مقایسه حداکثر سرعت زاویه‌ای و گشتاور مفاصل پایین تنه در طول شوت‌های روی پای متوالی فوتبال

محمدتقی امیری خراسانی[1]*

*استادیار گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۹/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۸/۲۰

چکیده

هدف تحقیق حاضر به‌دست‌آوردن تعداد تلاش‌های لازم برای کسب حداکثر پاسخ‌های بیومکانیکی مفاصل پایین‌تنه در طول ۱۰ شوت روی پای متوالی است. ۱۰ شوت متوالی از پای شوت ۱۵ بازیکن حرفه‌ای فوتبال (قد: ۴,۳۹ ± ۱۸۶,۵۷ سانتی‌متر، جرم ۴,۳۱ ± ۸۲ کیلوگرم، سن: ۲,۲۴ ± ۲۸,۷۶ سال و سابقهٔ بازی ۲,۴۱ ± ۱۸,۴ سال)، به‌وسیلهٔ شش دوربین مادون قرمز با سرعت ۲۰۰ هرتز و دو صفحهٔ نیرو با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز ثبت شد. برخی پارامترهای مهم بیومکانیکی شامل حداکثر سرعت زاویه‌ای مفاصل ران و زانو، حداکثر گشتاور مفاصل ران و زانو در مرحلهٔ حرکت رو به جلو و مرحلهٔ ضربه و درنهایت حداکثر سرعت توپ جهت تجزیه و تحلیل انتخاب شدند. تجزیه و تحلیل واریانس یک‌طرفه با اندازه‌های مکرر و نیز آزمون توکی، کاهش معنی داری در حداکثر سرعت توپ و حداکثر سرعت زاویه‌ای مفصل زانو بین اولین و پنجمین شوت و همچنین شوت‌های بعدی نشان داد. در مقایسه با اولین شوت، حداکثر سرعت زاویه‌ای و گشتاور مفصل ران کاهش معنی‌داری را از شوت ششم به بعد نشان دادند. به‌علاوه، حداکثر گشتاور مفصل زانو کاهش معنی‌داری بین اولین شوت با چهارمین شوت و شوت‌های آتی نشان داد. درنتیجه، به نظر می‌رسد پنج شوت متوالی برای کسب حداکثر پاسخ‌های بیومکانیکی مناسب است و انتخاب تعداد شوت‌های بیشتر پاسخ‌های بیومکانیکی کمتری در مفاصل پایین‌تنه نسبت به پنج شوت ابتدایی دارد.

کلمات کلیدی: کینماتیک، کینتیک، مفاصل پایین‌تنه، شوت روی پا، فوتبال.

1. amirikhorasani@uk.ac.ir

The Compression of maximum Angular Velocity and Torque of Lower Extremity Joints during Consecutive Soccer Instep Kick

Amiri-Khorasani, M.T*.

* Assistant Professor at Department of Sports Biomechanics, Faculty of Physical Education and Sports Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate the number of trials necessary to obtain optimal biomechanical responses of lower extremity joints during 10 consecutive soccer instep kicks. The kicking motions of dominant legs were captured from 15 professional adult male soccer players using six synchronized high-speed infra-red cameras at 200 Hz. Some of the important biomechanical parameters are maximum hip and knee angular velocity, maximum of hip and knee moment, at forward and impact phases and finally maximum ball velocity after impact selected to be analysed. There was a significant decrease of ball velocity between the first and the fifth kick and the subsequent kicks. Similarly, the knee angular velocity showed a significant decrease after the fifth kick and thereafter. Comparing to the first kick the hip angular velocity has been shown to decrease after the sixth kick and thereafter and the hip moment result of the sixth kick was significantly lower when compared to the first kick. Moreover, the knee moment result of the fourth kick was significantly lower in comparison with the first kick. In conclusion, it seems that five consecutive kicks are adequate to achieve high biomechanical responses and selecting more than five kicks will be unusual.

