

<https://doi.org/10.58210/odep305>

Wearable: ¿Lujo o Necesidad? Una Reflexión Desde Fisioterapia

Wearable: Luxury or Necessity? A Reflection From Physiotherapy

Ivan Dario Pinzon Rios

Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud, Colombia

ivandpr@hotmail.com

Fecha de Recepción: 11 de diciembre de 2023

Fecha de Aceptación: 13 de marzo de 2024

Fecha de Publicación: 30 de abril de 2024

Financiamiento:

La investigación fue autofinanciada por el autor.

Conflictos de interés:

Los autores declaran no presentar conflicto de interés.

Correspondencia:

Nombres y Apellidos: Ivan Dario Pinzon Rios

Correo electrónico: ivandpr@hotmail.com

Dirección postal: Chile

RESUMEN

Se realizó un análisis reflexivo de artículos originales en inglés, portugués y español disponible 2013-2023 sin restricción de edad o género, que mencionen la definición, usos e implicaciones de los sensores portátiles o wearables (SP-W) en Fisioterapia. Se obtuvo una muestra total de 350 artículos, luego de la lectura y análisis de los títulos y resúmenes, se seleccionaron 56 bibliografías. Se pudo concluir que los SP-W son una necesidad real que el fisioterapeuta tiene al alcance para poder evaluar, intervenir y monitorizar diversas poblaciones con o sin alteraciones del movimiento y se vislumbran como un futuro cerca en el quehacer de este profesional, llevándolo a estar a la vanguardia con las nuevas tecnologías.

PALABRAS CLAVES: wearable, salud, terapia física. (DECS-Descriptores en ciencias de la Salud)

ABSTRAC

A reflective analysis was carried out of original articles in English, Portuguese and Spanish available 2013-2023 without age or gender restriction, which mention the definition, uses and implications of portable or wearable sensors (SP-W) in Physiotherapy. A total sample of 350 articles was obtained, after reading and analyzing the titles and summaries, 56 bibliographies were selected. It was concluded that SP-W are a real need that the physiotherapist has within reach to be able to evaluate, intervene and monitor various populations with or without movement alterations and they are seen as a near future in the work of this professional, leading him to be at the forefront of new technologies.

KEY WORDS: wearable, health, physical therapy specialty. (MESH-Medical Subject Headings)

INTRODUCCION

Varios campos de investigación como la medicina, la robótica, el deporte, la informática, entre otros, requieren el análisis del movimiento humano mediante cámaras de vídeo o interactivos¹. En el siglo XX los sensores portátiles o wearables (SP-W), fueron utilizados más como elementos ostentosos que como elementos esenciales para vivir. Actualmente, con los avances tecnológicos y la miniaturización de los componentes electrónicos, las posibilidades van más allá del lujo o estética². Con una población cada vez más envejeciente, la necesidad de descentralizar la atención médica y la monitorización remota, existe una creciente exigencia de dispositivos que proporcionen datos adecuados para el diagnóstico clínico³. En las últimas décadas, este progreso acelerado suscita una oportunidad y responsabilidad para traducir dichos avances en el ámbito de la rehabilitación, donde los SP-W pueden beneficiar múltiples poblaciones⁴, desde sujetos con déficits y/o compromiso del movimiento^{5,6,7} hasta deportistas de alto rendimiento^{8,9,10}.

¹ Landa-Jiménez MA, González-Gaspar P, Montes-González FM, Morgado-Valle C, Beltrán-Parrazal L. An open-source low-cost wireless sensor system for acquisition of human movement data. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 2022; 94(1):e20191419. Doi: 10.1590/0001-376520220191419.

² Rodrigues Mendes LO, Gonzales Jolandek E, Pereira AL. Tecnologias vestíveis e suas possibilidades nos ambientes educacionais formais e não formais. *Rev. Iberoam. tecnol. educ. educ. tecnol.* 2020; 26:27-34. Doi: 10.24215/18509959.26.e3.

³ Panagiotis K, Bruno Gil R, Meysam K, Guang-Zhong Y. Chapter 2 - From wearables to implantables—clinical drive and technical challenges. En: *Wearable Sensors (Second Edition) Fundamentals, Implementation and Applications 2021*, Pages 29-84. Doi: 10.1016/B978-0-12-819246-7.00002-4

⁴ Walsh C. Human-in-the-loop development of soft wearable robots. *Nat Rev Mater* 2018; 3:78-80. Doi: 10.1038/s41578-018-0011-1

⁵ Dobkin BH. Wearable motion sensors to continuously measure real-world physical activities. *Curr Opin Neurol.* 2013; 26(6):602-608. Doi: 10.1097/WCO.0000000000000026.

⁶ Porciuncula F, Roto AV, Kumar D, Davis I, Roy S, Walsh CJ, et al. Wearable Movement Sensors for Rehabilitation: A Focused Review of Technological and Clinical Advances. *PM&R* 2018; 10(9): S220-S232. Doi: 10.1016/j.pmrj.2018.06.013.

⁷ Rawashdeh SA, Reimann E, Uhl TL. Highly-Individualized Physical Therapy Instruction Beyond the Clinic Using Wearable Inertial Sensors. *IEEE* 2022; 10: 14564-14574. Doi: 10.1109/ACCESS.2022.3143765.

