

The Effect of Change in Foot Position on Electrical Activity of Human Muscles (Review Article)

Ghasemi M.H¹, Anbarian M²

Abstract

Purpose: The importance of foot position has been widely accepted for biomechanics of various functional movements including fundamental motions (like walking and running), sport performance and job tasks. The aim of the present review study was to assess the effect of change in foot position on electrical activity of human muscles during various movement tasks.

Methods: Papers with Persian and English languages published in Google Scholar, PubMed, Science Direct, databases, SID, Magiran, and Irandoc databases were searched between years of 2000 and 2018. For extracting relevant papers, keywords of “Foot position”, “Foot wedge”, “Electromyography”, and “Muscle Activity” and a combination of them were used.

Results: Among the relevant articles, twenty studies were selected for review. Generally, previous studies have shown that the application of wedge in back and front regions of the foot increases and decreases the level of muscle activity, respectively (mainly lower extremity area), but the effects of medial and lateral foot wedges are unclear. Since different analysis methods of raw free signals can have a significant impact on the output value of electromyographic variable signals; comparing the results of different studies should be undertaken with caution.

Conclusion: It seems that the limitations of previous studies in examining the effects of changes in the foot position are related to the following issues. Non-use of people with various types of foot abnormalities; lack of assessment of the trunk muscles activation; lack of using appropriate electromyography signal processing methods; and application of the wooden wedges for changing the foot position instead of real foot orthotics. Therefore, there is a need for further studies on the above issues.

Keywords: Foot position, Foot wedge, Electromyography, Muscle Activity

Received: 2018.06.14 Accepted: 2018.10.01

تغییر در وضعیت قرارگیری پا بر فعالیت الکتریکی عضلات بدن انسان (مطالعه مروری)

محمدحسین قاسمی^۱، مهرداد عنبریان^۲

هدف: اهمیت وضعیت پا بر بیومکانیک حرکات عملکردی مختلف از جمله حرکات پایه (مانند راه رفتن و دویدن)، مهارت های مختلف ورزشی و وظایف شغلی مورد قبول همگان است. هدف از انجام مطالعه مروری حاضر بررسی اثر تغییر در وضعیت قرارگیری پا بر میزان فعالیت الکتریکی عضلات بدن انسان حین انجام وظایف حرکتی مختلف بود.

روش بررسی: پژوهش های فارسی و انگلیسی چاپ شده در بانک های اطلاعاتی Google Scholar، PubMed، ScienceDirect، Web of science، SID، Magiran، و Irandoc و با محدودیت زمانی سال های ۲۰۱۸-۲۰۰۰ جستجو شد. از کلید واژه های وضعیت پا (Foot Position)، وج پا (Foot Wedge)، الکترومایوگرافی (Electromyography) و فعالیت عضله (Muscle Activity) و ترکیبی از آن ها برای استخراج مطالعات مرتبط استفاده شد.

یافته ها: از میان مقالات مرتبط با موضوع، ۲۰ پژوهش برای بررسی انتخاب شد. به طور کلی، مطالعات پیشین نشان داده اند که

استفاده از وج پشت و جلوی پا به ترتیب باعث افزایش و کاهش سطح فعالیت عضلات (عمدتاً ناحیه پایین تنه) می شود؛ اما اثرات استفاده از وج داخلی و خارجی پا نامشخص است. از آنجا که روش های تجزیه و تحلیل متفاوت سیگنال های خام دریافت شده می تواند به مقدار متغیرهای خروجی سیگنال الکترومایوگرافی اثر مهمی بگذارد؛ مقایسه نتایج مطالعات مختلف باید با احتیاط صورت بگیرد.

نتیجه گیری: به نظر می رسد که محدودیت و نقایص موجود در مطالعات پیشین در زمینه بررسی اثرات تغییر در وضعیت قرارگیری پاها، شامل موارد ذیل است. عدم به کارگیری افراد مبتلا به انواع ناهنجاری و بدشکلی های ساختاری پا؛ عدم بررسی سطح فعالیت عضلات ناحیه تنه؛ عدم تحلیل سیگنال الکترومایوگرافی عضلات با روش های مناسب و جدید؛ و استفاده از ابزارهایی نظیر وج چوبی جهت تغییر وضعیت پا به جای کفی های طراحی و ساخته شده که در شرایط واقعی استفاده می شوند. بنابراین، نیاز به مطالعات آتی در زمینه موارد مطرح شده وجود دارد.

کلمات کلیدی: وضعیت پا، وج پا، الکترومایوگرافی، فعالیت عضله

ORCID: 0000-0002-3605-5586

نویسنده مسئول: مهرداد عنبریان، anbarian@basu.ac.ir

آدرس: همدان، دانشگاه بوعلی سینا، دانشکده علوم ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی

۱- دانشجوی دکتری رشته بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- استاد گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

مقدمه

کفی های طبی را بر الگوی حرکات پایه ای مانند راه رفتن و دویدن گزارش کرده اند (۸-۳، ۱). همچنین، در تحقیقات پیشین موقعیت های مختلف مچ پاها (مانند تغییر در ارتفاع پاشنه) از استراتژی های مهم مورد استفاده برای به کارگیری عضلات انتخابی حین انجام تکنیک اسکات و سایر وظایف کاری بوده اند (۱۲-۹). این دسته از مطالعات نشان داده اند که تغییر در وضعیت مفاصل مچ پا می تواند باعث ایجاد تغییرات مهم در بیومکانیک حرکت شود. با این حال، مطابق با مطالعه مروری انجام شده در این زمینه که توسط Mills و همکاران (۵) انجام شده است، اثرات طراحی مختلف و تغییرات ابعادی در کفی کفش بر بسیاری از جنبه های حرکتی همچنان مورد بحث است (۵).

