تأثير تمارين وقائية باستخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي في تطوير التوازن الحركي والحد من إصابات مفصل الكاحل لدى لاعبي الكرة الطائرة

The Effect of Artificial Intelligence–Based Preventive Exercises on Developing Motor Balance and Reducing Ankle Joint Injuries Among Volleyball Players

م.د علي جواد كاظم
Ali Jawad Kazem
جامعة القادسية / كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة
ali.kadhum@qu.edu.iq

م.م هدى سلوم سلطان
Huda Salloum Sultan
جامعة القادسية / كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة
Huda.sultan@qu.edu.iq

السيد ذو الفقار علي عودة
Dhulfiqar Ali Auda
جامعة القادسية / رئاسة الجامعة
spo21.post8@qu.edu.iq

ملخص البحث

يهدف هذا البحث إلى بيان أثر التمارين الوقائية المدعومة ببرمجيات الذكاء الاصطناعي في تطوير التوازن الثباتي والديناميكي والحد إصابات مفصل الكاحل لدى لاعبي الكرة الطائرة. اعتمد البحث على المنهج التجريبي بتصميم قبلي–بعدي لمجموعة واحدة، شملت عدداً من اللاعبين الذين يعانون ضعفاً في التوازن الحركي أو لديهم تاريخ سابق مع إصابات مفصل الكاحل. وتم تنفيذ برنامج تأهيلي متكامل بالاعتماد على التحليل الحركي والتغذية الراجعة الفورية التي توفرها البرمجيات الذكية. أظهرت النتائج تحسناً كبيراً في مؤشرات التوازن الحركي وانخفاضاً ملحوظاً في تكرار الإصابات. ويستنتج البحث أن دمج الذكاء الاصطناعي في التأهيل الرياضي يمثل أسلوباً فعّالاً يسهم في تطوير استراتيجيات علاجية ووقائية أكثر دقة وفاعلية.

الكلمات المفتاحية (تمارين وقائية،الذكاء الاصطناعي،التوازن الحركي،اصابات مفصل الكاحل، الكرة الطائرة)

Abstract

This study aims to examine the effectiveness of preventive exercises supported by artificial intelligence software in improving both static and dynamic balance and reducing ankle joint injuries among volleyball players. The research employed an experimental method using a single–group pre–post design, involving athletes who demonstrated deficits in motor balance or had a previous history of ankle injuries. A comprehensive rehabilitation program was implemented based on motion analysis and real–time feedback provided by intelligent software. The results showed substantial improvements in motor balance indicators and a notable reduction in the frequency of ankle injuries. The study concludes that integrating artificial intelligence into sports rehabilitation represents an effective approach that contributes to developing more precise and efficient therapeutic and preventive strategies.

Keywords: (preventive exercises, artificial intelligence, motor balance, ankle joint injuries, volleyball)

١- التعريف بالبحث

١-١ مقدمة البحث وأهميته

تُعَدّ إصابات الكاحل من أكثر الإصابات شيوعًا بين لاعبي الكرة الطائرة، نظرًا لطبيعة المهارات التي تعتمد بشكل كبير على القفز والهبوط والتغيّر السريع في الاتجاه والتحرك داخل مساحة لعب صغيرة، وهو ما يؤدي غالبًا إلى انخفاض مستوى الأداء البدني والمهاري وزيادة فترات الغياب عن التدريب والمنافسات، مما ينعكس سلبًا على استمرارية التطور الرياضي للاعبين. وقد شهدت السنوات الأخيرة توجهًا متزايدًا نحو اعتماد برامج التأهيل الحديثة على تقنيات الذكاء الاصطناعي، إذ باتت هذه التقنيات أداة فعّالة في مراقبة الحركة وتحليل الأخطاء وتصحيح ميكانيكية الأداء أثناء تنفيذ التمارين التأهيلية، حيث تسهم برمجيات الذكاء الاصطناعي في تقديم تغذية راجعة لحظية دقيقة تمكّن المدرب أو المعالج من تحديد مواطن الخلل وتعديل وضعيات الجسم وتعزيز فعالية التمارين الخاصة باستعادة التوازن والقوة، إضافة إلى قدرتها على بناء خطط تأهيلية مخصصة تتوافق مع حالة كل لاعب من خلال تحليل البيانات الحركية والعضلية باستخدام تقنيات الرؤية الحاسوبية والتعلم العميق. ويُعد تحسين التوازن مؤشرًا أساسيًا لنجاح التعافي من إصابات الكاحل، لما له من ارتباط مباشر بالسيطرة الحركية ودقة الإحساس بالمفصل والحد من احتمالية تكرار الإصابة، ومن هنا تبرز أهمية هذا البحث في تقديم برنامج تأهيلي حديث يوظّف الذكاء الاصطناعي لتحسين التوازن وتقليل معدّل إصابات الكاحل لدى لاعبي الكرة الطائرة، كما أنه يرفد المدربين والمعالجين الرياضيين بمعلومات عملية حول كيفية استخدام البرمجيات الذكية في مراقبة الأداء، ويبرز دور التغذية الراجعة الفورية التي توفرها الخوارزميات في تصحيح الحركة وتحسين ميكانيكية مفصل الكاحل، إضافةً إلى توفير دليل علمي يمكن الاعتماد عليه في إعداد برامج وقائية تهدف للحد من الإصابات الشائعة، وتعزيز المعرفة العربية في مجال توظيف الذكاء الاصطناعي بالتأهيل الرياضي وهو مجال حديث وقليل الدراسات.

