تأثیر خستگی عملکردی بر تعادل ایستا و پویای دانش‌آموزان پسر با قوس کف پای متفاوت

سید حامد موسوی [1]*

* کارشناس ارشد حرکات اصلاحی و آسیب شناسی ورزشی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۲/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۲/۱۷

چکیده

هدف این تحقیق بررسی اثر خستگی عملکردی بر تعادل ایستا و پویای دانش‌آموزان پسر ۱۵ تا ۱۸ ساله با قوس کف پای متفاوت بود. برای اندازه‌گیری قوس کف پای آزمودنی‌ها از آزمون افت استخوان ناوی استفاده شد. سپس به صورت تصادفی دانش‌آموزان در سه گروه ۲۲ تایی با قوس پای متفاوت قرار گرفتند. آزمون تعادلی اصلاح‌شده لک‌لک و گردش ستاره، پروتکل خستگی عملکردی و مقیاس میزان درک تلاش (RPE) بورگ اجرا شد. از آزمون تی وابسته، ANOVA و Scheffe در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد. نتایج تفاوت معناداری بین نمره‌های تعادل ایستا و پویا در پیش‌آزمون و پس‌آزمون هرسه گروه نشان داد. آزمون تعقیبی شفه نیز نشان داد که بین میانگین تفاضل نمره‌های تعادل ایستا و پویا در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه کف پای نرمال با گروه کف پای صاف و با گروه کف پای گود اختلاف معنی‌داری وجود دارد، ولی این تفاوت معنادار میانگین بین دو گروه کف پای صاف و گود وجود نداشت. با توجه به کاهش معنی‌دار تعادل در آزمودنی‌های دارای ناهنجاری قوس کف پا، اصلاح ناهنجاری‌های قوس کف پا و استفاده از دوره‌های تمرینی مناسب جهت ارتقای آمادگی جسمانی این افراد توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: خستگی عملکردی، تعادل ایستا و پویا، قوس کف پای متفاوت.

The effect of functional fatigue on dynamic and static balance in boy students with different plantar arch

Mousavi, SH.*

* Master of Science, Sport Injuries and Corrective Exercises

Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of functional fatigue on the dynamic and static balance of male students aged 15 to 18 with different plantar arch. To measure the subjects' foot arch, the Navicular Drop Test was used. The subjects were then randomly divided into three groups of 22 members with different foot arches. Later on, SEBT test, Modified Stork Balance, Fatigue Protocol and Borg (RPE) scale were run. Using SPSS (version 18), the data were analyzed ($p< .05$); in particular, dependent t-tests, One-way ANOVA and Scheffe's post hoc test were run. The results showed a significant difference between pre-test and post-test scores of dynamic and static balance in all three groups. Scheffe's post hoc test revealed that there was a significant difference between the mean difference of pre-test and post-test scores of the dynamic and static balance group of normal foot arch, the flat foot arch group and the cavus foot arch group. Meanwhile, the difference between flat and cavus foot group was not statistically significant. Due to the significant reduction in the balance of subjects with abnormal arch, the correction of the abnormality of the foot arch as well as the use of appropriate training courses are recommended to improve their physical fitness.

Key words: Functional Fatigue, Dynamic and Static Balance, Different Arch Foot

1. musavihamed@yahoo.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]

مقدمه

تعادل نقش مهمی در فعالیت‌های افراد اعم از کارهای ساده روزانه و اجراهای سطح بالا در رشته‌های ورزشی براساس ماهیتشان برعهده دارد (۱). کنترل پوسچر نتیجه تلفیق دستگاه‌های بینایی، دهلیزی و حسی است. خستگی عضلانی ناشی از تمرین پدیده رایجی است که طی فعالیت‌های ورزشی و روزانه ایجاد می‌شود و به اختلال در عملکرد حرکتی افراد می‌انجامد و این یکی از عوامل خطرساز برای ایجاد آسیب‌های عضلانی- اسکلتی مانند استرین عضلانی در زانو و غیره است (هنگامی که خستگی عضلانی هم سیستم آوران و هم سیستم وابران را تحت تأثیر قرار دهد) (۲و۳). خستگی عضلانی ناشی از عملکرد تحت عنوان هرگونه کاهش در توانایی تولید نیرو درحین فعالیت های ورزشی تعریف می‌شود (۴و۵) که به‌طور عادی در فعالیت‌های روزانه نیز تجربه می‌شود (۶). شروع فعالیت‌های ارادی عضلانی چندین فرآیند دارد که با کنترل قشری در مغز شروع می‌شود و در پل‌های عرضی داخل فیبرهای عضلانی خاتمه می‌یابد. ازاین‌رو باید گفت خستگی عضلانی می‌تواند درنتیجه هرگونه نارسایی در انقباض عضلانی حادث شود (۷). ایجاد خستگی به نوع تمرین، نوع انقباض، شدت و مدت تمرین بستگی دارد. فاکتورهای بالقوه‌ای در بروز خستگی نقش دارند که عبارت‌اند از: عوامل مرکزی (که خستگی را به‌وسیله اختلال در انتقال عصبی- عضلانی بین دستگاه عصبی مرکزی و غشای عضلانی به‌وجود می‌آورد) و عوامل محیطی (که باعث ایجاد تغییرات درون‌عضلانی می‌شود) (۵و۸). خستگی عضلانی عاملی برای بروز آسیب است (۹و۱۰) و براساس نتایج تحقیقات این نوع خستگی باعث به‌وجودآمدن تغییرات در حس عمقی عضلات و درنتیجه تعادل می‌شود (۱۱و۱۲).

