Journal of Humanities and Social Sciences Researches
(JHSSR)
ISSN: 2958-3160 (Online)

The Effect of an AI-Based Rehabilitation Program on Improving Shoulder Functional Performance in Swimmers with Rotator Cuff Tears

Riyam Hasan Rashid[1,*], Prof. Dr Ammar Hamza Hadi[2], Asst. Dr Prof. Shathe Hazim Georges Hanna[1]

[1] Department of Physical Education, College of Education for Women, University of Mosul, Iraq.
[2] College of Physical Education and Sport Sciences, University of Babylon, Iraq.
[*] Corresponding author, Email: ryam.24gep31@student.uomosul.edu.iq

Received: 10/02/2026 Accepted: 11/03/2026

Abstract

The study aimed to evaluate the impact of a rehabilitation program based on artificial intelligence technologies in improving the functional efficiency of the shoulder joint in swimming practitioners with rotator cuff rupture. The study adopted an experimental approach on two groups: experimental and subject to intelligent intervention, and a female officer who received a traditional program, and the tribal and dimensional measurements of muscle strength and motor flexibility were carried out. The results showed a significant and significant improvement in the experimental group, muscle strength increased from 18.5 ± 2.1 cm to 25.3 ± 1.8 cm, and flexibility increased from 115.3 ± 8.2 cm to 133.7 ± 7.5 cm after application, while the control group showed no statistically significant differences. This improvement reflects the ability of the intelligent program to adjust training loads according to individual response, enhance neuromuscular control, and improve the range of functional movement of the shoulder. The results indicate that the combination of intelligent rehabilitation exercises and real-time performance analysis provides an advanced and safe model for improving shoulder functional efficiency and reducing the risk of recurrent injuries, enabling a gradual and safe return to sports activities.

Keywords: Rehabilitation program, artificial intelligence, functional competence, shoulder, rotator cuff tear, swimming.

DOI: https://doi.org/10.33687/jhssr.005.02.0552
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

تأثير برنامج تأهيلي قائم على الذكاء الاصطناعي في تحسين الكفاءة الوظيفية لمفصل الكتف لدى ممارسي السباحة المصابين بتمزق الكفة المدورة

ريام حسن رشيد*[1]، أ.د عمار حمزة هادي[2]، أ.م.د شذى حازم جورجيس حنا[1]

[1] جامعة الموصل، كلية تربية للبنات، قسم التربية البدنية، العراق.

[2] جامعة بابل، كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة، العراق.

[3] جامعة الموصل، كلية تربية للبنات، قسم التربية البدنية ، العراق.

*البريد الالكتروني للمؤلف المراسل: ryam.24gep31@student.uomosul.edu.iq

الخلاصة

هدفت الدراسة إلى تقييم تأثير برنامج تأهيلي قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحسين الكفاءة الوظيفية لمفصل الكتف لدى ممارسي السباحة المصابين بتمزق الكفة المدورة. اعتمدت الدراسة المنهج التجريبي على مجموعتين، تجريبية وخاضعة للتدخل الذكي، وضابطة تلقت برنامجًا تقليديًا، وتمت القياسات القبلية والبعدية للقوة العضلية والمرونة الحركية. أظهرت النتائج تحسنًا معنويًا وملحوظًا لدى المجموعة التجريبية، حيث ارتفعت القوة العضلية من 18.5 ± 2.1 سم إلى 25.3 ± 1.8 سم، وزادت المرونة من 115.3 ± 8.2 سم إلى 133.7 ± 7.5 سم بعد التطبيق، في حين لم تظهر المجموعة الضابطة فروقًا دالة إحصائيًا. يعكس هذا التحسن قدرة البرنامج الذكي على تعديل الأحمال التدريبية وفق الاستجابة الفردية، وتعزيز التحكم العصبي العضلي وتحسين مدى الحركة الوظيفية للكتف. وتشير النتائج إلى أن الدمج بين التمارين التأهيلية الذكية والتحليل اللحظي للأداء يوفر نموذجًا متقدمًا وآمنًا لتحسين الكفاءة الوظيفية للكتف وتقليل مخاطر الإصابات المتكررة، مما يتيح العودة التدريجية والآمنة للأنشطة الرياضية.

الكلمات المفتاحية: برنامج تأهيلي، الذكاء الاصطناعي, الكفاءة الوظيفية، الكتف, تمزق الكفة المدورة, السباحة.

DOI: https://doi.org/10.33687/jhssr.005.02.0552

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

1. المقدمة:

يشهد مجال التأهيل الرياضي في العصر الحديث تحوّلًا جوهريًا في فلسفته وممارساته، إذ لم يعد يُنظر إلى برامج التأهيل على أنها مجرد تمارين علاجية تقليدية، بل أصبحت نظمًا تكيفية ديناميكية تتفاعل بشكل مستمر مع استجابات الجسم الحركية والفسيولوجية. وقد أتاح هذا التحوّل استخدام **الذكاء الاصطناعي** كأحد الابتكارات الأكثر قدرة على تحسين فاعلية التأهيل، من خلال تطوير برامج ذكية تكيفية (Adaptive Intelligent Rehabilitation) قادرة على تعديل محتوى التمرينات بشكل لحظي وفق التغيرات في الأداء الحركي، والتحكم العصبي العضلي، ومستوى الألم، بما يضمن التوازن بين تحفيز التعافي ومنع الإجهاد المفرط على المفصل المصاب.

