Iraqi Society for Quality Management Systems Journal (ISQMS)

مجلة الجمعية العراقية لنُظُم إدارة الجودة

Volume 1 Issue 1 – 2025

المجلد ١ العدد ١ – ٢٠٢٥

Iraq / Baghdad / Al-Jadriya / Headquarters of the ISQMS/ National Deposit No. 2946/2026

PRINT ISSN: 3105-8787
ONLINE ISSN: 3105-8795

/ العراق /بغداد /الجادرية/ ايداع وطني رقم٢٩٤٦ /٢٠٢٦

جودة الأجهزة التكنولوجية ودورها في التأهيل البدني و العصبي بعد الإصابات والعمليات الجراحية:

(2017–2025مراجعة منهجية للدراسات السريرية)

The quality of technological devices and their role in physical and neurological rehabilitation after injuries and surgeries: a systematic review of clinical studies(٢٠١٧-٢٠٢٥)

أ.م.د أسو محمود رضا بكر
جامعة السليمانية
aso.radha@univsul.edu.iq

Received: May 1, 2025
Accepted: July 25, 2025
Published: August 1, 2025

Abstract:-

This systematic review aims to explore the role of high-quality technological devices in improving physical rehabilitation after injuries and surgery, enabling patients to return to their daily and professional lives. This scientific review reviews the development and use of 31 innovative technologies and tools in the field of physical and neurological rehabilitation, including virtual reality (VR), electrical stimulation (FES/NMES), rehabilitation robotics, and wearable sensors. Most studies have shown significant improvements in motor performance, pain reduction, accelerated recovery, and improved quality of life for patients, especially when combining more than one therapeutic technique. The importance of device quality in achieving accurate and sustainable results is also highlighted. Despite some limitations, such as sample size and protocol diversity, the combined results confirm that the adoption of technology in rehabilitation programs represents an effective paradigm shift toward faster, more personalized treatment, with encouraging long-term economic feasibility.

Results: Highlight the importance of the shift toward smart and advanced technologies in physical rehabilitation. The results of 31 studies show that the integration of virtual reality, robotics, electrical stimulation, and artificial intelligence enhances treatment efficiency, speeds recovery, and improves patients' quality of life. The review also confirms that the quality of the devices used plays a crucial role in improving functional outcomes and reducing treatment duration, supporting the development of modern rehabilitation protocols based on evidence and technology.

Keywords: Physical rehabilitation, neurorehabilitation, virtual reality (VR), rehabilitation robotics, electrical stimulation, artificial intelligence, physical injuries. Quality of rehabilitation equipment

الملخص :

تهدف هذه المراجعة المنهجية إلى استكشاف دور جودة الأجهزة التكنولوجية (عالية الجودة) في تحسين عملية التأهيل البدني بعد الإصابات و العملية الجراحية لعودة المصاب إلى حياته اليومية والمهنية. تستعرض هذه المراجعة العلمية تطور واستخدام ٣١ تقنية وأداة مبتكرة في مجال التأهيل البدني والعصبي، من ضمنها الواقع الافتراضي،(VR)، التحفيز الكهربائي، الروبوتات التأهيلية، أجهزة الاستشعار القابلة للارتداء، وقد أظهرت غالبية الدراسات تحسنًا ملحوظًا في الأداء الحركي، تقليل الألم، تسريع الاستشفاء، وتحسين جودة الحياة لدى المرضى، خاصة عند دمج أكثر من تقنية علاجية. كما تم رصد أهمية جودة الأجهزة في تحقيق نتائج دقيقة ومستدامة. وبالرغم من بعض القيود مثل تفاوت العينات وتنوع البروتوكولات، تؤكد النتائج مجتمعةً أن اعتماد التكنولوجيا في برامج التأهيل يمثل نقلة نوعية فعالة نحو علاج أسرع وأكثر تخصيصًا، مع جدوى اقتصادية مشجعة على المدى الطويل.

النتائج : تُبرز أهمية التحول نحو التقنيات الذكية والمتقدمة في مجال التأهيل البدني، حيث تُظهر نتائج ٣١ دراسة أن دمج الواقع الافتراضي، الروبوتات، التحفيز الكهربائي، والذكاء الاصطناعي يُعزز من كفاءة العلاج، ويسرّع الاستشفاء، ويُحسن جودة حياة المرضى. كما تؤكد المراجعة على أن جودة الأجهزة المستخدمة تلعب دورًا حاسمًا في تحسين النتائج الوظيفية وتقليل مدة العلاج، مما يدعم التوجه نحو تطوير بروتوكولات تأهيلية حديثة مبنية على الأدلة والتكنولوجيا.

الكلمات المفتاحية:

التأهيل البدني، التأهيل العصبي، الواقع الافتراضيVR ، الروبوتات التأهيلية، التحفيز الكهربائي ، الذكاء الاصطناعي، الإصابات البدنية، جودة الاهزة التأهيلية.

١-١المقدمة والأهمية :

شهد مجال التأهيل البدني تطورًا ملحوظًا بفضل إدخال الأجهزة التكنولوجية الحديثة، التي ساهمت في تسريع عملية التعافي وتحسين كفاءة البرامج العلاجية. تهدف هذه المراجعة الأدبية إلى تقييم جودة أبرز الأجهزة التكنولوجية المستخدمة في تأهيل الرياضيين بعد الإصابات، مع التركيز على فعاليتها وسهولة استخدامها ودقتها.

وتُعد الإصابات الرياضية من أكثر المشكلات شيوعًا التي تواجه الرياضيين والمهتمين بالنشاط البدني، حيث تؤثر على الأداء وتُعيق استمرارية التدريب والمشاركة في المنافسات (Winstein,&Requejo, 2015). تمتع التكنولوجيا المبتكرة بالقدرة على تعزيز علاج وإدارة الإصابات والحالات المعقدة، وجعل إعادة التأهيل أكثر فعالية وكفاءة وتركيزًا على المريض، و تقليل الحواجز البيئية وبفضل التقدم التكنولوجي، ظهرت أدوات وأجهزة تقنية متعددة تهدف إلى تحسين جودة التأهيل البدني بعد الإصابة، مثل أجهزة التحفيز الكهربائي للعصب والعضلة، وأجهزة الواقع الافتراضي(Naqvi,Mishra,&Vardhan,2024) وأنظمة الروبوتات التأهيلية.

تتميز أنظمة الصحة والتعليمية بالتغيرات المستمرة والمستويات العالية من عدم اليقين، وتعتبر النظم الصحية والتعليمية نظمًا معقدة متكيفة بسبب عدم وجود نتائج يمكن التنبؤ بها وحدود واضحة. في هذه الأنظمة المعقدة، أصبح من الصعب تحليل وتفسير التفاعلات المعقدة للبيانات. ستلعب التطورات في التقنيات الحديثة في علوم إعادة التأهيل مثل الذكاء الاصطناعي والواقع الافتراضي دوراً أساسياً في تعزيز القدرات المعرفية والاستدلال السريري من أجل العمل بفعالية في هذه الأنظمة المعقدة بشكل متزايد. ومع ذلك، سيتعين على المهنيين الصحيين في المستقبل إجراء تغييرات في مفاهيمهم الأساسية فيما يتعلق بالممارسة السريرية (Rowe, 2019)

في السنوات الأخيرة، انتشرت تقنيات جديدة في مجال إعادة التأهيل. وتستند هذه الابتكارات إلى الرغبة في تحسين النتائج، وتعزيز التزام المرضى وسلامتهم، وتسهيل عودتهم إلى الأداء الرياضي.

تشكل الإصابات الرياضية تحدياً كبيراً في عالم الرياضة، حيث تؤثر على أداء الرياضيين وقد تنهي مسيرتهم المهنية في بعض الحالات. يُعد التأهيل البدني عملية معقدة تتطلب دقة في التشخيص ومتابعة مستمرة للتقدم، وهنا يأتي دور التكنولوجيا الحديثة لتوفير حلول مبتكرة وفعالة.

ومن خلال ذلك تُبرز هذه المراجعة أهمية التحول نحو التقنيات الذكية والمتقدمة في مجال التأهيل البدني، حيث تُظهر نتائج ٣١ دراسة أن دمج الواقع الافتراضي، الروبوتات، التحفيز الكهربائي، والذكاء الاصطناعي يُعزز من كفاءة العلاج، ويسرّع الاستشفاء، ويُحسن جودة حياة المرضى. كما تؤكد المراجعة على أن جودة الأجهزة المستخدمة تلعب دورًا حاسمًا في تحسين النتائج الوظيفية وتقليل مدة العلاج، مما يدعم التوجه نحو تطوير بروتوكولات تأهيلية حديثة مبنية على الأدلة والتكنولوجيا.

