



Kharazmi University

## Research in Sport Medicine and Technology

Print ISSN: 2252 - 0708 Online ISSN: 2588 - 3925

Homepage: <https://jsmt.khu.ac.ir>



# The comparison of kinematic characteristics of upper extremity of adolescences and adults in three steps shot in handball

Vahideh Ranjbari<sup>1</sup> | Mehdi Rafei Boroujeni<sup>2</sup> | Shahram Lenjannejadian<sup>3</sup>

1. Master in Sport Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
2. Assistant Professor of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran.
3. Assistant Professor of Sport Biomechanic, Faculty of Sport Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

corresponding author: Mehdi Rafei Boroujeni; [m.rafei@spr.ui.ac.ir](mailto:m.rafei@spr.ui.ac.ir)



CrossMark

### ARTICLE INFO

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 2021/10/22

Revised: 2022/04/21

Accepted: 2022/05/18

#### Keywords:

Three-step Shot in Handball, Linear Velocity, Angular Position, Angular Velocity

#### How to Cite:

Vahideh Ranjbari V., Rafei M., Lenjannejadian S. The comparison of kinematic characteristics of upper extremity of adolescences and adults in three steps shot in handball. *Research In Sport Medicine and Technology*, 2022; 12(23): 57-67.

**Introduction and aim:** The kinematic analysis of elite athletes' performance is an important method to determine effective parameters of sport performances. The purpose of the present study was to compare kinematic characteristics of the upper extremity in adolescence and adult players in three-step shoot in Handball. **Methods:** Nine elite adult handball players working in the Super League ( $23.55 \pm 2.69$  years) and ten teen handball players ( $16.4 \pm 0.69$  years) participated in this study. The pictures related to the final stage of the shoot were recorded three dimensionally and analyzed by a graphic interface in MATLAB software. The data related to the angular position, angular velocity and peak angular velocity and position corresponding to the upper limb joints of athletes, including the wrist, elbow and shoulder were obtained. Statistical data were used for analysis through student t-test for two independent groups with significance level  $p \geq 0.05$  in order to compare two groups. **Findings:** There were significant differences between two groups in angular position of elbow joint during extension at maximum angular velocity and linear velocity of the ball at the time of the release. **Conclusion:** it seems that other factors than cinematic characteristics such as anthropometric characteristics along with muscle strength in adult are important to get the maximum velocity of ball release.



Published by Kharazmi University, Tehran, Iran. Copyright(c) The author(s) This is an open access article under e: CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) DOI: 10.29252/jsmt.12.1.57.



## پژوهش در طب ورزشی و فناوری

شاپا چاپی: ۰۷۰۸-۲۲۵۲ شاپا الکترونیکی: ۳۹۲۵-۲۵۸۸

Homepage: <https://jsmt.khu.ac.ir>



### مقایسه ویژگیهای کینماتیکی اندام فوقانی در شوت سه گام هندبال بین بازیکنان نوجوان و

#### بزرگسال

وحیده رنجبری<sup>۱</sup> | مهدی رافعی بروجنی<sup>۲</sup> | شهرام لنجان‌نژادیان<sup>۳</sup>

۱. کارشناس ارشد بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. استادیار رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

۳. استادیار بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

نویسنده مسئول: مهدی رافعی بروجنی [m.rafei@spr.ui.ac.ir](mailto:m.rafei@spr.ui.ac.ir)

#### اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۳۱

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۲/۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۸

#### واژه‌های کلیدی:

شوت سه گام هندبال، سرعت

خطی، موقعیت زاویه‌ای، سرعت

زاویه‌ای

#### ارجاع:

وحیده رنجبری، مهدی رافعی بروجنی،

شهرام لنجان‌نژادیان. مقایسه ویژگیهای

کینماتیکی اندام فوقانی در شوت سه گام

هندبال بین بازیکنان نوجوان و بزرگسال

۱۲ (۲۳): ۶۷-۵۷

#### چکیده

مقدمه و هدف: تحلیل کینماتیک اجرای ورزشکاران نخبه یک روش مهم در تعیین پارامترهای موثر بر اجراهای ورزشی است. هدف از این پژوهش مقایسه ویژگی‌های کینماتیکی اندام فوقانی بازیکنان نوجوان و بزرگسال در شوت سه گام هندبال بود. روش‌شناسی: تعداد نه هندبالیست بزرگسال نخبه شاغل در لیگ برتر کشور (سن  $23/55 \pm 2/69$  سال) و ده هندبالیست نوجوان عضو باشگاه‌های لیگ برتری کشور (سن  $16/4 \pm 0/69$  سال) در این پژوهش شرکت کردند. تصاویر مربوط به اجرای مرحله‌ی نهایی شوت به صورت سه بعدی ثبت شد و در نرم‌افزار متلب تحلیل و اطلاعات مربوط به موقعیت زاویه‌ای، سرعت زاویه‌ای و بیشینه‌ی سرعت زاویه‌ای و موقعیت مربوط به آن برای مفاصل اندام فوقانی ورزشکاران شامل مچ، آرنج و شانه به دست آمد. تحلیل آماری از طریق آزمون تی مستقل در سطح معنی داری ( $p \leq 0/05$ ) انجام شد. یافته‌ها: در موقعیت زاویه‌ای باز شدن مفصل آرنج در بیشینه سرعت زاویه‌ای و سرعت خطی توپ در لحظه‌ی تفاوت بین دو گروه معنی دار بود. بحث و نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد عواملی غیر از ویژگی‌های آنتروپومتریک همزمان با عامل قدرت عضلات ورزشکاران بزرگسال در رسیدن به سرعت بیشینه در رهایی توپ، کمک کننده می‌باشد.

## مقدمه

هندبال نوین یک ورزش دانشگاهی است که در میان نوجوانان و جوانان طرفداران زیادی دارد. وجود سرعت و برخوردهای بدنی در این ورزش به رقابتهای آن هیجان خاصی می‌دهد و همانند سایر رشته‌های ورزشی شرکت کنندگان تلاش در کسب برتری دارند. در این میان کسب دانش بیشتر و رسیدن به عوامل ایجاد برتری مانند قدرت بدنی، مهارت و حتی ابزار دارای اهمیت است (۱). یکی از روشهای رسیدن به دانش مورد نظر علم بیومکانیک است (۲).