Keywords: Kinematics, Kinetics, Lower Extremity Joints, Instep Kick, Soccer

مقدمه

شوت روی پای فوتبال[1] یکی از مهم‌ترین مهارت‌های فوتبال (پرطرفدارترین ورزش تیمی در جهان) و نیز از رایج‌ترین موضوعاتی است که محققان به بررسی و پژوهش درباره آن پرداخته‌اند (۱،۲،۳،۴). اجرای یک شوت روی پا که برایند آن حداکثر سرعت توپ باشد از اهمیت زیادی برخوردار است، چون زمان کمتری را در اختیار دروازه‌بان برای عکس‌العمل قرار می‌دهد که احتمال گل‌زدن را بالا می‌برد (۵). موفقیت شوت روی پا به عوامل مختلفی همچون فاصله شوت از دروازه، مقاومت هوا، تکنیک اجرای شوت و غیره بستگی دارد (۶). جهت تجزیه و تحلیل تکنیک اجرای شوت روی پا، تجزیه و تحلیل بیومکانیکی یکی از بهترین روش‌ها است (۶،۷). تحقیقات بسیاری در زمینهٔ بیومکانیک شوت روی پا در دههٔ گذشته به چاپ رسیده است که ابعاد جدیدی از اجرای شوت روی پای فوتبال را مشخص کرده است. این ابعاد جدید شامل کینماتیک سه‌بعدی حرکت، اصل گشتاور در مفاصل که عامل حرکت است و نیز دیگر عواملی که بر شوت روی پا تأثیر می‌گذارد، همچون سن، جنس، پای برتر و خستگی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است؛ منتها، اطلاعات کمی درباب تعداد تکراهای متوالی لازم جهت اجرای شوت روی پای فوتبال با حداکثر پاسخ‌های بیومکانیکی موجود است.

تعداد تکرار متوالی به‌منظور طراحی تمرین برای مربیان و نیز برای طراحی پروژه‌های تحقیقی مفید است. در طول تمرینات فوتبال، گاهی درجهت ارتقای توان و قدرت این مهارت، مربیان از بازیکنان می‌خواهند که شوت روی پا را به صورت متوالی اجرا کنند. درحقیقت تعداد تکرار این شوت‌ها از دیدگاه بیومانیکی در تحقیقات گذشته مبهم است و به نظر می‌رسد که صرفاً براساس دانش و تجربهٔ خود مربیان این تعداد شوت‌ها انتخاب می‌شود. ازآنجاکه بازیکنان این مهارت را با حداکثر توان خود اجرا می‌کنند، چه از جنبه بهبود تکنیک و چه از جنبه ارتقای عملکرد جسمانی، ممکن است آسیب‌زا و عامل خطر باشد.

به هر حال، نقش شوت‌های متوالی در اجرای پروتکل‌های تحقیقی مهم‌تر به نظر می‌رسد. در تحقیقات گذشته، محققان در پروتکل‌های تحقیقی‌شان از آزمودنی‌ها خواستند که شوت روی پا را برای یک‌مرتبه (۸،۹)، سه‌مرتبه (۵،۱۰،۱۱)، پنج‌مرتبه (۱۲،۱۳،۱۴،۱۵) و ده‌مرتبه (۱۶،۱۷،۱۸،۱۹) اجرا کنند. درنهایت آن‌ها بهترین شوت را براساس سرعت بالای توپ، تناسب حداکثری بین سرعت پا و سرعت توپ و نیز در هدف بودن جهت تجزیه و تحلیل آماری مشخص می‌کردند. به نظر می‌رسد که نباید تفاوت زیادی بین این تعداد تکرارها وجود داشته باشد و دست‌کم می‌توانند یک شوت با بالاترین سرعت را اجرا کنند. در برخی موفقیت‌های پژوهشی، زمان از اهمیت زیادی برخوردار است و محدودیت پژوهشی محسوب می‌شود؛ بنابراین، آزمودنی‌ها باید سریع و به‌صورت متوالی شوت را اجرا کنند. در جایی که زمان نقش محدودکننده ایفا می‌کند، سؤال این است که چند شوت متوالی با حداکثر پاسخ‌های بیومکانیکی اجرا می‌شود و درنهایت بالاترین سرعت توپ را نتیجه می‌دهد. از طرف دیگر، یکی از مسائل مهم در تجزیه و تحلیل بیومکانیکی