هدف الدراسة:

الهدف من هذه المراجعة هو تقييم فعالية وكفاءة الأجهزة والتقنيات الحديثة في تحسين نتائج التأهيل البدني والعصبي.

تساؤلات الدراسة:

١) ما هو الجهاز الأكثر فعالية من غيره في العلاج والتأهيل البدني ؟

٢) ما هو الجهاز الأسهل استخدامًا في مجال العلاج؟

٣) ما هو الجهاز الذي يتطلب وقتًا أقل في العلاج؟

إجراءات الدراسة:

- **المنهج** : إستخدم الباحث المراجعة المنهجية بإستخدام الأسلوب الشمولي (المسحي – Meta Analysis)لملائمته لطبيعة الدراسة.
- **المجال الزماني:** في فترة من (٢٠٢٥/٢/١) حتى (٢٠-٦-٢٠٢٥).
- **المجال المكاني:** (مكتبات كليات العلمية و الطبية، المجلات العلمية على مواقع الانترنيت. مواقع الانترنيت (PubMed وScienceDirect وCochrane Libraryو ResearchGate و Academia.edu للفترة من ٢٠١٩ إلى ٢٠٢٥.

٢-١ أهميةالأجهزة التكنولوجية في التأهيل البدني:

يشير مصطلح "إعادة التأهيل" إلى نهج متعدد التخصصات يهدف إلى استعادة أو تحسين أو الحفاظ على الوظائف الجسدية والمعرفية والعاطفية والاجتماعية للفرد بعد المرض أو الإصابة أو الإعاقة(Wade, 2020)

التأهيل البدني لم يعد مجرد تمارين بسيطة، بل أصبح علماً متكاملاً يعتمد على فهم دقيق لآليات الشفاء والتعافي. الهدف الأساسي هو استعادة الوظائف الحركية والقدرات البدنية المفقودة، وتقليل الألم، ومنع حدوث مضاعفات مستقبلية. هنا تبرز أهمية الأجهزة التكنولوجية في توفير نهج علمي ومنهجي للتأهيل، حيث ساعدت التكنولوجيا في إعادة تعريف قطاع الرعاية الصحية للعلاج الطبيعي، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى أنها تمنح الممارسين القدرة على تزويد كل مريض برعاية دقيقة ومخصصة. تسمح تكنولوجيا العلاج الطبيعي الجديدة والمحسنة لأخصائيي العلاج الطبيعي بـ : (Saposnik, 2016)

- تحسين دقة خططهم العلاجية.
- جمع البيانات التي يمكن استخدامها لتخصيص العلاج.
- مراقبة تقدم المريض عن بُعد.
- تحسين إمكانية الوصول إلى العلاج الطبيعي.
- من المتوقع أن تستمر التكنولوجيا في إحداث ثورة في صناعة العلاج الطبيعي، مما يساعد الممارسين في نهاية المطاف على العمل على تحسين النتائج الصحية لمرضاهم.

ومع ازدياد الاعتماد على هذه الأجهزة، أصبح من الضروري تقييم جودتها من حيث فعاليتها في تحسين النتائج العلاجية، وملاءمتها للاستخدام السريري، ومدى قبول الرياضيين لها. تهدف هذه المراجعة إلى تحليل الأدبيات المنشورة حول جودة وفعالية هذه الأجهزة في تأهيل ما بعد الإصابات الرياضية.

تشير تكنولوجيا إعادة التأهيل (RT) إلى الأدوات والمعدات والمنتجات المتطورة والتقليدية للأشخاص ذوي الإعاقة التي يتم تصنيعها لأغراض القياس و/أو المساعدة و/أو الترميم ،وتُستخدم الأجهزة التكنولوجية في التأهيل البدني لمساعدة المرضى على استعادة وظائفهم الحركية بعد الإصابات الرياضية أو العمليات الجراحية، أو نتيجة للأمراض المزمنة مثل الشلل أو التصلب المتعدد.

٢-٢ الأجهزة التكنولوجية الحديثة في التأهيل البدني قيد البحث:

وتشمل هذه الأجهزة : (Warden, 2023)

أنواع الأجهزة التكنولوجية المستخدمة في التأهيل:

A. أجهزة التحفيز الكهربائي للعصب والعضلة (TENS،و EMS)

B. الواقع الافتراضي: (VR) Virtual Reality

C. الروبوتات التأهيلية : Rehabilitation robots

A. أجهزة التحفيز الكهربائي للعصب والعضلة (TENS،و EMS)في تأهيل:

المقدمة والآلية:

أجهزة التحفيز الكهربائي تنقسم لنوعين TENS :لتسكين الألم عبر تحفيز الأعصاب الحسية، و EMSلتقوية العضلات عبر تحفيز الألياف العضلية مباشرة. تُعتبر من أكثر الطرق انتشاراً في تأهيل الركبة بعد الإصابات والجراحات، ويُستخدم لتحفيز العضلات وتحسين القوة بعد فترات الخمول .وأظهرت الدراسات تحسنًا واضحًا في وظائف العضلات عند استخدامه مع التمارين العلاجية. وتشير العلاقات الموجودة بين الصلابة وإنتاج القوة والأداء الرياضي والصحة العضلية الهيكلية إلى أن أجهزة قياس قوة العضلات قد تكون أدوات مفيدة لإعادة التأهيل وتقييم الأداء. أظهرت **نتائج دراسة سنة (٢٠٢٣)** أكدت أن هناك أدلة قوية تدعم استخدام التحفيز الكهربائي العصبي العضلي (NMES) لتحسين قوة عضلة الفخذ الرباعية في إصابات الركبة. وفي نتائج دراسة سريرية (٢٠٢٢): أظهرت أن العلاج المنزلي بـ NMES باستخدام تطبيق محمول أدى إلى تحسن سريرياً ملحوظاً في ألم الركبة وتيبسها ووظائفها في الأسبوع ١٢ مقارنة مع العلاج الوهمي ، صورة (١ و ٢) ،ملحق (١)

B. **الواقع الافتراضي** Virtual reality (VR) **في تأهيل:**

الواقع الافتراضي، أو VR، هو بيئة ثلاثية الأبعاد (D٣) محاكاة تتيح للمستخدمين استكشاف البيئة الافتراضية والتفاعل معها بطريقة تقارب الواقع، كما يُدركه المستخدمون من خلال حواسهم. يُعرّف الواقع الافتراضي بأنه استخدام النمذجة والمحاكاة الحاسوبية لتمكين الشخص من التفاعل مع بيئة حسية ثلاثية الأبعاد اصطناعية. كما يتميز بكونه محاكاة يولدها الحاسوب تسمح للمستخدمين بالتفاعل مع بيئة ثلاثية الأبعاد غامرة باستخدام تقنيات تتبع الحركة وأجهزة الاستشعار. يتم إنشاء بيئة الواقع الافتراضي باستخدام أجهزة وبرامج الكمبيوتر، حيث يتطلب الأمر من المستخدمين ارتداء أجهزة خاصة مثل سماعات الرأس المزودة بشاشات عرض ثلاثية الأبعاد وأجهزة استشعار الحركة. وتتكون سماعات الرأس VR من قناع قابل للارتداء أو نظارات VR مزودة بشاشات عرض وأجهزة استشعار الحركة وأنظمة صوتية متكاملة (Built In, 2025) وتُعتبر تقنية الواقع الافتراضي من أحدث الابتكارات في مجال التأهيل البدني. تتيح هذه التقنية للمرضى التدرب في بيئات محاكاة آمنة وتفاعلية، مما يزيد من دافعيتهم ويحسن نتائج العلاج.وفقاً للدراسات الحديثة، من المتوقع أن يُحدث الواقع الافتراضي ثورة في التعليم بحلول عام ٢٠٢٥ من خلال كسر حواجز التعلم التقليدية ، صورة(٣ و ٤)،ملحق (١)

