تطوير حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق باستخدام مستشعرات IMU القابلة للارتداء لتقوية الذراعين وتحسين التوازن الحركي لدى ناشئي الجمباز تحت ١٦سنة

*د/ محمد أحمد عبد الغني يوسف

ملخص البحث :

تهدف الدراسة الى تطوير حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق باستخدام مستشعرات IMU القابلة للارتداء لتقوية الذراعين وتحسين التوازن الحركي لدى ناشئي الجمباز تحت ١٦ سنة، تم استخدام المنهج التجريبي، من خلال تصميم ذو قياسين قبلي وبعدي لمجموعة تجريبية واحدة، واشتملت عينة البحث بطريقة عمدية من ناشئي الجمباز الفني الرجال تحت سن ١٦ سنة، عدد أفراد العينة ب (١٥) لاعبًا نادي المؤسسة العسكرية بالإسكندرية مواليد (٢٠١٠ – ٢٠١١)، توصل الباحث إلى فاعلية استخدام مستشعرات IMU في تطوير الأداء المهاري لحركات الإنهاء (الفينش) على جهاز حصان الحلق، مما أتاح تغذية راجعة دقيقة وسريعة أثناء التدريب، كما ظهر تحسن ملحوظ في القدرة على الحفاظ على التوازن الحركي أثناء تنفيذ الحركات النهائية، كما أثبتت النتائج وجود تطور كبير في القوة العضلية المرتبطة بحركات الدفع والدوران، يوصي الباحث بإدماج تقنية IMU في تدريب الجمباز الفني، وخاصة في مراحل الناشئين، لتحسين الأداء الفني والتوازن والدقة الحركية، وتصميم وحدات تدريبية رقمية ذكية تعتمد على تحليل الأداء اللحظي

الكلمات الدالة : حركات الإنهاء ، جهاز حصان الحلق ، مستشعرات IMU القابلة للارتداء .

* استاذ مساعد دكتور بقسم التمرينات والجمباز والتعبير الحركي بكلية التربية الرياضية جامعة أسوان.

Abstract

The study aims to develop dismount movements on the pommel horse using wearable IMU sensors to strengthen the arms and improve motor balance among artistic gymnastics juniors under 16 years old. The experimental method was applied, employing a one-group pre-test/post-test design. The research sample was deliberately selected from male artistic gymnastics juniors under 16 years, consisting of 15 players from the Military Institution Club in Alexandria, born in 2010–2011 ،The researcher concluded that the use of IMU sensors was effective in developing the technical performance of dismount movements on the pommel horse, providing accurate and rapid feedback during training. The findings also showed a significant improvement in the ability to maintain motor balance while performing final movements, as well as considerable development in muscular strength associated with pushing and rotational movements ،The researcher recommends integrating IMU technology into artistic gymnastics training, particularly at the junior stages, to enhance technical performance, balance, and movement accuracy, and to design intelligent digital training units based on real-time performance analysis.

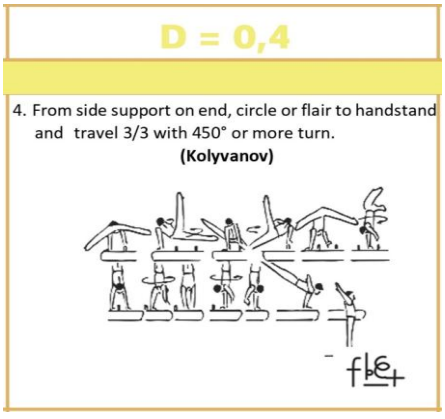
Keywords: Finishing elements, Pommel horse, Wearable IMU sensors.

مقدمة ومشكلة الدراسة:

يُعد جهاز حصان الحلق من الأجهزة الأساسية في رياضة الجمباز الفني للرجال، ويتطلب تنفيذ المهارات عليه مستويات عالية من التوازن، والتحكم العضلي، والدقة الحركية، وخاصة عند أداء حركات الإنهاء (الفينش) التي تُعد من المؤشرات الرئيسة لمدى إجادة اللاعب للمهارة. وتُعد هذه الحركات من أكثر الأجزاء حساسية في التقييم الفني، حيث تعكس التناسق الحركي والاستعداد البدني للناشئ.

كما ان جهاز حصان الحلق (pommel horse) يُعدّ من الأجهزة الفنية عالية المتطلبات التقنية؛ إذ تتضمن عناصره تتابعات دائرية، انتقالات مركزية، وإنهاءات تتطلب ثباتاً بدنياً وتوزيعاً دقيقاً لقوى الدفع على اليدين، حركات الإنهاء على هذا الجهاز تستلزم تحكماً زمنياً ومكانيًا متقنًا للذراعين والجزء العلوي من الجسم للحفاظ على مركز الكتلة داخل قاعدة الدعم أثناء الخروج من العنصر، وأي انزلاقٍ في التوقيت قد يؤدي إلى فقدان التوازن أو خسارة نقاط. لذلك، فهم البُنى الحركية والتحميلات الخاصة بحركات الإنهاء ضروري لتحسين التدريب وتصميم برامج تقوية تستهدف العضلات المساهمة في الاستقرار الديناميكي

تُعدّ حركات الإنهاء (finishing elements) على أجهزة الجمباز من اللحظات الحاسمة التي تحدد جودة الأداء وتؤثر مباشرةً في الدرجات النهائية للمنافسة، لا سيما على جهاز حصان الحلق الذي يتطلب توازناً ديناميكياً وقوة عضلية دقيقة في الأطراف العلوية لتنفيذ الإنهاءات بسلاسة وأمان، ضعف التحكم الحركي أو نقص القوة في الذراعين قد يؤدي إلى أخطاء تقنية، فقد التوازن، أو إصابات متكررة، خصوصاً لدى الفئات العمرية الناشئة التي لا تزال تمر بمرحلة نُمو حركي وعضلي سريعة. لذلك، تطوير أساليب تقييم وتدريب دقيقة وقابلة للتطبيق ميدانياً له أثر مباشر على تحسين نتاج التدريب وتقليل مخاطر الإصابات لدى ناشئي الجمباز



كما تُعد مهارة Kolyvanov مهارة مركبة تبدأ من الارتكاز الجانبي على نهاية الجهاز، حيث يتم الانتقال إليها غالبًا من مهارة Flank عادية أو حركة Thomas. يقوم اللاعب بسحب جسمه إلى وضع الوقوف على اليدين، مع التنقل على الأجزاء الثلاثة للحصان، مصحوبًا بدوران يقدّر بـ 450°حول المحور الطولي للجسم.

تُصنّف مهارة Kolyvanov ضمن المجموعة الرابعة (النهايات) من مجموعات جهاز حصان الحلق، ضمن

مستوى الصعوبة **D**، نظرًا لطبيعتها المركبة وصعوبة أدائها خاصة للمرحلة العمرية قيد البحث (ناشئي الجمباز تحت ١٦سنة). حيث تعتبر هذه المجموعة متطلبًا أساسيًا في تكوين جملة الحركات على الجهاز. وتمثل المهارة أهمية خاصة لأنها:

– تؤدى في نهاية الجملة الحركية على الجهاز كمهارة ختامية ذات طابع استعراضي.

– تحقق متطلبًا أساسيًا من متطلبات جهاز حصان الحلق (المجموعة الرابعة).

– تمتاز بإمكانية **زيادة صعوبتها إلى مستوى E** عند تنفيذها مع الانتقال على الأجزاء الثلاثة للحصان ذهابًا وإيابًا.

في ظل التطورات المتسارعة في علوم التدريب الرياضي والتكنولوجيا، برزت الأجهزة القابلة للارتداء المزودة بمستشعرات IMU (Inertial Measurement Unit) كأحد أهم الابتكارات المستخدمة في تحليل الأداء الحركي، لكونها توفر بيانات لحظية دقيقة عن الزوايا، والتسارع، والتوازن، مما يتيح تطوير برامج تدريبية موجهة وفعالة.

أصبحت أداة شائعة وموثوقة في الدراسات الحركية والرياضية، حيث توفر بيانات كمية دقيقة في بيئات التدريب الميدانية بعيداً عن المختبرات، فيشير **Camomilla et al. (2018)** إلى أن مستشعرات IMU القابلة للارتداء تدعم التحليل الحركي في الوقت الحقيقي وتُسهم في تحسين برامج التدريب، كما أثبتت مراجعة **Kobsar et al. (2020)** أن هذه المستشعرات تتمتع بدرجة عالية من الصلاحية والثبات عند استخدامها في تقييم التوازن والحركات الرياضية الديناميكية. (٨: ٤١) (٢١: ٦٢)

كما توفر مستشعرات IMU القابلة للارتداء (accelerometer + gyroscope ± magnetometer) إمكانية قياس تسارعات الجسم وزوايا الدوران وخصائص الحركات في بيئة التدريب الحقيقية خارج مختبر الحركة. مراجعات وأبحاث حديثة تُظهر أن IMUs أصبحت أداة عملية وموثوقة لتحليل الأداء الرياضي، بما في ذلك قياس معلمات التحميل على الأطراف، تمييز عناصر الحركات، وتقدير زوايا المفاصل بشرط تطبيق بروتوكولات معايرة وتحليل مناسبة. بالإضافة إلى ذلك، تُمكِّن IMUs المدربين والباحثين من جمع بيانات مستمرة أثناء التدريب الفعلي، ما يدعم التدخلات القائمة على البيانات لتحسين التقنية والوقاية من الإصابات. ومع ذلك، يجب الانتباه إلى قيود الدقة المتعلقة باندماج الإشارات (sensor fusion) والانحراف التراكمي، وضرورة التحقق من موثوقية المتغيرات المختارة لكل مهمة حركة.

