تاريخ استلام البحث : 12 نيسان 2026

Evaluating the Accuracy of the Forehand Volley in Tennis Using AI-Powered 2D Kinematic Analysis (OnForm)

Abstract

the use of physical sensors. Statistical analysis was conducted using Pearson's correlation coefficient. The findings revealed significant and strong correlations between upper-limb and trunk variables and performance accuracy. Specifically, shoulder angle in the preparatory phase (0.894) and at ball contact (0.969) demonstrated significant positive correlations, whereas trunk angle (-0.881), racket angle (-0.914), and racket–ball contact angle (-0.902) exhibited significant negative correlations. The study also demonstrated a deterministic inverse relationship between velocity-related variables (angular velocity, linear velocity, and ball release velocity) and skill accuracy, consistent with the speed–accuracy trade-off principle. In contrast, ball release height showed a positive correlation (0.816) with accuracy. The study recommended integrating field-based artificial intelligence applications such as (OnForm) into training sessions to provide immediate feedback and emphasizing control- and timing-oriented training rather than maximizing absolute force during volley strokes.

Keywords: *sports biomechanics, artificial intelligence, OnForm application, forehand volley, tennis, motor performance accuracy.*

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

تقييم دقة الضربة الأمامية الطائرة في التنس الأرضي باستخدام التحليل الكينماتيكي ثنائي الأبعاد المدعوم بالذكاء الاصطناعي(OnForm)

الباحث: محمد كامل حسون **المشرف: أ.د. محمد صالح خليل**

Mohmdkmi.iq12@gmail.com dr.mohammadsalih@uosamarra.edu.iq

كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة – جامعة سامراء

المستخلص:

هدف البحث الحالي إلى التعرف على قيم بعض المتغيرات البايوكينماتيكية باستخدام برنامج التحليل الحركي المدعوم بالذكاء الاصطناعي (OnForm) والكشف عن طبيعة علاقتها بدقة مهارة الضربة الأمامية الطائرة لدى لاعبي التنس، استخدم الباحث المنهج الوصفي بالأسلوب الارتباطي على عينة عمدية قوامها (9) لاعبين من المنتخب الوطني العراقي للتنس الأرضي دون 18 سنة، تم تصوير الأداء الميداني باستخدام ثلاث كاميرات (iPhone 13 Pro Max) بسرعة 240 إطارا/ثانية، واستخرجت البيانات الكينماتيكية عبر تطبيق (OnForm) دون مستشعرات بدنية ، وعولجت إحصائيا باستخدام معامل ارتباط بيرسون، وأظهرت النتائج وجود علاقات ارتباط معنوية قوية للطرف العلوي والجذع مع الدقة ، اذ سجلت زاوية الكتف في الوضع التحضيري (0.894) ولحظة الضرب (0.969) ارتباطا طرديا معنويا، في حين سجلت زاوية الجذع (−0.881)، وزاوية المضرب (−0.914)، وزاوية تلاقي المضرب مع الكرة (−0.902) ارتباطا عكسيا معنويا، كما بينت الدراسة وجود علاقة عكسية حتمية بين المتغيرات السرعية (السرعة الزاوية والمحيطية، وسرعة انطلاق الكرة) والدقة المهارية تماشيا مع مبدأ المقايضة بين السرعة والدقة، بينما ارتبط ارتفاع نقطة الانطلاق طرديا (0.816) بالدقة، وأوصت الدراسة بضرورة دمج تطبيقات الذكاء الاصطناعي الميدانية كـ (OnForm) في الوحدات التدريبية لتوفير تغذية راجعة فورية، والتركيز على تدريبات التحكم والتوقيت بدلا من تعظيم القوة المطلقة في الضربات الطائرة.

الكلمات المفتاحية: البايوميكانيك الرياضي، الذكاء الاصطناعي، تطبيق OnForm، الضربة الأمامية الطائرة، التنس الأرضي، دقة الأداء الحركي.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

1- التعريف بالبحث:

1-1 مقدمة البحث وأهميته :

شهدت الألعاب الرياضية بوجه عام، ولعبة التنس الأرضي بوجه خاص، طفرة تطويرية متسارعة بفضل الاندماج العميق مع العلوم الحديثة، وفي صدارتها البايوميكانيك الرياضي وتقنيات الذكاء الاصطناعي. إذ يتطلب الأداء المثالي والمتميز في رياضة التنس توافقا حركيا فائقا وسلسلة كينماتيكية متقنة تضمن انتقال القوة من الأطراف السفلية مرورا بالجذع وحتى المضرب لحظة ضرب الكرة. وتبرز مهارة الضربة الطائرة الأمامية كإحدى أهم المهارات الهجومية الحاسمة لإنهاء النقاط والسيطرة على منطقة الشبكة، وهي من الركائز الأساسية التي تمنح اللاعبين النخبة أفضلية تكتيكية واضحة تميزهم عن غيرهم. وتتطلب هذه المهارة مستوى عاليا من الدقة والتنسيق الحركي أثناء الأداء الفني، حيث ترتبط دقتها وفاعليتها مباشرة بالاستثمار الأمثل للمتغيرات البايوميكانيكية (الكينماتيكية)، مثل زوايا الجذع، الكتف، المضرب، وسرعة الأداء لحظة التصادم مع الكرة.

