
**DIGITAL AND ROBOT-ASSISTED KINESITHERAPY: A SYSTEMATIC REVIEW
OF CLINICAL EFFICACY, SAFETY, AND TRANSLATIONAL VALIDITY
COMPARED TO CONVENTIONAL REHABILITATION**

Nataša Petrevska Arsovska

Faculty of Medical Sciences, Goce Delcev University, Stip, North Macedonia,
arsovskanatasha@icloud.com

ORCID ID: 0009-0009-9545-7110

Toše Krstev

Faculty of Medical Sciences, Goce Delcev University, Stip, North Macedonia,
tose.krstev@ugd.edu.mk

ORCID ID: 0000-0002-0232-2201

Abstract: The digital transformation of health systems over the past two decades has driven a fundamental shift in kinesitherapy rehabilitation models, with robot-assisted systems, telerehabilitation platforms, virtual and augmented reality, wearable biosensors, and artificial intelligence algorithms creating new clinical paradigms whose efficacy, safety, and applicability in routine clinical practice require rigorous evaluation according to the principles of evidence-based medicine. The purpose of this systematic review was to conduct a critical comparative analysis of the clinical efficacy, safety, and translational validity of digital and robot-assisted rehabilitation models compared to conventional kinesitherapy, and to assess the extent to which technological innovation translates into genuine clinical superiority. Methodologically, the research was designed as a systematic review with critical comparative synthesis, aligned with internationally recognized guidelines for reporting systematic reviews, with research questions structured according to population, intervention, comparison, and outcome; the search was conducted across major biomedical and clinical literature databases for the period 2005 to 2026, including randomized controlled trials, systematic reviews, and meta-analyses, with methodological quality assessed using a standardized physiotherapy evidence rating scale, risk of bias evaluated with a revised tool for randomized trials, and certainty of evidence assessed according to a structured grading approach. Results supported by moderate-to-high quality evidence indicated that robot-assisted therapy in post-stroke patients significantly improved motor function when combined with conventional therapy, with a standardized mean difference of 0.34 to 0.50 for upper-limb motor function and increased odds of achieving independent walking; interventions based on virtual reality demonstrated statistically significant improvements in functional outcomes and patient motivation; telerehabilitation showed non-inferiority relative to standard care, with high patient satisfaction and improved accessibility; and wearable sensor systems combined with machine learning algorithms supported objective, reproducible tracking of motor recovery, although the certainty of this evidence remained lower due to moderate inconsistency and indirectness of the outcome measures used. In conclusion, digital and robot-assisted kinesitherapy demonstrated clinical efficacy and a favorable safety profile in selected populations, supported by moderate-to-high quality evidence, although the integration of these technologies into clinical practice must be guided by clearly defined research questions, methodological transparency, and standardization of outcome measures; multicenter randomized controlled trials with longer follow-up periods are needed to confirm the long-term clinical and economic sustainability of these models.

Keywords: kinesitherapy, digital rehabilitation, robotic therapy, telerehabilitation, virtual reality

**ДИГИТАЛНО И РОБОТСКИ АСИСТИРАНА КИНЕЗИТЕРАПИЈА:
СИСТЕМАТСКИ ПРЕГЛЕД НА КЛИНИЧКАТА ЕФИКАСНОСТ,
БЕЗБЕДНОСТА И ТРАНСЛАЦИСКАТА ВАЛИДНОСТ ВО СПОРЕДБА СО
КОНВЕНЦИОНАЛНА РЕХАБИЛИТАЦИЈА**

Наташа Петревска Арсовска

Факултет за медицински науки, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија,
arsovskanatasha@icloud.com

ORCID ID: 0000-0000-0000-0000

Тоше Крстев

Факултет за медицински науки, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија,
tose.krstev@ugd.edu.mk