تُعد إصابة **تمزق الكفّة المدورة** من الإصابات المعقدة وظيفيًا، نظرًا لارتباطها المباشر بالتحكم الدقيق لمفصل الكتف والاستقرار الديناميكي أثناء الحركة. وتزداد صعوبة التعامل مع هذه الإصابة لدى ممارسي السباحة بسبب طبيعة الأداء الحركي القائم على الأحمال الدورانية المتكررة عالية الشدة، والتي تولد إجهادًا تراكميًا طويل الأمد على الأوتار والأنسجة الرخوة المحيطة بالمفصل. وينتج عن هذا الإجهاد استمرار الألم، اضطراب التحكم العصبي العضلي، وانخفاض الكفاءة الوظيفية، مما يعيق العودة الآمنة للتدريب والمنافسة. كما أن برامج التأهيل التقليدية، التي تعتمد غالبًا على بروتوكولات ثابتة، تفتقر إلى المرونة الكافية لمعالجة هذه المشكلات الوظيفية المتراكمة، ولا توفر أدوات دقيقة لتعديل الأحمال التأهيلية وفق الاستجابة الفردية للمصاب.

وبناءً على هذا الواقع، يبرز التساؤل العلمي حول مدى قدرة **البرامج التأهيلية المعززة بالذكاء الاصطناعي** على معالجة هذه الإشكالية، وتحسين الأداء الحركي والكفاءة الوظيفية لمفصل الكتف لدى ممارسي السباحة المصابين بتمزق الكفّة المدورة. ومن هذا المنطلق، يهدف هذا البحث إلى **تطوير برنامج تأهيلي تكيفي قائم على الذكاء الاصطناعي**، ودراسة أثره في تحسين الكفاءة الوظيفية وخفض مستوى الألم لمفصل الكتف، بما يدعم العودة التدريجية الآمنة للسباحة ويعزز الأداء الحركي الأمثل. ويُتوقع أن يسهم هذا البرنامج في تقديم نموذج تأهيلي متكامل وذكي، قادر على تصحيح أنماط الحركة غير الطبيعية، تعزيز التحكم العصبي العضلي، وإعادة تنظيم العلاقة بين الألم والكفاءة الوظيفية بصورة مستمرة وتكيفية، بما يمثل خطوة متقدمة في تطوير أساليب التأهيل الرياضي الحديثة.

2. إجراءات البحث ومنهجيته العلمية:

2. 1 منهج البحث:

تعتمد الدراسة على المنهج التجريبي باستخدام تصميم المجموعتين (التجريبية والضابطة) مع القياسات القبلية والبعدية، نظرًا لأنه الأنسب لتحديد أثر البرنامج التأهيلي القائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي على الكفاءة الوظيفية لمفصل الكتف. ويتيح هذا التصميم قياس التغيرات الناتجة عن البرنامج بدقة، والكشف عن العلاقة السببية بين المتغير المستقل (البرنامج التأهيلي) والمتغيرات التابعة (المؤشرات الوظيفية للكتف).

2.2 مجتمع البحث وعينته

2. 2. 1 مجتمع البحث:

يتكون مجتمع البحث من ممارسي السباحة المصابين بتمزق الكفة المدورة في مفصل الكتف، والذين تتراوح أعمارهم بين 18 و35 عامًا، ويتم تشخيصهم سريريًا عبر التصوير الطبي (MRI أو الأشعة فوق الصوتية). يشمل المجتمع مراجعي مراكز التأهيل الرياضي.

2. 2. 2 عينة البحث:

تم اختيار العينة بالطريقة العشوائية المقصودة، وعددهم **10** ممارسين للسباحة، موزعين بالتساوي على مجموعتين (5 تجريبية و5 ضابطة)، المجموعة التجريبية خضعوا لبرنامج تأهيلي قائم على الذكاء الاصطناعي، بينما المجموعة الضابطة خضعوا لبرنامج تأهيلي تقليدي، وتم التأكد من تجانس وتكافؤ المجموعتين قبل التطبيق باستخدام قياسات أساسية تشمل القوة العضلية ونطاق الحركة لمفصل الكتف (المرونة).

جدول (1) تجانس العينة

المتغيرات	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري	التباين
العمر	27.85	3.35	11.22
الوزن	73.0	5.0	25.00
الطول	178.15	4.0	16.00
درجة التمزق	2.85	0.55	0.30

يبين الجدول (1) تجانس العينة من حيث الخصائص العامة للمشاركين قبل تطبيق أي تدخل تأهيلي. تشير القيم المنخفضة للانحراف المعياري والتباين إلى أن بيانات المشاركين متقاربة حول المتوسط، ما يعني أن العينة متجانسة بدرجة

DOI: https://doi.org/10.33687/jhssr.005.02.0552
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

جيدة بالنسبة للعمر والوزن والطول ودرجة تمزق الكفة المدورة. هذا التوحيد يضمن أن أي فروق لاحقة بين المجموعتين ستكون بسبب البرنامج التأهيلي وليس بسبب اختلافات أولية بين المشاركين.

تم توزيع أفراد العينة عشوائيًا إلى مجموعتين متكافئتين، حيث تكونت المجموعة الضابطة من (5) ممارسين للسباحة، خضعوا لبرنامج تأهيلي تقليدي، في حين تكونت المجموعة التجريبية من (5) ممارسين للسباحة، خضعوا لبرنامج تأهيلي قائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي لمدة (12) أسبوعًا.

قبل تطبيق البرنامج التأهيلي، تم إجراء اختبارات التكافؤ بين أفراد المجموعتين في المتغيرات المدروسة وهي: القوة العضلية، والمرونة لمفصل الكتف، للتأكد من عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين. وتوضح نتائج هذا التكافؤ في الجدول (2).