1. Soccer Instep Kicking

شوت روی پای فوتبال، روند انتقال نیرو از مفصل پروگزیمال به دیستال است که در تحقیقات کمتر بررسی شده است. انتقال نیرو و به دنبال آن انتقال سرعت از مفصل پروگزیمال به دیستال موجب انتقال هرچه بیشتر سرعت پا به توپ و درنهایت سرعت بالاتر توپ می‌شود (۴،۶،۷،۱۴). این انتقال بهینه، با نظریه هماهنگی بین مفاصل[1] در ارتباط است و نشان می‌دهد هرگونه خللی بر این نظریه موجب تداخل در انتقال نیرو و درنهایت کاهش سرعت توپ می‌شود (۵،۷،۱۵،۱۷). بنابراین، هدف تحقیق حاضر مقایسه حداکثر پاسخ‌های بیومکانیکی (کینماتیک و کینتیک) مفاصل پایین‌تنه (ران، زانو و مچ پا) در طول ۱۰ شوت روی پای متوالی بین بازیکنان حرفه‌ای فوتبال بود. درنهایت، فرض تحقیق حاضر بر این بود که تفاوت معنی‌داری بین هرکدام از ۱۰ شوت روی پای فوتبال وجود ندارد.

روش‌شناسی

تحقیق حاضر از نوع نیمه‌تجربی و از زمره تحقیقات کاربردی است. پانزده بازیکن حرفه‌ای فوتبال مرد (قد ۱۸۶,۵۷ ± ۴,۳۹ سانتی‌متر، جرم ۸۲ ± ۴,۳۱ کیلوگرم، سن ۲۸,۷۶ ± ۲,۲۴ سال و سابقهٔ بازی ۱۸,۴ ± ۲,۴۱ سال) که به‌صورت حرفه‌ای و منظم تمرین می‌کردند و هیچ سابقهٔ آسیب‌دیدگی عمده‌ای در ناحیهٔ پایین‌تنه‌شان وجود نداشت، برای شرکت در این پژوهش داوطلب شدند. آزمودنی‌ها ملزم به مطالعه و امضای رضایت‌نامهٔ حضور و پرسش‌نامهٔ پزشکی بودند. ازآنجاکه تمام آزمودنی‌های تحقیق حاضر راست‌پا بودند، پای راست به‌عنوان پای **شوت** جهت تجزیه و تحلیل بیومکانیکی انتخاب شد. بعد از برنامهٔ گرم‌کردن مناسب (۵ دقیقه نرم‌دویدن، ۱۰ دقیقه اجرای کشش‌های ایستا، ۵ تکرار تمرینی شوت روپای فوتبال) (۱،۸)، هر آزمودنی ۱۰ شوت روی پا را با یک توپ ثابت به‌صورت پشت سر هم اجرا کرد. توپ از فاصلهٔ ۳متری به سمت یک دروازه با ابعاد یک‌متر در یک‌متر، شوت شد. ازآنجاکه این فاصلهٔ کم، به دلیل نیاز کمتر به دقت، شوت‌زدن را آسان می‌کرد، از آزمودنی‌ها خواسته شد تا با قدرت هرچه تمام‌تر به توپ ضربه بزنند. برای به حداقل رساندن حرکت در سطح فرونتال، حرکت آزمودنی‌ها در مسیری ۳ متری از نقطهٔ شروع به‌صورت مستقیم تا توپ که با آن زاویهٔ صفر درجه می‌ساخت، محدود شد (۲،۳). گفتنی است که توپ مورد استفاده تأییدیه فیفا و سایز شماره پنج (جرم ۰,۴۳۵ گرم) را داشت که بعد از هر ضربه فشار باد توپ (۷۰۰ hPa) به‌وسیله یک فشارسنج مخصوص به‌صورت مرتب کنترل می‌شد (۱۴،۱۵).

از شش دوربین پرسرعت (Vicon MX-F20) برای ثبت حرکات اندام پایین‌تنه در طول شوت‌زدن با سرعت ۲۰۰ هرتز استفاده شد. از دو صفحهٔ نیروسنج کیستلر[2] مدل 9281CA با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز نیز برای ثبت داده‌های کنیتیکی استفاده شد؛ به این صورت که یک صفحهٔ نیرو زیر پای تکیه‌گاه قرار می‌گرفت و دیگری نیز محل قرارگیری توپ و محل برخورد پای شوت و توپ بود. از نرم‌افزار تجزیه و تحلیل حرکتی (Vicon Nexus 1.2) برای رقمی‌سازی حرکات پایین‌تنه استفاده شد. فضای کلیبره‌شده فضای اصلی و