ومع المتغيرات التكنولوجية المتلاحقة، حدثت ثورة حقيقية في وسائل القياس والتحليل البايوميكانيكي، حيث تم الانتقال من بيئة المختبرات المعقدة التي تقيد حرية اللاعب إلى التحليل الميداني السلس والمباشر بفضل تطبيقات الذكاء الاصطناعي (AI) والرؤية الحاسوبية المدمجة بالهواتف الذكية. ويبرز تطبيق (OnForm) كأحد أهم الحلول التقنية الحديثة بقدرته الفائقة على تتبع حركة اللاعب ذاتيا واستخراج المتغيرات الكينماتيكية بدقة بالاعتماد على خوارزميات تقدير الوضعية (Pose Estimation) دون الحاجة إلى مستشعرات أو علامات على جسم اللاعب، مما يوفر بيئة محاكاة واقعية تحاكي بيئة اللعب الواقعية. وقد دعمت العديد من الدراسات هذا التوجه الجديد؛ إذ أثبتت دراسة حسناء وآخرون (2025) فاعلية تطبيق (OnForm) العالية في استخراج المتغيرات الكينماتيكية بصورة مباشرة وميدانية مقارنة ببرامج التحليل التقليدية، بينما أكدت دراسة حسين (2021) أهمية زاوية المضرب وميل الجذع في تحقيق المجال الحركي الجيد وإكساب الجذع زخما يخدم الأداء الأدق للضربة الطائرة الأمامية. كما أشار إيراوان وآخرون (Irawan et al., 2023) إلى أن أي انحراف بسيط في الزوايا الحركية يؤدي حتما إلى تشتت القوة وفقدان الدقة المطلوبة، في حين أوضح تاي وآخرون (Tai et al., 2022) أن الضربة الطائرة تتطلب تحكما عاليا واستقرارا تاما في منطقة التلامس والرسغ ووجه المضرب قبل التلامس وبعده لضمان السيطرة والدقة في ظل قصر زمن الأداء الفني.

1-2 مشكلة البحث :

على الرغم من وجود دراسات متعددة تناولت التحليل الكينماتيكي في رياضة التنس بشكل منفصل، تبرز فجوة علمية واضحة تتمثل في ندرة الدراسات الميدانية الواقعية التي تربط بشكل مباشر وحصري بين المتغيرات الكينماتيكية المستخرجة ببيئة تفاعلية خالية من العلامات عبر خوارزميات الذكاء الاصطناعي (OnForm)، ومستوى دقة الأداء الفني لـ "الضربة الأمامية الطائرة" تحديدا لدى اللاعبين النخبة. ومن هنا تكمن أهمية البحث الحالي في كونه محاولة علمية جادة لاستثمار هذه التقنيات المتطورة لتوفير قاعدة بيانات موضوعية وتغذية راجعة فورية تسهم في تشخيص الأخطاء الحركية الدقيقة وتصحيحها للارتقاء بكفاءة الإنجاز الرياضي. وتتأكد مشكلة البحث من خلال المتابعة الميدانية للبطولات المحلية للموسم الرياضي 2024-2025، والتي أظهرت انخفاضا نسبيا ملحوظا في مستوى دقة أداء هذه المهارة الحاسمة، إلى جانب اعتماد عمليات التقييم الفني محليا على الملاحظة التقليدية البصرية والخبرة الشخصية للمدرب دون توظيف كاف للتقنيات البرمجية الحديثة القائمة على الذكاء الاصطناعي. مما يطرح تساؤلا جوهريا يتحدد في: ما هي أهم المتغيرات البايوميكانيكية المؤثرة في أداء الضربة الأمامية الطائرة المستخرجة باستخدام برنامج (OnForm)، وما طبيعة علاقتها الإحصائية بدقة الأداء الفني الميداني؟

1-3 أهداف البحث:

يسعى هذا البحث إلى تحقيق الأهداف الآتية:

- التعرف على قيم بعض المتغيرات البايوكينماتيكية باستخدام برنامج التحليل الحركي المدعوم بالذكاء الاصطناعي (OnForm) ودقة الضربة الأمامية الطائرة لدى لاعبي التنس.
- التعرف على طبيعة علاقة الارتباط بين قيم المتغيرات البايوكينماتيكية المستخرجة ودقة الضربة الأمامية الطائرة لدى لاعبي التنس.

1-4 فروض البحث:

في ضوء مشكلة البحث وأهدافه، يفترض الباحث ما يأتي:

- توجد علاقة ارتباط ذات دلالة إحصائية بين قيم المتغيرات البايوكينماتيكية ودقة الضربة الأمامية الطائرة للاعبي التنس الأرضي.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

2- منهجية البحث وإجراءاته الميدانية

2-1 تصميم البحث والمشاركون:

اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي بالأسلوب الارتباطي الاستكشافي لملاءمته لطبيعة الكشف عن العلاقات بين المتغيرات الكينماتيكية ودقة الأداء،

2-2 مجتمع البحث وعينته :

تكونت عينة الدراسة من (9) لاعبين نخبويين ذكور دون 18 سنة يمثلون المنتخب الوطني العراقي للتنس الأرضي ومن المشاركين في البطولات المحلية والإقليمية للموسم الرياضي 2024-2025، تم اختيارهم بالطريقة العمدية للحصول على نتائج تحقق أهداف البحث العلمية، وأظهرت الخصائص الأنثروبومترية والعمرية للعينة تجانسا عاليا (حيث انحصرت قيم معاملات الالتواء بين ±1)، ويوضح الجدول التالي تفاصيل مواصفات أفراد العينة:

جدول (1) يبين تجانس عينة البحث

تسلسل اللاعب	العمر بالأشهر	العمر التدريبي / سنة	وزن اللاعب / كغم	الطول / سم	طول الذراع / سم
1	223	7	65	171	72
2	221	6	68	183	73
3	218	6	68	178	76
4	214	6	82	182	79
5	211	4	55	172	75
6	206	5	73	173	71
7	201	5	71	180	78
8	197	4	77	167	69
9	196	4	64	176	73
الوسط الحسابي	209.66	5.22	69.22	175.77	74.00

