Auras Journal of Sports Sciences
Volume: 04/ Number: 03/ Month: July/ Year: 2026/ p.p.: 71-89

مجلــة الأوراس لعلوم الرياضة
المجلد: 04/ العدد:03/ الشهر: جويلية/ السنة:2026/ ص ص: 71-89

https://asjp.cerist.dz/en/PresentationRevue/935

مقارنة المتغيرات البايو ميكانيكية لمهارة القلبة الهوائية الامامية المستقيمة مع لفتين على بساط الحركات الأرضية للاعبي المنتخب العراقي والإيراني

Comparison of Biomechanical Variables of the Straight Front Somersault with Two Twists on the Floor Exercise between Iraqi and Iranian National Team Gymnasts

م.د. سرمد قيس ناجي جليل[1]

قسم التربية البدنية وعلوم الرياضة، جامعة الصفوة sarmad.qais@alsafwa.edu.iq

تاريخ الارسال:14-05-2026 تاريخ القبول:17-05-2026 تاريخ النشر:05-07-2026 https://doi.org/10.5281/zenodo.21183072

ملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل ومقارنة المتغيرات البيوميكانيكية المرتبطة بأداء مهارة القلبة الهوائية الأمامية المستقيمة مع لفتين على بساط الحركات الأرضية بين لاعبي المنتخبين العراقي والإيراني في الجمناستك الفني، حيث اعتمد الباحث على المنهج الوصفي بأسلوبه المسحي، وتكونت العينة من (6) لاعبين من المنتخب العراقي ولاعب واحد من المنتخب الإيراني تم اختياره عمديًا وفق تصنيفات الاتحاد المختص، حيث تم استخدام تقنيات التحليل الحركي من خلال برمجيات (Kinovea) و(Tracker)، إضافة إلى جهاز قياس القوة (Dynafoot)، بهدف استخراج مجموعة من المتغيرات الكينماتيكية والكينيتكية مثل زوايا المفاصل، السرعة الزاوية، ارتفاع مركز الثقل، زمن الطيران، وقوى الدفع والاصطدام. وتمت معالجة البيانات إحصائيًا باستخدام الوسط الحسابي والانحراف المعياري واختبار (t-test) لبيان الفروق بين المجموعتين. وقد أظهرت النتائج وجود فروق واضحة في عدد من المتغيرات البيوميكانيكية بين لاعبي المنتخبين، خاصة في قوة الدفع، وزوايا المفاصل، وارتفاع مركز الثقل، حيث أظهر اللاعب الإيراني كفاءة أعلى في التحكم الحركي وتوليد القوة. في المقابل، لم تظهر بعض المتغيرات فروقًا ذات دلالة إحصائية، مما يعكس تقارب الأداء في بعض مراحل المهارة، كما استنتجت الدراسة أن المتغيرات البيوميكانيكية، ولا سيما قوة الدفع، وزوايا المفاصل، وارتفاع مركز الثقل، تعد محددات أساسية لجودة الأداء الفني في هذه المهارة. وأوصت بضرورة اعتماد التحليل البيوميكانيكي في تصميم البرامج التدريبية، والعمل على تصحيح الأخطاء الفنية وتحسين الكفاءة الحركية للاعبين.

الكلمات المفتاحية: الجمناستك الفني؛ التحليل البيوميكانيكي؛ القلبة الهوائية الأمامية؛ المتغيرات الكينماتيكية؛ الأداء الحركي.

Abstract:

This study aimed to analyze and compare the biomechanical variables associated with the performance of the straight front somersault with two twists on the floor exercise between Iraqi and Iranian artistic gymnastics national team athletes. The descriptive survey method was adopted, and the sample consisted of six Iraqi national team gymnasts and one Iranian gymnast who was intentionally selected based on federation rankings. Motion analysis techniques were applied using Kinovea and Tracker software, in addition to the Dynafoot force measurement system, to extract key kinematic and kinetic variables, including joint angles, angular velocity, center of mass height, flight time, take-off force, and impact force. Data were statistically analyzed using mean, standard deviation, and independent t-test to identify differences between the two groups. The results indicated clear differences between the two teams in several biomechanical variables, particularly take-off force, joint angles, and center of mass height, with the Iranian gymnast demonstrating superior biomechanical efficiency in force production and movement control. However, some variables showed no statistically significant differences, indicating similarity in certain phases of execution. The study concluded that biomechanical variables—especially take-off force, joint angles, and center of mass height—are critical determinants of performance quality in this skill. It recommends integrating biomechanical analysis into training programs to enhance performance efficiency and correct technical errors.

Keywords: Artistic gymnastics; biomechanical analysis; front somersault; kinematic variables; motor performance.

مقدمة:

تعتبر رياضة الجمناستك الفني من الرياضات التي تتطلب تنسيقا عاليا بين القدرات البدنية والمهارات الحركية المعقدة حيث تشمل العديد من الأجهزة التي تتطلب دقة في الأداء (Knudson, 2021)، ويلعب التحليل الحركي دورًا أساسيًا في تحسين الأداء المهاري من خلال تقييم الحركات بدقة وتحديد الأخطاء الفنية في المسار الحركي (Hay & Reid, 1988) ويعد استخدام الأنموذج الحركي المثالي في عمليات التعلم والتدريب أحد الأساليب الفعالة لتصحيح الأخطاء، بما يساعد على تحسين المسار الحركي لأداء المهارات المتقدمة (Lees, 2002)، مثل القلبة الهوائية المستقيمة مع لفتين. هذه المهارة تتطلب دقة في التوازن، القوة الانفجارية، والسرعة الزاوية، مما يجعلها من المهارات الصعبة التي تتطلب تركيزا عاليا على المتغيرات البيوميكانيكية كقوة الدفع، زوايا المفاصل، وزمن الطيران، وموقع مركز ثقل الجسم (Bartlett, 2007). يسهم التحليل البيوميكانيكي في تحديد أوجه القصور في الأداء وتصحيحها، مما يعزز من جودة التنفيذ ويقلل من الأخطاء التقنية. "وتعد المتغيرات البيوميكانيكية عاملا أساسيا في تحسين الأداء الفني لمهارات الجمباز، إذ تسهم في تحديد كفاءة الحركة ودقة تنفيذ المهارات الهوائية" (علي حسين محمد وزملائه، 2026).

كما أكدت الدراسات الحديثة أهمية التربية البدنية والرياضية في تنمية الجوانب النفسية والاجتماعية والحركية لدى التلاميذ، حيث أشار (اعراب، ومحمدي، 2023) إلى أن ممارسة التربية البدنية تسهم في تعزيز النمو النفسي والاجتماعي للطفل وتحسين تفاعله داخل الوسط المدرسي، الأمر الذي يبرز أهمية توظيف الأساليب العلمية في دراسة الأداء الحركي وتطوير الإنجاز الرياضي .

