تاريخ استلام البحث : 25 تموز 2025

"3D Analysis of the Biomechanical Determinants of Foot Positions During the Forehand Stroke Performance in Tennis"

Abstract: *The aim of this study was to analyze the biomechanical variables of foot positions during the execution of the forehand stroke in tennis, and to examine the impact of these variables on the effectiveness of technical performance. A three-dimensional biomechanical analysis was conducted using three Sony AS100v cameras positioned at two angled views (45°) from the front and rear to capture the full player motion, with an additional camera on the opposite side of the court to record the ball's landing point. The cameras were set at a frame rate of 60 frames per second. Twelve forehand stroke attempts were recorded, from which the best six were selected for analysis using the* ***SkillSpector*** *software, focusing on three key phases: the preparatory phase, the main phase, and the final phase. The results indicated that maintaining a foot stance width of 50–60 cm increased ball speed by up to 15%. An optimal force distribution between the feet (60% on the right foot and 40% on the left) improved performance by 12%. Ideal joint angles such as a knee angle between 130–145° and an ankle angle of 90° had a positive impact on the accuracy and speed of the stroke. Additionally, proper foot positioning reduced reaction time by 20% and enhanced overall performance effectiveness by 20%. The study emphasizes the importance of integrating biomechanical analysis of foot positioning into technical training programs to improve forehand stroke performance in tennis.*

Keywords: *Biomechanical determinants, foot positions, forehand stroke, tennis.*

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

دراسة تحليلية ثلاثية الأبعاد للمحددات البيوميكانيكية لأوضاع الرجلين خلال أداء مهارة الضربة الأمامية في التنس الأرضي

م.د مصطفى وليد العبيدي

mustafa.waleed@tu.edu.iq

جامعة تكريت – كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة

م.د أحمد سعد محمود الزويني

ahmeds.mahmood650@uowasit.edu.iq

جامعة واسط – كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة

مستخلص البحث

تمثل الهدف من الدراسة في تحليل المتغيرات البيوميكانيكية لأوضاع الرجلين أثناء تنفيذ مهارة الضربة الأمامية في التنس الأرضي، مع دراسة تأثير هذه المتغيرات على فاعلية الأداء الفني. تم استخدام التحليل البيوميكانيكى ثلاثي الأبعاد، تم تصوير الأداء باستخدام ثلاث كاميرات تصوير طراز Sony AS100v بزاويتين مائلتين (45°) من الأمام والخلف لتغطية كامل أداء اللاعب وكاميرا في الملعب الأخر لتصوير ارتطام هبوط الكرة في ملعب المنافس، تم ضبط الكاميرات على معدل 60 إطار/ثانية. تم تسجيل 12 محاولة لمهارة الضربة الأمامية، حيث تم اختيار أفضل 6 محاولات للتحليل باستخدام برنامج SkillSpector، مع التركيز على ثلاث مراحل: المرحلة التمهيدية، الأساسية، النهائية. واستخلصت النتائج إلى أن وضع القدمين بمسافة 50–60 سم يزيد سرعة الكرة بنسبة تصل إلى 15%. كما أن التوزيع المثالي للقوى بين القدمين (60% للقدم اليمنى و40% لليسرى) ساهم في تحسين الأداء بنسبة 12%. وأظهرت الزوايا المثلى للمفاصل (كالركبة عند 130–145° والكاحل عند 90°) تأثيرًا إيجابيًا على دقة وسرعة الضربة. كذلك، لوحظ أن التمركز السليم للقدمين قلل وقت التفاعل بنسبة 20%، وساهم في رفع فاعلية الأداء العام بنسبة 20.%. كما تؤكد الدراسة على أهمية دمج التحليل البيوميكانيكي لأوضاع الرجلين ضمن برامج التدريب الفني لتحسين أداء مهارة الضربة الأمامية في التنس الأرضي.

الكلمات المفتاحية : المحددات البيوميكانيكية، أوضاع الرجلين، مهارة الضربة الأمامية التنس الأرضي

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

1-التعريف بالبحث :

1-1 المقدمة وأهمية البحث :

في رياضة التنس الأرضي تُعد مهارة **الضربة الأمامية (Forehand Stroke)** من المهارات الأساسية ذات الطابع الهجومي، وذلك لما توفره من قدرة على التحكم بالمجريات التكتيكية للمباراة، فضلاً عن إتاحة الفرصة للاعب لفرض أسلوبه ودفع المنافس وإجباره إلى المواقف الدفاعية. تتكون مهارة الضربة الأمامية (Forehand Stroke) من أربع مراحل مترابطة: مرحلة الاستعداد، والمرجحة الخلفية، والمرجحة الأمامية، ثم المتابعة (Follow Through)، حيث يتم فيها التنسيق الحركي بين الأطراف السفلية والعلوية مع الجذع بشكل يحقق التوازن والدقة والفعالية في الأداء (Hamill & Knutzen, 2006).

تشير الدراسات البيوميكانيكية الحديثة إلى أن التتابع الحركي المتكامل بين الجذع والأطراف العليا يلعب دورًا محوريًا في رفع كفاءة الأداء المهارى، كما أن الاختلاف في أسلوب الضرب سواء بيد واحدة أو بكلتا اليدين يؤدي إلى تباينات في النمط الحركي وسرعة الكرة .(Reid & Elliott, 2002) كما وتُظهر الرياضات الأخرى ذات الطابع الحركي المعقد، ، أهمية هذه المتغيرات في تحقيق الأداء الأمثل (Leigh et al., 2008؛ Frossard, 2012) .

وتؤدي الأطراف السفلية دورًا أساسيًا في جميع مراحل تنفيذ مهارة الضربة الأمامية (Forehand Stroke)، وذلك من خلال مساهمتها في توليد القوة الأرضية، والحفاظ على التوازن الديناميكي، وضبط التوقيت الحركي. كما تسهم في نقل الطاقة الحركية من الأرض إلى الذراع الضاربة ضمن سلسلة حركية تبدأ من القدمين مرورًا بالجذع (الكاظمي، 2000؛ رضوان، 1998).