ORCID ID: 0000-0000-0000-0000

Резиме: Дигиталната трансформација на здравствените системи во изминатите две децении предизвика суштинска промена во моделите на кинезитерапевтска рехабилитација, при што интеграцијата на роботски асистирани системи, телерехабилитациски платформи, виртуелна и проширена реалност, носливи биосензори и алгоритми засновани на вештачка интелигенција создаде нови клинички парадигми чија ефикасност, безбедност и применливост во клиничката пракса бараат строга евалуација согласно принципите на медицина базирана на докази. Целта на овој систематски преглед беше критичко-компаративна анализа на клиничката ефикасност, безбедноста и трансляциската валидност на дигитално и роботски асистирани рехабилитациони модели во споредба со конвенционалната кинезитерапија. Методолошки, истражувањето беше конципирано како систематски преглед со критичко-компаративна синтеза, усогласен со меѓународно признати водичи за системски прегледи, со истражувачки прашања структурирани преку рамка за популацијата, интервенцијата, компарацијата и исходите; пребарувањето беше спроведено во главните биомедицински и клинички бази на податоци за периодот 2005–2026, вклучувајќи рандомизирани контролирани студии, систематски прегледи и мета-анализи, при што методолошкиот квалитет беше проценет со стандардизирана скала за евалуација на физиотерапевтски докази, ризикот од пристрасност со ревидирана алатка за рандомизирани студии, а сигурноста на доказите со структуриран пристап за рангирање на квалитетот на доказите. Резултатите, поткрепени со докази од умерен до висок квалитет, укажаа дека роботски асистираниот терапија кај пациенти по мозочен удар значајно ја подобрила моторната функција кога била комбинирана со конвенционална терапија, со стандардизирана средна разлика од 0,34 до 0,50 за моторната функција на горниот екстремитет и зголемена веројатност за постигнување самостојно одење; интервенциите базирани на виртуелна реалност демонстрираа статистички значајни подобрувања во функционалните исходи и мотивацијата на пациентите; а телерехабилитацијата покажала неинфериорност во однос на стандардната грижа, со големо задоволство кај пациентите и подобра достапност. Заклучно, дигитално и роботски асистираниот кинезитерапија демонстрирала клиничка ефикасност и поволна безбедносен профил кај селектирани популации, поткрепена со докази од умерен до висок квалитет, иако интеграцијата на овие технологии во клиничката пракса мора да биде водена од јасно дефинирани истражувачки прашања, методолошка транспарентност и стандардизација на исходните мерки; потребни се мултицентрични рандомизирани контролирани студии со подолг период на следење за потврдување на долгорочната клиничка и економска одржливост на овие модели.

Клучни зборови: кинезитерапија, дигитална рехабилитација, роботска терапија, телерехабилитација, виртуелна реалност

1. ВОВЕД

Кинезитерапијата, како фундаментална клиничка дисциплина во рамките на физикалната и рехабилитационата медицина, историски се темели на биомеханички, неврофизиолошки и функционални принципи кои ја интегрираат моторната контрола, пластичноста на централниот нервен систем и адаптивниот капацитет на мускулоскелетниот систем (Shumway-Cook & Woollacott, 2017). Глобалната дигитализација на здравствените системи во изминатите две децении иницираше суштинска трансформација на рехабилитационите модели преку развојот на роботски екзоскелети и енд-ефектор системи, виртуелна и проширена реалност, телерехабилитациски платформи, носливи инерцијални сензори и алгоритми за машинско учење (Mehrholtz et al., 2020; Topol, 2019). Невропластичноста, како биолошка основа на функционалната рехабилитација, е особено чувствителна на интензивна, повторлива и задачно-специфична стимулација (Kleim & Jones, 2008), а роботски асистирани системи овозможуваат токму таков вид на високодозиран моторен тренинг.

Останува отворено прашањето дали технолошката иновација автоматски води кон клиничка супериорност. Систематските прегледи укажуваат дека роботската терапија обезбедува статистички значајни подобрувања во моторната функција, но со ефекти кои варираат во зависност од фазата на рехабилитација, дозата и комбинирањето со конвенционална терапија (Mehrholtz et al., 2020), додека хетерогеноста на протоколите кај VR-интервенциите ја ограничува генерализацијата на наодите (Aminov et al., 2018). Пандемијата со COVID-19 дополнително ја забрза имплементацијата на телерехабилитацијата, при што повеќе студии покажаа неинфериорност во однос на стандардната грижа (Cottrell et al., 2017), иако прашањата за дигитална писменост и здравствено-економска одржливост остануваат релевантни предизвици (WHO, 2021).