⁸ Benson LC, Räisänen AM, Volkova VG, Pasanen K, Emery CA. Workload a-WEAR-ness: Monitoring Workload in Team Sports With Wearable Technology. A Scoping Review. *J Orthop Sports Phys Ther* 2020; 50(10):549-563. Doi:10.2519/jospt.2020.9753.

⁹ Duan L, Yan X. Sweat biosensors for sports monitoring. *Rev Bras Med Esporte* 2023; 29: e2022_0390. Doi: 10.1590/1517-8692202329012022_0390

¹⁰ Nogueira de Oliveira B, Branco Fraga A. Movimento quantified self: a vida fitness orientada por números. *Movimento* 2022; 28:e28035. Doi: 10.22456/1982-8918.117533

Esta industria ofrece diferentes tipos de dispositivos como muñequeras, collares, anillos, pendientes, prendas de vestir y relojes, siendo estos últimos los más exitosos y populares, donde el modelo líder del mercado alcanzó en el último cuatrimestre de 2018 ventas de 10,4 millones de unidades, según un informe de IDC (International Data Corporation)¹¹ y acorde a Forrester Research, para 2025 alrededor de 14.4 millones de trabajadores de los EE.UU. llevarán SP-W como gafas inteligentes a diario¹². Este mercado tiene un crecimiento prometedor, con una combinación de nuevos proveedores, carteras de productos innovadores y la voracidad de los usuarios, cambiando la etiqueta de 'es bueno tener' hacia el título de imprescindible¹³. Los SP-W ha demostrado múltiples capacidades únicas en soporte y ayuda donde la operación autónoma para asistencia personalizada sigue siendo un desafío para el diseño¹⁴. Desde la pandemia y afianzándose en 2022, los fisioterapeutas vieron estas tendencias tecnológicas que cambiaron el estándar de atención al paciente para siempre¹⁵. Estos avances hacen que la evaluación, intervención y seguimiento sean más accesibles, fáciles de administrar y produzcan mayores resultados que algunos de los métodos tradicionales¹⁶.

El aumento de la carga de lesiones, la dinámica poblacional y la mayor esperanza de vida han hecho que la atención se centre en las altas tasas de discapacidad, dolor crónico y calidad de vida reducida cuando los resultados de los pacientes están por debajo del nivel óptimo. Estas afectaciones se evidencian en todo el transcurso de la vida, por ello a través de los avances en la tecnología, la rehabilitación está aprovechando la capacidad de ir más allá con la esperanza de una recuperación acelerada, estandarizando las evaluaciones y tratamientos buscando reducir la discapacidad^{17,18}. Desde esta óptica, la Fisioterapia es reconocida como la primera profesión de la salud comprometida con el tratamiento no invasivo de enfermedades que afectan el movimiento corporal humano^{19,20,21} y la

¹¹ Iberdrola. Qué es un 'wearable' La tecnología 'wearable', mucho más que un complemento [Internet] Disponible en: <https://www.iberdrola.com/innovacion/tecnologia-wearable>

¹² Equipo de Expertos de Ciencia y Tecnología de la Universidad Internacional de Valencia. Qué es wearable y qué tipos de dispositivos existen. 2019. [Internet] Disponible en: <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/que-es-wearable-y-que-tipos-de-dispositivos-existen>

¹³ Llamas RT. Market Analysis Perspective: Worldwide and U.S. Wearables. 2023. [Internet] Disponible en: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US51182323&pageType=PRINTFRIENDLY>

¹⁴ Yumbra EQ, Qiao Z, Tao W, et al. Human Assistance and Augmentation with Wearable Soft Robotics: a Literature Review and Perspectives. *Curr Robot Rep* 2021; 2: 399-413. Doi: 10.1007/s43154-021-00067-0

¹⁵ Ahmetovic D, Pugliese A, Mascetti S, Begnozzi V, Boccalandro E, Gualtierotti R, et al. Rehabilitation through Accessible Mobile Gaming and Wearable Sensors. In The 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '21), October 18–22, 2021, Virtual Event, USA. ACM, New York, NY, USA, 4 pages. Doi: 10.1145/3441852.3476544

¹⁶ Mwtherapy. 6 New Technology Trends in Physical Therapy in 2022. [Internet] Disponible en: <https://www.mwtherapy.com/blog/6-new-technology-trends-in-physical-therapy-in-2022>

¹⁷ Owens JG, Rauzi MR, Kittelson A, Graber J, Bade MJ, Johnson J, et al. How New Technology Is Improving Physical Therapy. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2020; 13(2):200-211. Doi: 10.1007/s12178-020-09610-6.

¹⁸ Lavallière M, Burstein AA, Arezes P, Coughlin JF. Tackling the challenges of an aging workforce with the use of wearable technologies and the quantified-self. *DYNA* 2016; 83(197):38-43. Doi: 10.15446/dyna.v83n197.57588.

¹⁹ Monoli C, Tuhtan JA, Piccinini L, Galli M. Wearable technologies for monitoring aquatic exercises: A systematic review. *Clin Rehabil*. 2023; 37(6):791-807. Doi: 10.1177/02692155221141039.

²⁰ Dean, E. Exercise Specialists and the Health priorities of the 21st Century: A new perspective on knowledge translation for the Physical Therapist. *Fisioterapia*. 2008; 16(3): 3-7.