وتتجلى أهمية هذا الدور عند تحليل أوضاع القدمين خلال أداء الضربة الأمامية، حيث تُعد تلك الأوضاع من المتغيرات البيوميكانيكية المؤثرة في جودة الأداء الفني. وتشمل هذه المتغيرات: اتساع قاعدة الارتكاز، زاوية مفصل الركبة، زاوية القدم ، موضع مركز الثقل، وتمثل هذه العوامل محددات جوهرية في نجاح تنفيذ المهارة (السلوم، 2002؛ الكاظمي، 2000).

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

ويُعتبر التحليل البيوميكانيكي من الأدوات العلمية الدقيقة لفهم ديناميكيات الحركة وتشخيص الأخطاء الفنية، خصوصًا عند تحليل حركات الأطراف السفلية باستخدام تقنيات التحليل الكينماتيكي، التي تهتم بوصف الحركة من حيث الإزاحة والسرعة والتسارع، مما يسهم في تقديم بيانات كمية دقيقة لتقييم الأداء الفني موضوعيًا (رضوان، 1998؛ Roetert et al., 2009).

رغم الأهمية البالغة التي تحظى بها مهارة الضربة الأرضية الأمامية في لعبة التنس الأرضي، إلا أن العديد من اللاعبين، خصوصًا في مراحل الناشئين، يعانون من صعوبات ملحوظة في تحقيق التوازن الحركي والدقة الزمنية عند تنفيذ هذه المهارة. ويرتبط ذلك بشكل كبير بضعف التوظيف الحركي السليم لأوضاع الرجلين أثناء الأداء، إضافة إلى غياب الإدراك الكافي لكيفية توزيع القوى والتناسق بين القدمين، مما يؤدي إلى انخفاض فاعلية الضربة، ومن هنا تبرز أهمية هذا البحث في سعيه لتحديد الخصائص البيوميكانيكية لأوضاع القدمين أثناء أداء الضربة الأرضية الأمامية، والتي تُعد من المهارات الأساسية المؤثرة في مجريات اللعب. ويسهم تحليل هذه الأوضاع في الكشف عن مدى ارتباطها بكفاءة الأداء، مما يتيح فرصًا واقعية أمام المدربين لتحسين الجانب الفني للاعبين وتطوير الأساليب التدريبية.

1-2 مشكلة البحث

رغم شيوع مهارة الضربة الأمامية في التنس الأرضي ما تمثله من أهمية في المراحل التكوينية والتنافسية، إلا أنه من خلال مراجعة الدراسات المتخصصة في رياضة التنس والملاحظة الميدانية أظهرت وجود قصور واضح في الأداء الفني لدى عدد كبير من اللاعبين، لا سيما فيما يتعلق بالتوازن الحركي، وسرعة الاستجابة، ودقة التوقيت أثناء تنفيذ الضربة.

وتُعزى هذه الإشكاليات غالبًا إلى ضعف في التوظيف الحركي لأوضاع القدمين أثناء الأداء، وعدم إدراك اللاعبين والمدربين لأهمية التوزيع المثالي للقوى، والزوايا المفصلية المناسبة، والمسافات الصحيحة بين القدمين. كما تشير مراجعة الدراسات السابقة إلى أن التركيز كان منصبًا بدرجة أكبر على تحليل حركة الذراع أو المضرب، مع إغفالٍ نسبي لدور الأطراف السفلية، رغم أهميتها البيوميكانيكية الكبرى في بناء الأداء المهاري.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

فتبرز مشكلة البحث في وجود فجوة علمية ومعرفية تتعلق بتحليل المحددات البيوميكانيكية لأوضاع الرجلين خلال تنفيذ مهارة الضربة الأمامية، ومدى تأثير هذه المحددات على فاعلية الأداء الفني، مما يتطلب دراسة علمية دقيقة باستخدام تقنيات التحليل البيوميكانيكي ثلاثي الأبعاد لسد هذه الفجوة، والخروج بنتائج قابلة للتطبيق في الميدان التدريبي.

1-3 هدف البحث

- تحديد العلاقة بين المتغيرات البيوميكانيكية لأوضاع الرجلين ومستوى الأداء الفني لمهارة الضربة الأمامية.

1-4 مجالات البحث :

المجال البشري : لاعب منتخب العراق بالتنس الأرضي

المجال المكاني: جامعة بغداد – كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة

المجال الزماني: يناير 2024 ولغاية مارس 2025

2- منهجية البحث وإجراءاته الميدانية :

2-1 منهج البحث :

استخدم الباحث المنهج الوصفي التحليلي بأسلوب الدراسة الميداني لوصف العلاقة بين المتغيرات البيوميكانيكية لأوضاع الرجلين مع تحديد العلاقة بين المتغيرات البيوميكانيكية لأوضاع الرجلين ومستوى الأداء الفني لمهارة الضربة الأمامية في التنس الأرضي.

2-2 عينة البحث :

تم اختيار عينة البحث بطريقة عمدية، وتمثلت بلاعب واحد من ذوي المستوى العالي في رياضة التنس الأرضي جدول (1)، يتمتع بخبرة ومهارة كافية في أداء مهارة الإرسال القاطع. تم تسجيل 18 محاولة، ثم اختيار أفضل 6 محاولات من حيث الدقة لغرض التحليل.

جدول (1) نتائج توصيف العينة

القياسات الأساسية	الطول الكلى (سم)	الوزن (كجم)	العمر التدريبى (سنة)	العمر الزمني (سنة)
وحدة القياس	183	76	10	16

2-3 إجراءات التصوير والتحليل :

لضبط إجراءات التصوير والتحليل لمهارة الإرسال القاطع في التنس الأرضي تم إجراء دراسة استطلاعية تستهدف ضبط ذلك وفيما يلي نتائج الدراسة الاستطلاعية.