تسلسل اللاعب	العمر بالأشهر	العمر التدريبي / سنة	وزن اللاعب / كغم	الطول / سم	طول الذراع / سم
الانحراف المعياري	10.19	1.09	7.83	5.42	3.27
الوسيط	211.00	5.00	68.00	176.00	73.00
معامل الالتواء	0.12-	0.18	0.16-	0.15-	0.16

2-3 إجراءات البحث الميدانية :

2-3-1 إجراءات التصوير

لإجراء التحليل الكينماتيكي ثنائي الأبعاد (D2) الميداني بدون مستشعرات بدنية، وتم الاعتماد بشكل رئيس على برنامج (OnForm)، جرى تسجيل الأداء الحركي من خلال ثلاث كاميرات رقمية عالية الدقة من نوع (iPhone 13 Pro Max) تعمل بسرعة التقاط بلغت (240 صورة/ثانية) وتم وضع وتوزيع الأدوات الميدانية بدقة على النحو الآتي:

- **آلة التصوير رقم (1):** وضعت بشكل عمودي على يمين اللاعب بمسافة أفقية بلغت (6 متر) وارتفاع عدسة (1.60 متر) لتغطية الجانب الأيمن والحركة الكلية للضربة الأمامية الطائرة ضمن المستوى السهمي والجبهي.
- **آلة التصوير رقم (2):** وضعت بشكل عمودي على يسار اللاعب بمسافة (6 متر) وارتفاع (1.60 متر) لدعم التغطية المتقابلة وتأكيد القياسات الحركية المتكاملة للجسم والمضرب.
- **آلة التصوير رقم (3):** وضعت في مواجهة الملعب أمام اللاعب بمسافة أفقية بلغت (14 متر) وارتفاع عدسة (1.60 متر) لتغطية وتصوير منطقة سقوط الكرة لاحتساب درجات اختبار الدقة بدقة موضوعية.
- **قاذف الكرات الآلي:** تم استخدام قاذف كرات قانوني من نوع (SIBOASI) لضمان توحيد سرعة إطلاق الكرات، زاوية الإطلاق، التكرار، والاتجاه، حيث وضع على مسافة ثابتة مقدارها (14 مترا) مواجها للاعب، مع استخدام كرات تنس قانونية غير مستعملة عدد (30) ومضارب تنس عدد (6) وسير كهربائي بطول 50 مترا لتشغيل المنظومة.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

2-4 إجراءات اختبار الدقة:

تم تطبيق اختبار الدقة المعتمد أكاديميا لمهارة الضربة الطائرة من خط الإرسال (المعماري وآخرون، 2006)، يقف اللاعب المختبر على خط الإرسال عند تقاطع علامة (T)، ويقوم قاذف الكرات بإطلاق الكرة بشكل طائر، ليلعبها المختبر بضربة طائرة أمامية محاولا إسقاطها في نهاية الملعب المقابل خلف الشبكة، يمنح كل لاعب محاولتين تجريبيتين للإحماء والتكيف مع إيقاع القاذف، ثم يؤدي (10) محاولات رسمية مسجلة، وتم تقسيم منطقة سقوط الكرة في الملعب المقابل إلى مستويات تمنح على أساسها الدرجات (4 درجات للمنطقة A، 3 درجات للمنطقة B، درجتان للمنطقة C، درجة واحدة للمنطقة D، وصفر في حال عدم عبور الشبكة أو الخروج)، ودرجة المختبر النهائية هي مجموع المحاولات العشر (الدرجة القصوى 40). ولغرض التحليل الكينماتيكي، رتبت المحاولات تنازليا حسب الدقة، واعتمدت المحاولتان الأقرب للوسط الحسابي لكل لاعب لتخضعا للتحليل البايوميكانيكي التفصيلي.

2-5 إجراءات التحقق من ثبات وموضوعية أدوات التحليل الكينماتيكي:

لضمان رصانة القياس وعدم عشوائية المخرجات البرمجية لتطبيق الذكاء الاصطناعي (OnForm)، نفذ الباحث البروتوكولات العلمية التالية:

- **الثبات بين البرامج:** تم اختيار (3) محاولات عشوائية من الأداءات المصورة واستخراج المتغيرات البايوكينماتيكية لها عبر تطبيق (OnForm)، ثم أعيد تحليل المحاولات ذاتها وبنفس الشروط عبر برنامج التحليل التقليدي المعتمد (Kinovea)، وتم الالتزام الصارم بتوحيد النقاط التشريحية المعتمدة للتتبع بين البرنامجين، وبإجراء ارتباط بيرسون لسبعة من أعقد المتغيرات الحركية المقاسة، أظهرت النتائج قيمة ارتباط عالية وثابتة بلغت (0.87)، مما يثبت موثوقية تطبيق (OnForm) ومطابقته للبرمجيات المرجعية المعيارية.
- **الثبات الذاتي للمحلل:** تم إعادة تحليل المحاولات الثلاث العشوائية بواسطة الباحث باستخدام برنامج (OnForm) بعد مرور (7) أيام كاملة من التحليل الأولي، وأظهرت النتائج تطابقا إحصائيا ممتازا يؤكد استقرار قياسات المحلل عبر الزمن بقيمة ارتباط بلغت (0.78).
- **الموضوعية:** عرضت المحاولات الثلاث المصورة على محلل وخبير خارجي متخصص في البايوميكانيك الرياضي لإعادة استخراج قيم (4) متغيرات حركية معقدة، وأسفرت المقارنة بين نتائج الباحث ونتائج الخبير عبر معامل ارتباط بيرسون عن قيمة دالة بلغت (0.88)، مما يؤكد تحرر القياس تماما من التحيز أو العوامل الشخصية.