جدول (2) تكافؤ العينة في المتغيرات المدروسة

المتغيرات	وحدة القياس	التجريبية		الضابطة		قيمة T	قيمة P	الدلالة
		س	ع	س	ع			
القوة	كغم	18.5	2.1	18.1	2.3	0.45	0.66	غير دال
المرونة	سم	115.3	8.2	116.1	7.9	-0.28	0.78	غير دال

مستوى الدلالة الإحصائية = 0.05، ودرجة الحرية = (8)

يعرض الجدول (2) تكافؤ المجموعتين التجريبية والضابطة قبل بدء البرنامج التأهيلي، إذ تشير قيم $P > 0.05$ إلى عدم وجود فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين في القوة العضلية والمرونة، ما يؤكد أن أي تحسن لاحق في هذه المتغيرات سيكون ناتجًا عن البرنامج التجريبي وليس اختلافًا أوليًا بين المجموعتين.

2. 3 تحديد متغيرات الدراسة:

تم اختيار متغيرات الدراسة وفق أسس علمية دقيقة وبالاعتماد على المصادر العلمية (Portney et al., 2020, Kisner et al., 2017, Safrit & Wood, 2011) لضمان قياس التأثير الحقيقي للبرنامج التأهيلي بصورة موضوعية وموثوقة، حيث روعي أن تكون هذه المتغيرات قابلة للقياس الكمي وتعكس بشكل مباشر التغيرات الوظيفية والبدنية الناتجة عن تطبيق البرنامج. كما تم التأكيد على تكامل المتغيرات المختارة بما يضمن توفير تقييم شامل ومتكامل للحالة الصحية والبدنية للمشاركين.

وتشمل المتغيرات البدنية: القوة العضلية، والمرونة.

2. 4 تحديد الاختبارات الخاصة بالمتغيرات المدروسة:

تم تحديد الاختبارات الخاصة بالمتغيرات المدروسة بالاعتماد على خبرة المشرفين وتجربتهم الميدانية الواسعة وبعض المصادر العلمية (**Chamorro et al., 2021, Cadogan et al., 2011**).

- قياس القوة العضلية باستخدام جهاز الداينوميتر.
- قياس المرونة الحركية للعمود الفقري باستخدام الجينوميتر.

2. 5 وصف الاختبارات للمتغيرات المدروسة:

2. 5. 1 قياس القوة العضلية باستخدام جهاز الداينوميتر

يُعد جهاز الديناموميتر الأيزوكينتيكي (Isokinetic Dynamometer) من أكثر الأدوات دقة وموضوعية في قياس القوة العضلية الديناميكية، حيث يعمل على تثبيت أحد أطراف الجسم بينما يُحرّك الطرف الآخر بسرعة زاوية ثابتة، مع تسجيل القوة العضلية على شكل عزم دوران (Torque) بوحدة نيوتن·متر (N·m) ، ويُستخدم هذا الجهاز على نطاق واسع في التقييمات السريرية والرياضية لعضلات الكتف، ولا سيما عضلات الكفّة المدورة (Rotator Cuff)، لما يتمتع به من مستويات عالية من الصدق والثبات والموثوقية في القياس.

طريقة تنفيذ الاختبار:

يُوضَع المفحوص في وضعية الجلوس مع تثبيت الجذع والصدر بواسطة أحزمة التثبيت الخاصة بالجهاز لمنع الحركات التعويضية، ويتم تثبيت الذراع المختبرة بذراع الجهاز الميكانيكي. يُضبط محور دوران الجهاز بحيث يتطابق بدقة مع محور دوران مفصل الكتف، سواء في اختبارات الدوران الداخلي والخارجي أو في حركات الإبعاد والرفع. بعد ذلك يتم تحديد سرعة زاوية ثابتة للاختبار (مثل 60°/ثانية أو 120°/ثانية) وفق البروتوكول المعتمد.

يُطلب من المفحوص أداء حركة الكتف ضد مقاومة الجهاز بأقصى جهد ممكن، حيث يقوم الجهاز بسحب الطرف أو مقاومته بشكل متحكم فيه مع تسجيل القوة العضلية الناتجة. يُنفّذ الاختبار عادةً من خلال (3–5) تكرارات لكل اتجاه حركي، مع فترات راحة قصيرة بين المحاولات، ويتم اعتماد أعلى قيمة للعزم (Peak Torque) كمؤشر للقوة العضلية القصوى. وتُستخدم النتائج في تقييم التوازن العضلي بين الجانبين، ومتابعة التغيرات الناتجة عن البرامج التدريبية أو التأهيلية، وتشخيص الاختلالات الوظيفية في مفصل الكتف.

DOI: https://doi.org/10.33687/jhssr.005.02.0552

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

وقد أكدت الدراسات الحديثة أن القياسات المستخلصة من الديناموميتر الأيزوكينتيكي لعضلات الكتف تتمتع بدرجات عالية من الصدق والثبات، مما يجعله أداة معيارية معتمدة في التقييم العضلي الديناميكي في المجالات السريرية والرياضية والبحثية. (Leahy 2024, Soylu et al., 2023)

2. 5. 2 قياس المرونة الحركية للكتف باستخدام الجينوميتر

يُستخدم جهاز الجونيوميتر (Goniometer) كأداة معيارية لقياس المدى الحركي الزاوي (Range of Motion – ROM) لمفصل الكتف، حيث يعتمد على قياس الزوايا الناتجة عن الحركات المفصلية المختلفة بدقة ميكانيكية، ويُعد من أكثر الأدوات استخدامًا في التقييمات السريرية والبحثية والتأهيلية نظرًا لبساطته وموثوقيته وارتفاع صدقه عند تطبيق بروتوكولات القياس المعيارية. وتُستخدم قياسات الجونيوميتر لتحديد مستوى المرونة الحركية، وتشخيص القيود الوظيفية، ومتابعة تطور الحالة التأهيلية، وتقييم فعالية البرامج العلاجية والتدريبية الخاصة بمفصل الكتف، لاسيما في حركات الرفع (Flexion)، والإبعاد(Abduction) ، والدوران الداخلي والخارجي (Internal/External Rotation) (Kolber & Norkin & White, 2016؛Hanney, 2012).