تحلیل بیومکانیکی و حرکت شناختی تکنیک‌های یک رشته ورزشی خاص، که شامل کینماتیک و کیتیک می‌شود، اطلاعاتی را فراهم می‌آورد که اساس آگاهی دقیق و کامل از ساختار واقعی آنها بوده و از این طریق تکنیک‌های جدید و کارآمدتر در آموزش ایجاد می‌شوند (۳). اطلاعات حاصل از داده‌های مربوط به پارامترهای کینماتیکی که به جابه‌جایی، سرعت و شتاب اندام‌های درگیر در اجرای این مهارت می‌پردازد، می‌تواند اطلاعات بسیاری جهت یاری رساندن به مربیان در راستای طراحی تمرینات مناسب همچنین اصلاح تکنیک و الگوی حرکت فراهم آورد (۴). تحلیل داده‌های کینماتیکی مربوط به ورزشکار ماهر و استفاده از آن به عنوان یک مدل و توصیف کمی حرکت، برای جمع‌آوری اطلاعات ارزشمند از پارامترهایی که در اجرا موثرند، دارای اهمیت است (۵).

در مطالعات قبلی، شوت ایستا، شوت ایستا همراه با دورخیز و شوت جفت بررسی شده‌است و گزارش شده‌است که سرعت رهایی توپ عامل اصلی و تعیین کننده در موفقیت شوت می‌باشد (۳، ۶). چند مطالعه نشان دادند که سرعت توپ بوسیله تکنیک پرتاب، زمان بندی حرکات متوالی اجزاء بدن، قدرت و توان اندام فوقانی و تحتانی تعیین می‌شود (۷-۹). ملاحظه تفاوت‌های جنسیتی و تاثیر آن بر کینماتیک شوت نشان داده که سرعت رهایی توپ در مردان به طور معنی داری بالاتر از زنان بوده، اما تفاوت‌های کینماتیکی و تکنیکی خاصی وجود ندارد (۱۰). با وجود عدم تاثیر تفاوت‌های جنسیتی در کینماتیک شوت هندبال، سرعت بیشینه‌ی نقطه انتهایی در بخشهای دست و مچ زنان و مردانی که با تکنیک یکسان پرتاب کردند متفاوت است (۱۱). واگنر (۲۰۱۰) با مقایسه سینماتیک شوت پرشی در هندبالیست‌های نخبه و آماتور، تفاوت معنی داری در سرعت توپ، حداکثر چرخش داخلی تنه و همچنین سرعت زاویه‌ای فلکشن تنه و چرخش شانه در هنگام رها کردن توپ مشاهده کرد (۴). او همچنین (۲۰۱۱) تاثیر معنی دار دویدن، حرکات لگن و تنه قبل از پرتاب بر سرعت توپ را گزارش کرد (۱۲). با توجه به اینکه سرعت رهایی توپ مهمترین عامل در پرتابهای هندبال می‌باشد، به نظر می‌رسد که یکی از عوامل مهم در افزایش سرعت پرتاب، کینماتیک مربوط به الگوی حرکتی مورد استفاده است (۶).

مهارت‌های ورزشی از اشکال حرکات تخصصی هستند. حرکات تخصصی، در واقع حرکات بنیادی پیشرفته‌ای هستند که با نیازهای خاص یک فعالیت ورزشی، تفریحی یا فعالیت‌های خاص در زندگی روزانه تطابق یافته‌اند و برای اجرای آن مهارت‌های خاص و پیچیده، پالایش یافته و ترکیب شده‌اند (۱۳). از این رو، آشنایی با مبانی بیومکانیک حرکات راهی است برای درک حرکات پایه یا پیچیده‌ای که از جمله در فعالیت‌های ورزشی مشاهده می‌شود و هدف از آن بهبود کیفیت حرکات و توانا کردن شخص در اجرای فنون حرکت است (۱۴). با رسیدن فرد به بلوغ و بالیدگی جسمانی دیگر تفاوت‌های

کمی نشان دهنده‌ی میزان رشد و بالیدگی نخواهد بود و تأکید بیشتر بر بهینه کردن و پالایش مهارت‌هایی است که فرد تا آن زمان آموخته است. نشانه‌های کمی، منعکس کننده پیشرفت یکنواخت اجرای حرکت در سنین جوانی است (۱۵). پسران در سیزده سالگی به اوج سرعت نمو جهشی خود می‌رسند (این دوره حدود ۴ سال است) و تا پانزده سالگی به طور تدریجی کم می‌شود و نهایتاً "در هفده یا هجده سالگی به اتمام می‌رسد (۱۳). بنون و تومیس (۲۰۰۰) نشان دادند که افزایش قدرت به دنبال نمو و رشد ابعاد جسمی مانند قد افزایش می‌یابد. هرچند کم بودن توده عضلانی می‌تواند باعث عملکرد ضعیف‌تر آن‌ها شود (۱۶). چند مطالعه نشان داده‌اند که سرعت توپ هندبال بوسیله تکنیک پرتاب، زمان‌بندی حرکات متوالی اجزاء بدن، قدرت و توان اندام فوقانی و تحتانی تعیین می‌شود (۹-۷).

با مرور مطالعات قبلی مشاهده شد که ویژگی‌های کینماتیکی شوت هندبال در دوره‌های سنی مختلف مطالعه نشده است. از آنجایی که رشد و تکامل و تجربه از جمله عوامل رسیدن ورزشکار به حداکثر توانایی در اجرای مهارت‌های ورزشی است (۱۵) و مطالعات نشان داده‌اند که سن شانزده سالگی مناسب‌ترین زمان برای انتخاب درست بازیکنان هندبال می‌باشد (۱۷) در این پژوهش تلاش شد تا به این پرسش پاسخ داده شود که آیا در دوره نوجوانی هم هندبالیست‌های ماهر به طور کامل الگوی حرکتی را اجرا می‌کنند و تنها به دلیل نرسیدن به حداکثر توانایی در بعضی از فاکتورها بین آنها و بزرگسالان تفاوت وجود دارد یا اینکه خود الگوی حرکتی که اجرا می‌شود نیز از افراد ماهر و بزرگسال متفاوت است؟ به طور مشخص هدف این پژوهش مطالعه ویژگی‌های کینماتیکی شوت سه گام هندبال بین بازیکنان نوجوان و بزرگسال بود.

