Journal of
Sport Biomechanics

Winter 2025. Vol 10. Issue 4

Research Paper

Three-Dimensional Quantitative Analysis of Kinematic Variables in Discus Throwing Performance

Jamal Abdel Karim Hamid[1], Omar Abdul-Ilah Salama[1], Anaam Jafaar Sadiq[2], Alaa zohear[1], Taha Abdulelah Jasim[1],*Safaa A. Ismaeel[1]

1. Collage of Physical Education and Sport Science, Diyala University, Diyala, Iraq.
2. Collage of Physical Education and Sport Science, Almustansiriah University, Baghdad, Iraq.

Use your device to scan and read the article online

Citation: Hamid JAK, Salama OA, Sadiq AJ, Zohear A, Jasim TA, Ismaeel SA. Three-Dimensional Quantitative Analysis of Kinematic Variables in Discus Throwing Performance (Persian)]. Journal of Sport Biomechanics.2025;10(4):310-322. https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.10.4.310

https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.10.4.310

Article Info:

Received: 19 Jan. 2025
Accepted: 18 Feb. 2025
Available Online: 18 Feb. 2025

Keywords:

Three-dimensional analysis, Kinematics, Discus throw, Angular velocity

ABSTRACT

Objective Three-dimensional kinematic analysis of discus throwing enables a more precise evaluation of movement patterns, displacement, velocity, and acceleration, which are essential for optimizing performance. This study aims to examine key kinematic variables during the final phase of the discus throw and analyze their relationship with athlete performance.

Methods This descriptive study was conducted on six discus throwers under the age of 20. Each athlete performed three attempts, resulting in a total of 18 observations per variable. Kinematic data were extracted using the APAS motion analysis system and high-speed video recording. Key variables included body displacement, angular velocity, acceleration, and phase duration during the throw. Pearson correlation analysis was used to assess the relationships between these variables and throwing performance.

Results The results demonstrated a significant correlation between body displacement, angular velocity, acceleration, and throwing distance ($p < 0.05$). Increased displacement range led to improvements in velocity and acceleration, ultimately enhancing throwing distance. Additionally, optimal movement coordination, particularly in controlling the center of mass and effective force transfer, played a crucial role in improving throw efficiency.

Conclusion Three-dimensional kinematic analysis provides valuable insights into the biomechanical efficiency of discus throwing, aiding in the identification of movement deficiencies and technical adjustments. The findings of this study emphasize the importance of utilizing 3D motion analysis in training programs and suggest that this tool be implemented to optimize athlete performance at professional levels.

* ***Corresponding Author:***
Safaa A. Ismaeel
Address: Collage of Physical Education and Sport Science, Diyala University, Diyala, Iraq.
Tel: +96 (477) 08864304
E-mail: sc_safaaismaeel@uodiyala.edu.iq

Extended Abstract

1. Introduction

Discus throwing is one of the most complex throwing events in track and field, requiring an optimal combination of strength, coordination, balance, and biomechanical control (1). This skill involves multiple phases, including rotation, weight transfer, and discus release, each requiring precise interactions between linear and angular displacement, velocity, acceleration, and muscular coordination. Success in discus throwing largely depends on the athlete's ability to generate and efficiently transfer kinetic energy from the lower limbs to the upper body and, ultimately, to the discus. Therefore, a detailed analysis of the kinematic variables associated with this event can significantly contribute to optimizing athletic performance. Previous studies on discus throw kinematics have primarily relied on two-dimensional (2D) analysis, which has provided valuable insights into movement patterns and force application (2). However, these methods fail to capture the full complexity of an athlete's movements in three-dimensional (3D) space, thereby limiting a comprehensive understanding of the mechanics of discus throwing. This sport involves multi-planar movements, where different body segments operate across various planes (3). For instance, trunk and lower limb rotation occurs in the transverse plane, discus displacement follows a parabolic trajectory, and changes in the center of mass occur in the frontal plane. Consequently, advanced motion analysis techniques, such as 3D kinematic analysis, are essential for a more precise evaluation of athletic performance.

Recent advancements in motion capture technology and 3D kinematic analysis systems have enabled more accurate measurement of movement parameters (4). Studies have shown that these methods allow for a more detailed examination of intersegmental coordination, velocity patterns, and acceleration changes (5, 6). However, most research in this area has focused on elite athletes, with limited data available on amateur throwers, particularly young athletes (7). Understanding kinematic variations during the early stages of training can play a crucial role in optimizing throwing techniques and reducing injury risk (8). Given the limitations of previous research, the present study aims to conduct a more in-depth investigation of 3D kinematic variables in discus throwing. Specifically, this research focuses on analyzing movement during the final throwing phase to determine the relationship between key kinematic parameters and athletic performance. Overall, this study seeks to enhance our understanding of discus throw dynamics and provide valuable insights for designing corrective training programs and educational frameworks (9). Based on these objectives, the study examines three main hypotheses:

1. The displacement of various body segments significantly correlates with discus throw performance.
2. Increased velocity and acceleration of the upper body enhance throwing distance.
3. 3D analysis provides more precise information on performance-determining factors compared to 2D methods.

Ultimately, this research aims to offer practical insights into discus throw kinematics, assisting coaches and athletes in refining throwing techniques and improving performance levels..

