیر در کنترل پاسچر کاهش یافته و تعادل فرد تحلیل یافته است. در این زمینه، تحقیقی که اثر خستگی ذهنی را بر تغییرات تعادل مورد بررسی قرار داده باشد، یافت نشد؛ با این حال، می‌توان به طور غیرمستقیم به یافته‌های مطالعات دیگری که اثر خستگی عضلانی را بر کنترل تعادل بررسی نموده‌اند، اشاره نمود. از جمله گریبل و همکاران که اثر خستگی ناشی از کار با دستگاه ایزوکنتیک در عضلات ناحیه هیپ و مچ پا را مطالعه کردند و گزارش نمودند که بین خستگی عضلانی و کنترل قامت رابطه معکوسی وجود دارد.[۲۸] بارنی و همکاران نیز در تحقیق خود که فوتبالیست‌ها را مورد مطالعه قرار داده بودند، گزارش کردند که 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.[۲] حسینی‌مهر و همکاران نیز در تحقیق خود که ورزشکاران دانشگاهی را مطالعه کرده بودند، بیان کردند که خستگی عضلانی می‌تواند کنترل قامت پویا را با مشکل مواجه کند.[۲۹] این یافته‌ها را با توجه به یافته رانجانا و همکاران می‌توان با یافته‌های این مطالعه همسو دانست، چرا که ارانجا و همکارانش اثر خستگی ذهنی بر توسعه خستگی جسمانی را بررسی و گزارش نمودند که خستگی ذهنی بر افزایش خستگی جسمانی اثرگذار است.[۲۹]

یافته‌های مطالعه حاضر همچنین حاکی از تغییرات معنادار عملکرد اندام تحتانی به دنبال خستگی ذهنی می‌باشد .این نتیجه را می‌توان با پرداختن به اثرگذاری خستگی ذهنی بر کاهش مقاومت در فعالیت‌های زماندار تفسیر نمود. برخی از مطالعات حاکی از کاهش مسافت دویدن در مطالعات آنالیز حرکت به دنبال فعالیت‌های طولانی‌مدت بوده است که این مسئله را به وقوع خستگی ذهنی و جسمی ربط داده‌اند. برخی دیگر از مطالعات از کاهش کمی و کیفی عملکرد تکنیکی فوتبالیست‌ها به دنبال خستگی ذهنی و جسمی حکایت نموده‌اند. علاوه بر موارد ذکرشده، کاستم و همکاران هم گزارش نمودند که عملکرد استقامتی (افزایش زمان رسیدن به خستگی، توان یا سرعت فعالیت) در نتیجه خستگی ذهنی کاهش داشته است.[۱۷] دیاگوکاتینگهو 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[۱۸] که می‌تواند نتیجه کاهش عملکرد اندام تحتانی به دنبال خستگی ذهنی در این مطالعه را تأیید نماید. علاوه بر این، نتایج پژوهش حاضر با نتایج تحقیقات ساموئل و همکاران همسو بود، به‌طوری‌که این محققین کاهش عملکرد جسمانی در افراد سالمی که با ۸۰ درصد حداکثر توان خروجی خود بر روی دوچرخه کارسنج فعالیت می‌کردند را در نتیجه اعمال برنامه خستگی ذهنی تأیید کرده بودند.[۱۵]

حس عمقی مفصل زانو هم به دنبال اعمال خستگی ذهنی کاهش معناداری داشت. این فاکتور که با خطای بازسازی زاویه ارزیابی گردید، متأثر از سیستم کنترل عصبی-عضلانی بود. در واقع گیرنده‌های مفصلی درک مناسبی از وضعیت مفصل فراهم آورده و به سیستم اعصاب مرکزی (CNS) ارسال می‌کند؛ احتمالاً خستگی ذهنی بر روی سرعت تبادل اطلاعات و سرعت پردازش اطلاعات اثر منفی گذاشته که درک فرد از وضعیت مفصل پس از دریافت خستگی ذهنی تخریب شده است. این مسئله را مطالعه بامیستر و همکاران تأیید می‌کند؛ آنها معتقد هستند که کنترل حسی-حرکتی تحت تأثیر خستگی القاشده قرار می‌گیرد، آنها عنوان نمودند که به دنبال خستگی در فعالیت‌های طولانی‌مدت، توان باند فرکانس تتا افزایش و باند آلفا ۱ و آلفا ۲ کاهش می‌یابد. این تغییرات در ارتباط با منابع توجه، پردازش اطلاعات سوماتوسنسوری و هوشیاری مورد بحث قرار گرفته است.[۳۰] جیر هم این مطلب را تأیید می‌کند، به‌طوری‌که در مطالعه خود اذعان نموده است

