فاعلية برنامج تأهيلي مقترح لتطوير التحكم الحركي لمفصل الكاحل في ضوء المتغيرات الكينماتيكية بعد جراحات الأوتار والأربطة للرياضيين

د. بشير محمد الحاراتي [1] د. نورالدين احمد التريكي [2] د. فؤاد أحمد برغش [3]
المؤلف 1 https://orcid.org/ 0009-0000-2111-3133
المؤلف 2 https://orcid.org/ 0009-0005-7812-2889
المؤلف 3 https://orcid.org/ 0009-0009-6891-171X
قسم التدريب الرياضي. كلية التربية البدنية وعلوم الرياضة. جامعة طرابلس. ليبيا[1 2 3]
[3] f.barghish@uot.edu.ly [2] n.altareki@uot.edu.ly [1]dr.bashirharaty@gmail.com

Effectiveness of a Proposed Rehabilitation Program for Developing Ankle Joint Motor Control in Light of Kinematic Variables after Tendon and Ligament Surgeries for Athletes

[1] Dr. Bashir Muhammad Al-Harti [2] Dr. Noureddine Ahmed Al-Treiki
[3] Dr. Fouad Ahmed Barghash
[1 2 3] Department of Sports Training, Faculty of Physical Education and Sports Sciences, University of Tripoli, Libya

تاريخ الاستلام: 10-04-2026، تاريخ القبول: 25-04-2026، تاريخ النشر: 01-06-2026.

المستخلص:

هدفت الدراســـة إلى التعرف على فاعلية برنامج تأهيلي مقترح قائم على التمرينات الوظيفية والتوازن لتطوير التحكم الحركي لمفصــل الكاحل بعد جراحات إصــلاح الأوتار والأربطة للرياضــيين ، وذلك في ضوء المتغيرات الكينماتيكية (زاويا المفصل، السرعة الزاوية، الإزاحة) وبعض المتغيرات البدنية والوظيفية، اســتخدم الباحثون المنهج التجريبي بتصــميم المجموعتين (التجريبية والضــابطة) لملاءمته طبيعة البحث، تكونت افراد عينة البحث من عدد (30) مصــاباً بتمزق في أربطة الكاحل أو وتر العرقوب، تم تقســيمهم عشــوائياً إلى مجموعتين: تجريبية (15 مصــاباً) تطبق البرنامج المقترح، وضــابطة (15 مصــاباً) تطبق البرنامج التأهيلي التقليدي، أظهرت النتائج وجود فروق ذات دلالة إحصــائية بين القياســين القبلي والبعدي لصـــالح القياس البعدي في المتغيرات الكينماتيكية والتحكم الحركي لدى المجموعة التجريبية، كما أظهرت تفوق المجموعة التجريبية على المجموعة الضـــابطة في القياس البعدي، مما يدل على فاعلية البرنامج المقترح في اسـتعادة النمط الحركي الطبيعي وتقليل مخاطر الإصـابة مرة أخرى، أوصـى البحث بالاعتماد على البرنامج التأهيلي المقترح كدليل علاجي لمرحلة ما بعد الجراحة، وضـــرورة دمج التحليل الكينماتيكي في تقييم عمليات إعادة التأهيل.

الكلمات المفتاحية: تطوير التحكم الحركي المتغيرات الكينماتيكية، جراحات الأوتار والأربطة.

Abstract:

The study aimed to identify the effectiveness of a proposed rehabilitation program based on functional and balance exercises to develop ankle joint motor control after tendon and ligament repair surgeries for athletes, in light of kinematic variables (joint angles, angular velocity, displacement) and some physical and functional variables. The researchers used the experimental method with a two-group design (experimental and control) as it was suitable for the nature of the research. The research sample consisted of (30) patients with torn ankle ligaments or Achilles tendon, who were randomly divided into two groups: an experimental group (15 patients) that applied the proposed program, and a control group (15 patients) that applied the traditional rehabilitation program. The results showed statistically significant differences between the pre- and post-measurements in favor of the post-measurement in the kinematic variables and motor control for the experimental group. It also showed the superiority of the experimental group over the control group in the post-measurement, which indicates the effectiveness of the proposed program in restoring the normal movement pattern and reducing the risk of re-injury. The research recommended adopting the proposed rehabilitation program as a treatment guide for the post-operative stage. The need to integrate kinematic analysis into the evaluation of rehabilitation processes.

Keywords: Motor control development, kinematic variables, tendon and ligament surgery

المقدمة:

يعد مفصل الكاحل من أكثر مفاصل الجسم تعرضاً للإصابات الرياضية والحياتية، نظراً لدوره الحيوي في تحمل وزن الجسم والحفاظ على التوازن أثناء الوقوف والمشي والجري. تتطلب الطبيعة التشريحية المعقدة للكاحل، والتي تتكون من عظام متعددة وأربطة قوية وأوتار عضلية، تناسقاً عصبياً عضلياً دقيقاً يسمى التحكم الحركي. **(حسين، 2020)**

تشير الإحصائيات الطبية إلى أن إصابات أربطة الكاحل تمثل ما يقارب 20–25% من إجمالي الإصابات الرياضية، وغالباً ما تتطلب حالات التمزق الشديد تدخلاً جراحياً لإعادة بناء الأربطة أو إصلاح الأوتار المتمزقة كوتر العرقوب ورغم التطور الكبير في التقنيات الجراحية، إلا أن النجاح الحقيقي للعملية يعتمد بشكل رئيسي على مرحلة إعادة التأهيل اللاحقة. **(Smith, 2019)**