2. Methods

This study involved six male discus throwers under 20 years old, selected from athletics clubs in Diyala under the supervision of the national federation. Participants had at least three years of competitive experience, were right-handed to ensure consistency in motion analysis, and had no injuries at the time of data collection. Athletes with musculoskeletal injuries in the past six months or those who failed to complete the required throws were excluded. The study adhered to ethical guidelines, with approval from the University of Diyala Ethics Committee (Approval No. 9802), and informed consent was obtained from all participants. Each athlete performed six legal discus throws following standard competition rules, with the best attempt selected for analysis. Motion was recorded using two high-speed iPhone 14 cameras (60 fps), positioned 1.5 meters high and 8 meters away. Kinematic analysis was conducted using APAS software, with reflective markers placed on key anatomical points (shoulder, elbow, wrist, pelvis, knee, and ankle) for precise motion tracking. Video data were processed using automated and manual digitization techniques to extract kinematic variables such as angular velocity, joint angles, and release mechanics. A 3D calibration frame (1×1×1 m) ensured accurate spatial scaling, and a Butterworth low-pass filter (6 Hz)

was applied to reduce noise. Discus throwing was biomechanically divided into four main phases (11). Phase transitions were identified using kinematic markers such as peak hip and shoulder angular velocity and release timing. Performance was measured as the recorded throw distance (meters). Kinematic variables for both limbs (right and left) were analyzed, including linear and angular displacement, velocity, and acceleration at key anatomical points. Data processing was conducted in MATLAB, where a fourth-order Butterworth filter (6 Hz) was applied to reduce noise. Statistical analyses were performed using SPSS (version 26), including descriptive statistics (mean ± SD) and Pearson correlation analysis to examine relationships between kinematic variables and performance. A significance level of $p < 0.05$ was set for all tests.

3. Results

This study analyzed six right-handed male discus throwers under 20 years old from Diyala province. The participants had an average age of 20.1 ± 0.24 years, height 175.3 ± 7.58 cm, weight 76.4 ± 2.84 kg, and BMI 24.81 ± 0.69. The results indicated a significant correlation between throwing performance and body segment displacement in the final phase of the throw across all three axes. Additionally, kinematic variables were significantly associated with throwing success (Table 1). The study found a positive correlation between increased velocity in key body segments and greater throw distance ($p < 0.05$). The highest velocities were recorded in the hand (1223.93 cm/s) and wrist (1060.78 cm/s), highlighting their critical role in discus release. Significant correlations were observed between throwing performance and velocity at the hip ($r = 0.973$), elbow ($r = 0.955$), and wrist ($r = 0.934$), suggesting that higher speeds in these segments improve performance. Lower-body segments such as the foot and ankle also showed strong correlations, emphasizing the importance of force transmission from the ground during the throw. Increased acceleration in key body segments was positively correlated with throw distance ($p < 0.05$). The highest acceleration values were recorded in the hand (307030.2 cm/s²) and wrist (292965.5 cm/s²), reaffirming their essential role in discus release. Significant correlations were found between throwing performance and acceleration at the hip ($r = 0.885$), shoulder ($r = 0.875$), and elbow ($r = 0.944$), indicating that greater acceleration in these segments contributes to improved performance. Lower-body segments, including the foot and ankle, also exhibited strong correlations, confirming the role of force generation and transmission from the ground. These findings support the biomechanical principle that increased acceleration in both upper and lower body segments enhances the force applied to the discus at release, ultimately improving throw performance. The strong correlation between acceleration and throw distance underscores the importance of kinetic chain activation in maximizing discus throw distance.

Table 1. Correlation between achievement and the displacement of body segments

		mean	SD	Calculated R value	P value
	Achievement	41.5	1.707825		
right	foot	11.87	3.86	.915**	.000
	Ankle	13.15	3.17	.887**	.000
	knee	24.95	3.23	.891**	.000
	hip	19.34	3.28	.928**	.000
	shoulder	34.89	6.02	.677**	.000
	elbow	51.11	7.37	.718**	.000
	wrist	81.61	11.16	.677**	.000
	hand	101.11	11.47	.893**	.000
left	foot	9.53	2.91	.677**	.000
	Ankle	5.32	0.28	.718**	.000
	knee	20.98	0.56	.873**	.000
	hip	19.90	0.72	. .883**	.001
	shoulder	19.00	0.21	.935**	.007
	elbow	26.12	1.21	.677**	.003
	wrist	42.43	6.56	.718**	.001
	hand	59.27	2.00	.677**	.003
Center of gravity of the body		17.37212	17.37	3.10	.000

Note: The unit of measurement is (cm).

4. Conclusion

This study analyzed key kinematic variables in the final phase of discus throwing and their relationship with athletic performance. Findings indicated that whole-body displacement, velocity, and acceleration significantly impact throwing performance. A strong correlation was observed between hip and shoulder displacement and overall throw performance, aligning with previous studies (13). Moreover, increased linear velocity in the upper body (shoulder, elbow, wrist) was positively associated with throw distance, consistent with findings by Dai et al. (2013) (14). A fundamental principle of throwing biomechanics is the effective transfer of force from the lower to the upper body through the kinetic chain. This study confirmed that increased velocity and acceleration in major joints, such as the hip, shoulder, elbow, and wrist, play a crucial role in improving throw performance, supporting the impulse transfer principle (15) and aligning with findings by Alimjanovna (2024) (16).

Optimal center-of-mass control was also crucial, as athletes who efficiently managed weight transfer achieved greater throw distances (17). Maintaining dynamic balance during the transition from the rotational phase to the throwing phase directly influenced the discus release angle, while poor balance control might reduce optimal velocity and acceleration at release. The 3D approach provided deeper insights into movement patterns compared to traditional 2D analyses. Unlike studies that focused only on sagittal and frontal planes, this research captured full spatial motion, allowing a more precise evaluation of segmental contributions to athletic performance. These findings highlight the importance of advanced motion-capture techniques in training programs for discus throwers (2, 18, 19). The results demonstrated a significant correlation between displacement, velocity, and acceleration along the three axes (x, y, z) and discus throw performance. Additionally, the critical role of intersegmental coordination in force transfer and movement optimization was confirmed. Ultimately, quantitative 3D analysis can enhance discus throwing performance, providing valuable tools for coaches and athletes to refine technique and improve efficiency.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

There were no ethical considerations to be addressed in this research.

Funding

This research did not receive any financial support from government, private, or non-profit organizations.

Authors' contributions

All authors contributed equally to preparing the article.

Conflicts of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest associated with this article.