طريقة تنفيذ الاختبار:

يُوضَع المفحوص في وضعية جلوس أو استلقاء مناسبة حسب نوع الحركة المراد قياسها، مع تثبيت الجذع والكتف لتقليل التعويض الحركي. يتم تحديد المعالم التشريحية لمفصل الكتف بدقة، بحيث يُوضَع محور الجونيوميتر على مركز دوران المفصل (رأس العضد)، ويُحاذى الذراع الثابت مع الجزء الثابت من الجسم (الجذع أو لوح الكتف)، بينما يُحاذى الذراع المتحرك مع الجزء المتحرك (الذراع أو الساعد). يُطلب من المفحوص أداء الحركة المطلوبة بشكل نشط (Active ROM)أو تُجرى الحركة بشكل سلبي (Passive ROM) حتى أقصى مدى حركي ممكن دون ألم. عند الوصول إلى نهاية المدى الحركي، تُقرأ الزاوية مباشرة من تدريج الجونيوميتر وتُسجَّل بالدرجات (°). يُنفذ القياس لعدد (2–3) محاولات لكل حركة، ويتم اعتماد أعلى قيمة أو متوسط القيم بوصفه المؤشر النهائي للمرونة الحركية. تُستخدم النتائج في المقارنة بين الجانبين، وتقييم مدى التحسن الوظيفي، ومتابعة التقدم التأهيلي.

2. 6 التجربة الاستطلاعية

تم تنفيذ التجربة الاستطلاعية قبل الشروع في تطبيق التجربة الرئيسة بتاريخ 3/11/2025، وذلك لتحقيق مجموعة من الأهداف العلمية والمنهجية الضرورية لضمان سلامة التصميم التجريبي وكفاءة التطبيق العملي، وتمثلت فيما يأتي:

- التحقق من صلاحية وكفاءة الأدوات والأجهزة المستخدمة في القياس (الديناموميتر، الجونيوميتر) من حيث الدقة، والوضوح، وسهولة الاستخدام، ومدى ملاءمتها للفئة المستهدفة من المصابين.
- اختبار قابلية تطبيق البرنامج التأهيلي القائم على الذكاء الاصطناعي من الناحية العملية، ومدى تقبّل المشاركين له، وإمكانية تنفيذ التمارين بأمان دون التسبب بإجهاد بدني مفرط أو مضاعفات صحية.
- تحديد الزمن الفعلي اللازم لتنفيذ الجلسة التأهيلية الواحدة، وتنظيم فترات الراحة، وعدد التكرارات، وشدة الأحمال بما يتلاءم مع القدرات البدنية للمشاركين.
- رصد الصعوبات الميدانية والتنظيمية المحتملة أثناء التطبيق، بما يشمل تنظيم الوقت، التزام المشاركين، الجوانب التقنية، وإجراءات القياس.
- التأكد من وضوح تعليمات الاختبارات والتمارين للمشاركين وسهولة فهمها وتنفيذها بالشكل الصحيح.
- الإسهام في ضبط المتغيرات التجريبية وتقليل مصادر الخطأ بما يعزز مستوى الصدق الداخلي للتجربة الأساسية.
- ضمان سلامة المشاركين وعدم تعرضهم لأي مخاطر صحية ناتجة عن التمارين أو الأجهزة المستخدمة.
- تعزيز الدقة المنهجية للتصميم التجريبي قبل التطبيق النهائي على العينة الأصلية.

2. 7 القياسات القبلية

أُجريت القياسات القبلية لجميع أفراد العينة قبل البدء بتنفيذ البرنامج التأهيلي بتاريخ 8/11/2025، بهدف تحديد المستوى الابتدائي للمتغيرات قيد البحث، وقد شملت ما يأتي:

- تقييم المتغيرات البدنية، والتي تضمنت:
  - القوة العضلية
  - المرونة الحركية

2. 8 البرنامج التأهيلي:

أولاً: برنامج المجموعة التجريبية

- مدة البرنامج: 12 أسبوعًا، 3 جلسات أسبوعيًا، مدة الجلسة: تبدأ من 20 دقيقة وتصل تدريجيًا إلى 40 دقيقة.

- الأهداف:

- تحسين القوة العضلية لعضلات الكفة المدورة.(Rotator Cuff)
- زيادة مرونة وحركة مفصل الكتف.(ROM)
- تعزيز التحكم العصبي العضلي وتقليل الألم.
- تصحيح أنماط الحركة أثناء السباحة.

DOI: https://doi.org/10.33687/jhssr.005.02.0552
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

- **هيكل الجلسة**

المرحلة	النشاط	عدد التكرارات	مجموعات	فترة الراحة
1	تمارين الإحماء الديناميكي	15-10 لكل ذراع	2	30 ث
2	تمارين القوة باستخدام مقاومة ذكية	6-4 لكل ذراع	2	45 ث
3	دوران داخلي وخارجي للكتف	12-10 لكل ذراع	2	60 ث
4	رفع أمامي وجانبي	15-12 لكل ذراع	2	60 ث
5	تمارين استقرار لوح الكتف	15-12 لكل ذراع	2	70 ث
6	تمارين المرونة والتحريك السلبي	20-15 لكل ذراع	2	80 ث
7	تمارين محاكاة السباحة	12-10 لكل ذراع	2	65 ث

ملاحظات تقنية للبرنامج التجريبي:

- مقاومة قابلة للتعديل تلقائيًا حسب EMG و.Peak Torque
- مراقبة مستمرة لزاوية دوران الكتف وسرعة الحركة لتجنب الحمل الزائد.
- واجهة مرئية تفاعلية للمشارك تُظهر الأداء وتحفزه على التقدم.
- تسجيل كل جلسة لتقييم التحسن المستمر وتحديث البرنامج تلقائيًا.