Централното истражувачко прашање на овој труд гласи: дали интеграцијата на дигиталните и роботските системи во кинезитерапијата обезбедува статистички значајна и клинички релевантна супериорност во однос на конвенционалните пристапи? Врз оваа основа беа формулирани две научни хипотези: Хипотеза 1 — дигитално асистираниот рехабилитациони модели овозможуваат попрецизна објективизација на функционалните параметри и придонесуваат кон скратување на времетраењето на рехабилитацијата; и Хипотеза 2 — синергијата помеѓу алгоритмите на вештачката интелигенција,

роботиката и носливите сензори го намалува ризикот од грешки во терапевтската интервенција и овозможува безбедна транзиција кон домашна телерехабилитација.

2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДИ

Истражувањето беше конципирано како систематски преглед со критичко-компаративна синтеза, усогласен со PRISMA 2020 водичот (Page et al., 2021). Истражувачкото прашање беше операционализирано преку PICO рамката (Richardson et al., 1995): популација — возрасни пациенти (над 18 години) со невролошки нарушувања (мозочен удар, трауматска мозочна повреда, Паркинсонова болест), мускулоскелетни состојби и кардиопулмонални заболувања; интервенција — дигитално и/или роботски асистирана кинезитерапија (роботска терапија, виртуелна и проширена реалност, вештачка интелигенција, носливи сензорни системи, телерехабилитација); компарација — конвенционална кинезитерапија, стандардна амбулантна рехабилитација или имитирана интервенција; исходи — моторна функција (Fugl-Meyer Assessment), функционална независност, издржливост при одење, рамнотежа и болка, како и придржување кон терапијата, безбедност и трошкова ефективност.

Пребарувањето беше спроведено во базите PubMed/MEDLINE, Cochrane Central Register of Controlled Trials, Scopus и Web of Science за периодот јануари 2005 – септември 2026, со Boolean комбинација на клучни зборови поврзани со роботска терапија, виртуелна реалност, телерехабилитација и вештачка интелигенција во контекст на невролошка, мускулоскелетна и кардиопулмонална рехабилитација. Инклузионите критериуми опфаќаа рандомизирани контролирани студии со PEDro скор ≥ 5 (за носливите уреди и системите базирани на вештачка интелигенција, поради ограничениот број квалитетни студии, беа прифатени и студии со PEDro скор од 4, со претпазлива интерпретација), систематски прегледи и мета-анализи објавени во рецензирани списанија. Ексклузионите критериуми ги опфаќаа описите на случаи, студиите со помалку од 20 учесници, студиите со нецелосни податоци за исходите и технолошките пилот-студии без контролна група.

Методолошкиот квалитет на рандомизираните студии беше оценет со PEDro скалата (Maher et al., 2003), ризикот од пристрасност со Cochrane RoB 2 алатката (Sterne et al., 2019), хиерархиското ниво на доказите според OCEBM пристапот (Howick et al., 2011), а сигурноста на доказите со GRADE системот врз основа на пет домени: ризик од пристрасност, неконзистентност, индиректност, непрецизност и пристрасност при публикување (Guyatt et al., 2008).

3. РЕЗУЛТАТИ

Синтезата на доказите откри јасна диференцијација меѓу дигиталните модалитети според методолошкиот квалитет, големината на ефектот и сигурноста на доказите.

МЕТОДОЛОШКИ КВАЛИТЕТ

Cochrane мета-анализата на Mehrholz et al. (2020), базирана на рандомизирани контролирани студии за електромеханички асистирано одење по мозочен удар, ги вклучи студиите со просечен PEDro скор од 6,8. Систематскиот преглед на Veerbeek et al. (2017), опфаќајќи 56 студии за роботска терапија на горниот екстремитет, примени сличен методолошки праг. Студиите за носливи уреди и системи базирани на вештачка интелигенција, честопати со помали примероци, имаа PEDro резултат од 4 до 6, укажувајќи на пониска методолошка кохерентност во овој домен.

РОБОТСКА ТЕРАПИЈА

Електромеханички асистираното одење по мозочен удар, во комбинација со физиотерапија, ја зголеми веројатноста за постигнување самостојно одење (Mehrholz et al., 2020). Роботски асистираната терапија на горниот екстремитет покажа мало до умерено, но статистички значајно подобрување на моторната контрола, со стандардизирана средна разлика од 0,34 до 0,50, поголем ефект при комбинирање со конвенционална терапија, но без значаен ефект врз функционалниот капацитет и основните активности од секојдневниот живот (Veerbeek et al., 2017). Ефектите беа специфични за зглобовите опфатени со роботскиот систем, без генерализација кон нетретираните сегменти. Неодамнешна мета-анализа на 13 рандомизирани контролирани студии дополнително ја потврди клиничката вредност на роботската терапија по мозочен удар, со поголем ефект во субакутната и акутната фаза во споредба со хроничната (Amirbekova et al., 2025).