إن التقدم التكنولوجي في أدوات التحليل الحركي ساهم في تسهيل عملية تقييم الأداء الفني، خاصة في المهارات المعقدة، وفتح المجال لتطوير برامج تدريبية متقدمة تستند إلى تحليل علمي دقيق. تعتبر القلبة الهوائية المستقيمة مع لفتين من المهارات (Robertson et al., 2014)، وتبرز فيها أهمية التقييم البيوميكانيكي، حيث أن تحسين جوانب القوة والانسيابية في الحركة يرتبط مباشرة بكفاءة الأداء الرياضي، حيث تجلت مشكلة البحث في تحليل مستوى الأداء الفني لمهارة القلبة الهوائية المستقيمة مع لفتين على بساط الحركات الأرضية (Sands et al., 2013)، حيث لاحظ الباحث من خلال تجربته الميدانية والبطولات أن أداء اللاعبين في هذه المهارة ضعيف مقارنة بالمنتخبات العربية والأجنبية، مما يؤدي إلى انخفاض درجات التقييم، تكمن المشكلة في وجود أخطاء فنية تؤثر على التكنيك، وبالتالي على النتيجة النهائية. يسعى البحث إلى استخدام التحليل البيوميكانيكي لتحديد المتغيرات المؤثرة في تحسين الأداء الفني وضبط التكنيك وفق المعايير الدولية، ((Bartlett, 2007؛ Sands et al., 2013) بهدف تحسين مستوى الإنجاز ورفع الدرجات في المنافسات، وأهداف البحث التعرف على المتغيرات البيوميكانيكية الخاصة بأداء المهرة على بساط الحركات الأرضية تشخيص الأخطاء في أداء المهارة وقيم منحنى الزمن والقوة وبعض المؤشرات البايوكينماتيكية، التعرف على القوة الخاصة وعزوم القوة وعزوم القوى لعينة البحث على بساط الحركات الأرضية وأفترض الباحث ان وجود فروق ذو دلالة إحصائية في منحنيات القوة والزمن لمهارة البحث المختارة،وجود فروق ذو دلالة إحصائية في ما بينها باختلاف درجة الصعوبة للمهارة في المتغيرات البايوكينماتيكية لمهارات البحث وحسب درجة صعوبة الأداء.

مجالات البحث: مجموعة من لاعبي المنتخب العراقي للجمناستك الفني والبالغ عددهم (6) لاعبين، (1) لاعب ايراني، للفترة من: 2025/1/12 لغاية: 2026/3/15 وعلى القاعة الرياضية في كلية أشور الجامعة في محافظة بغداد.

الطريقة والاجراءات: ان طبيعة المشكلة هي التي تحدد منهج البحث من أجل الوصول إلى الحقيقة والكشف عنها للوصول الى نتيجة معينة واستخدم الباحث المنهج الوصفي بالأسلوب المسحي بخطواته العلمية لملامته طبيعة مشكلة البحث وهدفه كونه المنهج الملائم لحل مشكلة البحث ,اذ يوضح المنهج الوصفي واقع الحوادث وتقرير وقائعها الحاضر بالتحليل والتقويم من اجل استنباط الاستنتاجات المهمة لتصحيح هذا الواقع او تحديثه او استحداث معرفة جديدة تحدد مجتمع البحث بلاعبي المنتخب الوطني العراقي للمتقدمين في الجمناستك الفني وذلك حسب تصنيف الاتحاد العراقي والعربي الجمناستك والبالغ عددهم (6) لاعبين، (1) لاعب إيراني يتم اختيارهم بالطريقة العمدية.

الادوات المستخدمة في البحث: المصادر العربية والأجنبية، وشبكة الأنترنيت، المقابلات الشخصية، أدوات مكتبية، برنامج تراكر (Tracker)، كينوفا (Kinovea)، جهاز متحسس القوة (Dyna Foot).

الاختبارات الخاصة بالبحث:

اختبار منحنى القوة والزمن: أداء اللاعب لمهارة القلبة الهوائية الامامية المستقيمة مع لفتين بعد ارتداء دبان قياس القوة والعلامات الفسفورية، يتم التأكد من التوصيلات جميعها، وتأكيد البلوتوث الموجودة بالحاسوب مع البلوتوث المرتبط بالذبان الايمن والايسر والتأكد من قوة الإشارة بعدها يتم اعطاء الإشارة للاعب بالبدء بأداء المهارة وتكون متزامنة مع فريق العمل المساعد لتشغيل الكاميرات والبدء بالتصوير الفيديو كل حسب موقعه وبعد الانتهاء من أداء المهارة تكون المعلومات الخاصة بالتحليل منحنى القوة - الزمن سجلت جميعها في البرنامج الموجود في الحاسوب ويقوم الشخص القائم بالاختبار بتخزين هذه البيانات في الحاسوب ليتم معالجتها لاحقا (Suchomel et al., 2024)

التجربة الاستطلاعية: قام الباحث بأجراء التجربة الاستطلاعية على أحد لاعبي المنتخب الوطني العراقي للمتقدمين بالجمناستك الفني للرجال في يوم السبت المصادف لـ:2026/2/1 في تمام الساعة الرابعة عصرا في القاعة الداخلية المركزية للجمناستك مجمع القاعات الرياضية (قاعة الشهيد سمير خماس) الغرض منها معرفة سير الاختبارات ضبط مفردات المنهج التأهيلي وسلامة الاجهزة والأدوات،

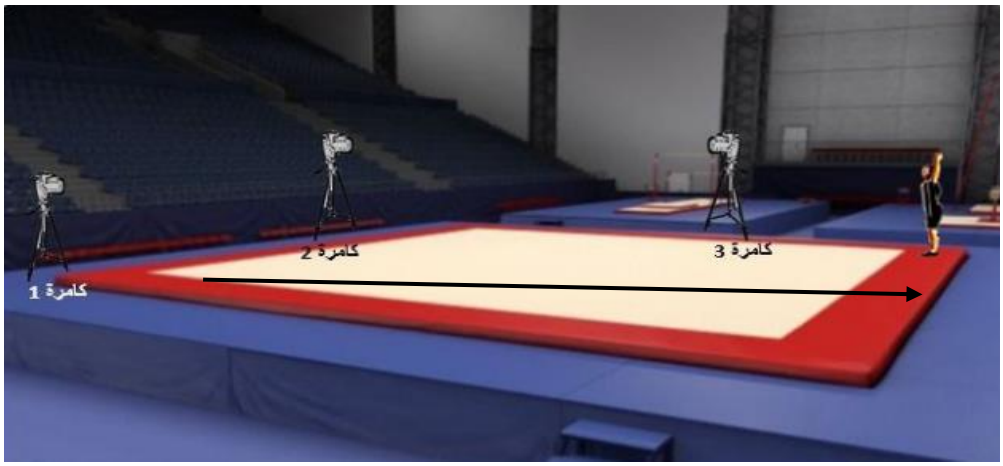
التصوير بالفيديو لعينة البحث:

يعد التصوير بالفيديو من أهم وسائل التحليل الحركي المستخدمة للحصول على المعلومات الدقيقة الخاصة بالأداء الرياضي، إذ يتيح دراسة الحركة ومساراتها والمتغيرات البايوميكانيكية المصاحبة لها، ومن ثم تطبيق المبادئ الميكانيكية والرياضية لاستخلاص النتائج المتعلقة بالأداء الفني (Bartlett, 2007؛ Knudson, 2021). ويُعد التحليل بالفيديو من الأساليب الفعالة في دراسة المهارات الرياضية المعقدة لما يوفره من إمكانية ملاحظة تفاصيل الحركة وتحديد الأخطاء الفنية بدقة وتقييم الأداء بصورة موضوعية (Lees, 2002؛ Payton & Bartlett, 2008).