مشكلة ما بعد جراحات الأوتار والأربطة لا تقتصر على ضعف القوة العضلية، بل تمتد لتشمل اختلال في "التحكم الحركي"، وهو قدرة الجهاز العصبي على تنظيم استجابة العضلات للحفاظ على وضعية المفصل أثناء الحركة. ينتج عن هذا الاختلال نمط حركي ميكانيكي خاطئ يعوض به المريض ضعف المفصل، مما يؤدي إلى تغييرات في المتغيرات الكينماتيكية مثل زوايا المفاصل، معدل

السرعة الزاوية، ومسار مركز الثقل. **(Richards, 2021)**

إن غياب التحكم الحركي الدقيق يؤدي إلى عدم اســتقرار مزمن في الكاحل، مما يزيد من احتمالية الإصـابة مرة أخرى وظهور مضـاعفات مبكرة مثل خشـونة المفاصـل. ومن هنا برزت الحاجة إلى برامج تأهيلية لا تكتفي بتقوية العضــلات، بل تركز على "إعادة برمجة" الجهاز العصــبي للتحكم في المفصــل باستخدام التغذية الراجعة الحسية والحركية. **(Hewett, 2018)**

تستخدم الدراسات الحديثة التحليل الكينماتيكي كأداة موضوعية دقيقة لتقييم فاعلية البرامج التأهيلية، حيث يسمح بتقسيم الحركة إلى مكوناتها الأساسية وتحليل الزوايا والسرعات بدقة تتجاوز التقييم السريري التقليدي. وبالتالي، فإن ربط البرنامج التأهيلي بنتائج التحليل الكينماتيكي يعد ضرورة علمية لضمان عودة المريض لمستواه الوظيفي الطبيعي. **(سعيد، 2022)**

المشكلة:

تعتبر مرحلة ما بعد جراحات الأوتار والأربطة في الكاحل مرحلة حرجة، حيث يركز الجراحون والمعالجون غالباً على المعايير الأساسية للشفاء مثل التئام الأنسجة واستعادة مدى الحركة والقوة العضلية. إلا أن الملاحظة الميدانية والدراسات السريرية تشير إلى أن نسبة كبيرة من المرضى الذين أتموا برامج التأهيل التقليدية يشتكون من "عدم الثقة" في مفصلهم، وظهور اضطرابات في المشي، وعدم القدرة على العودة للمستوى السابق للأداء الرياضي.

تكمن مشكلة البحث في أن البرامج التأهيلية التقليدية قد تغفل جانب "التحكم الحركي" المعقد، والذي يتضرر بشكل كبير بسبب فترة التثبيت بعد الجراحة، مما يؤدي إلى ضمور في المستقبلات الحسية داخل الأربطة والمحفظة المفصلية، هذا القصور يؤدي إلى أنماط حركية "كينماتيكية" غير طبيعية، مثل المشي بشكل غير متوازن أو عدم القدرة على امتصاص الصدمات، وهو ما لا يمكن اكتشافه بالعين المجردة بل يحتاج لتحليل دقيق.

أشارت دراسة الحديثة إلى أن 30% من المرضى بعد جراحة الكاحل يعانون من آلام مزمنة وعدم استقرار نتيجة لبرامج تأهيل لا تهتم بالجوانب العصبية الحركية، ومن هنا تتضح الحاجة الماسة لوضع برنامج تأهيلي يهدف بشكل مباشر لاستعادة التحكم الحركي وقياس نتائجه عبر المتغيرات الكينماتيكية الدقيقة.

(Johnson, 2021)

الاهداف:

1- تصميم برنامج تأهيلي قائم على التمارين الوظيفية والتوازن لتطوير التحكم الحركي لمفصل الكاحل بعد جراحات الأوتار والأربطة.

2- التعرف على تأثير البرنامج المقترح على بعض المتغيرات الكينماتيكية (زاوية الانعطاف، السرعة الزاوية، زمن الاستجابة الحركية).

3- مقارنة فاعلية البرنامج المقترح بالبرنامج التأهيلي التقليدي في استعادة الوظيفة الطبيعية للمفصل.

4- تقديم نموذج علمي موثق لمراكز إعادة التأهيل والطب الرياضي يعتمد على البراهين الكينماتيكية.

الفروض:

1- توجد فروق ذات دلالة إحصائية بين القياسين القبلي والبعدي لصالح القياس البعدي للمجموعة التجريبية في المتغيرات الكينماتيكية والتحكم الحركي.

2- توجد فروق ذات دلالة إحصائية بين القياسين القبلي والبعدي لصالح القياس البعدي للمجموعة الضابطة في المتغيرات الكينماتيكية والتحكم الحركي.

3- توجد فروق ذات دلالة إحصائية بين المجموعتين التجريبية والضابطة في القياس البعدي لصالح المجموعة التجريبية في المتغيرات الكينماتيكية والتحكم الحركي.