اکثر مطالعات نشان می‌دهند که خستگی ناشی از تمرین سبب افزایش دامنه نوسان‌های پاسچر، کاهش توانایی حفظ تعادل و اختلال حس عمقی می‌شود. درنتیجه به نظر می‌رسد افراد خسته د معرض خطر ضایعات مفصلی به علت کاهش تعادل قرار دارند (۹، ۱۳و ۱۴). خستگی پدیده‌ای فیزیولوژیک است که امکان بروز آن در تمرین‌های تقویتی بسیار زیاد است. به‌نظر می‌رسد تجمع مواد متابولیک نزدیک پایان تمرین مانع از آن می‌شود که شدت تمرین افزایش یابد (۱۵). خستگی به‌معنای ناتوانی فرد برای انجام فعالیت مورد نظر به‌صورت مؤثر است (۱۵،۱۶،۱۴و۱۷). ایجاد خستگی به نوع تمرین (مداوم یا متناوب)، در اثر تمرینات متناوب به نسبت زمان انقباض به کل زمان تمرین، نوع انقباض (ایزومتریک، کانسنتریک و استریک‌بودن)، شدت و مدت تمرین بستگی دارد (۲). تمرینات خسته‌کننده باعث تغییر در متابولیسم انرژی سلول عضلانی و زوج تحریکی_ انقباضی[1] می‌شود. به‌دنبال تمرین تغییراتی ازجمله کاهش PH، تجمع اسید لاکتیک و یون هیدروژن، مصرف منابع گلوکز و انرژی، تجمع فسفات غیرارگانیک و ATP، کاهش در فسفات، کاهش غلظت یون کلسیم آزاد، کاهش حساسیت تروپونین به کلسیم و غیره ایجاد می‌شود (۴). به‌نظر می‌رسد خستگی کارآیی اجزای انقباضی و اطلاعات حس عمقی را

1. Excitation- Contraction Coupling

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]

تغییر می‌دهد و بر کنترل پاسچر هم اثر دارد. در خستگی عضلانی، کاهش میزان نیرو و تأخیر در شروع حرکت مشاهده می‌شود (۱۳، ۱۵، ۱۸و ۱۹). خستگی همچنین باعث افزایش سفتی مفصل ازطریق افزایش انقباض هم‌زمان عضله آگونیست و آنتاگونیست می‌شود که ناشی از افزایش دستورات حرکتی به عضله است. به‌نظر می‌رسد در حضور خستگی، دستگاه عصبی مرکزی تغییرات جزئی در زمان‌بندی فعالیت عضلانی ایجاد می‌کند (۱۵). در خستگی موضعی به‌نظر می‌رسد دستگاه عصبی مرکزی بتواند سینرژی‌های جبرانی را ازقبیل فعال‌سازی گروه‌های عضلانی پروگزیمال، وارد عمل کند و آن‌را جایگزین سینرژی‌های قبلی نماید تا تعادل حفظ شود و آسیبی به فرد وارد نشود. لازم است این سیستم‌های تداخلی جبرانی پس از خستگی موضعی و عمومی تحت بررسی قرار گیرند (۱۵). با توجه به نتایج تحقیقات گوناگون تعادل در اغلب رشته‌های ورزشی که به مهارت‌های حرکتی پیچیده نیاز دارند از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. با توجه به ماهیت حرکت، ورزشکاران برای اجرای بهینه مهارت‌های حرکتی بایست تعادل خود را روی سطح اتکا حفظ کنند. نوسان‌های بدن ازطریق انقباض عضلانی و با استفاده از اطلاعات حسی در دستگاه عصبی مرکزی هم‌پوشانی و تعادل بدن حفظ می‌شود. تحقیقات نشان داده است که اگرچه ورزش‌های سطح بالا، توانایی‌های فیزیولوژیک و حسی- حرکتی درگیر در کنترل تعادل را بهبود می‌بخشند، عواملی مانند خستگی در آنان خطر آسیب‌دیدگی را نیز افزایش می‌دهد (۲۰). خستگی در زمان‌های پایانی مسابقات و تمرین بیشتر می‌شود و باعث کاهش تعادل ورزشکاران می‌شود که این خود عاملی درجهت آسیب‌دیدگی ورزشکاران است. قوس طولی داخلی کف پا[1] در بیومکانیک پا، مانند حمایت و جذب ضربه پا، در طی راه‌رفتن عملکرد اساسی دارد. افزایش یا کاهش MLA (به ترتیب گودی کف پا یا صافی کف پا) می‌تواند این عملکردها را مختل کند و به بی‌تعادلی عضلانی، بدراستایی مفصلی، پرونیشن جبرانی پا و ناهنجاری‌های راه‌رفتن بینجامد (۲۱). برخورداری از قوس طبیعی موجب توزیع مناسب وزن روی پاها و انتقال آن به زمین می‌شود. از مزایای دیگر قوس طبیعی پا راه‌رفتن و دویدن طبیعی با برخورداری از خاصیت طبیعی آن است. علاوه بر آن حمایت و حفاظت از بافت‌های نرم کف پا در حضور این قوس‌ها صورت می‌پذیرد (۲). ازآنجاکه خستگی یکی از عوامل بره زننده کنترل عصبی عضلانی است، به نظر می‌رسد با بروز خستگی در عضلات، به‌ویژه اندام تحتانی ازجمله مفصل مچ پا و تغییرات ایجا شده در فعالیت عضلات، توانایی تولید پاسخ عضلانی مناسب برای حفظ تعادل و ثبات پاسچر کاهش می‌یابد، که می‌تواند منجر به بی‌ثباتی و کاهش تعادل با خستگی در هنگام فعالیت های بدنی شود. الیویر در تحقیق خود که اثرات تعامل بینایی و خستگی موضعی عضلات اندام تحتانی بر کنترل پاسچر را تحت بررسی قرار داده بود، به این نتیجه رسید که ایجاد خستگی موضعی در عضلات اندام تحتانی در دو حالت چشم باز و بسته باعث کاهش توانایی کنترل پاسچر م شود، اما این اثر در حالت چشم باز بیشتر از حالت چشم بسته بود (۱۰). نیکلاس ویلروم و همکاران به بررسی خستگی عضلات