مقاله پژوهشی

تحلیل کمی سه‌بعدی متغیرهای کینماتیکی در اجرای پرتاب دیسک

جمال عبدالکریم حامد[۱]، عمر عبداله سلامه[۱] انعام جعفر صادق[۲]، الاء زهیر[۱]، طه عبداله جاسم[۱]، *صفاء اسماعیل[۱]

۱. دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه دیاله، دیاله، عراق.

۲. دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه مستنصریه، بغداد، عراق.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۳۰ دی ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۳۰ بهمن ۱۴۰۳
تاریخ انتشار: ۳۰ بهمن ۱۴۰۳

کلید واژه‌ها:
تحلیل سه‌بعدی، کینماتیک، پرتاب دیسک، سرعت زاویه‌ای

چکیده

هدف تحلیل کینماتیکی سه‌بعدی پرتاب دیسک، امکان ارزیابی دقیق‌تر الگوهای حرکتی، جابه‌جایی، سرعت و شتاب را فراهم می‌کند که برای بهینه‌سازی عملکرد ضروری است. هدف این مطالعه، بررسی متغیرهای کینماتیکی کلیدی در مرحله نهایی پرتاب دیسک و تحلیل ارتباط آن‌ها با عملکرد ورزشکاران است.

روش‌ها این پژوهش به‌صورت توصیفی روی شش ورزشکار پرتاب دیسک زیر ۲۰ سال انجام شد. هر ورزشکار سه تلاش انجام داد که در مجموع ۱۸ مشاهده برای هر متغیر ثبت شد. داده‌های کینماتیکی با استفاده از سیستم تحلیل حرکت (APAS) و ضبط ویدئویی پرسرعت استخراج شدند. متغیرهای کلیدی شامل جابه‌جایی بدن، سرعت زاویه‌ای، شتاب و مدت‌زمان فازهای پرتاب مورد بررسی قرار گرفتند. برای تحلیل روابط میان این متغیرها و عملکرد پرتاب، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

یافته‌ها نتایج نشان داد که بین میزان جابه‌جایی بدن، سرعت زاویه‌ای، شتاب و مسافت پرتاب همبستگی معناداری وجود دارد ($p<۰/۰۵$). افزایش دامنه جابه‌جایی منجر به بهبود سرعت و شتاب شده و در نهایت مسافت پرتاب را افزایش داده است. همچنین، هماهنگی بهینه حرکات، به‌ویژه تنظیم مرکز جرم و انتقال نیروی مؤثر، نقش مهمی در بهبود کارایی پرتاب داشتند.

نتیجه‌گیری تحلیل کینماتیکی سه‌بعدی، اطلاعات ارزشمندی درباره کارایی بیومکانیکی پرتاب دیسک ارائه می‌دهد و به شناسایی نقص‌های حرکتی و اصلاح تکنیکی کمک می‌کند. یافته‌های این مطالعه بر اهمیت استفاده از تحلیل حرکت سه‌بعدی در برنامه‌های تمرینی تأکید دارد و پیشنهاد می‌شود که این ابزار برای بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران در سطوح حرفه‌ای به کار گرفته شود.

*نویسنده مسئول:
صفاء اسماعیل
آدرس: دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه دیاله، دیاله، عراق.
تلفن: ۰۸۸۶۴۳۰۴ (۴۷۷) ۹۶+
ایمیل: sc_safaaismaeel@uodiyala.edu.iq

مقدمه

پرتاب دیسک یکی از پیچیده‌ترین رشته‌های پرتابی در دوومیدانی است که نیازمند ترکیبی بهینه از قدرت، هماهنگی، تعادل و کنترل بیومکانیکی است (۱). این مهارت ورزشی شامل مراحل مختلفی از جمله چرخش، انتقال وزن و آزادسازی دیسک است که در هر مرحله، تعامل دقیقی بین جابه‌جایی خطی و زاویه‌ای، سرعت، شتاب و هماهنگی عضلانی وجود دارد. موفقیت در پرتاب دیسک تا حد زیادی به توانایی ورزشکار در تولید و انتقال بهینه انرژی جنبشی از اندام‌های تحتانی به فوقانی و در نهایت به دیسک بستگی دارد. ازاین‌رو، تحلیل دقیق متغیرهای کینماتیکی مرتبط با این رشته می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در بهینه‌سازی عملکرد ورزشکاران داشته باشد.

در مطالعات پیشین، بررسی کینماتیک پرتاب دیسک عمدتاً به روش تحلیل دوبعدی انجام شده است که اطلاعات مفیدی درباره الگوهای حرکتی و نحوه اعمال نیرو ارائه کرده است (۲). بااین‌حال، این روش‌ها قادر به ثبت کامل حرکات پیچیده ورزشکاران در فضای سه‌بعدی نیستند و بنابراین، درک جامعی از مکانیک حرکتی پرتاب دیسک را ارائه نمی‌دهند. پرتاب دیسک یک حرکت چندسطحی است که در آن بخش‌های مختلف بدن در صفحات حرکتی متفاوتی فعالیت می‌کنند (۳). به‌عنوان‌مثال، چرخش تنه و اندام‌های تحتانی در صفحه عرضی، جابه‌جایی دیسک در صفحه سهمی و تغییر وضعیت مرکز جرم در صفحه فرونتال رخ می‌دهد. در نتیجه، برای ارزیابی دقیق‌تر عملکرد ورزشکاران، استفاده از فناوری‌های پیشرفته مانند سیستم‌های تحلیل حرکت سه‌بعدی ضروری است.

پیشرفت‌های اخیر در فناوری ضبط حرکت و سیستم‌های تحلیل کینماتیکی سه‌بعدی، امکان اندازه‌گیری دقیق‌تر پارامترهای حرکتی را فراهم کرده است (۴). مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از این روش‌ها می‌تواند به تحلیل دقیق‌تر هماهنگی بخش‌های مختلف بدن، الگوهای سرعت و تغییرات شتاب کمک کند (۵, ۶). بااین‌حال، بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در این حوزه بر ورزشکاران نخبه متمرکز بوده‌اند و اطلاعات محدودی در مورد ورزشکاران آماتور، به‌ویژه پرتاب‌کنندگان جوان، در دسترس است (۷). این در حالی است که درک تغییرات کینماتیکی در مراحل اولیه آموزش، می‌تواند نقش مهمی در بهینه‌سازی تکنیک‌های پرتاب و کاهش آسیب‌های احتمالی ایفا کند (۸).