مصطلحات الدراسة:

البرنامج التأهيلي:

هو خطة علاجية حركية منظمة ومتدرجة تهدف إلى إعادة الوظيفة الطبيعية لمفصل الكاحل، وتتضمن مراحل علاجية تبدأ من الحركة السلبية وصولاً للأنشطة الرياضية المتقدمة. **(Ahmed, 2019)**

التحكم الحركي (Motor Control):

هو قدرة الجهاز العصبي المركزي على تنظيم وتوجيه نشاط الوحدات الحركية للوصول إلى الهدف الحركي المطلوب بدقة وثبات، ويشمل التوازن والتوافق العضلي العصبي. **(سعيد، 2022)**

المتغيرات الكينماتيكية:

هي الكميات الفيزيائية التي تصف الحركة من حيث الشكل والزمان والمكان دون النظر إلى القوى المسببة لها، وتشمل في هذا البحث: (زاوية مفصل الكاحل في المستوى السهمي، السرعة الزاوية، الإزاحة الجانبية لمركز الثقل).

الدراسات السابقة:

دراســة: (Ahmed, 2019) هدفت إلى تأثير تمارين التوازن على اســتقرار الكاحل للاعبي كرة القدم. توصلت إلى أن التمارين غير المستقرة تحسن الإحساس العميق بشكل ملحوظ، وتتفق مع الدراسة الحالية في التركيز على التوازن، وتختلف في نوع العينة (رياضــيون أصــحاء مقابل مرضــى ما بعد الجراحة) . (Ahmed, 2019)

دراسة :(Miller et al., 2020) تناولت التحليل الحركي بعد جراحة وتر العرقوب. أظهرت النتائج أن المرضــى يحتفظون بنمط حركي متغير لمدة تصــل لســنة بعد الجراحة. وتســتفيد الدراســة الحالية من هذه النتائج للتأكيد على أهمية التحليل الكينماتيكي كأداة تقييم. (Miller, 2020)

دراسة (عمر، 2021): قارنت بين التأهيل التقليدي والتأهيل الوظيفي بعد إصــابات الأربطة، أثبتت تفوق التأهيل الوظيفي في سرعة العودة للرياضة. وتختلف دراستنا في تركيزها على القياسات الكينماتيكية الدقيقة كمعيار للنجاح.

دراســة :(Kaminski, 2018) ركزت على العلاقة بين القوة والتحكم الحركي، خلصــت إلى أن القوة وحدها لا تكفي لاستعادة التحكم الحركي، بل تحتاج لتدريبات حسية حركية، وهو ما تعتمده الدراسة الحالية في بناء برنامجها.

الاجراءات:

المنهج:

اســتخدم الباحثون المنهج التجريبي بتصــميم المجموعتين (التجريبية والضــابطة) بطريقة القياس القبلي والبعدي، حيث يعتبر هذا المنهج الأنســب للتحقق من العلاقة الســببية بين المتغير المســتقل (البرنامج التأهيلي) والمتغيرات التابعة (المتغيرات الكينماتيكية والتحكم الحركي).

المجتمع:

يتكون مجتمع البحث من الرياضيين المصابين الذين أجروا عمليات جراحية لإصلاح أربطة الكاحل أو وتر العرقوب والمترددين على مراكز الارتقاء للعلاج الطبيعي وإعادة التأهيل بمدينة طرابلس، خلال الموسم(2024-2025)

العينة:

تم اختيار عينة البحث بالطريقة العمدية من الرياضــيين المصــابين الذين أجروا عمليات جراحية لإصــلاح أربطة الكاحل أو وتر العرقوب والمترددين على مراكز الارتقاء للعلاج الطبيعي وإعادة التأهيل بمدينة طرابلس، بلغ افراد عينة البحث (30) مصابا ثم تقسيمهم عشوائيا الي مجموعتين:

مجموعة تجريبية: (15) مريضاً.

- مجموعة ضابطة: (15) مريضاً.

جدول (1): الخصائص المعيارية لأفراد عينة البحث (ن=30)

المتغير	المجموعة	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الوسيط	المنوال
العمر (سنة)	التجريبية	28.5	3.2	29	30
	الضابطة	27.9	2.8	28	28
الطول (سم)	التجريبية	175.4	5.1	175	176
	الضابطة	174.8	4.9	175	174
الوزن (كجم)	التجريبية	78.2	6.5	78	77
	الضابطة	77.9	6.1	78	78
مدة التثبيت (أسبوع)	التجريبية	4.0	0.5	4	4
	الضابطة	4.0	0.5	4	4

يتضح من الجدول رقم (1) أعلاه تقارب أفراد المجموعتين في المتغيرات (العمر، الطول، الوزن، مدة التثبيت)، مما يشير إلى تجانس العينة وتساوي الظروف البدنية والطبية قبل البدء في التجربة، مما يضمن صحة المقارنة لاحقاً. تم التأكد من عدم وجود فروق دالة إحصائياً بين المجموعتين في هذه المتغيرات باستخدام اختبار (ت) للعينات المستقلة.

الأدوات والاجهزة المستخدمة:

1-جهاز التحليل الحركي ثلاثي الأبعاد (3D Motion Analysis System): لقياس الزوايا والسرعات الزاوية بدقة عالية باستخدام الكاميرات والعواكس الضوئية.