1. Inter-Joint coordination
2. Kistler Force Platform

تعریف‌شده خود نرم‌افزار بود که تمام مراحل اجرای شوت روی پا در این حجم کالیبره‌شده قرار داشت. به این منظور از ۱۶ نشانگر منعکس‌کننده نور کروی‌شکل بر روی سمت راست و چپ نقاط آناتومیکی خار قدامی فوقانی ایلیاک، خار خلفی فوقانی ایلیاک، سطح خارجی ران، سطح خارجی مفصل زانو، سطح خارجی ساق پا، قوزک خارجی، برجستگی خلفی پاشنه و سطح خارجی پایهٔ انگشت پنجم هر آزمودنی نصب شد. که این تعداد و نیز این نوع چیدمان نشانگرها براساس قالب تعریف‌شده نرم‌افزار بود که جهت ثبت پاسخه‌ای بیومکانیکی پایین‌تنه به‌کار می‌رود. داده‌ها به‌وسیله فیلتر والترینگ که فرکانس کات‌آف آن را نرم‌افزار به‌صورت اتوماتیک انتخاب می‌کرد استفاده شد.

یک شوت روی پای فوتبال شامل چهار مرحله اصلی است: الف) حرکت رو به عقب پای ضربه زننده،[1] ب) حرکت رو به جلوی پای ضربه زننده،[2] ج) ضربه[3] و د) ادامهٔ حرکت[4] (۶،۷). بنابراین، برخی پارامترهای مهم کینماتیکی و کینتیکی در طول مراحل رو به جلو و ضربه که به اجرای مطلوب اشاره داشتند انتخاب شدند. بنابراین، حداکثر سرعت زاویه‌ای مفصل ران، حداکثر سرعت زاویه‌ای مفصل زانو، حداکثر گشتاور مفصل ران و حداکثر گشتاور مفصل زانوی پای شوت در مرحلهٔ حرکت رو به جلو و مرحلهٔ ضربه جهت تجزیه و تحلیل انتخاب شدند. که گشتاورهای مفاصل به‌وسیله برنامه Nexus با استفاده از داده‌های نیرو و موقعیت محاسبه شد. برای رفرنس زوایای مفاصل پایین‌تنه، وضعیت کاملاً ایستاده را برای ران به‌عنوان ۱۸۰ درجه، زانوی کاملاً باز شده نیز به‌عنوان ۱۸۰ درجه و وضعیت طبیعی مچ پا به‌عنوان ۹۰ درجه (۹۰-۰ درجه نشان‌دهنده دورسی‌فلکشن و ۱۸۰-۹۰ نشان‌دهنده پلانتارفلکشن است) در نظر گرفته شد. درنهایت، حداکثر سرعت توپ جهت تجزیه و تحلیل براساس واحد متر بر ثانیه انتخاب شدند. سرعت توپ نیز براساس فرمول زیر که لیز و نولان (۱۹۹۸) ارائه داده‌اند بدست آمد:

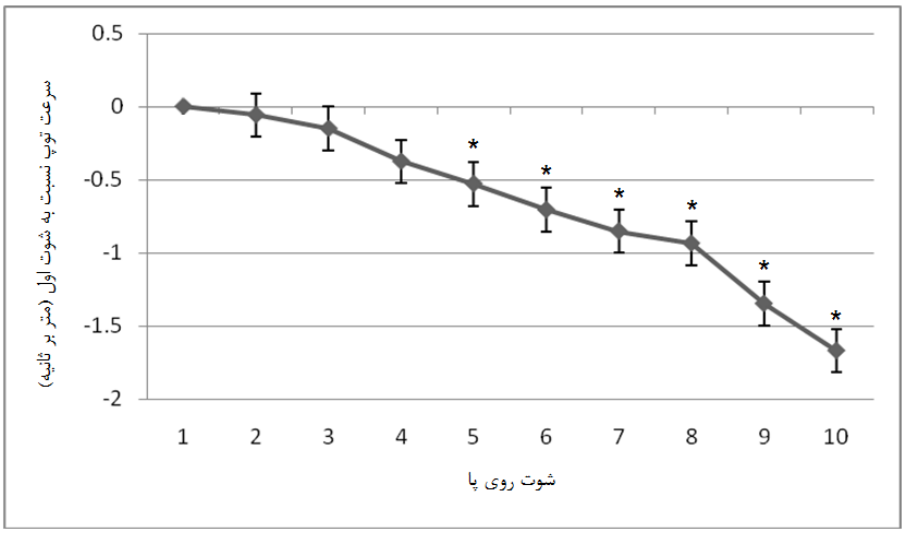
۲،۷۲ + سرعت پا × ۱،۲۳ = سرعت توپ

درنهایت، جهت مقایسهٔ آسان‌تر، تمام متغیرها از شوت دوم تا شوت دهم نسبت به شوت اول طبیعی‌سازی شدند. برای تجزیه و تحلیل آماری، از تحلیل واریانس یک‌طرفه با اندازه‌های مکرر استفاده شد. آزمون توکی نیز برای بررسی تفاوت معنی‌دار بین هرکدام از متغیرهای بیومکانیکی پیش‌گفته بین ۱۰ شوت متوالی به‌کار رفت. سطح معنی‌داری نیز ۰،۰۵ = آلفا در نظر گرفته شد.

یافته‌های تحقیق

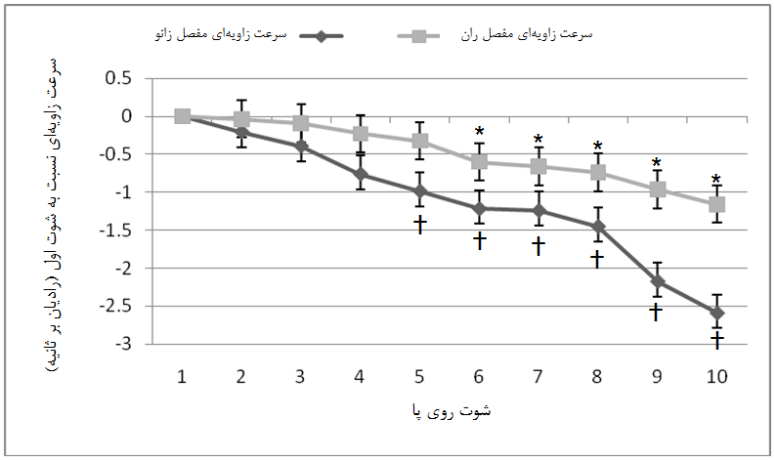
همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، کاهش معنی‌داری در حداکثر سرعت توپ بین اولین شوت با پنجمین شوت (۰،۲۹±۰،۷۰- متر بر ثانیه؛ **p =۰،۰۲**) و همچنین شوت‌های بعدی مشاهده شد.

1. Backward Swing
2. Forward Swing
3. Impact
4. Follow Through

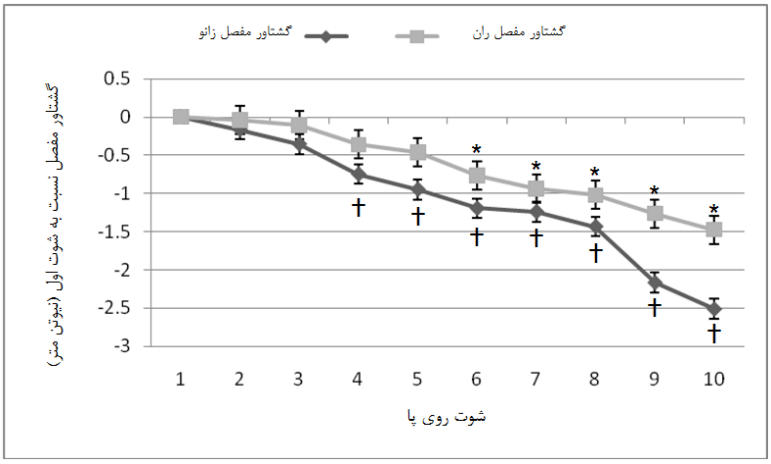


شکل ۱. منحنی نزولی سرعت توپ در طول ۱۰ شوت متوالی روی پا. (*) نشان دهنده کاهش معنی‌دار نسبت به شوت اول است.