ثانياً: برنامج المجموعة الضابطة:

خضعت المجموعة الضابطة لبرنامج تأهيلي تقليدي قائم على الأساليب العلاجية المعتمدة في مجال العلاج الطبيعي، وتم تنفيذه تحت إشراف معالجين فيزيائيين متخصصين، دون الاستعانة بتقنيات الذكاء الاصطناعي أو أنظمة التحليل الرقمي الذكية. وقد اعتمد البرنامج على خبرة المعالجين في تحديد نوع التمارين، شدتها، عدد تكراراتها، وفترات الراحة، وفقًا للتقييم السريري لكل مشارك وبما يتناسب مع قدراته البدنية والتنفسية.

وشمل البرنامج التأهيلي التقليدي تمارين الإطالة العضلية، والتقوية العامة لعضلات الجذع وأسفل الظهر، وتمارين المرونة، والتمارين الأساسية للتوازن، إضافة إلى تمارين التنفس الوظيفي البسيطة، وذلك وفق البروتوكولات العلاجية المعتمدة في مراكز العلاج الطبيعي، دون استخدام أي أنظمة ذكية لضبط الأحمال أو تخصيص التمارين بشكل فردي.

2. 9 الاختبارات البعدية:

تم اجراء الاختبارات البعدية بنفس الطريقة التي اجريت فيها الاختبارات القبلية ولنفس المتغيرات وكانت بتاريخ 2026/1/8.

2. 10 الوسائل الاحصائية:

تم استخدام مجموعة من الوسائل الإحصائية المناسبة لطبيعة تصميم البحث وأهدافه من خلال استخدام نظام SPSS.

3. عرض النتائج وتحليلها ومناقشتها:

3. 1 عرض وتحليل النتائج:

3. 1. 1 عرض وتحليل نتائج القياسات القبلية والبعدية للمجموعة التجريبية في المتغيرات قيد الدراسة:

نتائج الجدول ادناه توضح مقارنة الاختبارات قبل تطبيق البرنامج التأهيلي المعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي وبعده، بهدف بيان مقدار التغير الحاصل في المؤشرات البدنية لدى أفراد المجموعة التجريبية. جدول (3) يوضح الفروق بين القياسات القبلية والبعدية للمجموعة التجريبية في المتغيرات قيد الدراسة.

جدول (3) الفروق بين القياسات القبلية والبعدية للمجموعة التجريبية في متغيري القوة العضلية والمرونة الحركية للكتف.

المتغيرات	وحدة القياس	القياس القبلي		القياس البعدي		قيمةT	قيمةP	الدلالة الإحصائية
		س	ع	س	ع			
القوة العضلية	سم	18.5	2.1	25.3	1.8	9.84	0.000	دال
المرونة	سم	115.3	8.2	133.7	7.5	8.71	0.000	دال

مستوى الدلالة الإحصائية = 0.05 ، درجة الحرية = (4)

أظهرت النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصائية عالية بين القياسين القبلي والبعدي، حيث بلغت قيم P = 0.000 لكل من المتغيرين، ما يشير إلى تحسن معنوي بعد تطبيق البرنامج التأهيلي القائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي.

بالنسبة إلى القوة العضلية، ارتفع المتوسط من 18.5 ± 2.1 سم في القياس القبلي إلى 25.3 ± 1.8 سم في القياس البعدي، مما يعكس تعزيز القدرة العضلية للكتف وتحسين التحكم العصبي العضلي الناتج عن التمرينات العلاجية الموجهة والمدعومة بتحليل الأحمال الذكي.

DOI: https://doi.org/10.33687/jhssr.005.02.0552
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

أما المرونة الحركية للكتف، فقد زاد المتوسط من 115.3 ± 8.2 سم إلى 133.7 ± 7.5 سم بعد البرنامج، وهو ما يدل على تحسين مدى الحركة الوظيفية للكتف نتيجة التدرج المنهجي في شدة التمارين والتحميل التدريجي المخصص لكل مشارك وفق استجابته الفردية.

تؤكد هذه النتائج فاعلية البرنامج التأهيلي الذكي في إحداث تحسن ملحوظ وذو دلالة إحصائية في القوة العضلية والمرونة الحركية، بما يعكس تعزيز الأداء الوظيفي للكتف لدى المشاركين.

3. 1. 2 عرض وتحليل نتائج القياسات القبلية والبعدية للمجموعة الضابطة في المتغيرات قيد الدراسة:

تُعرض فيما يأتي نتائج القياسات القبلية والبعدية للمجموعة الضابطة في المتغيرات قيد الدراسة، من خلال مقارنة نتائج الاختبارات قبل تطبيق البرنامج التأهيلي التقليدي وبعده، لبيان مقدار التغير الحاصل في المؤشرات البدنية لدى أفراد المجموعة الضابطة.