C. **أنظمة الروبوتات التأهيل** (Rehabilitation Robotics) في تأهيل الركبة:

الروبوتات التأهيلية هي مجال سريع التطور يستفيد من الأنظمة الروبوتية المتقدمة للمساعدة في استعادة وتحسين الوظائف الحركية لدى المرضى الذين يعانون من إعاقات مختلفة. أدى دمج التقنيات المتقدمة مثل الروبوتات إلى تغيير ممارسات إعادة التأهيل، حيث قدمت نتائج واعدة لتحسين الوظائف الحركية وتعزيز جودة حياة المرضى الذين يعانون من ضعف العضلات منطقة الركبة بسبب الإصابات، بما في ذلك أولئك الذين يتعافون من العملية الجراحية للركبة. في السنوات القليلة الماضية، ازداد استخدام إعادة التأهيل بمساعدة الروبوتات بشكل كبير. مقارنة بالرعاية التقليدية، يمكن إجراء إعادة التأهيل الروبوتية بشكل أفضل بكثافة وتكرار عاليين. التعريف الذي قدمه إدواردو روكون وآخرون لروبوتات" روبوتات إعادة التأهيل على أنها مزيج من الروبوتات الصناعية وإعادة التأهيل الطبي، وبالتالي فهي تشمل العديد من المجالات، بما في ذلك الهندسة الميكانيكية والكهربائية، والهندسة الطبية الحيوية، والذكاء الاصطناعي، وتكنولوجيا أجهزة الاستشعار والمحركات. غالبًا ما تشير إعادة التأهيل الطبي إلى العملية التي يتم من خلالها استعادة وظائف الإنسان، سواء كانت جسدية أو معرفية، على الأقل جزئيًا إلى حالتها "الطبيعية". وبصورة دقيقة، لا تشمل روبوتات إعادة التأهيل الأنظمة التي تهدف إلى استبدال الوظيفة الميكانيكية للأطراف البشرية الضعيفة أو المفقودة. ومع ذلك، من منظور تكاملي، نعتبر هنا أيضًا استعادة الوظائف مجالًا مهمًا ضمن روبوتات إعادة التأهيل". حيث أظهرت الدراسات الحديثة أن أنظمة الروبوتات التأهيلية، وخاصة الهياكل الخارجية الروبوتية، تحقق نتائج ممتازة في إعادة التأهيل. ففي دراسة شملت مرضى السكتة الدماغية، أدى استخدام هيكل REX الخارجي إلى تحسينات كبيرة في التوازن والوظائف الحركية مقارنة بالعلاج التقليدي (Banyai, & Brișan, 2024) ، صورة (٥ و ٦)،ملحق (١)

٣-منهجية المراجعة:

٣-١ مراجعة الأدبيات :

- **منهج البحث :**

إستخدم الباحث المراجعة المنهجية بإستخدام الأسلوب الشمولي (المسحي – Meta Analysis) لملائمته لطبيعة الدراسة. وتم إجراء بحث شامل في قواعد البيانات الأكاديمية الرئيسية بما في ذلك PubMed وScienceDirect وCochrane Library وResearchGate و Academia.edu للفترة من ٢٠١٩ إلى ٢٠٢٤. شملت معايير الإدراج ٣١ الدراسات التي تناولت استخدام الأجهزة التكنولوجية في التأهيل البدني للإصابات الرياضية، بينما استُبعدت الدراسات التي لم تتضمن تقييماً لجودة الأجهزة المستخدمة.

جدول (١) توضح تصنيف الدراسات حسب نوع و عدد الدراسة.

ت	نوع الدراسة	عدد الدراسات
١	مراجعة منهجية	11
٢	مراجعة منهجية وتحليل تلوي	4
٣	دراسة تجريبية	2
٤	مراجعة تقنية	2
٥	بروتوكول تجربة عشوائية	1
٦	تجربة سريرية	1
٧	تجربة عشوائية محكمة	1
٨	تجربة عشوائية مستقبلية	1
٩	دراسة جماعية بأثر رجعي	1
١٠	دراسة مقارنة قصيرة الأجل	1
١١	مراجعة تحليلية	1
١٢	مراجعة سردية	1
١٣	مراجعة نقدية	1
١٤	مقالة تحليلية	1
١٥	مقالة مراجعة علاجية	1

١٦	نموذج أولي/دراسة استكشافية	1

يتضح جدول(١) أن المراجعات المنهجية تمثل النسبة الأكبر من الدراسات (٣٥.٥٪)، مما يدل على وفرة الأبحاث السابقة واهتمام الباحثين بتجميع الأدلة المتوفرة حول فعالية الأجهزة الإلكترونية في إعادة التأهيل. تليها المراجعات المنهجية مع التحليل التلوي (١٢.٩٪)، والتي تعزز قوة الأدلة من خلال الدمج الكمي للنتائج. في المقابل، نجد أن الدراسات التجريبية والسريرية محدودة، إذ لم تتجاوز دراستين تجريبيتين و٣ تجارب سريرية (تجربة سريرية واحدة، تجربة عشوائية محكمة، وتجربة مستقبلية)، وهو ما يشير إلى نقص في التجارب المباشرة المصممة لاختبار فعالية الأجهزة ضمن بيئات واقعية. وجود مراجعات تقنية وتحليلية وسردية ونقدية يعكس تنوعًا في أساليب التقييم، لكنه يُظهر أيضًا تركيزًا بحثيًا أكبر على التحليل النظري أكثر من الاختبار العملي. يُلاحظ كذلك أن الدراسات ذات الطابع الابتكاري مثل الدراسة الاستكشافية والنموذج الأولي لا تزال محدودة جدًا، ما يشير إلى ضرورة دعم البحوث الاستطلاعية والتطويرية لتقنيات جديدة في التأهيل. هذا التوزيع العام يشير إلى أن المجال ما زال في مرحلة مراجعة الأدلة القائمة، ويحتاج إلى مزيد من الدراسات التجريبية المحكمة والطويلة المدى لتعزيز الثقة في التطبيقات السريرية للتكنولوجيا التأهيلية.

جدول (٢) توضح تصنيف الدراسات حسب عدد الدراسة ونوع العينة.

ت	نوع العينة	عدد الدراسات
١	مرضى سكتة دماغية	4
٢	مرضى خضعوا لجراحة الركبة (استبدال أو رباط صليبي)	5
٣	مرضى إصابات رياضية) مثلACL ، (PFPS	4
٤	مرضى بأمراض تنكسية أو مزمنة (خشونة، أوتار)	3
٥	مرضى أعصاب طرفية	1
٦	مشاركون أصحاء أو رياضيون	2

٧	مراجعات منهجية بدون عينة فعلية	9
٨	تجارب تقنية/مخبرية بدون مرضى	3

يتضح من الجدول (٢) أن غالبية الدراسات التي شملت عينات بشرية ركزت على مرضى خضعوا لجراحات الركبة (٥ دراسات) ومرضى السكتة الدماغية (٤ دراسات)، مما يعكس اهتمامًا واضحًا باستخدام الأجهزة الإلكترونية في تأهيل إصابات الأطراف السفلية والحالات العصبية الشائعة. كما تكررت عينة المرضى المصابين بإصابات رياضية (مثل تمزق الرباط الصليبي أو ألم الفخذ الرضفي) في ٤ دراسات، تليها الأمراض التنكسية والمزمنة مثل خشونة المفاصل أو إصابات الأوتار (٣ دراسات)، مما يشير إلى توجه لاستخدام هذه التقنيات في حالات طويلة الأمد وضعف الوظيفة الحركية. لوحظ أيضًا أن نسبة من الدراسات (٩ مراجعات منهجية) لم تعتمد على عينات بشرية فعلية، مما يعكس الطابع التحليلي النظري لجزء كبير من الأدبيات، في حين أن ٣ دراسات أخرى كانت تقنية أو مخبرية، مما يدل على توجه بحثي لتطوير النماذج الأولية واختبار كفاءة الأجهزة. كما شملت بعض الدراسات مشاركين أصحاء أو رياضيين (٢ دراسة)، ما يشير إلى اهتمام إضافي بقياس فعالية الأجهزة قبل تطبيقها سريريًا. هذا التوزيع يبرز الحاجة إلى مزيد من الدراسات التطبيقية على فئات سريرية متنوعة، خاصة مرضى الأعصاب الطرفية الذين لم يمثلوا سوى دراسة واحدة فقط.

جدول (٣) توضح تصنيف الدراسات حسب عدد الدراسة والأجهزة المستخدمة.