الکترومایوگرافی^۲ یک تکنیک آزمایشگاهی نوین است که به مطالعه عملکرد عضله از طریق تحلیل سیگنال های الکتریکی تولید شده حین انقباضات عضلانی می پردازد. امروزه از این تکنیک جهت بررسی عملکردهای مختلف مربوط به وضعیت های قامتی، حرکات ورزشی، وظایف کاری و رژیم های تمرینی- درمانی استفاده می شود. سیگنال های الکترومایوگرافی نشان دهنده میزان فعالیت عضلات،

اهمیت وضعیت پا بر بیومکانیک حرکات عملکردی مختلف از جمله حرکات پایه (مانند راه رفتن و دویدن)، مهارت های مختلف ورزشی و وظایف شغلی مورد قبول همگان است (۱). یکی از وسایل کاربردی جهت تغییر در وضعیت مفاصل پا حین انجام وظایف حرکتی، استفاده از کفی های مختلف و یا انواع متفاوت وج^۱ (گوه) در سطح زیرین کف پا است. امروزه با گسترش علم و تکنولوژی، این گونه وسایل در ابعاد و جنس های مختلف و با اهداف متفاوت طراحی می شوند. این دسته از وسایل کمکی- اورتوتیکی برای تکمیل سطوح اتکالی پا (عمدتاً در نواحی پاشنه و پنجه) و در جهت تصحیح، تغییر شکل، جلوگیری و یا بهبود ناهنجاری های مختلف ناحیه پا و یا حتی تقویت توان مفصلی به کار می روند. به طور کلی، تغییر در طراحی و ابعاد این گونه وسایل می تواند به شکل قابل ملاحظه ای وضعیت مفاصل مچ پا را تغییر دهد (۲). این مسئله می تواند اثرات مهمی بر الگوی حرکات مختلف داشته باشد.

مطالعات متعددی به بررسی اثرات مختلف انواع کفی طبی پرداخته اند. برای مثال، مطالعات متعددی اثرات مختلف

² Electromyography

¹ Wedge

حاضر باشد.

- به بررسی اثر تغییر در وضعیت قرارگیری پاها بر فعالیت الکترومایوگرافی عضلات مختلف بدن پرداخته باشد. در مجموع، تعداد ۲۰ پژوهش شامل ۱۷ مقاله پژوهشی اصیل (۱۶ مورد به زبان انگلیسی و یک مورد به زبان فارسی)، ۲ مقاله مروری (هر دو به زبان انگلیسی) و یک پایان‌نامه (به زبان فارسی) برای بررسی در این مطالعه مروری انتخاب شدند.

یافته‌ها

بررسی اولیه مطالعات انتخاب شده: پژوهش‌های انتخاب شده از نظر نحوه انجام وظایف حرکتی، نوع آزمودنی‌ها، تغییرات وضعیتی پا و محل انتخاب عضلات، مورد بررسی اولیه قرار گرفتند (جدول ۱). نتایج اولیه مرور منابع به شرح زیر بود: ۱- از تعداد ۲۰ پژوهش مورد بررسی، ۸ پژوهش در زمینه انجام حرکات پایه (مانند ایستادن، راه رفتن، دویدن و تغییر وضعیت نشسته به ایستاده)، ۹ پژوهش در زمینه حرکات ورزشی (مانند حرکات اسکات، لانژ و بالابردن پاشنه) و ۳ پژوهش در زمینه انجام وظایف شغلی (مانند برداشتن بار) انجام شده بود. ۲- در ۱۸ پژوهش به اثرات تغییر وضعیت پا بر فعالیت الکترومایوگرافی اندام تحتانی و در ۴ پژوهش به اثرات تغییر وضعیت پا بر فعالیت الکترومایوگرافی عضلات ناحیه تنه اشاره شده بود. ۳- در ۱۹ پژوهش نمونه آزمودنی‌ها تنها شامل افراد سالم شده است و تنها در یک پژوهش اثرات تغییر وضعیت پا در افراد غیرسالم (با پای پروریت) مورد بررسی قرار گرفته بود. در بین مطالعات انجام شده، ۱۲ پژوهش به شناسایی اثرات وج پشت پا، ۳ پژوهش برای وج جلوی پا، ۸ پژوهش برای وج داخل پا و ۶ پژوهش به بررسی اثرات استفاده از وج خارج پا پرداخته بودند.

نتایج مطالعات بر اساس نوع وظیفه انجام شده: به طور کلی، مطالعات پیشین در ۳ حوزه وظایف حرکتی پایه (مانند ایستادن، راه رفتن و دویدن)، حرکات عملکردی ورزشی (مانند حرکات اسکات و لانژ) و وظایف شغلی (مانند برداشتن بار) به بررسی اثرات تغییر در وضعیت پا

هماهنگی عضلانی، زمان بندی فعالیت عضله، فرکانس فعالیت عضله و یا حتی استراتژی‌های کنترل عصبی-عضلانی در طول انجام وظایف ایستا و یا پویا می‌باشند (۱۳). همچنین، با استفاده از این تکنیک می‌توان به بررسی میزان اثربخشی و یا عدم اثرگذاری استفاده از مداخلات مختلف (مانند توکفشی، کفش، بریس و غیره) پرداخت. یکی از این مداخلات توکفشی است که با اهداف مختلفی در زمینه‌های متفاوت از جمله محیط‌های کاری، ورزشی و یا توانبخشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این در حالی است که با شناسایی تأثیرات مختلف تغییر در وضعیت پا می‌توان به طراحی توکفشی‌ها و یا حتی کفش‌های مختلف برای محیط‌های عمومی، ورزشی، توانبخشی و یا حتی شغلی پرداخت. بنابراین، هدف از انجام مطالعه مروری حاضر بررسی اثر تغییر در وضعیت قرارگیری پاها بر میزان فعالیت الکتریکی عضلات بدن انسان حین انجام وظایف حرکتی مختلف بود.

روش بررسی

برای انجام پژوهش حاضر، تحقیقات منتشر شده از تاریخ ۲۰۰۰-۲۰۱۸ که به شناسایی اثرات تغییر در وضعیت قرارگیری پاها بر میزان فعالیت الکتریکی عضلات بدن انسان حین انجام وظایف حرکتی مختلف پرداخته بودند، مورد بررسی قرار گرفتند. در این مطالعه، پژوهش‌های مرتبط با جستجوی واژه‌های کلیدی (مانند وضعیت پا، وج پا، الکترومایوگرافی، فعالیت عضله و ترکیبی از این واژه‌ها) در پایگاه‌های تخصصی Web of Science، PubMed، SID، Magiran و Irandoc صورت گرفت. در تمامی این پایگاه‌ها، پژوهش‌های انتخاب شده به شیوه الکترونیکی و از میان مقالات چاپ شده انجام گرفت. معیار ورود به تحقیق برای پژوهش‌های انتخاب شده شامل موارد زیر بود:

- مقالات (و یا پایان‌نامه‌ها) باید به زبان فارسی و یا انگلیسی باشند.
- مقالات باید در نشریات علمی-پژوهشی و یا سطوح بالاتر چاپ شده باشند.
- عنوان یا خلاصه پژوهش مرتبط با اهداف مطالعه مروری