1. Medial Longitudinal Arch (MLA)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]

بازکنندهٔ ستون فقرات بر کنترل پاسچر پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقات آنها نیز نشان‌دهندهٔ افزایش نوسان‌های COP (مرکز فشار) پس از اعمال خستگی در دو صفحهٔ قدامی- خلفی و جانبی- داخلی بوده است (۲۲). یاگی، جانستون و جویس در تحقیقات خود به بررسی تأثیر خستگی عضلانی ایزوکنتیک در اندام تحتانی بر کنترل پاسچر پرداخته‌اند. به‌طور کلی، بررسی مطالعه‌های انجام‌شده در زمینه تأثیر خستگی عضلانی بر کنترل پاسچر تاکنون، در اکثر موارد، مبین اثر قطعی و معنی‌دار خستگی عضلانی بر کنترل پاسچر است (۳،۴و۲۳). با این حال، تمام مطالعه‌های مزبور به بررسی تأثیر خستگی موضعی در عضلات ناحیه مچ پا بر کنترل پاسچر پرداخته‌اند. دلیل این امر این است که اکثر محققان متفق‌القول‌اند که در شرایط طبیعی حس عمقی مچ پا برای ایجاد مرجع درونی ضروری است تا موجب ثبات بدن نسبت به مرجع خارجی جاذبه شود (۲۴). در شرایطی که قوس کف پا با ناهنجاری همراه است کشیدگی یا کوتاهی عضلات مچ پا موجب اختلال در عملکرد صحیح عضلات این ناحیه می‌شود و ازسویی خستگی این عضلات در هنگام تمرینات احتمالاً باعث کنترل پاسچر ضعیف‌تر افراد با ناهنجاری قوس کف پا نسبت به افراد با قوس نرمال می‌شود. با این حال تاکنون مطالعه‌ای نیافته‌ایم که به بررسی نقش و تأثیر خستگی ناشی از تمرین بر کنترل پاسچر افراد دارای قوس کف پای متفاوت بپردازد. در اکثر تحقیقاتی که به بررسی این رابطه پرداخته‌اند، خستگی به دنبال تمرینات موضعی (مثلاً در عضلات چهارسر رانی) ایجاد شده و مواردی نیز که خستگی عمومی و عملکردی (ناشی از تمرین) را مدنظر قرار داده‌اند، همچنین در تحقیقات انجام‌شده درباره تأثیر خستگی بر تعادل بیشتر از خستگی موضعی استفاده شده است (۱۵،۲۳) و تحقیقاتی هم که خستگی عملکردی[1] را مدنظر داشتند معیار خاصی برای سنجش خستگی تعیین نکرده بودند (۱۲،۲۵،۲۵). با توجه به اینکه ناهنجاری در پا باعث اختلال در حالت آناتومیک پا و عضلات اطراف مفصل مچ پا می‌شود این سؤال به‌وجود می‌آید که آیا خستگی ناشی از تمرین (خستگی عملکردی) تأثیری متفاوت بر کنترل پاسچر افراد با کف پای متفاوت دارد یا نه؟ بنابراین محقق قصد دارد در این تحقیق تاثیر خستگی ناشی از تمرین را بر تعادل دانش‌آموزان پسر ۱۵ تا ۱۸ سال با قوس کف پای متفاوت بررسی کند.

روش‌شناسی

روش تحقیق حاضر از نوع نیمه‌تجربی بود. جامعه آماری این تحقیق را تمام دانش‌آموزان پسر با دامنه سنی ۱۸-۱۵ سال شهرستان کازرون استان فارس تشکیل دادند. روش نمونه‌گیری در این تحقیق خوشه ای و سپس تصادفی و هدفمند بود. برای انتخاب نمونه بعد از انتخاب تعدادی از مدارس، از دانش‌آموزان آزمون افتادگی استخوان ناوی با استفاده از روش برودی جهت تعیین قوس کف پا به‌عمل آمد (۲۶). سپس دانش‌آموزان با توجه به قوس کف پا به‌صورت تصادفی و هدفمند (دانش‌آموزان ازلحاظ سن، وزن، ورزشکاربودن یا نبودن در گروه‌ها

1. Functional Fatigue

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]

متجانس شدند) در سه گروه ۲۲ نفره جای گرفتند. گروه اول: ۲۲ نفر به‌عنوان گروه با قوس کف پای صاف، گروه دوم: ۲۲ نفر به‌عنوان گروه با قوس کف پای نرمال و گروه سوم: ۲۲ نفر به‌عنوان قوس کف پای گود انتخاب شدند. سپس هدف از اجرای تحقیق، پروتکل خستگی و آزمونی تعادلی اصلاح‌شده لک‌لک و گردش ستاره برای آزمودنی‌ها شرح داده شد و رضایت‌نامه کتبی از آزمودنی‌ها گرفته شد. مشخصات افراد قبل از اجرای آزمون، در برگه مشخصات آنها ثبت شد. هر آزمودنی قبل ازاجرای پروتکل برای هشت‌دقیقه شروع به گرم‌کردن بدن خود کرد و بعد از زمان گرم‌کردن از هر آزمودنی قبل از اجرای پروتکل خستگی، آزمون تعادلی اصلاح‌شده لک‌لک و گردش ستاره گرفته شد و بعد از اجرای پروتکل خستگی در محل مشخص شده A نیز مجدداً آزمون تعادلی اصلاح‌شده لک‌لک و گردش ستاره گرفته شد و نمره مربوط به هر آزمودنی یادداشت شد. برای تعیین میزان خستگی آزمودنی‌ها از مقیاس RPE بورگ استفاده شد. برای اندازه‌گیری RPE، از آزمودنی خواسته شد که احساس واقعی خود را درباره شدت فعالیتی که انجام داده است بیان کند و با استفاده از جدول بورگ مقیاس آن استخراج شد. حداقل مقیاس موردنظر در انتهای ایستگاه هفتم ۱۵ بود. اندازه‌گیری RPE درست قبل از شروع ایستگاه اول، بعد از ایستگاه سوم یعنی در نیمه راه و دقیقاً بعد از ایستگاه هفتم انجام شد. اگر آزمودنی به حداقل مقدار خستگی نمی‌رسید، از تحقیق خارج می‌شد و فرد دیگری با خصوصیات مشابه وارد تحقیق می‌شد.

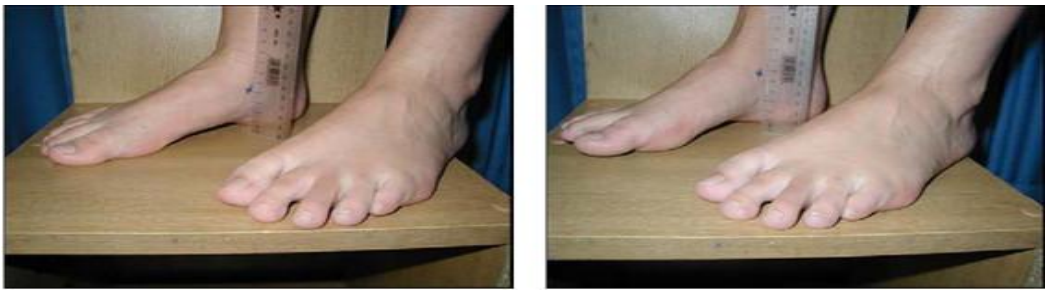
از آزمودنی‌ها خواسته شد یک روز قبل از اندازه‌گیری‌ها هیچ‌گونه داروی خاصی مصرف نکنند و فعالیت سنگین ورزشی نیز نداشته باشند. اندازه‌گیری‌ها و انجام آزمون‌ها حدود دو ساعت بعد از صرف غذا انجام شدند. در صورت بروز درد، حالت تهوع، سرگیجه و حالت تهوع، آزمون قطع می‌شد.