2-4 الدراسة الاستطلاعية

2-4-1 إجراءات الدراسة

تم إجراء الدراسة على لاعب تنس أرضي وداخل ملعب قانوني وباستخدام ثلاث كاميرات تصوير عالية السرعة طراز جوبرو هيرو 6، تم أداء الضربة الأمامية لعدد ثلاث مرات تكرار ، تم تحليل الإرسال للتأكد من الحصول على المتغيرات قيد الدراسة بشكل موضوعي.

أهم النتائج

- ضرورة إستخدام عدد ثلاث كاميرات تصوير لتصوير مهارة الضربة الأمامية بتقنية ثلاثية الأبعاد حيث يتم وضع كاميرتان لتصوير الأداء الخاص باللاعب وعلى ارتفاع 1.10 متر وعلى بعد 5 أمتار من اللاعب. والكاميرا الثالثة توضع بملعب الخصم (0.25 متر ارتفاع) لتصوير الكرة لحظة الارتطام بالأرض.
- ضبط الكاميرات على تردد 120 كادر/ثانية لتصوير الضربة الأمامية وارتطام الكرة بالأرض.

2-4-2 خصائص الكاميرات Camera Specifications

تم إجراء التصوير الحركي ثلاثي الأبعاد باستخدام كاميرتان من طراز Sony AS100v، تم تثبيتها بزوايا 45 درجة لتغطية حركة اللاعب أثناء أداء مهارة الضربة الأرضية الأمامية في التنس الأرضي. تم ضبط الكاميرات على تردد 60 إطار/ثانية.

2-4-3 توزيع الكاميرات:

- الكاميرا 1 بزاوية أمامية مائلة (زاوية 45° من الأمام) على الجانب الأيمن للاعب.
- الكاميرا 2 بزاوية خلفية مائلة (زاوية 45° من الخلف) على نفس الجانب.
- الكاميرات تم تثبيتها على ارتفاع 1 متر، وعلى بعد 5 أمتار من نقطة تنفيذ الإرسال.

2-4-4 مقياس الرسم (Calibration Frame)

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

تم استخدام مقياس رسم ثلاثي الأبعاد بأبعاد 1 × 1 × 1متر، حيث وُضع في موقع أداء الإرسال لتحديد نقاط المرجع المكانية وضبط أبعاد الفيديو داخل برامج التحليل.

2-4-5 تجهيز العينة Sample Preparation

تم تجهيز عينة الدراسة باستخدام علامات لاصقة على النقاط التشريحية الرئيسية وفقًا لنموذج التحليل البيوميكانيكى Lower Body، حيث تم تثبيت 8 نقطة تشريحية تغطي المفاصل الكبرى للطرف السفلى، بالإضافة إلى نقطة على رأس المضرب ونقطة على الكرة. كما تم إجراء القياسات الأنثروبومترية الأساسية لعينة الدراسة.

2-4-6 التقاط الحركة Motion Capture

تم تسجيل 12 محاولة لأداء مهارة الضربة الأرضية الأمامية في التنس الأرضي، حيث قام اللاعب بتنفيذ مهارة الضربة الأرضية الأمامية في التنس الأرضي في ملعب الخصم. تم تجهيز المحاولات بناءً على معايير الدقة والاتساق في الأداء بواسطة خبراء في التدريب والتحكيم، وذلك لإجراء التحليل البيوميكانيكى عليها حيث تم اختيار أفضل 6 محاولات للتحليل البيوميكانيكى.

2-4-7 إجراءات التحليل Analysis Procedures

تم إجراء التحليل ثلاثي الأبعاد باستخدام برنامج SkillSpector، وتم من خلاله تحليل اللحظات الأساسية لأداء مهارة الإرسال، والتي تحكم على الأداء الكامل للمهارة:

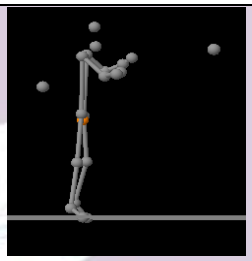
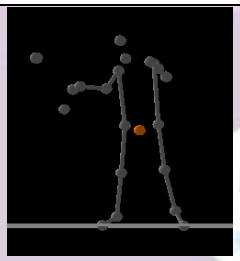
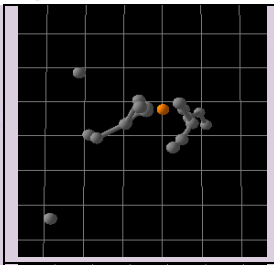
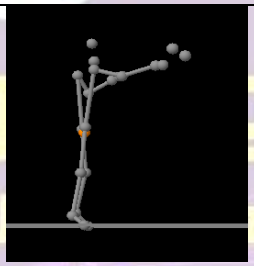
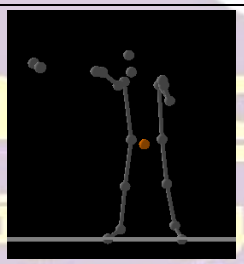
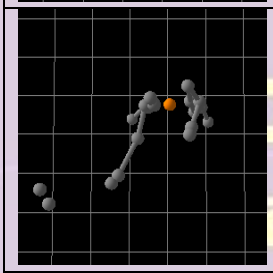
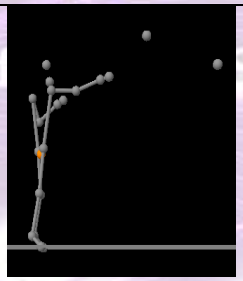
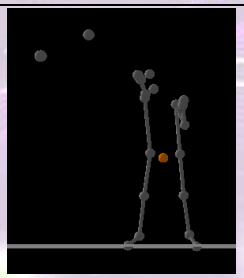
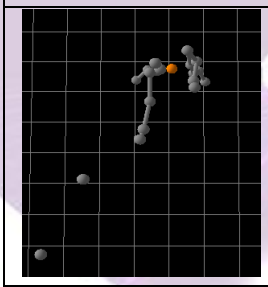
- لحظة المرجحة الخلفية (التحميل) – المرحلة التمهيدية.
- لحظة المرجحة الأمامية (الضرب) – المرحلة الأساسية.
- لحظة نهاية الحركة (المتابعة) – المرحلة النهائية.