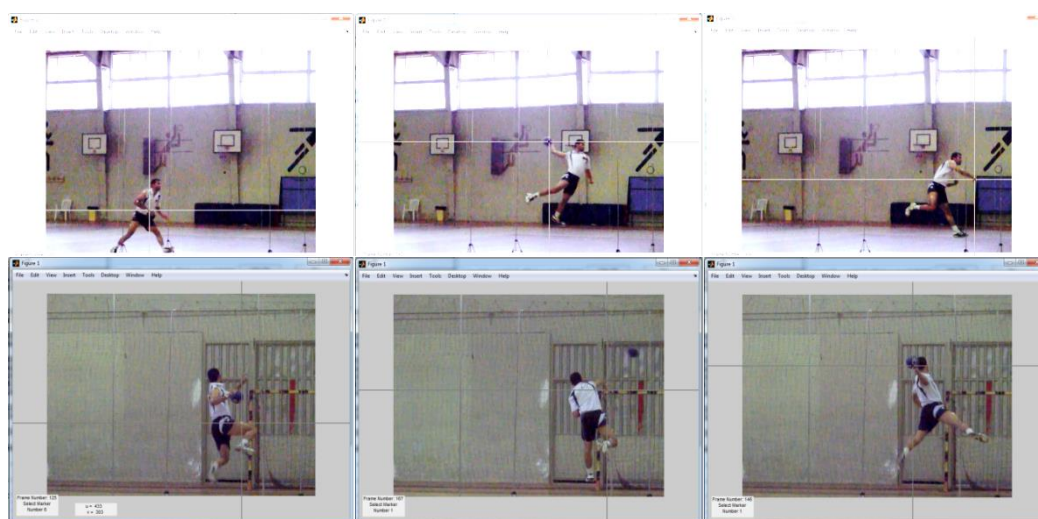
## روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش علی-مقایسه‌ای ۹ مرد بزرگسال، (۸ نفر راست دست و یک نفر چپ دست) با میانگین سنی  $23/55 \pm 2/69$  سال) و قد  $185/44 \pm 5/63$  سانتی‌متر) از تیم بزرگسالان باشگاه سپاهان و ۱۰ نفر نوجوان (۸ نفر راست دست و ۲ نفر چپ دست) با میانگین سنی  $16/4 \pm 6/69$  سال) و قد  $179/7 \pm 5/03$  سانتی‌متر) از باشگاه مس پارس اصفهان، داوطلبانه به عنوان آزمودنی شرکت کردند.

از آزمودنی‌ها خواسته شد که فرم رضایت‌نامه را پر کنند. در این پژوهش از دو دوربین کاسیو به منظور تصویربرداری از حرکت ورزشکاران استفاده شد. برای مشخص کردن فضای کالیبره از فریم کالیبره‌ای با ابعاد  $250 \times 200 \times 350$  استفاده شد. با توجه به کیفیت مورد نیاز تصاویر، سرعت ۱۲۰ فریم برثانیه برای بررسی تکنیک مورد نظر انتخاب و برای مشخص شدن محل دقیق مفاصل مورد نیاز، از قطعات  $2 \times 2$  سانتی متری چسب پارچه‌ای سفید رنگ روی بدن استفاده شد. برای تصویربرداری و بدست آمدن ریتم اجرای تکنیک توسط هر ورزشکار به طوری که مرحله‌ی نهایی شوت سه گام تا لحظه رهایی توپ، داخل فریم کالیبره قرار گیرد، آزمودنی‌ها چندین بار اجرای حرکت خواسته شده را به انجام برسانند. برای مشخص کردن بهتر مفاصل از مارکرهای پارچه‌ای در مفصل آخرمی ترقوه‌ای برای نمایاندن مفصل شانه، اپی‌کوندیل خارجی و داخلی مفصل آرنج، برآمدگی خارجی و داخلی میچ دست (در دو انتهای خطی که به طور قرینه از میچ دست عبور می‌کند)، سطح خارجی دست در انتهای اولین استخوان کف دستی، انتهای استخوان وسط کف دستی در سمت

پشت دست و مفصل ران روی برجستگی سر استخوان ران استفاده شد. در ابتدا به علت این که آزمون دهندگان اکثراً راست دست بودند، دوربین‌ها در سمت راست آنها قرار داده شدند. برای تصویربرداری از بازیکنان چپ دست محل دوربینها به صورت قرینه نسبت به خط فرضی طولی گذرنده از وسط زمین، عوض می‌شد. محوطه کالیبره در قسمت وسط زمین هندبال تقریباً روی ۶ متر دروازه با ابعاد ۲/۵ متر طول ۲ متر عرض و ۳ متر ارتفاع در نظر گرفته شد. دوربین ۲ تقریباً نزدیک به ۶ متر سمت مخالف زمین، رو به دروازه هدف با زوم ۷۰ قرار داده شد و دوربین ۱ در منتهی‌الیه گوشه راست زمین به سمت دروازه‌ای که ضربات زده می‌شد، با زوم ۵۰ رو به محیط کالیبره قرار گرفت. زاویه بین دو دوربین ۱۲۰ درجه بود و عدد زوم هر دو دوربین روی صفحه نمایش قابل کنترل بود. عدد زوم به نحوی انتخاب شد که بزرگترین تصویر با رعایت پوشش کامل حرکت ثبت شود.