به منظور تعیین قوس کف پا از اندازه‌گیری درجه پرونشین مفصل تحت قاپی توسط آزمون شاخص افتادگی استخوان ناوی استفاده شد(۲۶). با استفاده از روش برودی، افتادگی استخوان ناوی ارزیابی شد. از آزمودنی خواسته شد تا با پای برهنه روی صندلی بنشیند و پای خود را روی جعبه‌ای به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر قراردهد. به‌طوری‌که زاویه ران و زانو ۹۰ درجه باشد. مفصل ران در این حالت هیچ‌گونه آبداکشن و آداکشن نداشت و درحالت معمولی قرارداشت. آزمونگر سمت داخلی و خارجی کام (قله) مچ پا، را درحالی‌که انگشت شست و انگشت اشاره در بخش قدامی استخوان نازک‌نی و بخش تحتانی قوزک داخلی قرار داده می‌شد، لمس می‌کرد. آزمودنی اندکی به مچ پا حرکت اینورشن و اورشن می‌داد تا برآمدگی‌های استخوانی در زیر انگشتان در ارتفاع یکسان قرار گیرند و آزمونگر مطمئن می‌شد که مفصل تحت قاپی درحالت معمولی قرار دارد. در این حالت پای تحت ارزیابی به‌جز وزن خودش هیچ وزن دیگری را تحمل نمی‌کند. سپس برآمدگی استخوان ناوی که در زیر و جلو قوزک داخلی قرارداشت مشخص و علامت‌گذاری می‌شد. با استفاده از خط‌کش آنتروپومتری فاصله برجستگی استخوان ناوی تا سطح جعبه برحسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس از آزمودنی خواسته می‌شد که درحالت ایستاده به‌گونه‌ای که تمام وزن روی پای آزمایش باشد قرارگیرد. برای اینکه آزمودنی بتواند درحالت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]

ایستاده تعادل خود را حفظ کند ، به او اجازه داده شد تا نوک انگشت پای دیگر را روی زمین قرار دهد. دراین‌حالت نیز فاصله برجستگی استخوان ناوی تا سطح جعبه اندازه‌گیری و ثبت شد. آزمونگر فاصله برجستگی استخوان تا سطح جعبه را درحالت تحمل وزن (ایستاده) از فاصله استخوان ناوی تا سطح جعبه درحالت بدون تحمل وزن (نشسته روی صندلی) کسر می‌کرد که عدد به‌دست‌آمده به‌منزله اندازه افتادگی استخوان ناوی ثبت می‌شد. اندازه‌گیری افتادگی ناوی در هر آزمودنی سه بار انجام شد و میانگین آنها به منظور طبقه‌بندی افراد در سه گروه پای طبیعی، پای صاف و پای گود به‌کاررفت. آزمودنی‌های با افتادگی ناوی بیشتر از ۱۰ میلی‌متر، در گروه کف پای صاف بین ۴ تا ۹ میلی‌متر، در گروه کف پای طبیعی و کمتر از ۴ میلی‌متر، درگروه کف پای گود قرارگرفتند (۱۶۷)(شکل ۱). با عنایت به استانداردبودن، این آزمون اعتبار لازم را برای سنجش مقدار پرونیشین پا دارد. ضریب پایایی آن را مولر وهمکاران (۱۹۹۳) ۸۵٪ =r، شالتز و همکاران (۲۰۰۶) ۸۰ درصد = r، ایوانز و همکاران (۲۰۰۳) ۷۶٪ = r و جی هرتل و همکاران (۲۰۰۴) ۷۰٪= r گزارش کرده‌اند (۳۱).



شکل ۱. روش اندازه‌گیری افت استخوان ناوی

برای ارزیابی تعادل آزمودنی‌ها از آزمون تعادلی ستاره[1] (SEBT) استفاده شد. آزمون تعادل گردش ستاره (SEBT) روشی ساده برای آزمودن تعادل پویای افراد است. SEBT شبکه‌ای دارای ۸ خط در جهات مختلف با زاویه ۴۵ درجه نسبت به هم است که با استفاده از نوار چسب، ۸ متر نواری و یک نقاله روی یک سطح غیرصیقلی مشخص می‌شود. از آزمودنی‌ها خواسته شد با یک پا در مرکز این شبکه بایستند و پای دیگر را در جهات ۸ خط تا جایی که امکان دارد حرکت دهند. آزمودنی در هر جهت شش‌بار پای خود را حرکت داد که سه عدد بزرگ‌تر در هر جهت ثبت شد. آزمودنی بعد از هر کوشش و تغییر جهت به وضعیت ایستادن روی یک پا به طور ایستا بازگشت و پیش از انجام کوشش بعدی به مدت ۳ تا ۴ ثانیه و بعد از تغییر جهت به مدت ۱۰ تا ۱۵ ثانیه درهمین حالت ماند. آزمودنی‌های با پای غیرثابت راست درجهت پادساعتگرد و آزمودنی‌های با پای غیرثابت چپ درجهت ساعتگرد آزمون را انجام دادند. برای نرمال‌کردن مقادیر اندازه‌گیری‌شده مقادیر میانگین هر هشت جهت را با یکدیگر جمع و بر قد آزمودنی‌ها تقسیم کردیم. هرتل و همکاران پایایی درون آزمونگر را بین ۰/۷۸و

1. Star Excursion Balance Test (SEBT)

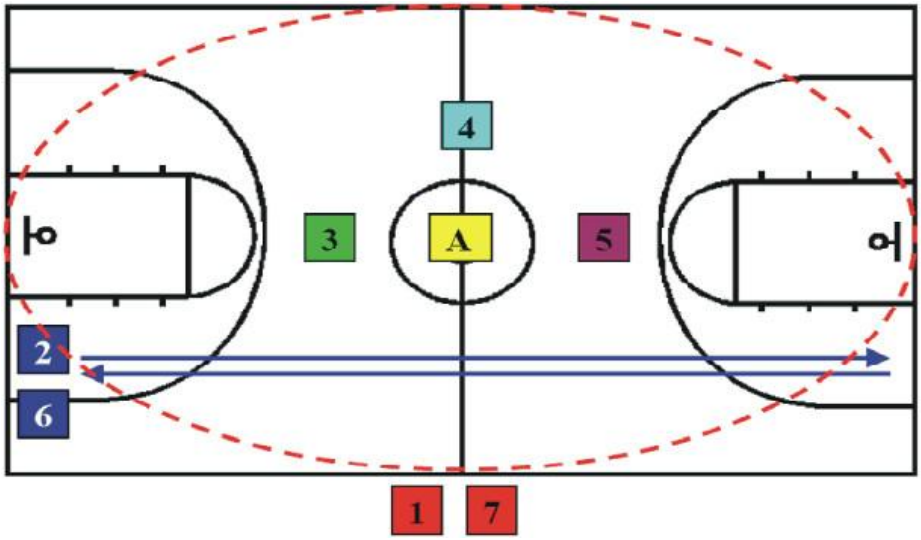
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]