جدول ۱: ویژگی های مهم مطالعات مورد بررسی شده

منبع	آزمودنی ها	نوع وظیفه	متغیرهای مستقل	عضلات مورد بررسی
Boyden و همکاران (۱۶) (۲۰۰۰)	۶ نفر مرد سالم	اسکات پارالل	وجها با ارتفاع مختلف در پشت پا	ناحیه چهار سر ران
Stefanyshyn و همکاران (۱۸) (۲۰۰۰)	۱۳ نفر زن سالم	راه رفتن	وج صفر، ۱۰ درجه داخل و خارج	نواحی ران و ساق پا
Bird و همکاران (۷) (۲۰۰۳)	۱۳ نفر مرد و زن سالم	راه رفتن	انواع وج داخل، خارج و عقب پا	ناحیه تنه
Kongsgaard و همکاران (۱۲) (۲۰۰۶)	۱۳ نفر مرد و زن سالم	اسکات تک پا	وضعیت پا (طبیعی و پلاتنارفلکشن)	نواحی ران و ساق پا
Bird و Murley (۶) (۲۰۰۶)	۱۵ نفر با پای پرونیت	راه رفتن	وج صفر، ۱۵ و ۳۰ درجه Inversion	ناحیه ساق پا
Ribeiro و همکاران (۱۱) (۲۰۰۷)	۸ نفر مرد و زن سالم	اسکات تک پا	وج جلو، عقب، داخل و خارج پا	نواحی ران و ساق پا
Frohm و همکاران (۱۷) (۲۰۰۷)	۱۴ نفر مرد سالم	اسکات جفت پا	وضعیت پا (طبیعی و پلاتنارفلکشن)	نواحی ران و ساق پا
Edwards و همکاران (۱۴) (۲۰۰۸)	۲۵ نفر زن سالم	نشستن به ایستادن	وج ۱، ۳ و ۵ سانتی پشت پا	پهن داخلی و خارجی
Murley و همکاران (۱) (۲۰۰۹)	مرور مطالعات پیشین	راه رفتن و دویدن	انواع توکفشی و وضعیت پا	نواحی تنه و پایین تنه
Mills و همکاران (۵) (۲۰۱۰)	مرور مطالعات پیشین	راه رفتن	انواع آرتوزهای پا	نواحی ران و ساق پا
رضی (۱۸) (۲۰۱۱)	۱۰ نفر مرد سالم	اسکات با وزنه	وج صفر، ۲، ۳ و ۵ سانتی پشت پا	نواحی تنه و پایین تنه
Yoo و Kim (۱۹) (۲۰۱۳)	۲۰ نفر مرد سالم	لانژ	وج جلو، پشت، داخل و خارج پا	پهن داخلی و خارجی
Murray و همکاران (۹) (۲۰۱۳)	۲۰ نفر مرد و زن سالم	اسکات جفت پا	وضعیت های مختلف قرارگیری پاها	ناحیه چهار سر ران
Samimi و همکاران (۴) (۲۰۱۴)	۱۵ نفر مرد سالم	ایستادن جفت پا	وج خنثی، داخل و خارج پاشنه	نواحی ران و ساق پا
Hoo و Suk (۲۱) (۲۰۱۴)	۱۰ نفر زن سالم	برداشتن بار	وضعیت طبیعی و ۴۵ درجه پا	نواحی تنه و پایین تنه
Reddy و همکاران (۱۵) (۲۰۱۴)	۳۰ نفر سالم	ایستادن طبیعی	وضعیت های پا (طبیعی، Supination و Pronation)	ناحیه ران پا
Yoo (۲۳) (۲۰۱۶)	۹ نفر زن سالم	اسکات	وج طبیعی، جلو و پشت پا	ناحیه ران پا
Akuzawa و همکاران (۲۰) (۲۰۱۷)	۱۴ نفر مرد سالم	بالا بردن پاشنه	حالت خنثی، اداکشن و اداکشن پا	ناحیه ساق پا
عنبریان و همکاران (۲۲) (۲۰۱۸)	۱۷ نفر مرد سالم	برداشتن بار	وج خنثی و پشت پا	ناحیه تنه
Ghasemi و همکاران (۲) (۲۰۱۸)	۹ نفر مرد سالم	برداشتن بار	وج خنثی، داخل، جلو و پشت پا	نواحی ران و ساق پا

عضلات مختلف اندام تحتانی حین راه رفتن اثرگذار باشد (۴).

نتایج مطالعات مربوط به حرکات عملکردی ورزشی: Boyden و همکاران (۱۶) نشان دادند که حین انجام حرکت اسکات پارالل با ۶۵ و ۷۵ درصد یک تکرار بیشینه، حداکثر سطح فعالیت و میانگین دوره فعالیت عضلات پهن داخلی، راست رانی و پهن خارجی در انواع وضعیت های مختلف پا (شامل ۱۰ درجه اینورشن، طبیعی، ۱۰ و ۲۰ درجه Eversion) تغییر نمی کند (۱۶). در مقابل، Kongsgaard و همکاران (۱۲) نشان دادند که حین انجام حرکت اسکات تک پا و در وضعیت شیب ۲۵ درجه نزولی پاها (افزایش ارتفاع پاشنه ها)، سطح فعالیت عضلات چهار سر ران (پهن داخلی، راست رانی و پهن خارجی) و میزان بار و کشش روی تاندون کشکک افزایش می یابد (۱۲). در یک مطالعه دیگر، Ribeiro و همکاران (۱۱) نشان دادند که میزان فعالیت الکتریکی عضلات اندام تحتانی (شامل عضلات پهن داخلی و خارجی، راست رانی، دوسر رانی، دوقلوی خارجی و درشت نئی قدامی) در پنج موقعیت مختلف پا (موقعیت خنثی، وج ۱۰ درجه نزولی، صعودی، داخلی و خارجی) حین انجام حرکت اسکات تک پا تفاوت معناداری پیدا نمی کند (۱۱). از طرف دیگر، Frohm و همکاران (۱۷) نشان دادند که قرارگیری در وضعیت شیب نزولی باعث افزایش معنادار سطح فعالیت عضلات دوقلو و پهن داخلی حین انجام حرکت اسکات می شود (۱۷). Razzi (۱۸) نشان داد که با افزایش ارتفاع پاشنه کاهش معناداری در فعالیت عضله درشت نئی قدامی حین انجام حرکت اسکات رخ می دهد؛ اما برای عضلات دوقلو داخلی، راست-رانی، پهن داخلی و خارجی، دو سر رانی، نزدیک کننده طویل و راست کننده ستون فقرات تفاوت معناداری مشاهده نشد (۱۸). همچنین Kim و Yoo (۱۹) نشان دادند که سطح فعالیت عضلات پهن داخلی و خارجی حین قرارگیری روی وج جلویی در پایین ترین مقدار و روی وج پشتی در بالاترین مقدار حین انجام حرکت لائز بود (۱۹). Murray و همکاران (۹) نیز نشان دادند که حین انجام حرکت اسکات و در وضعیت قرارگیری یک پا جلو و یک پا عقب، سطح فعالیت عضلات پهن داخلی، راست رانی و پهن خارجی