آزمودنی‌ها ۴ مرتبه بعد از به دست آوردن آمادگی لازم در زمان دلخواه خود، شوت سه‌گام را اجرا کردند. تصویربرداری این پژوهش سه‌بعدی بوده که با اخذ تصویر از حداقل دو دوربین امکان پذیر می‌شود. برای به دست آوردن اطلاعات عددی لازم از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار متلب با طراحی چند رابط گرافیکی استفاده شد و تحلیل تصاویر هر یک از دوربین‌ها با استفاده از رابط گرافیکی دوبعدی انجام گرفت. برای همزمان کردن تصاویر دو دوربین، آزمودنی‌ها می‌بایست توپ را زمین زده بعد از دریافت آن، تکنیک خواسته شده را اجرا می‌کردند. لحظه دریافت توپ، لحظه همزمان کردن تصاویر در نظر گرفته شد. دوربین‌ها در بهترین محل متصور برای آن‌ها که حداکثر دید از مارکرها راداشته باشند، قرار گرفتند و در صورت خاموش شدن، تکان خوردن و یا جابه‌جایی کالیبراسیون دوباره انجام می‌شد. بعد از تهیه تمام تصاویر، بهترین حرکت هر فرد از میان ۴ اجرای شوت انتخاب شد. معیار انتخاب بهترین حرکت، نظر مربیانی که فیلم‌ها را مشاهده می‌کردند و کسب بیشترین سرعت رهایی توپ بود که پس از تحلیل، نتایج آن در پژوهش گزارش شده است. برای آنالیز داده‌ها، از نرم‌افزار متلب با طراحی چند رابط گرافیکی استفاده شد و تحلیل تصاویر دوربین‌ها انجام گرفت (شکل ۱).



شکل ۱. مراحل مشخص کردن مفاصل توسط نشانگر و ذخیره‌ی مختصات مربوط به آن در دوربین‌ها

برای محاسبه متغیرهای سینماتیکی از ۶ مارکر بر روی سطح خارجی دست، میچ، آرنج، شانه، لگن و ران استفاده شد. با پردازش تصاویر، مختصات دوبعدی مارکرها از هر یک از دوربین‌ها به دست آمده و با استفاده از روابط تبدیل خطی مستقیم (DLT: Direct Linear Transform) مختصات سه بعدی مارکرها محاسبه شد (۱۸).

$$x_1 + C_1X_1 + C_2Y_1 + C_3Z_1 + C_4 + C_9x_1X_1 + C_{10}x_1Y_1 + C_{11}x_1Z_1 = 0$$

$$y_1 + C_5X_1 + C_6Y_1 + C_7Z_1 + C_8 + C_9y_1X_1 + C_{10}y_1Y_1 + C_{11}y_1Z_1 = 0$$

پس از محاسبه مختصات سه بعدی مارکرها، ابتدا اطلاعات به دست آمده برای حذف نویز با استفاده از روش میانگین پنج نقطه‌ای هموارسازی شد. سپس با استفاده از روابط جبری و هندسی بردار سه بعدی مربوط به هر لینک مشخص و زوایای بین لینک‌ها محاسبه گردید. به این ترتیب زوایای مفاصل میچ، آرنج و شانه برای ارائه و تحلیل به دست آمد. برای محاسبه سرعت‌های زاویه‌ای نیز مشتق گیری عددی با استفاده از تفاضلات پیشرو مرتبه دوم انجام شد. برای محاسبه سرعت خطی نیز از مختصات نقاط مورد نظر مشتق گیری عددی به همین روش صورت گرفت. روابط ریاضی مورد استفاده به شرح زیر است:

هموارسازی با استفاده از میانگین پنج نقطه‌ای:

$$\bar{x}_i = (x_{i-2} + x_{i-1} + x_i + x_{i+1} + x_{i+2})/5$$

بردار هر لینک با استفاده از مختصات نقاط ابتدا و انتها:

$$\vec{L}_i = (x_2 - x_1)\hat{i} + (y_2 - y_1)\hat{j} + (z_2 - z_1)\hat{k}$$

زوایای مربوط به هر لینک با صفحات آناتومیک:

$$\theta_{ii} = \vec{L}_i \cdot \hat{i} \quad , \quad \theta_{ij} = \vec{L}_i \cdot \hat{j} \quad , \dots$$

زاویه مطلق بین هر دو لینک:

$$\cos \alpha_{ij} = \frac{\vec{L}_i \cdot \vec{L}_j}{|\vec{L}_i| |\vec{L}_j|}$$

مشتق عددی با استفاده از تفاضلات پیشرو مرتبه دوم:

$$\dot{x}_i = (-3x_i + 4x_{i+1} - x_{i+2})/(2 * h)$$

برای تحلیل داده‌ها از میانگین و انحراف استاندارد برای وصف داده‌ها و از روش آماری تی مستقل با سطح معنی داری ۰/۰۵ استفاده شد.

## یافته‌ها

شاخصهای توصیفی ویژگی‌های کینماتیکی شوت سه گام بازیکنان مرد رشته هندبال تحت مطالعه و همچنین نتایج حاصل از مقایسه دو گروه در جدول ۱ آمده است. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده شد که گروه بزرگسال در زمان کمتری از کل زمان مرحله نهایی شوت اقدام به پرتاب کرده‌اند و همچنین موقعیت زاویه‌ای باز شدن مفصل آرنج در بیشینه سرعت زاویه‌ای آن در گروه نوجوان متفاوت با گروه بزرگسال است و گروه بزرگسال سرعت خطی بالاتری در لحظه رهایی توپ کسب کرده‌اند. با توجه به علامت گذاری توپ و میچ بصورت یکسان در فریم‌های فیلم سرعت خطی میچ و توپ و سرعت



زاویه‌ای لحظه رهایی توپ همانند سرعت زاویه‌ای مفصل مچ دست در لحظه رهایی متصور شده است. در نهایت نتایج آزمون آماری نشان داد که ویژگی‌های کینماتیکی شوت سه گام هندبال، به جز موقعیت زاویه‌ای باز شدن مفصل آرنج در بیشینه سرعت زاویه‌ای آن و سرعت خطی توپ و مچ در لحظه رهایی توپ، در دو گروه سنی نوجوان و بزرگسال تفاوت معنی‌داری نداشت.