ت	نوع الجهاز	عدد الدراسات
١	روبوتات	13
٢	الواقع الافتراضي	10
٣	التحفيز الكهربائي	8

يتضح من الجدول (٣) توزيع أنواع الأجهزة المستخدمة في الدراسات إلى أن **الروبوتات** هي التقنية الأكثر استخدامًا، حيث ظهرت في ١٣ دراسة من أصل ٣١، وهو ما يمثل حوالي ٤١.٩٪، مما يعكس الثقة المتزايدة في فعاليتها لإجراء تمارين دقيقة ومتكررة خاصة في حالات التأهيل الحركي للأطراف. تليها

تقنيات الواقع الافتراضي التي ظهرت في ١٠ دراسات يمثل حوالي (٣٢.٣٪)، والتي تميزت بتقديم بيئة محفزة وتفاعلية تساعد في تحفيز المرضى ورفع دافعيتهم، خصوصًا في التأهيل العصبي. أما التحفيز الكهربائي فظهر في ٨ دراسات يمثل حوالي (٢٥.٨٪).

جدول (4) توضح تصنيف الدراسات حسب عدد الدراسة نوع التأهيل(بدون عملية الجراحية ،بعد عملية الجراحية).

ت	نوع الجهاز	عدد الدراسات
١	تأهيل بعد الجراحة	16
٢	تأهيل بدون جراحة	15

يتضح من الجدول (٤) توزيع الدراسات بين التأهيل بعد الجراحة (١٦ دراسة) والتأهيل بدون جراحة (١٥ دراسة) إلى توازن نسبي في التوجهات البحثية نحو استخدام الأجهزة الإلكترونية في كلا السياقين، مع ميل بسيط لصالح حالات ما بعد الجراحة. حيث شكّلت دراسات التأهيل بعد الجراحة نسبة ٥١.٦٪، ما يعكس اهتمامًا كبيرًا بتطبيق هذه التقنيات لتعزيز استعادة الوظيفة الحركية وتقليل المضاعفات بعد العمليات مثل استبدال الركبة أو إصلاح الرباط الصليبي. في المقابل، شكّلت دراسات التأهيل بدون جراحة ٤٨.٤٪، وهو ما يؤكد أن الأجهزة الإلكترونية تُستخدم أيضًا بشكل فعّال في الحالات المزمنة أو التنكسية أو العصبية التي لا تتطلب تدخلًا جراحيًا، مثل السكتات الدماغية أو إصابات الأوتار. هذا التوزيع يُظهر مرونة هذه التقنيات وقابليتها للتطبيق في مختلف مراحل الرعاية التأهيلية، سواء كانت بعد تدخل جراحي أو كعلاج تحفظي.

جدول (٥) توضح نوع الجهاز الإلكتروني والنسبة المؤية و عدد الدراسات.

ت	نوع الجهاز الإلكتروني	عدد الدراسات	النسبة المؤية
١	الواقع الافتراضي(Virtual Reality – VR)	20دراسة	64.5%
٢	الروبوتات المساعدة(Robotics)	17دراسة	54.8%
٣	التحفيز الكهربائي(FES/NMES/TENS)	12دراسة	38.7%

٤	الدمج بين تقنيتين مثلاً VR + FES أو VR + روبوت	9دراسات	29.0%
٥	الواقع المعزز / الواقع الممتد(AR / XR)	3دراسات	9.7%
٦	أنظمة المراقبة الذكية / الذكاء الاصطناعي	4دراسات	12.9%
٧	أجهزة اللمس أو التغذية الراجعة الحسية (Haptics)	1دراسة	3.2%

يتضح من الجدول (٥) يُظهر الجدول أن الواقع الافتراضي VR هو الجهاز الإلكتروني الأكثر استخدامًا، حيث تم توثيقه في ٢٠ دراسة بنسبة ٦٤.٥٪، ويبدو أن هذا الرقم تكرر في السطر الأخير ويُمكن حذفه باعتباره مكررًا. تليه الروبوتات المساعدة بنسبة ٥٤.٨٪ (١٧ دراسة)، مما يؤكد حضورها القوي في برامج التأهيل، خاصة في الحركات الدقيقة والمتكررة. التحفيز الكهربائي ظهر في ١٢ دراسة (٣٨.٧٪)، مما يدل على دوره الداعم والفعال عند الدمج مع تقنيات أخرى. الدمج بين تقنيتين (مثل VR + FES أو VR + روبوت) سجل نسبة ملحوظة بلغت ٢٩٪، ما يشير إلى توجه بحثي متزايد نحو التكامل بين الأدوات للحصول على فعالية أعلى. تقنيات الواقع المعزز أو الممتد (AR/XR) ظهرت بشكل محدود في ٣ دراسات فقط (٩.٧٪)، ما يعكس حداثة استخدامها. أما أنظمة الذكاء الاصطناعي والمراقبة الذكية فقد وردت في ٤ دراسات (١٢.٩٪)، بينما كانت أجهزة اللمس أو التغذية الراجعة الحسية الأقل استخدامًا بنسبة ٣.٢٪ فقط (دراسة واحدة).

٤ نتائج الدراسات:

٤-١عرض نتائج الدراسة و مناقشتها.

جدول (٦) يوضح مقارنة شاملة للأجهزة الإلكترونية قيد البحث.

ت	معايير المقارنة	أجهزة التحفيز الكهربائي (TENS & EMS)	الواقع الافتراضي (VR)	الروبوتات التأهيلية (Rehabilitation Robots)

١	آلية العمل	التحفيز الكهربائي للأعصاب و العضلات	محاكاة بيئة إفتراضية تفاعلية	حركة مساعدة أو مقاومة آلية
٢	الاستخدامات الرئيسية	تسكين الألم (TENS) تقوية العضلات (EMS)	إعادة التأهيل الحركي تحسين التوازن والمعرفي	إعادة التأهيل إستعادة الحركة الأطراف
٣	أنواع الإصابات	الإصابات الالم العضلي	السكتة الدماغية الشلل	إصابات الحبل الشوكي – السكتة
٤	مدة الجلسة	15–45دقيقة	20–60دقيقة	30–90دقيقة
٥	مستوى التفاعل	منخفض (السلبي)	عالي جداً (التفاعلي)	متوسط إلى عالي
٦	سهولة الإستخدام	عالي جداً	متوسط	منخفض(تتطلب التدريب)
٧	التكلفة	منخفضة	متوسط إلى عالية	عالي جداً
٨	قابيلة النقل	عالية(محمولة)	متوسط	منخفضه(ثابتة)
٩	الحاجة للمعالج	منخفضه	متوسط	عالية
١٠	الآثار الجانبية	تهيج الجلد(نادر) عدم الراحة	إرهاق بصري دوار(نادر)	تعب عضلي(نادر)
١١	مدة العلاج	2–8أسابيع	4–12أسابيع	6–16أسابيع
١٢	الإستخدام المنزلي	عالية	متوسط	منخفضه
١٣	المتطلبات التقنية	بسيطة	متقدمة	معقدة جداً
١٤	مؤشرات القياس	شدة الألم قوة العضلة	نطاق الحركة التوازن	دقة الحركة–القوة– التحكم الحركي
١٥	المزايا الرئيسية	بساطة –فاعلية سريعة	تحفيز عالي للمرضى – دقيق	إعادة التأهيل –دقة عالية

٤-٢ معايير الاجهزة المستخدمة ومخططات مؤشرات الاداء:

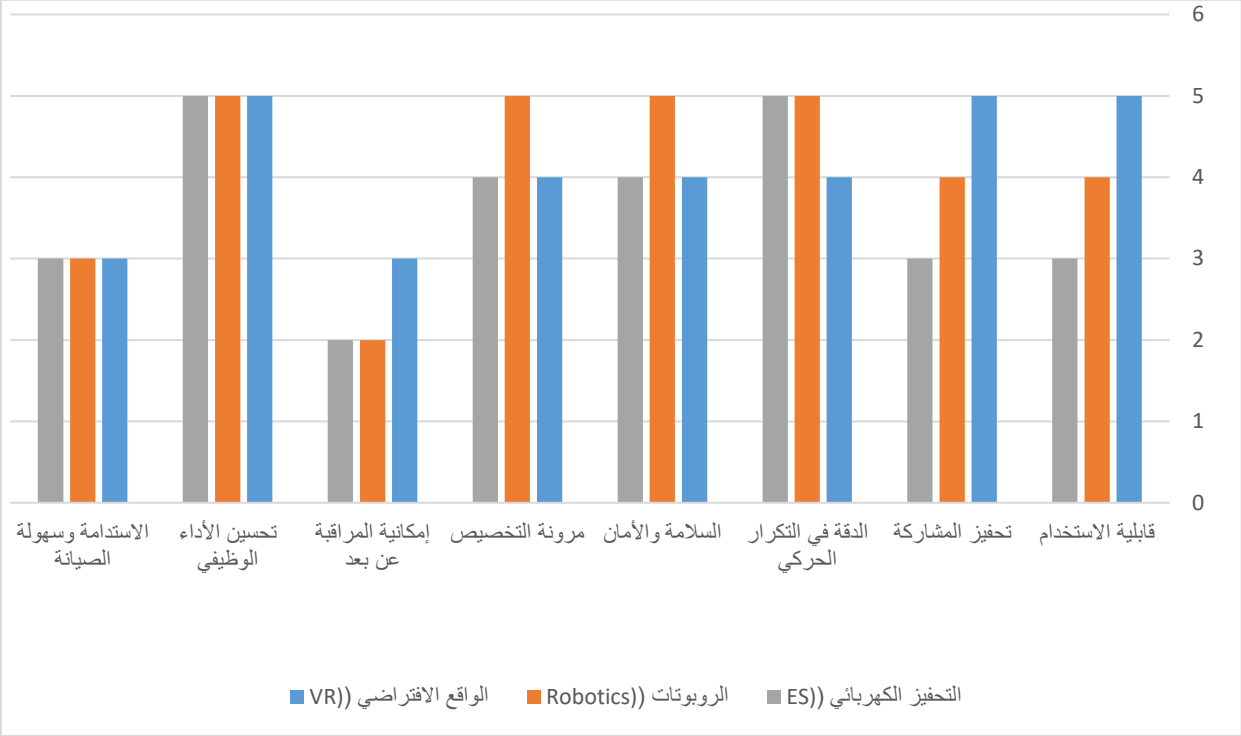
جدول (٧) يوضح مقارنة جودة **ثلاثة أنواع من الأجهزة الإلكترونية** المستخدمة في التأهيل البدني (الواقع الافتراضي، الروبوتات، والتحفيز الكهربائي) عبر **ثمانية معايير رئيسية للجودة.**

ت	المعيار	الوصف المستنتج من الدراسات
١	قابلية الاستخدام	مدى سهولة استخدام الجهاز من قبل المرضى والمعالجين، وقدرته على التفاعل معهم بفعالية.
٢	تحفيز المشاركة	قدرة الجهاز على تشجيع المريض على التفاعل والانخراط المستمر في جلسات التأهيل.
٣	الدقة في التكرار الحركي	قدرة الجهاز على تكرار الحركات العلاجية بدقة وثبات، وهو مهم لإعادة التعلم العصبي الحركي.
٤	السلامة والأمان	قدرة الجهاز على العمل دون التسبب في مضاعفات أو إرهاق زائد للمريض.
٥	مرونة التخصيص	قدرة النظام على التكيف مع حالة كل مريض حسب مستوى الإعاقة والأهداف العلاجية.
٦	إمكانية المراقبة عن بعد	دعم الجهاز لإعادة التأهيل المنزلي من خلال نظام مراقبة ذكي أو تغذية راجعة فورية.
٧	تحسين الأداء الوظيفي	مدى مساهمة الجهاز في تحسين نتائج مثل القوة، التوازن، نطاق الحركة، وتقليل الألم.
٨	الاستدامة وسهولة الصيانة	مدى استمرارية عمل الجهاز وثبات الأداء عبر الوقت، وسهولة صيانته أو تحديثه (غير موصوف بشكل صريح).

يوضح الجدول(٧) مجموعة من المعايير الرئيسية التي استُخلِصت من تحليل الدراسات المتعلقة باستخدام الأجهزة الإلكترونية في التأهيل البدني، وتشكل هذه المعايير إطارًا شاملًا لفهم كيفية تقييم جودة وكفاءة هذه الأجهزة في البيئات العلاجية. يُعد معيار **قابلية الاستخدام** أحد أكثر المؤشرات حسمًا في تبني التقنية، إذ ترتبط فعاليته بمدى سهولة تفاعل المريض والمعالج مع الجهاز دون الحاجة إلى تدريب طويل أو تدخل معقد، وهو ما يُفضي إلى تحسين التزام المريض بالخطة العلاجية. ويعزز ذلك معيار **تحفيز المشاركة**، الذي يقيس قدرة

الجهاز على جعل المريض جزءًا فاعلًا من عملية التأهيل، من خلال التفاعل المستمر وتحقيق نوع من التحفيز النفسي والانخراط الذهني، مما يُحسّن نتائج الجلسات بشكل تراكمي. أما **الدقة في التكرار الحركي** فهي مقياس جوهري في تقنيات التأهيل القائمة على الحركة، خصوصًا في الحالات العصبية والعضلية، حيث يعتمد نجاح العلاج على قدرة الجهاز على تكرار الحركة العلاجية دون انحراف أو تفاوت، بما يعزز إعادة التعلم الحركي. وفي المقابل، فإن **السلامة والأمان** تُعد معيارًا لا يمكن إغفاله، إذ إن الأجهزة المستخدمة يجب أن تضمن خلوّها من التسبب في مضاعفات أو إجهاد إضافي، لا سيما لدى الفئات الضعيفة بدنيًا. وتُظهر **مرونة التخصيص** أهمية كبرى في التكيف مع اختلاف الحالات السريرية، من حيث نوع الإعاقة وشدتها، فكلما كان الجهاز أكثر قدرة على التكيف مع المتغيرات الفردية، زادت فعاليته في تحقيق أهداف إعادة التأهيل. يمتد التقييم أيضًا إلى معيار **إمكانية المراقبة عن بعد**، وهو جانب يكتسب أهمية متزايدة في ظل التوجه نحو الرعاية الصحية المنزلية والتأهيل الذكي، حيث تعكس هذه الإمكانية قدرة الجهاز على إرسال تغذية راجعة وتوفير إشراف علاجي دون حضور مادي. ومن حيث النتائج العلاجية المباشرة، يبرز معيار **تحسين الأداء الوظيفي** كمؤشر حاسم لنجاح الجهاز في تقوية العضلات وتحسين التوازن وتقليل الألم، وهو الهدف النهائي لأي تدخل تأهيلي. وأخيرًا، فإن معيار **الاستدامة وسهولة الصيانة** يعكس الجوانب التشغيلية المرتبطة بعمر الجهاز الافتراضي، واستقراره على المدى الطويل، وتكاليف صيانته أو تحديثه، وهي عناصر تُحدّد مدى ملاءمته للاستخدام المستمر في البيئات العلاجية الواقعية. وبهذا، فإن هذه المعايير مجتمعة تتيح إطارًا دقيقًا لتقييم جودة الأجهزة الإلكترونية، وتوفر أساسًا علميًا لاختيار التقنية الأنسب بحسب الهدف العلاجي وحالة المريض.

مخطط (١) يوضح مقارنة **ثلاثة أنواع من الأجهزة الإلكترونية** المستخدمة في التأهيل البدني (الواقع الافتراضي، الروبوتات، والتحفيز الكهربائي) عبر **ثمانية معايير رئيسية للجودة.**



جدول (٨) يوضح نقاط المعيار لثلاثة أنواع من الأجهزة الإلكترونية المستخدمة في التأهيل البدني (الواقع الافتراضي، الروبوتات، والتحفيز الكهربائي) عبر **ثمانية معايير رئيسية للجودة.**

ت	المعيار	الواقع الافتراضي (VR)	الروبوتات (Robotics)	التحفيز الكهربائي (ES)
١	قابلية الاستخدام	5	4	3
٢	تحفيز المشاركة	5	4	3
٣	الدقة في التكرار الحركي	4	5	5
٤	السلامة والأمان	4	5	4
٥	مرونة التخصيص	4	5	4
٦	إمكانية المراقبة عن بعد	3	2	2

٧	تحسين الأداء الوظيفي	5	5	5
٨	الاستدامة وسهولة الصيانة	3	3	3
التقنية ومجموع النقاط		٣٣	٣٣	٢٩

- القيم من ١ إلى ٥ ، ٥ = ممتاز، ١ = ضعيف.