پرداخته اند که در اینجا به بررسی هر حیطة می پردازیم: نتایج مطالعات مربوط به وظایف حرکتی پایه: Stefanyshyn و همکاران (۸) نشان دادند که در مرحله ایستایش^۱ راه رفتن، سطح فعالیت عضلات راست رانی،^۲ نعلی^۳ و نازک نئی طویل^۴ حین افزایش ارتفاع وج پشت پا بیشتر می شود (۸). Bird و همکاران (۷) نیز بیان نمودند که حین استفاده از وج پشت، داخل و خارج پا تغییری در سطح فعالیت عضلات راست کننده ستون فقرات و سرینی میانی حین راه رفتن وجود ندارد (۷). در ادامه، Murley و Bird (۶) نشان دادند که حداکثر فعالیت عضله درشت نئی قدامی حین راه رفتن در وضعیت های استفاده از کفش، وج صفر، ۱۵ و ۳۰ درجه Inversion (و برای عضله نازک نئی طویل تنها در وضعیت وج ۱۵ درجه Inversion) نسبت به وضعیت پابرهنه افزایش می یابد (۶). Edwards و همکاران (۱۴) نیز نشان دادند که حین تغییر وضعیت نشسته به ایستاده و متعاقب افزایش ارتفاع پاشنه پا، سطح فعالیت عضلات پهن داخلی (در وج ۵ سانتیمتر) و پهن خارجی (در وج های ۳ و ۵ سانتیمتر) افزایش معناداری پیدا می کند، اما نسبت فعالیت عضله پهن داخلی به خارجی تغییر نمی یابد (۱۴). همچنین در یک مطالعه مروری، Murley و همکاران (۱) بیان نمودند که کفش های پاشنه بلند سطح فعالیت عضلات ناحیه تنه و پایین تنه را حین راه رفتن و دویدن افزایش می دهند (۱). Mills و همکاران (۵) نیز در یک مطالعه مروری دیگر بیان نمودند که به دلیل تغییر خواص مواد و شکل مختلف انواع کفی کفش، امکان مقایسه نتایج برای متغیرهای بیومکانیکی مختلف (از جمله سطح فعالیت عضلات اندام تحتانی) وجود ندارد (۵). در ادامه، Reddy و همکاران (۱۵) نشان دادند که حین انقباض عضلات چهار سر ران در حالت تحمل وزن، سطح فعالیت عضلات پهن داخلی و خارجی حین قرارگیری پاها در وضعیت Pronation افزایش می یابد (۱۵). نهایتاً، Samimi و همکاران (۴) نشان دادند که استفاده از وج داخلی و خارجی پاشنه (با شیب ۴/۶ درجه) نمی تواند بر سطح فعالیت

¹ Stance Phase

² Rectus Femoris

³ Soleus

⁴ Peroneus Longus

همکاران (۱۱)، رضی (۱۸) و Samimi و همکاران (۴) نتایج متفاوتی را ارائه نمودند (۴،۱۱،۱۸). به طور کلی، گزارش شده است که حین استفاده از وج پشتی پا سطح فعالیت عضلات این ناحیه افزایش خواهد یافت؛ اما رضی (۱۸) نشان داد که با افزایش ارتفاع پاشنه سطح فعالیت عضله درشت‌نئی قدامی حین انجام حرکت اسکات کاهش معناداری می‌یابد (۱۸).

اثرات تغییر وضعیت پا بر عضلات ناحیه ران: در بسیاری از مطالعات انتخاب شده، اثرات تغییر وضعیت پا بر سطح فعالیت عضلات ناحیه ران بررسی شده است. نتایج مطالعات متعددی نشان دهنده تغییر در سطح فعالیت عضلات ناحیه ران حین ایجاد تغییرات وضعیتی پا بود (۱،۲،۸،۹،۱۲،۱۴،۱۵،۱۷،۱۹،۲۱). این دسته از مطالعات عمدتاً گزارش کردند که سطح فعالیت عضلات ناحیه ران در وضعیت افزایش ارتفاع پاشنه افزایش می‌یابد. در مقابل، برخی از محققان گزارش نمودند که سطح فعالیت عضلات این ناحیه در وضعیت‌های مختلف قرارگیری پا تغییرات معناداری پیدا نمی‌کند (۴،۱۱،۱۶،۱۸).

اثرات تغییر وضعیت پا بر عضلات ناحیه تنه: برای عضلات این ناحیه، تنها تعداد ۵ مطالعه از مطالعات انتخاب شده به بررسی اثرات تغییر وضعیتی پا پرداختند. از این تعداد، سه مقاله تغییر در سطح فعالیت عضلات این ناحیه را متعاقب تغییرات وضعیتی پاها گزارش کردند (۱،۲۱،۲۲). اما دو مقاله دیگر عدم تغییر قابل توجه در سطح فعالیت عضلات این ناحیه متعاقب تغییرات وضعیتی پاها گزارش نمودند (۷،۱۸).

نتایج مطالعات بر اساس متغیر الکترومایوگرافی مورد بررسی: در بسیاری از مطالعات انتخاب شده، سطح فعالیت عضلات و حداکثر فعالیت عضلات از متغیرهای اصلی الکترومایوگرافی مورد بررسی بوده اند. به هر حال، Bird و همکاران (۷) زمان شروع فعالیت عضلات، Edwards و همکاران (۱۴) و Kim و Yoo (۱۹) نسبت فعالیت عضلات پهن داخلی به خارجی و Yoo (۲۳) نسبت فعالیت عضلات چهار سر ران به همسترینگ را مورد بررسی قرار دادند (۷،۱۴،۱۹،۲۳). به علاوه، Anbarian و همکاران (۲۲)

افزایش معناداری پیدا می‌کند (۹). در انتها، Akuzawa و همکاران (۲۰) نشان دادند که حین انجام تمرین بالابردن پاشنه در وضعیت ایستاده، سطح فعالیت عضلات درشت‌نئی خلفی، نازک‌نئی طویل، خم‌کننده طویل انگشتان و دوقلوی داخلی در ۳ وضعیت طبیعی، ۳۰ درجه Abduction و Adduction پا تغییرات معناداری از خود نشان می‌دهد (۲۰).