²¹ Reilly C, Sails J, Stavropoulos-Kalinoglou A, Birch RJ, McKenna J, Clifton JJ, et al. Physical activity promotion interventions in chronic airways disease: a systematic review and meta-analysis. *Eur Respir Rev*. 2023; 32(167):220109. Doi: 10.1183/16000617.0109-2022.

salud mental^{22,23}, debiendo estar a la vanguardia de estas nuevas tecnologías, conociéndolas e incluyéndolas dentro de actuación.

METODOLOGÍA

Se realiza un artículo de reflexión para determinar la definición, usos e implicaciones de los SP-W en Fisioterapia. Se emplearon los términos MeSH (Medical Subject Headings): wearable, health y physical therapy combinados con el operador booleano AND y tras combinarse con el operador booleano OR para omitir duplicidad; del total de 350 publicaciones elegibles (PEDro:157, Scielo:50 y Pubmed:143), se seleccionaron 56 que cumplieran con los siguientes criterios: artículos originales en español, inglés y portugués disponible 2013-2023 sin restricción de edad o género, que mencionen los SP-W en la evaluación o tratamiento fisioterapéutico. Adicionalmente se incluyeron publicaciones impresas y en medio electrónicos que complementaron la temática desarrollada.

RESULTADOS

1. Definición de wearable

La monitorización de los pacientes, ha dado un gran paso cualitativo en los últimos años con la ayuda de la tecnología y la ciencia. Gracias a nuevos softwares, la aparición de SP-W y las aplicaciones mHealth²⁴, se puede seguir la evolución de los pacientes en tiempo real y de manera actualizada, reduciendo el número de visitas y ofreciendo un diagnóstico basado la monitorización poco invasiva, pudiendo anticiparse a posibles crisis. Esta tecnología ha evolucionado hasta el punto de convertirse en herramientas que los pacientes pueden llevar con ellos diariamente^{25,26}. Sin embargo, la calidad aún es muy variable, tanto en contenidos como en funcionalidades y la mayoría no están integradas en el actual sistema sanitario^{27,28} por ello se requieren mecanismos de regulación que garanticen su utilización segura²⁹ como opción emergente para la rehabilitación autodirigida³⁰.

Los SP-W es un módulo conectado que se lleva puesto, pueden ser cualquier objeto cotidiano al que se añade una función extra y se conecta a un dispositivo

²² Robinson T, Condell J, Ramsey E, Leavey G. Self-Management of Subclinical Common Mental Health Disorders (Anxiety, Depression and Sleep Disorders) Using Wearable Devices. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20(3):2636. Doi: 10.3390/ijerph20032636.

²³ Zhou H, Al-Ali F, Kang GE, Hamad AI, Ibrahim RA, Talal TK, Najafi B. Application of Wearables to Facilitate Virtually Supervised Intradialytic Exercise for Reducing Depression Symptoms. *Sensors (Basel)*. 2020; 20(6):1571. Doi: 10.3390/s20061571.

²⁴ Alòs F, Puig-Ribera A. Uso de wearables y aplicaciones móviles (mHealth) para cambiar los estilos de vida desde la práctica clínica en atención primaria: una revisión narrativa. *Atención Primaria Práctica* 2021; 3(1):100122. Doi: 10.1016/j.appr.2021.100122.

²⁵ Boehringer Ingelheim. Las innovaciones tecnológicas de los wearables en la monitorización de la salud de tus pacientes. 05 monográfico. 1-19.

²⁶ Li LC, Feehan LM, Xie H, Lu N, Shaw CD, Gromala D, et al. Effects of a 12-Week Multifaceted Wearable-Based Program for People With Knee Osteoarthritis: Randomized Controlled Trial. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2020; 8(7):e19116. Doi: 10.2196/19116.

²⁷ Cooper C, Gross A, Brinkman C, Pope R, Allen K, Hastings S, et al. The impact of wearable motion sensing technology on physical activity in older adults. *Exp Gerontol*. 2018; 112:9-19. Doi: 10.1016/j.exger.2018.08.002.

²⁸ Chan C, Sounderajah V, Normahani P, Acharya A, Markar SR, Darzi A, et al. Wearable Activity Monitors in Home Based Exercise Therapy for Patients with Intermittent Claudication: A Systematic Review. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2021; 61(4):676-687. Doi: 10.1016/j.ejvs.2020.11.044.

²⁹ Alonso-Arévalo J, Mirón-Canelo JA. Aplicaciones móviles en salud: potencial, normativa de seguridad y regulación. *Rev. cuba. inf. cienc. Salud*. 2017; 28(3):1-13.

³⁰ Toh SFM, Fong KNK, Gonzalez PC, Tang YM. Application of home-based wearable technologies in physical rehabilitation for stroke: A scoping review. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2023; 31: 1614-1623. Doi: 10.1109/TNSRE.2023.3252880.

móvil para sincronizar los datos que recoge para una posterior evaluación, análisis o corrección de ciertos aspectos. Requieren de un microprocesador para ejecutar su función, una batería y un método de comunicación con el usuario, que en su mayoría es el teléfono móvil. También permiten buena comunicación gracias a la pantalla, sonido y/o vibración, al recibir una notificación acerca algún tipo de aviso (puede ser un correo electrónico, una notificación de alguna aplicación de mensajería, una llamada o incluso una videollamada). Otro uso es la geolocalización de personas, animales u objetos, mediante llavero para colocar en una mochila, en un reloj para un niño, o en el collar de la mascota y mediante una tarjeta sim con datos móviles envía la ubicación a un dispositivo inteligente u ordenador y traduce estas coordenadas en un mapa para en caso de extravío³¹.

