

بررسی سرعت شوت فوتبال از طریق مقایسه خصوصیات بیومکانیکی مفصل زانو در دو شوت زمینی و هوایی

مصطفی حاج لطفعلیان^۱، شهرام لنجان نژادیان^۲، حسین مجتهدی^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۲

چکیده

هدف این پژوهش مقایسه دو شوت روی پای زمینی و هوایی از منظر تأثیر پارامترهای بیومکانیکی مفصل زانو بر سرعت شوت است. شش ورزشکار ماهر با میانگین سن: 27 ± 2 سال، وزن: 70.8 ± 6.6 کیلوگرم و قد: 173 ± 6.5 سانتی‌متر، آزمودنی‌های این تحقیق را تشکیل دادند. به منظور محاسبه پارامترهای سینماتیکی مفصل زانو و سرعت شوت، پنج نشانگر به نقاط آناتومیکی پای ضربه متصل و از حرکت شوت زمینی و هوایی ورزشکاران با دو دوربین کاسیو (ZR200) با سرعت نمونه‌برداری ۲۴۰ فریم بر ثانیه تصویر گرفته شد. به علاوه، در حین اجرای مهارت با استفاده از الکترودهای سطحی و دستگاه (ME6000) متغیرهای الکترومایوگرافی عضلات چهارسر ران نیز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین دو شوت زمینی و هوایی در سرعت توپ بود. همچنین، دو شوت در سرعت زاویه‌ای باز شدن مفصل زانو نیز با یکدیگر اختلاف داشتند، اما از نظر میزان فعالیت الکتریکی عضلات چهارسر هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها دیده نشد ($P = 0.11$). عوامل متعددی از جمله توالی حرکتی اندام‌ها، فعالیت الکتریکی عضلات و دامنه حرکتی مفاصل بر سرعت توپ تأثیرگذارند که در این مقایسه، دو عامل توالی و دامنه حرکتی مفصل زانو مؤثرترین عوامل در بروز اختلاف بین دو شوت بودند.

واژگان کلیدی: شوت روی پا، سینماتیک، الکترومایوگرافی، سرعت توپ.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد بیومکانیک ورزشی دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول)

Email: Mostafa.H.Lotfalian@gmail.com

۲ و ۳. استادیار دانشکده علوم ورزشی دانشگاه اصفهان

مقدمه

دستیابی به سرعت بیشینه شوت، از مهم‌ترین اهداف بازیکنان فوتبال و شوت روی پا، بهترین انتخاب برای رسیدن به آن است. محققان زیادی در سال‌های اخیر سرعت شوت را به‌عنوان پارامتری مهم در تحلیل سینماتیکی حرکت شوت محاسبه کرده‌اند که نام آن‌ها و مقدار سرعتی که به‌دست آورده‌اند در تحقیق مروری کلیز و کاتیز^۱ (۲۰۰۷) آمده است (۱). مطالعات اخیر نشان می‌دهد سرعت پا در لحظه ضربه به توپ تأثیر مستقیمی بر سرعت توپ بعد از ضربه دارد (۲-۴). در این خصوص، لوانون و داپنا^۲ (۱۹۹۸) بیان کردند که سرعت زاویه‌ای مفصل زانو نقش مهمی در افزایش سرعت پا در لحظه ضربه به توپ دارد؛ از این رو محققان زیادی حرکت باز شدن زانو را در پای ضربه مطالعه کرده‌اند (۵-۷).

در سال‌های اخیر، بررسی بیومکانیکی شوت فوتبال معمولاً در مطالعه جزئیات حرکت اندام‌ها خلاصه شده است (۸). با این حال، تعداد محدودی تحقیق وجود دارد که با استفاده از الکترومایوگرام به بررسی فعالیت عضلات درگیر در شوت پرداخته‌اند (۹-۱۱). اگرچه برای انجام شوت تعداد زیادی عضله در سرتاسر بدن فعال می‌شوند، عضلات چهارسر ران نقشی اساسی در سریع باز شدن مفصل زانو و در نهایت افزایش سرعت پا قبل از ضربه ایفا می‌کنند (۱۲).

شوت‌های زمینی و هوایی دو نوع از اجراهای مختلف شوت روی پا هستند که با توجه به شرایط، در طول مسابقه استفاده می‌شوند. به‌منظور انجام مقایسه‌ای صحیح بین دو شوت روی پای زمینی و هوایی از نظر تأثیر حرکت باز شدن زانو قبل از ضربه بر سرعت شوت، حرکت را از دو منظر سینماتیک (توصیف حرکت) و سینتیک (عامل حرکت) بررسی می‌کنیم. با وجود مطالعات بی‌شمار در مورد بیومکانیک شوت فوتبال، کمتر محققان میزان تأثیر سرعت باز شدن زانو و فعالیت الکتریکی عضلات چهارسر را به‌صورت همزمان در سرعت شوت بررسی کرده است. به‌علاوه، به نظر می‌رسد در سالیان اخیر مقایسه‌ای بین این پارامترها در دو شوت روی پای زمینی و هوایی به‌عنوان دو ضربه پر کاربرد در فوتبال انجام نشده است. همچنین، مطالعه حاضر می‌تواند این توصیه را به مربیان و ورزشکاران داشته باشد که برای افزایش سرعت شوت، چه عواملی را باید مد نظر قرار دهند. تحقیقاتی نظیر تحقیق حاضر می‌تواند پاسخی برای این پرسش بیابد که به‌جز نیروی عضلات، چه عوامل دیگری در سرعت شوت روی پا دخالت دارند. هدف از انجام این مطالعه، یافتن عوامل اثرگذار بر سرعت باز شدن زانو و بررسی میزان تأثیر این عوامل در سرعت شوت است. به‌علاوه، اندازه‌گیری فعالیت الکتریکی عضلات چهارسر ران و