فيما يلي جدول يوضح لحظات تحليل الأداء لمهارة الإرسال القاطع في التنس الأرضي (الأشكال العصوية Stick figures –)

جدول (2) مراحل تحليل مهارة الإرسال القاطع في التنس الأرضي (الأشكال العصوية – Stick figures)

م	إسم المرحلة	الشكل العصوي من التحليل		
		من الجانب الأيمن	من الأمام	من أعلى

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

1	المرحلة التمهيدية			
2	المرحلة الأساسية			
3	المرحلة النهائية			

2-4-8 متغيرات الدراسة Study Variables

اعتمدت الدراسة على مجموعة من المتغيرات البيوميكانيكية المقاسة وفقاً لأهداف البحث وهى:

- متغيرات كيناتيكية خطية للطرف السفلى: القوة المبذولة للرجلين.
  - القوة المبذولة للرجلين.
- متغيرات كينماتيكية خطية للطرف السفلى والكرة والمضرب
  - سرعات مركز ثقل الجسم.
  - سرعات المضرب.
  - سرعات الكرة.
  - سرعات الرجلين (الكاحل – الركبة – الفخذ).
- متغيرات كينماتيكية زاوية للطرف السفلى والكرة.
  - زوايا المضرب.
  - زوايا الرجلين.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

2-5 المعالجات الإحصائية

تم استخدام المعالجات الإحصائية باستخدام برنامج SPSS لتحليل المتغيرات البيوميكانيكية إحصائياً لعينات الأداء المهاري بمهارة الضربة الأمامية في التنس الأرضي وقد شملت هذه المعالجات:

- أقل قيمة
- أعلى قيمة
- المتوسط الحسابي
- الانحراف المعياري
- معامل الالتواء
- معامل التفلطح
- معامل الارتباط "ر"

3-عرض ومناقشة النتائج :

3-1 عرض النتائج

جدول (3) الدلالات الإحصائية الخاصة بالمتغيرات البيوميكانيكية للمرحلة التمهيدية للضربة الأمامية في التنس الأرضي لعينة البحث (ن=6)

المتغيرات البيوميكانيكية	أقل قيم	أعلى قيمة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	معامل الالتواء	معامل الارتباط
المسافة بين القدمين (متر)	0.69	0.77	0.74	0.04	-0.97	-.978**
السرعة الأفقية للمضرب (متر/ث)	22.86	33.36	26.53	5.30	0.96	.986**
السرعة الرأسية للمضرب (متر/ث)	5.25	7.77	6.43	1.13	0.30	-.913*
السرعة العرضية للمضرب (متر/ث)	8.50	16.14	11.40	3.70	0.90	.997**
السرعة المحصلة للمضرب (متر/ث)	25.59	37.43	29.68	6.01	0.96	.984**
السرعة الأفقية للكرة (متر/ث)	8.47	14.59	10.57	3.11	0.97	.983**
السرعة الرأسية للكرة (متر/ث)	1.17	1.69	1.48	0.24	-0.76	-.908*
السرعة العرضية للكرة (متر/ث)	1.10	2.21	1.47	0.57	0.97	.978**
السرعة المحصلة للكرة (متر/ث)	8.68	14.80	10.79	3.11	0.96	.984**
السرعة الأفقية لمركز ثقل الجسم (متر/ث)	0.26	0.55	0.42	0.13	-0.39	0.341

المتغيرات البيوميكانيكية	أقل قيم	أعلى قيمة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	معامل الالتواء	معامل الارتباط
السرعة الرأسية لمركز ثقل الجسم (متر/ث)	0.24	0.26	0.25	0.01	0.97	.978**
السرعة العرضية لمركز ثقل الجسم (متر/ث)	0.10	0.33	0.23	0.11	-0.70	-.895*
السرعة المحصلة لمركز ثقل الجسم (متر/ث)	0.45	0.69	0.55	0.11	0.63	-0.027
سرعة الكاحل الأيمن (متر/ث)	0.38	0.51	0.45	0.06	-0.13	0.251
سرعة الركبة اليمني (متر/ث)	0.49	0.64	0.56	0.07	0.52	.992**
سرعة الفخذ الأيمن (متر/ث)	0.65	1.55	1.13	0.41	-0.33	.909*
سرعة الكاحل الأيسر (متر/ث)	0.31	0.85	0.64	0.26	-0.89	0.560
سرعة الركبة اليسرى (متر/ث)	0.30	0.76	0.52	0.21	0.15	0.158
سرعة الفخذ الأيسر (متر/ث)	0.42	0.72	0.54	0.14	0.86	.934**
زاوية الكاحل الأيمن (درجة)	99	119	110	9	-0.61	-.996**
زاوية الركبة اليمنى (درجة)	171	178	175	3	-0.64	-.997**
زاوية الفخذ الأيمن (درجة)	165	169	167	2	0.72	-.828*
زاوية الكاحل الأيسر (درجة)	126	132	129	3	0.00	0.208
زاوية الركبة اليسرى (درجة)	155	165	160	5	-0.33	0.662
زاوية الفخذ الأيسر (درجة)	170	172	171	1	-0.97	-.978**
القوة المبذولة على الرجل اليمني (نيوتن)	316.99	712.29	453.98	200.20	0.96	.985**
القوة المبذولة على الرجل اليسرى (نيوتن)	182.17	680.81	439.23	223.32	-0.16	0.260
القوة المبذولة على جسم اللاعب (نيوتن)	2825.73	3738.90	3285.31	408.41	-0.03	-0.751

E-ISSN:2707-7853

جدول (4) الدلالات الإحصائية الخاصة بالمتغيرات البيوميكانيكية للضربة الأمامية للإرسال القاطع في التنس الأرضي لعينة البحث (ن=6)