Los SP-W como tecnologías médicas se están convirtiendo en una parte integral de la vida personal. Las plataformas no sólo prometen ayudar a las personas a buscar un estilo de vida más saludable, sino que también proporciona datos médicos continuos para rastrear activamente el estado metabólico, diagnóstico y tratamiento. Estos dispositivos se pueden configurar para hacer contacto epidérmico, ocular, intracocular y dental para recoger señales bioquímicas o electrofisiológicas³², siendo características favorables para monitorear de manera confiable la información biomédica y fisiológica³³.

2. Usos y aplicaciones de los wearable en Fisioterapia

Los SP-W proporcionan mediciones cuantitativas precisas del movimiento humano, logrando rastrear los efectos de enfermedades, alteraciones o lesiones. Sus aplicaciones clínicas incluyen monitoreo remoto, salud móvil y expansión métrica de salud más allá de los entornos clínicos tradicionales. Los avances tecnológicos recientes han permitido la creación de dispositivos discretos y de bajo costo aplicables en la práctica clínica y la rehabilitación. Estos sensores permiten cuantificar el comportamiento motor en poblaciones de pacientes dispares y las investigaciones emergentes muestran su potencial para identificar biomarcadores motores, diferenciar entre mecanismos de recuperación motora de restitución y compensación, monitoreo remoto, tele-rehabilitación y robótica¹.

Los fisioterapeutas podrían tomar mejores decisiones de tratamiento teniendo datos precisos sobre el ejercicio en casa y actividades funcionales de los pacientes. Muchos de los sistemas existentes han sido probados en el laboratorio, pero tienen poca información los ajustes requeridos en casa³⁴, por ello esto se convierte en un reto a superar. Según Winstein y Requejo³⁵, a medida que nuevas tecnologías ingresan al mercado, estos profesionales están cada vez más en

³¹ Soto JA. ¿Qué es un Wearable y para qué sirve? 2021. [Internet] Disponible en: <https://www.geeknetic.es/Wearable/que-es-y-para-que-sirve>

³² Yetisen AK, Martínez-Hurtado JL, Ünal B, Khademhosseini A, Butt H. Wearables in Medicine. *Adv. Mater.* 2018; 30:1706910. Doi: 10.1002/adma.201706910.

³³ Song Y, Min J, Gao W. Wearable and Implantable Electronics: Moving toward Precision Therapy. *ACS Nano* 2019; 13(11):12280-12286. Doi: 10.1021/acsnano.9b08323.

³⁴ Huang K, Sparto PJ, Kiesler S, Smailagic A, Mankoff J, Siewiorek D. A Technology Probe of Wearable In-Home Computer-Assisted Physical Therapy. Chapter 14: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors. En: *Computing Systems*. 2014; 2541-2550. Doi: 10.1145/2556288.2557416

³⁵ Winstein C, Requejo P. Innovative Technologies for Rehabilitation and Health Promotion: What Is the Evidence?, *Phys Ther* 2015; 95(3):294-298. Doi: 10.2522/ptj.2015.95.2.294.

posición de guiar o liderar el equipo de desarrollo, trabajando con ingenieros para adaptar y modificar las existentes o desarrollar nuevas en pro de la rehabilitación. Referente a esto, Rodges y colaboradores³⁶ mencionan tres tipos de SP-W frecuentemente utilizados en algunas actividades de la vida diaria que pudieran ser útiles para la terapia física:

Tabla 1. SP-W en terapia física

<p>Sensores portátiles avanzados</p>	<p>Hasta la fecha, los acelerómetros y las unidades de medición inercial son los sensores más utilizados que proporcionan datos acerca del rango de movimiento y el rendimiento, brindando retroalimentación básica, con menos tiempo de configuración y monitoreo. No obstante, se está desarrollando una gama más amplia de sistemas incluidas redes de sensores corporales, ropa inteligente y cámaras portátiles³⁶. Hoy en día, estos dispositivos se utilizan cada vez más en estudios biomecánicos, medicina deportiva, gestión de la atención sanitaria como seguimiento diario de la salud, el diagnóstico clínico y la evaluación de la rehabilitación en cirugía, la detección del riesgo de caídas en personas mayores, entre otros³⁷.</p> <p>Para los adultos que viven en comunidades con o sin enfermedades crónicas, las intervenciones de actividad física que aprovechan los SP-W han dado como resultado un aumento de los pasos por día (DME entre 0,24 y 0,51) y el tiempo dedicado a actividades físicas de intensidad moderada (DME entre 0,24 y 0,51) a vigorosa (DME entre 0,27 a 0,43)^{35,38}. Los efectos de las intervenciones que utilizan estos dispositivos son prometedores para aumentar los pasos por día después de la artroplastia articular³⁹ o para restaurar el rango de movimiento y la fuerza del músculo cuádriceps posterior a una cirugía de LCA, logrando superar la falta de apoyo social, las dudas y las barreras percibidas para el ejercicio⁴⁰, sabiendo que solo entre el 35-76 % de estos pacientes cumplen con los regímenes de ejercicio para la casa⁴¹</p>
<p>Sistemas de RV y aumentada</p>	<p>Los cascos de realidad aumentada (RA) se han implementado en entornos industriales/empresariales y existe un interés en la atención médica. Estos sistemas se han mejorado, pasando de la superposición de información digital al seguimiento posicional y sensores de profundidad para brindar una experiencia más inmersiva y permitir interacciones con objetos holográficos. Se han diseñado juegos de RA para neurorrehabilitación en el hogar</p>