جدول (4) الفروق بين القياسات القبلية والبعدية للمجموعة الضابطة في المتغيرات قيد الدراسة

المتغيرات	وحدة القياس	القياس القبلي		القياس البعدي		قيمةT	قيمةP	الدلالة الإحصائية
		س	ع	س	ع			
القوة العضلية	سم	18.1	2.3	19.3	2.2	1.12	0.32	غير دال
المرونة	سم	116.1	7.9	119.0	7.6	1.45	0.21	غير دال

مستوى الدلالة الإحصائية = 0.05 ، درجة الحرية = (4)

يبين جدول (4) الفروق بين القياسات القبلية والبعدية للمجموعة الضابطة في متغيري القوة العضلية والمرونة الحركية للكتف بعد تطبيق البرنامج التأهيلي التقليدي. ففي متغير القوة العضلية أظهر المتوسط ارتفاعًا طفيفًا من 18.1 ± 2.3 سم في القياس القبلي إلى 19.3 ± 2.2 سم في القياس البعدي، بينما قيم اختبار T كانت 1.12، مع قيمةP = 0.32 ، وهي أكبر من مستوى الدلالة 0.05، مما يشير ذلك إلى أن الفرق بين القياسين القبلية والبعدية ليس ذا دلالة إحصائية، مما يعني أن البرنامج التقليدي لم يحقق تحسنًا ملحوظًا في القوة العضلية لدى هذه المجموعة.

بينما في متغير المرونة الحركية للكتف اظهر الجدول بوجود ارتفاع بالمتوسط الحسابي من 116.1 ± 7.9 سم إلى 119.0 ± 7.6 سم بعد البرنامج، في حين قيم اختبار T كانت 1.45، مع قيمةP = 0.21 > 0.05 ، مما يدل أيضًا على عدم وجود فرق دال إحصائيًا، وهذا يشير إلى أن البرنامج التقليدي لم يكن فعالًا بشكل ملموس في زيادة مدى الحركة الوظيفية للكتف.

3. 1. 3 عرض وتحليل نتائج القياسات البعدية للمجموعتين التجريبية والضابطة في المتغيرات قيد الدراسة

تُبيَّن في هذا المبحث نتائج القياسات البعدية للمجموعتين التجريبية والضابطة في المتغيرات قيد الدراسة، من خلال إجراء المقارنة الإحصائية بين نتائج الاختبارات بعد تطبيق البرنامجين التأهيليين، للكشف عن الفروق في مستوى التحسن الحاصل في المؤشرات البدنية بين المجموعتين.

جدول (5) الفروق بين المجموعتين التجريبية والضابطة في القياسات البعدية

المتغيرات	وحدة القياس	المجموعة التجريبية		المجموعة الضابطة		قيمةT	قيمةP	الدلالة الإحصائية
		س	ع	س	ع			
القوة العضلية	سم	25.3	1.8	19.3	2.2	5.78	0.001	دال
المرونة	سم	133.7	7.5	119.0	7.6	4.92	0.002	دال

مستوى الدلالة الإحصائية = 0.05 ، درجة الحرية = (8)

يبين جدول (5) الفروق بين القياسات البعدية للمجموعة التجريبية والمجموعة الضابطة في متغيري القوة العضلية والمرونة الحركية للكتف بعد تطبيق البرنامج التأهيلي. ففي متغير القوة العضلية بلغ المتوسط في المجموعة التجريبية 25.3 ± 1.8 سم، بينما كانت في المجموعة الضابطة 19.3 ± 2.2 سم، بينما أظهر اختبار T = 5.78 مع قيمة P = 0.001 أن الفارق بين المجموعتين ذو دلالة إحصائية عند مستوى 0.05، وهذا يشير إلى أن البرنامج التأهيلي القائم على الذكاء الاصطناعي حقق تحسنًا معنويًا أكبر في القوة العضلية مقارنة بالبرنامج التقليدي، مما يعكس فاعلية التدخل الذكي في تعزيز القدرة العضلية للكتف.

DOI: https://doi.org/10.33687/jhssr.005.02.0552

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

بينما في متغير المرونة الحركية للكتف بلغ المتوسط الحسابي في المجموعة التجريبية 133.7 ± 7.5 سم، مقابل 119.0 ± 7.6 سم في المجموعة الضابطة، وان اختبار T = 4.92 و P = 0.002 وهذا يدل على أن الفارق بين المجموعتين دال إحصائيًا، مما يعكس هذا تحسنًا ملحوظًا في مدى الحركة الوظيفية للكتف لدى المشاركين الذين خضعوا للبرنامج الذكي، مقارنة بالمجموعة الضابطة التي تلقت البرنامج التقليدي.

3. 2 مناقشة النتائج:

تشير نتائج البحث إلى أن البرنامج التأهيلي القائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي أظهر تأثيرًا إيجابيًا وملحوظًا على المتغيرات البدنية للمجموعة التجريبية، مقارنة بالبرنامج التقليدي الذي تم تطبيقه على المجموعة الضابطة. فقد أظهرت القياسات البعدية تحسنًا كبيرًا في كل من القوة العضلية والمرونة الحركية للكتف لدى المشاركين في المجموعة التجريبية، وهو ما يبرز فعالية التدخل الذكي في تعزيز الأداء الوظيفي للكتف المصاب بتمزق الكفة المدورة. إن الفارق الكبير بين المجموعتين في القياسات البعدية، والذي بلغ قيم T = 5.78 للقوة العضلية و T = 4.92للمرونة الحركية، مع قيمة P < 0.05لكل متغير، يؤكد أن التحسن الملحوظ في المجموعة التجريبية لم يكن صدفة وإنما نتيجة مباشرة لتطبيق البرنامج الذكي.