2-منصة القوة (Force Plate): لقياس مؤشرات التوازن ومركز الضغط.(COP)

3-مقياس الإحساس العميق (Goniometer): للتقييم السريري.

4-استمارة فحص طبي للموافقة وشروط القبول.

الدراسة الاستطلاعية:

أجريت الدراسة الاستطلاعية على عينة مكونة من (3) من الرياضيين المصابين الذين أجروا عمليات جراحية لإصلاح أربطة الكاحل أو وتر العرقوب من خارج العينة الأصلية، وذلك لـ:

- التأكد من صلاحية الأدوات وسلامة إجراءات القياس.
- التعرف على مدى تقبل المرضى للبرنامج والتمارين المقترحة.
- تحديد الزمن المناسب لكل تمرين وتجنب أي آثار جانبية سلبية.

أسفرت الدراسة الاستطلاعية عن إجراء تعديلات طفيفة على تدرج التمارين في الأسبوع الرابع.

المعالجات الإحصائية:

تم إدخال البيانات إلى الحاسوب واستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)لمعالجة البيانات عبر:

- المتوسط الحسابي والانحراف المعياري.
- اختبار (ت) للعينات المرتبطة (Paired t-test) للمقارنة بين القياسين القبلي والبعدي.
- اختبار (ت) للعينات المستقلة (Independent t-test) للمقارنة بين المجموعتين.
- حجم الأثر (Effect Size) لمعرفة حجم التغيير الحقيقي.

الدراسة الأساسية:

بعد التأكد من صلاحية الأدوات عبر الدراسة الاستطلاعية، قام الباحثون بتنفيذ الدراسة الأساسية وفق الخطوات التالية:

مرحلة التحضير والتنظيم:

- تم الحصول على الموافقات الأخلاقية الرسمية من مركز الارتقاء للعلاج الطبيعي.
- تم اختيار افراد عينة الدراسة الأساسية (30) من الرياضيين المصابين الذين أجروا عمليات جراحية لإصلاح أربطة الكاحل أو وتر العرقوب والمتردين على مراكز الارتقاء للعلاج الطبيعي وإعادة التأهيل وتقسيمهم عشوائياً إلى مجموعتين (تجريبية وضابطة).
- تم عقد اجتماع مع افراد عينة البحث لتوضيح أهداف البحث والبرنامج الزمني للحصول على موافقتهم وتعاونهم.

القياس القبلي:

تم تطبيق أدوات القياس جهاز التحليل الحركي ثلاثي الأبعاد :(3D Motion Analysis System) لقياس الزوايا والسرعات الزاوية بدقة عالية باستخدام الكاميرات والعواكس الضوئية ومنصة القوة (Force Plate):لقياس مؤشرات التوازن ومركز الضغط.(COP) ومقياس الإحساس العميق :(Goniometer) للتقييم السريري. على جميع افراد عينة الدراسة الأساسية (التجريبية والضابطة) قبل البدء بالبرنامج لتسجيل البيانات الأولية.

تطبيق البرنامج:

المجموعة التجريبية: طبق عليها البرنامج التأهيلي المقترح لتطوير التحكم الحركي لمفصل الكاحل في

ضـوء المتغيرات الكينماتيكية بعد جراحات الأوتار والأربطة للرياضـيين لمدة 12 الاسـبوع بواقع عدد (3) مراحل وكل مرحلة تحتوي على غدد (4) اسابيع، بمعدل عدد (3) جلسات أسبوعياً، (إجمالي 36 جلسة)، مدة الجلسة 45–60 دقيقة.

المجموعة الضـابطة: طبق عليها البرنامج التأهيلي التقليدي لنفس المدة ونفس عدد الجلسـات لضـمان تكافؤ الفرص الزمنية.

تم الحرص على توفير نفس البيئة التأهيلية ونفس المعالج المشـرف لكلا المجموعتين لإلغاء أثر المتغيرات الدخيلة.

القياس البعدي:

في نهاية الأسـبوع الثاني عشـر، وبعد الانتهاء من كافة الجلسـات المحددة، تم إعادة تطبيق أدوات القياس مرة أخرى على جميع أفراد العينة (التجريبية والضـابطة)، تم رصـد البيانات البعدية وجمعها جيداً استعداداً للمعالجة الإحصائية.

عرض النتائج:

المتغيرات الكينماتيكية لزوايا مفصل الكاحل:

جدول 2 القيم الإحصائية والمتوسطات الحسابية لزاوية الانعطاف الخلفي (Dorsiflexion) أثناء مرحلة الوقوف (Stance Phase) للمجموعتين التجريبية والضابطة.

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	8.45	1.12	9.88	0.000
	بعدي	14.20	1.05		
الضابطة	قبلي	8.30	1.15	3.15	0.04
	بعدي	10.50	1.20		

يتضـح من الجدول رقم(2) وجود فروق ذات دلالة إحصـائية بين القياسـين القبلي والبعدي لصـالح القياس البعدي في كل من المجموعة التجريبية والضابطة. وتجدر الإشارة إلى أن قيمة (ت) في المجموعة التجريبية بلغت (9.88) بمستوى دلالة (0.000)، وهو ما يدل على تحسن كبير جداً في زاوية الانعطاف الخلفي. يعود هذا التحسـن في المجموعة التجريبية إلى التركيز على تمارين شـد السـاق الخلفية وتمارين الحركة الوظيفية التي تطلب انثناء كاحل كافٍ أثناء القرفصـة والمشـي. بينما كان التحسن في المجموعة الضـابطة محدوداً لأن البرامج التقليدية غالباً ما تتجنب وضـع الكاحل في زوايا انعطاف قصـوى خوفاً من الألم في مراحل التأهيل الأولى، مما أدى إلى تيبس نسبي.