1. Kelis and Katis

2. Levanon and Dapena

محاسبه سرعت زاویه‌ای مفصل زانو در فاز رو به جلوی حرکت شوت تا لحظه ضربه، به‌منظور بررسی برخی تفاوت‌های بیومکانیکی دو شوت زمینی و هوایی، هدف دیگر این مطالعه است.

روش‌شناسی پژوهش

آزمودنی‌ها و روش اجرا

نمونه تحقیق شامل شش نفر ورزشکار ماهر راست پا بود که دست‌کم هشت سال سابقه شرکت در مسابقات فوتبال را داشتند (جدول ۱). کلیه آزمودنی‌ها در محیط آزمایشگاه و در فضایی کالیبره شده انجام شد. آزمودنی‌ها باید تنها پس از دو گام به سمت هدفی با عرض یک متر که در فاصله پنج متری توپ قرار داشت، با روی پا و با حداکثر توان به توپ ضربه می‌زدند. بر اساس پروتکل تحقیق، شوت‌هایی که دارای زاویه پرتاب کمتر از ۱۰ درجه بودند، شوت زمینی و شوت‌هایی که زاویه پرتاب بیش از ۳۰ درجه داشتند، هوایی در نظر گرفته شدند. برای تشخیص نوع شوت افراد، از دو علامت بر روی دیوار مقابل استفاده شد. رابطه ۱ روش محاسبه آن‌ها را نشان می‌دهد.

$$\text{رابطه ۱} \quad \tan(\alpha) * \text{فاصله تا دیوار} = \text{ارتفاع علامت}$$

$$\alpha = 10^\circ \rightarrow \text{علامت اول}$$

$$\alpha = 30^\circ \rightarrow \text{علامت دوم}$$

از توپ سایز ۵ که مطابق با استانداردهای فیفا بود برای انجام آزمایش استفاده شد. قبل از اجرای طرح پژوهش، کلیه مراحل اجرا برای آزمودنی‌ها تشریح شد و از تمامی آن‌ها رضایت‌نامه کتبی دریافت شد. در زمان انجام آزمون، افراد به مدت ۱۰ دقیقه گرم می‌کردند. سپس، برای هر تکنیک دو بار تمرین می‌کردند تا در نهایت برای انجام آزمون اصلی آماده شوند. هنگام آزمون اصلی افراد به‌صورت تصادفی، برای انجام آزمایش فراخوانی شدند و دو تکرار برای شوت روی پای زمینی و دو تکرار برای شوت روی پای هوایی - که باید با حداکثر تلاش انجام می‌شد - ثبت و پردازش شد.

جدول ۱. مشخصات فردی آزمودنی‌ها

ویژگی	میانگین	انحراف استاندارد	دامنه
سن (سال)	۲۵/۱۶	۲/۲	۲۲ - ۲۸
قد (سانتی‌متر)	۱۷۳/۵	۶/۵	۱۶۴ - ۱۸۴
وزن (کیلوگرم)	۷۰/۸	۶/۶	۶۲ - ۷۷
سابقه ورزشی (سال)	۹	۱/۶	۸ - ۱۲

اندازه‌گیری داده‌های سینماتیکی مفصل زانو

به‌منظور محاسبه جابه‌جایی زاویه‌ای مفصل زانو، مختصات نشانگرها از روش DLT^۱ محاسبه شد. به کمک این روش می‌توان با دست‌کم دو دوربین مختصات سه‌بعدی نقاط را در فضایی کالیبره شده به‌دست آورد. ابتدا، فضایی با طول و عرض و ارتفاع ۲، ۱/۵ و ۱/۲۵ متر کالیبره شد. سپس، ورزشکاران باید در این فضا به توپ ضربه می‌زدند. برای تصویربرداری از حرکت ورزشکاران از دو دوربین کاسیو^۲ (ZR200) با سرعت تصویر برداری ۲۴۰ فریم بر ثانیه استفاده شد. این دوربین‌ها روی سه پایه‌ای در فاصله یک متری از فضای کالیبره و با زاویه ۹۰ درجه نسبت به یکدیگر قرار داشتند. پنج نشانگر روی مرکز مفاصل: الف) قسمت خارجی تاج خاصره؛ ب) برجستگی بزرگ ران؛ ج) اپی‌کندیل خارجی زانو؛ د) قوزک خارجی و ه) انگشت کوچک پای راست چسبانده و کاملاً ثابت شد تا به کمک آن بعد از فرایند پردازش تصویر، جابه‌جایی زاویه‌ای مفصل زانو به‌دست آید. کلیه فریم‌های مربوط به حرکت پا به سمت جلو تا لحظه ضربه به توپ، پردازش و تحلیل شد.