ВИРТУЕЛНА РЕАЛНОСТ И ТЕЛЕРЕХАБИЛИТАЦИЈА

VR-базираните интервенции демонстрираа статистички значајни подобрувања во функционалните исходи и мотивацијата на пациентите во невролошка рехабилитација (Laver et al., 2017; Aminov et al., 2018). Телерехабилитацијата покажа профил на неинфериорност во однос на стандардната клиничка грижа, со ефекти блиски до нула и големо задоволство кај пациентите (Cottrell et al., 2017; Russell et al., 2011). Систематски преглед и мета-анализа на телерехабилитацијата кај мускулоскелетни нарушувања

покажаа поволни ефекти во споредба со контролните интервенции, со стандардизирана средна разлика од 0,24 до 0,91 (Molina-Garcia et al., 2024).

НОСЛИВИ УРЕДИ И ВЕШТАЧКА ИНТЕЛИГЕНЦИЈА

Носливите инерцијални сензори овозможуваат објективно и квантитативно биомеханичко следење со висока репродукцибилност (Patel et al., 2012), а неодамнешен систематски преглед потврди дека комбинацијата на носливи сензори со алгоритми за машинско учење поддржува следење на моторното закрепнување во повеќе рехабилитациони домени (Wei & Wu, 2023; Gu et al., 2026). Сепак, сигурноста на овие докази остана пониска поради умерена неконзистентност и индиректност на исходните мерки. Систематски преглед на примената на вештачката интелигенција во физикалната рехабилитација дополнително укажа на потенцијал за подобрување на клиничкото одлучување и следењето на пациентите, но со ограничена стандардизација на протоколите и хетерогена методолошка основа (Sumner et al., 2023).

СИГУРНОСТ НА ДОКАЗИТЕ (GRADE)

Согласно GRADE пристапот (Guyatt et al., 2008), сигурноста на доказите за роботската рехабилитација беше оценета како умерена до висока, за телерехабилитацијата умерена, за носливите уреди ниска до умерена, а за AI-поддржаната терапија ниска, поради умерената до висока неконзистентност и индиректност. Ризикот од пристрасност беше умерен кај сите модалитети, вклучително поради структурната невозможност за заслепување на учесниците и терапевтите.

4. ДИСКУСИЈА

Хипотеза 1 беше делумно потврдена: компонентата за попрецизна објективизација на функционалните параметри беше поддржана со висока конзистентност, бидејќи носливите сензори и роботските платформи обезбедија мерења со висока репродукцибилност (Patel et al., 2012). Компонентата за скратување на времетраењето на рехабилитацијата беше поддржана само делумно — кај постоперативната ортопедска рехабилитација постоеше мерливо скратување на времето до функционалните цели, но кај невролошката рехабилитација роботската терапија честопати се додаваше паралелно, а не ја заменувааше конвенционалната. Хипотеза 2 беше исто така делумно потврдена, со важна резерва: доказите за безбедносниот профил беа генерално поволни, но AI-синергијата не го намали вкупниот обем на ризик, туку ја промени неговата природа, воведувајќи нови категории — алгоритамска пристрасност, технички дефекти и лажна сигурност кај клиничарот.

Централниот наод на овој преглед е дека дигиталните системи обезбедуваат контекстуална клиничка вредност — значајна и мерлива кај соодветно селектирани популации, во соодветна фаза на рехабилитација, при соодветна комбинација со конвенционалните протоколи. Надвор од овие услови, нивната предност се намалувааше или исчезнувааше. Транслационската валидност на роботски асистирани системи беше максимална кога терапијата се применувааше како дополнување кон конвенционалните протоколи кај строго дефинирана популација во установи со соодветна инфраструктура и обучен персонал (Mehrholtz et al., 2020; Veerbeek et al., 2017); надвор од овие услови, транслационската вредност беше значително намалена поради потребата за редовно техничко одржување, специфична обука на персоналот и структурирани имплементациони протоколи.