ولأجل الوقوف على المتغيرات البايوميكانيكية التي تؤثر في أداء المهارة، ومن أجل الحصول على صيغة علمية لدراسة قيم هذه المتغيرات، استعمل الباحث التصوير بالفيديو، إذ يعد من الوسائل المهمة في اكتشاف الأخطاء وضبط مدى تقارب أو ابتعاد مستويات الأداء الفني للاعبين، فضلاً عن دوره في تحديد العلاقات الميكانيكية بين أجزاء

الجسم أثناء الأداء الحركي (Knudson, 2021 ؛Lees, 2002). ومن خلال رسم مسارات نقاط الجسم وتحليلها يمكن وصف الحركة وتحليلها وتحديد الخصائص الكينماتيكية والحركية للأداء، فضلاً عن إمكانية تحديد المسار الهندسي للجسم باستخدام مقياس الرسم والمعايرة المكانية للتصوير واستخراج المتغيرات البيوميكانيكية بدقة علمية (Payton & Bartlett, 2008 ؛Robertson et al., 2014).

وعلى هذا الأساس تم تصوير عينة البحث بوساطة كاميرا من نوع (Casio Exilim)، حيث كان التصوير بسرعة (120 صورة/ثانية)، وقد نُصبت آلة التصوير على حامل ثلاثي كبير، وكان ارتفاع منتصف العدسة (1.50 م) عن الأرض وعلى بعد (6.45 م)، وتمت عملية التصوير في القاعة المغلقة للألعاب الرياضية في كلية آشور الجامعة، كما هو موضح في الشكل (1). وتعد سرعة التصوير العالية ضرورية لتحليل المهارات الحركية السريعة في الجمناستك، إذ تسهم في تقليل الخطأ المرتبط بتحديد الأزمنة والزوايا الحركية وتحسين دقة القياسات الكينماتيكية المستخرجة من التسجيل الفيديوي (Payton & Bartlett, 2008 ؛Robertson et al., 2014). كما تشير الأدبيات البايوميكانيكية إلى أن زيادة معدل التقاط الصور ترفع من دقة توصيف المراحل الفنية للحركة وتسمح بتحليل أفضل للمتغيرات الزمنية والمكانية المرتبطة بالأداء المهاري (Bartlett, 2007 ؛Knudson, 2021).

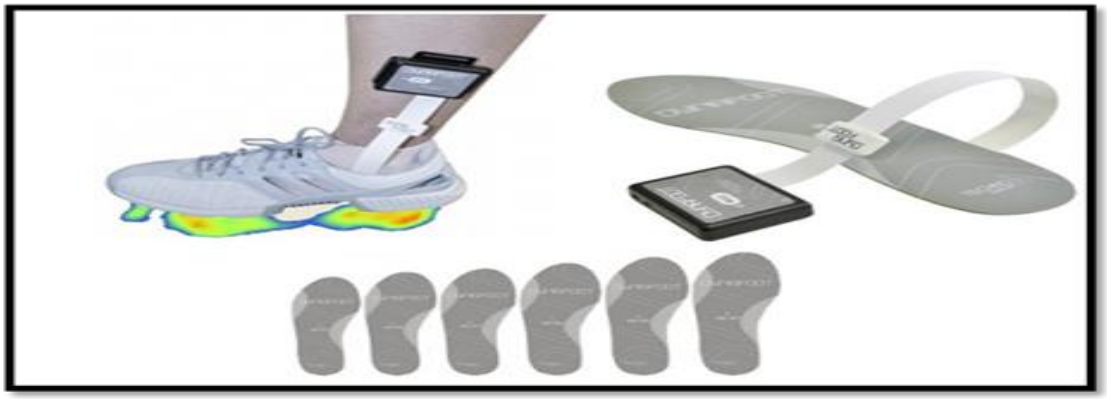


شكل (1) يوضح الشكل مواقع الكاميرات المستخدمة في تصوير عينة البحث

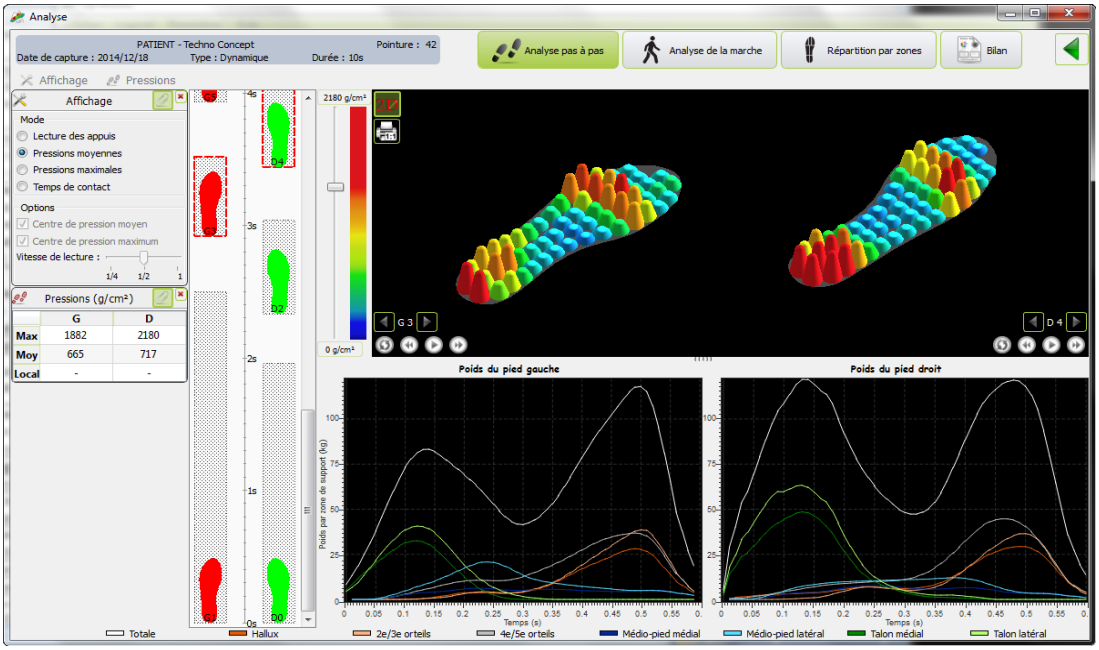
جهاز متحسس القوة (Dynafoot):

منظومة لقياس متغيرات القوة المسلطة على الأرض خلال كل خطوة من خطوات الركض، وهي مكونة من أربعة أجزاء هي قاعدة إيصال البيانات (عبارة عن دواسة القدم التي توضع بالحذاء) وسلك توصيل (الذي يربط بساق المختبر) وجهاز مستقبل الإشارة (يربط مع الحاسوب المحمول ويستقبل الإشارة عن بعد 20 متر للقاعات المغلقة و10 متر للملاعب الخارجية)، وجهاز بلوتوث، وتعمل المنظومة بعد وضع متحسس الخطوات في حذاء اللاعب المختبر وتثبيت الجهاز الناقل للإشارة على ساقه وإدخال البيانات الخاصة بعمر اللاعب وطوله ووزنه وجنسه. وتعتمد هذه المنظومات على تقنيات الاستشعار بالضغط داخل الحذاء لقياس قوى التفاعل مع الأرض وتوزيع الضغوط على أجزاء القدم أثناء الأداء الحركي، مما يوفر بيانات دقيقة عن الخصائص الكينتيكية للحركة (Wang et

ويقيس الجهاز متغيرات أعلى قوة وأقل قوة ومناطق توزيع القوة في القدم Mei et al., 2023). ؛al., 2022 والتعجيل وغيرها من المتغيرات البايوميكانيكية المرتبطة بالأداء، إذ أثبتت الدراسات الحديثة فاعلية أنظمة الضغط داخل الحذاء في تحليل الركض وتقييم أنماط التحميل الميكانيكي وتحديد الفروق في الأداء الحركي بين الرياضيين Mei et al., 2023). ؛(Pappas et al., 2021 كما تعد هذه الأنظمة من الوسائل الحديثة في التحليل البايوميكانيكي لكونها تسمح بجمع البيانات في بيئة الأداء الطبيعية دون التأثير في حركة اللاعب، فضلاً عن إمكانية المراقبة الفورية لمتغيرات القوة والتعجيل وتوزيع الضغط خلال النشاط الرياضي(Wang et al., 2022 ؛(Chen et al., 2024 ، ينظر الشكل (2) و(3).