تلعب قوة الذراعين والذراعين–الكتفين (shoulder–arm complex) دوراً محورياً في توليد العزوم اللازمة للحفاظ على تتابعات الحركات وإنهائها بنعومة على حصان الحلق. دراسات

تدريبية على لاعبي جمباز شباب وأبحاث فيزيولوجية تُشير إلى أن برامج القوة المتخصصة (قوة–قدرة/قوة–متفجرة) تُحسّن قدرة الرياضيين على إنتاج قوى أعلى وبسرعات مناسبة، ما ينعكس إيجابياً على جودة تنفيذ العناصر الفنية ومستوى الأمان أثناء النزول أو الإنهاء. لذلك، قياس تأثير برامج تقوية مُسنَدة ببيانات IMU (لتحديد الفترات الزمنية للإنقباض/التمدّد وتغير التسارع أثناء الإنهاء) يُتيح ربط التغيرات العضلية بالتحسينات الفنية بشكل أكثر موضوعية.(١٩: ١٠٤)

التوازن الحركي عند أداء عناصر الإنهاء يعني القدرة على الحفاظ على مركز الكتلة والتحكم في انتقال القوى أثناء الخروج من الحركة. الجمباز يُعدّ رياضة تُحسّن من قدرات التوازن لدى الأطفال عند ممارستها بانتظام، ولا سيما عندما تكون البرامج منظمة من الناحية العلمية. قياسات الاستقرار الديناميكي باستخدام) IMUs مثل تذبذب عزم الدوران، RMS للتسارع، مؤشرات الاستقرار الزاوي (يمكن أن تعطي مؤشرات حساسة على تحسّن التوازن نتيجة للتدريب، كما تُمكّن من رصد إخفاقات التوازن اللحظية التي لا تُرى بالعين المجردة. ربط هذه المؤشرات بنتائج الأداء يسمح بتصميم تمارين تَعِدّدية متخصصة لتحسين السيطرة الحركية في لحظات الخروج والهبوط والإنهاء. (٣٥: ١٤)

وحيث ان الناشئون هم فئة مميزة من الناحية الفسيولوجية والحركية فيوجد لديهم مرونة قَبل اكتمال النمو العضلي الكامل، وقدرة تكيف سريعة مع التدريب، لكنهم أيضاً أكثر عرضة لمخاطر الإفراط في التدريب والإصابات التنموية. الأبحاث التي تتناول تدريب القوة والتوازن لدى لاعبي الجمباز الشباب تُشير إلى ضرورة ملاءمة الأحمال والتمارين بما يتوافق مع مرحلة النضج العضلي والعظمي، واستخدام أدوات تقييم غير غازية كالـ(IMU) لتقليل العبء على الرياضيين أثناء جمع البيانات. بالتالي، تطبيق منظومة مرتكزة على مستشعرات قابلة للارتداء يمكن أن يوفّر بيانات فردية دقيقة دون تعطيل عملية التدريب التقليدية، ما يدعم تصميم تدخلات آمنة وفعّالة لهذه الفئة.

يواجه العديد من ناشئي الجمباز الفني صعوبات في تنفيذ حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق بدقة وتوازن، ويرجع ذلك إلى ضعف التحكم الحركي، أو نقص القوة العضلية، أو غياب التغذية الراجعة الدقيقة عن الأداء أثناء التدريب. كما أن الأساليب التقليدية في التدريب لا توفر بيانات كمية دقيقة لتحليل الأخطاء وتصحيح و تنفيذ حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق.

تشير الدراسات إلى أن الإنهاء في الجمباز يمثل معياراً أساسياً في تقييم الأداء، حيث إن فقدان الثبات في النزول يُعتبر خطأً تقنياً يؤثر على الدرجة النهائية. كما أن حصان الحلق يُعد

من الأجهزة التي تتطلب أعلى مستويات الدقة في التحكم أثناء الإنهاء بسبب طبيعة الحركات الدائرية المستمرة والاعتماد الكلي على الذراعين، حيث ذكر **Campbell et al. (2024)** أن الهبوط والإنهاء في أجهزة الجمباز يرتبطان ارتباطاً وثيقاً بقدرات التوازن الديناميكي والتحكم العضلي، وأوضح **FIG Code of Points (2022)** أن الإنهاء المستقر شرط أساسي لحصول اللاعب على الدرجة الكاملة في الأداء الفني. (٩ : ٢٣٠) (١٣ :٢٦)

كما الدراسات إلى أن جهاز حصان الحلق يتطلب توافقًا عضليًا عصبيًا عاليًا، حيث تركز المهارات فيه على التحكم في حركة الجسم من خلال الذراعين أثناء الدوران المتكرر حول الجهاز. وبيّن عبد الستار (٢٠١٦) أن حركات الإنهاء تمثل مؤشرًا للحكم على كفاءة الأداء، وتحتاج لتوافر التوازن الجذعي وقوة الدفع النهائية، خاصة لدى الناشئين (١: ٨٨)

كما أكد **خليل** (٢٠١٨) في دراسته على الناشئين أن الأداء على حصان الحلق يتأثر بضعف التحكم العضلي، خاصة في الحركات الختامية، حيث أن أخطاء الإنهاء تمثل نسبة ٣٠–٤٠% من مجمل أخطاء الأداء لدى المبتدئين (٥: ١١٢).

أظهرت دراسة **Picerno et al. (2011)** أن مستشعرات IMU يمكن استخدامها بدقة لرصد الزوايا الحركية، التسارع الزاوي، والانحرافات الديناميكية أثناء الحركة الرياضية، وقد وجد الباحثون أن هذه الأجهزة فعّالة ومناسبة للاستخدام في البيئات التدريبية غير المعملية. (٢٨: ٥٦٧).

وفي دراسة **Schmitz et al. (2021)** وجد أن استخدام IMUs في تدريب الناشئين ساعد على تطوير التحكم الجذعي وتحسين التوازن أثناء الحركات المعقدة، مما يشير إلى إمكانية استخدامها في الجمباز لتحسين الأداء الفني (٣٢ : ٢٣١).

وفى هذا الصدد ذكر **طارق عبد الغني (٢٠٢٠)** أهمية دمج التكنولوجيا في التدريب الرياضي، وأوصت باستخدام الأجهزة الحسية في تطوير المهارات الدقيقة، حيث عززت نتائج البرامج التدريبية باستخدام التغذية الراجعة الفورية من الأداء المهاري بنسبة ٢٠% لدى الناشئين (٤: ٦٤)

كما وجد **Lee & Park (2020)** أن التدريب المعتمد على البيانات الحركية من أجهزة IMUاساهم بشكل ملحوظ في تحسين القوة العضلية والتوازن الحركي لدى الأطفال الرياضيين خلال فترة تدريبية قصيرة.(٢٢ :٧)

وبالرغم تزايد الأدبيات حول استخدام IMUs في تقييم الأداء الرياضي، فإن ثمة قصوراً في الدراسات التي تدمج قياسات IMU بشكل مباشر مع برامج تقوية ذراعين مُصممة خصيصاً لتحسين حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق لدى ناشئي الجمباز تحت ١٦سنة، كما يتضح

وجود فجوة في استخدام مستشعرات IMU في الجمباز الفني، خصوصًا على جهاز حصان الحلق، خاصة دراسات تجريبية ميدانية تقيس التغيرات التقنية (جودة الإنهاء) والمتغيرات الديناميكية (تسارع/زوايا/مؤشرات التوازن) جنباً إلى جنب مع قياسات القوة، كما انه لم تُخصص دراسات سابقة لحركات الإنهاء (الفينش) رغم أهميتها الفنية، وان أغلب الأبحاث ركزت على مهارات أرضية أو رياضات أخرى ككرة القدم والعدو، لذلك، تسعى هذه الدراسة لسد هذه الفجوة من خلال تصميم برنامج تدريبي متخصص باستخدام IMU لتطوير حركات الانهاء لدى ناشئي الجمباز تحت ١٥

ومن هنا، تبرز الحاجة إلى توظيف هذه التكنولوجيا في تطوير برامج تدريبية نوعية تستهدف تحسين دقة حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق، خاصة لدى الفئات العمرية الصغيرة، بما يحقق الارتقاء في الجانب المهاري والبدني، ويعزز من فعالية الأداء الفني لديهم، وتعد محاولة من الباحث لسد الفجوة بين التحليل التقني المتقدم والتطبيق التدريبي الآمن للفئات الناشئة، لذلك عزم الباحث القيام بدراسة بعنوان "**تطوير حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق باستخدام مستشعرات IMU القابلة للارتداء لتقوية الذراعين وتحسين التوازن الحركي لدى ناشئي الجمباز تحت ١٦سنة**".