يوضح الجدول (٨)الواقع الافتراضي (VR): يتميز الواقع الافتراضي بامتياز واضح في قابلية الاستخدام (٥) وتحفيز المشاركة (٥)، ما يجعله مثاليًا لتعزيز التفاعل مع المريض ورفع دافعيته خلال العلاج، خاصة في البيئات الترفيهية والتعليمية. كما أنه يحقق نتائج قوية في تحسين الأداء الوظيفي (٥)، لكنه يُظهر ضعفًا نسبيًا في إمكانية المراقبة عن بعد (٣) والاستدامة (٣)، ما قد يُقيد استخدامه في التأهيل المنزلي أو في البرامج طويلة الأمد. والروبوتات (Robotics): تتفوق الروبوتات من حيث الدقة في التكرار الحركي (٥) والسلامة والأمان (٥)، ما يجعلها مناسبة جدًا للتأهيل عالي الدقة، خاصة في الحالات العصبية أو بعد الجراحة. كما تُسجل الروبوتات أعلى تقييم في مرونة التخصيص (٥) وتحسين الأداء (٥)، ما يعكس قدرتها على التكيف مع حالات سريرية متنوعة. لكنّها تسجل أدنى نقطة في إمكانية المراقبة عن بعد (٢)، ما يشير إلى اعتمادها الكبير على بيئة سريرية منظمة. أمّا التحفيز الكهربائي (ES):يُظهر التحفيز الكهربائي أداءً جيدًا في الدقة الحركية (٥) وتحسين الوظائف (٥)، وهو فعال خصوصًا في إعادة تنشيط العضلات. لكنه يأتي في المرتبة الأدنى من حيث قابلية الاستخدام (٣) وتحفيز المشاركة (٣)، مما قد يقلل من دافعية المريض، كما أن قدرته على التكامل مع أنظمة مراقبة ذكية محدودة (٢). هذا يجعله فعالًا علاجيًا لكنه أقل فاعلية في الجوانب التفاعلية والتشغيلية.

جدول (٩) يوضح الأجهزة الإلكترونية الأكثر فعالية من غيره في العلاج والتأهيل.

ت	الجهاز	عدد مرات الظهور	ملاحظات
١	الواقع الافتراضي	20+دراسة تقريبًا	تأثير قوي في تحفيز المرضى، تحسين التوازن، الحركة، ونوعية الحياة.
٢	الروبوتات	15+دراسة تقريبًا	تعزيز كثافة العلاج، تحسين الاستقلالية، وتقليل العبء على المعالجين.
٣	التحفيز الكهربائي	10+دراسة تقريبًا	فعال في تنشيط العضلات، تخفيف الألم، ودعم التعافي العصبي الحركي.

تحليل الجدول (٩):

١) أكثر الأجهزة شيوعًا وتأثيرًا هو الواقع الافتراضي VR ، حيث تكررت الإشارة إليه في معظم الدراسات كمحفّز قوي للمريض وفعال في مجموعة واسعة من الحالات (السكتة الدماغية، هشاشة العظام، إصابات الأربطة، إلخ). الدراسة أكدت أن الواقع الافتراضي أصبح شائعًا كخيار علاجي تكميلي فعال في برامج إعادة التأهيل لدى فئات متعددة، بما في ذلك كبار السن والمصابين باضطرابات العضلات والعظام.

٢) الروبوتات جاءت ثانية بوضوح، خاصة في دعم إعادة التأهيل المكثف وتقديم تمارين دقيقة قابلة للتكرار. تؤكد المراجعة المنهجية أن العلاج الروبوتي يُعد ثاني أكثر تقنية استخدامًا بعد الواقع الافتراضي في إعادة التأهيل العصبي الحركي (Kwakkel, Kollen, & Krebs, 2008).

٣) التحفيز الكهربائي بجميع أنواعه كان محوريًا في أكثر من ١٠ دراسات، خاصة عند دمجه مع الواقع الافتراضي VR أو روبوتات. يؤكد أن التحفيز الكهربائي عند دمجه مع الواقع الافتراضي يُحدث تحسنًا أكبر في الوظيفة الحركية مقارنة باستخدام أي منهما منفردًا.

جدول (١٠) يوضح مقارنة للأجهزة الإلكترونية قيد البحث حسب سهولة الإستخدام.

ت	الجهاز	سهولة الإستخدام	ملاحظات
١	التحفيز الكهربائي (FES/NMES)	⭐⭐⭐⭐⭐	الأسهل من حيث التشغيل والتفاعل
٢	الواقع الافتراضي (VR)	⭐⭐⭐⭐	يحتاج لتوصيل دقيق وإشراف طبي أحيانًا
٣	الروبوتات التأهيلية	⭐⭐⭐	أجهزة كبيرة تتطلب إعداد ومراقبة مستمرة

تحليل الجدول (١٠):

١) الواقع الافتراضي يُعتبر سهل الاستخدام من حيث التفاعل البصري والبيئة المحفزة، لكنه يتطلب أحيانًا تعلمًا أوليًا واستخدامًا مستمرًا للتأقلم، مما يقلل سهولته لدى بعض الفئات مثل المصابين بعجز إدراكي. يؤكد أن الواقع الافتراضي يوفر بيئة محفزة وغامرة بصريًا، مما يجعله جذابًا وسهل الاستخدام من حيث التفاعل العام (Rizzo, & Koenig, 2017).

٢) الروبوتات فعالة في تقليل الجهد على المعالج وتحسين الدقة، لكنها تعاني من مشاكل تتعلق بثقل المعدات وصعوبة الضبط أو الأعطال التقنية. يُذكر في الدراسة أن عدة أنظمة روبوتية تعاني من قيود ميكانيكية مثل:الحجم والوزن الكبير)الذي قد يعيق التنقل أو الاستخدام المنزلي، وصعوبة الضبط والمعايرة لكل مريض، ومشكلات تقنية في البرمجيات أو في توافق المكونات، تؤثر على استمرارية الجلسات العلاجية.

٣) التحفيز الكهربائي يمتاز بمرونة التطبيق وسهولة التشغيل، ويعد الأكثر سهولة من بين الأجهزة المعقدة، خاصة في النماذج الحديثة. التحفيز الكهربائي يُعتبر سهل الاستخدام من قبل الطاقم العلاجي، ويمكن تطبيقه مباشرة على المريض دون الحاجة لتجهيزات معقدة.

جدول (١١) يوضح مقارنة للأجهزة الإلكترونية قيد البحث حسب مدة الجلسة و التأثير.

ت	الجهاز	مدة الجلسة /التأثير	ملاحظات
١	الواقع الافتراضي (VR)	15–45دقيقة / ٣ مرات أسبوعيًا	فعال لكن يتطلب جلسات أطول
٢	التحفيز الكهربائي (FES/NMES)	30–45دقيقة / ٣ مرات أسبوعيًا	يتطلب تجهيز بدني وتزامن مع تمارين
٣	الروبوتات التأهيلية	30–60دقيقة / ٣–٥ مرات أسبوعيًا	يحتاج إلى جلسات متكررة ومراقبة

تحليل الجدول(١١):

١) الواقع الافتراضي برز بوضوح كوسيلة فعالة حتى بمدة جلسة قصيرة (١٥ دقيقة)، ويُستخدم عادةً كعامل مكمل للعلاج الطبيعي التقليدي. خلصت الدراسة إلى أن الواقع الافتراضي فعّال حتى في مدة قصيرة عندما يُستخدم بانتظام، ويُفضل استخدامه كمكمل وليس بديلًا للعلاج التقليدي.

٢) الروبوتات كانت مرتبطة بجلسات أطول نسبيًا لكنها أظهرت تحسنًا تدريجيًا وثابتًا في القدرة الحركية خاصة بعد إصابات الركبة أو السكتات. أظهرت المراجعة أن التدريب باستخدام الروبوتات أو الأنظمة الكهروميكانيكية يتطلب عادة جلسات أطول تصل إلى ٤٥–٦٠ دقيقة، مقارنة بالتدخلات التقليدية.

٣) التحفيز الكهربائي أظهر تأثيرًا ملحوظًا رغم بساطة التطبيق ومدة الجلسة المتوسطة، مما يجعله من أكثر الأدوات كفاءة من حيث الوقت والتأثير. "التحفيز الكهربائي أظهر تأثيرًا ملحوظًا رغم بساطة التطبيق ومدة الجلسة المتوسطة، مما يجعله من أكثر الأدوات كفاءة من حيث الوقت والتأثير." (Maffiuletti, 2010)

٥- المناقشة :

شهد مجال التأهيل العصبي والعضلي الحركي تطورًا ملحوظًا في العقدين الأخيرين، بفضل إدخال الأجهزة الإلكترونية المتقدمة التي أسهمت في تحسين جودة التدخلات العلاجية، وتوسيع نطاق الاستجابة الحركية والإدراكية لدى المرضى. وتُظهر نتائج الدراسات التي تم تحليلها في هذا البحث أن الأجهزة الإلكترونية،

مثل الواقع الافتراضي، الروبوتات المساعدة، والتحفيز الكهربائي العصبي العضلي، باتت تشكل حجر الزاوية في منظومات التأهيل الحديثة، نظرًا لما توفره من دقة، وتكرار، ومحاكاة بيئية محفّزة لا يمكن تحقيقها في الأساليب التقليدية وحدها.