حداکثر سرعت زاویه‌ای مفصل زانو بین اولین شوت با پنجمین شوت و شوت‌های بعدی کاهش معنی‌داری را نشان داد (۰,۹۸±۰,۳۵- رادیان بر ثانیه؛ **p =۰,۰۱**) (شکل ۲). در مقایسه با اولین شوت، حداکثر سرعت زاویه‌ای و گشتاور مفصل ران کاهش معنی‌داری را از شوت ششم به بعد نشان داد (۰,۵۹±۰,۲۵- رادیان بر ثانیه؛ ۰,۷۶±۰,۲۷- نیوتن متر؛ **p =۰,۰۱**). به‌علاوه، حداکثر گشتاور مفصل زانو کاهش معنی‌داری بین اولین شوت با چهارمین شوت و شوت‌های آتی نشان داد (۰,۷۴±۰,۴۵- نیوتن متر؛ **p =۰,۰۱**) (شکل ۳).



شکل ۲. منحنی نزولی سرعت زاویه‌ای مفاصل ران و زانو در طول ۱۰ شوت متوالی روی پا. (*) نشان دهنده کاهش معنی‌دار نسبت به شوت اول در سرعت زاویه‌ای ران و (†) نشان دهنده کاهش معنی‌دار نسبت به شوت اول در سرعت زاویه‌ای زانو است.



شکل ۳. منحنی نزولی گشتاور مفاصل ران و زانو در طول ۱۰ شوت متوالی روی پا. (*) نشان‌دهنده کاهش معنی‌دار نسبت به شوت اول در گشتاور مفصل ران و (†) نشان دهنده کاهش معنی‌دار نسبت به شوت اول در گشتاور مفصل زانو است.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف تحقیق حاضر تعیین تعداد تکرارهای لازم شوت روی پا برای تولید پاسخ‌های بیومکانیکی بیشینه در طول ۱۰ شوت متوالی بود. بنابراین، این مطالعه به بررسی برخی پارامترهای بیومکانیکی (ازجمله حداکثر سرعت زاویه‌ای مفاصل ران و زانو، حداکثر گشتاور مفاصل ران و زانو و حداکثر سرعت توپ) در طول این ۱۰ شوت متوالی پرداخت. براساس بررسی‌های محقق در پیشینهٔ موجود، و ازآنجاکه مطالعه‌ای با موضوع بررسی بیومکانیک مفاصل پایین‌تنه در طول ۱۰ شوت روی پای متوالی یافت نشد، مقایسهٔ تحقیق حاضر با دیگر تحقیقات دشوار بود. یافته‌های تحقیق حاضر کاهش معنی‌داری را در حداکثر سرعت توپ بین اولین شوت با پنجمین شوت و شوت‌های بعدی نشان داد (شکل ۱). از دیدگاه بیومکانیکی، پاسخ‌های کسب‌شده از شوت روی پا تجزیه و تحلیل و توصیف شده است. مطالعات گوناگونی میانگین سرعت توپ بعد از یک شوت روی پا را گزارش کردند (۲۴,۷–۲۹,۹ متر بر ثانیه) که داده‌های به‌دست‌آمده از سرعت توپ در این دامنه می‌گنجد (۴،۵،۲۰) و نتایج حاضر نیز در این دامنه قرار دارد. ازآنجاکه نتایج نشان داد سرعت توپ بعد از شوت پنجم کاهش معنی‌داری را به دنبال دارد، بنابراین بالاترین سرعت‌های توپ در بین چهار شوت ابتدایی یافت می‌شود. سرعت توپ، اصلی‌ترین نشانگر بیومکانیکی در موفقیت شوت و ضربه است که دلایل گوناگونی دارد؛ اصلی‌ترین دلیل سرعت پا قبل از ضربه است که خود این هم به عواملی همچون سرعت بالای تولیدشده در مفاصل ران و زانو بستگی دارد که به ترتیب ازطریق ران ساق به پا و درنهایت به توپ منتقل می‌شود (۴).

سرعت زاویه‌ای و خطی ران و ساق را محققان بسیاری گزارش داده‌اند که همگی به این موضوع که سرعت زاویه‌ای و خطی ساق از ران در مرحلهٔ رو به جلو بیشتر بوده است اشاره کرده‌اند (۴،۵،۱۳). نتایج تحقیق حاضر نیز از این موضوع پیروی می‌کند. دورگ و همکاران (۲۰۰۲) پیشنهاد دادند که تفاوت سرعت زاویه‌ای بین ران و ساق + پا از کار چرخش که بر روی ساق صورت می‌گیرد، نشئت گرفته است. سرعت زاویه‌ای

