Journal of
Sport Biomechanics

December 2019. Vol 5. Issue 3

Research Paper

The Effect of Fatigue on the Postural Balance of Young Women Using Electromyography of Lower Extremity Muscles

Afsaneh Ghodsi[1], ***Sadegh Naserkhaki**[1], **Ali Tanbakoosaz**[2]

1. Department of Medical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Department of Medical Engineering, Abhar Branch, Islamic Azad University, Abhar, Iran.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Ghodsi A, Naserkhaki S, Tanbakoosaz A. [The Effect of Fatigue on the Postural Balance of Young Women Using Electromyography of Lower Extremity Muscles (Persian)]. Journal of Sport Biomechanics. 2019; 5(3):146-155. https://doi.org/10.32598/biomechanics.5.3.2

https://doi.org/10.32598/biomechanics.5.3.2

CC BY NC

Article Info:
Received: 14 Apr 2019
Accepted: 27 Sep 2019
Available Online: 01 Dec 2019

Key words:
Electromyography, lower extremity, EMG, balance, fatigue

ABSTRACT

Objective This study aimed to examine the effect of fatigue on postural balance of young women using Electromyography (EMG) of lower extremity muscles and measuring the foot plantar Center of Pressure (COP) displacement.

Methods Participants were 10 young women (mean age, 26.4±3.01 years; mean weight, 65.5±5.75 kg; mean height, 165±2.61; BMI, 24.08±2.08 kg/m^2) with no history of lower limb injury or balance problems. To evaluate their static balance, the stork test was used and the foot plantar COP was measured by force plates. To measure fatigue, three parameters of muscle power (P), median frequency of muscle (F) and Root Mean Square (RMS) of raw EMG signals were calculated. Data were analyze din SPSS V. 16 and MATLAB software using Mann-Whitney U test.

Results fatigue had a significant effect on P and RMS parameters (P<0.05), but did not significantly affect the F. It increased P and decreased RMS. The highest change in the P parameter was seen in biceps femoris muscle; the highest change in the F parameter was related to semitendinosus muscle; and the highest change in the RMS parameter was related to gastrocnemius lateralis and gastrocnemius medialis muscles.

Conclusion There is a negative relationship between fatigue of the lower extremity muscles and balance impairment; by increasing the level of fatigue in the muscles, balance is more impaired.

Extended Abstract

1. Introduction

The ability to maintain body posture is essential not only during daily activities such as walking, but also for the proper performance of complex sports skills. Its measurement in laboratory and clinical settings is used as a tool to assess the stability and neuromuscular control in healthy and injured individuals [1]. Maintaining balance is the result of a dynamic combination of internal and external forces and environmental factors [2, 3]. Balance or postural control body is the consciousness of the body on the status of its different parts in relation to each other and in relation to space, with the help of information received from the visual and vestibular systems, proprioception of the joints and skin, basal ganglia and cerebellum [4]. It has three types of static, semi-dynamic and dynamic [5]. Static balance refers to the body's ability to maintain stability in static mode or in a standing position [6, 7].

* *Corresponding Author:*
Sadegh Naserkhaki, PhD.
Address: Department of Medical Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
Tel: +98 (937) 6636103
E-mail: snkhaki@gmail.com

Studies have shown that the balance impairment, injury and reduced performance occurs at the time of fatigue [8, 9]. Fatigue is one of the most important factors in reducing muscle strength and stability. Several studies have shown that fatigue has negative impact on postural control [10-14]. Fatigue is a common phenomenon in sports and daily activities [2, 15]. It can affect the stability of the body by affecting environmental factors and central system mechanisms [16]. Fatigue refers to a condition that the efficiency of the body to perform a particular activity is reduced and the body is unable to continue working [17]. The muscle fatigue is the inability of muscle to respond to the stimuli it receives. As a result, the muscle is unable to respond to signals transmitted from the nervous system [18].

2. Methods

Participants were 10 young women (mean age, 26.4±3.01 years; mean weight, 65.5±5.75 kg; mean height, 165±2.61; BMI, 24.08±2.08 kg/m^2) with no history of lower limb injury. To evaluate static balance, the stork test was used. The postural control was determined through calculating foot plantar Center of Pressure (COP) on AMTI force plates (GCO model). Force plate results were calculated at 1000 Hz sampling rate by Nexus software. Then, the mean displacement in the medial/lateral and anterior/posterior directions was calculated to obtain the impaired balance point. To assess fatigue, electrical activity was recorded with a biometric Electromyography (EMG) device in seven muscles active in the lower extremities.

At first, the subject lifted her left leg from the ground according to the stork test and raised it to her knees and stood with one leg on the right foot on which the electrodes were installed. Synchronization between force plate data and EMG results were done by a synchronizer. The test continued until the person was able to stand on one leg. The test was terminated when the subject expressed her exhaustion or was unable to maintain her balance and tended to put the other foot on the ground. All these steps and the installation of the electrodes were done again on the left foot of the subjects. The results of the EMG with a sampling frequency of 1000 Hz were transferred to the Biometrix device and then analyzed in MATLAB software. The raw signal was normalized to Maximum Voluntary Contraction (MVC).