با توجه به محدودیت‌های پژوهش‌های پیشین، مطالعه حاضر با هدف بررسی دقیق‌تر متغیرهای کینماتیکی سه‌بعدی در پرتاب دیسک انجام شده است. این تحقیق به‌طور خاص بر تحلیل حرکت در مرحله نهایی پرتاب تمرکز دارد تا ارتباط بین پارامترهای کینماتیکی کلیدی و عملکرد ورزشکار مشخص شود. به‌طورکلی، این پژوهش به دنبال آن است که درک بهتری از دینامیک پرتاب دیسک ایجاد کرده و اطلاعاتی را ارائه دهد که بتوانند در طراحی تمرینات اصلاحی و برنامه‌های آموزشی مورد استفاده قرار گیرند (۹). با توجه به اهداف فوق، این مطالعه سه فرضیه اصلی را مورد بررسی قرار می‌دهد: میزان جابه‌جایی بخش‌های مختلف بدن، ارتباط معناداری با عملکرد پرتاب دیسک دارد. افزایش سرعت و شتاب بخش فوقانی بدن، موجب بهبود مسافت پرتاب می‌شود و استفاده از تحلیل سه‌بعدی، اطلاعات دقیق‌تری نسبت به روش‌های دوبعدی در بررسی عوامل تعیین‌کننده عملکرد ارائه می‌دهد. درنهایت، این تحقیق با ارائه بینش‌های کاربردی در زمینه کینماتیک پرتاب دیسک، می‌تواند به مربیان و ورزشکاران در بهینه‌سازی تکنیک‌های پرتاب و ارتقای سطح عملکرد کمک کند.

روش شناسی

آزمودنی‌ها

این مطالعه بر روی شش ورزشکار پرتاب دیسک زیر ۲۰ سال انجام شد که از باشگاه‌های دوومیدانی استان دیاله و تحت نظارت زیرمجموعه فدراسیون دوومیدانی انتخاب شدند (۱۰). انتخاب شرکت‌کنندگان بر اساس مطالعات پیشین با روش‌های مشابه صورت گرفت تا اطمینان حاصل شود که تمامی ورزشکاران دارای تجربه رقابتی در سطح جوانان هستند. برای حفظ یکنواختی نمونه، معیارهای ورود به مطالعه شامل حداقل سه سال تجربه در مسابقات رسمی پرتاب دیسک، راست‌دست بودن تمام شرکت‌کنندگان جهت حفظ یکنواختی در تحلیل‌های حرکتی و نداشتن آسیب‌دیدگی در زمان جمع‌آوری داده‌ها بودند؛ همچنین، ورزشکارانی که در شش ماه گذشته دچار آسیب‌های اسکلتی–عضلانی شده بودند و شرکت‌کنندگانی که موفق به تکمیل تعداد پرتاب‌های مورد نیاز در جلسه آزمون نشدند، از مطالعه کنار گذاشته شدند. این مطالعه مطابق با دستورالعمل‌های اخلاقی انجام شد. تمامی شرکت‌کنندگان رضایت‌نامه آگاهانه را امضا کردند و پروتکل تحقیق توسط کمیته اخلاق دانشگاه دیاله با شماره تأیید ۹۸۰۲ مورد تأیید قرار گرفت.

ابزار و روش اجرا

از شرکت‌کنندگان خواسته شد که شش پرتاب قانونی دیسک را مطابق با مقررات استاندارد رقابت انجام دهند. جهت اطمینان از شرایط یکسان اجرا، تمامی ورزشکاران راست‌دست بودند، بنابراین تمامی پرتاب‌ها با دست راست انجام شد. این موضوع باعث یکپارچگی در جهت چرخش (پادساعتگرد) و همچنین یکنواختی در اندازه‌گیری متغیرهای کینماتیکی و فیزیکی شد. در نهایت، بهترین پرتاب هر ورزشکار برای تحلیل انتخاب شد. برای ثبت حرکات، از دو دوربین پرسرعت (iPhone 14) با نرخ نمونه‌برداری ۶۰ فریم بر ثانیه استفاده شد. این دوربین‌ها در ارتفاع ۱/۵ متری و در فاصله ۸ متری از آزمودنی قرار داده شدند. تحلیل حرکت با استفاده از نرم‌افزار Ariel Performance Analysis System (APAS) انجام شد که امکان ارزیابی دقیق عملکرد پرتاب را فراهم می‌کرد. نشانگرهای بازتابی روی نقاط آناتومیکی کلیدی از جمله شانه، آرنج، مچ دست، لگن، زانو و مچ پا قرار داده شدند تا دقت در ردیابی حرکات افزایش یابد. داده‌های ویدیویی خام به نرم‌افزار APAS وارد شده و با استفاده از تکنیک‌های دیجیتالی‌سازی خودکار و دستی پردازش شدند تا متغیرهای کینماتیکی مانند سرعت زاویه‌ای، زوایای مفصلی و مکانیک آزادسازی استخراج شوند. برای کاهش نویز و افزایش دقت داده‌ها، از فیلتر مناسب استفاده شد. همچنین، یک فریم کالیبراسیون سه‌بعدی (۱×۱×۱ متر) در محدوده ضبط تصاویر قرار داده شد تا مقیاس‌گذاری فضایی به‌درستی انجام گیرد. در این مطالعه پرتاب دیسک از نظر بیومکانیکی به چهار مرحله اصلی تقسیم شد: ۱) مرحله آماده‌سازی: ورزشکار در وضعیت تعادلی قرار گرفته و حرکات اولیه را برای ایجاد تکانه آغاز می‌کند؛ ۲) مرحله چرخش: پرتاب‌کننده یک یا چند چرخش را در دایره پرتاب انجام می‌دهد تا تکانه زاویه‌ای تولید کند؛ ۳) مرحله آزادسازی: دیسک در یک زاویه و سرعت بهینه رها می‌شود تا حداکثر مسافت پرتاب حاصل شود، و ۴) مرحله بازیابی: ورزشکار تعادل خود را بازیابی می‌کند تا از خروج غیرمجاز از دایره و ثبت خطا جلوگیری شود. نقاط انتقال بین این مراحل با استفاده از نشانگرهای کینماتیکی مانند حداکثر سرعت زاویه‌ای لگن یا شانه و زمان آزادسازی دیسک تعیین شدند (۱۱).