اندازه‌گیری پتانسیل الکتریکی عضلات

از دستگاه ۱۶ Mega-ME6000 کاناله به همراه نرم‌افزار مگاوین^۳ با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز برای محاسبه پتانسیل الکتریکی عضلات چهارسر ران در دو شوت روی پای زمینی و هوایی استفاده شد. به‌منظور ثبت سیگنال اکترومایوگرافی، ابتدا موهای سطح مورد نظر تراشیده شد و پوست به‌وسیله الکل و پنبه تمیز و آماده الکترودگذاری شد. در این پژوهش، با توجه به غیرسطحی بودن عضله پهن داخلی و نیاز به روش‌های تهاجمی برای بررسی آن، از این عضله صرف‌نظر شد و عضلات پهن داخلی، پهن خارجی و راست رانی بررسی شدند. محل قرارگیری الکترودهای سطحی در هر سه عضله بر اساس پیشنهاد^۴ SENIAM تعیین شد که استاندارد بین‌المللی است.

پردازش تصویر^۵ و هموارسازی داده‌ها

پس از اتمام فرآیند آزمون، نوبت به پردازش تصاویر خام و تبدیل آن‌ها به داده‌های مناسب می‌رسد. به‌منظور محاسبه جابه‌جایی زاویه‌ای زانو برنامه‌ای کاربردی در نرم‌افزار متلب^۶ نوشته

-
1. Direct Linear Translation
 2. Casio ZR-200
 3. Mega Win
 4. Surface Electromyography for Non-Inverse Assessment of Muscle
 5. Image processing
 6. MATLAB

و استفاده شد. کد مربوط این قابلیت را داشت که دامنه‌ای انتخابی از RGB را در تصاویر ضبط- شده جست‌وجو کند و تمامی پیکسل‌هایی را که دارای رنگ مورد نظر بودند، پیدا کند؛ بنابراین دامنه رنگ مربوط به هر نشانگر به نرم‌افزار داده شد و مختصات پیکسلی نشانگر در تمامی فریم‌های مورد نظر به دست آمد. سپس، نرم‌افزار از تمامی پیکسل‌های پیدا شده برای هر نشانگر میانگین‌گیری کرد و مختصات مرکز آن را گزارش نمود. در نهایت، به وسیله معادلات DLT مختصات سه‌بعدی نشانگرها محاسبه شد و زاویه بین دو اندام ران و ساق در هر یک از فریم‌ها به کمک روابط هندسی در نرم‌افزار متلب به دست آمد. در این مطالعه، پس از انجام آزمون و استخراج اطلاعات، داده‌های سینماتیک حرکت به کمک الگوریتم هانینگ^۱ هموار شدند که طریقه عملکرد آن در رابطه ۲ آمده است.

$$Y_i = (0.25 x_{i-1}) + (0.5 x_i) + (0.25 x_{i+1}) \text{ for } i = 1 \text{ to } (N - 1) \quad \text{رابطه ۲}$$

همچنین، به منظور هموار کردن و کاهش نویز و خطای داده‌های مکانی، از نرم‌افزار متلب و از قسمت برازش منحنی^۲ استفاده شد و داده‌های جابه‌جایی به نمودارهای چند جمله‌ای^۳ درجه چهار برازش شدند.

به منظور هموار کردن اطلاعات مربوط به الکترومایوگرام ابتدا از داده‌های خام، جذر میانگین مربعات^۴ (RMS) گرفته شد. سپس، داده‌ها هموار و نویز آن به وسیله فیلتر میان‌گذر^۵ ۱۰ تا ۵۰۰ هرتز کاهش یافت (۲۲) و در نهایت، حد فاصل زمان بین حرکت پا به سمت جلو تا لحظه برخورد پا به توپ بریده و تجزیه و تحلیل شد.

محاسبه سرعت شوت

اندرسون و همکاران در سال ۱۹۹۹، معادله‌ای را پیشنهاد دادند که به کمک آن می‌توان سرعت اولیه توپ فوتبال را محاسبه کرد (۳).

$$\text{رابطه ۳} \quad \text{ضریب ارتجاع توپ} + 1 \quad * \quad \text{ممان اینرسی ساق} * \text{سرعت پا} \\ \text{توپ سرعت} = \frac{\text{فاصله‌ی زانو تا مرکز توپ} \cdot \text{وزن توپ} + \text{ممان اینرسی ساق}}{\text{ضریب ارتجاع توپ} + 1}$$