جدول 3 القيم الإحصائية لزاوية الانعطاف الأخمصي (Plantarflexion) أثناء مرحلة دفع القدم (Push-off) للمجموعتين

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	12.10	2.30	8.12	0.000
	بعدي	22.40	2.15		
الضابطة	قبلي	11.90	2.25	2.90	0.05
	بعدي	16.20	2.10		

يتضـــح من الجدول رقم (3) ان البيانات تظهر تطوراً ملحوظاً في قدرة المجموعة التجريبية على أداء الانعطاف الأخمصي الضروري لدفع الجسم للأمام أثناء المشي. متوسط الزاوية ارتفع من (12.10) إلى (22.40) درجة، وهو قريب من المعدلات الطبيعية. هذا التحسن يرجع إلى التمارين المقترحة التي ركزت على تقوية عضـــلات الســـاق البطنية (Gastrocnemius & Soleus) بطرق متدرجة من الثابت إلى المتحرك. المجموعة الضـابطة أظهرت تحسـناً ولكن بفارق أقل، مما يؤكد أن التأهيل التقليدي قد لا يكون كافياً لاستعادة القوة الانفجارية اللازمة لعملية الدفع.

جدول 4 متوسط زاوية انقلاب القدم للخارج (Eversion) عند ملامسة الكعب للأرض.

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	14.50	3.10	6.55	0.001
	بعدي	6.20	1.80		
الضابطة	قبلي	14.80	3.00	2.10	غير دال
	بعدي	11.50	2.90		

يتضـــح من الجدول رقم (4) أن الزاوية الطبيعية للانقلاب الخلفي عند ملامســـة الأرض تتراوح بين 5–10 درجات. في القياس القبلي، نلاحظ زيادة مفرطة في الانقلاب (Over Eversion) بسبب ضعف الأربطة الجانبية وضعف التحكم العضلي، المجموعة التجريبية نجحت في تصحيح هذه الزاوية لتقترب من الطبيعي (6.20)، بينما لم يتحســن المجموعة الضـــابطة بشـكل دال إحصـــائياً. هذا يؤكد فاعلية تمارين "التحكم الحركي" التي اســـتهدفت عضـــلة الظنبوب الخلفي (Tibialis Posterior) والمثبتات الجانبية، والتي تمنح قدرة عضلية على مقاومة الانقلاب الزائد.

جدول 5 زاوية الكاحل في اللحظة الأولى لملامسة الكعب للأرض.(Heel Strike Angle)

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	2.50 درجة تقريباً	1.50	5.40	0.002
	بعدي	15.20	2.10		
الضابطة	قبلي	2.30	1.60	2.05	0.06
	بعدي	8.40	2.50		

يتضح من الجدول رقم (5) في المشي الطبيعي، تلامس القدم الأرض والكاحل في وضع الانعطاف الخلفي بزاوية تتراوح 10–15 درجة. في القياس القبلي، كانت الزاوية شبه معدومة (القدم مسطحة)، مما يدل على نمط مشي "القدم المسطحة" تعويضاً عن الألم، أظهرت المجموعة التجريبية استعادة النمط الطبيعي للكعب بوضوح، بينما ظلت المجموعة الضابطة تعاني من نمط مشي "مسطح" نسبياً، مما يشير إلى عدم استعادة الثقة الكاملة في تحميل الوزن على الكاحل.

جدول 6 أقصى زاوية انثناء في مستوى الجبهة (Frontal Plane) أثناء الوقوف على قدم واحدة

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	18.20	4.50	7.90	0.000
	بعدي	8.10	2.20		
الضابطة	قبلي	18.50	4.20	3.10	0.04
	بعدي	12.40	3.10		

يتضح من الجدول رقم (6) مدى الاستقرار الجانبي للكاحل. انخفاض زاوية الانثناء يعني قدرة المفصل على الثبات وعدم الميل للجانبين. المجموعة التجريبية خفضت الزاوية بشكل ملحوظ (من 18 إلى 8 درجات)، مما يعكس تحسناً هائلاً في التحكم الحركي الجانبي، وهو العامل الحاسم في منع التواء الكاحل المتكرر.

جدول 7 الفرق في زاوية الكاحل بين لحظة ملامسة الأرض ولحظة أقصى ثني.(Excursion Range)

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	12.50	2.10	5.20	0.001
	بعدي	20.30	1.90		
الضابطة	قبلي	12.80	2.30	1.80	غير دال
	بعدي	15.20	2.50		

يتضح من الجدول رقم (7) ان السعة الحركية (Excursion) تدل على مرونة وديناميكية المفصل أثناء امتصاص الصدمة، المجموعة التجريبية أظهرت زيادة كبيرة في السعة الحركية، مما يعني أن

المفصل أصبح قادراً على التكيف مع الأرضيات غير المستوية وامتصاص الضغط بكفاءة. غياب الدلالة في المجموعة الضابطة يشير إلى تيبس المفصل (Stiffness) الناتج عن قلة التدريب الديناميكي.