در این پژوهش، عملکرد به‌عنوان فاصله پرتاب ثبت‌شده (برحسب متر) در نظر گرفته شد که به‌عنوان شاخص اصلی موفقیت ورزشکاران مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. بهترین پرتاب هر ورزشکار برای تحلیل نهایی ثبت شد. برای بررسی دقیق‌تر، متغیرهای کینماتیکی هر دو سمت بدن (راست و چپ) مورد ارزیابی قرار گرفتند. این متغیرها شامل جابه‌جایی خطی و زاویه‌ای، سرعت و شتاب در نقاط آناتومیکی کلیدی نظیر پا، مچ پا، زانو، لگن، شانه، آرنج، مچ دست و دست بودند. این رویکرد امکان بررسی عدم تقارن‌های احتمالی و تأثیر آن‌ها بر عملکرد ورزشکاران را فراهم کرد.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های کینماتیکی خام در نرم‌افزار MATLAB پردازش شده و در مرحله اولیه پردازش داده‌های کینماتیکی خام، یک فیلتر پایین‌گذر باتروورث مرتبه چهارم با فرکانس قطع ۶ هرتز اعمال شد تا نویز کاهش یابد و داده‌ها هموار شوند (۱۲). سپس، تحلیل‌های آماری با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد. در این مطالعه از آمار توصیفی شامل میانگین و انحراف معیار برای توصیف متغیرها استفاده شد. جهت بررسی رابطه بین متغیرهای کینماتیکی و عملکرد، از تحلیل همبستگی پیرسون استفاده گردید. سطح معناداری برای تمامی آزمون‌های آماری $p< ۰/۰۵$ در نظر گرفته شد.

نتایج

این مطالعه شامل شش پرتاب‌کننده مرد راست‌دست زیر ۲۰ سال بود که از باشگاه‌های دوومیدانی استان دیاله انتخاب شدند. میانگین (± انحراف معیار) ویژگی‌های دموگرافیک شرکت‌کنندگان شامل سن ۰/۲۴ ± ۲۰/۱ (سال)، قد ۷/۵۸ ± ۱۷۵/۳ (سانتی‌متر)، وزن ۲/۸۴ ± ۷۶/۴ (کیلوگرم) و شاخص توده بدنی (BMI) ۰/۶۹ ± ۲۴/۸۱ بود. اندازه‌گیری این متغیرها با استفاده از استادیومتر کالیبره‌شده برای قد و ترازوی دیجیتال برای وزن انجام شد.

نتایج جدول ۱ نشان داد که بین عملکرد پرتاب و جابجایی بخش‌های مختلف بدن در مرحله نهایی پرتاب در راستای سه محور، همبستگی معناداری وجود دارد. علاوه بر این، ارتباط معناداری بین این متغیرهای کینماتیکی و میزان موفقیت در پرتاب مشاهده شد.

جدول ۱. همبستگی بین عملکرد پرتاب و جابه‌جایی بخش‌های مختلف بدن

سمت بدن	اندام	میانگین	انحراف معیار	مقدار R محاسبه‌شده	P value
عملکرد		۴۱/۵	۱/۷۰	–	–
راست	پا	۱۱/۸۷	۳/۸۶	۰/۹۱۵	۰/۰۰۰
	مچ پا	۱۳/۱۵	۳/۱۷	۰/۸۸۷	۰/۰۰۰
	زانو	۲۴/۹۵	۳/۲۳	۰/۸۹۱	۰/۰۰۰
	لگن	۱۹/۳۴	۳/۲۸	۰/۹۲۸	۰/۰۰۰
	شانه	۳۴/۸۹	۶/۰۲	۰/۶۷۷	۰/۰۰۰
	آرنج	۵۱/۱۱	۷/۳۷	۰/۷۱۸	۰/۰۰۰
	مچ دست	۸۱/۶۱	۱۱/۱۶	۰/۶۷۷	۰/۰۰۰
	دست	۱۰۱/۱۱	۱۱/۴۷	۰/۸۹۳	۰/۰۰۰
چپ	پا	۹/۵۳	۲/۹۱	۰/۶۷۷	۰/۰۰۰
	مچ پا	۵/۳۲	۰/۲۸	۰/۷۱۸	۰/۰۰۰
	زانو	۲۰/۹۸	۰/۵۶	۰/۸۷۳	۰/۰۰۰
	لگن	۱۹/۹۰	۰/۷۲	۰/۸۸۳	۰/۰۰۱
	شانه	۱۹/۰۰	۰/۲۱	۰/۹۳۵	۰/۰۰۷
	آرنج	۲۶/۱۲	۱/۲۱	۰/۶۷۷	۰/۰۰۳
	مچ دست	۴۲/۴۳	۶/۵۶	۰/۷۱۸	۰/۰۰۱
	دست	۵۹/۲۷	۲/۰۰	۰/۶۷۷	۰/۰۰۳
	مرکز ثقل بدن	۱۷/۳۷	۳/۱۰	-	۰/۰۰۰