که خستگی می‌تواند بر حس وضعیت مفصل تأثیرگذار باشد.[۳۱]

از سوی دیگر، نتایج مطالعه حاضر نشان داد که خستگی ذهنی در تغییرات مکانیک فرود اثرات معناداری داشته است .در واقع دلیل احتمالی این مسئله را می‌توان به اثر خستگی ذهنی بر درک فشار و خستگی جسمی که با خستگی عضلانی هم مرتبط است، نسبت داد. گندمی و نجفی در تحقیقی اثرگذاری خستگی عضلات ناحیه مرکزی بر مکانیک فرود را بررسی و عنوان نمودند که خستگی عضلات ناحیه مرکزی می‌تواند مکانیک فرود ورزشکاران را تغییر دهد.[۱۹] در همین راستا، کورتز و همکاران در مطالعه‌ای اثر خستگی به دنبال یک فعالیت چابکی کوتاه‌مدت را بر مکانیک فرود ارزیابی نمودند و گزارش نمودند که یک پروتکل ایجادکننده خستگی می‌تواند مکانیک فرود را دستخوش تغییر نماید[۳۲] که همگی یافته‌های این مطالعه را تأیید می‌نمایند.

به‌طورکلی، می‌توان عنوان نمود که فعالیت‌های شناختی شدید، باعث کم شدن استقامت شده و توانایی انجام ورزش را کم می‌کند با اینکه حتی ممکن است از نظر فیزیولوژیکی هنوز بدن انرژی ذخیره داشته باشد، زیرا هنگامی که نورون‌های عصبی مغز خسته می‌شوند، پروسه‌های دیگر بدن نیز تحت تاثیر قرار گرفته، اختلال در فعال‌سازی گیرنده‌های مکانیکی رخ داده، دوره تأخیر واکنش عضله افزایش یافته و مدت زمان اصلاح و بازسازی مرکز تعادل را طولانی می‌سازد.[۳۲، ۳۳]

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته حرکات اصلاحی و آسیب‌شناسی ورزشی به راهنمایی آقای دکتر منوچهر حیدری و مشاوره خانم دکتر فرزانه گندمی می‌باشد.

منابع

1. Shumway CA, Woollacott MH. Motor control theory and practical applications. 2 edition. US: A Wolters Kluwer Company, 2001; 614.
2. Bruno M, Matheus JW, Generosi AR, Marco AV, Junior CP. Effect of muscle fatigue on posture control in soccer Players during the short-pass movement. Revista Brasiliera Cineantropometria and Desempenho Humano, 2011; 13(5): 348-53.
3. Gray, J.; J.E. Taunton; D.C. McKenzie; D.B. Clement; J.P. McKonkey; R.G. Davidson (1985). "A survey of injuries to the anterior cruciate ligament of knee in female basketball players". Int J Sports Med. 6:314- 316.
4. Goodwin-Gerberich, S.G.; S. Luhmann; C. Finkle; G.D. Periest; B.J. Beard (1982). "Analysis of sever injuries associated with volleyball activities". Phys Sports Med. 15(8):75-79. 10.
5. Louw, Q., Grimmer, K.,Vaughan, K. (2003). Knee injury patterns among young South African basketball players. South African Journal of Sports Medicine.
6. Jones, D., Louw, Q., Grimmer, K. (2000). Recreational and sporting injury to the adolescent knee and ankle: Prevalence and causes. Australian Journal of Physiotherapy. 46:179-88.
7. Giansanti D, Dozza M, Chiari L, Maccioni G, Cappello A. Energetic assessment of trunk postural modifications induced by a wearable audio-biofeedback system. Medical Engineering & Physics, 2009; 31: 48–54.
8. Guskiewicz K, Perrin D. Research and clinical applications of assessing balance. Sport Rehabilitation, 1996; 5:45-63.
9. Rozzi, S.l., Lephart, S.M., Fu, F.H. (1999). Effects of muscular fatigue on knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female athletes. Journal of Athletic Training. 34:106–14.
10. Wojtys, E.M., Wylie, B.B., Huston, l.J. (1996). The effect of muscle fatigue on neuromuscular function and anterior tibial translation in healthy knees. The American Journal of Sport Medicine. 24(5): 615-21.
11. Rahnama, N., Lees, A., Reilly, T. (2006). EMG of selected lower limb muscle fatigued by exercise at the intensity of soccer match- play. Journal of Electromyography and Kinesiology . 16: 257-63.
12. Jakson, N.D., Gutierres, G.M., Kaminski, T. (2007). The effect of fatigue and habituation on the stretch reflex of the ankle musculature. Journal of Electromyography and Kinesiology. 19: 75–84.
13. Bolino, M. C., Hsiung, H. H., Harvey, J., & LePine, J. A. (2015). "Well, I'm tired of tryin'!"Organizational citizenship behavior and citizenship fatigue. Journal of Applied Psychology, 100(1), 56.
14. Eduardo et al mental fatigue impairs physical performance in young swimmers.
15. Marcora SM, Staiano W, Manning V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. Journal of applied physiology. 2009;106(3):857-64.
16. Mehta RK, Parasuraman R. Effects of mental fatigue on the development of physical fatigue: a neuroergonomic approach. Human factors. 2014;56(4):645-56.
17. Van Cutsem J, Marcora S, De Pauw K, Bailey S, Meeusen R, Roelands B. The effects of mental fatigue on physical performance: a systematic review. Sports medicine. 2017;47(8):1569-88.
18. Coutinho D, Gonçalves B, Wong DP, Travassos B, Coutts AJ, Sampaio J. Exploring the effects of mental and muscular fatigue in soccer players'