١-٢ مشكلة البحث

تعد إصابات الكاحل من أكثر الإصابات شيوعًا بين لاعبي الكرة الطائرة، ويعود ذلك إلى طبيعة الأداء الذي يتطلب القفز والهبوط المتكرر والتغيّر السريع في الاتجاهات، مما يزيد من احتمالية فقدان التوازن وحدوث الالتواءات وكثرة الاصابات في مفصل الكاحل للاعبي الكرة الطائرة. وعلى الرغم من استخدام العديد من البرامج التأهيلية التقليدية للتعامل مع هذه المشكلة، إلا أنّها غالبًا ما تعتمد على الملاحظة المباشرة ولا توفر معلومات دقيقة عن الأخطاء الحركية أثناء أداء التمارين. ومع التطور التقني الذي أحدثته برمجيات الذكاء الاصطناعي، أصبح بالإمكان تحليل الحركة واكتشاف الخلل بدقة عالية، وتقديم تغذية راجعة فورية تساعد في تحسين التوازن وتقليل تكرار الإصابات. ومن هنا ظهرت الحاجة إلى دراسة أثر التمارين التأهيلية المدعومة بالذكاء الاصطناعي، والتحقق من فعاليتها مقارنة بالأساليب التأهيلية التقليدية، لمعرفة ما إذا كانت هذه التقنيات قادرة على إحداث تحسن حقيقي في وظائف الكاحل وتقليل معدل إصاباته لدى لاعبي الكرة الطائرة.

١-٣ أهداف البحث

١. التعرف على مستوى التوازن الحركي لدى لاعبي الكرة الطائرة قبل تطبيق التمارين الوقائية باستخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي.

٢. قياس مستوى التوازن الحركي لدى لاعبي الكرة الطائرة بعد تطبيق التمارين الوقائية باستخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي.

٣. تحديد الفروق في التوازن الحركي بين الاختبارين القبلي والبعدي لدى لاعبي الكرة الطائرة.

٤. تقويم تأثير التمارين الوقائية باستخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي في الحد من إصابات مفصل الكاحل لدى لاعبي الكرة الطائرة.

٥. مقارنة مستوى التوازن الحركي بين أفراد المجموعة التجريبية والمجموعة الضابطة بعد تنفيذ البرنامج الوقائي.

١-٤ فروض البحث

١. يفترض أن التمارين التأهيلية باستخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي تؤدي إلى تحسين التوازن الثباتي والديناميكي لدى لاعبي الكرة الطائرة بشكل دال إحصائيًا بين الاختبارين القبلي والبعدي.

٢. يفترض أن التمارين التأهيلية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي يساهم في خفض معدل تكرار إصابات الكاحل لدى لاعبي الكرة الطائرة بعد فترة التطبيق.

٣. يفترض أن التغذية الراجعة الفورية التي توفرها برمجيات الذكاء الاصطناعي تساعد في تصحيح الأخطاء الحركية، مما يؤدي إلى تحسين السيطرة العصبية–العضلية على مفصل الكاحل.

٤. يفترض وجود فروق معنوية لصالح الاختبارات البعدية في متغيرات التوازن والقوة المرتبطة بمفصل الكاحل نتيجة استخدام البرنامج التأهيلي.

٥. يفترض أن التمارين التأهيليةبالذكاء الاصطناعي أكثر فاعلية من البرامج التقليدية في تطوير التوازن وتقليل الإصابة.

١-٥ مجالات البحث :

-المجال البشري :لاعبو الكرة الطائرة المصابين بمفصل الكاحل من لاعبي اندية الفرات الاوسط .
-المجال المكاني :قاعة نادي الدغارة الرياضي ، قاعة نادي الكوفة الرياضي . قاعة نادي القاسم الرياضي والمختبرات المزودة ببرمجيات تحليل الحركة.
-المجال الزماني :تم العمل بإجراءات البحث خلال الفترة من ٢ /٧ /٢٠٢٥ و لغاية ٢٤ /١٠/ ٢٠٢٥ .