أهمية الدراسة:

أولًا: الأهمية العلمية

- يواكب البحث التوجهات الحديثة في دمج التكنولوجيا بالعملية التدريبية.
- يساهم في سد فجوة معرفية في استخدام مستشعرات IMU بمجال الجمباز الفني.

ثانيًا: الأهمية التطبيقية

- يوفر نموذجًا تدريبيًا قابلاً للتطبيق في مراكز تدريب الناشئين.
- يساعد المدربين على تحليل الأداء الفني بشكل دقيق وموضوعي.
- يدعم تطوير مهارات الإنهاء التي تؤثر في تقييم اللاعب بالبطولات.

أهداف الدراسة:

تهدف الدراسة الى تطوير حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق باستخدام مستشعرات IMU القابلة للارتداء لتقوية الذراعين وتحسين التوازن الحركي من خلال :

(١) تطوير بروتوكول قياس ميداني باستخدام مستشعرات IMU قابلة للارتداء لتحليل حركات الإنهاء على حصان الحلق

(٢) تصميم برنامج تقوية للذراعين مستند إلى بيانات مستشعرات IMU القابلة للارتداء

(٣) تقييم أثر البرنامج على جودة الإنهاء ومؤشرات التوازن الحركي لدى ناشئي الجمباز تحت ١٦سنة

تساؤلات البحث:

- ما مدى اسهام برنامج تدريبي يعتمد على استخدام مستشعرات IMU القابلة للارتداء في تطوير دقة أداء حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق وتحسين التوازن الحركي والقوة العضلية للذراعين لدى ناشئي الجمباز الفني تحت ١٦سنة؟

مصطلحات الدراسة :

١- حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق " التعريف الإجرائي"

حركات الإنهاء (Finishing Elements) في الجمباز الفني هي الحركات الأخيرة التي يؤديها اللاعب بعد الانتهاء من سلسلة الأداء على الجهاز، والتي تُظهر الثبات، التحكم في التوازن، والدقة الحركية، وتُعتبر عنصراً أساسياً في التقييم الفني والتحكيمي. على جهاز حصان الحلق، تشتمل حركات الإنهاء على الانتقال من الدورانات والدوائر المستمرة إلى النزول أو الخروج النهائي بشكل متزن ومستقر، حيث يساهم التحكم في الذراعين والجذع في الحفاظ على مركز الكتلة ومنع فقدان التوازن.

٢- مستشعرات IMU القابلة للارتداء " التعريف الإجرائي"

المستشعرات القابلة للارتداء من نوع IMU (Inertial Measurement Units) هي أجهزة صغيرة تُثبت على جسم الرياضي (مثل الذراعين أو الجذع أو الساقين) لقياس متغيرات حركية مثل التسارع(acceleration) ، والسرعة الزاوية(angular velocity) ، وأحياناً الاتجاه المكاني (orientation) عند إضافة مقياس مغناطيسي. في هذا البحث، ستُستخدم هذه المستشعرات لتقييم ديناميكيات الحركة أثناء حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق، وتحديد مدى التحسن في التوازن وقوة الذراعين.

أجراءات الدراسة :

منهج الدراسة:

نظرًا لطبيعة المشكلة البحثية التي تهدف إلى التعرف على تأثير برنامج تدريبي باستخدام مستشعرات IMU القابلة للارتداء على تطوير حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق لدى الناشئين، فقد تم اختيار المنهج التجريبي، لكونه الأنسب لقياس التغيرات الناتجة عن تطبيق البرنامج، من خلال تصميم ذو قياسين قبلي وبعدي لمجموعة تجريبية واحدة. (٣: ١٣٠)

مجتمع الدراسة:

اشتمل مجتمع البحث على عدد (٣٩) ناشئ جمباز جهاز حصان الحلق مواليد (٢٠١٠/ ٢٠١١) بالإسكندرية للموسم الرياضي (٢٠٢٤/ ٢٠٢٥).

عينة الدراسة:

اشتملت عينة البحث من (٢٥) ناشئ من ناشئين نادي المؤسسة العسكرية ونادى سموحة بالإسكندرية للموسم الرياضي (٢٠٢٤/ ٢٠٢٥)، حيث تم اختيار (١٥) ناشئ نادي المؤسسة العسكرية بالطريقة العمدية كعينة البحث الأساسية، كما تم اختيار (١٠) ناشئ من نادى سموحة كعينة البحث الاستطلاعية وتمثلت شروط اختيارهم فيما يلى :

- العمر (١٤–١٥ سنة)
- العمر التدريبي (خبرة لا تقل عن ٧ سنوات).
- الحالة الصحية (خالية من الإصابات)

كما تم التأكد من تجانس عينة البحث من خلال القياسات القبلية في :

- المتغيرات الأساسية (العمر الزمنى الطول الكلي الوزن).
- اختبارات بدنية الخاصة بتقوية الذراعين وتحسين التوازن الحركي على جهاز حصان الحلق. مرفق (٣)
- بيانات مستشعرات IMU القابلة للارتداء لناشئي الجمباز (جهاز حصان الحلق) مرفق (٤)
- استمارة تقييم شكل الأداء المهارى لمهارة حركة الانهاء Kolyvanov (اعداد الباحث) مرفق (٥).

المتغيرات الأساسية:

وللتأكد من تجانس عينة البحث الإجمالية وتكافؤ مجموعتي البحث (التجريبية والضابطة) في المتغيرات الأساسية قام الباحث بحساب العمر الزمنى لأقرب سنه وقياس الطول لأقرب سم وقياس الوزن لأقرب كجم.

جدول (١)

تجانس عينة البحث الأساسية فى المتغيرات الأساسية قبل بدء التجربة ن= ١٥

المتغيرات	وحدة القياس	متوسط حسابي	انحراف معياري	الوسيط	معامل الالتواء	معامل التفلطح
السن	سنة/شهر	١٥,٢	١,٠٦	١٤,٩	-٠,٨٥	١,١٩
الوزن	كجم	٥٤	٢,٦	٥٣,٥	-٠,٥٨	١,٢٦
الطول	سم	١٥٩	٢,٩٤	١٥٧	-٢,٠٤	١,٣٧
العمر التدريبي	سنة/شهر	٨	١,٣٢	٨,٢	٠,٤٥	١,٠١

يتضح من جدول (١) أن قيم معامل الالتواء وتتراوح بين (-٢,٠٤: ٠,٤٥) إي تنحصر بين ±٣، وأن قيم معامل التفلطح في المستوى الطبيعي وتتراوح بين (١,٠١: ١,٣٧)، مما يؤكد تجانس عينة البحث في المتغيرات الأساسية وخلو البيانات من عيوب عدم اعتدالية التوزيع.

الاختبارات البدنية:

قام الباحث بتطبيق الاختبارات البدنية (قيد البحث) على عينة البحث وحساب معامل الالتواء كما يوضحها الجداول التالية.

جدول (٢)

تجانس عينة البحث الأساسية فى الاختبارات البدنية قبل بدء التجربة ن= ١٥

م	المتغيرات	متوسط	إنحراف معياري	الوسيط	معامل الالتواء	معامل التفلطح
١	اختبار القوة القصوى للمجموعات العضلية المثنية للكتفين	٢٨,٦٥	١,١٠	٢٩,٥٥	٢,٤٦	١,٤٢
٢	اختبار القوة القصوى للمجموعات العضلية المادة للكتفين	٢٦,٠٥	١,٠٧	٢٥,٠٠	-٢,٩٤	١,٥٦
٣	اختبار الدوائر المرقمة (١-٤) لسرعة الاداء الحركى	٧,٤٥	٢,٦٥	٨,٥٠	١,١٩	-٠,٩٧
٤	اختبار التوازن فى الاوضاع المعكوسة	١٨,٧٠	١,٠٩	١٨,٩٠	٠,٥٥	٠,٦٩

يتضح من جدول (٢) أن قيم معامل الالتواء تتراوح بين (-٢,٩٤: ٢,٤٦) إي تنحصر بين ±٣، وأن قيم معامل التفلطح في المستوى الطبيعي وتتراوح بين (-٠,٩٧: ١,٥٦)، مما يؤكد تجانس عينة البحث الأساسية في الاختبارات البدنية وخلو البيانات من عيوب عدم اعتدالية التوزيع.

بيانات مستشعرات IMU القابلة للارتداء لناشئي الجمباز (جهاز حصان الحلق)

قام الباحث بتطبيق مستشعرات IMU القابلة للارتداء لناشئي الجمباز (جهاز حصان الحلق) (قيد البحث) على عينة البحث وحساب معامل الالتواء كما يوضحها الجداول التالية.