1. Hanning
2. Curve fitting
3. Polynomial
4. Root Mean Square
5. Band Pass Filter

ضریب ارتجاع و وزن توپ مقدارهای ثابتی هستند که می‌توانند به‌طور مستقیم وارد معادله شوند. ممان اینرسی ساق و فاصله مفصل زانو تا مرکز توپ را نیز می‌توان از روی ویژگی‌های آنتروپومتریکی هر فرد و به کمک معادلات پیشنهاد شده توسط محققان قبلی محاسبه کرد (۱۳). مهم‌ترین قسمت در این معادله، سرعت پا در لحظه برخورد به توپ است که برای محاسبه آن باید از جابه‌جایی خطی پا در لحظه برخورد به توپ استفاده کرد و مقدار سرعت را به‌دست آورد.

$$\begin{aligned} \text{رابطه ۴} & \quad (m) \text{ طول قد} * ۰/۲۴۶ = (m) \text{ طول ساق} \\ \text{رابطه ۵} & \quad (Kg) \text{ وزن} * ۰/۰۴۶۵ = (Kg) \text{ وزن ساق} \\ \text{رابطه ۶} & \quad (m) \text{ طول ساق} * (Kg) * (m) \text{ طول ساق} = (Kg.m) \text{ ممان اینرسی ساق} \\ \text{رابطه ۷} & \quad \frac{\text{سرعت توپ - سرعت پا بعد از ضربه}}{\text{سرعت توپ قبل از ضربه - سرعت پا قبل از ضربه}} = \text{ضریب ارتجاع} \end{aligned}$$

روش آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. با توجه به کم بودن تعداد آزمودنی‌ها و احتمال کم بودن توان، از آزمون ویلکاکسون برای بررسی تفاوت آماری متغیرهای مختلف، استفاده شد. به‌منظور بررسی رابطه سرعت شوت با سایر پارامترها مقدار ضریب همبستگی نیز محاسبه شد. تجزیه و تحلیل آماری در سطح معنی‌داری ($P \leq ۰/۰۵$) انجام شد.

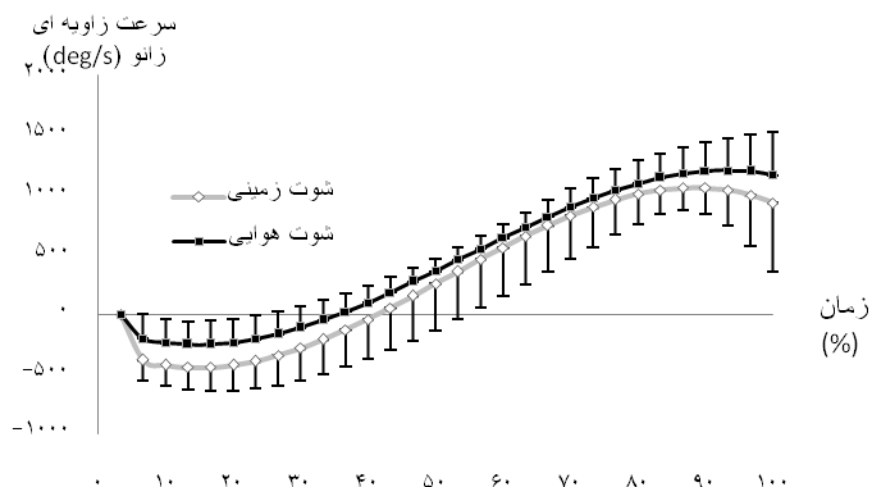
یافته‌های پژوهش

پس از انجام فرآیند پردازش تصویر، جابه‌جایی زاویه‌ای در تمام طول حرکت مفصل زانو در دو شوت روی پای زمینی و هوایی به‌دست آمد. دامنه حرکتی مفصل زانوی افراد در شوت روی پای هوایی ۶۱/۹۸ درجه بود، ولی این پارامتر در شوت روی پای زمینی ۴۹/۵۲ درجه به‌دست آمد. به‌طور متوسط زمان انجام حرکت شوت در فاز رو به جلوی حرکت ۰/۱۲۵ ثانیه برای هر دو شوت طول کشید. در این مطالعه، زمان نرمال‌شده در تمام نمودارها به‌صورت درصدی از زمان کل انجام حرکت بیان شد. همچنین، به‌طور میانگین آزمودنی‌ها در شوت روی پای هوایی، در مقایسه با شوت روی پای زمینی سرعت بیشتری تولید کردند (جدول ۲). شکل ۱ سرعت زاویه‌ای مفصل زانو را در فاز رو به جلوی حرکت در دو شوت روی پای زمینی و هوایی نشان می‌دهد که با گرفتن مشتق از جابه‌جایی زاویه‌ای هموارشده به‌دست آمده است. با توجه به نتایج جدول ۳ می‌توان گفت که بین دو شوت زمینی و هوایی از نظر سرعت زاویه‌ای مفصل زانو اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

جدول ۲. میانگین \pm انحراف معیار) سرعت شوت و جابه‌جایی زاویه‌ای زانو در دو شوت زمینی و هوایی