۰/۹۶ گزارش کرده‌اند (۱۴). کینزی نیز مشخص کرد که SEBT دارای پایایی خوب برای ارزیابی تعادل پویاست. ICC۰/۸۶ تا ۰/۹۸ برای ارزیابی تعادل پویا دارد (۲۵).

برای ارزیابی تعادل ایستا از آزمون اصلاح‌شدهٔ لک‌لک استفاده شد. نحوهٔ انجام آزمون به این صورت است که آزمودنی با یک پا در سطح صاف می‌ایستد و پای آزاد او تا سطح مچ پا بالا برده می‌شود و هردو دست درکنار بدن قرار می‌گیرد و حرکات دست‌ها درکنار بدن آزاد است. آزمونگر حداکثر زمانی را که آزمودنی روی پای خود می‌ایستد اندازه می‌گیرد و هنگامی که آزمودنی پای آزادش را روی زمین قرار دهد زمان را متوقف می‌کند. این آزمون د بار انجام می‌گیرد و بهترین زمان به‌منزله رکورد ثبت می‌شود. حداکثر زمان برای انجام آزمون ۶۰ ثانیه است. برای شناسایی پای برتر آزمودنی‌ها درحالت ایستاده به پشت آزمودنی و بین دو کتف او ضربه‌ای زده می‌شد، پایی که آزمودنی برای حفظ تعادل استفاده می‌کرد، به‌مثابه پای برتر ثبت می‌شد.

در این تحقیق برای وارد کردن پارامتر خستگی از پروتکل خستگی عملکردی ۷ مرحله‌ای (شکل ۲) ساسکو(۲۷) و ویکینیز (۲۸) استفاده شده است. A در شکل ۲ محل اجرای آزمون‌های تعادلی است.



شکل ۲. نمایی از پروتکل خستگی

ایستگاه اول، ۵ دقیقه نرم و آهسته دویدن در فضایی است که آزمودنی انتخاب می‌کند؛ ایستگاه دوم ۳ دقیقه دو سرعت در طول زمین بسکتبال؛ ایستگاه سوم ۲ دقیقه شنای سوئدی؛ ایستگاه چهارم ۲ دقیقه درازونشست؛ ایستگاه پنجم ۳ دقیقه بالا و پایین‌رفتن از پله به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر؛ ایستگاه ششم ۳ دقیقه دو سرعت رفت‌وبرگشت در طول زمین بسکتبال؛ و ایستگاه هفتم ۲ دقیقه دویدن با آهنگ یکنواخت است؛ طوری که آزمودنی بتواند تا اتمام کار با همین سرعت بدود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]

از آزمودنی‌ها پس از گرم‌کردن مختصر (۱۰-۵ دقیقه نرم و آهسته دویدن و کشش اندام تحتانی)، پیش‌آزمون **SEBT** به عمل آمد. قبل از اولین ایستگاه پروتکل خستگی، نخستین اندازه‌گیری **RPE** انجام شد. دومین اندازه‌گیری **RPE** بعد از ایستگاه سوم یعنی در نیمه راه و سومین اندازه‌گیری **RPE** دقیقا بعد از ایستگاه هفتم انجام شد. سپس از آزمودنی‌ها پس‌آزمون **SEBT** و آزمون اصلاح‌شده لک‌لک به عمل آمد.

برای تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری‌شده از روش‌های آماری توصیفی و استنباطی استفاده شد. نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنف بررسی شد. از روش آماری تی زوجی و تی مستقل و تحلیل واریانس یک‌طرفه و تعقیبی شفه برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در برنامه **SPSS** نسخه ۱۸ استفاده شد.

یافته‌ها

مشخصات مربوط به قوس کف پا، سن، وزن و قد آزمودنی‌های سه گروه در جدول ۱ آمده است. با استفاده از آزمون کلموگروف - اسمیرنف نرمال‌بودن داده‌ها در گروه‌ها بررسی شد. با توجه به نرمال‌بودن داده‌ها (P>۰/۰۵) جهت آزمون فرضیه‌ها از آزمون تی وابسته استفاده شد. همچنین با استفاده از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه میزان میانگین نمرات RPE مرحله پایانی دانش‌آموزان در گروه‌ها بررسی شد که اختلاف معنی‌داری بین گروه‌ها مشاهده نشد (P>۰/۰۵).

جدول ۱. مشخصات قوس کف پا، سن، وزن و قد آزمودنی‌ها

آزمودنی‌ها		قد (متر)	سن (سال)	وزن (کیلوگرم)	میزان افت ناوی (میلی‌متر)
کف پای نرمال	میانگین (انحراف معیار)	۱/۷۳(۰/۰۸۱)	۱۶/۵۱(۱/۲۷)	۵۷/۹۱(۴/۸۶)	۶/۶۵(۱/۴۳)
کف پای صاف	میانگین (انحراف معیار)	۱/۷۲(۰/۰۵۶)	۱۶/۵۱(۱/۱۷)	۵۸/۰۸(۴/۸۱)	۱۲/۵۳(۱/۳۶)
کف پای گود	میانگین (انحراف معیار)	۱/۷۳(۰/۰۵۵)	۱۶/۵۲(۱/۳۱)	۵۸/۰۸(۴/۸۷)	۲/۶۵(۰/۸۲)

جدول ۲. نتایج آزمون تی وابسته بین نمرات تعادل ایستا و پویای پیش‌آزمون و پس‌آزمون آزمودنی‌های سه گروه