الشكل (2) يوضح جهاز (Dynafoot) وملحقاته



الشكل (3) يوضح برنامج (Dynafoot)

التحليل البايوميكانيكي:

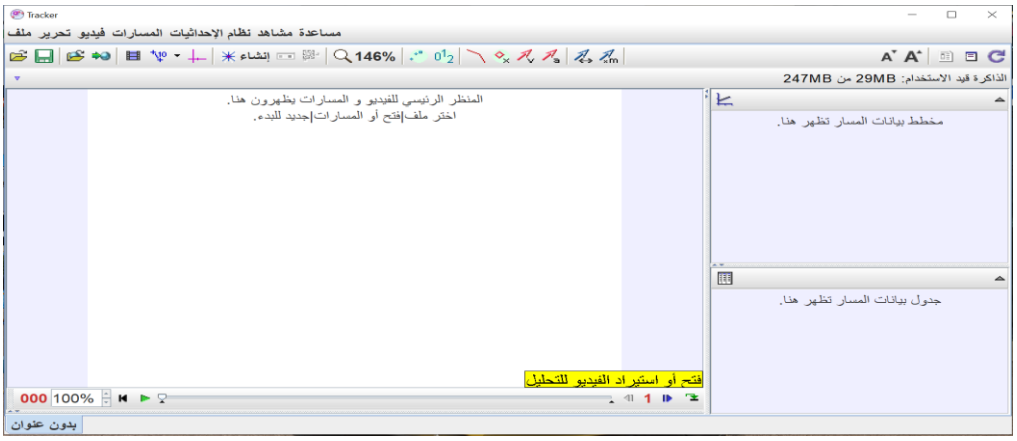
تم العمل ببرامج خاص على الحاسوب لقياس المتغيرات الميكانيكية وهي Tracker الاصدار رقم (5.4)، (Kinovea) الإصدار (1.2) ومن خلال تم الحصول على المتغيرات المطلوبة.

اجري التحليل بالحاسوب بالخطوات التالية:

1- تم نقلت المادة المصورة من الكامرة الى جهاز الحاسوب على صيغة ملفات (Files) ومن ثم الى الأقراص الليزرية (CD) وذلك لتسهيل خطوات عملية التحليل.

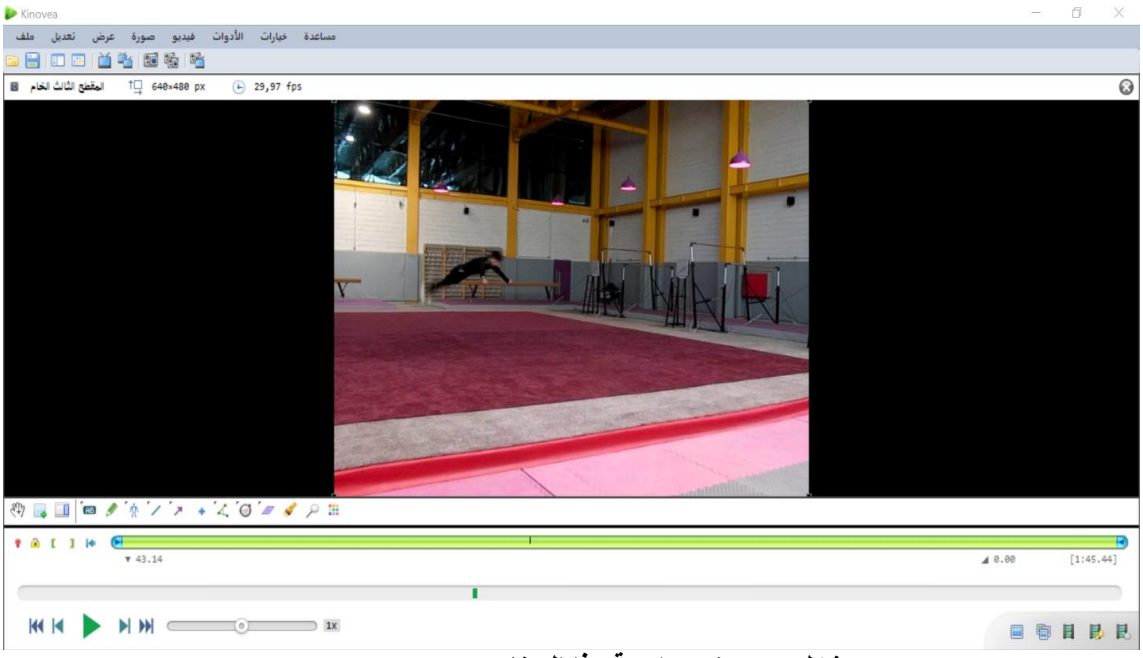
2- تم تقطيع الحركة الى مجموعة من الفيديوهات والصور بواسطة برنامج (Tracker) لاستخراج المتغيرات المحددة (المدروسة) وذلك من خلال خزن تلك المقاطع على شكل ملفات تخزن في حافظة ملفات الحاسبة (My Document).

3- ثم تم استدعاء هذه الملفات (المقاطع) إلى برنامج (Tracker) المنصب على حاسبة (ThinkPad) وهو برنامج مخصص لتحليل الحركات الرياضية والشكل(4) يوضح واجهة البرنامج.



شكل(4) يوضح واجهة هذا البرنامج (Tracker)

4- تم تحديد الزوايا باستخدام برنامج التحليل كينوفا (Kinovea) والشكل(5) يوضح واجهة البرنامج.



شكل(5) يوضح واجهة هذا البرنامج (Kinovea)

تحديد المتغيرات البايوميكانيكية:

"تمت عملية تحديد المتغيرات الكينماتيكية بشكل دقيق ومنهجي باستخدام أدوات تحليل الحركة المتطورة مما أسهم في استخراج بيانات موثوقة لدراسة الأداء."

متغيرات السرع:

السرعة المحيطية (Velocity eripheral): وهي السرعة التي يتحرك بها أي جزء من الجسم على مسار دائري حول محور دوران معين وتُقاس بوحدة (متر/ثانية)، وتعبر عن مقدار المسافة التي يقطعها الجسم على محيط الدائرة خلال وحدة الزمن، يرمز لها بالرمز، وتحسب بالعلاقة التالية: $v = r \cdot \omega$، كما هو موضح في الشكل الاتي:

شكل(6) يوضح كيفية قياس السرعة المحيطية للرجل القائدة (سرعة الخطف) في المرحلة التحضيرية

السرعة المحيطية لمركز ثقل الجسم (Mass Center of the of LinearLiner Velocity):

تعد السرعة المحيطية لمركز ثقل الجسم من المتغيرات الحركية الأساسية التي تعكس مدى كفاءة الأداء الديناميكي للاعب ويقصد بها سرعة انتقال مركز الكتلة في المسار الخطي الناتج عن الحركة الدورانية أو الانتقالية للجسم، وهي ناتج حاصل ضرب السرعة الزاوية (Angular Velocity) بنصف القطر (Radius) الذي يمثل المسافة بين محور الدوران ومركز الكتلة.