جدول ۱. جدول شاخصهای توصیفی ویژگی‌های کینماتیکی شوت سه گام بازیکنان مرد رشته هندبال به تفکیک گروه سنی

sig	مقدار t	انحراف معیار $\pm$ میانگین		ویژگی‌های کینماتیکی
		نوجوانان	بزرگسالان	
۰/۱۶	-۱/۴۶	۸۲/۷۸ $\pm$ ۷/۷۳	۷۷/۳۱ $\pm$ ۸/۵۹	درصد زمان رهایی توپ نسبت به کل مرحله نهایی شوت سه گام
۰/۲۲	۱/۲۸	۱۲۵۳/۷ $\pm$ ۲۲۱/۹۹	۱۸۷۸/۰۱ $\pm$ ۳۸۹/۹	سرعت زاویه‌ای خم شدن مفصل مچ در لحظه رهایی (درجه/ثانیه)
۰/۶۳	-۰/۴۹	۱۸/۸ $\pm$ ۱۲/۹۶	۲۲/۲۳ $\pm$ ۱۷/۵۴	موقعیت زاویه‌ای خم شدن مفصل مچ در لحظه رهایی (درجه)
۰/۸۹	۱/۸۱	۱۷۲۹/۲۳ $\pm$ ۲۶۵/۱۹	۲۳۴۴/۰۹ $\pm$ ۴۰۱/۴۹	بیشینه سرعت زاویه‌ای خم شدن مفصل مچ در مرحله نهایی شوت (درجه/ثانیه)
۰/۰۵	-۲/۰۹	۱۳/۰۲ $\pm$ ۷/۶۲	۲۴/۸۳ $\pm$ ۱۵/۹۸	موقعیت زاویه‌ای مفصل مچ در بیشینه سرعت زاویه‌ای خم شدن (درجه)
۰/۵۸	۰/۵۶	۸۳۹/۵۱ $\pm$ ۱۸۵/۰۵	۹۵۲/۰۹ $\pm$ ۱۷۲/۹۶	سرعت زاویه‌ای باز شدن مفصل آرنج در لحظه رهایی (درجه/ثانیه)
۰/۱۸	۱/۳۹	۲۳/۷۱ $\pm$ ۹/۷۶	۱۶/۵ $\pm$ ۱۲/۷۵	موقعیت زاویه‌ای باز شدن مفصل آرنج در لحظه رهایی (درجه)
۰/۱۳	۱/۵۹	۱۰۱۳/۸۳ $\pm$ ۳۶۹/۴۲	۱۷۸۴/۰۷ $\pm$ ۳۴۶/۴۲	بیشینه سرعت زاویه‌ای باز شدن مفصل آرنج در مرحله نهایی شوت (درجه/ثانیه)
*۰/۰۱	۳/۰۱	۴۰/۳۹ $\pm$ ۲۱/۷۷	۱۵/۵۷ $\pm$ ۱۲/۲۱	موقعیت زاویه‌ای مفصل آرنج در بیشینه سرعت زاویه‌ای باز شدن آن (درجه)
۰/۷۵	-۰/۳۲	۵۲۸/۲۹ $\pm$ ۱۸۹/۷۵	۵۴۴/۳۸ $\pm$ ۱۵۹/۲۱	سرعت زاویه‌ای نزدیک شدن مفصل شانه در لحظه رهایی (درجه/ثانیه)
۰/۳۶	۰/۹۴	۱۵۷/۳۸ $\pm$ ۱۵/۳۵	۱۶۳/۷۸ $\pm$ ۱۴/۳۱	موقعیت زاویه‌ای نزدیک شدن مفصل شانه در لحظه رهایی (درجه)
۰/۰۶	-۲/۰	۶۲۹/۷۰ $\pm$ ۱۳۸/۰۱	۶۹۱/۱۷ $\pm$ ۱۳۰/۷۱	بیشینه سرعت زاویه‌ای نزدیک شدن مفصل شانه در مرحله نهایی شوت (درجه/ثانیه)
۰/۶۶	-۰/۴۴	۱۴۳/۲۳ $\pm$ ۱۷/۱۴	۱۴۰/۰۷ $\pm$ ۱۳/۵۲	موقعیت زاویه‌ای مفصل شانه در بیشینه سرعت نزدیک شدن آن (درجه)
۰/۲۸	-۱/۱۳	۶۹۴/۰۶ $\pm$ ۲۳۵/۴۲	۹۱۳/۳۹ $\pm$ ۲۲۵/۸۷	سرعت زاویه‌ای باز شدن مفصل شانه در لحظه رهایی (درجه/ثانیه)
۰/۹۸	-۰/۲۷	۱۰۴/۳۲ $\pm$ ۱۴/۲۸	۱۰۴/۱۷ $\pm$ ۹/۱۶	موقعیت زاویه‌ای باز شدن مفصل شانه در لحظه رهایی (درجه)
۰/۶۳	-۰/۴۹	۸۵۶/۷ $\pm$ ۱۲۰/۷۲	۱۰۴۸/۲ $\pm$ ۲۴۹/۴۷	بیشینه سرعت زاویه‌ای باز شدن مفصل شانه در مرحله نهایی شوت (درجه/ثانیه)
۰/۱۲	-۱/۶۳	۱۰۱/۵۳ $\pm$ ۷/۹۱	۹۵/۷۲ $\pm$ ۷/۵۵	موقعیت زاویه‌ای مفصل شانه در بیشینه سرعت باز شدن آن (درجه)
*۰/۰۰۱	۵/۹۷	۷/۱۸ $\pm$ ۰/۸۴	۱۰/۲۹ $\pm$ ۱/۳۹	سرعت خطی مچ در لحظه رهایی (متر/ثانیه)
*۰/۰۰۱	۱/۲۱	۱۴/۶۰ $\pm$ ۱/۰۲	۱۸/۸۰ $\pm$ ۱/۳۹	سرعت خطی توپ در لحظه رهایی (متر/ثانیه)

## بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش شوت سه گام هندبال که یکی از کاربردی‌ترین شوت‌های این بازی است، بررسی شد. نتایج به دست آمده در این پژوهش مربوط به مفاصل اندام فوقانی شامل مچ، آرنج و شانه بازیکنان هندبال نخبه می‌باشد. بررسی این نتایج که در جدول شماره ۱ آمده است نشان می‌دهد موقعیت زاویه‌ای هر سه مفصل در لحظه رهایی و بیشینه سرعت خم و باز شدن مچ، باز شدن آرنج و نزدیک و باز شدن شانه، دارای مقادیر نزدیک به هم در دو رده سنی می‌باشند. وجود چنین تشابهی در الگوهای حرکتی به جز متفاوت بودن سرعت خطی توپ و مچ و موقعیت زاویه‌ای آرنج در بیشینه سرعت