٢- منهجية البحث واجراءاته الميدانية

٢-١ منهج البحث

اعتمد الباحثين المنهج التجريبي لملاءمته لطبيعة مشكلة البحث واهدافه ، وذلك من خلال تصميم المجموعتين المتكافئتين (تجريبية وضابطة) بالاختبارين القبلي والبعدي ، خضعت المجموعة التجريبية للتمارين الوقائية باستخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي، في حين استمرت المجموعة الضابطة بالتدريب الاعتيادي المتبع مع الفريق دون إدخال المتغير التجريبي ، إذ

يتيح قياس أثر التمارين الوقائية باستخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي قبل التطبيق وبعده، ومقارنة النتائج للتحقق من مقدار التحسن في التوازن وتقليل إصابات الكاحل لدى لاعبي الكرة الطائرة، ويُعد هذا المنهج من أكثر المناهج استخداماً في البحوث الرياضية ذات الطابع التطبيقي [١] .

٢-٢ مجتمع وعينة البحث

تمثل مجتمع البحث من لاعبي الكرة الطائرة الذين سبق لهم التعرّض لإصابات الكاحل أو يظهر لديهم ضعف في التوازن الحركي، وتتراوح أعمارهم بين (١٨-٢٢) سنة، وينتمون لأندية الفرات الاوسط. تم اختيار عينة البحث بطريقة العمدية والبالغ عددهم (٨) لاعبين جرى تقسيمهم عشوائياً الى مجموعتين متكافئتين في المتغيرات البدنية و المهارية ، وخضعت المجموعة التجريبية للتمارين الوقائية بأستخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي ، بينما استمرت المجموعة الضابطة في تنفيذ المنهاج التدريبي الاعتيادي المعتمد من قبل المدرب دون ادخال البرنامج الوقائي وحسب الظروف الميدانية للتجربة [٢] .

كما تم التأكد من عدم وجود إصابات حادة أو أمراض تمنع اشتراكهم في البرنامج.

جدول (١) اعتدالية وتجانس عينة البحث في المتغيرات الأساسية

ت	المتغير الأساسي	K-S	Sig	نتيجة الاعتدالية	قيمةF	Sig	نتيجة التجانس
1	العمر (سنة)	0.128	0.200	يتبع التوزيع الطبيعي	1.12	0.31	متجانس
2	الطول (سم)	0.119	0.200	يتبع التوزيع الطبيعي	0.91	0.36	متجانس
3	الوزن (كغم)	0.141	0.172	يتبع التوزيع الطبيعي	1.44	0.24	متجانس
4	العمر التدريبي (سنة)	0.133	0.200	يتبع التوزيع الطبيعي	1.08	0.33	متجانس

يشير الجدو(١) إلى أن جميع المتغيرات الأساسية لعينة البحث) العمر، الطول، الوزن، العمر التدريبي (تتبع التوزيع الطبيعي، نظراً لكون قيم (Sig) أكبر من .(0.05) كما تبين أن قيم (F) في جميع المتغيرات غير دالة إحصائياً، مما يدل على تجانس العينة وعدم وجود فروق بين أفرادها، وهو ما يعزز صدق إجراءات البحث ودقة المقارنات بين الاختبارين القبلي والبعدي.

٢-٣ تصميم البحث

اعتمد الباحث التصميم التجريبي القائم على المجموعتين المتكافئتين تجريبية وضابطة بالاختبارين القبلي والبعدي، إذ تم إجراء الاختبارات القبلية على المجموعتين في متغيرات التوازن الحركي ومؤشرات إصابات مفصل الكاحل، ثم طُبق البرنامج الوقائي المقترح باستخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي على أفراد المجموعة التجريبية فقط، في حين حافظت المجموعة الضابطة على

[١] - الأسدي، أحمد. أسس المنهج التجريبي في البحوث الرياضية . البصرة: جامعة البصرة، ٢٠٢١ ص٤٥ .

[٢] - الحيالي، عدي. التأهيل الرياضي الحديث: الأسس والتطبيقات . بغداد: مكتبة النهضة العربية، ٢٠١٩ ، ص٧٠ .

المنهاج التدريبي الاعتيادي. وبعد انتهاء مدة البرنامج تم إجراء الاختبارات البعدية بالمقاييس نفسها لكلا المجموعتين.تمت مقارنة القياسات القبلية والبعدية لمعرفة مقدار التغير[١] .