The amplitude of the EMG signal was represented by calculating the overall Root Mean Square (RMS). The raw signal from the EMG device was divided into two groups of before fatigue and after fatigue, based on the stages of muscle fatigue. Then, the last 30 seconds of each signal were used due to the importance and imbalance of the subject, and analyzed under three 10-second time intervals. At each stage, three parameters of muscle power (P), median frequency (F) and RMS were obtained from raw EMG signals and were considered as fatigue indicators for each muscle. Finally, the normality of the data was assessed in SPSS v.16 using Shapiro-Wilk and Kolmogorov-Smirnov tests. The significance level of the parameters was then tested by Mann-Whitney U test.

3. Results

It was observed that the mean COP displacement increased after fatigue and imbalance. There was a significant difference between the measurements before and after fatigue in the P and RMS parameters ($P<0.05$), but not in F parameter. Hence, it can be said that fatigue has a significant effect on muscle strength and RMS, but does significantly affect the median EMG frequency of muscle. Moreover, fatigue in-

Table 1. Changes in P, F, and RMS of selected muscles before and after inducing fatigue

Muscles	Before			After			Mean		
	P	F	RMS-	P	F	RMS-	P	F	RMS-
RF	0.9116	58.5115	0.3322	1.9703	59.2039	0.2689	2.161365	1.011834	0.809452
LV	0.5042	56.1342	0.3452	1.559	61.0166	0.2348	3.092027	1.086977	0.680185
MV	0.8674	50.9734	0.3483	2.9081	56.683	0.3035	3.352663	1.112011	0.871375
BF	0.6382	67.2779	0.3551	2.8103	79.6907	0.2822	4.403479	1.1845	0.794706
ST	0.8598	66.2933	0.326	2.3273	86.2823	0.276	2.706792	1.301524	0.846626
GM	14.5998	85.2386	0.3338	20.3797	81.9442	0.3279	1.395889	0.961351	0.982325
GL	7.5888	82.1065	0.3417	12.0463	79.3946	0.338	1.587379	0.966971	0.989172

creases P and decreases RMS. The highest change in the P parameter was seen in Biceps Femoris (BF) muscle; the highest change in the F parameter was related to Semitendinosus (ST) muscle; and the highest change in the RMS parameter was related to Gastrocnemius Lateralis (GL) and Gastrocnemius Medialis (GM) muscles (Table 1).

4. Discussion

The results showed that there was a negative relationship between fatigue of the lower extremity muscles and balance impairment. This means that by increasing the level of fatigue in the muscles, balance impairment increases. Studies that reported the results opposite of the results of this study were very rare. Almost all of them confirmed the negative effect of muscle fatigue on balance control; the only difference was related to the severity of fatigue in different muscles or the different direction of balance control. This may be due to interfering factors such as the amount of rest the day before the test, the nature of the activities that subjects experience during the day, whether the subjects are athletes or not, the subjects' type of sports activities, activity and readiness level of the subjects, or the difference in the protocol of fatigue induction. Since fatigue causes balance impairment and increases the risk of injury, this issue requires considerable attention.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered in this article.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

All authors contributed in preparing this article.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

بررسی تأثیر خستگی بر تعادل با استفاده از الکترومایوگرافی عضلات در اندام تحتانی جوانان

افسانه قدسی[۱]، *صادق ناصرخاکی[۱]، علی تنباکوساز[۲]

۱. گروه مهندسی پزشکی، واحد علوم و تحقیقات.دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. گروه مهندسی پزشکی، واحد ابهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ابهر، ایران.

اطلاعات مقاله:
تاریخ دریافت: ۲۵ فروردین ۱۳۹۸
تاریخ پذیرش: ۵ مهر ۱۳۹۸
تاریخ انتشار: ۱۰ آذر ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:
الکترومایوگرافی، اندام تحتانی، EMG، تعادل، خستگی

چکیده

هدف هدف از این مطالعه بررسی تأثیر خستگی بر تعادل در اندام تحتانی افراد جوان با استفاده از الکترومایوگرافی و انحرافات مرکز فشار پا (COP) بود.

روش‌ها تعداد ۱۰ نفر زن جوان با میانگین و انحراف استاندارد سن ۳/۰۱±۲۶/۴ سال، وزن ۵/۷۵±۶۵/۵ کیلوگرم، قد ۲/۶۱±۱۶۵ سانتی‌متر، شاخص توده بدنی ۲/۰۸± ۲۴/۰۸ و بدون هیچ‌گونه سابقه آسیب در اندام تحتانی و مشکلات تعادلی آزمایش شدند. برای سنجش تعادل، از آزمون تعادل لک‌لک و ثبت انحرافات مرکز فشار پا (COP) توسط دستگاه فورس پلیت استفاده شد. برای ارزیابی خستگی، سه پارامتر توان عضله (P) و فرکانس میانه (F) و ریشه میانگین مجذور سیگنال خام (RMS) توسط الکترومایوگرافی قبل و بعد از مرحله خستگی بررسی شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از برنامه‌های SPSS-16 و MATLAB و آزمون آماری من ویتنی استفاده شد.

یافته‌ها با توجه به سطح معناداری (P<۰/۰۵) مشخص شد که خستگی بر توان و RMS عضله اثر معناداری می‌گذارد، اما بر میانگین فرکانس عضله اثر معناداری نمی‌گذارد و نیز خستگی باعث افزایش توان عضله و کاهش RMS عضله می‌شود؛ همچنین بیشترین تغییر توان عضله در عضله دو سر ران (BF)، بیشترین تغییر فرکانس میانه در عضله نیم وتری (ST) و بیشترین تغییر RMS در عضلات دوقلوی داخلی (GM) و دوقلوی خارجی (GL) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری نتایج نشان دادند که بین خستگی عضلات اندام تحتانی و ایجاد اختلال در تعادل فرد رابطه منفی وجود دارد؛ به این معنا که با افزایش سطح خستگی در عضلات، تعادل بیشتر تضعیف می‌شود.