واحد اندازه‌گیری (سانتی‌متر) است؛ عملکرد: مسافت پرتاب شده به متر

جدول ۲ میانگین، انحراف معیار و ضرایب همبستگی پیرسون را برای سرعت سه‌بعدی (V3D) در بخش‌های مختلف بدن و ارتباط آن‌ها با عملکرد پرتاب دیسک ارائه می‌دهد. نتایج نشان داد که افزایش سرعت در بخش‌های کلیدی بدن با افزایش مسافت پرتاب برای تمامی مقادیر رابطه مثبت و معناداری دارد (p< ۰/۰۵). بیشترین سرعت در نواحی دست با میانگین ۱۲۲۳/۹۳ (cm/s) و مچ با میانگین ۱۰۶۰/۷۸ (cm/s) مشاهده شد که نشان‌دهنده نقش حیاتی این بخش‌ها در مرحله رهاسازی دیسک است. همچنین همبستگی‌های معنادار بین عملکرد پرتاب و سرعت در مفصل ران (p< ۰/۰۵، r = ۰/۹۷۳)، آرنج (p< ۰/۰۵، r = ۰/۹۵۵)، و مچ دست (p< ۰/۰۵، r = ۰/۹۳۴)، مشاهده شد که نشان می‌دهد افزایش سرعت در این بخش‌ها تأثیر مثبتی بر بهبود عملکرد دارد. بخش‌های پایینی بدن مانند پا و مچ پا نیز همبستگی‌های قوی نشان دادند که اهمیت انتقال نیرو از زمین به سمت بالا در طول پرتاب را تأیید می‌کند.

جدول ۳ میانگین، انحراف معیار و ضرایب همبستگی پیرسون را برای شتاب سه‌بعدی (A3D) در بخش‌های مختلف بدن و ارتباط آن با عملکرد پرتاب دیسک ارائه می‌دهد. نتایج نشان داد که افزایش شتاب در بخش‌های کلیدی بدن با افزایش مسافت پرتاب رابطه مثبت و معناداری برای تمامی مقادیر دارد (p< ۰/۰۵). بیشترین میزان شتاب در نواحی دست با میانگین ۳۰۷۰۳۰/۲ (cm/s^2) و مچ با میانگین ۲۹۲۹۶۵/۵ (cm/s^2) مشاهده شد که نشان‌دهنده نقش حیاتی این بخش‌ها در مرحله رهاسازی دیسک است. همچنین همبستگی‌های معنادار بین عملکرد پرتاب و شتاب در مفصل ران (p< ۰/۰۵، r = ۰/۸۸۵)، شانه (p< ۰/۰۵، r = ۰/۸۷۵) و آرنج (p< ۰/۰۵، r = ۰/۹۴۴) مشاهده شد که نشان می‌دهد شتاب بیشتر در این بخش‌ها تأثیر مثبتی بر بهبود مسافت پرتاب دارد. بخش‌های پایینی بدن مانند پا و مچ پا نیز همبستگی‌های قوی نشان دادند که اهمیت تولید و انتقال نیرو از زمین به سمت بالا را در طول پرتاب تأیید می‌کند. این یافته‌ها بر اصل بیومکانیکی افزایش شتاب در بخش‌های بالایی و پایینی بدن تأکید دارند که موجب افزایش نیروی اعمال‌شده بر دیسک در لحظه رهاسازی و درنتیجه بهبود عملکرد پرتاب می‌شود. همبستگی قوی بین شتاب و مسافت پرتاب، اهمیت فعال‌سازی زنجیره حرکتی را در به حداکثر رساندن مسافت پرتاب دیسک تأیید می‌کند.

جدول ۲. میانگین حسابی و انحراف معیار مؤلفه سرعت سه‌بعدی (سانتی‌متر بر ثانیه)

سمت بدن	اندام	میانگین	انحراف معیار	مقدار R محاسبه‌شده	P value
راست	پا	۲۷۰/۶۲	۲۴/۵۹	۰/۹۲۰	۰/۰۰۰
	مچ پا	۳۳۹/۷۷	۱۱۳/۷۳	۰/۹۳۴	۰/۰۰۰
	زانو	۳۳۶/۷۶	۱۲۱/۸۶	۰/۹۵۴	۰/۰۰۰
	ران	۳۹۷/۷۸	۶۴/۴۸	۰/۹۷۳	۰/۰۰۰
	شانه	۴۶۲/۲۸	۸۷/۷۵	۰/۹۲۰	۰/۰۰۰
	آرنج	۷۶۳/۴۴	۱۰۲/۲۵	۰/۹۵۵	۰/۰۰۰
	مچ دست	۱۰۶۰/۷۸	۲۴۷/۸۱	۰/۹۳۴	۰/۰۰۰
	دست	۱۲۲۳/۹۳	۲۹۶/۳۲	۰/۷۷۰	۰/۰۰۰
چپ	پا	۲۵۵/۱۴	۸۷/۴۱	۰/۸۹۴	۰/۰۰۰
	مچ پا	۱۱۴/۵۰	۸/۹۵	۰/۸۷۳	۰/۰۰۰
	زانو	۲۵۰/۰۹	۸۹/۷۴	۰/۸۸۳	۰/۰۰۰
	ران	۲۱۶/۸۵	۱۳۷/۷۳	۰/۷۷۰	۰/۰۰۱
	شانه	۲۷۵/۶۵	۱۵۹/۴۵	۰/۸۲۹	۰/۰۰۷
	آرنج	۴۱۶/۶۵	۶۳/۰۰	۰/۸۶۸	۰/۰۰۳
	مچ دست	۸۷۲/۶۰	۳۷۸/۴۹	۰/۸۰۵	۰/۰۰۱
	دست	۵۲۴/۵۱	۱۳۲/۸۸	۰/۸۲۹	۰/۰۰۳
	مرکز ثقل بدن	۲۸۷/۲۱	۲۸۷/۲۲	۱۲۳/۶۳	۰/۰۰۰

جدول ۳. میانگین و انحراف معیار مؤلفه شتاب خطی (سانتی‌متر بر مجذور ثانیه)