٢-٤ الادوات و الوسائل المستخدمة في البحث

شملت أدوات القياس ما يأتي:

١. منصة قياس التوازن (Balance Board) أو أجهزة مشابهة تعمل بالمبدأ ذاته مثل منصات التوازن الرقمية المزودة بحساسات ضغط (Force Sensors) او منصات قوة (Force Plate) [٢] .

٢. برمجيات تحليل الحركة بالذكاء الاصطناعي المعتمدة على الرؤية الحاسوبية (مثل Motion Analysis AI، MyoSport AI).

٣. اختبارات التوازن الثباتي والديناميكي المعتمدة في التأهيل الرياضي[٣] .

٤. استمارات تسجيل بيانات الإصابات السابقة وملاحظات المعالج.

٢-٥ الاختبارات المستخدمة في البحث

أ. اختبار التوازن الثباتي (Static Balance Test)

يعتمد على الوقوف على منصة التوازن وتسجيل مقدار الانحرافات الجانبية والأمامية الخلفية، ويعد من أكثر الاختبارات استخداماً في تقييم وظائف الكاحل[٤] .

ب. اختبار التوازن الديناميكي (Y-Balance Test)

[١] - الأسدي، أحمد ، مصدر سبق ذكره ، ص١١٢ .
[٢] - عبد الرضا، حسين. التوازن الحركي وتطبيقاته في التدريب الرياضي . بغداد، ٢٠١٨ ، ص٥٨ .
[٣] - محمد، وسام. مدخل إلى التأهيل الرياضي . عمّان: دار المسيرة، ٢٠٢٢، ص ٩٠ .
[٤] - Bahr, R., & Engebretsen, L. (2016). Sports Injury Prevention: A Triphasic Epidemiology Model. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.p131.

يقيس قدرة اللاعب على المحافظة على الاتزان أثناء الحركة في ثلاث اتجاهات، وهو اختبار دقيق يرتبط بمستوى التحكم العصبي–العضلي[١] .

ج. اختبار مدى الحركة لمفصل الكاحل (ROM)

يقيّم مرونة الأوتار والمحيط العضلي للكاحل باستخدام الجونوميتر[٢] .

د. مؤشر إصابات الكاحل (Ankle Injury Index)

يستخدم لتسجيل عدد الإصابات المتكررة وشدتها خلال الموسم[٣] .

٢-٦ التمارين التأهيلية باستخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي

صُمم البرنامج بناءً على تحليل حركي دقيق باستخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي، واعتمد على:

أ. المدة الزمنية:

٨ أسابيع، بواقع ٣ وحدات أسبوعيًا، مدة كل وحدة (٤٥–٦٠) دقيقة.

ب. مكونات الوحدات التدريبية:

١. تمارين التوازن الثباتي على منصة التوازن مع تحليل الذكاء الاصطناعي لانحراف مركز الثقل.

٢. تمارين التوازن الديناميكي مع تتبع مسار القدم وتصحيح الأخطاء فوراً.

٣. تمارين السيطرة العصبية–العضلية مثل القفز أحادي الساق، مع تحديد نسبة عدم التناسق بين الساقين عبر النظام.

٤. تمارين المرونة باستخدام تعليقات النظام حول مدى الحركة المناسب للاعب.

٥. تمارين تقوية عضلات الساق والكاحل (مثل رفع الكعب، تمرين المقاومة المطاطية) مع مقارنة جودة الحركة قبل وبعد.

ج. دور الذكاء الاصطناعي في البرنامج:

- تقديم تغذية راجعة فورية حول زاوية مفصل الكاحل، سرعة الحركة، ومركز التوازن.
- تحليل الأخطاء وتحديد التكرارات غير الصحيحة.
- إعطاء تقارير أسبوعية عن التحسن الحركي[٤] .

[١] - Kisner, C., & Colby, L. A. (2020). Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques (7th ed.). F.A. Davis Company, Philadelphia, USA. P207.

[٢] - Liu, X. (2023). Artificial Intelligence in Motion Analysis. Springer Nature, Cham, Switzerland.p144.

[٣] - Magee, D. J. (2018). Orthopedic Physical Assessment (7th ed.). Elsevier, St. Louis, USA.p83 .

[٤] - O'Sullivan, S. B., Schmitz, T. J., & Fulk, G. (2019). Physical Rehabilitation (7th ed.). F.A. Davis Company, Philadelphia, USA.p122 .