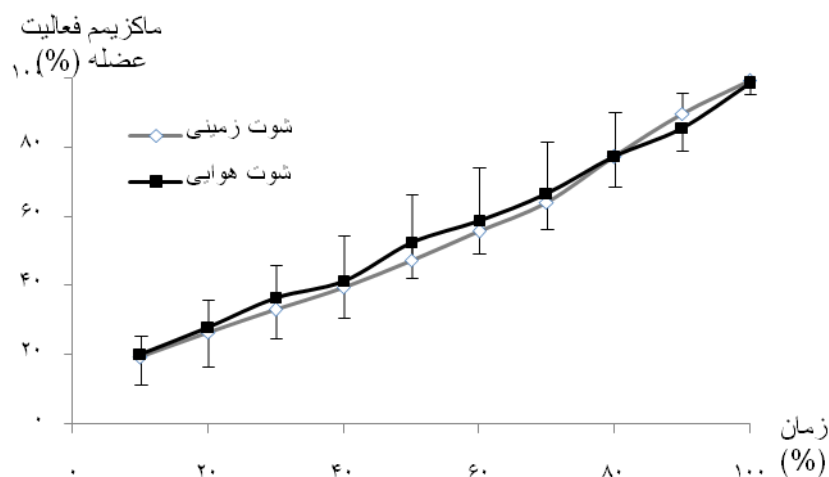
مقدار P	ارزش z	دامنه تغییرات	میانگین	نوع شوت	جابه‌جایی زاویه‌ای زانو (deg)
*۰/۰۰۰	-۳/۷	۵۶/۹۴ - ۱۰۶/۴۶	* ۹۱/۵ \pm ۱۶/۵	شوت زمینی	جابه‌جایی زاویه‌ای زانو (deg)
		۴۲/۴۲ - ۱۰۴/۴۰	* ۸۶/۳۴ \pm ۲۰/۸	شوت هوایی	
*۰/۰۲۸	-۲/۲	۱۵/۴۱ - ۲۲/۴۷	۱۷/۹۵ \pm ۲/۲۶	شوت زمینی	سرعت شوت (m/s)
		۱۹/۷۸ - ۲۴/۹۶	۲۱/۸۵ \pm ۱/۴	شوت هوایی	

* معنی‌داری ($P \leq 0/05$)



شکل ۱. سرعت زاویه‌ای مفصل زانو در فاز رو به جلو حرکت تا لحظه ضربه در دو شوت روی پای زمینی و هوایی

شکل ۲ فعالیت الکتریکی عضلات چهارسر را به صورت درصدی از ماکزیمم فعالیت، در دو شوت زمینی و هوایی نشان می‌دهد. پتانسیل الکتریکی عضلات در بازه‌های زمانی ۱۰ درصدی از زمان شروع فاز رو به جلو تا لحظه ضربه بین دو شوت محاسبه و مقایسه شد، ولی هیچ‌گونه اختلاف معنی‌داری بین دو شوت زمینی و هوایی مشاهده نشد ($P=0/11$). منظور از فعالیت الکترومایوگرافی عضلات چهارسر ران، میانگین فعالیت سه عضله پهن داخلی، پهن خارجی و راست رانی است.



شکل ۲. پتانسیل الکتریکی عضلات چهارسر ران در دو شوت روی پای زمینی و هوایی به صورت درصدی از ماکزیمم فعالیت، در بازه‌های زمانی ده درصدی از شروع فاز رو به جلوی حرکت تا لحظه ضربه

جدول ۳. سرعت زاویه‌ای و فعالیت الکتریکی عضلات مفصل زانو در دو شوت زمینی و هوایی

مقدار	ارزش	شوت روی پای هوایی		شوت روی پای زمینی		
		ماکزیمم	میانگین	ماکزیمم	میانگین	
P	Z					
* $0/000$	$-4/7$	۱۲۰۵	۴۵۰/۸	۱۰۵۹	۳۱۸/۹۲	سرعت زاویه‌ای زانو (deg/s)
$0/11$	$-1/6$	$821/45 \pm 50$	$381/8 \pm 22/2$	$1023/6 \pm 47/9$	$455 \pm 26/3$	فعالیت الکتریکی عضلات چهار سر (μV)

* معنی‌داری ($P \leq 0/05$)

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه، مقایسه بین دو شوت زمینی و هوایی از منظر پارامترهای بیومکانیکی مفصل زانو و بررسی میزان تأثیر این مفصل در سرعت شوت روی پا است. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد سرعت توپ در دو شوت زمینی و هوایی با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارد.