2-6 المتغيرات الكينماتيكية المدروسة:

تم تحديد واستخراج المتغيرات البايوكينماتيكية للضربة الأمامية الطائرة عبر ثلاث مراحل أساسية:

1. **الوضع التحضيري:** زاوية الركبة للرجل القائدة (من الخلف بالدرجة)، زاوية ميل الجذع (بين الكتف والورك والفخذ)، زاوية الكتف للذراع الضاربة (من الأمام)، زاوية المضرب مع الخط الأفقي، المسافة الأفقية بين القدمين (بالمتر)، والسرعة الزاوية للذراع الضاربة (درجة/ثانية).
2. **الوضع الرئيسي (لحظة الضرب):** زاوية الركبة للرجل القائدة لحظة الضرب، زاوية الجذع لحظة الضرب، زاوية الكتف للذراع الضاربة لحظة الضرب، السرعة الزاوية للذراع والمضرب (درجة/ثانية)، السرعة المحيطية للذراع والضرب (م/ثانية، وحسبت من ضرب السرعة الزاوية في نصف القطر)، وزاوية تلاقي المضرب مع الكرة (المحصورة بين الخط الأفقي ومسار مركز ثقل الكرة لخمس صور قبل التلامس).
3. **الوضع الختامي (مرحلة الانطلاق):** زاوية انطلاق الكرة (بين الخط الأفقي ومسار مركز ثقل الكرة لخمس صور بعد الضرب)، ارتفاع نقطة انطلاق الكرة (المسافة العمودية بين أعلى نقطة للتلامس والأرض بالسم)، وسرعة انطلاق الكرة (قسمة مسافة انطلاق الكرة لـ 5 صور بعد الانطلاق على زمن الانطلاق بالمتر/ثانية).

2-7 المعالجات الإحصائية (Statistical Analysis):

عولجت البيانات الكينماتيكية الخام المستخرجة عبر الحقيبة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) من خلال تطبيق الوسائل الآتية: النسبة المئوية، الوسط الحسابي، الانحراف المعياري، الوسيط، معامل الالتواء، ومعامل ارتباط بيرسون لاختبار معنوية العلاقات عند مستوى دلالة ($p \leq 0.05$).

3- عرض النتائج وتحليلها ومناقشتها(Results and Discussion)

3-1 الوصف الإحصائي لمتغيرات البحث للضربة الأمامية الطائرة:

يتضمن الجدول (2) عرضا شاملا للأوساط الحسابية والانحرافات المعيارية لجميع المتغيرات البايوكينماتيكية المقاسة والمحسوبة عبر المراحل الحركية الثلاث، بالإضافة إلى درجة دقة الأداء المهارى للضربة الأمامية الطائرة لدى أفراد عينة البحث.

جدول (2): الوصف الإحصائي (الوسط الحسابي والانحراف المعياري) لمتغيرات الضربة الأمامية الطائرة

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

المرحلة الحركية	المتغيرات البايوكينماتيكية	وحدة القياس	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري
الجزء التحضيري	زاوية الركبة للرجل القائدة	درجة	138.1778	5.78355
	زاوية الجذع	درجة	141.8111	5.73595
	زاوية الكتف للذراع الضاربة	درجة	20.7889	2.21045
	زاوية المضرب مع الخط الافقي	درجة	33.7444	3.23075
	المسافة بين القدمين	متر	50.7233	3.70480
	السرعة الزاوية للذراع الضاربة	درجة/ثا	257.2089	58.38600
الجزء الرئيسي	زاوية الركبة للرجل القائدة لحظة الضرب	درجة	134.0889	5.65872
	زاوية الجذع لحظة الضرب	درجة	128.5778	2.41805
	زاوية الكتف للذراع الضاربة لحظة الضرب	درجة	85.7667	7.43858
	السرعة الزاوية للذراع والمضرب	درجة/ثا	817.9044	55.38114
	السرعة المحيطية للذراع والضرب	م/ثا	14.7722	1.00401
	زاوية تلاقي المضرب مع الكرة	درجة	11.4333	2.70416
الجزء الختامي	زاوية انطلاق الكرة	درجة	9.6111	3.63161
	ارتفاع نقطة الانطلاق	متر	127.0822	25.37399
	سرعة انطلاق الكرة	م/ثا	14.2278	0.71664
	الدقة المهارية	درجة	2.6667	1.22474

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

3-2 عرض وتحليل ومناقشة نتائج الارتباط في الوضع التحضيري:

يوضح الجدول (3) نتائج قيم معامل ارتباط بيرسون ومستويات الدلالة الإحصائية لتحديد طبيعة العلاقة بين المتغيرات الكينماتيكية للمرحلة التحضيرية ودقة أداء الضربة الأمامية الطائرة.

جدول (3): قيمة الارتباط للمتغيرات البايوكينماتيكية والدقة في الوضع التحضيري للضربة الأمامية الطائرة

المتغيرات البايوكينماتيكية	وحدة القياس	قيمة الارتباط (r)	مستوى الدلالة (Sig)	الدلالة الإحصائية
زاوية الركبة للرجل القائدة	درجة	0.578-	0.103	غير معنوي
زاوية الجذع	درجة	0.881-	0.002	معنوي
زاوية الكتف للذراع الضاربة	درجة	0.894	0.001	معنوي
زاوية المضرب مع الخط الافقي	درجة	0.914-	0.000	معنوي
المسافة بين القدمين	متر	0.287	0.453	غير معنوي
السرعة الزاوية للذراع الضاربة	درجة/ثا	0.937-	0.000	معنوي

يتبين من الجدول (3) أن المتغيرات الأكثر ارتباطا بدقة التوجيه في الوضع التحضيري هي زاوية الجذع، وزاوية الكتف، وزاوية المضرب، والسرعة الزاوية للذراع الضاربة. ويعزو الباحث معنوية هذه المتغيرات إحصائيا إلى ارتباط أداء المهارة الهجومية بالأجزاء العلوية والمحورية الحاملة للمضرب والمسؤولة مباشرة عن تنظيم اتجاه وجه المضرب في الفراغ لمواجهة الكرة بدقة.