نتایج مطالعات مربوط به وظایف شغلی: در این زمینه Suk و Hoo (۲۱) نشان دادند که هنگام برداشتن یک شی، سطح فعالیت عضلات درشت‌نئی قدامی، دوقلوی داخلی، پهن خارجی و خاصره‌ای - دنده‌ای حین ایجاد زاویه ۴۵ درجه پاها در مقایسه با وضعیت طبیعی تغییر معناداری می‌یابد (۲۱). عنبریان و همکاران (۲۲) نشان دادند که قرارگیری وج پشت پا، میزان فرکانس میانه عضله بازکننده ستون فقرات سمت راست را حین نگه داشتن استاتیک بار تغییر می‌دهد و همچنین باعث کاهش معنادار میزان فعالیت عضلات بازکننده ستون فقرات هر دو طرف و همچنین عضله چند سر سمت چپ حین برداشتن دینامیکی بار می‌شود (۲۲). همچنین Ghasemi و همکاران (۲) نشان دادند که در وضعیت وج جلویی و داخلی، سطح فعالیت عضلات پهن داخلی و خارجی و همچنین عضله نعلی به طور معناداری کاهش می‌یابد (۲).

نتایج مطالعات بر اساس عضلات نواحی مختلف بدن: با توجه به اینکه تغییرات وضعیت پاها می‌تواند بر سطح فعالیت عضلات مختلف بدن اثرات متفاوتی داشته باشد، در اینجا به نحوه اثرگذاری آن در نواحی مختلف بدن می‌پردازیم:

اثرات تغییر وضعیت پا بر عضلات ناحیه ساق پا: تعداد ۹ مطالعه از مطالعات انتخاب شده به بررسی اثرات تغییر وضعیت پا بر سطح فعالیت عضلات ناحیه ساق پا پرداخته اند. نتایج برخی مطالعات نشان‌دهنده تغییر در سطح فعالیت عضلات این ناحیه حین ایجاد تغییر در وضعیت پاها بود (۱،۲،۸،۶،۱۷،۲۰،۲۱)؛ اما Ribeiro و

¹ Erector Spinae Muscle

فعالیت عضلات اندام تحتانی حین قرارگیری روی وج داخلی و ایجاد اداکشن پا تغییرات معناداری نسبت به وضعیت های دیگر دارد (۱۹،۲۰). در مقابل، در ۵ مطالعه دیگر نشان داده شد که تغییر معناداری در سطح فعالیت عضلات مختلف بدن حین استفاده از وج داخل پا و یا ایجاد اینورشن پا نسبت به وضعیت های دیگر ایجاد نمی شود (۴،۷،۹،۱۱،۱۶).

وج خارج پا (وضعیت Eversion پا): Kim و Yoo (۲۰۱۳) نشان دادند که سطح فعالیت عضلات پهن داخلی و خارجی حین قرارگیری روی وج خارجی پا تغییرات معناداری نسبت به وضعیت های دیگر حین انجام حرکت لانژ دارد (۱۹). Akuzawa و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان دادند که حین انجام تمرین بالابردن پاشنه در وضعیت ایستاده، سطح فعالیت عضلات اندام تحتانی در وضعیت ۳۰ درجه اداکشن پا تغییرات معناداری نسبت به وضعیت های دیگر از خود نشان می دهد (۲۰). در مقابل، نتایج ۵ پژوهش نشان داد که حین استفاده از وج خارج پا تغییر معناداری در سطح فعالیت عضلات مختلف بدن ایجاد نمی شود (۴،۷،۹،۱۱،۱۶).

بحث و نتیجه گیری

هدف از انجام مطالعه مروری حاضر، بررسی اثر تغییر در وضعیت قرارگیری پاها بر میزان فعالیت الکتریکی عضلات بدن انسان بود. به طور کلی، تغییرات وضعیتی پاها در وظایف حرکتی مختلف با اهداف متفاوتی ایجاد می شود. بسیاری از مطالعات پیشین نشان داده اند که حین انجام وظایف حرکتی پایه، سطح فعالیت عضلات مختلف بدن متعاقب تغییر در وضعیت قرارگیری پاها تغییر می کند (۱،۶،۸،۱۴،۱۵)؛ اما در دو مطالعه عدم تأثیرگذاری وضعیت قرارگیری پاها گزارش شده است (۴،۷). بنابراین، به نظر می رسد که می توان با استفاده از وج پا و تغییر در وضعیت قرارگیری پاها الگو و سطح فعالیت عضلات را تغییر داد. این مسئله می تواند به خصوص برای تجویز توکفشی های خاص برای محیط های عمومی و یا حتی افراد با پاهای ناهنجار مفید واقع شود. در همین زمینه، Soares و همکاران (۳) طی یک مطالعه نشان دادند که وج ها می توانند تأثیرات مثبتی بر الگوی بیومکانیکی راه رفتن داشته باشند (۳). از

علاوه بر میانگین و حداکثر سطح فعالیت عضلات ناحیه تنه، میزان فرکانس میانه این عضلات را نیز بررسی نمودند (۲۲).

نتایج مطالعات بر اساس وضعیت قرارگیری پاها: در این زمینه، مطالعات انتخاب شده به بررسی انواع مختلف وج پرداخته اند که در اینجا به صورت تک به تک مورد بررسی قرار می گیرند:

وج پشت پا: در زمینه شناسایی اثرات استفاده از وج گذاری در این ناحیه که منجر به افزایش ارتفاع پاشنه پا می شود، نتایج ۸ مطالعه نشان داد که سطح فعالیت عضلات (عمدتاً ناحیه پایین تنه) افزایش می یابد (۱،۲،۸،۱۲،۱۴،۱۷،۱۹،۲۱)؛ اما در ۴ پژوهش تفاوت معناداری گزارش نشد (۴،۷،۱۱،۱۸). حتی عنبریان و همکاران (۲۲) گزارش نمودند که وج پاشنه باعث کاهش معنادار میزان فعالیت عضلات منتخب ناحیه تنه حین برداشتن دینامیکی بار می شود (۲۲).