لوانون و داپنا (۱۹۹۸) و نانومی و آسای^۱ (۲۰۰۲) معتقد بودند که سرعت پا در لحظه ضربه بهترین تخمین‌زننده سرعت توپ است (۴،۱۴). با استناد به روش محاسبه سرعت توپ در این مطالعه، عوامل دیگری از جمله ویژگی‌های آنترپومتریکی آزمودنی‌ها از جمله ممان اینرسی ساق نیز در سرعت توپ اثرگذار است، اما با توجه به مقایسه عملکرد افراد با خودشان، تنها عامل مؤثر در اینجا سرعت پا در لحظه برخورد به توپ بود. عوامل متعددی وجود دارند که باعث افزایش سرعت پا در نقطه انتهایی اندام تحتانی^۲ می‌شود. سائوسیدیس و زاتسیورسکی^۳ (۱۹۹۶) سرعت توپ را تحت تأثیر دو عامل مهم دانستند: اول مقدار انرژی‌ای که عضلات در لحظه برخورد پا به توپ ایجاد می‌کنند و دیگری انرژی یا گشتاوری که از حرکت هماهنگ و رفتارهای مکانیکی پا قبل از ضربه حاصل می‌شود (۱۵). دیویت و هینریچز^۴ (۲۰۱۲) بیان کردند که سرعت شوت رابطه‌ای مستقیم با سرعت زاویه‌ای مفصل ران دارد و افزایش سرعت زاویه‌ای ران را مهم‌ترین عامل افزایش سرعت شوت معرفی کردند (۱۶). در نقطه مقابل، لوانون و داپنا (۱۹۹۸) و بارفیلد^۵ (۱۹۹۵) سرعت زاویه‌ای باز شدن زانو را مؤثرترین مؤلفه برای افزایش سرعت پا قبل از ضربه دانستند (۱۷، ۴). زانو مفصلی لقمه‌ای است که مهم‌ترین حرکاتش فلکشن و اکستنشن در سطح ساجیتال است. با توجه به پروتکل تحقیق، حرکت مفصل زانو از لحظه تاب خوردن پا به سمت جلو تا لحظه ضربه بررسی شد؛ بنابراین عضلات اکستنسور زانو که مهم‌ترین آن عضلات چهارسر ران است به‌عنوان عضلات موافق، مسئول انجام این حرکت بودند. طبق نتیجه تحقیقات دورج^۶ و همکاران (۱۹۹۹)، دی پروف^۷ و همکاران (۱۹۸۸) و مونولوپولوس^۸ و همکاران (۲۰۰۶)، عضلات چهارسر ران بیشترین فعالیت را در فاز رو به جلوی حرکت شوت داشته‌اند (۱۸، ۱۱، ۹). دورج و همکاران (۱۹۹۹) بیان می‌کنند که تمامی عضلات موافق و مخالف، ماکزیمم تنش را در لحظه ضربه به توپ متحمل می‌شوند (۹). با توجه به نتایج این مطالعه، میانگین فعالیت عضلات چهارسر در طول فاز رو به جلوی حرکت شوت، سیری صعودی در میزان پتانسیل الکتریکی داشتند و عضلات در هر دو شوت در لحظات پایانی حرکت، به ماکزیمم فعالیت خود رسیدند. البته در ترتیب رسیدن عضلات به ماکزیمم

-
1. Nunomi and Asai
 2. End point
 3. Tsaousidis and Zatsiorsky
 4. De Witt and Hinrichs
 5. Barfield
 6. Dorge
 7. De proft
 8. Manolopoulos

پتانسیل الکتریکی در دو شوت زمینی و هوایی تفاوت‌هایی جزئی وجود داشت. با وجود این، می‌توان گفت فعالیت الکترومایوگرافی عضلات چهارسر ران در فاز رو به جلوی حرکت افزایش می‌یابد تا عضلات در لحظه ضربه به ماکزیمم فعالیت الکتریکی خود برسند. جدول ۴ همبستگی درونی سرعت شوت را با ماکزیمم سرعت زاویه‌ای زانو و ماکزیمم فعالیت الکتریکی عضلات چهارسر ران، فارغ از زمینی و یا هوایی بودن شوت نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود همبستگی زیادی بین سرعت شوت و سرعت اکستنشن زانو وجود دارد؛ در نتیجه می‌توان گفت مطالعه حاضر با تحقیقات لوانون و داپنا (۱۹۹۸)، بارفیلد (۱۹۹۵) و قیدی و صادقی (۱۳۸۹) همخوانی دارد (۱۹، ۱۷، ۴).

جدول ۴. مقدار ضریب همبستگی بین سه پارامتر بیومکانیکی شوت روی پای فوتبال

متغیر ۱	متغیر ۲	همبستگی
سرعت شوت	حداکثر سرعت باز شدن زانو	۰/۷۲
سرعت شوت	حداکثر فعالیت الکتریکی عضلات چهارسر	۰/۴۳
حداکثر سرعت باز شدن زانو	حداکثر فعالیت الکتریکی عضلات چهارسر	۰/۵۱