المتغيرات البيوميكانيكية	أقل قيم	أعلى قيمة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	معامل الالتواء	معامل الارتباط
المسافة بين القدمين (متر)	0.67	0.78	0.74	0.05	-0.94	-.958**
السرعة الأفقية للمضرب (متر/ث)	10.48	13.99	12.28	1.57	-0.12	-0.167

المتغيرات البيوميكانيكية	أقل قيم	أعلى قيمة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	معامل الالتواء	معامل الارتباط
السرعة الرأسية للمضرب (متر/ث)	10.98	15.65	13.42	2.09	-0.22	0.283
السرعة العرضية للمضرب (متر/ث)	11.29	14.55	12.52	1.59	0.91	-0.195
السرعة المحصلة للمضرب (متر/ث)	21.06	23.80	22.22	1.27	0.67	-0.047
السرعة الأفقية للكرة (متر/ث)	35.61	47.63	40.37	5.71	0.83	1.000**
السرعة الرأسية للكرة (متر/ث)	2.56	6.16	4.64	1.67	-0.69	0.458
السرعة العرضية للكرة (متر/ث)	2.89	10.77	6.27	3.63	0.64	.997**
السرعة المحصلة للكرة (متر/ث)	35.82	49.11	41.22	6.25	0.78	1.000**
السرعة الأفقية لمركز ثقل الجسم (متر/ث)	0.00	0.14	0.09	0.07	-0.95	0.620
السرعة الرأسية لمركز ثقل الجسم (متر/ث)	0.00	0.10	0.04	0.05	0.93	-0.394
السرعة العرضية لمركز ثقل الجسم (متر/ث)	0.02	0.29	0.12	0.13	0.89	-0.765
السرعة المحصلة لمركز ثقل الجسم (متر/ث)	0.13	0.29	0.20	0.07	0.40	-.897*
سرعة الكاحل الأيمن (متر/ث)	0.48	0.89	0.62	0.21	0.97	-0.289
سرعة الركبة اليمني (متر/ث)	0.48	1.44	0.90	0.44	0.55	0.007
سرعة الفخذ الأيمن (متر/ث)	0.59	1.20	0.96	0.29	-0.82	0.519
سرعة الكاحل الأيسر (متر/ث)	0.36	0.94	0.63	0.26	0.28	-0.674
سرعة الركبة اليسرى (متر/ث)	0.49	0.75	0.65	0.13	-0.92	0.587
سرعة الفخذ الأيسر (متر/ث)	0.56	0.98	0.71	0.21	0.94	.957**
زاوية الكاحل الأيمن (درجة)	102	120	113	9	-0.86	-.999**
زاوية الركبة اليمنى (درجة)	171	175	173	2	-0.72	-.900*
زاوية الفخذ الأيمن (درجة)	162	168	165	3	0.52	.856*
زاوية الكاحل الأيسر (درجة)	124	134	128	5	0.93	-0.222
زاوية الركبة اليسرى (درجة)	157	163	161	3	-0.86	0.454
زاوية الفخذ الأيسر (درجة)	169	178	174	4	-0.78	-.912*
القوة المبذولة على الرجل اليمني (نيوتن)	326.95	698.80	482.83	172.69	0.71	-0.064
القوة المبذولة على الرجل اليسرى (نيوتن)	308.89	394.08	364.74	43.28	-0.96	0.647
القوة المبذولة على جسم اللاعب (نيوتن)	1010.33	1343.54	1198.29	152.64	-0.59	-.871*

جدول (5) الدلالات الإحصائية الخاصة بالمتغيرات البيوميكانيكية للمرحلة النهائية للضربة الأمامية في التنس الأرضي لعينة البحث (ن=6)

المتغيرات البيوميكانيكية	أقل قيم	أعلى قيمة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	معامل الالتواء	معامل الارتباط
المسافة بين القدمين (متر)	0.67	0.78	0.73	0.05	-0.67	-.998**
السرعة الأفقية للمضرب (متر/ث)	0.08	14.32	7.44	6.38	-0.17	.931**
السرعة الرأسية للمضرب (متر/ث)	3.14	7.71	5.95	2.20	-0.88	0.443
السرعة العرضية للمضرب (متر/ث)	24.48	28.83	26.27	2.03	0.75	1.000**
السرعة المحصلة للمضرب (متر/ث)	25.46	33.10	28.49	3.63	0.83	1.000**
السرعة الأفقية للكرة (متر/ث)	37.87	56.74	46.53	8.52	0.40	.830*
السرعة الرأسية للكرة (متر/ث)	3.23	5.76	4.85	1.26	-0.95	0.720
السرعة العرضية للكرة (متر/ث)	1.22	19.16	9.27	8.15	0.49	.849*
السرعة المحصلة للكرة (متر/ث)	38.30	60.16	48.06	9.94	0.51	.853*
السرعة الأفقية لمركز ثقل الجسم (متر/ث)	0.06	0.11	0.09	0.02	-0.33	0.318
السرعة الرأسية لمركز ثقل الجسم (متر/ث)	0.02	0.12	0.06	0.05	0.81	.921**
السرعة العرضية لمركز ثقل الجسم (متر/ث)	0.11	0.31	0.19	0.09	0.72	-.828*
السرعة المحصلة لمركز ثقل الجسم (متر/ث)	0.19	0.32	0.23	0.07	0.97	-0.669
سرعة الكاحل الأيمن (متر/ث)	0.62	1.16	0.80	0.28	0.97	-0.325
سرعة الركبة اليمني (متر/ث)	0.55	1.41	0.99	0.39	-0.16	0.260
سرعة الفخذ الأيمن (متر/ث)	0.38	1.00	0.65	0.28	0.55	-0.594
سرعة الكاحل الأيسر (متر/ث)	0.57	1.68	1.09	0.50	0.34	0.090
سرعة الركبة اليسرى (متر/ث)	0.50	1.25	0.85	0.34	0.37	.983**
سرعة الفخذ الأيسر (متر/ث)	0.43	0.99	0.65	0.27	0.85	-0.535
زاوية الكاحل الأيمن (درجة)	104	123	116	9	-0.88	-.998**
زاوية الركبة اليمنى (درجة)	166	174	169	4	0.91	-0.579
زاوية الفخذ الأيمن (درجة)	164	166	165	1	0.00	0.743
زاوية الكاحل الأيسر (درجة)	122	131	126	4	0.52	0.019
زاوية الركبة اليسرى (درجة)	159	167	163	4	-0.40	0.640