شكل(7) يوضح كيفية قياس السرعة المحيطية لمركز ثقل الجسم في المرحلة التحضيرية

متغيرات الزوايا:

متغيرات الزوايا في التحليل البيوميكانيكي: تعد الزوايا من المتغيرات الأساسية التي يعتمد عليها التحليل البيوميكانيكي في دراسة الأداء الحركي، حيث تمثل العلاقة الهندسية الناتجة عن التقاء شعاعين يشتركان في نقطة بداية واحدة وتكمن أهمية هذه المتغيرات في قدرتها على تفسير نوعية الحركة ومدى كفاءتها، وتحليل الأوضاع الجسمانية أثناء الأداء الرياضي وفيما يلي توضيح لأهم الزوايا المستخدمة:

زاوية مفصل الورك (Hip Joint Angela): هي الزاوية المحصورة بين خطين وهميين الأول يمتد من مفصل الكتف إلى مفصل الورك، والثاني من مفصل الورك إلى مفصل الركبة، يُقاس هذا المتغير أثناء وضع الجسم الأمامي، ويستخدم لتحديد مدى حركة الورك أثناء الأداء، مما يسهم في تقييم مدى اتساع أو انثناء هذا المفصل وتأثيره على التوازن الحركي للجسم بشكل عام كما هو موضح في الشكل الاتي:

شكل(8) يوضح كيفية قياس زاوية مفصل الورك في المرحلة التحضيرية

زاوية مفصل الركبة (Angle Joint Kenee): تعرف بأنها الزاوية الناتجة عن التقاء عظم الفخذ مع عظم الساق (القصبة)، وتُعد مؤشراً رئيسياً لقياس درجة الانثناء أو التمدد في مفصل الركبة وتلعب دوراً مهماً في فهم مدى فاعلية القوة الناتجة أثناء مراحل الأداء، مثل الإقلاع أو الهبوط كما هو موضح في الشكل الاتي:

شكل(9) يوضح كيفية قياس زاوية الركبة في المرحلة التحضيرية

زاوية الهبوط (Angle Landing): هي الزاوية التي تتشكل بين اتجاه حركة الجسم والخط الأفقي عند لحظة اتصال القدم بالأرض أثناء الهبوط. تُعتبر هذه الزاوية مهمة في تقييم كفاءة الهبوط، حيث تؤثر بشكل كبير على استقرار الجسم وتجنب الإصابات. زاوية الهبوط المثالية عادة ما تكون قريبة من الزاوية العمودية، مما يساعد في توزيع القوة الناتجة عن الهبوط بشكل متوازن عبر المفاصل كما هو موضح في الشكل الاتي:

شكل(10) يوضح كيفية قياس زاوية الهبوط في المرحلة التحضيرية

زاوية النهوض (Angle Rising): تقاس هذه الزاوية بين خط يمتد من مركز الثقل إلى نقطة التماس مع السطح الأفقي أثناء بداية النهوض وتُستخدم كمؤشر مهم لتحديد كفاءة الحركة العمودية ومدى مساهمتها في تحقيق الارتفاع المناسب أثناء القفز أو النهوض كما هو في الشكل الاتي:

شكل (11) يوضح كيفية قياس زاوية النهوض في المرحلة التحضيرية

متغيرات المسافات:

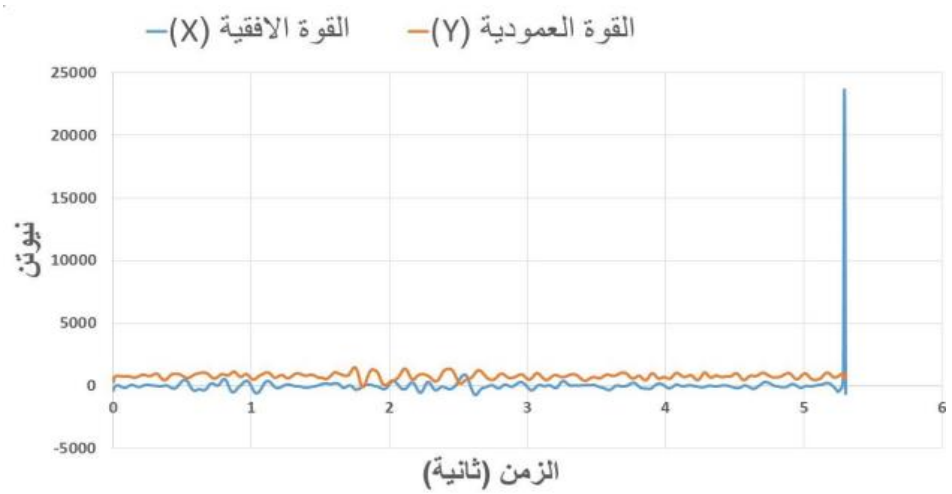
ارتفاع مركز الثقل (Center of Mass Height): يعرف على أنه المسافة العمودية الفاصلة بين مركز ثقل الجسم وسطح الأرض، ويُقاس عادة بوحدة السنتيمتر، ويمثل هذا الارتفاع النقطة التي تعد مركزاً لتوزيع كتلة الجسم، والتي تحدد من خلالها نقطة تأثير القوة الكلية للجسم أثناء الحركة (Winter, 2009). ويستخرج هذا المتغير بدقة من خلال التحليل البيوميكانيكي باستخدام تقنيات القياس الرقمية أو البرامج المتخصصة، ويُعد عاملاً أساسياً في تفسير ميكانيكية التوازن والثبات، وكذلك مدى فعالية القوة الناتجة في حركات القفز أو الدفع العمودي (McGinnis, 2013). كلما كان ارتفاع مركز الثقل مناسباً ومتوافقاً مع طبيعة الأداء، انعكس ذلك إيجاباً على الاتزان الديناميكي وتقليل فاقد الطاقة خلال الانتقال الحركي (Zatsiorsky & Prilutsky, 2012). يحسب ارتفاع مركز الثقل من خلال المعادلة التالية:

$$H_{CM} = \sum \left(\frac{m_i \cdot h_i}{M} \right)$$ كما هو موضح في الشكل الاتي :

شكل(12) يوضح كيفية قياس ارتفاع مركز ثقل الجسم

متغيرات منحنى القوة والزمن (Variables Curve Time-Force):

يعد منحنى القوة والزمن من أبرز الأدوات التحليلية في علم البيوميكانيك ويستخدم لفهم العلاقة الديناميكية بين القوة المُنتجة من الجسم والزمن الذي تستغرقه هذه القوة أثناء الأداء الحركي، يرسم هذا المنحنى من خلال تمثيل القوة على المحور العمودي (Y-axis) والزمن على المحور الأفقي (X-axis)، كما موضح في الشكل الاتي:



شكل(13) يوضح كيفية منحنى القوة والزمن

زمن الدفع (Time Push): يعرف زمن الدفع بأنه الفترة الزمنية التي يتم خلالها تطبيق القوة خلال لحظة الاستناد، أي الفترة التي يتم فيها دفع الجسم، ويعتبر هذا المتغير من العوامل الأساسية التي تؤثر في إنتاج القوة وتحقيق الأداء الأمثل في العديد من الحركات الرياضية، مثل القفز أو الانطلاق في السباقات، قانون حساب زمن الدفع يمكن حساب زمن الدفع باستخدام العلاقة التالية:

$$.text\{Impulse\} = F \times t\$$

زمن الاصطدام (Time impact): يعرف زمن الاصطدام بأنه الفترة الزمنية التي يتم خلالها تطبيق القوة أثناء اصطدام الجسم مع سطح آخر، بدءًا من لحظة الاصطدام حتى الوصول إلى حالة الاستقرار التام للجسم. في هذه الفترة، يحدث تبادل للطاقة بين الجسم والسطح المُصطدم به، وتُنتج خلالها قوى تأثيرية تؤثر في حركة الجسم. يعتبر هذا المتغير بالغ الأهمية في دراسة تأثيرات الاصطدامات الرياضية (مثل رياضات كرة القدم، كرة السلة، أو القفز) وفي تقييم مستوى امتصاص القوة أو توزيعها على الجسم.