مقدمه

توانایی حفظ وضعیت قامت بدن نه‌تنها در حین فعالیت‌های روزمره انسان نظیر راه رفتن بلکه در انجام صحیح مهارت‌های پیچیده ورزشی نیز بسیار ضروری است و اندازه‌گیری آن در محیط‌های آزمایشگاهی و کلینیکی به عنوان ابزاری برای ارزیابی پایداری و کنترل عصبی ـ عضلانی در افراد سالم و آسیب‌دیده استفاده می‌شود [۱]. حفظ این تعادل حاصل تلفیق پویای نیروهای داخلی و خارجی و عوامل محیطی است [۲، ۳].

تعادل یا کنترل پاسچر بدن عبارت است از هوشیاری بدن از وضعیت بخش‌های مختلف خود در ارتباط با هم و در ارتباط با فضا که با کمک اطلاعات دریافتی از سیستم بینایی، دستگاه دهلیزی گوش، حس عمقی مفاصل و پوست، عقده‌های قاعده‌ای و مخچه به وجود می‌آید [۴] و به سه نوع ایستا، نیمه‌پویا و پویا تقسیم می‌شود [۵]. تعادل ایستا، توانایی حفظ پایداری بدن در حالت سکون یا در وضعیت ایستاده است [۶، ۷] و در این تحقیق منظور از تعادل ایستا حفظ وضعیت پایداری و تعادل بدن در وضعیت ایستایی است.

مطالعات انجام‌شده تاکنون نشان می‌دهد که اختلال تعادل، آسیب‌ها و افت عملکرد در زمان وقوع خستگی فرد اتفاق می‌افتد [۸، ۹]؛ همچنین تحقیقات متعددی نشان داده که خستگی بر کنترل پاسچرال تأثیر منفی می‌گذارد [۱۰-۱۴]. آنچه در این تحقیق بررسی می‌شود، فاکتور خستگی است. خستگی یکی از عوامل مهم در کاهش قدرت عضله و اختلال در پایداری و تعادل است. خستگی پدیده‌ای معمول در فعالیت‌های ورزشی و همچنین تجربه‌ای رایج در فعالیت‌های روزانه است [۲، ۱۵]. خستگی می‌تواند روی ثبات بدن از طریق تأثیر بر فاکتورهای محیطی و مکانیسم‌های مرکزی اثرگذار باشد [۱۶] و به حالتی اطلاق می‌شود که کارایی بدن برای انجام فعالیتی خاص کاهش پیدا می‌کند و بدن برای ادامه کاری مخصوص

*نویسنده مسئول:
دکتر صادق ناصرخاکی
نشانی: تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی پزشکی.
تلفن: ۶۶۳۶۱۰۳ (۹۳۷) ۹۸+
پست الکترونیکی: snkhaki@gmail.com

ناتوان باشد [۱۷]؛ همچنین خستگی عضلانی عبارت است از ایجاد اختلال یا ناتوانی در جواب به محرک‌هایی که دریافت می‌کند؛ درنتیجه عضله قادر نیست به تحریکاتی که از سیستم عصبی منتقل می‌شود، پاسخ دهد [۱۸].

در این تحقیق با ایستادن فرد روی یک پا به‌مرور خستگی ایجاد می‌شود و اعلام خستگی از سوی خود فرد یا توقف او در اثر خستگی مفرط، زمان رسیدن به خستگی محسوب می‌شود. خستگی عضلانی باعث کاهش کنترل عصبی ـ عضلانی، افزایش دامنه نوسانات پاسچر، اختلال حس عمقی و کاهش توانایی تولید پاسخ عضلانی مناسب برای حفظ تعادل و ثبات پاسچر می‌شود که ممکن است منجر به بی‌ثباتی و کاهش تعادل شود [۲، ۱۴، ۱۹، ۲۰]. چنین به نظر می‌رسد که افراد خسته در معرض خطر آسیب‌های مفصلی ـ عضلانی به علت کاهش تعادل قرار می‌گیرند، درنتیجه عملکرد ضعیفی در حین فعالیت‌های خود خواهند داشت [۲]. لذا اگر با انجام پژوهش حاضر بتوان خستگی و به تبع آن کاهش تعادل را کنترل کرد، کمک بسیاری به ورزشکاران و همچنین افرادی خواهد شد که مجبور به ایستادن‌های طولانی‌مدت در حین کار هستند.

وضعیت سیستم کنترل پاسچر به طور گسترده توسط فورس پلیت[1] و حرکت مرکز فشار صفحه نیرو[2] یا همان COP بدن روی زمین ارزیابی می‌شود [۲۱، ۲۲]. برای ارائه اطلاعات مطلوب در ارتباط با ظرفیت‌ها و توانایی‌های تعادلی هنگام ایستادن، تست‌های تعادلی مختلفی تاکنون توسعه یافته‌اند که از نظر اجرا آسان‌تر و در دسترس‌تر هستند، اما از دقت لازم برخوردار نیستند. تکنولوژی سیستم‌های آزمایشگاهی، اطلاعات جزئی‌تری در ارتباط با تعادل پاسچر در اختیار قرار می‌دهد [۲۳]. با توجه به کمبود تحقیقاتی که با استفاده از ارزیابی‌های آزمایشگاهی و کلینیکی دقیق برای بررسی هم‌زمان تعادل و خستگی فرد و همچنین بررسی در تمامی عضلات اندام تحتانی افراد انجام شده است، در این پژوهش برای ارزیابی هم‌زمان خستگی و تعادل از روش‌های دقیق و آزمایشگاهی استفاده شد.