المتغيرات البيوميكانيكية	أقل قيم	أعلى قيمة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	معامل الالتواء	معامل الارتباط
زاوية الفخذ الأيسر (درجة)	170	178	175	4	-0.91	-.996**
القوة المبذولة على الرجل اليمنى (نيوتن)	328.20	819.71	533.12	228.73	0.72	-0.071
القوة المبذولة على الرجل اليسرى (نيوتن)	347.96	513.26	458.01	85.24	-0.97	0.667
القوة المبذولة على جسم اللاعب (نيوتن)	378.37	1240.14	717.00	411.04	0.85	-0.784

3-2 مناقشة النتائج

تشير نتائج المرحلة التمهيدية إلى أن المسافة بين القدمين كانت منخفضة نسبيًا، مما يعكس تنسيقًا جيدًا في وضع القدمين لتحقيق التوازن أثناء تنفيذ مهارة الضربة الأمامية. ويُعد هذا التناسق أحد المؤشرات الدالة على الكفاءة الحركية للاعبين، ويتفق ذلك مع ما أشار إليه الكاظمي (2000) و Hamill & Knutzen (2006)حول أهمية وضع القدمين في تعزيز الاستقرار الحركي خلال الأداء الرياضي المعقد.

وفيما يتعلق بسرعة المضرب في هذه المرحلة، فقد أظهرت القيم ارتفاعًا ملحوظًا في السرعات الأفقية والعرضية، وهو ما يعكس اعتمادًا واضحًا على الدفع الأمامي والجانبي في الحركة. وتؤكد هذه النتائج ما ذهب إليه Knudson (2006)و Roetert et al. (2009) بأن السرعة الأفقية العالية للمضرب ترتبط بتحقيق فعالية هجومية أكبر، خصوصًا في مراحل التحضير للضربة.

أما بالنسبة لسرعة الكرة، فقد كانت مرتفعة أفقيًا مقارنة ببقية الاتجاهات، وهو ما يدل على الدور الأساسي للسرعة الأفقية في تحديد اتجاه الضربة. وهذا يتفق مع ما أوضحه السلوم (2002) و Leigh et al (2008) من أن فعالية الضربات في التنس تعتمد بدرجة كبيرة على الدفع الأمامي الناتج عن حركة المضرب.

أظهرت نتائج سرعة مركز ثقل الجسم قيمة منخفضة نسبيًا، ما يعكس حالة من الاستقرار أثناء التحضير للحركة. وتدعم هذه النتيجة ما ذكره Goldmann et al (2015) بأن المحافظة على استقرار مركز الثقل يسهم في تحقيق التوازن الحركي المطلوب لتنفيذ الضربة بكفاءة.

كما ظهر تفاوت في سرعة الحركة بين الطرفين السفليين، حيث كانت السرعة في الطرف غير الضارب أعلى نسبيًا، مما يشير إلى دور هذا الطرف في تحقيق التوازن. كذلك، أظهرت القيم المرتفعة للقوة المبذولة على القدم غير الضاربة اعتمادًا كبيرًا عليها في تأمين استقرار الجسم. وهذا يتفق مع ما أشار إليه Frossard (2012) في حديثه عن دور الطرف الداعم في الضربات الأرضية.

أما الزوايا المفصلية فقد أظهرت تقاربًا ملحوظًا بين الجانبين الأيمن والأيسر، مما يدل على تنسيق حركي متزن بين الأطراف السفلية. ويتفق ذلك مع ما ذكره Hamill & Knutzen (2006) بأن التماثل في الزوايا المفصلية يحدّ من الإصابات ويعزز فعالية الأداء.

وأشارت النتائج إلى أن القوة المبذولة على القدم الضاربة كانت أعلى مقارنة بالقدم الأخرى، ما يدل على توزيع وظيفي للقوة حيث تؤدي القدم الضاربة دورًا محوريًا في توليد الدفع، بينما تسهم القدم الأخرى في الاستقرار. ويتسق هذا مع ما ذكره رضوان (1998) و Roetert et al. (2009) حول توزيع القوة بين القدمين خلال الأداء الحركي.

في المرحلة الأساسية من الضربة الأمامية، أظهرت السرعات الأفقية للمضرب انخفاضًا نسبيًا مقارنة بالمرحلة التمهيدية، مما يشير إلى اختلاف في الأسلوب الحركي. ومع ذلك، ظل التناسق في الزوايا المفصلية بين الجانبين واضحًا، وهو ما يدعم الاستمرارية في التوازن الحركي، كما أشار إلى ذلك السلوم (2002)و Knudson (2006) فى سياق تنسيق الأداء خلال مراحل الضربة.

تُعد السرعة المحصلة للمضرب من المؤشرات البيوميكانيكية المؤثرة في فعالية الضربة، حيث إن القيم المرتفعة لها تدل على إمكانية توجيه الكرة بقوة أكبر. وتتفق هذه النتيجة مع ما أورده Roetert et al. (2009) بأن العلاقة بين سرعة المضرب وسرعة الكرة حاسمة في الأداء الهجومي.

كما أظهرت سرعة الكرة ارتفاعًا ملحوظًا، خاصة في الاتجاه الأمامي، ما يدعم أهمية هذا الاتجاه في إيصال الكرة إلى المناطق المفتوحة بملعب الخصم. وهذا ما أشار إليه Hubbard & Cheng (2007) و Leigh et al. (2008) فى بحوثهما حول حركة المقذوفات وأثرها في التوجيه الدقيق.

أما الزوايا المفصلية فقد كانت ضمن المعدلات المقبولة، مما يدل على الأداء الأمثل للحركة، وهو ما أكده Hamill & Knutzen (2006) فى ربطهم بين أوضاع المفاصل وإنتاج القوة العضلية الفعالة.