زاویه‌ای آن نشان می‌دهد نوجوانان که به‌طور نسبی مهارت‌های پایه‌ای را خوب آموخته‌اند، آن‌ها را در مهارت‌های پیچیده ورزشی ترکیب کرده و به‌کار می‌گیرند (۱۵). وجود تفاوت در موقعیت زاویه‌ای آرنج در بیشینه سرعت زاویه‌ای آن ممکن است به تفاوت در تکنیک اجرای این دو گروه و تلاش برای رسیدن به بالاترین سرعت رهایی توپ باشد.

رده سنی بزرگسالان در زمان کمتری از کل زمان مرحله نهایی شوت اقدام به پرتاب کرده‌اند، همین‌طور ۶۶/۷ درصد بزرگسالان و ۶۰ درصد نوجوانان بیشینه‌ی سرعت زاویه‌ای بازشدن آرنج را در مرحله‌ی بالا رفتن دست قبل از پرتاب به‌دست آورده‌اند. این تفاوت‌ها ممکن است به پالایش مهارت در گروه سنی بزرگسالان مربوط بوده و نشان می‌دهد افزایش سن بر اجرای مهارت‌های افراد اثرگذار است (۱۵). بیدو و همکاران (۲۰۰۴) اعتقاد دارد که اجرا و تغییرپذیری حرکت برای تکنیک‌های مختلف شوت در فازهای مختلف آن و سطوح مختلف مهارت، متفاوت است. آنها ادعا می‌کنند که بازیکنان ماهر هندبال توانایی جایگزین کردن تغییرپذیری حرکت در فاز شتاب به دقت در شوت را دارا هستند و قادر به کنترل حرکت می‌باشند، اگرچه تغییرپذیری حرکت در فرود با شوت در حال دویدن کاهش می‌یابد (۱۹).

در سرعت زاویه‌ای بازشدن آرنج و بازشدن و نزدیک شدن شانه در لحظه رهایی، بیشینه سرعت زاویه‌ای خم شدن مچ و بازشدن شانه در مرحله نهایی شوت نوجوانان نتایج بهتری داشتند ولی تفاوت معناداری در این مقادیر مشاهده نشد. با افزایش سن و رشد و نمو کودکان، نوجوانان و جوانان قدرت عضلانی آن‌ها افزایش پیدا می‌کند. قدرت عضلانی تنها مربوط به اندازه‌ی عضله نیست. با رشد و بالیدگی، نوجوانان به عامل دیگری غیر از نمو عضله می‌رسند که به افزایش قدرت آن‌ها کمک می‌کند. این عامل به احتمال زیاد پیشرفت هماهنگی عضله در فراخوانی تارچه‌ها یعنی بالا رفتن مهارت در استفاده از عضلات مختلف برای تولید نیرو (۱۵) و نهایتاً "افزایش سرعت پرتاب نوجوانان است. واگنر و همکاران (۲۰۱۰) تفاوت معنی‌داری در بیشینه سرعت زاویه‌ای چرخش داخلی شانه بین بازیکنان نخبه و سطح پایین به‌دست نیاوردند. آنها همچنین نشان دادند که بازیکنانی که سرعت رهایی توپ پایین‌تری دارند ممکن است توانایی تولید بیشینه سرعت زاویه‌ای بالاتری در چرخش داخلی شانه و نه در رهایی توپ داشته باشند (۴). ون دن تیلار و کابری (۲۰۱۲) برای بررسی تاثیر تفاوت‌های جنسیتی در ویژگی‌های کینماتیکی، پرتاب بالای سر هندبالیست‌های نخبه را بررسی کردند. تفاوت عمده‌ای در کینماتیک به جز سرعت بیشینه نقطه انتهایی در بخش‌های دست و مچ زنان و مردانی که با تکنیک یکسان پرتاب کردند، مشاهده نشد (۱۰). با توجه به‌اینکه پسران نوجوان و زنان به رشد عضلانی و قدرت همانند مردان بزرگسال نمی‌رسند، نتایج پژوهش فوق مشابه با پژوهش ما به نظر می‌رسد.

مقادیر سرعت زاویه‌ای توپ و خم شدن مچ در لحظه‌رهایی، بیشینه سرعت زاویه‌ای آرنج و بیشینه سرعت زاویه‌ای نزدیک شدن شانه در مرحله نهایی شوت و سرعت خطی مچ و توپ در لحظه رهایی در گروه بزرگسال بیشتر می‌باشد اما این تفاوت معنی‌دار نیست. از آنجایی که در دوران قبل از بلوغ و جوانی، مهارت از نظر کمی پیشرفت می‌کند و بخشی از این پیشرفتهای کمی نتیجه‌ی رشد مستمر به‌ویژه در دوران بلوغ بوده که با افزایش قدرت همراه است (۱۵)، می‌توان عدم وجود تفاوت معنی‌دار را توجیه کرد. واگنر و همکاران (۲۰۰۸) تفاوت معنی‌دار در سرعت رهایی توپ و خم شدن مچ بین بازیکنان سطوح مختلف، گزارش کردند (۲۰). ون دن تیلار و اتما (۲۰۰۴) نشان دادند که بیشینه باز شدن آرنج