روش‌شناسی

۱۰ نفر زن جوان با سن: ۴/۰۱±۲۶/۳ سال، جرم: ۵/۷۵±۶۵/۵ کیلوگرم، قد: ۲/۶۱±۱۶۵سانتی‌متر، شاخص توده بدنی: ۲/۰۸±۲۴/۰۸ و بدون سابقه آسیب در اندام تحتانی، سردرد یا سرگیجه، بیماری‌های قلبی و عروقی، بیماری تنفسی، بیماری عصبی، پیچ خوردگی‌های مکرر پا و مشکلات تعادلی ازجمله بینایی و شنوایی به طور تصادفی انتخاب شدند. آزمودنی‌ها پس از اطلاع از روند پژوهش، داوطلبانه و با کسب موافقت‌نامه آگاهانه وارد مطالعه شدند.

به منظور ارزیابی تعادل ایستا از آزمون تست لک‌لک استفاده شد. این آزمون ابزاری رایج برای سنجش تعادل ایستاست و جانسون و نلسون (۱۹۷۹) آن را طراحی کرده‌اند؛ به این صورت که آزمودنی در حالی که دست‌ها را روی کمر قرار می‌دهد، روی یک پا می‌ایستد و کف پای دیگر (پای آزاد) به قسمت داخلی زانوی پای اتکا متصل می‌شود. در این حالت، آزمودنی روی پنجه پای تکیه‌گاه می‌ایستد و آزمونگر مدت زمان تحمل او را در این وضعیت ثبت می‌کند. شرایطی که موجب ختم آزمون می‌شود، عبارت‌اند از: تماس پاشنه پای تکیه‌گاه با زمین، برداشتن دست از کمر و جدا شدن پای آزاد از زانوی پای اتکا [۲۴].

برای بررسی تعادل ایستای افراد از محاسبه مرکز فشار پا (COP) توسط دستگاه فورس پلیت مارک AMTI آمریکایی مدل GCO استفاده شد. نتایج فورس پلیت با نرخ نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز توسط نرم‌افزار نکسوز محاسبه شد، سپس میانگین جابه‌جایی در محورهای داخلی-خارجی و قدامی-خلفی برای به دست آوردن نقطه عدم تعادل محاسبه شد.

برای ارزیابی خستگی، هم‌زمان با انجام تست تعادل لک‌لک از ثبت فعالیت الکتریکی با دستگاه الکترومایوگرافی بایومتریکس هشت کاناله استفاده شد. ابتدا محل نصب الکترود تعیین و سپس سطح پوست با استفاده از الکل و تراشیدن موهای محل تمیز شد؛ سپس الکترودهای سطحی دوقطبی ژل (نقره- کلراید نقره) اندودشده با فاصله ۲ سانتی‌متر مرکز به مرکز موازی با جهت تارهای عضلانی روی هفت عضله فعال در اندام تحتانی به صورت زیر قرار گرفت:

RF: رکتوس فموریس (عضله راست رانی)، LV: لترال وستوس (عضله پهن خارجی)، MV: مدیال وستوس (عضله پهن داخلی)، BF: بایسپس فموریس (عضله دو سر ران)، ST: سمی تندنیوس (عضله نیم وتری)، GL: گسترونمیوس لترالیس (عضله دوقلوی خارجی)، GM: گسترونمیوس مدیالیس (عضله دوقلوی داخلی).

الکترود مرجع خنثی نیز به استخوان مچ دست نصب شد. ابتدا فرد پای چپ خود را طبق آزمون لک‌لک از زمین جدا کرد و تا زانو بالا آورد و به صورت یک پا روی پای راست که الکترودها روی آن نصب شده بود، ایستاد. با استفاده از دستگاه سنکرون‌ساز (یکسوکننده زمان) نیز هم‌زمانی بین دستگاه فورس پلیت و الکترومایوگراف انجام شد.

در این تحقیق تا زمانی که فرد توان تحمل ایستادن روی یک پای خود را داشت، آزمایش ادامه پیدا می‌کرد. با اعلام خستگی مفرط از سوی فرد و عدم تعادل فرد و تمایل به گذاشتن پای دیگر روی زمین، پایان آزمایش اعلام می‌شد؛ سپس تمام این مراحل و نصب الکترودها مجدد روی پای چپ فرد اجرا می‌شد.

نتایج الکترومایوگراف با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز پس از ثبت به نرم‌افزار بایومتریکس دستگاه منتقل و سپس درنرم‌افزار متلب تجزیه و تحلیل انجام شد. سیگنال خام بر اساس MVC (حداکثر انقباض ارادی) نرمال‌سازی شد. دامنه سیگنال الکترومایوگرافی به

1. Force Plate
2. Center of Pressure

صورت میانگین ریشه مربع میانگین[3]: کل سیگنال محاسبه شد. سیگنال خام حاصل از دستگاه الکترومایوگرافی بر اساس مراحل خستگی عضلات به دو مرحله قبل از خستگی و بعد از خستگی تقسیم شد؛ سپس ۳۰ ثانیه آخر هر نمونه به دلیل اهمیت و شروع عدم تعادل فرد جدا شد و به صورت سه بازه زمانی ۱۰ ثانیه‌ای تجزیه و تحلیل شد. در هر مرحله، سه پارامتر توان عضله (P) ، فرکانس میانه (F) و RMS از سیگنال‌های خام EMG به دست آمد و به عنوان شاخص‌های خستگی در هر عضله در نظر گرفته شد.