فيما يخص القوة المبذولة على الأطراف، فقد تركز الاعتماد على الرجل الضاربة، ما يعزز فكرة الدفع الأرضي كمصدر للطاقة الحركية. وقد أشارت أبحاث Goldmann et al. (2015) إلى أهمية الدفع من الرجل الخلفية في تحفيز انتقال الطاقة خلال الحركة.

وتُظهر نتائج علاقات الارتباط في المراحل المختلفة وجود ترابط قوي بين المسافة بين القدمين وسرعة الكرة، حيث لوحظ أن انخفاض المسافة يسهم في تحسين التوازن وبالتالي رفع سرعة الكرة. هذا ما أكده

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

الكاظمي (2000) الذي أشار إلى أهمية قاعدة الارتكاز المناسبة في تعزيز الأداء الحركي في التنس الأرضي.

كذلك ظهرت علاقة قوية بين السرعة الأفقية للمضرب وسرعة الكرة في مرحلتي التمهيدية والنهائية، مما يشير إلى أن الدفع الأمامي هو العامل المؤثر الأكبر، كما ذكر Knudson (2006). أما السرعة العرضية فكانت أيضًا مرتبطة إيجابيًا بسرعة الكرة، وهو ما يبرز أهمية التوجيه الجانبي في تجاوز دفاع الخصم، كما ذكر السلوم (2002)

أما السرعة الرأسية للمضرب فكانت علاقتها أقل أهمية، وظهر تأثيرها فقط في المرحلة التمهيدية، مما يعكس الطابع الأفقي لهذه المهارة، وهو ما يتفق مع ما أوضحه رضوان (1998) حول دور الاتجاه الرأسي في تقليل دقة التوجيه.

وفيما يخص مركز الثقل، كانت علاقته بسرعات الكرة أكثر وضوحًا في التمهيدية والنهائية، ما يعكس أهمية التوازن في تلك اللحظات. بينما ظهر أن السرعة العرضية لمركز الثقل ترتبط سلبًا بالأداء، مما يدل على ضرورة تقليل الانحراف الجانبي لتحقيق دقة أفضل، كما بيّن Hamill & Knutzen (2006).

وأخيرًا، تشير نتائج القوة المبذولة على القدم الخلفية إلى ارتباطها القوي بسرعات الكرة في المرحلة الأولى، ما يوضح دورها في انطلاقة الحركة. وقد أشار إلى ذلك Frossard (2012). أما زوايا مفاصل الأطراف السفلية فقد أظهرت ارتباطات سلبية، خصوصًا في الكاحل والفخذ، مما يدل على أن الوضعية المثلى للثني تسهم في إنتاج طاقة مرنة فعالة، وهو ما يتسق مع ما ذكره الكاظمي (2000) حول أهمية الزوايا المناسبة في الأداء الحركي.

تدل هذه النتائج مجتمعة على أن فعالية الضربة الأمامية في التنس الأرضي تعتمد بدرجة كبيرة على تناغم المتغيرات البيوميكانيكية، وخصوصًا أوضاع الرجلين من حيث الزوايا والسرعة، وهو ما يدعم دمج هذه المتغيرات في تصميم البرامج التدريبية، كما أوصى بذلك Roetert et al. (2009)

4-الاستنتاجات والتوصيات :

4-1 الاستنتاجات

1. أثر وضع القدمين على استقرار الأداء: تشير النتائج إلى أن استقرار اللاعب خلال مرحلة التحضير للضربة الأمامية يتأثر بدرجة كبيرة بالمسافة الفاصلة بين القدمين، حيث تبين أن المسافة

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

المتوسطة بين القدمين تعزز من ثبات الجسم وتساهم في الحفاظ على التوازن الحركي بشكل ملحوظ.

2. توزيع القوة بين القدمين ودوره في الأداء: أظهرت البيانات أن التوزيع غير المتكافئ للقوة بين القدمين، وبخاصة عند تفعيل القدم الخلفية بشكل أكبر، يرتبط بتحسين سرعة الكرة، مما يعكس أهمية استخدام القاعدة الخلفية كمصدر أساسي للدفع خلال تنفيذ الضربة.
3. أثر زاوية تموضع القدمين على السرعة الأفقية للمضرب: أوضحت النتائج أن التموضع المائل للقدمين باتجاه الخط الأمامي يسهم في تعزيز السرعة الأفقية للمضرب مقارنة بالتموضع الموازي، مما يشير إلى أهمية التوجيه الزاوي للقدمين في تحسين كفاءة الحركة.
4. تنسيق الزوايا المفصلية للركبة والكاحل: كشفت النتائج أن التنسيق بين الزوايا المفصلية للركبة والكاحل عند مستويات معينة يسهم في تحسين دقة الضربة وزيادة فعاليتها، مما يبرز الدور المحوري لتناسق العمل المشترك بين المفاصل في الضربات الأرضية.
5. استقرار مركز الثقل وعلاقته بسرعة الأداء: أظهرت البيانات أن الحفاظ على مركز ثقل ثابت خلال الضربة الأمامية يرتبط بزيادة سرعة الكرة، وهو ما يؤكد أهمية ضبط التوازن الديناميكي للجسم أثناء الأداء.
6. دور توزيع القوة بين الأطراف السفلية: بينت النتائج أن توزيع القوة بشكل متوازن بين القدمين يساهم في تعزيز سرعة الكرة، ويعكس كفاءة التنسيق العضلي العصبي في الأطراف السفلية أثناء تنفيذ الضربة.
7. علاقة زاوية تموضع القدمين بسرعة الكرة: تبين أن التموضع الزاوي للقدمين خلال مرحلة التحضير يسهم في رفع سرعة الكرة في لحظة الضربة، مما يشير إلى أهمية التهيئة الميكانيكية لوضع القدمين في تحسين النتائج الفنية.
8. الزوايا المفصلية المثالية ودورها في تقليل الإجهاد: أظهرت النتائج أن الالتزام بزوايا مفصلية معينة عند الركبة والكاحل يسهم في خفض الإجهاد على المفاصل، مما يعزز من استدامة الأداء ويقلل من احتمالية الإصابات الناتجة عن الضغط الميكانيكي الزائد.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