قانون حساب زمن الاصطدام يمكن حساب زمن الاصطدام باستخدام معادلة التأثير (التأثير الزمني) التي تعتمد على مبدأ الحفاظ على الزخم $text\{Impulse\} = F \times t$

معدل قوة الدفع:(Rate of Force Development -RFD)

يعد معدل قوة الدفع من المتغيرات البيوميكانيكية الهامة التي تُستخدم لقياس قدرة الجسم على توليد القوة بشكل سريع وفعال خلال بداية الحركة ويتم حساب هذا المعدل باستخدام جهاز (Dynafoot)، الذي يتيح قياس القوة المطبقة من لحظة بداية الدفع للأعلى حتى لحظة انفصال القدم عن الأرض، يعتبر هذا القياس أساسيًا لتحليل الأداء

الحركي، حيث يعكس سرعة وتدفق القوة التي ينتجها الرياضي في بداية الحركة، مما يؤثر بشكل كبير على الأداء في الأنشطة التي تتطلب انطلاقًا سريعًا مثل الجري أو القفز، قانون حساب معدل قوة الدفع يتم حساب معدل قوة الدفع باستخدام المعادلة التالية:

$$RFD = \frac{\Delta F}{\Delta t}$$

معدل قوة الاصطدام (Rate Force Impact):

معدل قوة الاصطدام هو المتغير الذي يستخدم لقياس مقدار القوة الناتجة عن الاصطدام بين الجسم والسطح الملامس له خلال فترة الاصطدام. ويعتمد هذا المعدل على معدل التغير في الزخم خلال زمن التصادم، ويُعبّر عنه رياضياً بالعلاقة (Hall, 2018). ويُعد هذا المتغير أساسياً في تحليل الأحمال الميكانيكية الناتجة عن الحركات السريعة والاصطدامات في الأنشطة الرياضية (McGinnis, 2013).

ويُستخدم هذا المفهوم لفهم التأثيرات الناتجة عن الاصطدامات في الرياضات التي تتضمن تغييرات مفاجئة في الحركة أو الاتجاه، مثل كرة القدم وكرة السلة والجمباز، حيث ترتبط قيم قوة الاصطدام بكفاءة الأداء واحتمالية الإصابة (Nigg & Herzog, 2007). كما يمكن حساب القوة الناتجة عن الاصطدام اعتماداً على التغير في الزخم خلال زمن تماس قصير جداً، وهو ما يُستخدم في التحليل الحركي ثلاثي الأبعاد وأنظمة القياس الأرضية (Winter, 2009).

وفي التطبيق العملي على المهارات البيوميكانيكية، يتم استخدام أجهزة قياس القوى الأرضية (Force Plates) أو أنظمة التحليل الحركي الأرضي لتسجيل متغيرات الدفع والقوة في مهارات الجمباز الأرضي، خصوصاً في الحركات الأكروباتية الأمامية والخلفية، حيث تتطلب هذه الحركات إنتاج قوى دفع كبيرة لتحقيق الارتفاع والدوران المطلوبين (Čuk & Karacsony, 2004). كما يتم تثبيت أجهزة القياس على القدمين أثناء الأداء في بعض البروتوكولات التجريبية لقياس قوة الدفع بدقة، مما يتيح تقييم كفاءة الأداء الحركي (Enoka, 2008).

أما في الحركات غير الأكروباتية، فإن قياس قوة الدفع يكون أكثر تعقيداً بسبب تعدد مصادر القوة وعدم اعتمادها الأساسي على القدمين، مما يحد من دقة تطبيق نفس أساليب القياس المستخدمة في الحركات الأكروباتية (Lees, 2002).

"لتحليل بيانات البحث والتعرف على نتائج المتغيرات قيد الدراسة، استخدم الباحثان البرنامج الإحصائي (SPSS) إلى جانب برنامج (Excel) بهدف استخراج المعالجات الإحصائية المناسبة، والتي شملت: الوسط الحسابي، والانحراف المعياري، واختبار (T-test) لتحليل الفروق بين المتوسطات وتحديد مدى دلالتها الإحصائية."

النتائج:

جدول (1) يبين قيم الوسط الحسابي والإنحراف المعياري وقيمة (T) المحسوبة لنتائج متغيرات مهارة القلبة الهوائية الامامية المستقيمة مع لفتين

المهارة	القسم	المتغيرات	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت) المحسوبة	نوع الدلالة
القلبة الهوائية الامامية المستقيمة مع لفتين	التحضيري	زاوية الورك	149,33	8,32	-1,36	غير معنوي
		زاوية النهوض	136	45,92	-0,314	غير معنوي
		معدل قوة الدفع	1737,15	324,00	4.55	معنوي
		زاوية الركبة	174,33	3,214	-0,83	غير معنوي
	الرئيس	زاوية الورك	144,33	1,52	-11,59	معنوي
		زاوية الركبة	148	16,37	-0,56	غير معنوي
	النهائي	زاوية الورك	177,33	3,78	-0,40	غير معنوي
		زاوية الهبوط	127	60,91	-0,28	غير معنوي
		معدل قوة الاصطدام	2563,66	259,74	2,25	غير معنوي
ارتفاع مركز ثقل الجسم			2.36	0.472	7.351	معنوي

أظهرت نتائج جدول رقم:1 الخاص بمتغيرات مهارة القلبة الهوائية الأمامية المستقيمة مع لفتين وجود تباين في مستوى الدلالة الإحصائية بين المتغيرات البايوميكانيكية في الأقسام المختلفة للمهارة، ففي القسم التحضيري، بينت أن متغير زاوية الورك حقق وسطا حسابيا بلغ (149.33) بانحراف معياري (8.32) وقيمة (ت) بلغـــت (-1.36) وهي غير معنوية، مما يدل على عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية في هذا المتغير. كما سجلت زاوية النهوض وسطًا حسابيا مقداره (136) بانحراف معياري (45.92) وقيمة (ت) (-0.314) وهي أيضا غير معنوية. في المقابل، ظهر متغير معدل قوة الدفع بقيمة وسط حسابي بلغت (1737.15) وانحراف معياري (324.00) وقيمة (ت) (4.55)، وهي قيمة معنوية، مما يشير إلى أهمية هذا المتغير في تحقيق الدفع المناسب أثناء مرحلة النهوض والأداء الحركي للمهارة، أما فيما يخص زاوية الركبة فقد سجلت وسطا حسابيا مقداره (174.33) بانحراف معياري (3.214) وقيمة (ت) (-0.83) وهي غير معنوية.