وج جلوی پا: Kim و Yoo (۱۹) نشان دادند که حین انجام حرکت لانژ در وضعیت وج جلوی، سطح فعالیت عضلات پهن داخلی و خارجی در پایین ترین مقدار می باشد (۱۹). در همین راستا، Ghasemi و همکاران (۲) گزارش نمودند که سطح فعالیت عضلات پهن خارجی و نعلی حین استفاده از وج جلوی پا هنگام برداشتن بار کاهش می یابد (۲). Yoo (۲۳) نیز بیان نمود که در این وضعیت نسبت فعالیت عضلات همسترینگ به چهار سر ران نسبت به وضعیت طبیعی و وج نزولی افزایش معناداری دارد (۲۳). با این حال، Ribeiro و همکاران (۱۱) تفاوت معناداری را در سطح فعالیت عضلات ناحیه پایین تنه حین استفاده از این نوع وج مشاهده نکردند (۱۱).

وج داخل پا (وضعیت Inversion پا): Bird و Murley (۶) نشان دادند که حداکثر فعالیت عضلات درشت نئی قدامی و نازک نئی طویل در انواع مختلف وج داخلی (۱۵ و ۳۰ درجه Inversion) پا نسبت به وضعیت پابرنه افزایش می یابد (۶). در مقابل، Ghasemi و همکاران (۲) نشان دادند که کاهش فعالیت عضلات اندام تحتانی در وضعیت وج داخلی مشاهده می شود (۲). همچنین، Kim و Yoo (۱۹) و Akuzawa و همکاران (۲۰) نیز بیان نمودند که سطح

می تواند بر متغیرهای مختلف الکترومایوگرافیکی (مانند سطح فعالیت، زمان شروع فعالیت عضله، زمان رسیدن به حداکثر فعالیت و سایر متغیرها) اثرگذار باشد (۱۳). همچنین، در ۳ مطالعه به اثرگذاری تغییرات وضعیتی پا بر سطح فعالیت عضلات ناحیه تنه اشاره شده است (۱،۲۱،۲۲). این مسئله ممکن است با توجه به نتایج مطالعه Sato و همکاران (۱۰) توجیه شود؛ زیرا آن ها نشان دادند که تغییر موقعیت مچ پا به سمت پلانترفلکشن باعث تغییرات جا به جایی کمتر تنه افراد حین اجرای اسکات می شود و این وضعیت به کاهش خطر ابتلا به صدمات در ناحیه کمر و پشت کمک خواهد کرد (۱۰). با این حال، یافته‌های ۲ پژوهش عدم تأثیرگذاری وج پا بر سطح فعالیت عضلات ناحیه تنه را بیان نموده‌اند (۷،۱۸) که این مسئله ممکن است به دلیل تفاوت در روش های انجام آزمون و تحلیل داده های مربوطه باشد.

همچنین، در بسیاری از مطالعات پیشین سطح فعالیت و حداکثر فعالیت عضلات از متغیرهای اصلی الکترومایوگرافیکی مورد بررسی بوده اند و تنها در چند مطالعه محدود به بررسی سایر متغیرهای مختلف همچون زمان شروع فعالیت عضلات (۷)، نسبت فعالیت عضلات داخلی به خارجی (۱۴،۱۹)، نسبت فعالیت عضلات همسترینگ به چهار سر ران (۲۳) و میزان فرکانس میانه (۲۲) پرداخته شده است. فرکانس میانه شاخصی از طیف فرکانسی سیگنال فعالیت عضله می باشد و با سرعت هدایت در بافت عضلانی و نرخ کدگذاری (که یکی از مکانیسم های افزایش نیرو در عضله است) مرتبط است (۲۴،۲۵). همچنین، هم انقباضی نیز متغیر دیگری است که به بررسی وضعیت پایداری مفصل پرداخته و به عنوان فاکتوری مهم برای نشان دادن ناکارآمدی حرکات انسان در نظر گرفته می شود (۲۵،۲۶). تجزیه و تحلیل این گونه متغیرها می تواند به درک بهتر نحوه اثرگذاری انواع وج بر فعالیت عضلات بدن کمک نماید. به علاوه، متغیرهای جدیدتری همچون نسبت فعالیت عضلات موافق به مخالف، زمان بندی فعالیت عضلات، زمان رسیدن به حداکثر فعالیت و الگوی فعالیت عضله در مطالعات جدیدتر در حال گسترش هستند (۱۳). متاسفانه، در مطالعات پیشین به این متغیرهای مهم

طرف دیگر، در ۵ مطالعه نشان داده شده است که حین انجام تمرینات ورزشی مختلف، سطح فعالیت عضلات حین استفاده از انواع مختلف وج پا تغییر می کند (۹،۱۲،۱۷،۱۹،۲۰). در مقابل، نتایج ۳ پژوهش نشان دهنده عدم تأثیرگذاری انواع مختلف وج پا بر سطح فعالیت عضلات بودند (۱۱،۱۶،۱۸). استفاده از وج در زمینه انجام تمرینات ورزشی با هدف افزایش سطح فعالیت عضلات و فشار تمرین انجام می شود. به طور کلی، استفاده از وج پشت پا باعث افزایش سطح فعالیت عضلات چهار سر ران می شود؛ هر چند که برخی از مطالعات نیز نتایج متناقضی را نشان داده‌اند. همچنین، ۳ پژوهش به بررسی اثرات مختلف استفاده از وج پا بر سطح فعالیت عضلات حین انجام وظایف کاری پرداخته و همگی اثرگذاری این دسته از مداخلات را نشان داده‌اند (۲،۲۱،۲۲)؛ اما سطح فعالیت عضلات در یک مطالعه کاهش (۲) و در مطالعه دیگری افزایش پیدا کرد (۲۲). به نظر می رسد که دلیل ایجاد این تناقضات به روش انجام آزمون ها، استفاده از روش های تجزیه و تحلیل متفاوت و نهایتاً آزمودنی های مختلف برمی گردد.