³⁶ Rodgers MM, Alon G, Pai VM, Conroy RS. Wearable technologies for active living and rehabilitation: Current research challenges and future opportunities. *J Rehabil Assist Technol Eng.* 2019; 6:2055668319839607. Doi: 10.1177/2055668319839607.

³⁷ Liu X, Zhao C, Zheng B, Guo Q, Duan X, Wulamu A, Zhang D. Wearable Devices for Gait Analysis in Intelligent Healthcare. *Front. Comput. Sci.* 2021; 3:1-8. Doi: 10.3389/fcomp.2021.661676.

³⁸ Hodkinson A, Kontopantelis E, Adeniji C, et al. Interventions Using Wearable Physical Activity Trackers Among Adults With Cardiometabolic Conditions: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Netw Open.* 2021; 4(7):e2116382. Doi:10.1001/jamanetworkopen.2021.16382

³⁹ Master H, Bley JA, Coronado RA, Robinette PE, White DK, Pennings JS, et al. Effects of physical activity interventions using wearables to improve objectively-measured and patient-reported outcomes in adults following orthopaedic surgical procedures: A systematic review. *PLoS ONE* 2022; 17(2): e0263562. Doi: 10.1371/journal.pone.0263562.

⁴⁰ Picha KJ, Howell DM. A model to increase rehabilitation adherence to home exercise programmes in patients with varying levels of self-efficacy. *Musculoskeletal Care.* 2018; 16(1):233-237. Doi: 10.1002/msc.1194.

⁴¹ Gowun K, Won-Seok K, Woo K, Yong Seuk L, Hooman L, Nam-Jong P. Home-based rehabilitation using smart wearable knee exercise device with electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction: A study protocol for a randomized controlled trial. *Medicine* 2020; 99(20):e20256. Doi: 10.1097/MD.00000000000020256.

	a niños con parálisis cerebral, combinando electrodos de electromiografía y acelerómetros en un brazalete, un clasificador capacitado determina si se logra el rendimiento neuromotor objetivo del brazo y el usuario mueve un objeto virtual mediante movimientos prescritos por el terapeuta. Además, la RV puede ayudar a los pacientes a imaginarse realizando movimientos lentos y simples, creando patrones cerebrales cercanos a las habilidades motoras reales. Sin embargo, hasta el momento hay pruebas limitadas sobre la eficacia a largo plazo de estos sistemas y sobre si ofrecen una mejora sostenida con respecto a los enfoques tradicionales lo cual continúa siendo motivo de investigación ^{36,42,43} .
Estimulación eléctrica funcional (FES)	Tradicionalmente, la FES o los estimuladores eléctricos neuromusculares se han utilizado para promover funciones motoras de las extremidades sincronizando la contracción muscular con la actividad funcional. Más recientemente están desarrollando sistemas inalámbricos y portátiles, que se pueden usar cómodamente debajo de la ropa en actividades del hogar y la comunidad. Utilizando la telemedicina y el almacenamiento de datos en la nube, se han demostrado con éxito el almacenamiento continuo del rendimiento de los pacientes utilizando la estimulación combinada con un sistema de ciclismo motorizado, la acumulación de dosis de entrenamiento y la provisión de comunicación ininterrumpida con el personal de salud. La necesidad de implementar FES en todo el proceso de atención, desde las unidades de cuidados intensivos hasta el uso doméstico, presenta otro desafío requiriendo nuevos algoritmos capaces de identificar y almacenar datos esenciales de rendimiento, como evidencia clínica de recuperación funcional ³⁶ .

En el caso de la rehabilitación pediátrica, los dispositivos se han diseñado centrándose principalmente en la función. Debido a que los SP-W se colocan y transportan con los usuarios, deben satisfacer una amplia gama de necesidades. En esta población existen tres categorías de dispositivos utilizados en rehabilitación: ropa inclusiva, dispositivos portátiles de apoyo y, dispositivos portátiles “inteligentes” para la evaluación e intervención de habilidades, tareas o demandas del entorno para promover el desempeño funcional y la participación. Tienen el potencial de usarse como dispositivos de asistencia para ayudar al desempeño funcional de los usuarios cuando los usan, y como dispositivos de rehabilitación incorporados en programas destinados a mejorar la independencia funcional⁴⁴.

Una encuesta en línea realizada por Braakhuis y colaboradores a más de 300 fisioterapeutas en Países Bajos, el 27% de los encuestados ya utilizaban el

⁴² Alexandre R, Postolache O, Silva Girão P. Physical Rehabilitation based on Smart Wearable and Virtual Reality Serious Game. Conference: 2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). Doi: 10.1109/I2MTC.2019.8826947.