وفي القسم الرئيس من المهارة، أظهرت النتائج أن زاوية الورك حققت وسطا حسابيا بلغ (144.33) بانحراف معياري (1.52) وقيمة (ت) (-11.59)، وهي قيمة معنوية، مما يدل على وجود فروق ذات دلالة إحصائية تؤكد أهمية هذا المتغير في التحكم بالدوران والحفاظ على المسار الحركي أثناء تنفيذ اللفتين الهوائيتين. بينما جاءت زاوية الركبة بوسط حسابي (148) وانحراف معياري (16.37) وقيمة (ت) (-0.56)، وهي غير معنوية.

أما في القسم النهائي، فقد بلغ الوسط الحسابي لزاوية الورك (177.33) بانحراف معياري (3.78) وقيمة (ت) (-0.40) وهي غير معنوية، وكذلك زاوية الهبوط التي سجلت وسطا حسابيا (127) بانحراف معياري (60.91)

وقيمة (ت) (-0.28) غير معنوية. كما أظهرت نتائج معدل قوة الاصطدام وسطًا حسابيًا بلغ (2563.66) وانحرافا معياريا (259.74) وقيمة (ت) (2.25) لكنها لم تصل إلى مستوى الدلالة الإحصائية.

وفيما يتعلق بمتغير ارتفاع مركز ثقل الجسم، فقد أظهرت النتائج وسطا حسابيا مقداره (2.36) بانحراف معياري (0.472) وقيمة (ت) (7.351)، وهي قيمة معنوية، مما يدل على الأهمية الكبيرة لارتفاع مركز الثقل في تحقيق الارتفاع المناسب والسيطرة الحركية أثناء أداء المهارة.

المناقشة:

يبين الجدول (1) التقديرات الإحصائية لنتائج عينة البحث المتعلقة بمتغيرات الأداء الحركي لمهارة القَلبة الهوائية الأمامية المستقيمة مع لفٍّ كامل حول المحور الطولي خلال القسم التحضيري من المهارة، وقد أظهرت النتائج أن بعض المتغيرات مثل زاوية الورك، زاوية النهوض، معدل قوة الدفع، وزاوية الركبة، لم تكن ذات دلالة إحصائية تُذكر في المقابل كشفت النتائج عن وجود دلالة إحصائية معنوية في زاوية الورك خلال القسم الرئيسي من المهارة ويعود ذلك إلى الدور الحاسم الذي تؤديه زاوية الورك كمتغير كينماتيكي مؤثر في هذه المرحلة، إما متغير ارتفاع مركز ثقل الجسم في القسم النهائي ظهر بدلالة إحصائية معنوية، بينما لم تظهر بقية المتغيرات في الأقسام التحضيري، الرئيسي، والختامي دلالة معنوية تذكر، ويمكن تفسير هذا التباين من خلال عدة عوامل منها توليد الزخم والدوران يعتبر مفصل الورك عنصرا أساسيا في توليد الزخم اللازم للدوران حول المحور الطولي خلال القسم الرئيسي من المهارة، الأداء الفعال يتطلب تحقيق التمدد والانثناء المناسبين في مفصل الورك لضمان دوران متزن، التحكم في مسار الحركة وان تأثير زاوية الورك بشكل مباشر على مسار مركز ثقل الجسم يساعد في تحقيق الارتفاع المطلوب والسرعة المناسبة أثناء الطيران (Goodin، 2024)، وبالتالي ضمان الهبوط المتقن و يساهم التحكم الدقيق في زاوية الورك في تحسين استقرار الرياضي أثناء الهبوط مما يعزز من جودة الأداء الفني ويقلل من مخاطر الأخطاء أو فقدان التوازن. (Pavlasová وآخرون، 2025)

وبناء على ذلك يمكن اعتبار زاوية الورك في القسم الرئيسي للمهارة متغيرا حاسمًا يؤثر على جودة الأداء في حين أن بقية المتغيرات لا تُظهر تأثيرا معنويا مماثلا في مختلف مراحل الأداء، وان تفسير عدم دلالة المتغيرات الأخرى في القسم التحضيري يهدف هذا القسم إلى إعداد الجسم للحركة الرئيسية وقد تكون المتغيرات الكينماتيكية في هذه المرحلة متقاربة بين الأفراد، (Marinšek وآخرون، 2014). مما يقلل من الفروق الإحصائية ويجعلها غير دالة معنوي، وان زاوية الورك عنصرا محوريا في القسم الرئيسي لمهارة القلبة الهوائية الأمامية المستقيمة مع لف كامل، (Mkaouer وآخرون، 2023)، حيث تؤثر بشكل مباشر على جودة الأداء والدوران، كذلك نلاحظ ان قانون دفع القوة يبين إن انه يجب على اللاعب ان ينتج أكبر قوة بأقل زمن وفقا للقانون الاتي

بما ان: الدفع = الزخم.

والدفع = ق × ن.

اذن

$$\text{القوة} = \frac{\text{الدفع}}{\text{الزمن}}$$

وعليه نلاحظ أن علاقة القوة بالزمن علاقة عكسية، أي كلما أُريد الحصول على قوة أكبر وجب تقليل زمن الدفع من قبل اللاعب، وهذا يتفق مع مبادئ إنتاج القوة الانفجارية ومعدل تطور القوة (Rate of Force Development) في الأداء الرياضي (Suchomel et al., 2024). وهذا ما نلاحظه في متغيرات المحك (اللاعب الإيراني)، إذ كانت

قوة الدفع لديه أكبر قياساً بالعينة، مما مكّنه من الحصول على ارتفاع أكبر من اللاعبين (العينة)، الأمر الذي أتاح له أداء المهارات (القلبات الهوائية) بشكل أكثر انسيابية وكفاءة.

ويعد ارتفاع مركز ثقل الجسم (Center of Mass Height) من أهم المتغيرات البيوميكانيكية التي تسهم بشكل مباشر في جودة الأداء الحركي في رياضة الجمباز، خصوصًا في المهارات الهوائية المعقدة التي تتطلب مستوى عالياً من التوازن والدقة في تنفيذ الدوران، كما هو الحال في مهارة القلبة الهوائية الأمامية المستقيمة مع لف كامل في الهواء. وقد أظهرت النتائج الإحصائية دلالة معنوية لهذا المتغير، مما يؤكد دوره المحوري في تحقيق الكفاءة الحركية والاقتصاد في الجهد أثناء الأداء (Pavlasová et al., 2025).

إن ارتفاع مركز الثقل أثناء مرحلة الطيران يُعد عاملاً حاسماً في تحديد زمن الطيران الكلي، وبالتالي يُتيح للجمباز فرصة أكبر لإتمام لف كامل مع الحفاظ على المحاذاة الحركية للجسم دون تشوهات تؤثر على درجة التنفيذ، كما أن العلاقة الطردية بين ارتفاع مركز الثقل وزمن الطيران تسهم في التحكم بالزمن الهوائي، مما يقلل من احتمالية ارتكاب الأخطاء أثناء النزول ويمنح اللاعب وقتاً كافياً لإتمام الحركة بانسيابية (Mkaouer et al., 2023).