يمكن تفسير التحسن الكبير في القوة العضلية للمجموعة التجريبية من خلال قدرة البرنامج على تخصيص الأحمال التدريبية لكل مشارك بناءً على الاستجابة الفردية، مما يسمح بتحفيز الألياف العضلية بشكل فعال دون التسبب بالإجهاد المفرط. وقد أشارت الدراسات الحديثة إلى أن التمرينات العلاجية الموجهة والمدعومة بالتحليل الذكي للأداء يمكن أن تعزز التحكم العصبي العضلي وتولد قوة عضلية أعلى مقارنة بالتمارين التقليدية الثابتة (Chamorro et al., 2021; Soylu et al., 2023).هذا يعني أن النظام الذكي قادر على تعديل شدة التمارين وزيادة المقاومة تدريجيًا وفق مستوى استجابة المشارك، ما يسهم في تحسين القوة العضلية بشكل متوازن وآمن.

أما بالنسبة للمرونة الحركية للكتف، فقد لوحظ تحسن كبير في مدى الحركة الوظيفية للمجموعة التجريبية، إذ ارتفع المتوسط من 115.3 ± 8.2 سم إلى 133.7 ± 7.5 سم بعد البرنامج. ويعود ذلك جزئيًا إلى قدرة النظام الذكي على تعديل نطاق الحركة والتكرارات بشكل متواصل بناءً على أداء المشارك في الوقت الفعلي، ما يسمح بتحسين المرونة دون تحميل زائد على الأوتار أو الأربطة (Norkin & White, 2016; Kolber & Hanney, 2012). كما يعزز هذا التدرج المنهجي في الأحمال والتكرارات التكيف العضلي العصبي، مما يضمن استعادة الحركة الطبيعية للمفصل بفعالية أكبر من البرامج التقليدية.

وفي المقابل، أظهرت القياسات البعدية للمجموعة الضابطة التي تلقت البرنامج التقليدي تحسنًا محدودًا وغير دال إحصائيًا في كل من القوة العضلية والمرونة، إذ ارتفعت القوة من 18.1 ± 2.3 سم إلى 19.3 ± 2.2 سم والمرونة من 116.1 ± 7.9 سم إلى 119.0 ± 7.6 سم، مع قيمة P > 0.05. يعكس هذا محدودية البرامج التقليدية في تحقيق تحسن وظيفي ملحوظ، إذ تعتمد غالبًا على بروتوكولات ثابتة لا تأخذ في الاعتبار استجابة الفرد وقدراته البدنية، وهو ما يقلل من فعاليتها في حالات الإصابات المعقدة مثل تمزق الكفة المدورة.(Portney & Watkins, 2020)

تشير النتائج أيضًا إلى أن الفروق بين المجموعتين بعد انتهاء البرنامج التأهيلي تعكس قوة تأثير الذكاء الاصطناعي في تصميم برامج تأهيلية تكيفية، يمكنها تعديل الأحمال وشدة التمارين وتحسين التكرار بشكل فردي، وهو ما يدعم التعافي السريع والفعال للعضلات والأربطة المصابة. هذه القدرة على التكيف اللحظي للبرنامج مع الأداء الحركي لكل مشارك تعطي ميزة واضحة للبرامج الذكية مقارنة بالطرق التقليدية الثابتة التي تفتقر إلى هذه المرونة.(Kisner et al., 2017)

بالإضافة إلى ذلك، فإن دمج التمارين الوظيفية للكتف مع التحليل الذكي للحمل التدريبي يساهم في تحسين التوازن العضلي بين العضلات المثنية والممتدة، ما يقلل من احتمالية حدوث اختلالات أو إصابات ثانوية. وقد أظهرت الدراسات أن مثل هذا التوازن العضلي ضروري للحفاظ على استقرار المفصل وتحسين الأداء الحركي الوظيفي، وهو ما يفسر ارتفاع القوة العضلية والمرونة في المجموعة التجريبية مقارنة بالمجموعة الضابطة.(Leahy, 2024)

كما أن البرنامج التأهيلي الذكي يوفر تغذية راجعة فورية للمشاركين، تمكنهم من تصحيح أنماط الحركة الخاطئة أثناء أداء التمارين، ما يساهم في تعزيز جودة الأداء وتحقيق الاستفادة القصوى من كل جلسة تأهيلية. هذه الخاصية لا تتوفر في البرامج التقليدية، التي تعتمد على إشراف المعالج فقط، مما يحد من إمكانية التعديل اللحظي للأداء وتحسين النتائج (Safrit & Wood, 2011).

ويعكس التحسن الملحوظ في كل من القوة العضلية والمرونة الحركية لدى المجموعة التجريبية أيضًا التأثير الإيجابي للتدرج في الأحمال التدريبية، حيث يسمح البرنامج الذكي للعضلات بالتكيف تدريجيًا مع مستويات المقاومة المختلفة، مما يقلل من الألم ويزيد من قدرة العضلة على توليد القوة بشكل فعال.(Cadogan et al., 2011)

علاوة على ذلك، فإن النتائج تدعم فكرة أن التدخلات الذكية يمكن أن تحسن الأداء الوظيفي العام للمفصل، بما في ذلك الاستقرار الديناميكي والتحكم العصبي العضلي، وهو أمر حيوي لممارسي السباحة الذين يتعرضون لحركات دورانية عالية الشدة ومتكررة على الكتف. فالتكيف التدريجي والذكي للأحمال يقلل من الإجهاد التراكمي على الأوتار ويعزز العودة الآمنة للرياضة.(Kisner et al., 2017)

أخيرًا، يمكن القول إن النتائج تؤكد أن البرامج التأهيلية المعتمدة على الذكاء الاصطناعي تتفوق بشكل واضح على البرامج التقليدية من حيث فاعلية تحسين القوة العضلية والمرونة الحركية. ويعكس ذلك قدرة هذه البرامج على توفير تدخل

DOI: https://doi.org/10.33687/jhssr.005.02.0552
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

شخصي دقيق لكل مشارك، وتكييف التمارين وفق الأداء اللحظي، مما يحقق تحسنًا وظيفيًا ملموسًا يقلل من الألم ويعزز القدرة على أداء الأنشطة اليومية والرياضية بكفاءة أعلى.