درنهایت، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از برنامه SPSS-16 و آزمون شاپیرو–ویلک و کلموگروف–اسمیرینوف بررسی شد؛ سپس مقدار sig (سطح معناداری) پارامترها با آزمون من ویتنی بررسی شد.

3. Root Mean Square (RMS)

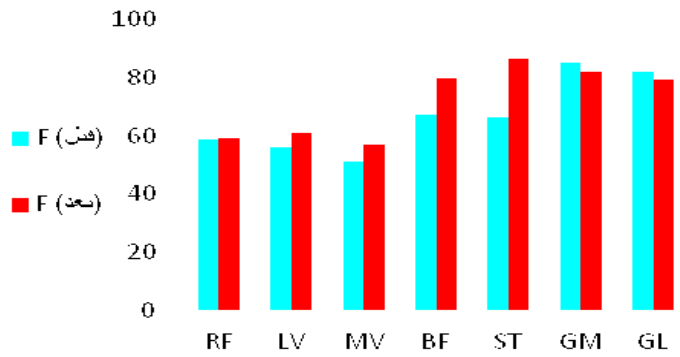
نتایج

همان‌گونه که در جدول شماره ۱ مشاهده می‌شود میانگین جابه‌جایی مرکز فشار پس از خستگی و عدم تعادل، افزایش یافته است. در جدول‌های شماره ۲ و ۳ با توجه به اینکه مقدار sig (سطح معناداری) در پارامترهای P و RMS کمتر از ۰/۰۵ است، بین اندازه‌گیری‌های قبل و بعد از خستگی در پارامترهای P و RMS تفاوت معناداری وجود دارد؛ اما در پارامتر F این تفاوت معنادار نیست. درواقع مشخص شد که خستگی بر توان عضله و RMS اثر معناداری می‌گذارد، اما بر میانگین فرکانس عضله اثر معناداری نمی‌گذارد و همچنین خستگی باعث افزایش P و کاهش RMS می‌شود. همچنین طبق جدول شماره ۴ مشخص شد که بیشترین تغییر در پارامتر توان عضله در عضله دو سر ران (BF)، بیشترین

جدول ۱. میانگین و انحراف معیار COP قبل و بعد از خستگی

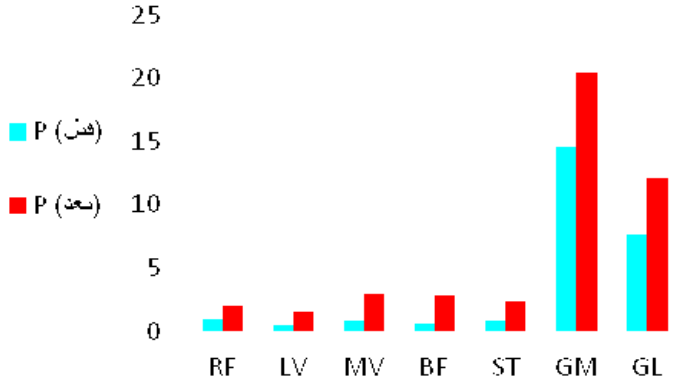
مرحله	جهت	میانگین ± انحراف معیار
قبل از خستگی	قدامی ـ خلفی	۴۹/۹۵۴±۷/۵۵۸
	داخلی ـ خارجی	۲۷۸/۹۷۵±۳۳/۵۱۵
بعد از خستگی	قدامی ـ خلفی	۶۶/۵۸۳±۶/۵۲۹
	داخلی ـ خارجی	۳۵۴/۶۸۱±۳۵/۶۴۴

مجله بیومکانیک ورزشی



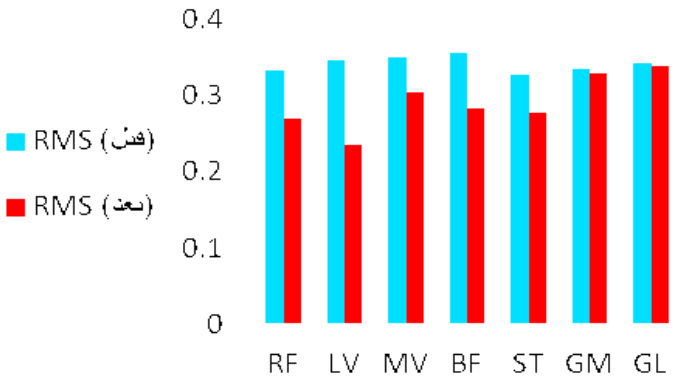
مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۱. میانگین مقادیر F عضلات قبل و بعد از خستگی



مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۲. میانگین مقادیر P عضلات قبل و بعد از خستگی