به‌طور عمده‌ای در سرعت رهایی توپ سهیم است (۱۱). واگنر و همکاران (۲۰۰۶) کینماتیک و سرعت توپ در شوت با پرش هندبال را در سه گروه با سطح متفاوت اجرا، بررسی کردند و پی‌بردند که تفاوت‌های معنی‌داری بین گروه‌ها در سرعت توپ، سرعت میج و انگشتان، دامنه زاویه خم و باز شدن شانه و سرعت زاویه‌ای بیشینه در خم و باز شدن و چرخش داخلی شانه، خم شدن ساعد و انحراف به سمت زند زیرین در میج وجود دارد. آنها معتقدند علت اصلی افزایش سرعت توپ، افزایش سرعت زاویه‌ای شانه، مخصوصاً "خم شدن شانه، باز شدن ساعد و انحراف به سمت زند زیرین میج می‌باشد (۲۱). واگنر (۲۰۱۰) قابلیت رسیدن بازیکنان نخبه به سرعت زاویه‌ای چرخش داخلی شانه در حدود ۵۰۰۰ درجه بر ثانیه را گزارش کرد (۴). در این پژوهش ما به مقدار بیشینه سرعت زاویه‌ای نزدیک شدن شانه در حدود ۴۸۹۱ درجه بر ثانیه در گروه بزرگسال رسیدیم. همچنین سرعت زاویه‌ای باز شدن آرنج میج بازیکنان نخبه در حدود ۱۵۲۶ درجه بر ثانیه گزارش شده است (۴) که این مقادیر در پژوهش ما به ترتیب حدود ۲۹۰۰ درجه بر ثانیه به‌دست آمده است. به نظر می‌رسد این تفاوت‌ها به‌علت تفاوت در تکنیک باز کردن آرنج دست پرتاب بازیکنان گروه بزرگسال ما باشد.

بررسی مقدار سرعت خطی رهایی توپ نشان می‌دهد که میانگین اجرای گروه بزرگسال دارای تفاوت معنی‌دار با گروه نوجوان می‌باشد. پوری، بن و سیبلا (۲۰۰۵)، سیبلا، پوری و بن (۲۰۰۳) وان دن تیلار و اتما (۲۰۰۴ و ۲۰۰۷)، واگنر و همکاران (۲۰۰۸ و ۲۰۱۰) اعتقاد دارند سرعت رهایی توپ مهمترین عامل تعیین‌کننده در اجرای شوت هندبال است (۲۲) و ۲۰ و ۱۱ و ۶ و ۴ و ۳). نتایج واگنر و همکاران (۲۰۱۰) نشان می‌دهد بازیکنان با قد بلندتر و وزن بیشتر قابلیت رسیدن به سرعت بالاتر رهایی توپ را دارا می‌باشند. این نتایج از تجربه‌ی داشتن وزن بالای ۹۰ کیلوگرم و قد بلندتر از ۱/۹۰ متر برای بازیکنان عقب زمین که باید پرتاب‌های با سرعت رهایی بالاتری داشته باشند حمایت می‌کند (۴). در این پژوهش عدم وجود تفاوت معنی‌دار در اکثر پارامترهای به‌دست آمده از دو گروه، به جز سرعت رهایی توپ نشان می‌دهد که احتمالاً "ویژگی‌های آنروپومتري یکی از عوامل موثر در سرعت رهایی توپ می‌باشد. علت آن علاوه بر عامل قدرت عضلانی بالاتر بازیکنان گروه بزرگسال، به بلندتر بودن بازوهای گشتاور عضلانی که مسئول تولید نیرو و توان در اجرای تکنیک شوت است، مربوط می‌باشد. با توجه به پژوهش‌های موجود ویژگی‌های آنروپومتري گروه‌های مختلف باعث ایجاد تفاوت در سرعت رهایی توپ می‌شود. دبان (۲۰۱۱) در مورد تاثیر متغیرهای آنروپومتريک عمومی، متغیرهای خاص هندبال، توان بالاتر و قدرت روی سرعت پرتاب توپ در موقعیت ایستا و پیش بینی این سرعت، پژوهش کرد. متغیرهای آنروپومتريک عمومی مثل قد، توده بدن، توده بدون چربی و شاخص توده بدن و پارامترهای خاص هندبال مانند اندازه دست و اندازه بازو اندازه گرفته شد، قدرت دینامیکی بالاتر در آزمایش پرتاب توپ مدیسن ۲ کیلوگرمی و قدرت با استفاده از آزمون پرس سینه با یک تکرار بیشینه ارزیابی شد. اجرا در پرتاب توپ مدیسن بهترین پیش‌بینی کننده بود. متغیرهای آنروپومتريک عمومی پیش‌بینی بهتری از متغیرهای آنروپومتريکی خاص هندبال داشتند (۹). بر اساس نتایج پژوهش لافای (۲۰۱۲)، بازیکنان نخبه، قد بلندتر و سنگین‌تر از بازیکنان ماهر بودند و قدرت بالاتر بیشتری داشتند. این پژوهشها به وجود اهمیت بالای ویژگی‌های آنروپومتريک در تفاوت داشتن سرعت رهایی توپ در دو گروه بزرگسال و نوجوان، با وجود عدم تفاوت در سایر پارامترهای کینماتیکی، قوت می‌بخشد (۲۳). شلفاوی (۲۰۱۱) با کمیت دادن به

تفاوت‌های سرعت شوت به‌عنوان تابعی از موقعیت، سن، نوع شوت و هدف شوت نشان‌داد که بازیکنان عقب زمین در مقایسه با بازیکنان چرخشی‌زن، گوش و دروازه‌بانان و همین‌طور بازیکنان چرخشی زن نسبت به بازیکنان گوش و دروازه‌بانان سرعت شوت بالاتری داشتند (۲۴). با توجه به نتایج او، تخصص بازیکنان هندبال احتمالاً یکی از عوامل به‌وجود آمدن پراکندگی در نتایج پژوهش ما شده است. نتایج پژوهش سیبلا، پوری و بن (۲۰۰۳) در مورد بازیکنان نخبه هندبال اسلونی (۳) و پوری، بن و سیبلا (۲۰۰۵) در مورد بازیکنان تیم ملی اسلونی (۶) سرعت رهایی توپ را حدود ۲۴ متربرثانیه و واگنر (۲۰۱۰) این مقدار را حدود ۲۲/۳ متربرثانیه (۴) گزارش کرده‌اند این مقدار حدود ۱۸/۲۸ متربرثانیه برای گروه بزرگسال و حدود ۱۴/۱۸ متربرثانیه برای گروه نوجوان در پژوهش حاضر می‌باشد. این تفاوت در سرعت رهایی توپ ممکن است به‌علت تفاوت سطح اجرا، تفاوت‌های آنروپومتریکی و تفاوت سن بازیکنان نخبه اروپایی با آزمودنی‌های این پژوهش باشد.