Клучни методолошки ограничувања на истражувачката база вклучуваат нестандардизирана доза меѓу студиите, релативно краток период на следење, реален ризик од пристрасност при објавување (Ioannidis, 2016) и структурна неможност за заслепување во интервенциски студии со роботски или VR системи. Придржувањето кон терапијата дополнително зависеше не само од клиничката ефикасност, туку и од довербата и чувството на поддршка — пациентите со редовен контакт со терапевтот покажаа значително поголемо придржување отколку оние кои употребуваа само самостојна апликација (Howard & Kaufman, 2018; Cottrell et al., 2017). Во таа насока, протоколот за рандомизирана контролирана студија за телерехабилитација со дигитални и роботски алатки кај пациенти со хронични невролошки нарушувања укажува на тековните напори за поцврста евиденција, чии резултати допрва се очекуваат (Rossetto et al., 2024).

5. ЗАКЛУЧОК

Дигиталната трансформација на кинезитерапијата е поткрепена со конвергентни докази од повеќе од две децении систематско истражување. Роботски асистираниот терапија, телерехабилитацијата, носливите биосензори и алгоритмите на вештачката интелигенција претставуваат клинички алатки со мерлива вредност во јасно дефинирани контексти, но технолошката иновација сама по себе не претставува автоматска клиничка супериорност — синергијата помеѓу технологијата и терапевтскиот однос покажува поголема вредност од секој пристап поединечно.

Транслациската валидност на роботски асистирани системи останува условена: доказите за клиничка ефикасност се цврсти во истражувачкиот контекст, но нивниот пренос во рутинската клиничка пракса зависи од постоење на соодветна инфраструктура, специфично обучен персонал и јасно дефинирани имплементациски протоколи. Централното истражувачко прашање добива нијансиран одговор — супериорност постои, но е контекстуална, а двете истражувачки хипотези се делумно потврдени. Идните истражувања треба да се насочат кон мултицентрични рандомизирани контролирани студии со стандардизирани протоколи за дозирање и период на следење не пократок од 12 месеци, поголема транспарентност во финансирањето, вклучување на недоволно застапени популации и економски евалуации со подолг временски хоризонт. Улогата на физиотерапевтот во овој дигитализиран екосистем не се намалува, туку станува покомплексна — тој останува клиничкиот и етичкиот интерпретатор кој одлучува кога технологијата е индицирана и каде нејзините ограничувања бараат враќање кон мануелниот пристап.

ЛИТЕРАТУРА

- Aminov, A., Rogers, J. M., Middleton, S., Caeyenberghs, K., & Wilson, P. H. (2018). What do randomized controlled trials say about virtual rehabilitation in stroke? A systematic literature review and meta-analysis of upper-limb and cognitive outcomes. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 15(1), 29. <https://doi.org/10.1186/s12984-018-0370-2>
- Amirbekova, M., Kispayeva, T., Adomaviciene, A., Eszhanova, L., Bolshakova, I., & Ospanova, Z. (2025). Systematic review and meta-analysis of effectiveness of robotic therapy in the recovery of motor functions after stroke. *Frontiers in Human Neuroscience*, 19, 1622661. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1622661>
- Cottrell, M. A., Galea, O. A., O'Leary, S. P., Hill, A. J., & Russell, T. G. (2017). Real-time telerehabilitation for the treatment of musculoskeletal conditions is effective and comparable to standard practice: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Rehabilitation*, 31(5), 625–638. <https://doi.org/10.1177/0269215516645148>
- Gu, B., Kim, H. S., Kim, H., & Yoo, J.-I. (2026). Advancements in wearable sensor technologies for health monitoring in terms of clinical applications, rehabilitation, and disease risk assessment: Systematic review. *JMIR mHealth and uHealth*, 14, e76084. <https://doi.org/10.2196/76084>
- Guyatt, G. H., Oxman, A. D., Vist, G. E., Kunz, R., Falck-Ytter, Y., Alonso-Coello, P., & Schünemann, H. J. (2008). GRADE: An emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ*, 336(7650), 924–926. <https://doi.org/10.1136/bmj.39489.470347.AD>
- Howard, I. M., & Kaufman, M. S. (2018). Telehealth applications for outpatients with neuromuscular or musculoskeletal disorders. *Muscle & Nerve*, 58(4), 475–485. <https://doi.org/10.1002/mus.26115>
- Howick, J., Chalmers, I., Glasziou, P., Greenhalgh, T., Heneghan, C., Liberati, A., Moschetti, I., Phillips, B., Thornton, H., Goddard, O., & Hodgkinson, M. (2011). *The 2011 Oxford CEBM levels of evidence (introductory document)*. Oxford Centre for Evidence-Based Medicine.
- Ioannidis, J. P. A. (2016). Why most clinical research is not useful. *PLOS Medicine*, 13(6), e1002049. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002049>
- Kleim, J. A., & Jones, T. A. (2008). Principles of experience-dependent neural plasticity: Implications for rehabilitation after brain damage. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 51(1), S225–S239. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2008/018\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2008/018))
- Laver, K. E., Lange, B., George, S., Deutsch, J. E., Saposnik, G., & Crotty, M. (2017). Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2017(11), CD008349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>
- Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M., & Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro scale for rating quality of randomized controlled trials. *Physical Therapy*, 83(8), 713–721. <https://doi.org/10.1093/ptj/83.8.713>
- Mehrholz, J., Thomas, S., Kugler, J., Pohl, M., & Elsner, B. (2020). Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2020(10), CD006185. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006185.pub5>
- Molina-Garcia, P., Mora-Traverso, M., Prieto-Moreno, R., Díaz-Vásquez, A., Antony, B., & Ariza-Vega, P. (2024). Effectiveness and cost-effectiveness of telerehabilitation for musculoskeletal disorders: A systematic review and meta-analysis. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 67(1), 101791. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2023.101791>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

- Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L., & Rodgers, M. (2012). A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9(1), 21. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-21>
- Richardson, W. S., Wilson, M. C., Nishikawa, J., & Hayward, R. S. (1995). The well-built clinical question: A key to evidence-based decisions. *ACP Journal Club*, 123(3), A12–A13.
- Rossetto, F., Mestanza Mattos, F. G., Gervasoni, E., Germanotta, M., Pavan, A., Cattaneo, D., Aprile, I., & Baglio, F. (2024). Efficacy of telerehabilitation with digital and robotic tools for the continuity of care of people with chronic neurological disorders: The TELENEURO@REHAB protocol for a randomized controlled trial. *Digital Health*, 10. <https://doi.org/10.1177/20552076241228928>
- Russell, T. G., Buttrum, P., Wootton, R., & Jull, G. A. (2011). Internet-based outpatient telerehabilitation for patients following total knee arthroplasty: A randomized controlled trial. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 93(2), 113–120. <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.01375>
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2017). *Motor control: Translating research into clinical practice* (5th ed.). Wolters Kluwer.
- Sterne, J. A. C., Savović, J., Page, M. J., Elbers, R. G., Blencowe, N. S., Boutron, I., Cates, C. J., Cheng, H.-Y., Corbett, M. S., Eldridge, S. M., Emberson, J. R., Hernán, M. A., Hopewell, S., Hróbjartsson, A., Junqueira, D. R., Jüni, P., Kirkham, J. J., Lasserson, T., Li, T., ... Higgins, J. P. T. (2019). RoB 2: A revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*, 366, l4898. <https://doi.org/10.1136/bmj.l4898>
- Sumner, J., Lim, H. W., Chong, L. S., Bunde, A., Mukhopadhyay, A., & Kayambu, G. (2023). Artificial intelligence in physical rehabilitation: A systematic review. *Artificial Intelligence in Medicine*, 146, 102693. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2023.102693>
- Topol, E. J. (2019). *Deep medicine: How artificial intelligence can make healthcare human again*. Basic Books.
- Veerbeek, J. M., Langbroek-Amersfoort, A. C., van Wegen, E. E. H., Meskers, C. G. M., & Kwakkel, G. (2017). Effects of robot-assisted therapy for the upper limb after stroke: A systematic review and meta-analysis. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 31(2), 107–121. <https://doi.org/10.1177/1545968316666957>
- Wei, S., & Wu, Z. (2023). The application of wearable sensors and machine learning algorithms in rehabilitation training: A systematic review. *Sensors*, 23(18), 7667. <https://doi.org/10.3390/s23187667>
- World Health Organization. (2021). *Global strategy on digital health 2020–2025*. WHO Press.