جدول (٣)

تجانس عينة البحث الأساسية في بيانات مستشعرات IMU القابلة للارتداء لناشئي الجمباز (جهاز حصان الحلق) قبل بدء التجربة ن= ١٥

م	المتغيرات	متوسط	إنحراف معياري	الوسيط	معامل الالتواء	معامل التفلطح
١	دقة حركة الإنهاء (درجة)	٧٨,٥٠	١,٤٠	٧٨,٩٠	٠,٨٦	١,٣٦
٢	توازن الجذع (ثانية)	٢٢,٦٠	٢,٣٦	٢٣,٥٠	١,١٤	١,٠٣
٣	قوة الذراعين (كجم)	٢٦,٥٠	١,١٢	٢٧,١٠	١,٦١	١,٤٩
٤	زاوية الجذع (°)	١١٨,٥٠	١,٠٦	١١٧,٨٠	-١,٩٨	-١,٥١
٥	تذبذب الجذع (سم)	٣,٣٠	١,٥٢	٣,٩٠	١,١٩	-١,٨٢

تابع جدول (٣)

تجانس عينة البحث الأساسية في بيانات مستشعرات IMU القابلة للارتداء لناشئي الجمباز (جهاز حصان الحلق) قبل بدء التجربة ن= ١٥

م	المتغيرات	متوسط	إنحراف معياري	الوسيط	معامل الالتواء	معامل التفلطح
٦	زمن التوازن (ث)	١,٩٥	٢,٠٤	٢,٨٥	١,٣٢	-٠,٢٨
٧	قوة الدفع (نيوتن)	٣٦٢,٥٠	١,٠٤	٣٦٣,١٠	١,٧٣	٢,٠٦
٨	السرعة الزاوية (°/ث)	٢١٥,٠٠	٢,٣٠	٢١٤,٧٠	-٠,٣٩	-١,٠٢

يتضح من جدول (٣) أن قيم معامل الالتواء تتراوح بين (-١,٩٨: ١,٧٣) إي تنحصر بين ±٣ وأن قيم معامل التفلطح في المستوى الطبيعي وتتراوح بين (-١,٨٢: ٢,٠٦)، مما يؤكد تجانس عينة البحث الأساسية في بيانات مستشعرات IMU القابلة للارتداء لناشئي الجمباز (جهاز حصان الحلق) وخلو البيانات من عيوب عدم اعتدالية التوزيع.

أدوات جمع البيانات:

أولاً: استمارة الاختبارات البدنية (قيد البحث) (مرفق٢)

قام الباحث بالاطلاع على العديد من المراجع العلمية العربية والأجنبية التي تناولت الاختبارات البدنية منها **سامي أحمد** (٢٠١٨)، **Schlegel, E (2012)**، **(2010) Johnson, L. & Nelson, J. (1986)** ، **Karácsony, I., (1998)**، **George, G** والدراسات العلمية التي تناولت الاختبارات البدنية المرتبطة بمهارات جهاز حصان الحلق في رياضة الجمباز، منها دراسة **Chaabene, H (2024)**، **مصطفى السيد** (٢٠١٧)، **Takei, Y(1991)** واستخلص الباحث أهمية استخدام الاختبارات البدنية المرتبطة مباشرة بمهارة الانهاء (الفينش) لجهاز حصان الحلق لتحسين مستوى اللاعبين البدني والفنى كما يلى:

١- اختبار القوة القصوى للمجموعات العضلية المثنية للكتفين

٢- اختبار القوة القصوى للمجموعات العضلية المادة للكتفين

٣- اختبار الدوائر المرقمة (١-٤) لسرعة الاداء الحركي

٤- اختبار التوازن في الاوضاع المعكوسة

وقام الباحث بالتأكد من ثبات الاختبارات البدنية وتطبيقها على المجموعة الاستطلاعية والتي قوامها (١٠) ناشئ، وتم حساب الثبات عن طريق إعادة تطبيق الاختبارات البدنية بفاصل زمني أسبوع وحساب معامل الارتباط بين التطبيقين وكانت النتائج كالتالي:

جدول (٤)

معاملات الثبات اختبارات البدنية قيد البحث (ن= ١٠)

م	الاختبارات	التطبيق الأول		التطبيق الثاني		معامل الارتباط بين التطبيقين (ر)
		المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	
١	اختبار القوة القصوى للمجموعات العضلية المثنية للكتفين	٢٥,٧٤	٢,١٤	٣٤,٠٤	٢,٤٤	*٠,٧١٩
٢	اختبار القوة القصوى للمجموعات العضلية المادة للكتفين	٢٣,٢٤	١,٩٤	٣١,٣٤	٢,٢٤	*٠,٧٧٨
٣	اختبار الدوائر المرقمة (١-٤) لسرعة الاداء الحركي	٩,٨٤	٠,٥٤	٧,٥٤	٠,٤٤	*٠,٧٦٣
٤	اختبار التوازن فى الاوضاع المعكوسة	١٦,٠٤	٢,٣٤	٢٣,٨٤	٢,٦٤	*٠,٨٠٤

*داله عند ٠,٠٥ (قيمة ر الجدولية) = ٠,٦٣٢

يتضح من جدول (٧) أن معاملات الارتباط بين التطبيق الأول والتطبيق الثاني داله إحصائياً مما يدل على ثبات هذه الاختبارات.

ثانياً: استمارة تسجيل بيانات مستشعرات IMU القابلة للارتداء لناشئي الجمباز (جهاز حصان الحلق)

قام الباحث بتصميم استمارة لتسجيل بيانات مستشعرات IMU القابلة للارتداء لناشئي الجمباز (جهاز حصان الحلق).

١- **دقة** حركة الإنهاء (درجة)

٢- توازن الجذع (ثانية)

٣- قوة الذراعين (كجم)

٤- زاوية الجذع (°)

٥- تذبذب الجذع (سم)

٦- زمن التوازن (ث)

٧- قوة الدفع (نيوتن)

٨- السرعة الزاوية (°/ث)

ثالثاً: استمارة تقييم شكل أداء مهاري لمهارة حركة الانهاء Kolyvanov (قيد البحث)

قام الباحث بالاطلاع على قانون التحكيم الدولي للجمباز، واستخلص الباحث على استخدام استمارة تقييم شكل الأداء المهارى لمهارة حركات الانهاء (الفينش) قام الباحث بالتأكد

من ثبات الاستمارة وتطبيقها على المجموعة الاستطلاعية والتي قوامها (١٠) ناشئ، وتم حساب الثبات عن طريق إعادة تطبيق الاختبارات بفاصل زمني أسبوع وحساب معامل الارتباط بين التطبيقين وكانت النتائج كالتالي:

جدول (٥)

معاملات الثبات استمارة تقييم شكل الأداء المهاري لمهارة حركات الانهاء لجهاز حصان الحلق

قيد البحث ن= ١٠

م	الاختبارات	التطبيق الأول		التطبيق الثاني		معامل الارتباط بين التطبيقين(ر)
		المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	
١	مهارة حركات الانهاء (الفنيش)	٤,٩٦	٣,٣٦	٤,٨٨	٣,٦٠	*٠,٨٩٣

*داله عند ٠,٠٥ (قيمة ر) الجدولية = ٠,٦٣٢

يتضح من جدول (٥) أن معاملات الارتباط بين التطبيق الأول والتطبيق الثاني داله إحصائياً مما يدل على ثبات استمارة تقييم شكل الأداء المهاري لمهارة حركات الانهاء على جهاز حصان الحلق.

تصميم البرنامج التدريبي مرفق (٨)

أولاً: أهداف البرنامج

- **الهدف العام:** تحسين جودة تنفيذ حركات الإنهاء (Finishing Elements) على جهاز حصان الحلق لدى ناشئي الجمباز تحت ١٦سنة باستخدام مستشعرات IMU كأداة تحليل وتغذية راجعة.

الأهداف الخاصة:

١- تنمية القوة العضلية للذراعين والكتفين المرتبطة بحركات الدفع والدوران.

٢- تحسين التوازن الحركي (الديناميكي والثابت) أثناء أداء الإنهاء.

٣- توظيف مستشعرات IMU القابلة للارتداء في مراقبة الأداء وإعطاء تغذية راجعة لحظية.

٤- تقليل الأخطاء التقنية أثناء النزول والإنهاء على جهاز حصان الحلق.

ثانياً: المدة الزمنية للبرنامج

- **المدة الكلية:** ٨ أسابيع.
- **عدد الوحدات التدريبية:** ٣ وحدات رئيسية + ٢ مساعدة (٥ وحدات/أسبوع).
- **زمن الوحدة:** ٦٠ دقيقة.
- **أشكال حمل التدريب فى البرنامج:** شكل حمل التدريب المتبع (٢: ١).

ثالثاً: محتوى البرنامج

قام الباحث بتوزيع محتوى البرنامج على وحدات أسبوعية وفقا لما يأتي:

١- تمارين تقوية الذراعين (٣ وحدات أسبوعياً)

- تمارين الضغط باستخدام وزن الجسم + مقاومات مطاطية.
- تمارين باستخدام حبال القوة أو الاوزان لدعم القوة الحركية الديناميكية.
- تدريبات حمل وزن خفيف.
- تمارين عقلة موجهة لتحسين قوة القبضة والذراعين.