تصویر ۳. میانگین مقادیر RMS عضلات قبل و بعد از خستگی

مجله بیومکانیک ورزشی

جدول ۲. میانگین و انحراف معیار F ، P و RMS قبل از خستگی

عضلات		P	F	RMS
RF	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۱/۹۷۰۳	۵۹/۲۰۳۹	۰/۲۶۸۹
	انحراف استاندارد	۳/۰۸۲۹۷	۲۲/۰۹۸۱۹	۰/۱۷۹۵۰
LV	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۱/۵۵۹۰	۶۱/۰۱۶۶	۰/۲۳۴۸
	انحراف استاندارد	۱/۹۲۳۷۲	۲۰/۶۶۱۲۴	۰/۱۳۰۷۳
MV	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۲/۹۰۸۱	۵۶/۶۸۳۰	۰/۳۰۳۵
	انحراف استاندارد	۵/۳۹۵۳۰	۱۰/۲۵۸۸۷	۰/۱۷۷۸۷
BF	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۲/۸۱۰۳	۷۹/۶۹۰۷	۰/۲۸۲۲
	انحراف استاندارد	۳/۹۸۷۰۳	۲۵/۵۵۷۳۱	۰/۱۴۲۷۱
ST	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۲/۳۲۷۳	۸۶/۲۸۲۳	۰/۲۷۶۰
	انحراف استاندارد	۴/۲۸۷۹۲	۷۸/۶۹۴۴۱	۰/۱۲۹۱۳
GM	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۲۰/۳۷۹۷	۸۱/۹۴۴۲	۰/۳۳۷۹
	انحراف استاندارد	۲۴/۵۷۷۰۴	۲۸/۱۳۹۸۱	۰/۱۴۴۱۲
GL	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۱۲/۰۴۶۳	۷۹/۳۹۴۶	۰/۳۳۸۰
	انحراف استاندارد	۱۷/۶۳۱۷۸	۲۲/۴۰۷۵۰	۰/۲۸۷۰۲
مجموع	تعداد نمونه	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰
	میانگین	۶/۲۸۵۹	۷۲/۰۳۰۷	۰/۲۹۰۲
	انحراف استاندارد	۱۳/۴۳۱۸۳	۳۷/۲۳۹۳۵	۰/۱۷۷۰۰

مجله بیومکانیک ورزشی

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار F، P و RMS بعد از خستگی

	عضلات	P	F	RMS
RF	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۰/۹۱۱۶	۵۸/۵۱۱۵	۰/۳۳۲۲
	انحراف استاندارد	۱/۶۱۶۷۵	۱۵/۹۹۷۴۷	۰/۱۵۰۶۹
LV	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۰/۵۰۴۲	۵۶/۱۳۴۲	۰/۳۴۵۲
	انحراف استاندارد	۰/۴۶۶۵۶	۱۴/۳۵۴۳۴	۰/۱۶۸۶۳
MV	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۰/۸۶۷۴	۵۰/۹۷۳۴	۰/۳۴۸۳
	انحراف استاندارد	۱/۰۴۹۹۴	۱۱/۸۴۴۹۲	۰/۱۸۰۱۹
BF	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۰/۶۳۸۲	۶۷/۲۷۷۹	۰/۳۵۵۱
	انحراف استاندارد	۰/۶۳۰۷۱	۲۲/۲۳۱۰۶	۰/۱۱۷۵۷
ST	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۰/۸۵۹۸	۶۶/۲۹۳۳	۰/۳۲۶۰
	انحراف استاندارد	۰/۷۷۹۷۸	۲۱/۰۰۳۹۳	۰/۱۴۸۳۰
GM	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۱۴/۵۹۹۸	۸۵/۲۳۸۶	۰/۳۳۳۸
	انحراف استاندارد	۱۱/۴۱۰۵۳	۱۳/۷۸۲۱۹	۰/۰۹۲۱۸
GL	تعداد نمونه	۲۰	۲۰	۲۰
	میانگین	۷/۵۸۸۸	۸۲/۱۰۶۵	۰/۳۴۱۷
	انحراف استاندارد	۷/۹۴۳۹۶	۲۸/۱۹۸۲۴	۰/۲۳۴۳۷
مجموع	تعداد نمونه	۱۴۰	۱۴۰	۱۴۰
	میانگین	۳/۷۱۰۰	۶۶/۶۴۷۹	۰/۳۴۰۳
	انحراف استاندارد	۷/۲۵۴۰۲	۲۲/۱۳۱۵۳	۰/۱۵۸۳۸