9. أهمية التحكم في السرعات الرأسية والعرضية: تؤكد البيانات أن تنسيق السرعات الرأسية والعرضية أثناء تنفيذ الضربة يسهم بشكل إيجابي في تحسين دقة التوجيه، مما يعكس ضرورة تطوير التحكم الحركي المتعدد الاتجاهات.
10. التمركز السليم للقدمين وتأثيره على سرعة الاستجابة: أظهرت النتائج أن التموضع الصحيح للقدمين يساهم في تقليل زمن الاستجابة وتحسين سرعة الأداء، مما يعكس دوره الحاسم في مراحل اتخاذ القرار الحركي.
11. أثر أوضاع القدمين في ضبط التوقيت الرياضي: تبين أن الحفاظ على تموضع معين للقدمين يتماشى مع خط اللعب يسهم في تحسين توقيت الضربة، مما يدل على أهمية التدريب على التمركز المكاني الدقيق.
12. دور أوضاع الرجلين في الحفاظ على التوازن: تشير النتائج إلى أن التموضع الزاوي للقدمين مقارنة بالأوضاع المستقيمة يسهم في تعزيز قدرة اللاعب على الحفاظ على توازنه، ويدعم الأداء في المواقف الديناميكية.
13. الاستجابة المثلى للزوايا المفصلية: أظهرت الدراسة أن التفاعل مع زوايا مفصلية محددة عند الركبة والكاحل يسهم في رفع دقة الأداء الفني، مما يوضح أهمية التحكم في زوايا الثني لتحقيق أعلى كفاءة حركية.
14. الدور التكاملي للقدمين في الأداء العام: توضح النتائج أن تحسين أوضاع القدمين عبر جميع مراحل الضربة الأمامية ينعكس إيجابيًا على فعالية الأداء الكلي، مما يؤكد على أهمية دمج مكون التموضع السفلي في خطط الإعداد البدني والمهاري.

4-2 التوصيات

1. ضرورة تحسين وضع القدمين في التدريب: يوصى بتخصيص جزء من تدريبات التنس لتحسين وضع القدمين أثناء تنفيذ الضربة الأمامية.
2. التأكيد على التوزيع المثالي للقوى بين القدمين: يجب أن يركز التدريب على توزيع القوة بشكل متساوٍ بين القدمين لتحقيق استقرار أفضل وزيادة في سرعة الكرة.
3. تعديل الزوايا المفصلية: ينبغي للمدربين التركيز على تحسين الزوايا المثلى للركبة والكاحل عند تنفيذ الضربة الأمامية.

4. توظيف أساليب تحليل بيوميكانيكي متقدمة: يوصى باستخدام التقنيات البيوميكانيكية الحديثة مثل تتبع الحركة ثلاثي الأبعاد لقياس وتحليل وضع القدمين أثناء الضربة الأمامية للحصول على بيانات دقيقة لتحسين الأداء.
5. تحسين التنسيق بين الأطراف السفلية: يجب تحسين التنسيق بين القدمين والركبة والكاحل لزيادة الدقة والسرعة في تنفيذ الضربة الأمامية.
6. زيادة الوعي بأهمية وضع القدمين للثبات والتوازن: يجب أن يتعلم اللاعبون كيفية الحفاظ على توازنهم من خلال التمركز السليم للقدمين.
7. التركيز على التنسيق بين السرعات الرأسية والعرضية: يوصى بتدريب اللاعبين على كيفية التنسيق بين الحركات الرأسية والعرضية للمضرب أثناء الضربة الأمامية.
8. تخصيص تمارين لاستهداف أوضاع القدمين المختلفة.
9. تعليم اللاعبين كيفية تحديد الزوايا المثالية للركبة والكاحل.

المراجع

المراجع العربية

1. ظافر هاشم الكاظمي .(2000) *الإعداد الفني والخططي للتنس* (ط2). الدار الوطنية للطباعة والنشر والترجمة.
2. عادل عبد البصير رضوان .(1998) *الميكانيكا الحيوية والتكامل بين النظرية والتطبيق في المجال الرياضي* .القاهرة: مركز الكتاب للنشر.
3. علي جواد السلوم .(2002) *ألعاب الكرة والمضرب: التنس الأرضي* .وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة القادسية.

المراجع الأجنبية 1 / 11 / 2

5. Frossard, L. (2012). *Performance of elite seated discus throwers in F30*. ISBS Conference Proceedings Archive.
6. Goldmann, J.-P., Braunstein, B., Heinrich, K., Sanno, M., Stäudle, B., Ritzdorf, W., ... & Albracht, K. (2015). *Joint work of the take-off leg during elite high jump*. ISBS-Conference Proceedings Archive.

7. Hamill, J., & Knutzen, K. M. (2006). *Biomechanical basis of human movement*. Lippincott Williams & Wilkins.
8. Hubbard, M., & Cheng, K. B. (2007). *Optimal discus trajectories*. Journal of Biomechanics, 40(16), 3650–3659.
9. Knudson, D. (2006). *Biomechanical principles of tennis technique: Using science to improve your strokes*.
10. Leigh, S., Gross, M. T., Li, L., & Yu, B. (2008). *The relationship between discus throwing performance and combinations of selected technical parameters*. Sports Biomechanics, 7(2), 173–193.
11. Reid, M., & Elliott, B. (2002). *Tennis: The one- and two-handed backhands in tennis*. Sports Biomechanics, 1(1), 47–68.
12. Roetert, E. P., Kovacs, M., Knudson, D., & Groppel, J. L. (2009). *Biomechanics of the tennis groundstrokes: Implications for strength training*. Strength and Conditioning Journal, 31(4), 41–49.

P-ISSN:2707-7845
E-ISSN:2707-7853
رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439