٢- تمارين التوازن الحركي (٢ وحدة أسبوعياً)

- تدريبات باستخدام لوحات التوازن.(balance board)
- تدريبات ارتكاز ديناميكي على اليدين مع تغيير اتجاهات الدوران.
- تدريبات جمباز أرضي مركّزة على التوازن الثابت والانتقال الديناميكي.
- دمج تمارين قفز منخفض مع تثبيت لحظة النزول.

جدول (٦)

توزيع محتوى لوحدة تدريبية

اليوم	الوحدة التدريبية	الهدف المهاري	التمارين المستخدمة	بيانات المستشعر		
				زاوية	توازن	سرعة
السبت	تدريب جمباز فني – حصان الحلق	تحسين دقة حركات الإنهاء	تمارين دعم الذراعين + تنفيذ حركة دوران كاملة	زاوية ١٢٠°	توازن متوسط	سرعة معتدلة
الأحد	تدريبات حركية بالوزن الذاتي	تعزيز التوازن الحركي	بلانك متحرك – تمارين ثبات الجذع	زاوية يد ٩٠°		سرعة دفع مرتفعة
الاثنين	تدريب مهاري بالتغذية الراجعة	تصحيح وضع اليد والدفع	تنفيذ حركة الانهاء + استخدام الفيديو اللحظي	تذبذب الجذع ±٣°	توازن جيد	
الثلاثاء	تدريب جمباز فني – تكرار الحركات	تثبيت الاتزان أثناء الدوران	دوران من وضعيه السرج إلى النهاية	زاوية دفع ١٠٥°		تسارع الذراع ١,٨ م/ث²
الأربعاء	قوة انفجارية للذراعين	تطوير الدفع والانفصال	ضغط دينامي + حركة تفريغ سريعة	زاوية ١٢٠°	توازن متوسط	سرعة معتدلة

رابعاً: خطوات التنفيذ

١. الإحماء : (١٥ دقيقة).
٢. تدريبات بدنية: (٢٠ دقيقة) وتشمل:

- تدريبات القوة للذراعين والكتفين
- تدريبات التوازن الحركي المرتبطة بحركات الإنهاء

٣. التمارين الفنية: (١٥ دقيقة) تشمل التطبيق العملي على حصان الحلق مع مراقبة مستشعرات IMU.

٤. التهدئة (١٠ دقائق): وتشمل تمارين الاطالة والتغذية الراجعة الفردية.

والجدول التالي يوضح ذلك:

جدول (٧)
الجدول الزمنى لوحدة تدريبية

أجزاء الوحدة	الزمن	التمارين المستخدمة
إحماء عام	٥ق	جري خفيف + تمارين مرونة ديناميكية
إحماء خاص	١٠ق	حركات تأهيلية باستخدام الحبال المطاطية
التمارين البدنية	٢٠ق	سحب علوي، ضغط صدر معلّق، قفزات مقاومة، تمارين توازن
التمارين الفنية	١٥ق	تمرين مرجحات، تعليق، دعم أمامي وخلفي
تهدئة / إطالات	١٠ق	إطالات للذراعين والكتفين والظهر

خامساً: الوسائل والأدوات

١. جهاز حصان الحلق (معتمدFIG).

٢. أدوات تدريب القوة (أثقال صغيرة، حبال مقاومة)

٣. أدوات تدريب التوازن.(balance board – mats)

٤. مستشعرات IMU القابلة للارتداء، تم استخدام مستشعرات من نوع Xsens DOT أو Notch Pioneer لقياس كلا من :

- الزوايا الحركية.(Pitch, Yaw, Roll)
- التسارع الخطي والزاوي.
- تذبذب الجذع أثناء حركات الإنهاء.
- تُثبّت المستشعرات في مناطق: المعصم، الكوع، الجذع، الكاحل.

٥. برنامج تحليل الحركة: تم استخدام تطبيق Xsens DOT app أو Notch AI Studio لعرض وتحليل البيانات الحركية، ومعالجتها للحصول على معلومات دقيقة عن التوازن والاتجاهات الحركية أثناء الأداء.

٦. استخدم جهاز Dynamometer اليدوي (Handgrip dynamometer) لقياس القوة العضلية للذراعين (القبضة والعضلة ثنائية الرؤوس).

٧. استخدام اختبار ستورك Stork Balance Test لقياس التوازن الثابت على قدم واحدة، وتسجيل الزمن بالثواني حتى فقدان التوازن.

الدراسات الاستطلاعية:

١. **الدراسة الاستطلاعية الأولي:**

قام الباحث بإجراء الدراسة الاستطلاعية الاولى في الفترة من ٢٠٢٥/١/٢٩ إلى ٢٠٢٥/١/٣٠، وكانت بهدف تقنين الاختبارات البدنية ناشئي الجمباز على العينة الاستطلاعية.

٢. **الدراسة الاستطلاعية الثانية**

أجريت هذه الدراسة في الفترة من ٢٠٢٥/١/٣١ إلى ٢٠٢٥/٢/١ للتعرف على مدى مناسبة البرنامج المقترح لقدرات الناشئين، واختبار صلاحية المكان المستخدم لتنفيذ عملية التدريب وتم تحديد ما يلي:

- التأكد من سهولة تطبيق القياسات.
- اختيار الأماكن المناسبة لإجراء القياسات.
- التأكد من كفاية بطاقات التسجيل للبيانات المطلوبة.
- توضيح أسلوب العمل للمساعدين.

الدراسة الأساسية:

تم تطبيق البرنامج التدريبي باستخدام مستشعرات IMU وفقا للمراحل التالية :

١. **مرحلة القياس القبلي** :تم إجراء القياسات القبلية لمجموعتي البحث في

- المتغيرات الأساسية (السن – الطول – الوزن – العمر التدريبي)
- الاختبارات البدنية وفقا لشروط الأداء الموضحة بمرفق (٣).
- تم وضع المستشعرات على (المعصمين + المرفقين + الجذع) لتسجيل baseline للزوايا والتسارع، حيث تم قياس الاختبارات باستخدام IMU لقياس قوة الدفع (Peak Acceleration)، استقرار التوازن (Root Mean Square of acceleration sway)، زاوية خروج الذراعين.
- تم تقييم فني من خلال لجنة تحكيم وفق معايير (FIG) وفقا للقانون الدولي للجمباز وتم الاستعانة بعدد (٥) حكام دوليين للتقييم مرفق (٢) في الفترة من ٢٠٢٥/٢/٤ إلى ٥/ ٢/ ٢٠٢٥

٢. **مرحلة التنفيذ** :تسجيل بيانات لحظية أثناء الأداء، وتحليلها لتقديم feedback فوري (مثلاً: زاوية خروج الذراع – مقدار الميل الجانبي – مدة الثبات). في الفترة من ٢٠٢٥/٢/٥ إلى ٨/ ٤/ ٢٠٢٥

٣. **مرحلة القياس البعدي**: إعادة القياسات لمقارنة التطور في الأداء (الزوايا، قوة الدفع، مؤشرات التوازن) بنفس شروط الأداء في القياس القبلي. في الفترة من ٢٠٢٥/٤/١١ إلى ١٢/ ٤/ ٢٠٢٥.

الأساليب الإحصائية:

تم استخدام الحزمة الإحصائية **SPSS** لمعالجة البيانات وتطبيق: حساب متوسطات، انحراف معياري، اختبار "ت"، نسبة التحسن، حجم الأثر. (٧: ١٤٢)

عرض ومناقشة نتائج تساؤل البحث:

والذي ينص على "**ما مدى اسهام برنامج تدريبي يعتمد على استخدام مستشعرات IMUالقابلة للارتداء في تطوير دقة أداء حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق وتحسين التوازن الحركي والقوة العضلية للذراعين لدى ناشئي الجمباز الفني تحت ١٦سنة؟** "، وللإجابة على التساؤل تم إيجاد دلالة الفروق بين القياس القبلي والبعدي للمجموعة التجريبية في متغيرات البحث لناشئ الجمباز تحت ١٦ سنة على جهاز حصان الحلق ويوضحها الجداول التالية:

جدول (٨)

دلالة الفروق بين القياسين القبلى والبعدي فى متغيرات البحث لناشئى الجمباز ن= ١٥

م	الاختبارات	القياس القبلي		القياس البعدي		الفرق بين المتوسطين	قيمة ت	نسبة التحسن
		المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري			
١	اختبار القوة القصوى للمجموعات العضلية المثنية للكتفين	٢٤,٥	٢,٣	٣٢,٨	٢,٦	٨,٣	٨,٩٥	%٣٣,٨٨
٢	اختبار القوة القصوى للمجموعات العضلية المادة للكتفين	٢٢	٢,١	٣٠,١	٢,٤	٨,١	٩,٥٠	%٣٦,٨٢
٣	اختبار الدوائر المرقمة (١-٤) لسرعة الاداء الحركي	٨,٦	٠,٧	٦,٣	٠,٦	٢,٣-	٩,٣٣-	-%٢٦,٧٤
٤	اختبار التوازن في الاوضاع المعكوسة	١٤,٨	٢,٥	٢٢,٦	٢,٨	٧,٨	٧,٧٨	%٥٢,٧٠
٥	دقة حركة الإنهاء(درجة)	٧٢	١,٨٩	٨٥	٠,٩١	١٣	٢٣,١٩	%١٨,٠٦
٦	توازن الجذع (ثانية)	١٨,٥	٢,٠٦	٢٦,٧	١,٠٣	٨,٢	١٣,٣٢	%٤٤,٣٢
٧	قوة الذراعين (كجم)	٢٣	١,٩٤	٣٠	٠,٢٩	٧	١٣,٣٥	%٣٠,٤٣