آزمودنی‌ها	متغیر تعادلی	میانگین پیش‌آزمون	میانگین پس‌آزمون	t	درجه آزادی	ارزش P
کف پای نرمال	پویا	۷/۴۰۹	۷/۳۸۹	۲/۲۶۲	۱۴	۰/۰۳۶
	ایستا	۳۰/۶۶	۲۵/۵۳	۵/۱۴	۱۴	۰/۰۰۰
کف پای صاف	پویا	۷/۳۸۲	۷/۳۵۳	۷/۲۸۳	۱۴	۰/۰۰۲
	ایستا	۲۸/۲۲	۲۱/۰۲	۹/۸۹	۱۴	۰/۰۰۰
کف پای گود	پویا	۷/۳۸۳	۷/۳۴۴	۱۴/۹۶۳	۱۴	۰/۰۰۰
	ایستا	۳۱/۱۰	۲۳/۵۱	۱۰/۷۱	۱۴	۰/۰۰۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]

با توجه به جدول ۲ از آزمون تی وابسته چنین استنباط می‌شود که اختلاف معنی داری بین نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون تعادل ایستا و پویای آزمودنی‌های با قوس کف پای طبیعی، آزمودنی‌های با قوس کف پای صاف و آزمودنی‌های با قوس کف پای گود وجود دارد. بنابراین، خستگی عملکردی به‌طور معناداری باعث کاهش تعادل ایستا و پویای دانش‌آموزان پسر با کف پای نرمال، کف پای صاف و کف پای گود شده است.

جدول ۳. نتایج آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) بین میانگین تفاضل نمرات تعادل پویای پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه‌ها

متغیر	گروه‌ها	میانگین تفاضل نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون	انحراف استاندارد	مقدار F	سطح معنی‌داری (P)
تعادل پویا	قوس کف پای نرمال	۰/۰۲۰	۰/۰۲۴	۶/۴۸۸	۰/۰۰۴
	قوس کف پای صاف	۰/۰۲۹	۰/۰۱۷		
	قوس کف پای گود	۰/۰۳۹	۰/۰۰۹		
تعادل ایستا	قوس کف پای نرمال	۵/۱۳	۱/۲۵	۱۷/۱۹۷	۰/۰۰۰
	قوس کف پای صاف	۷/۲۰	۱/۴۲		
	قوس کف پای گود	۷/۵۹	۱/۵۱		

با توجه به جدول ۳ از آزمون ANOVA چنین استنباط می‌شود که اختلاف معنی‌داری بین میانگین تفاضل نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون تعادل پویای آزمودنی‌ها در سه گروه وجود دارد (P=۰/۰۰۴؛ F=۶/۴۸۸). همچنین اختلاف معنی‌داری بین میانگین تفاضل نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون تعادل ایستای آزمودنی‌ها در سه گروه وجود دارد (P=۰/۰۰۰؛ F=۱۷/۱۹۷). بنابراین بین تعادل ایستا و پویای دانش‌آموزان پسر با کف پای متفاوت قبل و بعد از خستگی عملکردی اختلاف معنی‌داری وجود دارد.

برای وجود اختلاف معنی‌دار بین میانگین تفاضل نمرات تعادل ایستا و پویا در پیش‌آزمون و پس‌آزمون سه گروه از آزمون تعقیبی شفه استفاده شد. آزمون تعقیبی شفه چنین نشان داد که بین میانگین تفاضل نمرات تعادل پویا در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه کف پای نرمال و کف پای صاف اختلاف معنی‌داری وجود دارد (P=۰/۰۱۱). همچنین بین میانگین تفاضل نمرات تعادل پویا در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه کف پای نرمال و کف پای گود اختلاف معنی‌داری وجود دارد (P= ۰/۰۰۱). ولی اختلاف معنی‌داری بین میانگین تفاضل نمرات تعادل پویا در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه کف پای صاف و کف پای گود مشاهده نشد (P=۰/۹۴). همچنین آزمون تعقیبی شفه نشان داد که بین میانگین تفاضل نمرات تعادل ایستا در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه کف پای نرمال و کف پای صاف اختلاف معنی‌داری وجود دارد (P=۰/۰۰۰) و بین میانگین تفاضل نمرات تعادل ایستا در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه کف پای نرمال و کف پای گود اختلاف معنی‌داری وجود دارد (P= ۰/۰۰۰). ولی اختلاف

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]

معنی‌داری بین میانگین تفاضل نمرات تعادل پویا در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه کف پای صاف و کف پای گود مشاهده نشد (P=۰/۱۰۱).

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که خستگی ناشی از تمرین در دانش‌آموزان ۱۵ تا ۱۸ ساله به طور معنی‌داری باعث کاهش تعادل ایستا و پویا شد که این کاهش تعادل در دانش‌آموزان با ناهنجاری قوس کف پا نسبت به دانش‌آموزان با قوس کف پای طبیعی به طور معناداری بیشتر گزارش شد.

رستم‌خانی و همکاران (۱۳۸۸) با انجام تحقیقی نشان دادند که خستگی عضلات مچ پا باعث کاهش تعادل ایستا و پویا می‌شود. آنها در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که خستگی به‌منزله یک عامل ایجاد نقص در اطلاعات آوران حسی پیکری، می‌تواند منجر به تأخیر در پاسخ‌های پاسچر و اختلال در کنترل پاسچر شود. تغییرات عصبی عضلانی ناشی از خستگی مربوط به ارسال پیام‌های آوران از عضلات خسته است که منجر به کاهش انتقال پیام‌های وابران و توانایی تولید حرکات جبرانی کافی می‌شود (۲۹). درواقع هنگام ایجاد خستگی، توانایی تولید پاسخ‌های عضلانی مناسب که برای حفظ ثبات مفصل لازم است کاهش می‌یابد که این باعث کاهش بیشتر تعادل در افراد دارای کف پای صاف و گود می‌شود که از تعادل عضلانی مطلوبی در اطراف مچ پا برخوردار نیستند.

موسوی و همکاران (۱۳۸۹) نیز در تحقیقی به بررسی ارتباط تعادل پویا و ایستا در دانش‌آموزان با قوس کف پای متفاوت پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که افراد با کف پای گود دارای تعادل ایستا و پویای کمتری نسبت به افراد با قوس کف پای طبیعی هستند. آنها اذعان کردند که کاهش تعادل در افراد با کف پای گود احتمالاً موجب تضعیف عملکرد ورزشی خواهد شد. آنها علاوه‌بر ساختار آناتومیکی مفصل مچ پا، متغیر مساحت کف پایی را نیز در کاهش تعادل این دانش‌آموزان دخیل دانستند (۳۰).