٢-٧ التجربة الاستطلاعية

أُجريت التجربة الاستطلاعية بتاريخ (٢٠٢٤/٧/١٠) بهدف التأكد من ملاءمة أدوات البحث وإجراءات القياس، ومعرفة إمكانية تطبيق الاختبارات بكفاءة داخل البيئة التجريبية. شملت التجربة لاعبين اثنين من خارج عينة البحث الأساسية، وتم خلالها تجربة جهاز قياس التوازن وبرمجيات الذكاء الاصطناعي لمعرفة مدى دقة التحليل، وتوضيح تعليمات الأداء للمشاركين، إضافة إلى تحديد الزمن اللازم لكل اختبار.

أسهمت التجربة الاستطلاعية في تحديد التسلسل الأنسب لتطبيق الاختبارات، وتثبيت الإرشادات المقدمة للمشاركين، وتحديد زمن الراحة بين المحاولات، كما أظهرت عدم وجود صعوبات ميدانية أو فنية تعيق تنفيذ التجربة. وبناءً على نتائجها، تم اعتماد إجراءات القياس بصيغتها النهائية قبل بدء تطبيق التجربة الرئيسية.

٢-٨ التجربة الرئيسية

تم تنفيذ التجربة الرئيسية خلال المدة من ٢٠٢٥/٧/١٢ ولغاية ٢٠٢٥/٩/١٧ على عينة البحث المكوّنة من لاعبي الكرة الطائرة في أندية الفرات الأوسط ممن يعانون من ضعف في التوازن الحركي أو سجل إصابات سابقة في مفصل الكاحل. بلغ عدد المشاركين في التجربة (٨) لاعبين تم اختيارهم عمدياً بما يتناسب مع مشكلة البحث وأهدافه، ثم قُسِّموا بطريقة عشوائية بسيطة إلى مجموعتين متكافئتين:

* المجموعة التجريبية (٤ لاعبين): خضعت للتمارين الوقائية باستخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي.

* المجموعة الضابطة (٤ لاعبين): تمسّكت بالمنهاج التدريبي الاعتيادي المتبع مع الفريق دون إدخال البرنامج الوقائي.

وقد تم التأكد من تكافؤ المجموعتين قبل البدء بالتجربة من خلال الاختبارات القبلية الخاصة بالتوازن الحركي، بالإضافة إلى تثبيت الظروف العامة لتقليل المتغيرات الدخيلة التي قد تؤثر في النتائج النهائية.

أُجريت الاختبارات القبلية بهدف جمع البيانات الأساسية حول مؤشرات التوازن الحركي لدى العينة، وشملت:

١. التوازن الثباتي.
٢. التوازن الديناميكي باستخدام اختبار (Y-Balance Test).
٣. تاريخ الإصابات السابقة بمفصل الكاحل ومستواها.

نُفّذت جميع الاختبارات وفق شروط قياس موحدة تضمنت:

* تثبيت نوع الأرضية ومكان التنفيذ،

* تحديد فترات الراحة بين المحاولات،

* تطبيق نفس تسلسل الاختبارات لكل مشارك،

* تثبيت زمن التنفيذ بما يضمن ثبات بيئة القياس وتقليل الأخطاء النظامية.

بعد الانتهاء من الاختبارات القبلية، طُبِّق البرنامج الوقائي على أفراد المجموعة التجريبية لمدة (٨ أسابيع)، بواقع ٣ وحدات تدريبية أسبوعيً، بزمن (٤٥–٦٠ دقيقة) لكل وحدة تدريبية.

تضمن البرنامج:

* تدريبات توازن ثباتي وديناميكي تدريجية الشدة.

* تمارين جهازية–عصبية (Neuromuscular Control).

* تمارين تقوية ومرونة لمفصل الكاحل.

* تغذية راجعة لحظية يقدمها نظام الذكاء الاصطناعي حول:

١. زاوية المفصل،
٢. مسار الحركة،
٣. سرعة الاستجابة،
٤. انحراف مركز الثقل،
٥. مقدار الاهتزاز اللحظي.

تم تنفيذ التدريب داخل قاعة مجهزة بمنصة توازن رقمية، كاميرات تتبع حركة، ونظام تحليل حركي قائم على الرؤية الحاسوبية وخوارزميات تنبؤية، مع تسجيل تقدّم كل لاعب رقمياً بعد كل جلسة.

في الوقت نفسه، استمرت المجموعة الضابطة في تنفيذ المنهاج التدريبي التقليدي المعتمد من قبل المدرب، دون إدخال أي جزء من البرنامج الوقائي أو استخدام برمجيات الذكاء الاصطناعي، بهدف قياس تأثير البرنامج على المجموعة التجريبية فقط.