ظهرت علاقة عكسية معنوية بين زاوية الجذع ودقة الأداء، ويعزو الباحث ان الجذع يمثل الركيزة البايوميكانيكية ومحور الربط الحركي بين الأطراف السفلية والعلوية، لذا فإن أي زيادة مفرطة في ميل الجذع في هذه المرحلة التمهيدية تؤدي ميكانيكيا إلى الإخلال بالاتزان الديناميكي للجسم، وتغيير خط النظر الأفقي للاعب، وإضعاف الاصطفاف الحركي المثالي للذراع والمضرب عند التهيؤ للتلامس، مما يفقد اللاعب الاقتصادية في الحركة، وتتفق هذه النتيجة مع ما أكده حسين (2021) من أن زاوية ميل الجذع تعد متغيرا حاسما في الضربة الطائرة الأمامية، أن الميل المتزن المناسب يسهم في إكساب الجذع زخما منظما يدعم دقة الحركة، كما يتوافق مع ذكره Reid et al (2013) بأن فعالية دوران وميل الجذع ترتبط بالتنظيم الحركي الهندسي الدقيق لا بمجرد زيادة الميل المطلق.

اما بالنسبة لزاوية الكتف للذراع الضاربة سجلت علاقة طردية معنوية قوية، ويعود ذلك ميكانيكيا إلى أن اتخاذ مفصل الكتف لموقعه الزاوي النموذجي في الوضع التحضيري يسهم مباشرة في ضبط وتهيئة المسار الحركي القادم للذراع بأفضل تموضع ممكن للحظة الاصطدام مع الكرة، ويمثل مفصل الكتف الحلقة الأولى والرئيسة لنقل القوة في السلسلة الكينماتيكية للطرف العلوي، وكلما كان التموضع الزاوي للكتف نموذجيا، أصبح اللاعب أقدر على السيطرة وتوجيه المضرب، وهذا ما يتوافق تماما مع Reid et al (2013) وحسين (2021) في أن تحسين كفاءة الزوايا النموذجية للمفاصل العاملة، ولاسيما الكتف الحامل للذراع، يرفع بشكل مباشر من دقة التوجيه النهائي.

أما بالنسبة للارتباط العكسي المعنوي القوي لزاوية المضرب مع الخط الأفقي، فيعكس الأهمية التطبيقية الحيوية لضبط زاوية وجه المضرب، فالضربة الطائرة مهارة سريعة وخاطفة لا تمنح اللاعب زمنا كافيا لإجراء أي تعديل أو تصحيح حركي متأخر أثناء التنفيذ الفعلي، وبناء عليه فإن أي انحراف بسيط في زاوية وجه المضرب قبل التلامس يؤدي حتما لتشتت القوة وانحراف المقذوف عن الهدف، وهو ما يدعم نتائج حسين (2021) ودراسة Tai et al (2022) اللتين أشارتا إلى أن استقرار الرسغ والتحكم الصارم بوجه المضرب قبل لحظة التلامس يعدان المحدد الأساسي للدقة في ظل قصر زمن الأداء المهارى.

وأخيرا، اما بالنسبة للعلاقة المعنوية العكسية بين السرعة الزاوية للذراع الضاربة ودقة الأداء تؤكد هذه النتيجة أن التسرع وزيادة سرعة حركة الذراع بشكل مفرط في المرحلة التحضيرية يؤديان ميكانيكيا إلى إضعاف التحكم العصبي العضلي، وتذبذب مسار المضرب عند التصادم، فالضربة الطائرة الأمامية مهارة تحكم سريع تتطلب انسيابية وتوقيتا زمنيا مضبوطا للمفاصل وليس تعظيما للسرعة بوصفها قيمة مطلقة، وهو ما يتطابق مع استنتاجات Tai et al. (2022) وحسين (2021).

بالنسبة لمتغيرات الطرف السفلي (زاوية الركبة والمسافة بين القدمين) فلم تظهر ارتباطا معنويا دالا بالدقة نظرا لأن واجب الطرف السفلي في المرحلة التحضيرية ينحصر بايوميكانيكيا في التهيئة، وتوفير قاعدة ارتكاز متزنة، والمحافظة على التوازن الحركي العام دون التدخل المباشر في عملية توجيه وجه المضرب، وهو ما يتوافق مع الاستنتاجات العلمية لكل من Reid et al. (2013) وحسين (2021).

3-3 عرض وتحليل ومناقشة نتائج الارتباط في الوضع الرئيسي (لحظة الضرب):

يوضح الجدول (4) علاقات ارتباط بيرسون للمتغيرات البايوكينماتيكية المقاسة والمحسوبة في اللحظة الحاسمة للتلامس والاصطدام بين المضرب والكرة.

جدول (4): قيمة الارتباط للمتغيرات البايوكينماتيكية في الوضع الرئيسي ودقة الاداء للضربة الامامية الطائرة

المتغيرات البايوكينماتيكية في الوضع الرئيسي	وحدة القياس	قيمة الارتباط (r)	مستوى الدلالة (Sig)	الدلالة الإحصائية
زاوية الركبة للرجل القائدة لحظة الضرب	درجة	0.485	0.186	غير معنوي
زاوية الجذع لحظة الضرب	درجة	0.083	0.832	غير معنوي
زاوية الكتف للذراع الضاربة لحظة الضرب	درجة	0.969	0.000	معنوي
السرعة الزاوية للذراع والمضرب	درجة/ثا	0.932-	0.000	معنوي
السرعة المحيطية للذراع والضرب	م/ثا	0.934-	0.000	معنوي
زاوية تلاقي المضرب مع الكرة	درجة	0.902-	0.000	معنوي

أظهرت نتائج الجدول (4) ارتباطا معنويا قويا جدا للطرف العلوي الضارب لحظة التنفيذ الفعلي للحركة. حيث سجلت زاوية الكتف للذراع الضاربة لحظة الضرب ارتباطا طرديا حاسما قريبا من المثالية(0.96) وتعد مرحلة الضرب اللحظة المحورية الحاسمة التي تتحدد بناء عليها جودة التوجيه والدقة النهائية للكرة (عبد الله واللامي، 2021) وتشير دراسة Reid & Elliott (2020) إلى أن التحكم الصارم بزوايا مفاصل الطرف العلوي وسرعة حركة المضرب يمثل أهم المؤشرات الميكانيكية المرتبطة مباشرة بدقة الأداء في مهارات التنس السريعة الهجومية.