از آنجایی که نتایج پژوهش، تفاوت معناداری در اجرای نوجوانان و بزرگسالان نشان نمی‌دهد؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد مربیان می‌توانند نوجوانانی که مهارت‌های پایه‌ای را به‌خوبی آموخته‌اند همانند گروه بزرگسالان در نظر گرفته و برنامه‌های تمرینی تقریباً مشابه با بزرگسالان برای آنان طراحی کنند. البته با توجه به اینکه استخوان‌های نوجوانان هنوز در حال نمو است و ممکن است در مقابل کشش و فشار در ناحیه اپی‌فیز آسیب‌پذیر باشند، این احتمال وجود دارد که تمرین با وزنه یا حرکات با شدت بالا صدمه زنده بوده یا با تکرار آن فرد دچار آسیب‌های مزمن شود. لذا نوجوانان هنگامی که تمرین با وزنه آزاد را به‌منظور افزایش قدرت انجام می‌دهند باید تحت نظارت باشند یا از روش‌های دیگری مثل تمرین‌های با وزن بدن، کش‌های تمرینی و توپ پزشکی استفاده کنند.

## References

1. Poorkiani, M., Najafpoor, M., Miri, H. (2011). Handball: technics tactics and rules. Tehran. Bamdad Ketab. 17,33,40. (Persian).
2. Meriç, B., Aydın, M., Çolak, T., Özbek, A., & Bulgan, Ç. (2009). 3D kinematic analysis of overarm movements for different sports. *Kinesiology*, 41(1.), 105-112.
3. Šibila, M., Pori, P., & Bon, M. (2003). Basic kinematic differences between two types of jumps shot techniques in handball. *Universitatis Palackianae Olomucensis Gymnica*, 33(1), 19-26.
4. Wagner, H., Buchecker, M., Von Duvillard, S.P., Müller, E. (2010). Kinematic description of elite vs. low level players in team-handball jump throw. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9(1), 15-23.
5. Yotov, I., Arakchiyski., Z. (2011). Kinematic Structure of the Jump Shot in Handball Game, Vienna / Austria - Publisher: Ehf Web Periodical
6. Pori, P., Bon, M., Šibila, M. (2005). Jump shot performance in team handball—a kinematic model evaluated on the basis of expert modelling. *Kinesiology*, 37(1), 40-49.
7. Rivilla-Garcia, J., Grande, I., Sampedro, J., & Van Den Tillaar, R. (2011). Influence of opposition on ball velocity in the handball jump throw. *Journal of Sports Science & Medicine*, 10(3), 534–539.
8. Rocha, E.K., Silva, F.C., Soares, D.P., Loss, J.F. (2005). Analysis of different handball throwing from the ball and segments velocities on. *FIEP bulletin*. 75(1): 434-437.
9. Debanne, T., & Laffaye, G. (2011). Predicting the throwing velocity of the ball in handball with anthropometric variables and isotonic tests. *Journal of Sports Sciences*, 29(7), 705-713.
10. Van Den Tillaar, R., & Cabri, J. M. (2012). Gender differences in the kinematics and ball velocity of overarm throwing in elite team handball players. *Journal of Sports Sciences*, 30(8), 807-813.

11. Van Den Tillaar, R., Ettema, G. (2004). A force-velocity relationship and coordination patterns in overarm throwing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3(4): 211-219.
12. Wagner, H., Pfusterschmied, J., von Duvillard, S. P., Müller, E. (2011). Performance and kinematics of various throwing techniques in team-handball. *Journal of Sports Science & Medicine*, 10(1), 73-80.
13. Gallahue, D.L., Ozmun, J.C. (2006). *Understanding motor development: Infants, children, adolescents, adults*. Translated by Hemayattalab, R., Movahedi, A., Farsi, A., Fooladian, J. 6th ed. New York: McGraw-Hill. (Persian)
14. Sadeghi, H. (2006). *Introduction to biomechanic of sport*. Tehran. Samt. Pp 3, 9. (Persian)
15. Haywood, K.M. (2009). *Life Span Motor Development*. Mehdi Namazizadeh and Mohammad Ali Aslankhani. Tehran. Samt. Pp 13-18, 266-68, 302-303, 394-95. (Persian).
16. Beunen, G., & Thomis, M. (2000). Muscular strength development in children and adolescents. *Pediatric Exercise Science*, 12(2), 174-197.
17. Zubik, M., Spieszny, M., Sumara, M. (2013). Identifying talented handball players—the possibilities of examining the players by means of speed-force and coordination tests. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 4(4), 53-62.
18. Payton, C., Bartlett, R. (2008). *Biomechanical evaluation of movement in sport and exercise: The BASES guidelines*. New York: Routledge.
19. Bideau, B., Multon, F., Kulpa, R., Fradet, L., Arnaldi, B., & Delamarche, P. (2004). Using virtual reality to analyze links between handball thrower kinematics and goalkeeper's reactions. *Neuroscience Letters*, 372(1-2), 119-122.
20. Wagner, H., Müller, E. (2008). The effects of differential and variable training on the quality parameters of a handball throw. *Sports Biomechanics*, 7(1), 54-71.
21. Wagner, H., Klous, M., and Müller, E. (2006). Kinematics of the upward jumping throw in handball: Comparison of players with different level of performance. in *Proceedings of the XXIV International Symposium on Biomechanics in Sports*. Department of Sport Science and Kinesiology, University of Salzburg, Austria Salzburg.
22. Van den Tillaar, R., & Ettema, G. (2007). A three-dimensional analysis of overarm throwing in experienced handball players. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(1), 12-19.
23. Laffaye, G., Debanne, T., & Choukou, A.M. (2012). Is the ball velocity dependent on expertise? A multidimensional study in handball. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 12(3), 629-642.
24. Shalfawi, S.A., Seiler, S., Tønnessen, E., & Haugen, T.A. (2014). Shooting velocity aspects in Norwegian elite team handball. *Serb Journal Sports Sciences*, 8, 33-40.