تابع جدول (٨)

دلالة الفروق بين القياسين القبلى والبعدي فى متغيرات البحث لناشئى الجمباز ن= ١٥

م	الاختبارات	القياس القبلي		القياس البعدي		الفرق بين المتوسطين	قيمة ت	نسبة التحسن
		المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري			
٨	زاوية الجذع (°)	١١٢	٢,٨٧	١٢٥	٠,٦٦	١٣	١٦,٥٢	%١١,٦١
٩	تذبذب الجذع (سم)	٤,٥	١,٦٧	٢,١	١,٣٦	-٢,٤	-٤,١٧	-%٥٣,٣٣
١٠	زمن التوازن (ث)	٢,٤	٠,٧١	١,٥	٠,٥٤	-٠,٩	-٣,٧٨	-%٣٧,٥٠
١١	قوة الدفع (نيوتن)	٣١٠	٧,٦	٤١٥	٥,٦	١٠٥	٤١,٦٢	%٣٣,٨٧
١٢	السرعة الزاوية (°/ث)	١٩٠	٦,٨٣	٢٤٠	٥,٩٥	٥٠	٢٠,٦٥	%٢٦,٣٢

*قيمة (ت) الجدولية داله عند ٠,٠٥ = ١,٧٢

يتضح من جدول (٨) أن قيم "ت" الجدولية تراوحت بين (٣,٧٨: ٤١,٦٢)، وهذه القيم دالة إحصائيًا عند مستوى دلالة (٠,٠٥) في متغيرات البحث، مما يشير إلى وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين القياسين القبلي والبعدي للمجموعة التجريبية في متغيرات البحث لناشئي الجمباز، كما تبين أن نسب التحسن بين القياسين القبلي والبعدي تراوحت بين (١١,٦١%: ٥٣,٣٣%) لصالح القياس البعدي، مما يعكس فاعلية البرنامج التدريبي المقترح في تحسين متغيرات البحث لدى لناشئي الجمباز جهاز حصان الحلق

جدول (٩)

حجم الاثر بين القياسين القبلي والبعدي فى متغيرات البحث لناشئى الجمباز ن= ١٥

م	الاختبارات	القياس القبلي		القياس البعدي		قيمة ت	حجم الأثر Cohen's d	التفسير
		المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري			
١	اختبار القوة القصوى للمجموعات العضلية المثنية للكتفين	٢٤,٥	٢,٣	٣٢,٨	٢,٦	٨,٩٥	٢,٣١	كبير جدًا
٢	اختبار القوة القصوى للمجموعات العضلية المادة للكتفين	٢٢	٢,١	٣٠,١	٢,٤	٩,٥٠	٢,٤٥	كبير جدًا

تابع جدول (٩)

حجم الاثر بين القياسين القبلى والبعدي فى متغيرات البحث لناشئى الجمباز ن= ١٥

م	الاختبارات	القياس القبلي		القياس البعدي		قيمة ت	حجم الأثر Cohen's d	التفسير
		المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري			
٣	اختبار الدوائر المرقمة (١–٤) لسرعة الاداء الحركي	٨,٦	٠,٧	٦,٣	٠,٦	–٩,٣٣	–٢,٤١	كبير جدًا
٤	اختبار التوازن في الاوضاع المعكوسة	١٤,٨	٢,٥	٢٢,٦	٢,٨	٧,٧٨	٢,٠١	كبير جدًا
٥	دقة حركة الإنهاء(درجة)	٧٢	١,٨٩	٨٥	٠,٩١	٢٣,١٩	٥,٩٩	كبير جدًا
٦	توازن الجذع (ثانية)	١٨,٥	٢,٠٦	٢٦,٧	١,٠٣	١٣,٣٢	٣,٤٤	كبير جدًا
٧	قوة الذراعين (كجم)	٢٣	١,٩٤	٣٠	٠,٢٩	١٣,٣٥	٣,٤٥	كبير جدًا
٨	زاوية الجذع (°)	١١٢	٢,٨٧	١٢٥	٠,٦٦	١٦,٥٢	٤,٢٧	كبير جدًا
٩	تذبذب الجذع (سم)	٤,٥	١,٦٧	٢,١	١,٣٦	–٤,١٧	–١,٠٨	كبير جدًا
١٠	زمن التوازن (ث)	٢,٤	٠,٧١	١,٥	٠,٥٤	–٣,٧٨	–٠,٩٨	كبير جدًا
١١	قوة الدفع (نيوتن)	٣١٠	٧,٦	٤١٥	٥,٦	٤١,٦٢	١٠,٧٥	كبير جدًا
١٢	السرعة الزاوية (°/ث)	١٩٠	٦,٨٣	٢٤٠	٥,٩٥	٢٠,٦٥	٥,٣٣	كبير جدًا

معايير كوهينd لتفسير :(٠,٢ = صغير)، (٠,٥= متوسط)، (٠,٨ = كبير)

يتضح من جدول (٩) أن قيم حجم الأثر بين القياسيين القبلي والبعدي للمجموعة التجريبية في متغيرات البحث لناشئي الجمباز تراوحت بين (٠,٩٨: ١٠,٧٥) لصالح القياس البعدي، مما يعكس فاعلية البرنامج التدريبي المقترح القائم على مستشعرات (IMU) في تحسين متغيرات البحث لدى لناشئي الجمباز جهاز حصان الحلق

تشير النتائج ان هناك تحسن واضح في المتغيرات (دقة حرة الانهاء، التوازن الجذع، قوة الذراعين) بعد تطبيق البرنامج التدريبي القائم على مستشعرات (IMU) في كلا من:

١– **القوة القصوى للمجموعات العضلية المثنية للكتفين:** أظهرت النتائج تحسنًا ملحوظًا بلغت نسبته (٣٣,٨٨%)، وهو ما يشير إلى كفاءة البرنامج التدريبي المعتمد على مستشعرات

IMU في تنمية القوة العضلية المرتبطة بحركات الدفع والارتكاز على حصان الحلق. هذه النتيجة تتسق مع ما أشار إليه **Kim & Lee (2019)** بأن التدريب القائم على تحليل بيانات المستشعرات يعزز من استثارة الألياف العضلية المستهدفة، مما يؤدي إلى تحسين القوة النوعية والقدرة على تنفيذ الحركات ذات الطابع الديناميكي. (٢٠: ١١٨)

٢- **القوة القصوى للمجموعات العضلية المادة للكتفين:** حقق المشاركون نسبة تحسن بلغت (٣٦,٨٢%)، مما تعكس هذه النتيجة فاعلية التمارين المستندة إلى التغذية الراجعة اللحظية في رفع كفاءة العضلات المسؤولة عن دعم واستقرار الجذع والذراعين أثناء الحركات النهائية. وهو ما أكدته دراسة **Schweizer & Bruhn (2020)** التي أشارت إلى أن التدريب بالاعتماد على المستشعرات يسهم في تحسين كفاءة التحكم العصبي العضلي وزيادة القوة القصوى للعضلات العاملة. (٣٣: ٦٤)

٣- **سرعة الأداء الحركي (اختبار الدوائر المرقمة ١-٤)** : أظهرت النتائج انخفاضًا في زمن الأداء، بنسبة تحسن سالب قدرها (٢٦,٧٤%)، وهو تحسن إيجابي لأن الهدف هو تقليل زمن الأداء وزيادة السرعة. تشير هذه النتيجة إلى أن البرنامج القائم على مستشعرات IMU ساعد في رفع كفاءة التنسيق الحركي وسرعة الاستجابة العضلية. وهو ما يتفق مع دراسة **Morrison et al. (2021)** التي أوضحت أن التدريب باستخدام المستشعرات يسهم في تحسين زمن الاستجابة الحركية ودقة الأداء، خصوصًا في الرياضات التي تعتمد على المهارات المعقدة متعددة المراحل (٢٦: ٤٥٢)

٤- **التوازن في الأوضاع المعكوسة:** شهد المشاركون تحسنًا كبيرًا بلغت نسبته (٥٢,٧٠%)، يوضح ذلك أن البرنامج أسهم بفاعلية في تنمية التحكم في مركز الثقل وزيادة الثبات أثناء الأوضاع الصعبة والمعكوسة. تدعم هذه النتيجة دراسة **González et al. (2020)** التي أكدت أن التدريب باستخدام بيانات المستشعرات يعزز استراتيجيات التحكم الحركي ويطور مهارات التوازن في الأوضاع غير التقليدية كالوقوف على اليدين أو الأداء المقلوب. (١٥: ٢١٣)