با توجه به وجود همبستگی نه چندان زیاد بین حداکثر سرعت اکستنشن زانو با حداکثر فعالیت الکتریکی عضلات چهارسر و همچنین وجود اختلاف معنی‌دار بین دو شوت زمینی و هوایی در سرعت زاویه‌ای مفصل زانو و با توجه به نبود اختلاف بین دو شوت در فعالیت الکتریکی عضلات چهارسر، می‌توان به تأثیر عاملی دیگر در افزایش سرعت زاویه‌ای زانو پی برد. در حرکات ورزشی همانند شوت روی پای فوتبال به دلیل دخیل بودن چندین اندام در حرکت و با توجه به معادلات حرکت زنجیره‌ای حاکم، عضلات تنها عامل به وجود آورنده جابه‌جایی در مفاصل نیستند؛ بلکه تعامل بین اندام‌ها نیز عاملی مهم برای افزایش سرعت حرکت مفاصل، به خصوص در حرکات زنجیره باز مثل شوت است. پاتنام^۱ (۱۹۹۱) و دورج و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که سرعت مفصل زانو تنها از عضلات سرچشمه نمی‌گیرد و از گشتاور خالصی استفاده می‌کند که حاصل حرکت سایر اندام‌هاست (۲، ۲۰)؛ به عبارت دیگر، نایتو^۲ (۲۰۱۰) این مسئله را چنین بیان می‌کند که در آغاز فاز رو جلوی حرکت، مفصل ران سرعت زیادی دارد و این سرعت باعث جلوگیری از حرکت اکستنشن زانو می‌شود و حتی به زانو مقداری فلکشن نیز می‌دهد. مادامی که سرعت ران افزایش می‌یابد، نیروی گریز از مرکز نیز در پا زیاد می‌شود. به اعتقاد وی این نیرو

1. Putnam
2. Naito

مهم‌ترین مؤلفه در افزایش سرعت زاویه‌ای زانو است و باعث به‌وجود آمدن حرکتی شلاقی در این مفصل می‌شود (۷)؛ بنابراین افزایش سرعت زاویه‌ای مفصل ران نیز عاملی برای افزایش سرعت زانو و در نهایت افزایش سرعت شوت است. البته بر طبق نتایج تحقیق، سرعت زاویه‌ای بیش از حد ران در ابتدای فاز رو به جلو، باعث ایجاد فلکشن قابل توجهی در زانو می‌شود که حاصل توالی حرکتی بین مفاصل است. با توجه به شکل ۱ می‌توان این استنباط را داشت که سرعت زاویه‌ای ران در شوت زمینی بیشتر از شوت هوایی بوده است؛ زیرا شوت زمینی در ابتدا دارای سرعت بیشتری در جهت منفی است. این افزایش سرعت فلکشن زانو در فاز اکستنشن مانع رسیدن زانو به حداکثر سرعت اکستنشن می‌شود. همین عامل باعث می‌شود سرعت شوت زمینی آزمودنی‌ها کمتر از شوت هوایی آن‌ها باشد؛ بنابراین به نظر می‌رسد حد مطلوبی از سرعت زاویه‌ای ران می‌تواند کمک بیشتری به افزایش سرعت شوت کند. بیشتر بودن دامنه حرکتی مفصل زانو در شوت هوایی را نیز می‌توان عامل دیگر افزایش سرعت زاویه‌ای زانو دانست (جدول ۱). با توجه به شکل ۱ می‌توان مشاهده کرد که سرعت زاویه‌ای زانو در طول فاز رو به جلوی حرکت افزایش می‌یابد که البته با نتایج تحقیق نانومی^۱ و همکاران (۲۰۰۲) و هانگ^۲ و همکاران (۱۹۸۲) مطابقت دارد (۱۴، ۲۱)؛ بنابراین بیشتر بودن دامنه حرکتی زانو می‌تواند به مفصل این فرصت را بدهد که به بیشترین سرعت زاویه‌ای خود برسد.

در نهایت، باید گفت عواملی از جمله فعالیت عضلات چهارسر، توالی زمانی حرکت و دامنه حرکتی مفصل زانو تأثیر به‌سزایی بر افزایش سرعت زاویه‌ای زانو و متعاقب آن سرعت توپ در شوت روی پا دارند. در این پژوهش با توجه به نبود اختلاف معنی‌دار در سیگنال الکترومایوگرافی عضلات، عامل اختلاف بین دو شوت توالی حرکتی و دامنه حرکتی مفصل زانو است. سرعت زاویه‌ای زیاد در اندام‌های نزدیک به تنه می‌تواند گشتاور وابسته به حرکت^۳ را در اندام دور از تنه ایجاد کند و باعث افزایش سرعت زاویه‌ای در آن شود، ولی نباید از یاد برد که این افزایش سرعت زاویه‌ای زمانی محقق می‌شود که مفصل مربوط فرصت لازم را برای افزایش سرعت داشته باشد؛ به عبارت دیگر دامنه حرکتی آن بیشتر باشد. بر اساس نتایج تحقیق، شوت روی پای زمینی با وجود داشتن گشتاور وابسته به حرکت زیادتر در مفصل زانو، به دلیل کمتر بودن دامنه حرکتی، در مقایسه با شوت هوایی ماکزیمم سرعت بازشدن کمتری داشت. همچنین با توجه به وجود رابطه مستقیم و همبستگی زیاد بین سرعت زاویه‌ای زانو و سرعت

1. Nunome

2. Huang

3. Motion - Dependent Moment

شوت، تعداد زیادی از مفاصل و عضلات بدن بر سرعت شوت تأثیر می‌گذارند؛ بنابراین بررسی دقیق پارامترهای بیومکانیکی مؤثر بر سرعت شوت به بررسی جامع و گسترده‌تری نیاز دارد.