⁴³ Yin J, Hinchet R, Shea H, Majidi C. Wearable Soft Technologies for Haptic Sensing and Feedback. Adv. Funct. Mater. 2020; 2007428. Doi: 10.1002/adfm.202007428.

⁴⁴ Lobo MA, Hall ML, Greenspan B, Rohloff P, Prosser LA, Smith BA. Wearables for Pediatric Rehabilitation: How to Optimally Design and Use Products to Meet the Needs of Users. Phys Ther. 2019; 99(6):647-657. Doi: 10.1093/ptj/pzz024.

seguimiento y el 86% percibieron la información recopilada como útil. Las barreras para la implementación clínica fue la falta de habilidades y conocimientos de los pacientes (65%) y no saber qué marca y tipo de monitor elegir (54%)⁴⁵. En general, Nascimento y colaboradores⁴⁶ destaca tres grupos principales de SP-W comúnmente utilizados en rehabilitación: Sensores en atención médica, asistencia domiciliaria y monitoreo continuo de la salud; Sistemas y Sensores en Rehabilitación Física; y sistemas de asistencia, los cuales se detallan en la tabla 2.

Tabla 2. SP-W utilizados en rehabilitación

Sensores en atención sanitaria, asistencia domiciliaria y monitorización continua de la salud	
Aplicaciones principales	Sensor
Detección de caídas y seguimiento de la postura en personas mayores y Parkinson	Unidad de medición de presión inercial/plantar
Vida asistida para personas mayores/pacientes con discapacidades crónicas/personas discapacitadas	Sensores portátiles: ECG/EEG/GPS/inercial/temperatura/presión arterial Sensores ambientales: Infrarrojos/humedad/gas/luz/temperatura/cámara/movimiento
Monitoreo respiratorio	Transductor de presión/infrarrojo/presión piezoresistiva/piroeléctrico/inercial/FPG
Monitoreo de sangre	PPG/infrarrojos/presión/cámara
Monitoreo de glucosa	Químico/glucosa/FPG
Monitoreo del sudor	Metabolitos/electrolitos/temperatura de la piel/electroquímico/sensor adhesivo flexible /anteojos
Sistemas y Sensores en Rehabilitación Física	
Análisis de la marcha y evaluación de la presión plantar en pacientes con esclerosis múltiple, Parkinson, accidente cerebrovascular	Presión/inercial/sensor de fuerza/cámara/EMG
Evaluación de ejercicios de rehabilitación, evaluación y aumento de más movimientos para pacientes con parálisis, enfermedad de Parkinson, esclerosis múltiple, accidente cerebrovascular, lesión cerebral	Sensor de movimiento inercial/EMG/cinético/salto
Análisis de ejercicios de rehabilitación	Inercial/cinético
Uso de RV en rehabilitación	Cinético/sensor de movimiento de salto/fuerza
Sistemas de asistencia	
Codificación de movimiento para teclados y pantallas de control para pacientes con ELA y parálisis de miembros superiores e inferiores	EEG/EOG/EMG facial/inercial

⁴⁵ Braakhuis HEM, Bussmann JBJ, Ribbers GM, Berger MAM. Wearable Activity Monitoring in Day-to-Day Stroke Care: A Promising Tool but Not Widely Used. *Sensors*. 2021; 21(12):4066. Doi: 10.3390/s21124066

⁴⁶ Nascimento LMSD, Bonfati LV, Freitas MB, Mendes Junior JJA, Siqueira HV, Stevan SL Jr. Sensors and Systems for Physical Rehabilitation and Health Monitoring-A Review. *Sensors (Basel)*. 2020; 20(15):4063. Doi: 10.3390/s20154063.

Control e implementación de tareas e interfaces hombre-máquina como silla de ruedas, zapato inteligente y robot	Sensorinercial/flexible/cámara/ultrasónico/EOG /EEG/cinético/fuerza/torque/FRS/infrarrojos
Reconocimiento de emociones para pacientes con parálisis y trastorno del espectro autista	Cámara/movimiento/sonido/infrarrojos
Reconocimiento de gestos para ayudar a la comunicación entre personas sordas y oyentes	Sensor flexible/inercial/EMG

ECG: Electrocardiografía, EEG: Electroencefalografía, EMG: Electromiografía, EOG: Electrooculografía, FPG: Fotopleletismografía, GPS: Global Positioning System, RV: Realidad Virtual.

Adaptado de: Nascimento y colaboradores, 2020.

Recursos como los dispositivos portátiles, mencionados anteriormente, permitirán recopilar diversos datos mediante sensores y así permitir un uso cada vez más específico y personalizado por parte de los profesionales involucrados para perseguir los objetivos. Por lo tanto, los SP-W pueden proporcionar a los practicantes, atletas, técnicos, médicos y otros profesionales información que permitirá mejores resultados, menores riesgos de lesiones, datos históricos que pueden ser utilizados, entre muchos otros recursos que están cada vez más cerca de formar parte de la vida cotidiana⁴⁷.