وعلى العكس من ذلك، ظهرت علاقة عكسية معنوية حادة لكل من السرعة الزاوية (0.932 والسرعة المحيطية0.934-) للذراع والمضرب مع دقة الأداء وتفسر هذه النتيجة ميكانيكيا وبشرط حركي واضح بأن الارتفاع المفرط في السرعات الحركية لحظة ملامسة الكرة يؤدي مباشرة لتقليل زمن السيطرة الحركية أثناء التلامس، وتذبذب مسار المضرب، فالضربة الطائرة الهجومية تعتمد كليا على التحكم العصبي العضلي السريع والإيقاع الحركي المتزن لا القوة العضلية القصوى، وهو ما تؤكده دراسات Knudson (2021)، ومحمد جاسم وآخرون (2023)، وLees et al. (2022)، والعبيدي (2022) بأن تعظيم السرعة عشوائيا دون ضبط يقلل من الثبات الميكانيكي ويخفض جودة التوجيه المهارى.

كما سجلت زاوية تلاقي المضرب مع الكرة ارتباطا عكسيا معنويا عاليا (0.902-) وتعد زاوية التلاقي المحدد الميكانيكي المباشر لخط سير المقذوف إذ إن أي تغير بسيط أو انحراف في زاوية سطح المضرب

لحظة الاصطدام يترجم فورا إلى انحراف الكرة عن الهدف المحدد الفردي في الملعب المقابل، وهذا ما يدعم ما خلص إليه Girard et al (2021) وأحمد عبد الأمير (2022) بأن التحكم بزوايا وجه الأداة الرياضية في لحظة التلامس يمثل العامل الأكثر تأثيرا في تحسين دقة التوجيه وتقليل أخطاء الأداء الفني السريع.

ولم تسجل متغيرات زاوية الركبة وزاوية الجذع في هذه المرحلة أي ارتباط دال إحصائيا؛ نظرا لأن دور الأطراف السفلى والجذع في لحظة الضرب ينحصر تماما في دعم وتثبيت الجسم والمحافظة على الاتزان الحركي العام لدعم ثبات حركة الطرف الضارب، دون التدخل المباشر في التوجيه الدقيق لمسار الكرة، تماشيا مع أبحاث Knudson & Bahamonde (2020) وحيدر كريم (2021).

3-4 عرض وتحليل ومناقشة نتائج الارتباط في الوضع الختامي (مرحلة انطلاق الكرة):

يقدم الجدول (5) القيم الإحصائية لمعاملات الارتباط الخاصة بمرحلة ما بعد ضرب الكرة وانطلاقها في الهواء نحو الهدف.

جدول (5): قيمة الارتباط للمتغيرات البايوكينماتيكية ودقة الاداء في الوضع الختامي للضربة الامامية الطائرة

المتغيرات البايوكينماتيكية في الوضع الختامي	وحدة القياس	قيمة الارتباط (r)	مستوى الدلالة (Sig)	الدلالة الإحصائية
زاوية انطلاق الكرة	درجة	0.944-	0.000	معنوي
ارتفاع نقطة الانطلاق	متر	0.816	0.007	معنوي
سرعة انطلاق الكرة	م/ثا	0.920-	0.000	معنوي

أظهرت مرحلة الوضع الختامي ارتباطات معنوية دالة وشاملة لجميع متغيراتها؛ لكونها تمثل المخرجات والمحصلة الميكانيكية النهائية للسلسلة الحركية كاملة وتوضح دراسة التميمي (2022) ودراسة Gordon & Dapena (2021) أن خصائص حركة الكرة ولحظة انطلاقها تعد المؤشر الحقيقي لتكامل ونجاح الأداء البايوميكانيكي.

أظهرت زاوية انطلاق الكرة علاقة عكسية معنوية قوية جدا مع الدقة (0.944-) وترجع هذه العلاقة ميكانيكيا إلى أن ضبط وتخفيض زاوية الانطلاق المرتفعة يضمن بقاء مسار الكرة منخفضا وقريبا من الشبكة ليسقط بحدة في مناطق العمق دون الخروج عن الملعب وتتطلب الضربات الطائرة زوايا انطلاق دقيقة وثابتة لعدم وجود فرصة للتصحيح، وهو ما يتوافق مع دراسات عبد الرضا (2021) و Elliott et al. (2022).

بينما سجل ارتفاع نقطة الانطلاق علاقة طردية معنوية دالة (0.816) ويفسر ذلك ميكانيكيا بأن ضرب الكرة من مستوى مرتفع يمنح اللاعب زاوية رؤية أوسع ومجالا حركيا أفضل للمضرب للضرب لأسفل، مما يسهل التحكم بمسار الكرة وزاوية سقوطها الحادة داخل ملعب الخصم وتنسجم هذه النتيجة تماما مع ما أشار إليه الجبوري (2020) وBlackwell & Knudson (2021) من أن ارتفاع نقطة الأداء الفني في ألعاب المضرب يعزز بشكل مباشر جودة السيطرة والتحكم الحركي الإيجابي.