جدول 8 زاوية الركبة المصاحبة لحركة الكاحل(Sagittal Knee Angle)

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	10.50	2.50	6.10	0.000
	بعدي	18.20	1.80		
الضابطة	قبلي	10.80	2.60	2.20	0.05
	بعدي	14.10	2.40		

يتضح من الجدول رقم (8) ان الكاحل لا يعمل بمعزل عن باقي الأطراف، تحسن زاوية ثني الركبة أثناء المشي في المجموعة التجريبية يدل على استعادة "النمط الحركي المتكامل" قبل التأهيل، كان المرضى يثنون ركبهم بشكل أقل لتجنب الحمل الزائد على الكاحل، وبعد البرنامج المقترح، عادت آلية امتصاص الصدمة الطبيعية التي تتطلب ثني الركبة والكاحل معاً.

جدول 9 التباين في زاوية الكاحل خلال دورة المشي الكاملة(Angular Variability)

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	8.50	1.20	4.80	0.003
	بعدي	3.20	0.80		
الضابطة	قبلي	8.40	1.30	2.40	0.04
	بعدي	5.60	1.10		

يتضح من الجدول رقم (9) ان انخفاض قيمة التباين (Variability) يعني ثبات واتساق النمط الحركي. المجموعة التجريبية حققت انخفاضاً حاداً في التباين، مما يعني أن حركتها أصبحت أكثر سلاسة وتنبؤاً، وهو مؤشر رئيسي على نضج التحكم الحركي واستعادة "برمجة" الجهاز العصبي للحركة.

المتغيرات الكينماتيكية الزمنية والسرعة:

جدول 10 سرعة الزاوية لمفصل الكاحل في مستوى السهم (Angular Velocity) أثناء المشي

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	85.20	15.40	8.50	0.000
	بعدي	145.60	12.10		
الضابطة	قبلي	84.90	16.10	2.80	0.05
	بعدي	110.30	14.50		

يتضح من الجدول رقم (10) ان سرعة الزاوية مؤشر على القدرة على أداء الحركة بديناميكية.

أظهرت المجموعة التجريبية زيادة ضـــخمة في الســـرعة الزاوية، مما يعكس تحســـن الكفاءة الميكانيكية للعضـــلات العاملة على المفصـــل، هذا يعني أن المصـــاب لم يســـتعد فقط المدى الحركي، بل القدرة على تنفيذ هذه الحركة بسرعة، وهو مطلوب في الأنشطة اليومية والرياضية.

جدول 11 زمن الدورة الحركية الكاملة (Gait Cycle Time) بالثواني

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	1.45	0.15	7.10	0.000
	بعدي	1.08	0.05		
الضابطة	قبلي	1.46	0.16	3.20	0.03
	بعدي	1.22	0.08		

يتضـــح من الجدول رقم (11) زيادة زمن الدورة الحركية في القياس القبلي تدل على المشـــي المتردد والبطيء .(Antalgic Gait) المجموعة التجريبية نجحت في تقليص الزمن للقيم الطبيعية (حوالي 1 ثانية)، مما يعني عودة الثقة والقدرة على المشي بإيقاع طبيعي ومتسارع.

جدول 12 سرعة المشي الخطية (Gait Speed) م/ث

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	0.75	0.12	9.20	0.000
	بعدي	1.30	0.10		
الضابطة	قبلي	0.74	0.11	3.00	0.04
	بعدي	0.95	0.09		

يتضح من الجدول رقم (12) ان سرعة المشي هي المقياس الذهبي للوظيفة الحركية. الوصول لسرعة 1.3 م/ث في المجموعة التجريبية يعني تجاوز عتبة السرعة اللازمة لعبور الشارع بأمان والقيام بالأنشطة اليومية بكفاءة. المجموعة الضابطة تحسنت لكنها لا تزال أقل من السرعة المثالية للبالغين الأصحاء.

جدول 13 طول الخطوة (Step Length) بالسنتيمتر

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	38.20	4.50	6.40	0.001
	بعدي	52.10	3.20		
الضابطة	قبلي	37.90	4.60	2.50	0.05
	بعدي	45.50	3.80		

يتضح من الجدول رقم (13) تقلص طول الخطوة هو آلية تعويضية لحماية المفصل الضعيف، زيادة

طول الخطوة في المجموعة التجريبية يدل على قدرة عضلات الساق على توليد قوة دفع كافية (Propulsion)وتحمل وزن الجسم لفترة أطول في مرحلة الوقوف أحادي الساق.

جدول 14نسبة زمن الوقوف إلى زمن التأرجح(Stance/Swing Ratio)

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	70/30	5.20	5.90	0.001
	بعدي	60/40	2.10		
الضابطة	قبلي	71/29	5.50	2.20	0.05
	بعدي	64/36	3.50		

يتضح من الجدول رقم (14) ان النسبة الطبيعية هي 60% وقوف و40% تأرجح. في القياس القبلي، زاد زمن الوقوف لأن المرضى كانوا يسرعون في إنهاء مرحلة حمل الوزن على القدم المصابة وينقلونه للقدم السليمة، استعادة النسبة الطبيعية في المجموعة التجريبية دليل قوي على التكامل الوظيفي والثقة الكاملة في المفصل.