El enfoque del sistema de atención de salud está pasando de brindar cuidados intensivos costosos a integrar programas preventivos y manejo crónico complejo en la comunidad. Hasta la fecha, la aplicación más prolífica de la tecnología de atención médica móvil o portátil (mHealth) es la monitorización del tipo, cantidad y calidad de las actividades cotidianas. Los SP-W han impulsado el crecimiento del uso clínico y del consumidor de herramientas para monitorear el estado físico y el bienestar general y los proveedores clínicos pueden aprovechar estos avances tecnológicos para recopilar datos biométricos, involucrar a los pacientes en actividades, mejorar la comunicación y aumentar la eficiencia en su práctica. Aunque no pretenden reemplazar la interacción entre terapeuta y paciente, la salud móvil puede proporcionar monitoreo de datos fuera de la visita clínica, proporcionar retroalimentación sobre la postura y la mecánica corporal, brindar material educativo e involucrar a los pacientes con indicaciones motivacionales^{48,49}.

3. Perspectivas futuras

Las innovaciones en la atención sanitaria móvil y electrónica están revolucionando la participación del personal de salud y pacientes en el sistema sanitario. La expansión de la tecnología para el consumidor, como la plataforma de telemonitorización y las aplicaciones móviles de salud, ha creado nuevas oportunidades para que las personas participen activamente en su atención sanitaria y realizar un seguimiento remoto de variables clínicamente relevantes en entornos no clínicos. Los estudios muestran que un paciente bien informado

⁴⁷ Verzani RH, de Souza Serapião AB. Contribuições tecnológicas para saúde: olhar sobre a atividade física. *Ciênc. saúde coletiva* 2020; 25(8):3227-3238. Doi: 10.1590/1413-81232020258.19742018.

⁴⁸ Blumenthal J, Wilkinson A, Chignell M. Physiotherapists' and Physiotherapy Students' Perspectives on the Use of Mobile or Wearable Technology in Their Practice. *Physiother Can.* 2018; 70(3):251-261. Doi: 10.3138/ptc.2016-100.e.

⁴⁹ Kimel JC. Thera-Network: A Wearable Computing Network to Motivate Exercise in Patients Undergoing Physical Therapy. Conference: 25th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCS 2005 Workshops), 6-10 June 2005, Columbus, OH, USA. Doi: 10.1109/ICDCSW.2005.135.

mejora la calidad de vida y es más probable que realice cambios de comportamiento saludables. Estados Unidos gasta aproximadamente el 75% de su presupuesto de US\$2 billones al año en enfermedades crónicas, que representan 7 de cada 10 muertes al año. Ahora hay más evidencia que respalda la confiabilidad de SP-W. Estos contienen una variedad de diferentes sensores que responden (por ejemplo, signos vitales fisiológicos, movimientos corporales y sustancias orgánicas) y sus ubicaciones (ropa, implante subcutáneo, accesorios de partes del cuerpo, etc.). logrando satisfacer las necesidades de los pacientes mediante la administración de información en tiempo real al teléfono inteligente, computadora u otros dispositivos inalámbricos del paciente y tiene el potencial de influir en sus comportamientos⁵⁰.

Más allá de estas áreas de oportunidad esperadas, dos desarrollos futuros pueden alterar el paradigma actual sobre el uso de SP-W para la rehabilitación. Existe un gran interés en desarrollar dispositivos portátiles inteligentes, en los que se cierre el ciclo y se brinde retroalimentación automatizada al usuario para mitigar comportamientos riesgosos, reforzar el aprendizaje o permitir la toma de decisiones compartida. Estos sistemas requerirán un alto grado de sensibilidad y especificidad para cada individuo y necesitarán operar en modelos con un alto grado de poder predictivo. También necesitarán recopilar mucha más información sobre el entorno local, el estado psicológico y fisiológico del usuario y rastrear información potencialmente invasiva como la geolocalización y las interacciones sociales^{36,51}. La capacidad de fabricar nanométricamente nuevas estructuras funcionales específicas es la clave para el desarrollo de compuestos con propiedades mejoradas que interacciones físicas y químicas de capas de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas, como nanotubos de carbono, nanopartículas y biomoléculas⁵² para la recopilación de variables fisiológicas.

Entre los factores que influyen en la adopción de SP-W, se encuentran la preferencia de los usuarios por la diferenciación social basada en la obtención de estatus, el uso del dispositivo con fines hedónicos, que brinden momentos de placer y diversión, con la posibilidad de que la compra se justifique por motivos utilitarios. motivaciones, que son posibles gracias a la convergencia de varios elementos funcionales presentes en este dispositivo⁵³. Lang y colaboradores⁵⁴ proponen puntos a tener en cuenta para la implementación en la práctica clínica habitual de rehabilitación física de los SP-W, detallados en la tabla 3:

Tabla 3. Implementación de SP-W en rehabilitación física

Puntos de referencia

⁵⁰ Appelboom G, Camacho E, Abraham ME, et al. Smart wearable body sensors for patient self-assessment and monitoring. Arch Public Health 2014; 72(28):1-9. Doi:10.1186/2049-3258-72-28.

⁵¹ Dobkin BH, Martinez C. Wearable Sensors to Monitor, Enable Feedback, and Measure Outcomes of Activity and Practice. Curr Neurol Neurosci Rep 2018;18(87):1-7. Doi: 10.1007/s11910-018-0896-5.