أخيرا، ارتبطت سرعة انطلاق الكرة بعلاقة عكسية معنوية عالية مع الدقة (0.920-) وتثبت هذه النتيجة المبدأ البايوميكانيكي التقليدي العالمي الخاص بالمقايضة بين السرعة والدقة ، اذ إن الارتفاع المفرط في سرعة المقذوف يقصر من زمن التلامس وزمن السيطرة العضلية، مما ينتج عنه أخطاء تكتيكية في التوجيه وتدعم هذه النتيجة ما توصلت إليه دراسة الموسوي (2023) ودراسة Miller (2020) من أن زيادة السرعة دون توافق حركي وضبط إيقاعي كاف تقود حتما إلى تراجع مستوى الدقة المهارية في الرياضات المعقدة السريعة.

4- الاستنتاجات والتوصيات :

4-1 الاستنتاجات:

في ضوء المعالجات الإحصائية والتحليل الميكانيكي لنتائج البحث الحالي، توصل الباحث إلى الاستنتاجات الآتية:

أولا: أثبت تطبيق الذكاء الاصطناعي (OnForm) الخالي من العلامات كفاءة، ودقة، وموضوعية علمية عالية جدا في التتبع الميداني واستخراج المتغيرات البايوكينماتيكية المعقدة، مما يجعله أداة قياس ميدانية بديلة وموثوقة للتحليلات التقليدية المعقدة والمختبرية.

ثانيا: ترتبط دقة الضربة الأمامية الطائرة ميكانيكيا بالتنظيم الزاوي الدقيق والمحكم للجزء العلوي من الجسم (زاوية الكتف، زاوية المضرب، وزاوية التلاقي) ولا تتأثر مباشرة بمتغيرات الطرف السفلي التي ينحصر واجبها في التوازن وقاعدة الارتكاز نتيجة قصر زمن أداء المهارة **اذ** إن زيادة السرعات الزاوية والمحيطية وسرعة انطلاق الكرة بشكل غير منضبط تؤدي حتما إلى انخفاض دقة توجيه الكرة.

ثالثًا: يعد ارتفاع نقطة انطلاق الكرة (مستوى التلامس المرتفع) محددا طرديا إيجابيا، يسهم في توسيع المجال الحركي للمضرب وتوفير زوايا سقوط حادة تضمن تحقيق أعلى درجات الدقة.

رابعًا: يؤثر الميل المفرط وغير المنضبط للجذع في المرحلة التحضيرية سلبا على دقة التوجيه، مما يؤكد على أهمية الاستقرار الديناميكي للجذع كمحور ارتكاز مركزي للحركة.

4-2 التوصيات:

بناء على ما أسفرت عنه نتائج الدراسة من استنتاجات، يوصي الباحث بما يأتي:

1. ضرورة اعتماد وإدراج تطبيقات القياس الفوري المدعومة بالذكاء الاصطناعي وتحديدا برنامج (OnForm) ضمن الوحدات التدريبية الميدانية اليومية لمنتخبات التنس؛ لتوفير تقييم موضوعي وتغذية راجعة حركية فورية للاعبين والمدربين بدلا من الاعتماد على التقدير البصري الشخصي.
2. توجيه برامج تدريب الضربات الطائرة نحو تنمية التحكم الحركي، وتوقيت الزوايا الصحيحة للمفاصل، والسيطرة العضلية، وتجنب التركيز على تعظيم سرعة الحركة المطلقة كقيمة مجردة لضمان الحفاظ على الدقة المهارية.
3. تصميم تدريبات نوعية وتخصصية باستخدام قاذف الكرات الآلية تركز على تطوير وقفات اللاعبين وتوجيههم لضرب الكرة من أعلى نقطة ممكنة لتوسيع المجال الميكانيكي والسيطرة على زوايا السقوط الحادة.
4. التأكيد في المسار التعليمي والتدريبي على ثبات واستقرار الجذع وتجنب الميول والانحناءات الزائدة في الوضع التحضيري لمنع تشتت القوة المنقولة عبر السلسلة الحركية.
5. إجراء دراسات مستقبلية مشابهة تبحث في الخصائص الكينماتيكية والكيناتيكية للضربات الطائرة تحت تأثير الإرهاق التراكمي البدني في المباريات الطويلة والمجموعات الحاسمة للاعبي التنس النخبة.

مجلة واسط للعلوم الرياضية Wasit Journal of Sports Sciences
P-ISSN:2707-7845
E-ISSN:2707-7853
رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