ساق با بازشدن زانو به سمت توپ افزایش می‌یابد و در اِعمال گشتاور در مفصل زانو، بازکننده‌های زانو که نیرو تولید می‌کنند برای جابه‌جایی رو به جلوی اندام ساق و پا نقش ایفا می‌کنند. بنابراین، بازکننده‌های زانو نقش مشارکتی بزرگی در تاب‌دادن رو به جلوی ساق در طول شوت روی پا دارند. نرخ بالای توسعهٔ نیرو در این عضلات موجب تولید گشتاور و کار بیشتر در مفصل زانو و درنهایت ساق می‌شود (۵). جابه‌جایی‌های مفصلی و اندامی در طول شوت روی پای فوتبال نیازمند فعالیت‌های منظم و هم‌زمان گروه‌های عضلانی بسیاری است (۶). تجزیه و تحلیل کینماتیکی این تحقیق نشان داد که حداکثر سرعت زاویه‌ای مفصل ران شوت ششم و حداکثر سرعت زاویه‌ای شوت پنجم نسبت به اولین شوت کاهش معنی‌داری را به دنبال داشته‌اند (شکل ۲). این نتایج بازگو می‌کنند که سرعت زاویه‌ای مفصل ران در تعداد شوت‌های متوالی بیشتری توانسته است در سطح بالاتری نسبت به حداکثر سرعت زاویه‌ای مفصل زانو قرار بگیرد. همانند نتایج کینماتیکی، نتایج کینتیکی (شکل ۳) نیز نشان داد که گشتاور مفصل ران در سطح بالاتری نسبت به گشتاور مفصل زانو در تعداد شوت‌های متوالی قرار گرفته است. براساس داده‌های کسب‌شده، گشتاور مفصل ران کمتر تحت تأثیر خستگی نسبت به گشتاور مفصل زانو در طول پنج شوت اول قرار گرفته است. ازآنجاکه اجرای یک شوت روی پا با حداکثر توان فرد عملکردی فسفاژنی است و به نظر می‌رسد در بین اجرای ۱۰ شوت پشت سر هم زمانی جهت ریکاوری وجود نداشت، بنابراین احتمال دارد که خستگی بعد از شوت چهارم بر بازکننده‌های زانو اثر گذاشته و به دنبال آن موجب کاهش اثر گشتاور تولیدی و درنهایت سرعت زاویه‌ای کمتر حول مفصل زانو شده است. این مشاهدات نشان می‌دهند که بازکننده‌های زانو اصلی‌ترین عضله در مراحل اولیه شوت روی پا هستند. درنتیجه، به سبب میزان افزایش‌یافتهٔ خستگی در بازکننده‌های زانو، وظیفهٔ تولید نیرو از بازکننده‌های زانو به خم‌کننده‌های ران منتقل می‌شود. و بنا بر این انتقال، موجب کاهش معنی‌داری در پارامترهای کینماتیکی و کینتیکی مفصل ران می‌شود.

نتایج تحیق حاضر نشان داد که بازیکنان حرفه‌ای خصوصیات و پاسخ‌های کینماتیکی و کینتیکی را در طول اولین پنج‌شوت متوالی حفظ می‌کنند. بازکننده‌های زانو اصلی‌ترین مسئول اجرای شوت روی پا هستند و بعد از شوت چهارم خستگی اثر خود را بر این عضله می‌گذارد که پیامد آن کاهش گشتاور مفصل زانو و به دنبال آن کاهش سرعت زاویه‌ای مفصل زانو است. درنهایت، نیرو از بازکننده‌های زانو به خم‌کننده‌های ران منتقل می‌شود.

نتیجه‌گیری

محقق نتیجه گرفت که پنج شوت متوالی برای کسب پاسخ‌های بیومکانیکی بیشینه مناسب است؛ به این معنی که بازیکنان در طی این پنج‌شوت متوالی قادر به حفظ هماهنگی مناسب بین مفاصل پایین‌تنه هستند. بنابراین، پنج‌شوت متوالی می‌تواند تمرین تکنیکی مفید و مناسبی باشد؛ زیرا پس از این تعداد، بازیکنان به علت خستگی شوت‌هایی را بدون هماهنگی مناسب در بین مفاصل پیاده می‌کنند که از نظر تکنیکی مناسب نیست؛

چون شوت اجراشده با هماهنگی بالا بین مفاصل، حداکثر سرعت توپ را به دنبال دارد. درنهایت، پژوهشگران نیز با اجرای تنها پنج‌تکرار شوت روی پا می‌توانند بهترین شوت را از بین این پنج تکرار انتخاب و در زمان اجرای ۱۰ شوت متوالی صرفه‌جویی کنند.