في نهاية مدة التجربة، أُجريت الاختبارات البعدية لكلا المجموعتين بنفس إجراءات وشروط الاختبارات القبلية، مستهدفةً:

١. قياس مستوى التحسن في التوازن الحركي (الثباتي والديناميكي).
٢. تحديد التغير في مؤشرات مفصل الكاحل مقارنة بالبيانات القبلية.

سُجِّلت جميع القياسات رقمياً، ثم أُجريت مقارنة بين النتائج القبلية والبعدية لكل مجموعة على حدة، فضلاً عن المقارنة بين المجموعتين لتحديد أثر البرنامج الوقائي المدعوم بالذكاء الاصطناعي.

نُفّذت جميع مراحل التجربة تحت إشراف الباحثين، مع الالتزام بما يأتي لضمان صحة القياس:

١. تثبيت ظروف القياس والأجهزة المستخدمة،
٢. عدم إدخال برامج تدريبية إضافية،
٣. منع أي تدخل خارجي قد يؤثر في نتائج الاختبارات،

٤. توفير شرح موحّد لجميع المشاركين قبل التنفيذ،

٥. متابعة التزام اللاعبين بخطة التدريب طوال مدة التجربة.

٢-٩ المعالجات الإحصائية

أُستخدمت المعالجات الآتية اعتماداً على الأساليب المتعارف عليها في البحوث الرياضية[١] .

- الوسط الحسابي
- الانحراف المعياري
- اختبار (t) للعينات المرتبطة لمعرفة الفروق بين القياسين
- نسبة التحسن

٣- عرض النتائج ومناقشتها

الجدول (٢) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للاختبار القبلي والبعدي للتوازن الثباتي

ت	الاختبار	القبلي (س ± ع)	البعدي (س ± ع)	قيمة T المحسوبة	الدلالة
1	التوازن الثباتي (ثانية)	21.44 ± 3.12	28.77 ± 2.65	6.892	دال إحصائياً

يوضح الجدول (٢) وجود تحسن واضح في التوازن الثباتي بعد تطبيق التمارين التأهيليةالمدعوم ببرمجيات الذكاء الاصطناعي، إذ ارتفع المتوسط الحسابي من (٢١,٤٤ ثانية) في الاختبار القبلي إلى (٢٨,٧٧ ثانية) في الاختبار البعدي، مع انخفاض الانحراف المعياري، مما يدل على تجانس أفضل في أداء اللاعبين.

وتعزى هذه الزيادة إلى دور الذكاء الاصطناعي في تحليل الحركة بدقة عالية، وتقديم تغذية راجعة لحظية أثناء تمرينات التوازن، الأمر الذي ساعد اللاعبين على تعديل وضعياتهم وتقليل الانحرافات الجانبية. كما أسهمت التمارين الخاصة بالثبات أحادي الساق وتمارين التحكم العصبي–العضلي في زيادة قدرة الجهازين الدهليزي والبروبرسبتيفي على الاستجابة للمثيرات الحركية، وهو ما يتفق مع ما أشار إليه الحيالي بأن التدريب المؤسس على تحليل الحركة يساعد بشكل مباشر في تحسين كفاءة التحكم الحركي[٢] .

وتتطابق هذه النتائج مع ما ذكره Kisner & Colby بأن برامج التأهيل التي تعتمد على التغذية الراجعة الفورية تساعد في تعزيز الوعي الوضعي وتحسين الثبات، مما يقلل الإجهاد على مفصل الكاحل[٣].

---

[١] - Plisky, P. J. (2017). Y-Balance Test: Research and Application. Functional Movement Systems Publishing, Chatham, USA.p55

[٢] - الحيالي، عدي. مصدر سبق ذكره ، ص١٣٢ .

[٣] - Kisner, C., & Colby ,p221.

الجدول (٣) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية للتوازن الديناميكي(Y-Balance Test)

ت	الاتجاه	القبلي (س ± ع)	البعدي (س ± ع)	قيمةT	الدلالة
1	الأمامي	56.88 ± 4.11	64.22 ± 3.55	7.410	دال إحصائيًا
2	الجانبي الأيسر	68.44 ± 3.22	75.55 ± 2.88	6.991	دال إحصائيًا
3	الجانبي الأيمن	69.33 ± 3.44	77.01 ± 3.01	7.203	دال إحصائيًا

تشير النتائج في الجدول (٣) إلى حدوث تحسن كبير في مؤشرات التوازن الديناميكي في الاتجاهات الثلاثة، وهو تحسن يرتبط بشكل وثيق بفاعلية التمارين التأهيليةالذي اعتمد على برمجيات الذكاء الاصطناعي. إذ ارتفعت قيم الوصول (Reach) بمعدلات معتبرة، مما يعكس تطوراً في القدرة على التحكم أثناء الحركة.