همچنین، در ۶ مورد از پژوهش های پیشین نشان داده شده است که تغییر در وضعیت پاها باعث ایجاد تغییر در سطح فعالیت عضلات ناحیه ساق پا می شود (۱،۲،۶،۸،۱۷،۲۰،۲۱)؛ در حالی که در ۳ پژوهش نتایج متفاوتی ارائه شده است (۴،۱۱،۱۸). به علاوه، در ۱۰ مطالعه نشان داده شده است که تغییر در وضعیت پاها باعث ایجاد تغییر در سطح فعالیت عضلات ناحیه ران می شود (۱،۲،۶،۸،۱۲،۱۴،۱۵،۱۷،۱۹،۲۱)؛ اما ۴ مطالعه نتایج متفاوتی گزارش دادند (۴،۱۱،۱۶،۱۸). هر چند که نتایج متناقضی در زمینه اثرگذاری انواع وج پا بر سطح فعالیت عضلات ناحیه اندام تحتانی گزارش شده است؛ اما در مجموع به نظر می رسد سطح فعالیت عضلات اندام تحتانی در وضعیت های مختلف قرارگیری پا تغییر می کند. برای توجیه این نتایج ضد و نقیض، ذکر این نکته لازم است که روش های تجزیه و تحلیل متفاوت سیگنال های خام دریافت شده می تواند به مقدار متغیرهای خروجی اثر مهمی بگذارد. برای مثال، نشان داده شده است که تغییر در میزان فرکانس قطع و استفاده از روش های تحلیل متفاوت

توکفشی های موجود در بازار دارا می باشد. این مسئله می تواند به عدم تعمیم پذیری نتایج این دسته از مطالعات در نتیجه غیر کاربردی بودن استفاده از وج چوبی در کفش و جهت انجام وظایف حرکتی مختلف منجر شود. همچنین، بسیاری از مطالعات پیشین به بررسی اثرات تغییر وضعیت پا بر روی افراد سالم پرداخته اند و تنها یک پژوهش روی افراد غیر سالم (با پای پرونیت) انجام شد (۶). این در حالی است که یکی از مزیت های مهم استفاده از توکفشی ها تصحیح، تغییر شکل، جلوگیری و یا بهبود ناهنجاری های مختلف ناحیه پا می باشد. بنابراین، به نظر می رسد که مطالعات آتی جهت بررسی اثربخشی انواع وج پا روی افراد دارای ناهنجاری های مختلف در ناحیه پا مورد نیاز است.

به طور کلی، مطالعات پیشین نشان داده اند که استفاده از وج پشت و جلوی پا به ترتیب باعث افزایش و کاهش سطح فعالیت عضلات (عمدتاً ناحیه پایین تنه) می شود (۱،۲،۸،۱۲،۱۴،۱۷،۱۹،۲۱)؛ اما اثرات استفاده از وج داخل و خارج پا نامشخص است. از آنجا که روش های تجزیه و تحلیل متفاوت سیگنال های خام دریافت شده می تواند به مقدار متغیرهای خروجی اثر مهمی بگذارد؛ بنابراین مقایسه نتایج مطالعات مختلف باید با احتیاط صورت بگیرد. از طرف دیگر، به نظر می رسد که عدم به کارگیری آزمودنی های دارای انواع ناهنجاری های پا، توجه اندک به سطح فعالیت عضلات ناحیه تنه و عدم استفاده از متغیرهای الکترومایوگرافیکی جدید (مانند زمان بندی و الگوی فعالیت عضله، فرکانس میانه و هم انقباضی) از محدودیت ها و ضعف های مطالعات پیشین در زمینه بررسی نحوه اثربخشی انواع وج پا بوده است. با توجه به اینکه استفاده از روش های غیر کاربردی جهت تغییر وضعیت پا (مانند وج چوبی) امکان تعمیم پذیری نتایج مطالعات پیشین را به محیط های واقعی تر دشوار می سازد، لذا مطالعات آتی در زمینه بررسی موارد مطرح شده مورد نیاز می باشند.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از پایان نامه دکتری رشته بیومکانیک ورزشی دانشگاه بوعلی سینا با عنوان "بررسی اثر فوری توکفشی با وج های مختلف بر میزان سطح راحتی،

توجه اندکی شده است و مطالعات آتی در زمینه بررسی این متغیرهای الکترومایوگرافیکی مورد نیاز می باشند.

از طرف دیگر، ۸ پژوهش پیشین گزارش کردند که استفاده از وج پشت پا باعث افزایش سطح فعالیت عضلات (عمدتاً ناحیه پایین تنه) می شود (۱،۲،۸،۱۲،۱۴،۱۷)؛ اما ۴ مطالعه نتایج متفاوتی را گزارش نمودند (۱۹،۲۱)؛ در همین زمینه، Barber و همکاران (۲۷) نشان دادند فعالیت عضلات پهن داخلی و خارجی حین افزایش ۱، ۳ و ۵ سانتیمتری ارتفاع پاشنه افزایش پیدا کرد و به خستگی زودرس این عضلات منجر شد. آن ها استدلال کردند که با افزایش ارتفاع پاشنه و ایجاد پلانترفلکشن در مچ پا، طول عضلات سه سر ساقی در وضعیت غیر بهینه قرار گرفته و احتمالاً بر ثبات مفصل زانو تأثیر منفی می گذارد (۲۷). همچنین، در ۲ پژوهش سطح فعالیت عضلات چهار سر ران حین استفاده از وج جلویی کاهش یافت (۲،۱۹)؛ ولی در یک مطالعه دیگر استفاده از این نوع وج تغییری در سطح فعالیت عضلات ایجاد نکرد (۱۱). به علاوه، در ۳ مطالعه استفاده از وج داخل پا و تغییر وضعیت پا به سمت Inversion باعث تغییر در سطح فعالیت عضلات اندام تحتانی شد (۲،۶،۱۹)؛ اما این نتایج با یکدیگر همسو نبودند. همچنین، در ۵ پژوهش نشان داده شد که استفاده از وج داخل پا تغییر معناداری در سطح فعالیت عضلات مختلف بدن ایجاد نمی کند (۴،۷،۹،۱۱،۱۶). در زمینه اثرات استفاده از وج خارج پا نیز ۲ پژوهش اثرات مختلف روی عضلات اندام تحتانی گزارش نمودند (۱۹،۲۰)؛ اما ۴ پژوهش نشان دادند که تغییر معناداری در سطح فعالیت عضلات مختلف بدن حین استفاده از وج خارج پا وجود ندارد (۴،۷،۹،۱۱،۱۶). در این زمینه، به نظر می رسد که به دلیل آزمایش انواع متفاوت وج پا در زوایای مختلف امکان مقایسه دقیق نتایج وجود ندارد. در مجموع، به نظر می رسد که استفاده از وج پشت پا باعث افزایش و وج جلوی پا باعث کاهش سطح فعالیت عضلات اندام تحتانی شود؛ اما اثرات استفاده از وج داخل و خارج پا نامشخص می باشد.