جدول 15 زمن استقرار القدم بعد الهبوط من قفزة بسيطة(Time to Stabilization)

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	2.50	0.40	7.80	0.000
	بعدي	1.10	0.20		
الضابطة	قبلي	2.55	0.42	3.50	0.02
	بعدي	64/36	3.50		

يتضح من الجدول رقم (15) ان هذا المتغير حيوي للرياضيين، انخفاض زمن الاستقرار يعني أن الجهاز العصبي قادر على تثبيت المفصل بسرعة بعد الهبوط، مما يقلل خطر الإصابة، المجموعة التجريبية حققت زمناً ممتازاً (1.1 ثانية) بفضل تمارين البليومتري والتوازن الديناميكي.

متغيرات التحكم الحركي والتوازن:

جدول 16 مساحة تذبذب مركز الضغط (COP Sway Area) في الوقوف ثنائي القدم (سم²)

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	12.80	2.10	8.10	0.000
	بعدي	4.20	1.50		
الضابطة	قبلي	13.10	2.30	3.00	0.04
	بعدي	7.50	1.90		

يتضـح من الجدول رقم (16) ان تقلص مسـاحة التذبذب هو الدليل المباشـر على تحسـن "التحكم الحركي". المجموعة التجريبية قللت المسـاحة بأكثر من 60%، مما يعني أن المسـتقبلات الحسـية في المفصل قد استعادت وظيفتها في إرسال إشارات دقيقة للمخ لضبط التوازن.

جدول 17 سرعة تذبذب مركز الضغط في الاتجاه الأمامي الخلفي (COP-V AP) سم/ث.

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	5.40	1.20	6.20	0.000
	بعدي	2.10	0.80		
الضابطة	قبلي	5.50	1.30	2.10	0.05
	بعدي	3.80	0.90		

يتضح من الجدول رقم (17) ان التحكم في الاتجاه الأمامي الخلفي يعتمد بشكل أساسي على آلية الكاحل تحسن السرعة يعني قدرة عضلات الظنبوب والعجل على ضبط الحركة الدقيقة لمركز الثقل بسرعة ونعومة، وهو ما تم تحقيقه في البرنامج المقترح.

جدول 18 سرعة تذبذب مركز الضغط في الاتجاه الجانبي (COP-V ML) سم/ث.

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	4.80	1.10	7.50	0.000
	بعدي	1.50	0.60		
الضابطة	قبلي	4.90	1.20	2.50	0.05
	بعدي	2.90	0.80		

يتضـح من الجدول رقم (18) ان الاتجاه الجانبي هو الأكثر تأثراً بإصـابات الأربطة، النتائج المتميزة للمجموعة التجريبية هنا تؤكد أن البرنامج نجح في استهداف المثبتات الجانبية بشكل فعال، وهو ما يفتقده التأهيل التقليدي غالباً.

جدول 19 اختبار الوصول النجمي - (SEBT) الاتجاه الأمامي (سم).

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	45.20	5.50	5.80	0.001
	بعدي	62.40	4.20		
الضابطة	قبلي	44.80	5.60	2.90	0.04
	بعدي	52.10	4.80		

يتضح من الجدول رقم (19) ان اختبار SEBT يقيس التوازن الديناميكي والقوة. زيادة مسافة

الوصول في المجموعة التجريبية تدل على تحسن في القوة الوظيفية والتحكم في الجذع والأطراف السفلية معاً، مما يعكس جاهزية المريض للأنشطة المعقدة.

جدول 20 اختبار الوصول النجمي - (SEBT) الاتجاه الخلفي الأنسي (سم).

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	40.10	4.80	6.90	0.000
	بعدي	58.20	3.90		
الضابطة	قبلي	39.80	4.90	2.20	0.05
	بعدي	46.50	4.10		

يتضـــح من الجدول رقم (20) ان هذا الاتجاه يختبر الأربطة الجانبية وعضـــلات الظنبوب. الفرق الواضـح لصـالح المجموعة التجريبية يعزز النتيجة القائلة بأن البرنامج المقترح حقق توافقاً عصـبياً عضـلياً أعلى، مما سمح للمرضى بمد أقدامهم لمسافات أبعد دون فقدان التوازن.

جدول 21 تقييم الوظيفة - (FAAM Score) البعد الفرعي للحياة اليومية

المجموعة	القياس	المتوسط الحسابي	الانحراف المعياري	قيمة (ت)	مستوى الدلالة
التجريبية	قبلي	45.60	10.20	10.50	0.000
	بعدي	92.40	3.50		
الضابطة	قبلي	46.10	9.80	4.50	0.01
	بعدي	78.50	5.20		

يتضـح من الجدول رقم (21) ان مقياس (Foot and Ankle Ability Measure) هو تقييم ذاتي شامل. تجاوز المجموعة التجريبية لدرجة 90% يعني عودة شبه كاملة للوظيفة الطبيعية والقدرة على أداء الأنشـطة اليومية دون ألم أو خوف. الفجوة بين المجموعتين في القياس البعدي تؤكد أن إضـافة تدريبات التحكم الحركي للبرنامج التأهيلي تحسن جودة الحياة بشكل أسرع وأكبر من البرنامج التقليدي.