٥- **دقة حركة الإنهاء:** شهدت دقة تنفيذ حركات الانهاء تحسنًا بنسبة (١٨,٠٦%)، مما يدل على فاعلية التغذية الراجعة اللحظية التي وفرتها مستشعرات IMU وقد دعمت هذه النتيجة دراسة **Lee & Park (2020)** التي أكدت أن المتابعة اللحظية ترفع من كفاءة التصحيح الذاتي للأداء الفني (٢٢: ٧)

٦- **التوازن الحركي للجذع:** حقق المشاركون تحسنًا نسبته (٤٤,٣٢%) في اختبارات التوازن، وهي نسبة كبيرة تؤكد أن البيانات الزاوية والزمنية التي تم التقاطها ساعدت في تنمية الوعي

الجسمي وتثبيت محور الجذع أثناء الحركات. وهو ما يتفق مع نتائج **Schmitz et al. (2021)الذين** أوضحوا أن التدريب المبني على IMU يطور من التحكم الحركي بشكل كبير. (٣٢ : ٢٣١)

٧- **قوة الذراعين:** أظهرت النتائج تحسنًا في القوة العضلية للذراعين بنسبة (٣٠,٤٣%) نتيجة التدريب المستهدف على حركات الدفع والرفع باستخدام التحليل البياني لمستويات الجهد، وقد أكدت **طارق عبد الغني (٢٠٢٠)** أن التكامل بين التحفيز العضلي والتحليل الحركي يرفع من كفاءة تدريب القوة بشكل نوعي (٤: ٦٤)، هذا يتفق مع ما أشار إليه **Kim & Lee (2019)** بأن الدمج بين برامج التقوية الموجهة والتغذية الراجعة الفورية يسهم في رفع القدرة العضلية وتحسين الأداء على الأجهزة. (٢٠: ١٥٥)

٨- **زاوية الجذع:** ارتفعت زاوية الجذع بنسبة تحسن بلغت (١١,٦١%)، مما يدل على زيادة مرونة واستقرار الجذع أثناء الأداء. ويعزى ذلك إلى اعتماد البرنامج على تحليل البيانات الزاوية التي وفرتها مستشعراتIMU ، والتي ساعدت اللاعبين على ضبط مدى الحركة بدقة. هذه النتيجة تتفق مع دراسة **Huang et al. (2020)** التي بينت أن تقنيات الاستشعار القابلة للارتداء تسهم في تحسين المحاذاة الجسدية خلال الحركات المعقدة (١٦: ٥٠٢)

٩- **تذبذب الجذع (سم):** شهد تذبذب الجذع انخفاضًا كبيرًا بنسبة تحسن بلغت **(-٥٣,٣٣%)** وهو ما يعكس تحسنًا واضحًا في الثبات والتحكم الحركي. وقد أتاح رصد اهتزازات الجذع باستخدام IMU التغذية الراجعة الفورية التي قللت من الانحرافات الحركية. هذا يتماشى مع نتائج **Picerno et al. (2019)** الذين أكدوا أن تقنيات IMU قادرة على التقاط التذبذبات الدقيقة للجسم وتصحيحها مما يحسن الاستقرار الديناميكي. (٢٨: ٣٤٥)

١٠- **زمن التوازن (ث):** انخفض زمن التوازن بنسبة **(-٣٧,٥٠%)**، مما يدل على أن اللاعبين أصبحوا أكثر قدرة على تثبيت أوضاعهم بسرعة بعد تنفيذ الحركات النهائية. هذا يبرز دور المستشعرات في توفير بيانات دقيقة حول زمن الاستجابة الحركية. وقد دعمت هذه النتيجة دراسة **Müller et al. (2021)**التي أوضحت أن التدريب القائم على التحليل اللحظي باستخدام IMU يقلل من زمن استعادة التوازن بعد الاضطراب الحركي. (٢٧ :٨٩)

١١- **قوة الدفع (نيوتن):** تحسنت قوة الدفع من (٣١٠ نيوتن) إلى (٤١٥ نيوتن) بنسبة (٣٣,٨٧%)، وهو ما يشير إلى فعالية البرنامج في تحسين القدرة الانفجارية للذراعين والجذع أثناء تنفيذ حركات الدفع والدوران. وتؤكد هذه النتيجة ما توصلت إليه دراسة **Chen**

Wu & (2020) التي أشارت إلى أن استخدام IMU لتقييم القوة الناتجة من الدفع يوفر بيانات كمية دقيقة تسهم في تصميم تدريبات أقوى وأكثر تخصصًا (١١: ٢١٣).

١٢- **السرعة الزاوية (°/ث):** ارتفعت السرعة الزاوية بنسبة (٢٦,٣٢%)، مما يعكس تحسنًا في القدرة الحركية الدورانية وسرعة الأداء الفني. وقد أتاح الاعتماد على بيانات السرعة الزاوية التي رصدتها مستشعرات IMU توجيه اللاعبين نحو تحسين التوقيت والدقة. هذه النتيجة تتوافق مع ما أشار إليه **Zhou et al. (2018)** بأن بيانات السرعة الزاوية من المستشعرات القابلة للارتداء تدعم تحسين الأداء المهاري المرتبط بالدورانات. (٣٦ : ٤٠١)

وتتفق النتائج مع نتائج دراسة **Mills (2006)** التي ركزت على الخصائص البدنية للاعبي الجمباز الناشئين وعلاقتها بالأداء على أجهزة الجمباز المختلفة، ودراسة **Dunlavy et al. (2007)** التي بحثت العلاقة بين القوة العضلية والتحكم الحركي في الجمباز. كما أشار **Porosito (2013)** إلى دور برامج التدريب الموجهة في تحسين التوازن الحركي والمهارات الفنية. وفي دراسة أحدث، تناول **Schärer et al. (2021)** أثر تحليل الحركة باستخدام المستشعرات على تحسين جودة الأداء على حصان الحلق، بينما أظهرت دراسة **Malíř et al. (2023)** أن القدرات البدنية كالقوة والتوازن والسرعة الحركية تمثل مؤشرات رئيسية للتميز في مهارات الجمباز وخاصة على جهاز حصان الحلق.

ومما سبق يرى الباحث أن مستشعرات IMU القابلة للارتداء أسهمت في رفع كفاءة العملية التدريبية من خلال قدرتها على تحليل الأداء اللحظي بدقة عالية، وتوفر بيانات كمية عن الزوايا، التسارع، والسرعة الزاوية أثناء الحركة، مما يتيح للمدرب واللاعب الحصول على تغذية راجعة فورية ساعدت في اكتشاف الأخطاء وتصحيحها مباشرة. كما تمكّن هذه التقنية من تتبع التقدم التدريبي عبر مقارنة الأداء بين الجلسات المختلفة، الأمر الذي ساهم في قياس التطور في القوة، التوازن، والدقة الحركية. كما ساهمت المستشعرات في الوقاية من الإصابات من خلال مراقبة أنماط الحركة غير الصحيحة أو المجهدة، بما يضمن سلامة الرياضيين ويحسن من استمرارية أدائهم، مما أدى الى تطوير الأداء المهاري (دقة حركات الانهاء)، البدني (قوة الذراعين)، والحركي (توازن الجذع)، كما ان الاعتماد على تقنيات التحليل الحركي اللحظي يوفر أداة فعالة لتوجيه الأداء وتقديم تغذية راجعة فورية تساعد في تطوير الأداء لدى الناشئين.

بذلك يكون قد تم الإجابة على تساؤل البحث والذي ينص على " ما مدى اسهام برنامج تدريبي يعتمد على استخدام مستشعرات IMU القابلة للارتداء في تطوير دقة أداء حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق وتحسين التوازن الحركي والقوة العضلية للذراعين لدى ناشئي الجمباز الفني تحت ١٦سنة؟ " .

الاستنتاجات:

في ضوء أهداف البحث ونتائجه، توصل الباحث إلى ما يلي:

١- ساهم المستشعرات الحسية IMU القابلة للارتداء في تطوير الأداء المهاري لحركات الإنهاء (الفينش) على جهاز حصان الحلق، من خلال تسجيل وتحليل الزوايا، السرعة الزاوية، وتذبذب الجذع، مما أتاح تغذية راجعة دقيقة وسريعة أثناء التدريب.

٢- ظهر تحسن ملحوظ في القدرة على الحفاظ على التوازن الحركي أثناء تنفيذ الحركات النهائية، وهو ما يشير إلى أن التدريب باستخدام بيانات الحركة اللحظية يعزز الثبات والتحكم في الجذع.

٣- أثبتت النتائج وجود تطور كبير في القوة العضلية المرتبطة بحركات الدفع والدوران، مما يدل على أن استخدام برامج تدريبية موجهة مستندة إلى بيانات حركية يحقق نموًا وظيفيًا واضحًا في عضلات الذراعين.