منابع:

1. Kellis, E. and A. Katis. (2007). Biomechanical characteristics and determinants of instep soccer kick. *Journal of Sports Science and Medicine*. 6(2) : p. 154-165.
2. Dörge, H.C., et al. (2002). Biomechanical differences in soccer kicking with the preferred and the non-preferred leg. *Journal of sports sciences*. 20(4) : p. 293-299.
3. Andersen, T. (1999). Collisions in soccer kicking. *Sports Engineering*. 2(2): p. 121-125.
4. Levanon, J. and J. Dapena. (1998). Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 30(6): p. 917-927.
5. Nunome, H., et al. (2006). Segmental dynamics of soccer instep kicking with the preferred and non-preferred leg. *Journal of sports sciences*. 24(05): p. 529-541.
6. Barfield, W.R., D.T. Kirkendall, and B. Yu. (2002). Kinematic instep kicking differences between elite female and male soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine*. 1(3) : p. 72-79.
7. Naito, K., Y. Fukui, and T. Maruyama. (2010). Multijoint kinetic chain analysis of knee extension during the soccer instep kick. *Human movement science*. 29(2): p. 259-276.
8. Lees, A. and L. Nolan. (1998). The biomechanics of soccer: a review. *Journal of sports sciences*; 16(3) : p. 211-234.
9. Dörge, H.C., et al. (1999). EMG activity of the iliopsoas muscle and leg kinetics during the soccer place kick. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 9(4) : p. 195-200.
10. Kellis, E., Katis, A., & Gissis, I. (2004). Knee biomechanics of the support leg in soccer kicks from three angles of approach. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1017–1028.
11. Bollens, E., E. De Proft, and J. Clarys. (1987). The accuracy and muscle monitoring in soccer kicking. *Biomechanics XA*. p. 283-288.
12. Kellis, E. and A. Katis, (2007). The relationship between isokinetic knee extension and flexion strength with soccer kick kinematics: an electromyographic evaluation. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, The. 47(4): p. 385.
13. Winter, D.A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*: John Wiley & Sons Inc.
14. Nunome, H., et al. (2002). Three-dimensional kinetic analysis of side-foot and instep soccer kicks. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 34(12): p. 2028-2036.
15. Tsaousidis, N. and V. Zatsiorsky. (1996). Two types of ball-effector interaction and their relative contribution to soccer kicking. *Human movement science*. 15(6) : p. 861-876.

16. De Witt, J.K. and R.N. Hinrichs. (2012). Mechanical factors associated with the development of high ball velocity during an instep soccer kick. *Sports Biomechanics*. 2012, iFirst article, 1-9.
17. Barfield, W. (1995). Effects of selected kinematic and kinetic variables on instep kicking with dominant and non-dominant limbs. *Journal of Human Movement Studies*. 29,251-272.
18. Manolopoulos, E., C. Papadopoulos, and E. Kellis. (2006). Effects of combined strength and kick coordination training on soccer kick biomechanics in amateur players. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 16(2) : p. 102-110.
۱۹. قیدی نغمه، صادقی حیدر (۱۳۸۹). آنالیز مؤلفه‌های اصلی متغیرهای کینماتیکی در اجرای شوت روی پای دقیق. *مطالعات طب ورزش*. شماره ۱۱، صفحات ۳۴-۲۱.
20. Putnam, C.A. (1991). A segment interaction analysis of proximal-to-distal sequential segment motion patterns. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 23(1): p. 130.
21. Huang, T., Roberts, E. and Youm, Y. (1982). Biomechanics of kicking. In: *Human body dynamics: impact, occupational, and athletic aspects*. Ed: Ghista, D. Oxford: Clarendon Press. 407-443.
22. Oliveira, A. S. C., & Gonçalves, M. (2009). EMG amplitude and frequency parameters of muscular activity: effect of resistance training based on electromyographic fatigue threshold. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(2), 295-303.

ارجاع مقاله به روش APA

حاج لطفعلیان، مصطفی؛ لنجان‌نژادیان، شهرام؛ مجتهدی، حسین؛ (۱۳۹۲)، بررسی سرعت شوت فوتبال از طریق مقایسه خصوصیات بیومکانیکی مفصل زانو در دو شوت زمینی و هوایی، *مطالعات طب ورزشی*، ۱۳، ۱۰۹-۱۲۲

ارجاع مقاله به روش vancouver

حاج لطفعلیان مصطفی؛ لنجان‌نژادیان شهرام؛ مجتهدی حسین. بررسی سرعت شوت فوتبال از طریق مقایسه خصوصیات بیومکانیکی مفصل زانو در دو شوت زمینی و هوایی، *مطالعات طب ورزشی*، ۱۳۹۲؛ ۵ (۱۳): ۱۰۹-۱۲۲