مناقشة النتائج:

تشـــير نتائج الجداول الســـابقة (2–21) بوضـــوح إلى التفوق الكبير للمجموعة التجريبية في جميع المتغيرات الكينماتيكية ومؤشـــرات التحكم الحركي، يعزى هذا التفوق إلى محتوى البرنامج التأهيلي المقترح الذي ركز على التدريبات الحســية الحركية (Sensorimotor Training) التي تســتهدف المســتقبلات الحســـية في المفصـــل، بالإضـــافة إلى التمارين الوظيفية (Closed Kinetic Chain) التي تحاكي الأوضاع الوظيفية الحقيقية.

على عكس البرنامج التقليدي (المجموعة الضابطة) الذي يركز غالباً على التقوية في وضع الجلوس أو الاستلقاء(Open Kinetic Chain) ، فإن البرنامج المقترح نجح في "إعادة برمجة" الجهاز العصبي للتعامل مع الأحمال والمواقف غير المستقرة، مما انعكس إيجاباً على الزوايا والسرعات الحركية. هذه النتائج تتسق مع ما أشار إليه (Hewett, 2018) حول أهمية التدريب العصبي العضلي في مراحل التأهيل المتأخرة.

الاستنتاجات:

1-البرنامج التأهيلي المقترح أثبت فاعلية عالية في تحسين المتغيرات الكينماتيكية (زوايا وسرعات) لمفصل الكاحل.

2-استعادة التحكم الحركي تتطلب تدخلاً عصبياً عضلياً محدداً، ولا تكتفي بالتمارين التقليدية لتقوية العضلات.

3-التحليل الكينماتيكي يعد أداة حساسة ودقيقة للكشف عن الاضطرابات الحركية الدقيقة التي لا تظهر في الفحص السريري الروتيني.

4-المرضى الذين خضعوا للبرنامج المقترح أظهروا نمطاً حركياً أقرب للطبيعي مقارنة بنظرائهم في البرنامج التقليدي.

5-التدرج في التمارين من الثابت إلى الديناميكي ومن الثنائي إلى الأحادي ساهم في بناء الثقة والقدرة الوظيفية.

6-تحسن مؤشرات التوازن (COP) يعكس تحسناً في آليات التحكم الحركي المركزية.

7-التمارين الوظيفية تقلل من فترة التعويض الحركي الخاطئ الذي قد يؤدي لمشاكل في المفاصل المجاورة.

8-لا يوجد تأثير سلبي للبرنامج المقترح على سلامة الأنسجة المرممة، بل ساهم في تنظيم بناء الكولاجين عبر الحركة المبكرة المنتظمة.

9-الربط بين التغذية الراجعة البصرية (عن طريق المرايا أو الفيديو) والتأهيل زاد من فاعلية التعلم الحركي.

10-البرنامج التقليدي حقق تحسناً في القوة ولكنه قصر في استعادة النمط الحركي الطبيعي.

التوصيات:

1-يوصـــي الباحثون باعتماد البرنامج التأهيلي المقترح في المراكز الطبية والرياضـــية كبروتوكول علاجي بعد جراحات الكاحل.

2-ضرورة دمج أجهزة التحليل الحركي في تقييم المرضى قبل إعلان الشفاء التام والعودة للرياضة.

3-توعية المعالجين الطبيعيين بأهمية التمارين الحسية الحركية وليس فقط تمارين التقوية.

4-إجراء دراسات تتبعيه لمعرفة مدى استمرارية التحسن بعد 6 أشهر من انتهاء البرنامج.

5-تطبيق البرنامج على إصابات مختلفة (كبار السن، الأطفال) للتأكد من عمومية نتائجه.

6-توفير أجهزة بسيطة (لوحات توازن) للمرضى لاستخدامها في المنزل كجزء من البرنامج العلاجي.

7-الاهتمام بتدريب عضلات الظنبوب والدقائق لدورها المحوري في التحكم الحركي.

8-إدراج مادة "التحليل الحركي" ضمن مقررات كليات العلاج الطبيعي والطب الرياضي.

9-إجراء دراسات مشابهة على مفاصل أخرى (الركبة، الكتف) باستخدام نفس المنهجية.

10-تشجيع التعاون بين الجراحين وأخصائي التأهيل لوضع بروتوكولات موحدة تعتمد على الأدلة.

المراجع:

عبدالله، سعيد. (2022). التحليل الحركي وتطبيقاته في الطب الرياضي . عمّان : دار المسيرة.

محمد حسين. (2020). لتشخيص الوظيفي لإصابات الكاحل. القاهرة: مركز الكتاب الأكاديمي.

Ahmed, M. (2019, 3 1). Effect of balance training on ankle stability . *Journal of Sports Medicine*, pp. 45-52.

Hewett, T. (2018). *Neuromuscular Training and Injury Prevention* . Springer.

Johnson, A. (2021). ost-surgical rehabilitation outcomes. *Clinical Biomechanics*, pp. 110-118.

Miller, T. e. (2020). Gait analysis after Achilles repair. *Orthopedic Journal*, pp. 78-85.

Richards, J. (2021). *Biomechanics in Clinic and Research.* Elsevier.

Smith, R. e. (2019). Ligament healing and rehabilitation. *Physical Therapy Journal*, pp. 300-310.