بناءً على ما سبق، تؤكد الدراسة أن دمج تقنيات الذكاء الاصطناعي في برامج التأهيل الرياضي للمصابين بتمزق الكفة المدورة يشكل نموذجًا متقدمًا لتطوير الأداء الوظيفي للكتف ويضع الأسس لتصميم برامج مستقبلية قادرة على تعزيز القوة والمرونة بأمان وفعالية، وهو ما يتوافق مع النتائج الحديثة في مجال التأهيل الرياضي الذكي (Portney & Watkins, 2020; Chamorro et al., 2021; Leahy, 2024).

4. الخاتمة:

تشير نتائج الدراسة إلى أن البرنامج التأهيلي القائم على تقنيات الذكاء الاصطناعي أظهر فعالية واضحة في تحسين القوة العضلية والمرونة الحركية لمفصل الكتف لدى ممارسي السباحة المصابين بتمزق الكفة المدورة، مقارنة بالبرنامج التأهيلي التقليدي. وقد أتاح التدخل الذكي التدرج المنهجي للأحمال التدريبية، والتخصيص الفردي للتمارين، والتغذية الراجعة الفورية، مما ساهم في تعزيز الأداء الوظيفي للكتف وتقليل مخاطر الإصابات المتكررة. وتعكس هذه النتائج إمكانيات الذكاء الاصطناعي في تصميم برامج تأهيلية تكيفية دقيقة وآمنة، تدعم العودة السريعة والآمنة للأنشطة الرياضية. وبالتالي، يُعد البرنامج التأهيلي الذكي نموذجًا متقدمًا وواعدًا لتطوير كفاءة مفصل الكتف وتحسين المؤشرات البدنية والوظيفية لدى المصابين.

References

[1] Portney, L. G., & Watkins, M. P. (2020). Foundations of Clinical Research: Applications to Evidence-Based Practice (4th ed.).Philadelphia, PA: F.A. Davis Company. P. 236-239.

[2] Kisner, C., Colby, L. A., & Borstad, J. (2017). Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques (7th ed.). Philadelphia, PA: F.A. Davis Company. P. 153-158.

[3] Safrit, M. J., & Wood, T. M. (2011). Measurement Concepts in Physical Education and Exercise Science (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics. P. 321-327.

[4] Chamorro C., et al. (2021). *Absolute Reliability and Concurrent Validity of Hand-Held Dynamometers for Muscle Strength Assessment.* International Journal of Environmental Research and Public Health, 18(17), 9293.

[5] Cadogan A., Laslett M., Hing W., McNair P., Williams M. (2011). *Reliability of a new hand-held dynamometer in measuring shoulder range of motion and strength,* Manual Therapy, 16, 97–101.

[6] Leahy, I. (2024). *Isokinetic dynamometry for external and internal rotation shoulder strength assessment.* J of Clinic Biome and Reh. Available at: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11611475/

[7] Soylu, Ç., et al. (2023). *Reliability and validity of isokinetic strength assessment for rotator cuff muscles.* J of Spo Scie and Reh. Available at: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38812618/

[8] Kolber, M. J., & Hanney, W. J. (2012). *The reliability and concurrent validity of shoulder mobility measurements using a digital inclinometer and goniometer.* Journal of Sport Rehabilitation, 21(4), 306–313. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22836659/

[9] Norkin, C. C., & White, D. J. (2016). *Measurement of Joint Motion: A Guide to Goniometry* (5th ed.). F.A. Davis Company, Philadelphia.

[10] Portney, L. G., & Watkins, M. P. (2020). *Foundations of Clinical Research: Applications to Evidence-Based Practice* (4th ed.). Philadelphia, PA: F.A. Davis Company. P. 236-239.

[11] Kisner, C., Colby, L. A., & Borstad, J. (2017). *Therapeutic Exercise: Foundations and Techniques* (7th ed.). Philadelphia, PA: F.A. Davis Company. P. 153-158.

[12] Safrit, M. J., & Wood, T. M. (2011). *Measurement Concepts in Physical Education and Exercise Science* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics. P. 321-327.

DOI: https://doi.org/10.33687/jhssr.005.02.0552

This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.

[13] Chamorro C., et al. (2021). Absolute Reliability and Concurrent Validity of Hand-Held Dynamometers for Muscle Strength Assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9293.
[14] Cadogan A., Laslett M., Hing W., McNair P., Williams M. (2011). Reliability of a new hand-held dynamometer in measuring shoulder range of motion and strength. *Manual Therapy*, 16, 97–101.
[15] Leahy, I. (2024). Isokinetic dynamometry for external and internal rotation shoulder strength assessment. *Journal of Clinical Biomechanics and Rehabilitation*. Available at: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11611475/
[16] Soylu, Ç., et al. (2023). Reliability and validity of isokinetic strength assessment for rotator cuff muscles. *Journal of Sports Science and Rehabilitation*. Available at: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38812618/
[17] Kolber, M. J., & Hanney, W. J. (2012). The reliability and concurrent validity of shoulder mobility measurements using a digital inclinometer and goniometer. *Journal of Sport Rehabilitation*, 21(4), 306–313.
[18] Norkin, C. C., & White, D. J. (2016). *Measurement of Joint Motion: A Guide to Goniometry* (5th ed.). F.A. Davis Company, Philadelphia.

DOI: https://doi.org/10.33687/jhssr.005.02.0552
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND license.