يُعد الواقع الافتراضي (VR) من أبرز التقنيات التي تم توظيفها بكثافة في أغلب الدراسات، لما يتيحه من بيئة غامرة تسمح للمرضى بالتفاعل مع مهام حركية مصممة بشكل آمن ومرح، مما يُعزز من التحفيز العقلي والبدني في آنٍ واحد. وتُظهر الأدلة أن الواقع الافتراضي كان ذا تأثير فعّال في إعادة تأهيل مرضى السكتة الدماغية، أو إصابات الرباط الصليبي، أو هشاشة العظام، حيث لوحظ تحسّن واضح في التوازن، والتنسيق الحركي، ونطاق الحركة، مقارنة بالطرق التقليدية. ومع ذلك، فقد أشارت بعض الدراسات إلى أن الاستخدام المطوّل لتقنيات الواقع الافتراضي قد يسبب إجهادًا معرفيًا لدى فئات معينة من المرضى، خصوصًا من يعانون من عجز إدراكي أو اضطرابات حسية. بشكل عام، تم اعتبار أجهزة الواقع الافتراضي والأجهزة الروبوتية قابلة للاستخدام حتى الآن، مما يعكس قبولًا جيدًا في برامج إعادة التأهيل العصبي الحركي. يجب أخذ القيود التي أثارها المشاركون في الاعتبار من أجل تحسين قابلية تطبيق الأجهزة وزيادة فعالية إعادة التأهيل التكنولوجي إلى أقصى حد.

أما الروبوتات العلاجية، فقد بيّنت الدراسات أن استخدامها يتيح تقديم حركات دقيقة ومتكررة، ذات جودة ثابتة، مما يدعم استعادة الأنماط الحركية الطبيعية لدى المرضى، خاصة في الأطراف السفلية. كما أن الأنظمة الروبوتية، مثل الهياكل الخارجية وأجهزة المشي المساعدة، أظهرت نتائج إيجابية في تحسين القدرة الوظيفية، وتقليل الحمل البدني على المعالجين، خصوصًا في الحالات المزمنة أو بعد العمليات الجراحية الكبرى. ومع ذلك، فإن التحديات التي تواجه هذه التقنية تشمل ارتفاع التكلفة، الحاجة إلى مساحة وتجهيزات خاصة، بالإضافة إلى ضرورة وجود كوادر مؤهلة ومدربة. أحدثت الأجهزة الروبوتية ثورة في مجال إعادة التأهيل من خلال توفير حلول مبتكرة لتعزيز تعافي الأفراد الذين يعانون من إعاقات جسدية مختلفة. تم تصميم هذه الأنظمة المتطورة للمساعدة في استعادة الوظائف الحركية وتحسين القدرة على الحركة وتعزيز جودة الحياة بشكل عام للمرضى (Laut, Porfiri, & Raghavan, 2016)

من جانب آخر، أثبتت تقنيات التحفيز الكهربائي العصبي العضلي فعاليتها في دعم إعادة التأهيل من خلال إعادة تنشيط العضلات غير الفعالة، وتحفيز الأعصاب الطرفية. وقد تم استخدام هذه التقنية كعلاج

مستقل أو كجزء من تدخلات مدمجة مع تقنيات أخرى مثل الواقع الافتراضي أو التمارين الحركية الوظيفية، مما زاد من فعاليتها العلاجية، خصوصًا في حالات الألم العضلي المزمن، وضعف التجنيد العضلي، ومتلازمات ما بعد الجراحة. وامتازت هذه التقنية بسهولة الاستخدام وانخفاض تكلفتها النسبية، مما يجعلها خيارًا ملائمًا لإعادة التأهيل في البيئات محدودة الموارد أو في المنازل.

وما يلفت الانتباه في هذه الدراسات هو الاتجاه المتزايد نحو دمج أكثر من تقنية في الخطة العلاجية الواحدة. وقد تبين أن المزج بين الواقع الافتراضي والتحفيز الكهربائي، أو بين الروبوتات والعلاج الوظيفي، قد يؤدي إلى نتائج علاجية أسرع وأكثر استدامة. هذا التداخل التقني يعزز من قدرة الجهاز العصبي على التكيّف من خلال تقديم محفزات متعددة في وقت واحد، وهو ما يُعد مثالًا حيًا على التداخل العلاجي متعدد الوسائط. يشير أيضًا إلى أن الدمج بين VR وتمارين حركية/تحفيز عضلي يعزز من النتائج العلاجية مقارنة بالاستخدام المنفرد .

رغم هذه المزايا، لا تزال هناك بعض القيود التي تحول دون التوظيف الكامل لهذه الأجهزة في جميع البيئات العلاجية. ومن أبرزها: التكاليف المرتفعة لبعض الأنظمة الروبوتية، قلة الوعي التقني بين المعالجين، والحاجة إلى دراسات معيارية طويلة المدى لتوحيد بروتوكولات العلاج ومقارنة تأثيرات الأجهزة على المدى البعيد. لعبت الدراسات الحديثة دورًا مهمًا في تسليط الضوء على التحديات العملية المرتبطة باستخدام الأجهزة الإلكترونية في إعادة التأهيل، خصوصًا الأنظمة الروبوتية (ارتفاع التكاليف،وقلة الوعي أو التدريب الفني لدى المعالجين، والحاجة إلى دراسات معيارية طويلة المدى)، يشير إلى أن التكاليف العالية للأنظمة الروبوتية تعيق اعتمادها في المستشفيات والمراكز منخفضة الموارد.

بالنسبة لتأثير الأجهزة الإلكترونية على نتائج التأهيل،أظهرت معظم الدراسات أن الأجهزة الإلكترونية تقدم تحسنًا وظيفيًا ملحوظًا في القدرات الحركية، التوازن، التحكم العضلي، و برز التحفيز الكهربائي كوسيلة داعمة فعالة، خاصة عند دمجه مع تمارين حركية أو تقنيات واقع افتراضي. أن الواقع الافتراضي يُحسّن الوظائف الحركية والتوازن والتحكم العضلي بعد السكتة الدماغية بفعالية ملحوظة، خصوصًا عند دمجه مع أهداف علاجية واضحة .

أما بالنسبة لعلاقة بين مدة الجلسة والتأثير العلاجي:تشير البيانات إلى أن زيادة مدة الجلسة لا تعني دائمًا زيادة فعالية العلاج .فعلى سبيل المثال، كانت بعض جلسات الواقع الافتراضي التي استغرقت ١٥–

٣٠ دقيقة فعالة بقدر أو أكثر من جلسات روبوتية دامت ٦٠ دقيقة، خاصة عند تكرارها بانتظام. هذا يدل على أن نوعية التفاعل وكثافة النشاط داخل الجلسة تلعب دورًا أكبر من مدتها الزمنية فقط. وهذا ما أكدته عدة دراسات مقارنة، خاصة تلك التي تناولت الواقع الافتراضي والروبوتات في إعادة التأهيل. ذكرت الدراسة أن نوعية التفاعل والمشاركة النشطة للمريض أهم من مدة الجلسة وحدها، خصوصًا في التأهيل ما بعد السكتة.

٥-١خلاصة المناقشة:

يتضح من تحليل الدراسات أن الأجهزة الإلكترونية الحديثة تلعب دورًا مهمًا في تحسين نتائج إعادة التأهيل، بشرط أن يتم اختيار التقنية المناسبة بناءً على حالة المريض، هدف الجلسة، ومدتها. ويُعد الدمج بين أكثر من تقنية مثل الواقع الافتراضي و جهاز التحفيز الكهربائي للعضلة و العصب أو الربوتات نهجًا واعدًا يحقق أقصى استفادة علاجية. يمكن استخلاص نظرة متكاملة حول جودة الأجهزة الإلكترونية المستخدمة في أبحاث التأهيل البدني، والتي تتنوع بين أجهزة الواقع الافتراضي، الروبوتات، أنظمة التحفيز الكهربائي.