گریگ و همکاران (۲۰۰۷) نیز در نتایج تحقیق خود بیان کردند که بر اثر خستگی عضلات کف پا تعادل ایستا و پویا دچار کاهش می‌شود و علتی که برای توجیه یافته‌های خود آورده‌اند که شکل آناتومیکال استخوان‌ها و ساختار بافت نرم عضلات پا احتمالاً بر حفظ تعادل تأثیر می‌گذارند. یکی دیگر از دلایل کاهش تعادل بعد از پروتکل خستگی را نیز به ضعیف‌بودن عضلات دورسی فلکسور و اینورشن ساق پا نسبت داده‌اند و عنوان کرده‌اند که تقویت این عضلات در افراد، اجازه انجام مانور بیشتری را به آنها می‌دهد(۳۱).

کاربیل و همکاران (۲۰۰۳) و جانستون و همکاران (۱۹۹۸) نیز گفته‌اند که خستگی باعث کاهش بیشتر میزان تعادل فرد درحالت استاتیک نسبت به حالت دینامیک می‌شود. آنها علت آن را این‌گونه توجیه کرده‌اند که سازوکار APA[1] که باعث جبران اغتشاشات ایجادشده در اثر خستگی می‌شود، بیشتر درحالت دینامیک به کنترل

1. Anticipatory Postural Adjustments (APA)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]

پاسچر کمک می‌کند و تأثیر کمی در کنترل پاسچر استاتیک دارد (۳۲ و ۳۳). نتایج برخی دیگر از تحقیقات نیز مبین آن است که خستگی عضلانی تعادل استاتیک تأثیر منفی می‌گذارد که علت آن تغییر در رفتار واحدهای عضلانی و مشخصه‌های مرکزی است (۳۴ و ۳۵). دراین‌باره نیکولاس و همکاران (۲۰۱۰) بیان کرده‌اند که خستگی عضلانی باعث تغییر بیشتری در متغیر ثبات پویا نسبت به متغیر ثبات ایستا می‌شود (۳۶). نتایج تحقیقات آنها مبین این موضوع است که دستگاه عصبی عضلانی در کنترل پاسچر پویا روی پاها نقش بیشتری دارد. نیکولاس و همکاران یکی از علل تغییر در کنترل پاسچر بعد از خستگی عضلانی را به کاهش تمرکز آزمودنی‌ها در توجه به نوسانات بدن خودشان مربوط می‌دانند و علت دیگر را تغییر در عملکرد عصبی عضلانی اندام تحتانی به‌ویژه پا عنوان کرده‌اند (۳۷). اعتقاد بر این است که فراهم‌بودن حس عمقی از نواحی کف پا نقش مهمی در کنترل پاسچر ایفا می‌کند که ایجاد ناهنجاری در پا می‌تواند باعث نقص در کارکرد گیرنده‌های حسی عمقی شود (۲۰).

نتایج تحقیق ویلرم و همکاران (۲۰۰۶) و برون (۲۰۰۲) با نتایج تحقیق حاضر مغایر بود. آنها در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که کنترل پاسچر طی برنامه خستگی‌آور دچار تغییر نمی‌شود و همچنین بیان کرده‌اند که خستگی عضلانی عمومی، تعادل پویا را کمتر از خستگی عضلانی لوکال دچار تغییر می‌کند و علت آن‌را به این مورد مربوط دانسته‌اند که در خستگی عمومی بدن، عضلات پاسچرال زودتر از خستگی لوکال وارد حالت جبرانی کنترل پاسچر می‌شوند و درنهایت تعادل را حفظ می‌کنند. همچنین آنها اعتقاد داشتند که انجام ورزش باعث افزایش ایمپالس‌های عصبی آوران و وابران می‌شود و درنهایت فعالیت دوک‌های عضلانی اطراف مچ پا منجر به بهبود حس وضعیت مفصل می‌شود و تعادل فرد افزایش می‌یابد (۱۷ و ۳۸). بنابراین با توجه به تحقیقات به نظر می‌رسد که ساختار آناتومیکی پا تنها معیار مؤثر در کنترل پاسچر نباشد و امکان دارد که عوامل دیگری همچون دستگاه عصبی نقش ساختار آناتومیکی پا را در کنترل پاسچر کمرنگ‌تر جلوه دهند.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این تحقیق، خستگی عملکردی ناشی از تمرین می‌تواند کنترل پاسچر افراد با ناهنجاری قوس کف پا را تحت تأثیر قرار دهد و احتمال بروز آسیب و کاهش عملکرد ورزشی این افراد را درپی داشته باشد. بنابراین اصلاح ناهنجاری‌های قوس کف پا و استفاده از دوره‌های تمرینی مناسب جهت ارتقای آمادگی جسمانی و کاهش تجربه خستگی این افراد در یک فعالیت ویژه توصیه می‌شود.

منابع

1. Derare, W. (2002). Treadmill exercise negatively affects visual contribution to static postural stability. International Journal Sports Medicine. 23(1): 44-9.
2. Bruno, A., Flávia,G.M., Adriana, M.P., Ivan, P. (2006). Effects of the exercise-induced muscular fatigue on the time of muscular reaction of the fibularis in healthy individuals. Journal Revista Brasileira Medicina Esporte. 12(2): 21-8.
3. Johnston, R.B., Howard, M.E., Cawley, P.W., Loose, G.M. (1998). Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. Journal Medicine Science Sports Exercise. 30:1703–7.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]