نهایتاً، ذکر این نکته لازم است که در بسیاری از مطالعات پیشین جهت تغییر وضعیت پا از وج چوبی استفاده شده است که خصوصیات متفاوتی نسبت به جنس های پر کاربرد

منابع

1. Murley GS, Landorf KB, Menz HB, Bird AR. Effect of foot posture, foot orthoses and footwear on lower limb muscle activity during walking and running: A systematic review. *Gait Posture* 2009; 29(2): 172-187.
2. Ghasemi MH, Anbarian M, Esmaili H. Effect of various foot wedge conditions on the electromyographic activity of lower extremity muscles during load lifting. *Hum Factors Ergon Manuf Serv Ind.* 2018; 28(4): 213-219.
3. Soares DP, de Castro MP, Mendes E, Machado L. Influence of wedges on lower limbs' kinematics and net joint moments during healthy elderly gait using principal component analysis. *Hum Mov Sci* 2014; 38: 319-330.
4. Samimi H, Anbarian M, Kersting UG. The effect of foot wedges on postural sway and lower limb Muscle activity. *Int J Sport Stud* 2014; 4(12): 1442-1449.
5. Mills K, Blanch P, Chapman AR, McPoil TG, Vicenzino B. Foot orthoses and gait: a systematic review and meta-analysis of literature pertaining to potential mechanisms. *Br J Sports Med* 2010; 44(14): 1035-1046.
6. Murley GS, Bird AR. The effect of three levels of foot orthotic wedging on the surface electromyographic activity of selected lower limb muscles during gait. *Clin Biomech* 2006; 21(10): 1074-1080.
7. Bird AR, Bendrups AP, Payne CB. The effect of foot wedging on electromyographic activity in the erector spinae and gluteus medius muscles during walking. *Gait Posture* 2003; 18(2): 81-91.
8. Stefanyshyn DJ, Nigg BM, Fisher V, Flynn BO, Liu W. The influence of high heeled shoes on kinematics , kinetics , and muscle EMG of normal female gait. *J Appl Biomech* 2000; 16: 309-319.
9. Murray N, Cipriani D, O'rand D, Reed-Jones R. Effects of foot position during squatting on the quadriceps femoris: an electromyographic study. *Int J*

متغیرهای میوالکتریکی عضلات منتخب ناحیه تنه و مرکز فشار حین برداشتن بار" با کد ثبت پروپوزال ۱۴۰۳۵۴۲ می باشد. بدین وسیله از مسئولین محترم دانشگاه تشکر و قدردانی می نمایم.

- Sato Exerc Sci 2013; 6(2): 114.
10. K, Fortenbaugh D, Hydock DS. Kinematic changes using weightlifting shoes on barbell back squat. J Strength Cond Res 2012; 26(1): 28-33.
 11. Ribeiro G, Dionísio VC, Almeida GL. Electromyographic activity during one-legged squatting under different foot positions. Rev Bras Med do Esporte 2007; 13(1): 43-46.
 12. Kongsgaard M, Aagaard P, Roikjaer S, Olsen D, et al. Decline eccentric squats increases patellar tendon loading compared to standard eccentric squats. Clin Biomech 2006; 21(7): 748-754.
 13. Hug F. Can muscle coordination be precisely studied by surface electromyography? J Electromyogr Kinesiol 2011; 21(1): 1-12.
 14. Edwards L, Dixon J, Kent JR, Hodgson D, et al. Effect of shoe heel height on vastus medialis and vastus lateralis electromyographic activity during sit to stand. J Orthop Surg Res 2008; 3: 2.
 15. Sreekar Kumar Reddy R, Siva Kumar NB, Vamsidhar N, Haribabu G. Electromyographic Activity of the Vastus Medialis Oblique and Vastus Lateralis during Maximum Voluntary Isometrics in Different Weight Bearing Positions of the Foot. Int J Physiother 2014; 1(3): 120-126.
 16. Boyden G, Kingman J, Dyson R. A comparison of quadriceps electromyographic activity with the position of the foot during the parallel squat. J Strength Cond Res 2000; 14(4): 379-382.
 17. Frohm A, Halvorsen K, Thorstensson A. Patellar tendon load in different types of eccentric squats. Clin Biomech 2007; 22(6): 704-711.
 18. Razzi M. The effect of various heel height on changes of kinematic and electromyographic activity of some muscles during squat motion [Thesis]. Hamedan: Bu Ali SinaUniversity; 2011. [Persian]
 19. Kim M, Yoo W. Effects of Various Foot Wedge Boards on Vastus Medialis Oblique and Vastus Lateralis Muscles during Lunge Exercise. J Phys Ther Sci 2013; 25(3): 233-234.
 20. Akuzawa H, Imai A, Iizuka S, Matsunaga N, et al. The influence of foot position on lower leg muscle activity during a heel raise exercise measured with fine-wire and surface EMG. Phys Ther Sport 2017; 28: 23-28.
 21. Suk LH, Hoo KJ. The change of EMG during lifting a object from floor according to foot position. J Foot Ankle Res 2014; 7(Suppl 1): A118.
 22. Anbarian M, Rajabian F, Ghasemi MH, Moghaddam RH. The Effect of the Heel Wedges on the Electromyography Activities of the Selected Lower Back Muscles During Load Lifting. J Ergon 2018; 5(3): 12-21. [Persian]
 23. Yoo W. Comparison of the hamstring/quadriceps ratio in females during squat exercise using various foot wedges. J Phys Ther Sci 2016; 28: 2379-2380.
 24. Cè E, Rampichini S, Agnello L, Limonta E, Veicsteinas A, Esposito F. Combined effects of fatigue and temperature manipulation on skeletal muscle electrical and mechanical characteristics during isometric contraction. J Electromyogr Kinesiol 2012 ;22(3): 348-355.
 25. Ghasemi MH, Anbarian M. Immediate and long-term effect of cold spray on myoelectric variables of selected muscles of lower extremity of dominant leg during single-leg drop-jump. J Sport Med 2017; 9(1): 121-138. [Persian]
 26. Kellis E, Arabatzi F, Papadopoulos C. Muscle co-activation around the knee in drop jumping using the co-contraction index. J Electromyogr Kinesiol 2003; 13(3): 229-238.
 27. Barber LA, Barrett RS, Gillett JG, Cresswell AG, Lichtwark GA. Neuromechanical properties of the triceps surae in young and older adults. Exp Gerontol 2013; 48(11): 1147-1155.