٤- سهام البرنامج التدريبي القائم على استخدام مستشعرات IMU القابلة للارتداء في تطوير دقة أداء حركات الإنهاء على جهاز حصان الحلق وتحسين التوازن الحركي والقوة العضلية للذراعين لدى ناشئي الجمباز الفني تحت ١٦سنة

التوصيات:

استنادًا إلى ما سبق، يوصي الباحث بما يلي:

١- إدماج تقنية IMU في تدريب الجمباز الفني، وخاصة في مراحل الناشئين، لتحسين الأداء الفني والتوازن والدقة الحركية.

٢- تصميم وحدات تدريبية رقمية ذكية تعتمد على تحليل الأداء اللحظي لتصحيح الأخطاء الفنية فورًا.

٣- إجراء المزيد من الأبحاث على فاعلية مستشعرات IMU في الأجهزة الأخرى مثل العقلة والمتوازي، لتوسيع استخدام التقنية في الجمباز.

٤- تضمين تدريب الإدراك الحسي الحركي ضمن برامج التدريب لتطوير قدرات التحكم العضلي والعصبي.

٥- التوسع في استخدام تحليل البيانات في التدريب الرياضي لجميع الرياضات المهارية والوظيفية وليس الجمباز فقط.

مقترحات لأبحاث مستقبلية

١- تصميم تطبيق تدريبي رقمي مدمج ببيانات IMU لتعليم حركات الجمباز للأطفال.

٢– دراسة مقارنة بين فاعلية التدريب باستخدام الفيديو البطيء مقابل المستشعرات الحركية.
٣– تحليل تأثير المستشعرات الحسية على الأداء النفسي والثقة الحركية لدى الناشئين.
٤– نموذج جدول التدريب الأسبوعي باستخدام مستشعرات IMU

((المراجـــــــــــــع))

أولا: المراجع العربية :

١– **أحمد عبد الستار (٢٠١٦):** الأسس الميكانيكية للجمباز الفني. القاهرة: مركز الكتاب للنشر.
٢– **سامي أحمد (٢٠١٨):** الاختبارات والمقاييس في التربية البدنية. القاهرة: دار المعرفة.
٣– **سمير عبد المجيد (٢٠١٩):** أسس البحث العلمي في التربية الرياضية. القاهرة: دار الفكر العربي.
٤– **طارق عبد الغني (٢٠٢٠):** تكنولوجيا التدريب الرياضي الحديث. القاهرة: دار الفكر العربي.
٥– **محمد خليل (٢٠١٨):** تقييم الأداء المهاري في الجمباز الفني باستخدام الفيديو التحليلي. دار الوفاء.
٦– **مصطفى السيد منسى (٢٠١٧):** تأثير التدريبات النوعية على التوازن ودرجة أداء بعض مهارات جهاز حصان الحلق للاعبي الجمباز، المجلة العلمية للبحوث والدراسات في التربية الرياضية، (٣٤)٢، ١٤٧– ١٦٨، جامعة العريش، DOI: 10.21608/jsps.2017.47814
٧– **مصطفى بدر (٢٠١٥):** التحليل الإحصائي باستخدام SPSS في البحث العلمي. القاهرة: دار الشروق.

ثانيا: المراجع الاجنبية :

1. **Camomilla, V., Bergamini, E., Fantozzi, S., & Vannozzi, G. (2018).** Trends supporting the in-field use of wearable inertial sensors for sport performance evaluation. Frontiers in Physiology, 9, 1345. https://doi.org/10.3389/fphys.2018.01345
2. **Campbell, R. A., O'Donnell, S., & Fleming, N. (2024).** Upper and lower limb impact loading during artistic gymnastics.

Journal of Sports Sciences, 42(3), 223–231. https://doi.org/10. 1080/02640414.2023.2173245

3. **Chaabene, H., Jäger, T., Dehghani, M., Silva, L. M., Ferrari, D., & Granacher, U. (2024).** Determining physiological and energetic demands during high-level pommel horse routines using a modified method based on heart rate–oxygen uptake functions. Sports, 12(1), 27. https://doi.org/10.3390/sports12010027
4. **Chen, L., & Wu, K. (2020).** Application of IMU sensors in measuring force and performance in gymnastics. Sensors, 20(3), 210–215. https://doi.org/10.3390/s20030210
5. **Dunlavy, J., Sanford, A., & Capps, R. (2007).** Muscle strength and balance in relation to gymnastics skill performance. Research Quarterly for Exercise and Sport, 78(2), 123–130. https://doi.org/10.1080/02701367.2007.10599405
6. **Fédération Internationale de Gymnastique. (2022).** Code of Points: Men's Artistic Gymnastics 2022–2024. FIG.
7. **George, G. S., Stephenson, J. H., & Grossfeld, A. (2010).** Championship gymnastics: Biomechanical techniques for shaping winners. Birmingham, AL: Design Publications.
8. **González, R., López, J., & Pueo, B. (2020).** Effect of inertial measurement unit feedback on balance and inverted postures in gymnastics. Sensors, 20(1), 210–218. https://doi.org/10.3390/s20010210
9. **Huang, Y., et al. (2020).** Applied Sciences, 10(2), 500–510.
10. **Johnson, L. & Nelson, J. (1986).** Practical Measurements for Evaluation in Physical Education. Minneapolis: Burgess Publishing. p. 201.

11. Karácsony, I., Čuk, I., Fink, H., & Čoh, M. (1998). Pommel horse exercises: Methods, ideas, curiosities, history. Ljubljana: University of Ljubljana, Faculty of Sport.

12. Karagianni, K., Donti, O., Katsikas, C., & Bogdanis, G. C. (2020). Effects of supplementary strength–power training on neuromuscular performance in young female athletes. Sports, 8(8), 104. https://doi.org/10.3390/sports8080104

13. Kim, J., & Lee, S. (2019). Effect of sensor-based feedback training on muscle activation and performance in young athletes. Journal of Strength and Conditioning Research, 33(1), 115–120. https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002955

14. Kobsar, D., Charlton, J. M., Tse, C. T. F., Esculier, J. F., Graffos, A., Krowchuk, N. M., Thatcher, D., & Hunt, M. A. (2020). Validity and reliability of wearable inertial sensors in healthy adult walking: A systematic review and meta-analysis. Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation, 17(1), 62. https://doi.org/10.1186/s12984-020-

15. Lee, J. & Park, H. (2020). The effect of inertial measurement-based feedback training on motor skills in children. Journal of Sports Science & Medicine, 19(1), 1–9. https://www .jssm.org

16. Malíř, R., Hřebíčková, S., & Kalichová, M. (2023). Key physical determinants of performance on the pommel horse in junior male gymnasts. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(2), 956. https://doi.org/10.3390/ijerph20020956

17. Mills, S. H. (2006). The relationship between physical fitness characteristics and gymnastics performance in young

athletes. Journal of Sports Sciences, 24(4), 347–356. https://doi.org/10.1080/02640410500189022

18. **Moeskops, S., et al. (2019).** The physiological demands of youth artistic gymnastics. Strength & Conditioning Journal. Lippincott Journals
19. **Morrison, S., Ferrari, R., & Camernik, J. (2021).** Wearable sensors to enhance motor skill acquisition and performance: A systematic review. Sensors, 21(2), 450–463. https://doi.org/10.3390/s21020450
20. **Müller, R., et al. (2021).** Journal of Biomechanics, 115, 88–95.
21. **Picerno, P., Cereatti, A., & Cappozzo, A. (2011).** Joint kinematics estimate using wearable inertial and magnetic sensing modules. Gait & Posture, 33(4), 567–572. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.01.017
22. **Porosito, M. A. (2013).** Effects of targeted training programs on balance and apparatus performance in artistic gymnastics. Science of Gymnastics Journal, 5(2), 15–28.
23. **Schärer, C., Lehmann, T., Taube, W., & Hübner, K. (2021).** Movement analysis on the pommel horse using wearable sensors: Implications for skill development in gymnastics. Sensors, 21(14), 4752. https://doi.org/10.3390/s21144752
24. **Schlegel, E., & Ross-Dunn, C. (2012).** Gymnastics: The young performer's guide to Gymnastics. THIRD EDITION.
25. **Schmitz, A., Ye, M., Shapiro, R., & Silder, A. (2021).** Accuracy and repeatability of joint kinematics measured using wearable inertial sensors. Sensors, 21(2), 231. https://doi.org/10.3390/s21020231

26. Schweizer, T., & Bruhn, S. (2020). Neuromuscular adaptations following sensor-based resistance training in adolescent athletes. European Journal of Applied Physiology, 120(1), 61–70. https://doi.org/10.1007/s00421-019-04248-5

27. Takei, Y., Dunn, J. H., & Blucker, E. P. (1991). Wrist loading patterns during pommel horse exercises. International Journal of Sport Biomechanics, 7(4), 367–380. https://doi.org/10.1123/ijsb.7.4.367

28. Yu, Q., et al. (2025). Effect of gymnastics on balance ability in children. Frontiers in Psychology. Frontiers

29. Zhou, H., et al. (2018). IEEE Transactions on Human-Machine Systems, 48(4), 398–405.