منابع

1- Amiri-Khorasani, M., Abu Osman, N.A., and Yusof, A. (2009). “Biomechanical responses of Instep kick between different positions in professional soccer players.” J Hum Kinetics. 22, 21-27.
2- Amiri-Khorasani, M., Abu Osman, N.A., and Yusof, A. (2011). “Acute Effect of Static and Dynamic Stretching on Hip Dynamic Range of Motion (DROM) during Instep Kicking in Professional Soccer Players.” J Strength Cond Res 25(4): 1177-1181.
3- Amiri-Khorasani, M., Abu Osman, N.A., and Yusof, A. (2010). “Electromyography Assessments of the Vastus Medialis Muscle during Soccer Instep Kicking between Dynamic and Static Stretching.” J Hum Kinetics. 24, 35-42.
4- Nunome, H., Asai, T., Ikegami, Y., and Sakurai, S. (2002). “Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks.” Med Sci Sports Exerc 34: 2028-2036.
5- Dorge, H., Bull-Andersen, T., Sorensen, H., and Simonsen, E. (2002). “Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg.” J Sports Sci 20: 293-299.
6- Kellis, E., and Katis, A. (2007). “Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick.” J Sports Sci Med 6: 154-165.
7- Lees, A., and Nolan, L. (1998). “The biomechanics of soccer: A review.” J Sports Sci 16: 211-234.
8- Kellis, E., Katis, A., and Vrabas, I,S. (2006). “Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance.” Scandinavian J Med Sci Sports 16: 334-344.
9- Manolopoulos, E., Papadopoulos, C., Salonikidis, K., Katartzi, E., and Poluha, S. (2004). “Strength training effects on physical conditioning and instep kick kinematics in young amateur soccer players during preseason.” Percept Motor Skills 99: 701–710.
10- Vaughan, C,L., Davis, B,L., and O’Connor, J,C. (1992). “Dynamics of human gait. Champaign, IL: Human Kinetics.”
11- Shan, G,B., and Westerhoff, P. (2005). “Full-body kinematic characteristics of the maximal instep soccer kick by male soccer players and parameters related to kick quality.” Sports Biomechanics 4: 59-72.
12- Apriantono, T., Nunome H, Ikegami, Y., and Sano, S. (2006). “The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football.” J Sports Sci 24: 951-960.
13- Barfield, W.R., Kirkendall, D., and Yu, B. (2002). “Kinematic instep kicking differences between elite female and male soccer players.” J Sports Sci Med 3: 72-79.
14- Nunome, H., Georgakis, H., Suito, H., Tsujimoto, N., and Ikegami, Y. (2007). “Impact phase kinematics of side-foot and instep soccer kick.” J Biomechanics 40(S2): 14.
15- Nunome, H., Ikegami, Y., Kozakai, R., Apriantono, T., and Sano, S. (2006). “Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred and non-preferred leg.” J Sports S 24: 529-541.
16- Masuda, K., Kikuhara, N., Demura, S., Katsuta, S., and Yamanaka, K. (2005). “Relationship between muscle strength in various isokinetic movements and kick performance among soccer players.” J Sport Med Phys Fitness 45: 44-52.
17- Nunome, H., Lake, M., Georgakis, A., and Stergioulas, L,K. (2006). “Impact phase kinematics of instep kicking in soccer.” J Sports Sci 24: 11-22.
18- Shinkai, H., Nunome, H., Isokawa, M., and Ikegami, Y. (2009). “Ball Impact Dynamics of Instep Soccer Kicking.” Med Sci Sports Exerc 41(4): 889-897.

19- Young, W., Gulli, R., Rath, D., Russell, A., O'Brien, B., and Harvey, J. (2010). "Acute effect of exercise on kicking accuracy in elite Australian football players." J Sci Med Sport 13(1):85-89.
20- Vaughan, C,L., Davis, B,L., and O'Connor, J,C. (1992). "Dynamics of human gait. Champaign, IL: Human Kinetics."