performance. Human movement science. 2018;58:287-96.
19. Gandomi F, Najafi M. Effect of core muscles fatigue on landing mechanic and lower extremity function. J Rehab Med. 2019; 7(4): 30-40.
20. Smith M, Coutts A, Merlini M, Deprez D, Lenoir M, Marcora S. Mental Fatigue Impairs Soccer-Specific Physical and Technical Performance. Medicine and science in sports and exercise. 2016;48(2):267-76.
21. Coughlan GF, Fullam K, Delahunt E, Gissane C, Caulfield BM. A comparison between performance on selected directions of the star excursion balance test and the Y balance test. Journal of athletic training. 2012;47(4):366-71.
22. 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. European journal of applied physiology. 2018;118(12):2699-706.
23. Myer GD, Stroube BW, DiCesare CA, Brent JL, Ford KR, Heidt Jr RS, et al. Augmented feedback supports skill transfer and reduces high-risk injury landing mechanics: a double-blind, randomized controlled laboratory study. The American journal of sports medicine. 2013;41(3):669-77.
24. Brumitt J, Wilson V, Ellis N, Petersen J, Zita CJ, Reyes J. Preseason lower extremity functional test scores are not associated with lower quadrant injury - a - vaiidation study with normative data on 395 division III athletes. International journal of sports physical therapy. 2018 Jun;13(3):410.
25. Pincivero DM, Bachmeier BR, Coelho AJ. The effects of joint angle and reliability on knee proprioception. Medicine and science in sports and exercise. 2001 Oct 1;33(10):1708-12.
26. Martin K, Meeusen R, Kevin G, Thompson, Keegan R, Rattray B. Mental Fatigue Impairs Endurance Performance: A Physiological Explanation. Sports Medicine. 2018 Sep 9; 48(11): 2041-2051
27. Gribble PA, Hertel J. Effect of lower extremity muscle fatigue on postural control. Archives Physical Medicine Rehabilitation, 2004; 85: 589–92. 3.
28. Hosseinimehr SH, Daneshmandi H, Norasteh AA. The effects of activity related fatigue on static and dynamic postural control in college athletes. Journal of Brazilian Biomotoricity, 2010; 4 (2): 148-55.
29. Baumeister J, Reinecke K, Schubert M, Schade J, Weiss M. Effects of induced fatigue on brain activity during sensorimotor control. European journal of applied physiology. 2012 Jul 1;112(7):2475-82.
30. Gear WS. Effect of different levels of localized muscle fatigue on knee position sense. J Sports Sci Med. 2011;10(4):725–730.
31. Cortes N, Quammen D, Lucci S, Greska E, Onate J. A functional agility short-term fatigue protocol changes lower extremity mechanics. Journal of sports sciences. 2012 Apr 1;30(8):797-805.
32. Earl JE, Hertel J. Lower-Extremity Muscle Activation during the Star Excursion Balance Tests. Journal of Sport Rehabilitation 2001; 10(2): 93-104.
33. Arendt EA, Agel J, Dick R. Anterior cruciate ligament injury patterns among collegiate men and women. J Athl Train 1999; (2) 3486-92.