المصادر والمراجع

أولا: المراجع العربية

- أبو زينة، فريدة كامل. (1998). *اساسيات القياس والتقويم في التربية* (ط1). مكتبة الفلاح للنشر والتوزيع.
- إسماعيل، مروان عبد المجيد. (2000). *تصميم وبناء اختبارات اللياقة البدنية* (ط1). مؤسسة الوراق للنشر والتوزيع.
- الجبوري، علي كريم. (2020). *بعض المتغيرات البايوميكانيكية المؤثرة في دقة الضربات الأمامية بالتنس* [رسالة ماجستير غير منشورة]. كلية التربية الرياضية، جامعة الموصل.
- التميمي، أحمد جبار. (2022). *التحليل البايوميكانيكي لمتغيرات انطلاق الكرة وعلاقتها بدقة الأداء في التنس الأرضي* [أطروحة دكتوراه غير منشورة]. كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة، جامعة بغداد.
- حسن، آزاد علي. (2012). *النقل الحركي وبعض المتغيرات البايوميكانيكية وعلاقتهما بمؤشر دقة الإرسال المستقيم للاعبي المنتخب الوطني بالتنس الأرضي: دراسة تحليلية* [رسالة ماجستير غير منشورة]. كلية التربية الرياضية، جامعة ديالى.
- حسناء، هاني، وآخرون. (2025). دراسة مقارنة لقياس بعض المتغيرات الميكانيكية بين تطبيق الذكاء الاصطناعي (OnForm) وبرنامج التحليل الحركي (Kinovea). *المجلة العلمية لعلوم وفنون الرياضة*، جامعة حلوان، 81(3)، 55-68.
- حسين، أحمد علي. (2021). التحليل البايوميكانيكي لبعض المتغيرات الحركية وعلاقتها بدقة أداء الضربة الطائرة الأمامية في التنس الأرضي. *مجلة علوم الرياضة*، 13(2)، 33–106.
- حيدر، كريم. (2021). دور الجذع والأطراف السفلى في تحقيق التوازن الحركي للضربات الطائرة بالتنس. *مجلة القادسية لعلوم التربية الرياضية*، 21(4)، 82–91.
- الخولي، أمين أنور، والشافعي، جمال الدين. (2001). *التنس التاريخ – المهارات والخطط – قواعد اللعب* (ط1). دار الفكر العربي.
- عبد الأمير، أحمد. (2022). التحكم البايوميكانيكي بزوايا الأداء المهارى وعلاقته بدقة التوجيه في العاب المضرب. *مجلة علوم الرياضة*، 14(2)، 97–106.
- عبد الرضا، مصطفى كريم. (2021). *تأثير زاوية انطلاق الكرة في دقة الضربات الهجومية بالتنس الأرضي* [رسالة ماجستير غير منشورة]. كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة، جامعة القادسية.
- عبد الله، محمد، واللامي، حسن. (2021). التحليل البايوميكانيكي لبعض المتغيرات الحركية للضربة الطائرة في التنس. *مجلة علوم النشاطات الرياضية*، 6(3)، 70–79.
- العبيدي، علي جاسم. (2022). العلاقة بين السرعة الحركية والدقة المهارية في التنس الأرضي. *مجلة التربية الرياضية*، 34(1)، 51–60.
- محمد، جاسم، حسين، علي، وسعدون، كرار. (2023). تأثير الإيقاع الحركي في دقة الأداء المهارى للاعبي التنس. *مجلة علوم الرياضة المعاصرة*، 15(1)، 86–95.
- المعماري، إيثار عبد الكريم. (2006). تصميم اختبارات لقياس المهارات الأساسية للعبة التنس الأرضي. *مجلة الرافدين للعلوم الرياضية*، المجلد 12، العدد 40، ص. 124-140 جامعة الموصل، كلية التربية الرياضية.
- الموسوي، حسن فاضل. (2023). *العلاقة بين سرعة الكرة والدقة المهارية في التنس الأرضي* [أطروحة دكتوراه غير منشورة]. كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة، جامعة البصرة.

English References

- Bahamonde, R. E. (2000). Changes in angular momentum during the tennis serve. *Journal of Sports Sciences*, 18(8), 579-592.
- Bahamonde, R., & Knudson, D. (2020). Biomechanics of tennis strokes and movement patterns. *International Journal of Sports Science*, 18(2), 133–145.
- Elliott, B., Fleisig, G., Nicholls, R., & Escamilia, R. (2003). Technique effects on upper limb loading in the tennis serve. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6(1), 76-87.
- Elliott, B., & Reid, M. (2020). Technique development in tennis stroke production. *Journal of Sports Biomechanics*, 19(3), 112–121.
- Elliott, B., Reid, M., & Crespo, M. (2022). *Biomechanics of advanced tennis performance*. Routledge.

رقم الايداع في المكتبة الوطنية 2439

- Girard, O., Micallef, J., & Millet, G. (2021). Mechanical determinants of tennis volley performance. *Sports Biomechanics*, 20(3), 307–318.
- Gordon, B., & Dapena, J. (2021). Mechanical analysis of tennis volley performance. *Journal of Sports Biomechanics*, 20(2), 208–219.
- Irawan, R., et al. (2023). Biomechanical motion of the tennis forehand stroke: Analyzing the impact on the ball speed. *Physical Education Theory and Methodology*, 23, 918-924.
- Knudson, D. (2007). *Fundamentals of biomechanics* (2nd ed.). Springer.
- Knudson, D. (2021). *Fundamentals of biomechanics in sport and exercise* (4th ed.). Human Kinetics.
- Knudson, D., & Blackwell, J. (2021). *Applied biomechanics in racket sports performance*. Human Kinetics.
- Lees, A., Asai, T., Andersen, T., & Nunome, H. (2022). The biomechanics of hitting movements in tennis. *Sports Engineering*, 25(4), 61–70.
- Liu, J., et al. (2024). PoseCoach: A customizable analysis and visualization system for video-based running coaching (utilizing markerless AI models like OnForm/Kinovea). *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 30, 3180-3195.
- Miller, S. (2020). Motor control and accuracy in high-speed sports skills. *International Journal of Sports Science*, 15(4), 194–205.
- Reid, M., Elliott, B., & Alderson, J. (2013). Shoulder joint loading in the high performance flat and kick tennis serves. *British Journal of Sports Medicine*, 47(14), 884-889.
- Reid, M., Elliott, B., & Crespo, M. (2013). Mechanics and learning practices associated with the tennis forehand: A review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12(2), 227–229.
- Souaifi, M. (2025). Artificial Intelligence in Sports Biomechanics: A scoping review on wearable technology, motion analysis, and injury prevention. *Semantic Scholar*.
- Tai, M. L., Yang, C. J., Tang, W. T., Elliott, B., & Chang, K. L. (2022). Upper extremity muscle activation during drive volley and groundstroke for two-handed backhand of female tennis players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 21, 586–587, 592–593.

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