سمت بدن	اندام	میانگین	انحراف معیار	مقدار R محاسبه‌شده	P value
راست	پا	۹۴۹۵/۶	۴۹۸۶/۷	۰/۹۲۶	۰/۰۰۰
	مچ پا	۱۸۶۰۶/۹	۷۵۹۲/۵	۰/۹۴۷	۰/۰۰۰
	زانو	۲۹۴۱۴/۰	۸۵۳۵/۲	۰/۹۲۱	۰/۰۰۰
	ران	۵۱۲۶۸/۴	۱۲۰۲۵/۴	۰/۸۸۵	۰/۰۰۰
	شانه	۹۳۷۷۰/۲	۶۱۳۶/۸	۰/۸۷۵	۰/۰۰۰
	آرنج	۱۶۲۱۲۴/۵	۷۵۸۷/۷	۰/۹۴۴	۰/۰۰۰
	مچ دست	۲۹۲۹۶۵/۵	۲۳۳۲۲/۷	۰/۹۲۳	۰/۰۰۰
	دست	۳۰۷۰۳۰/۲	۴۵۱۶۶/۶	۰/۹۵۸	۰/۰۰۰
چپ	پا	۱۹۳۳۲/۲	۱۶۹۵۳/۴	۰/۸۹۴	۰/۰۰۰
	مچ پا	۱۴۲۱۲/۰	۶۸۵۰/۶	۰/۸۷۳	۰/۰۰۰
	زانو	۱۹۱۷۴/۴	۵۲۴۵/۰	۰/۶۱۳	۰/۰۰۰
	ران	۲۲۶۵۶/۶	۱۰۷۰۵/۵	۰/۷۷۰	۰/۰۰۱
	شانه	۳۶۹۷۳/۲	۱۹۹۰۰/۳	۰/۷۷۰	۰/۰۰۷
	آرنج	۶۹۰۲۷/۹	۲۸۸۳۱/۸	۰/۸۹۴	۰/۰۰۳
	مچ دست	۱۵۵۵۸۴/۰	۵۳۵۴۰/۴	۰/۸۷۳	۰/۰۰۱
	دست	۱۵۱۱۰۷/۱	۷۷۶۶۰/۱	۰/۸۸۳	۰/۰۰۳
	مرکز ثقل بدن	۲۸۳۷۳/۷۱	۲۸۳۷۳/۷	۴۴۳۷/۵	۰/۰۰۰

بحث

هدف اصلی این مطالعه، تجزیه‌وتحلیل کمی سه‌بعدی متغیرهای کینماتیکی کلیدی در مرحله نهایی پرتاب دیسک و ارزیابی ارتباط آن‌ها با عملکرد ورزشکاران بود. یافته‌ها تأیید کردند که جابجایی کلی بدن، سرعت و شتاب تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد پرتاب دارند و افزایش این پارامترها منجر به بهبود فاصله پرتاب می‌شود.

یکی از مهم‌ترین نتایج این تحقیق، همبستگی قوی بین جابجایی لگن و شانه با عملکرد کلی پرتاب بود. این یافته‌ها مطابق با پژوهش‌های قبلی است که نشان داده‌اند هماهنگی بهینه بین قطعات بدن برای انتقال انرژی جنبشی در پرتاب‌های چرخشی ضروری است (۱۳). همچنین، همبستگی مثبت معنادار بین افزایش سرعت خطی در بخش فوقانی بدن (شانه، آرنج و مچ) و فاصله پرتاب دیسک، همسو با یافته‌های دای و همکاران (۲۰۱۳) این موضوع را تأیید می‌کند که نشان داده‌اند سرعت مفصلی در بهینه‌سازی حرکت پرتابی اهمیت بسزایی دارد (۱۴).

یکی از اصول کلیدی بیومکانیک پرتاب، انتقال نیروی مؤثر از اندام تحتانی به فوقانی از طریق زنجیره حرکتی است. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش سرعت و شتاب در بخش‌های مختلف بدن، خصوصاً در مفاصل اصلی مانند لگن، شانه، آرنج و مچ، تأثیر بسزایی در بهبود عملکرد پرتاب دارد. این موضوع با اصل کینماتیکی "انتقال تکانه" همخوانی دارد که بیان می‌کند انتقال کارآمد نیرو از زمین به دست پرتاب‌کننده می‌تواند به بیشینه‌سازی خروجی سرعت پرتاب کمک کند (۱۵). این نتایج با یافته‌های الیمجانونا و کاموا (۲۰۲۴) که نقش تعامل نیروهای عکس‌العمل زمین و انتقال انرژی جنبشی را در موفقیت پرتاب دیسک بررسی کرده بود، مطابقت دارد (۱۶).

این پژوهش همچنین نشان داد که کنترل بهینه مرکز ثقل نقش مهمی در بهبود عملکرد دارد، به‌طوری که ورزشکارانی که به‌طور مؤثر انتقال وزن خود را مدیریت کردند، به فاصله پرتاب بیشتری دست یافتند. این نتایج، اصول بیومکانیکی مرتبط با کاربرد بهینه نیروی عکس‌العمل زمین و حفظ تکانه زاویه‌ای را در موفقیت پرتاب دیسک تقویت می‌کنند (۱۷). به‌ویژه، حفظ تعادل دینامیکی هنگام تغییر وضعیت بدن و انتقال از فاز چرخشی به فاز پرتاب تأثیر مستقیمی بر زاویه خروج دیسک دارد که از عوامل کلیدی موفقیت در پرتاب محسوب می‌شود. نتایج این مطالعه نشان داد که ناتوانی در حفظ تعادل دینامیکی و کنترل نامناسب مرکز ثقل، ممکن است موجب کاهش سرعت و شتاب مطلوب در لحظه پرتاب شده و در نهایت عملکرد را تحت تأثیر قرار دهد.