ومن جهة أخرى، يُعد هذا المتغير أساساً لتحقيق الاتزان الديناميكي، إذ يؤثر بشكل مباشر على مسار الحركة الهوائي واتجاهه، الأمر الذي يساعد في الحفاظ على ثبات الجسم أثناء الطيران وضبطه عند النزول، كما يسهم ارتفاع مركز الثقل الأمثل في تعزيز الاقتصاد الحركي من خلال تقليل الجهد العضلي المطلوب لتوجيه الجسم، وخاصة من قبل المجموعات العضلية المحورية (Čuk & Karácsony, 2023).

علاوة على ذلك، يُعد ارتفاع مركز الثقل أحد العوامل المؤثرة في زاوية الإقلاع وتوجيه الحركة، حيث إن التحكم في موقعه ينعكس على مسار الانطلاق والدوران في الهواء، كما يرتبط ارتباطاً وثيقاً بتقليل أخطاء الهبوط؛ فكلما بلغ مركز الثقل أعلى نقطة في المسار الهوائي تحسنت القدرة على ضبط توقيت النزول وتوجيه الأطراف السفلية بدقة نحو الأرض (Marinšek & Čuk, 2022).

ومن خلال ما سبق، يتضح أن ارتفاع مركز ثقل الجسم يمثل أحد المحددات الحيوية في الأداء الهوائي في الجمباز، ويوصى بالاهتمام به عند تصميم البرامج التدريبية لتطوير المهارات التي تتضمن دورانات متعددة أو مركبة، إذ إن ضبط هذا المتغير يسهم بصورة فعالة في تعزيز جودة الأداء وتفادي الأخطاء الفنية التي قد تؤثر في النتيجة النهائية (Pavlasová et al., 2025).

ومن خلال تحليل المسار الحركي للمتغيرات المدروسة في عينة البحث ومقارنتها بالمسار الحركي للاعب الإيراني (المحك)، تظهر فروق واضحة في آليات الأداء، حيث يتجلى هذا التباين في انتقال مركز ثقل الجسم وتنظيم الحركات أثناء تنفيذ المهارة، كما تكشف النتائج عن اختلافات في سرعة الأداء بين أفراد العينة واللاعب المحك، مما يعكس تفاوتاً في التحكم العصبي العضلي والتنسيق الحركي. وتمتد هذه الفروق لتشمل أسلوب تطبيق القوة والتفاعل مع الجاذبية أثناء الأداء، مما يؤثر على الكفاءة العامة لتنفيذ مهارة القَلبة الهوائية الأمامية المستقيمة مع لف كامل. وتشير هذه الفروق إلى أن العوامل الكينماتيكية والكينيتكية تلعب دوراً حاسماً في تحقيق الأداء الأمثل، مما يستدعي تحسين آليات التدريب للوصول إلى مستويات أعلى من الكفاءة (Prassas et al., 2024).

الاستنتاجات:

استنتج الباحث ما يلي:

كشفت نتائج التحليل عن فروق واضحة في الأداء الفني لمهارة القلبة الهوائية المستقيمة مع لفتين بين لاعبي المنتخب العراقي والإيراني، تمثلت بضعف بعض المتغيرات البيوميكانيكية كقوة الدفع وزوايا المفاصل. وقد ثبتت أهمية هذه المتغيرات في تحسين جودة الأداء، لاسيما مركز الكتلة وزمن الطيران المرتبطين بمعايير التحكيم الدولية. كما أظهر التحليل البيوميكانيكي أخطاء تقنية مؤثرة، إلى جانب تفاوت في القوة الخاصة، عزوم القوى، والسرعة الزاوية، مما يؤكد دورها المباشر في كفاءة الأداء الفني.

ويوصي الباحث:

اعتماد برامج تدريبية قائمة على التحليل البيوميكانيكي لتعزيز الدفع، السرعة الزاوية، والتحكم بمركز الكتلة، توفير تقنيات تحليل متقدمة لتقييم الأداء بدقة ودعم التطوير التدريبي، توجيه التدريب لتصحيح الأخطاء المفصلية وزمن الطيران لرفع الكفاءة وتقليل الخصومات، تعزيز التعاون الفني وتبادل الخبرات لرفع مستوى الأداء التنافسي.

المراجع:

1. اعراب، أ.، ومحمدي، م. (2023). دور ممارسة التربية البدنية في النمو النفسي والاجتماعي في المدارس الابتدائية، مجلة الأوراس لعلوم الرياضة، 1(1)، 26-37. https://asjp.cerist.dz/en/article/232045

2. عبد الله، (2014)، البيوميكانيكا في الرياضة تطبيقات عملية على الأداء الرياضي، جامعة الملك سعود.

3. الزيود، زياد فلاح،& الرديسات، محمد *فواز سالم*،& الكردي، زياد درويش. (2022). مقارنة مسار مركز ثقل الجسم وقيم بعض المتغيرات الكينماتيكية عند اداء مهارة الشقلبة الهوائية الامامية المكورة على أجهزة مختلفة لدى لاعبي المنتخب الوطني للجمباز، مجلة تطبيقات علوم الرياضة. 8(114). 378-405.

4. Winter, David. A. (2009). Biomechanics and Motor Control of Human Movement. Wiley Online Library. Canada.

5. Mkaouer, Bessem., et al. (2020). Kinematic analysis of acrobatic elements in gymnastics Series to Performing the Backward Stretched Somersault. Journal of Human Sport and Exercise. 37(1), 17-26. DOI: 10.2478/hukin-2013-0021.

6. Mkaouer, B., et al. (2022). Biomechanical parameters in elite gymnastics performance. International Journal of Sports Science & Coaching, 17(4), 745–758.

7. Čuk, I., & Bučar Pajek, M. (2021). Movement mechanics in gymnastics: A review. Science of Gymnastics Journal, 13(2), 115–128.

8. Huang, C., et al. (2021). Impact of center of mass displacement on aerial movement efficiency. Journal of Sports Biomechanics, 20(4), 233–245.

9. Aragón-Vargas, L. F. (2023). Biomechanics of human movement. Cham, Switzerland: Springer.

10. Luo, Y., et al. (2020). Influence of take-off kinematics on landing quality in gymnastics. Journal of Sports Research, 7(3), 144–152.

11. Sands, W. A., & McNeal, J. R. (2002). Biomechanics of gymnastics techniques. Indianapolis, IN: USA Gymnastics.

12. Knudson, D. (2007). Fundamentals of biomechanics (2nd ed.). New York, NY: Springer.

13. Enoka, R. M. (2008). Neuromechanics of human movement (4th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

14. Bartlett, R. (2007). Introduction to sports biomechanics: Analysing human movement patterns (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

15. Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: A powerful model to study normal and fatigued muscle. Journal of Biomechanics, 33(10), 1197–1206.

16. Padua, Darin A, Stephen W Marshall, Michelle. C Boling, Charles. A Thigpen, William. E Garrett Jr, Anthony. I Beutler . (2009). The landing error scoring system (LESS) is a valid and reliable clinical assessment tool of jump-landing biomechanics. The American Journal of Sports Medicine, 37(10), 1996–2002. doi:10.1177/0363546509343200.

17. Ali Hussein. Mohammed, Mezhar Jaber. Mustafa, Ghani Hamid. Muhammad. (2026). The relationship of some of the bio-kinematic variables of the readiness pausefor the situation facing the serve and accuracy of Middle Euphrates tennisplayers, Auras Journal of Sports Sciences. 4(2), 16-30. https://asjp.cerist.dz/en/article/289122