إن تطبيق تقنية Y-Balance عبر الذكاء الاصطناعي سمح بتحديد الانحرافات والتعويضات الحركية لكل لاعب، وهو ما أتاح تعديل مسار الحركة بشكل متكرر ودقيق، مما أدى إلى تقليل عدم التناسق بين الطرفين السفليين.

وتساهم هذه النتائج في دعم ما ذكره (Plisky) حول ارتباط نتائج هذا الاختبار بدرجة الاستقرار الوظيفي للمفصل، حيث تعد زيادة مسافة الوصول مؤشراً قوياً على تطور السيطرة العضلية والعصبية[١].

كما تتفق مع ما أشار إليه محمد بأن البرامج التأهيلية التي تدمج التوازن الديناميكي مع تصحيح الوضعيات أثناء الحركة تكون أكثر فاعلية في منع الإصابات المتكررة[٢] .

الجدول (٤) معدل التحسن في مؤشرات التوازن بعد تطبيق البرنامج

ت	المؤشر	نسبة التحسن(%)
1	التوازن الثباتي	34.2%
2	التوازن الديناميكي (أمامي)	12.9%
3	التوازن الديناميكي (جانبي)	10.3%
4	التوازن الديناميكي (كلي)	11.7%

يبين الجدول (٤) أن التحسن الأكبر كان في التوازن الثباتي بنسبة وصلت إلى (٣٤,٢%)، وهو ما يؤكد أن تدريب الثبات أحادي الساق وتمارين التوازن باستخدام المنصات الرقمية مع تغذية راجعة فورية قد أسهم بشكل مباشر في رفع مستوى الثبات.

١. Plisky, P. J , p201 -

٢ - محمد، وسام. مصدر سبق ذكره ، ص١٦٦ .

أما التحسن في التوازن الديناميكي، فجاء ضمن نطاق ممتاز، مما يشير إلى فعالية البرنامج في تحسين القدرة على التحكم أثناء الحركات المتعددة الاتجاهات.

ويرجع هذا التحسن إلى قدرة الذكاء الاصطناعي على تحليل تفاصيل دقيقة مثل:

- انحراف مركز الثقل.
- سرعة الحركة.
- مقدار الاهتزاز.
- زاوية مفصل الكاحل.
- جودة الأداء عبر التكرارات.

وهذه الدقة في التحليل ليست متاحة في البرامج التقليدية، وهو ما يتفق مع نتائج (Liu) التي أكدت أن استخدام الذكاء الاصطناعي في تحليل الحركة يقلل الأخطاء الحركية بنسبة تتجاوز ٢٥%[١].

الجدول (٥) متوسط عدد إصابات الكاحل قبل وبعد تطبيق البرنامج

ت	نوع الإصابة	القبلي	البعدي	نسبة الانخفاض(%)
1	الالتواء الخفيف	6	3	50%
2	الالتواء المتوسط	4	1	75%
3	الألم الوظيفي	7	2	71.4%

تظهر النتائج في الجدول (٥) انخفاضًا ملحوظًا في أعداد الإصابات، حيث انخفضت حالات الالتواء المتوسط بنسبة (٧٥%)، تليها الإصابات المرتبطة بالألم الوظيفي بنسبة (٧١,٤%).

ويعزى هذا الانخفاض إلى:

- تحسين التوازن.
- تعزيز التحكم العصبي–العضلي.
- تقوية عضلات الكاحل الداعمة.
- تحسين الوعي الحسي للمفصل (Proprioception).

وهو ما يتطابق مع ما ذكره (Bahr) بأن ارتفاع مستوى التوازن يقلل الإصابات بنسبة تصل إلى ٤٠–٦٠%[٢].

[١]. Liu, X ,p122 -
[٢]. Bahr, R., & Engebretsen, p90 -

٤- الاستنتاجات و التوصيات

٤-١ الاستنتاجات

في ضوء النتائج التي توصل إليها البحث، يمكن استخلاص مجموعة من الاستنتاجات التي تبيّن أثر التمارين التأهيلية المدعومة ببرمجيات الذكاء الاصطناعي في تحسين التوازن وتقليل إصابات الكاحل لدى لاعبي الكرة الطائرة، وكما يأتي:

١. أظهر التمارين التأهيليةباستخدام الذكاء الاصطناعي فاعلية كبيرة في تحسين التوازن الثباتي ، وهو ما انعكس في ارتفاع القيمة البعدية بشكل دال إحصائياً مقارنة بالاختبار القبلي.