4. joice, C.J. (2001). Dorsiflexor and plantarflexor muscle fatigue decreases postural control. Journal Athletic Training. 36(2): 32-44.
5. Marchetti, P.H., Orselli, M.I.V., Duarte, M. (2012) The effects of uni- and bilateral fatigue on postural and power tasks. Journal of Applied Biomechanics. 11: 728–39.
6. DePaoli, F.V., Overgaard, K., Pedersen, T.H., Nielsen, O.B. (2007). Additive protective effects of the addition of lactic acid and adrenaline on excitability and force in isolated rat skeletal muscle depressed by elevated extracellular. Journal Physiology sport. 581: 829–39.
7. Riemann, B.L., Myers, J.B., Lephart, S.M. (2003) Comparison of the ankle, knee, hip, and trunk corrective actions shown during single-leg stance on firm, foam and multiaxial surfaces. Journal Arch Physiology Medicine Rehabilitation. 84: 90-5.
8. Madigan, M.L., Davidson, B.S., Nussbaum, M.A. (2006). Postural sway and joint kinematics during quiet standing are affected by lumbar extensor fatigue. Journal Human Movement Science. 25: 788–99.
9. Adriana, C., Sancho, J., Moncada, J. (2005) The acute effect of energy drinks on the physical and cognitive performance of male athletes. Journal Kinesiologia Slovenia. 11(2): 5-16.
10. Olivier, C. (2004) Is there interaction between vision and local fatigue of the lower limbs on postural control and postural stability in human posture. Journal Athletic Training. 38(5): 123-9.
11. Annica, K. (2000). correlation between force plate measures or assessment of balance. Journal Clinical Biomechanic. 15: 365-9.
12. Hosseini, S., Rostamkhany, H., Panahi, M., Darzi Ramandi, L. (2012) Exercise-Related Fatigue Change Dynamic Postural Control in Healthy Males. Journal Scientific Research. 11(2): 230-6.
13. Hewett, T.E., Lindenfeld, T.N., Riccobene, J.V., Noyes, F.R. (1999) The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes: A prospective study. American Journal of Sports Medicine. 27: 699–705.
14. Asimenia, G., Paraskevi, M., George, P., Anastasia, B., George, G. (2011). Effects of a soccer training session fatigue on balance ability. Journal of Human Sport & Exercise. 6(3): 521-7.
15. Davidson, B.S., Madigan, M.L., Nussbaum, M.A. (2004). Effects of lumbar extensor fatigue and fatigue rate on postural sway. Europe Journal Applied Physiology. 93: 183–9.
16. Strang, A.J. Berg, W.P. (2007). Fatigue-induced adaptive changes of anticipatory postural adjustments. Journal Experience Brain Research. 178: 49–61.
17. Brown, J.P. (2002). Effects of fatigue on ankle stability and proprioception in university sports people. British Sport Journal Medicine. 10: 306-10.
18. Abdolvahabi, Z., Shirpour Bonab, S., Rahmati, H., Salimie Naini, S. (2011). The Effects of ankle plantar flexor and knee extensor muscles fatigue on dynamic balance of the female elderly. Journal World Applied Sciences. 15(9): 1239-45.
19. Taylor, J.L., Butler, J.E., Gandevia, S.C. (2000). Changes in muscle afferents, motoneurons and motor drive during muscle fatigue. Europe Journal Applied Physiology. 83: 106-15.
20. Stephen, J.M., Jeffrey, A. (2011). Lower extremity fatigue increases complexity of postural control during a single-legged stance. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 8: 43.
21. Allison, G.T., Henry, S.M. (2002). The influence of fatigue on trunk muscle responses to sudden arm movements: a pilot study. Journal Clinical Biomechanics. 17: 414–7.
22. Vuillerme, N., Anziani, B., Rougier, P. (2007). Trunk extensor muscles fatigue affects undisturbed postural control mechanisms in young healthy adults. Journal Clinical Biomechanics (Bristol, Avon). 22: 489–94.
23. Yaggie, J.A. (2002). Effects of isokinetic ankle fatigue on the maintenance of balance and postural control. Journal Arch Physiology Medicine Rehabilitation. 83(2): 224-8.
24. Raisi, M., Kallashi, M., Chahar Naei Mofrad, M.R. (2012). Does metabolic fatigue have effects on static and dynamic postural controlin female athletes. Europe Journal Applied Physiology. 3(7): 3716-22.
25. Reimer, R.C., Wikstrom, E.A. (2009). Functional fatigue of the hip and ankle musculature cause similar alterations in single leg stance postural control. Journal Science Medicine Sport. 414: 1-6.
26. Soren, S.O., Henning, L. (2010). The navicular position test a reliable measure of the navicular bone position during rest and loading. International Journal Sports Physical Therapy. 6(3):191-9.
27. Susco, T., Valovich, T., Gansneder, B., Shultz, S. (2004). Balance recovers within 20 minutes after exertion as measured by the balance error scoring system. Journal Athletic Training. 39(3): 241-6.
28. Wilkins, J.C., McLeod, D.H., Perrin, B.M. (2004). Performance on the balance error scoring system decreases after fatigue. Journal Athletic Training. 39(2): 156-61.

۲۹. رستم‌خانی، حسین.، رحمانی‌نیا، فرهاد.، هادی، حمداله. (۱۳۸۸). اثر خستگی عضلات پروگزیمال و دیستال اندام تحتانی و خستگی ناشی از فعالیت تا حد واماندگی بر تعادل . نشریه پژوهش در علوم ورزشی. شماره ۲۳ . ص: ۸۲– ۶۹.

۳۰. موسوی، سیدحامد. (۱۳۸۹). ارتباط بین میزان قوس طولی داخلی کف پا با تعادل ایستا و پویا در پسران دانش آموز ۱۲ تا ۱۴ سال، نشریه طب ورزشی. شمارهٔ ۲. ص :۱۲۵– ۱۰۷.

31. Greig, M., Walker, J.C (2007). The influence of soccer-specific fatigue on functional stability. Journal Physical Therapy in Sport. 8: 185–90.
32. Corbeil, P., Blouin, J., Begin, F., Nougier, V., Teasdale, N. (2003). Perturbation of the postural control system induced by muscular fatigue. Gait & Posture. 18: 92–100.
33. Johnston, R.B., Howard, M.E., Cawley, P.W., Loose, G.M. (1993). Effect of lower extremity muscular fatigue on motor control performance. Journal Medicine Science Sports Exercise. 30: 1703–07.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]

34. Davidson, B.S., Madigan, M.L., Nussbaum, M.A. (2004). Effects of lumbar extensor fatigue and fatigue rate on postural sway. Europe Journal Applied Physiology. 93:183–9.
35. Hewett, T.E., Lindenfeld, T.N., Riccobene, J.V., Noyes, F.R. (1999). The effect of neuromuscular training on the incidence of knee injury in female athletes: A prospective study. American Journal Sports Medicine. 27: 699–705.
36. Nicolas, V., Baptiste, A., Patrice, R. (2007). Trunk extensor muscle fatigue affects undisturbed postural control in young healthy adults. Journal Clinical Biomechanics (Bristol, Avon). 24: 166- 72.
37. Vuillerme, N., Burdet, C., Isableu, B., Demetz, S. (2006). The magnitude of the effect of calf muscles fatigue on postural control during bipedal quiet standing with vision depends on the eye-visual target distance. Gait & Posture. 24: 166–72.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22520708.1393.12.8.7.4]