بوجه عام، توصف الأجهزة المستخدمة في معظم الدراسات بأنها ذات جودة مقبولة إلى مرتفعة، خصوصًا في التجارب التي تضمنت تقييمًا منهجيًا لقابلية الاستخدام وفعالية الأداء. على سبيل المثال، تشير مراجعة شاملة إلى أن أجهزة الواقع الافتراضي كانت ذات قابلية استخدام جيدة، وساعدت على تعزيز تحفيز المريض والمشاركة في العلاج، لكنها تطلبت جهدًا ذهنيًا أكبر، مما يعكس أن الجودة التقنية ممتازة لكن تجربة المستخدم قد تكون معقدة أحيانًا .أما الروبوتات، فقد حصلت على تقييمات إيجابية من حيث الأمان ورضا المرضى، وكانت فعالة في رفع كثافة التمارين وتحقيق نتائج سريرية ملموسة، إلا أن بعض التصميمات كانت تعاني من مشكلات تقنية تحدّ من سهولة التطبيق.

من ناحية أخرى، تظهر دراسات التحفيز الكهربائي العصبي MMG أن الأجهزة المستخدمة تتمتع بموثوقية ممتازة في تقييم أداء العضلات، مما يدل على دقة وجودة الأجهزة في التطبيقات السريرية .

رغم هذه المؤشرات الإيجابية، فإن بعض التقارير حذرت من غياب معايير جودة موحدة في بعض الأجهزة، أو عدم نضوج بعض التقنيات مثل التحفيز الكهرولمسي ثلاثي الأبعاد، مما يستدعي مزيدًا من البحث والتطوير.

الخلاصة :جودة الأجهزة المستخدمة في هذه الأبحاث تتراوح بين المتوسطة إلى المرتفعة، مع تسجيل أداء جيد من حيث الدقة والموثوقية، لكنها تعاني أحيانًا من مشكلات في قابلية الاستخدام أو الحاجة لمزيد من التبسيط في التصميم. الجودة العالية للجهاز ترتبط غالبًا بنتائج أفضل في سرعة الاستشفاء، وفعالية العلاج، ورضا المستخدمين.

تعزز من فعالية العلاج من خلال قدرتها على توفير بيئة محفزة وغامرة تساعد على تكرار الحركات بدقة ودون إجهاد زائد. هذه الأجهزة تساهم في تسريع الاستشفاء عبر تحسين التحفيز العصبي العضلي، كما هو الحال في تدخلات التحفيز الكهربائي والروبوتات الحركية، التي أظهرت نتائج مبكرة إيجابية على مستوى الأداء الحركي واستعادة الوظائف.

٦- الاستنتاج :

١) أثبت الواقع الافتراضي (VR) فعاليته العالية في تحسين النتائج الحركية والمعرفية للمرضى، خاصة في حالات السكتة الدماغية، إصابات الركبة، واضطرابات التوازن.

٢) تُعد الروبوتات المساعدة **(Robotics)** من أكثر الأجهزة جودةً من حيث دقة وتأثيرًا في إعادة التأهيل الحركي، خصوصًا في إعادة تدريب المشي والحركات المعقدة، لكنها تحتاج إلى وقت أطول وتكلفة أعلى.

٣) **التحفيز الكهربائي العصبي العضلي يُعزز** بشكل فعال استعادة النشاط العضلي وتقليل الألم، خاصة عند دمجه مع تقنيات أخرى مثل الواقع الافتراضي.

٤) **دمج أكثر من تقنية مثل، الواقع الإفتراضي، التحفيز الكهربائي أو روبوتات** يقدم نتائج وظيفية أفضل من استخدام جهاز واحد فقط، ويُعتبر اتجاهًا مستقبليًا واعدًا في العلاج التأهيلي.

٥) **مدة الجلسة المثلى** تراوحت بين ٣٠ إلى ٦٠ دقيقة، و٣ جلسات أسبوعيًا، مع ملاحظة أن فعالية العلاج تعتمد على نوعية التفاعل داخل الجلسة أكثر من مدتها.

٦) **أن جودة التقنيات الحديثة تعزز دافعية المرضى** ومشاركتهم في العملية العلاجية بفضل الطابع التفاعلي الغامر، مما ينعكس إيجابًا على الالتزام والنتائج.

٧) **رغم فعالية الأجهزة، هناك تحديات** في التكلفة، صعوبة الاستخدام مع بعض الفئات (كبار السن، ذوي الإعاقة الإدراكية)، والحاجة إلى تدريب الطاقم الطبي على تشغيلها.

٨) **أظهرت غالبية الدراسات رضا مرتفعًا** من قبل المرضى والمعالجين عند استخدام هذه الأجهزة من حيث الجودة، خصوصًا الواقع الافتراضي الذي يوفر بيئة آمنة وجذابة.

٧- التوصيات:

١) **تشجيع استخدام تقنيات الدمج** (مثل الواقع الافتراضي مع التحفيز الكهربائي أو الروبوتات)، نظرًا لتفوقها في تحسين الأداء الحركي مقارنة باستخدام جهاز واحد فقط.

٢) **تبسيط واجهات تشغيل الأجهزة الإلكترونية** لتناسب الفئات غير التقنية، خصوصًا كبار السن ومرضى السكتات الدماغية.

٣) **تعزيز برامج تدريب وتأهيل الكوادر الصحية** على استخدام الأجهزة الإلكترونية الحديثة بشكل فعال وآمن ضمن جلسات التأهيل.

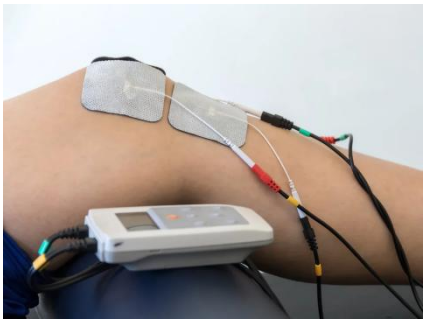
٤) **إجراء دراسات طويلة المدى متعددة المراكز** لتقييم التأثير الحقيقي والمستدام للتقنيات الإلكترونية على نوعية الحياة والوظيفة الحركية.

٥) **الاهتمام بقياس رضا المستخدمين (المرضى والمعالجين)** بشكل مستمر لتحسين التصميم وقابلية الاستخدام مستقبلاً.

٦) **إنشاء بروتوكولات علاجية واضحة وموحدة** فيما يتعلق بمدة الجلسات، وعدد التكرارات، والجرعة العلاجية حسب نوع الجهاز المستخدم.

ملحق (١)

). EMS ،و TENS(الصورة(١ و٢) يوضح أجهزة التحفيز الكهربائي للعصب والعضلة



الصورة(٣ و ٤) الواقع الافتراضي (VR) Virtual Reality.

الصورة(٥ و ٦) الروبوتات التأهيلية، Rehabilitation robots.

المصادر و مراجع :-

1) Winstein, C., & Requejo, P. (2015). Innovative technologies for rehabilitation and health promotion: what is the evidence?. *Physical therapy*, *95*(3), 294-298.

2) Naqvi, W. M., Naqvi, I., Mishra, G. V., & Vardhan, V. (2024). The dual importance of virtual reality usability in rehabilitation: a focus on therapists and patients. *Cureus*, *16*(3).

3) Rowe, M. (2019). Artificial intelligence in clinical practice: Implications for physiotherapy education. *Openphysio J.[doi: 10.14426/art528]*.
4) Wade, D. T. (2020). What is rehabilitation? An empirical investigation leading to an evidence-based description. *Clinical rehabilitation*, *34*(5), 571-583.
5) Saposnik, G. (2016). Virtual reality in stroke rehabilitation. In *Ischemic stroke therapeutics: A comprehensive guide* (pp. 225-233). Cham: Springer International Publishing.
6) Warden, D. (2023). The Rehabilitation Act at Fifty. *Calif. L. Rev. Online*, *14*, 54.
7) Built In. (2025). What Is Virtual Reality? .
8) Banyai, A. D., & Brișan, C. (2024, August). Robotics in physical rehabilitation: Systematic Review. In *Healthcare* (Vol. 12, No. 17, p. 1720). MDPI.
9) Kwakkel, G., Kollen, B. J., & Krebs, H. I. (2008). Effects of robot-assisted therapy on upper limb recovery after stroke: a systematic review. *Neurorehabilitation and neural repair*, *22*(2), 111-121.
10) Rizzo, A., & Koenig, S. T. (2017). Is clinical virtual reality ready for primetime?. *Neuropsychology*, *31*(8), 877.
11) Maffiuletti, N. A. (2010). Physiological and methodological considerations for the use of neuromuscular electrical stimulation. *European journal of applied physiology*, *110*, 223-234.
12) Laut, J., Porfiri, M., & Raghavan, P. (2016). The present and future of robotic technology in rehabilitation. *Current physical medicine and rehabilitation reports*, *4*, 312-319..