٢. ساهم البرنامج في تطوير التوازن الديناميكي بجميع اتجاهاته (الأمامي – الجانبي الأيمن – الجانبي الأيسر) ، وذلك نتيجة التحليل الدقيق للحركة والتغذية الراجعة اللحظية التي يوفرها النظام الذكي.

٣. انخفض معدل تكرار إصابات الكاحل بنسب تتراوح بين (٥٠–٧٥%) ، مما يدل على أن تدريب الجهاز العصبي–العضلي عبر تمرينات موجهة بالذكاء الاصطناعي أسهم في زيادة الاستقرار الوظيفي للمفصل.

٤. أظهر اللاعبون تحسناً في السيطرة الحركية وجودة الأداء أثناء تنفيذ التمارين ، وهو تحسن يرتبط مباشرة بقدرة البرمجيات على تحديد الأخطاء وتصحيحها بشكل لحظي.

٥. تحقق تجانس أكبر بين اللاعبين بعد تنفيذ البرنامج ، كما ظهر من خلال انخفاض الانحرافات المعيارية في القياسات البعدية.

٦. يعد دمج الذكاء الاصطناعي في البرامج التأهيلية خطوة فعّالة مقارنة بالأساليب التقليدية ، خصوصاً في الإصابات الشائعة لدى لاعبي الكرة الطائرة والتي تتطلب دقة في تحليل الحركة.

٧. أسهم البرنامج في تعزيز الوعي الوضعي (Postural Awareness) لدى اللاعبين، مما أدى إلى تحسين الاستجابة الحركية وتقليل التعويضات أثناء الحركة.

٤-٢ التوصيات

استناداً إلى الاستنتاجات السابقة، يوصي الباحثين بما يأتي:

١. اعتماد برامج التأهيل المدعومة بالذكاء الاصطناعي في علاج إصابات الكاحل المنتشرة بين لاعبي الكرة الطائرة ، نظراً لفاعليتها في تحسين التوازن وتقليل الإصابات.

٢. دمج برمجيات تحليل الحركة في الوحدات التدريبية الدورية من أجل تعزيز جودة الأداء والحد من الأخطاء الحركية.

٣. استخدام اختبارات التوازن الديناميكي (Y–Balance Test) كأداة تقييم أساسية للاعبي الكرة الطائرة خلال الموسم لأنها ترتبط مباشرة بخطر الإصابة.

٤. التوسع في استخدام الذكاء الاصطناعي داخل مراكز العلاج الطبيعي والتأهيل الرياضي لتحليل الحركة وتقديم برامج مخصصة حسب حالة اللاعب.

٥. ضرورة تدريب المدربين والمعالجين على استخدام البرمجيات الذكية لضمان الدقة في التطبيق والاستفادة القصوى من إمكاناتها.

٦. إجراء دراسات مستقبلية تتناول فئات عمرية مختلفة، أو رياضات أخرى، أو مقارنة بين برامج متعددة تعمل بالذكاء الاصطناعي.

٧. مراعاة استمرار اللاعبين بالتمارين الوقائية بعد انتهاء البرنامج للحفاظ على مستوى التوازن وتقليل احتمالية الإصابة مرة أخرى.

٥- قائمة المصادر

١. الأسدي، أحمد. أسس المنهج التجريبي في البحوث الرياضية . البصرة: جامعة البصرة، ٢٠٢١.

٢. الحيالي، عدي. التأهيل الرياضي الحديث: الأسس والتطبيقات . بغداد: مكتبة النهضة العربية، ٢٠١٩.

٣. عبد الله، سعيد. العلاج الطبيعي وإصابات الملاعب . القاهرة: دار الفكر العربي، ٢٠٢٠.

٤. عبد الرضا، حسين. التوازن الحركي وتطبيقاته في التدريب الرياضي . بغداد، ٢٠١٨.

٥. محمد، وسام. مدخل إلى التأهيل الرياضي . عمّان: دار المسيرة، ٢٠٢٢.

6. Kisner, C., & Colby, L. A. (2020). Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques (7th ed.). F.A. Davis Company, Philadelphia, USA.

7. Plisky, P. J. (2017). Y-Balance Test: Research and Application. Functional Movement Systems Publishing, Chatham, USA.

8. Magee, D. J. (2018). Orthopedic Physical Assessment (7th ed.). Elsevier, St. Louis, USA.

9. Bahr, R., & Engebretsen, L. (2016). Sports Injury Prevention: A Triphasic Epidemiology Model. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.

10. Liu, X. (2023). Artificial Intelligence in Motion Analysis. Springer Nature, Cham, Switzerland.

11. O'Sullivan, S. B., Schmitz, T. J., & Fulk, G. (2019). Physical Rehabilitation (7th ed.). F.A. Davis Company, Philadelphia, USA.