علاوه بر این، رویکرد سه‌بعدی این مطالعه، درک عمیق‌تری از الگوهای حرکتی در مقایسه با تحلیل‌های دوبعدی سنتی ارائه داد. برخلاف مطالعاتی که صرفاً به ارزیابی صفحات ساجیتال و فرونتال متکی بودند، این پژوهش حرکت فضایی کامل را ثبت کرد و ارزیابی دقیق‌تری از نحوه‌ی مشارکت بخش‌های مختلف بدن در عملکرد ورزشکاران ارائه نمود. این یافته‌ها اهمیت استفاده از تکنیک‌های پیشرفته‌ی ثبت حرکت در برنامه‌های تمرینی پرتاب‌گران دیسک را برجسته می‌سازد، همان‌گونه که در مطالعات اخیر بیومکانیک ورزشی پیشنهاد شده است (۲, ۱۸, ۱۹). تحلیل سه‌بعدی نه‌تنها دقت بیشتری در اندازه‌گیری مقادیر کینماتیکی ارائه می‌دهد، بلکه به مربیان و ورزشکاران اجازه می‌دهد تا اصلاحات تکنیکی موردنیاز را دقیق‌تر شناسایی و اجرا کنند.

نتیجه‌گیری نهایی

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده و تحلیل داده‌های پژوهش، مشخص شد که بین جابجایی، سرعت و شتاب بخش‌های مختلف بدن در راستای سه محور (X، Y، Z) با عملکرد پرتاب دیسک همبستگی معناداری وجود دارد. علاوه بر این، ارتباط قوی میان میزان جابجایی، سرعت و شتاب بخش‌های بدن و میزان موفقیت در پرتاب تأیید شد. این نتایج اهمیت نقش تعامل بخش‌های مختلف بدن در انتقال نیرو و بهینه‌سازی اجرای فنی را برجسته می‌کند. در مجموع، یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از تجزیه‌وتحلیل کمی سه‌بعدی می‌تواند به بهبود عملکرد پرتاب دیسک کمک کند و به مربیان و ورزشکاران ابزارهای ارزشمندی برای اصلاح تکنیک و افزایش کارایی در اجرای پرتاب ارائه دهد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

تمامی اصول اخلاقی در این پژوهش رعایت شده است. همه شرکت‌کنندگان با رضایت کامل در مطالعه شرکت کردند و به آن‌ها اطمینان داده شد که تمام اطلاعات مربوط به آن‌ها محرمانه باقی خواهد ماند.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام نویسندگان در طراحی، اجرا و نگارش همه بخش‌های پژوهش حاضر مشارکت داشته‌اند.

تعارض

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

Reference

1. Zhao Y, Zhao K. Anthropometric measurements, physical fitness performance and specific throwing strength in adolescent track-and-field throwers: age, sex and sport discipline. Applied Sciences. 2023;13(18):10118. [DOI:10.3390/app131810118]

2. Leigh S, Gross MT, Li L, Yu B. The relationship between discus throwing performance and combinations of selected technical parameters. Sports Biomechanics. 2008;7(2):173-193. [DOI:10.1080/14763140701841399] [PMID]

3. Bartlett R, Wheat J, Robins M. Is movement variability important for sports biomechanists? Sports biomechanics. 2007;6(2):224-243. [DOI:10.1080/14763140701322994] [PMID]

4. Ortega BP, Olmedo JMJ. Application of motion capture technology for sport performance analysis. Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación. 2017(32):241-247.

5. Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement: John wiley & sons; 2009. [DOI:10.1002/9780470549148]

6. Messier J, Adamovich S, Berkinblit M, Tunik E, Poizner H. Influence of movement speed on accuracy and coordination of reaching movements to memorized targets in three-dimensional space in a deafferented subject. Experimental Brain Research. 2003;150:399-416. [DOI:10.1007/s00221-003-1413-9] [PMID]

7. Song T. Biomechanical mechanisms and prevention strategies of knee joint injuries on football: An in-depth analysis based on athletes' movement patterns. Molecular & Cellular Biomechanics. 2024;21(3):524-524. [DOI:10.62617/mcb524]

8. Chu SK, Jayabalan P, Kibler WB, Press J. The kinetic chain revisited: new concepts on throwing mechanics and injury. Pm&r. 2016;8(3):S69-S77. [DOI:10.1016/j.pmrj.2015.11.015] [PMID]

9. Mohammadi H, Ghaeeni S, Mohammadi G. The Kinesiopathology of Thoracolumbar Spine Injuries in Throwing and Overhead Young Athletes. Journal of Sport Biomechanics. 2018;4(2):5-16.

10. Bartlett RM. The biomechanics of the discus throw: A review. Journal of sports sciences. 1992;10(5):467-510. [DOI:10.1080/02640419208729944] [PMID]

11. Leigh S, Yu B. The associations of selected technical parameters with discus throwing performance: A cross-sectional study. Sports Biomechanics. 2007;6(3):269-284. [DOI:10.1080/14763140701489744] [PMID]

12. Sorkheh E, Majlesi M, Jafarnezhadgero AA. Frequency Domain Analysis of Gait Ground Reaction Forces in Deaf and Hearing Children. Journal of Sport Biomechanics. 2018;4(2):17-27.

13. Bartlett R. Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns: Routledge; 2014.

14. Dai B, Leigh S, Li H, Mercer VS, Yu B. The relationships between technique variability and performance in discus throwing. Journal of sports sciences. 2013;31(2):219-228. [DOI:10.1080/02640414.2012.729078] [PMID]

15. Linthorne NP. Optimum release angle in the shot put. Journal of Sports Sciences. 2001;19(5):359-372. [DOI:10.1080/02640410152006135] [PMID]

16. Alimjanovna YK. Biomechanical analysis of discus throwing in female athletes: a comprehensive review. Research Focus. Research Focus. 2024;3(10):98-102.

17. Tidow G. Aspects of strength training in athletics. New Studies in Athletics. 1990;1(93-110):504.

18. Ariel G, Finch A, Penny A, editors. Biomechanical analysis of discus throwing at 1996 atlanta olympic games. ISBS-Conference Proceedings Archive; 1997.

19. Khanjar AH. The most important biomechanical variables and their relationship to the performance of advanced discus throwers. 2023.