مجله بیومکانیک ورزشی

جدول ۴. میزان تغییرات F، P و RMS عضلات قبل و بعد از خستگی

عضلات	P (قبل)	F (قبل)	RMS (قبل)	P (بعد)	F (بعد)	RMS (بعد)	P (میانه)	F (میانه)	RMS (میانه)
RF	۰/۹۱۱۶	۵۸/۵۱۱۵	۰/۳۳۲۲	۱/۹۷۰۳	۵۹/۲۰۳۹	۰/۲۶۸۹	۲/۱۶۱۳۶۵	۱/۰۱۱۸۳۴	۰/۸۰۹۴۵۲
LV	۰/۵۰۴۲	۵۶/۱۳۴۲	۰/۳۴۵۲	۱/۵۵۹	۶۱/۰۱۶۶	۰/۲۳۴۸	۳/۰۹۲۰۲۷	۱/۰۸۶۹۷۷	۰/۶۸۰۱۸۵
MV	۰/۸۶۷۴	۵۰/۹۷۳۴	۰/۳۴۸۳	۲/۹۰۸۱	۵۶/۶۸۳	۰/۳۰۳۵	۳/۳۵۲۶۶۳	۱/۱۱۲۰۱۱	۰/۸۷۱۳۷۵
BF	۰/۶۳۸۲	۶۷/۲۷۷۹	۰/۳۵۵۱	۲/۸۱۰۳	۷۹/۶۹۰۷	۰/۲۸۲۲	۴/۴۰۳۴۷۹	۱/۱۸۴۵	۰/۷۹۴۷۰۶
ST	۰/۸۵۹۸	۶۶/۲۹۳۳	۰/۳۲۶	۲/۳۲۷۳	۸۶/۲۸۲۳	۰/۲۷۶	۲/۷۰۶۷۹۲	۱/۳۰۱۵۲۴	۰/۸۴۶۶۲۶
GM	۱۴/۵۹۹۸	۸۵/۲۳۸۶	۰/۳۳۳۸	۲۰/۳۷۹۷	۸۱/۹۴۴۲	۰/۳۲۷۹	۱/۳۹۵۸۸۹	۰/۹۶۱۳۵۱	۰/۹۸۲۳۲۵
GL	۷/۵۸۸۸	۸۲/۱۰۶۵	۰/۳۴۱۷	۱۲/۰۴۶۳	۷۹/۳۹۴۶	۰/۳۳۸	۱/۵۸۷۳۷۹	۰/۹۶۶۹۷۱	۰/۹۸۹۱۷۲

مجله بیومکانیک ورزشی

تغییر در پارامتر فرکانس میانه در عضله نیم وتری (ST) و بیشترین تغییر در پارامتر RMS در عضله دوقلوی درونی (GM) و دوقلوی بیرونی (GL) دیده می‌شود.

بحث

هدف از انجام این تحقیق تأثیر خستگی بر تعادل در اندام تحتانی افراد جوان بود. نتایج نشان داد که بین خستگی عضلات اندام تحتانی و ایجاد اختلال در تعادل فرد رابطه منفی وجود دارد؛ به این معنا که با افزایش سطح خستگی در عضلات، تعادل بیشتر تضعیف می‌شود.

این یافته‌ها با یافته‌های برونی و همکاران [۲۵]، گیمون و همکاران [۲۶] و یاگی و همکاران [۲۷] همخوانی دارد. ضمن اینکه حسینی مهر و همکاران [۱۵] گزارش کردند که خستگی عضلانی به طور معناداری باعث افزایش عدم تعادل می‌شود که در این تحقیق نیز مشاهده شد.

نتیجه‌گیری نهایی

یافته‌هایی که نقطه مقابل نتایج به‌دست‌آمده در این تحقیق را گزارش کرده باشند، بسیار کم مشاهده شد و درواقع آن‌ها نیز تأثیر منفی خستگی عضلانی بر کنترل تعادل را تأیید کرده‌اند، اما تنها اختلاف آن‌ها در شدت خستگی در عضلات متفاوت یا مقدار جهات مختلف کنترل تعادل بود. شاید بتوان علت این ناهمخوانی را عوامل مداخله‌ای ازجمله مقدار استراحت در روز قبل از انجام تست، ماهیت فعالیت‌هایی که آزمودنی‌ها در طول روز با آن‌ها مواجه هستند، ورزشکار بودن یا نبودن آزمودنی‌ها، نوع رشته ورزشی آن‌ها، سطح فعالیت و آمادگی آزمودنی‌هایی که در تحقیق شرکت داده می‌شوند و اختلاف در پروتکل ایجاد خستگی در آن‌ها دانست.

با توجه به یافته‌های تحقیق حاضر و نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات مشابه می‌توان بیان کرد که با توجه به اینکه خستگی باعث اختلال در تعادل و افزایش احتمال بروز آسیب در فرد می‌شود، این موضوع به توجه قابل‌ملاحظه ای نیاز دارد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در روند انجام تحقیقات مربوط به این مقاله، آگاهی کامل شرکت‌کنندگان از روند اجرای پژوهش، محرمانه ماندن اطلاعات آن‌ها، اجازه خروج از پژوهش (هر زمان که بخواهند) و هرگونه حقوقی که مربوط به شرکت‌کنندگان است، وجود داشت/

حامی مالی

این مقاله حامی مالی نداشته است.

مشارکت نویسندگان

تحقیق و بررسی، منابع، نگارش پیش‌نویس، ویراستاری و نهایی‌سازی نوشته، بصری‌سازی، نظارت و مدیریت پروژه: افسانه قدسی؛ در بقیه موارد همگی نویسندگان به یک اندازه مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافعی ندارد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان از آزمایشگاه بالینی و بیومکانیک دانشکده مهندسی پزشکی واحد علوم تحقیقات تهران قدردانی می‌کنند.

References

[1] Salavati M. [Comparative study of the effect of lower limb fatigue on healthy men (Persian)] [PhD dissertation]. Tehran: Tehran University; 2004.

[2] Sadeghi H, Sarshin A, Abbasi A. [Effect of functional fatigue on dynamic postural control (Persian)]. Research in Sport Sciences. 2008; 5(1):79-94.

[3] Barati N, Eslamdost M, Norasteh A. The effect of the fatigue muscles on the balance (Persian)]. Paper presented at: 6th International Conference on Physical Education. 4-6 March; Kish, Iran.

[4] Letafatkar Kh, Bakhsheshiharis M, Ghorbani S. [Corrective movements and remedial action (Persian)]. Tehran: Bamdad Ketab Publication; 2010.

[5] Sadeghi H, Hadi H, Rostamkhani H, Bashri M. [The effect of six weeks of power training , plaumetric and combination (power and plaumetric) on dynamic equilibrium of male athlete students (Persian)] . Res Sport Sci. 2009; 22(1):111-23.

[6] Rajabi H, Gaeeni A. [Physical preparation (Persian)]. 2nd edition. Tehran: Samt Publication; 2004.

[7] Ghasemzadeh Y. [The study and comparison of static equilibrium , Antropotik features and inferior of elite and athletes (Persian)] [Master thesis]. Mashhad: Ferdowsi University; 2007.

[8] Greig M, Walker-Johnson C. The influence of soccer-specific fatigue on functional stability. Physical Therapy in Sport. 2007; 8(4):185-90. [DOI.org/10.1016/j.ptsp.2007.03.001]

[9] Wikstrom EA, Powers ME, Tillman MD. Dynamic stabilization time after isokinetic and functional fatigue. J Athl Train. 2004; 39(3):247–53. [PMID] [PMCID]

[10] Gribble PA, Hertel J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. Arch Phys Med Rehabil. 2004; 85(4):589-92. [DOI.org/10.1016/j.apmr.2003.06.031] [PMID]

[11] Pappas E, Sheikhzadeh A, Hagins M, Nordin M. The effect of gender and fatigue on the biomechanics of bilateral landings from a jump: Peak values. J Sports Sci Med. 2007; 6(1):77-84. [PMID] [PMCID]

[12] Bigland Ritchie B, Woods J. Changes in muscle contractile properties and neural control during human muscular fatigue. Muscle Nerve. 1984; 7:691-9. [DOI:10.1002/mus.880070902] [PMID]

[13] Johnston RB, Howard ME, Cawley PW, Lossee GM. Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. Med Sci Sports Exerc. 1998; 30:1703-7. [DOI:10.1097/00005768-199812000-00008] [PMID]

[14] Susco MT , Valovich McLeod TC, Gansneder BM, Shultz SJ. Balance recovers within 20 minutes after exertion as measured by the balance error scoring system. J Athl Train. 2004; 39(3):241-6. [PMID] [PMCID]

[15] Hosseinimehr SH, Daneshmandi H, Norasteh AS . The effects of activity related fatigue on static and dynamic postural control in college athletes. Braz J Biomotricity. 2010; 4(2):148-55.

[16] Erkmen N, Taskin H, Kaplan T, Sanioglu A. The effect of fatiguing exercise on balance performance as measured by the balance error scoring system. Isokinet Exerc Sci. 2009; 17(2):121-7. [DOI:10.3233/IES-2009-0343]

[17] Atko Viro & Mehis Viro. Biochemical Monitoring of Sport Training. [Gaeeni AA, Dabidi Roushan V, Haghighi AH, Faramarzi M, Chobineh S., Persian trans.]. Tehran: Samt; 2001.

[18] Advardel M, Donald ki M. The physiological basis of physical education and athletics. [Khaledan A, Persian trans.]. Tehran: Tehran University Publication; 2008.

[19] Taskin H, Erkmen N, Buyukipekci S, Kaplan T, Sanioglu A, Basturk D. Effects of fatigue on the balance performance as measured by balance error scorring system in volleyball players. J Mov Health. 2009; 9(2):128-34.

[20] Clark S, Riley MA. Multisensory information for postural control: Sway-referencing. gain shapes center of pressure variability and temporal dynamics. Exp Brain Res. 2007; 176:299-310. [DOI:10.1007/s00221-006-0620-6] [PMID]

[21] Kablan N, Ertan H, Ünver F, Kirazci S, Korkusuz F. Factors affecting the shoulder proprioceptive sense amonge male volleyball players. Isokinet Exerc Sci. 2004; 12(3):193-8. [DOI:10.3233/IES-2004-0173]

[22] Kyvelidou A, Harbourne R, Stuberg WA, Sun J, Stergiou N. Reliability of center of pressure measures for assessing the development of sitting postural control. Arch Phys Med Rehabil. 2009; 90(7):1176-84. [DOI:10.1016/j.apmr.2009.01.031] [PMID] [PMCID]

[23] Swenenburg J, Bruin E, Favero K, Uebelhart D. The reliability of postural balance measures in single and dual tasking in elderly fallers and non-fallers. BMC Musculoskelet Disord. 2008; 9:162. [DOI:10.1186/1471-2474-9-162] [PMID] [PMCID]

[24] Jonson BL, Nelson JK. Fitness testing. Stork balance stand test practical measurements for evalution in physical education. 4th edition. Minneapolis: Burgess; 1979.

[25] 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 (Portugese)]. Revista Brasiliera Cineantropometria and Desempenho Humano. 2011; 13(5):348-53. [DOI:10.1590/1980-0037.2011v13n5p348]

[26] Gimmon Y, Riemer R, Oddsson L, Melzer I. The effect of plantar flexor muscle fatigue on postural control. J Electromyogr Kinesiol. 2011; 21(6): 922-8. [DOI:10.1016/j.jelekin.2011.08.005] [PMID]

[27] Yaggie JA, Gregor SJ. Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural limits. Arch Phys Med Rehab. 2002; 83:224-8. [DOI:10.1053/apmr.2002.28032] [PMID]