⁵² Oliveira DA, Gasparotto LHS, Siqueira JR. Processing of nanomaterials in Layer-by-Layer films: Potential applications in (bio)sensing and energy storage. An. Acad. Bras. Ciênc. 2019; 91(02): e20181343. Doi: 10.1590/0001-3765201920181343.

⁵³ Costa Cantanhede LR, Pereira Dias EJ, Lobato Pompeu Gammarano IJ, Montero Arruda EJ. FilhoComportamento do consumidor de tecnologia vestível: características que influenciam na intenção de consumo. Rev. eletrônica adm. 2018; 24(03):244-268. Doi: 10.1590/1413-2311.225.85428.

⁵⁴ Lang CE, Barth J, Holleran CL, Konrad JD, Bland MD. Implementation of Wearable Sensing Technology for Movement: Pushing Forward into the Routine Physical Rehabilitation Care Field. Sensors (Basel). 2020; 20(20):5744. Doi: 10.3390/s20205744.

Comodidad de compra y uso	Sistema de dispositivo de consumo disponible comercialmente que puede ser utilizado fácilmente por médicos y consumidores; Soporte técnico completo y accesible.
Tiempo de preparación inicial para la atención	5 a 6 minutos por primera vez con un paciente nuevo.
Tiempo de preparación para el profesional de salud	≤1 min en tiempos posteriores con el mismo paciente.
Tiempo para extraer datos y generar resultados o informes	≤5 min
Facilidad del paciente para ponerse/quitar el dispositivo	≤2 min; sin ayuda de otra persona si está destinado a uso doméstico.
Comodidad para uso prolongado	Plástico blando o correas flexibles que pueden tolerarse entre 12 y 24 horas/día; sin bordes duros que dañen la piel; resistente al agua, por lo que no es necesario quitarlo para bañarse, lavar platos, etc.
Operación del dispositivo	≥95 % del tiempo, el dispositivo recopila, almacena y/o carga datos según lo programado y no funciona mal.
Algoritmos para extraer datos y generar variables de interés	≥90% de precisión para medir el constructo previsto; debe ser preciso en una amplia gama de capacidades de movimiento que normalmente se observan en las clínicas de rehabilitación física.
Validación del constructo de interés	Fiabilidad: captura consistentemente el constructo con coeficientes de confiabilidad ≥0,80.
	Validez: captura de manera integral el constructo que tiene relevancia conocida para la toma de decisiones y el manejo clínico.
	Capacidad de respuesta: detecta cambios de ≥5%; Los cambios del 5 al 10% o más proporcionan información relevante para la toma de decisiones y el manejo clínico.
	Los valores se pueden calcular y reportar en unidades independientes del sensor.
Informe al terapeuta y al paciente	Amigable para el consumidor, dirigido a un público con ≤ educación secundaria; Se presentan de 1 a 3 variables de resultado clave; gráficos simples con colores para hacerlos accesibles en todos los idiomas y déficits lingüísticos y/o cognitivos; capacidad de integrarse en la historia clínica electrónica.

Adaptado de: Lang y colaboradores, 2020.

Al mismo tiempo que se discuten los problemas en la relación médico-paciente y la deficiencia del examen clínico en la atención, que hace que el diagnóstico clínico sea más dependiente de exámenes complementarios, se enfatiza cada vez más la importancia de la informática en la medicina y la salud pública. Esto ocurre ya sea mediante la adopción de sistemas de apoyo a las decisiones clínicas, mediante el uso integrado de nuevas tecnologías, incluidos dispositivos portátiles, o mediante el almacenamiento de grandes volúmenes de datos de salud sobre los pacientes y la población. La Inteligencia Artificial procesa estos datos a través de algoritmos, que tienden a mejorar mediante su propio funcionamiento (autoaprendizaje) y proponen hipótesis diagnósticas cada vez más precisas. Deep Mind, al evaluar un conjunto de imágenes dermatológicas en la investigación del melanoma, mostró un mejor desempeño que los expertos (76% versus 70,5%), con una especificidad del 62% versus 59% y una sensibilidad del 82%. Pero si el

ordenador aporta el saber qué, le corresponderá al profesional discutir con el paciente el problema de salud y sus posibles soluciones, indicándole el saber por qué de su caso⁵⁵.

La mayoría de los fisioterapeutas estarían de acuerdo en que la rehabilitación física es difícil de realizar de forma remota. Sin embargo, la pandemia de COVID-19 ha obligado a muchos profesionales y sus clientes a adaptarse a la telesalud, especialmente a las videoconferencias. Con el uso cada vez más generalizado de la telesalud para la fisioterapia. Elor y colaboradores, entrevistaron a 130 profesionales de rehabilitación física en todo Estados Unidos a través de videoconferencia durante la pandemia de COVID19 de julio a agosto de 2020. Las entrevistas duraron entre 30 y 45 minutos utilizando una plantilla semiestructurada desarrollada a partir de un piloto inicial de 20 entrevistas para examinar posibles barreras, facilitadores y necesidades tecnológicas. Encontraron que los fisioterapeutas que utilizan soluciones de telesalud existentes han perdido la capacidad de sentir las lesiones de sus pacientes, evaluar fácilmente el rango de movimiento y la fuerza y moverse libremente para examinar sus movimientos cuando utilizan la telesalud. Esto dificulta la evaluación completa de un paciente y muchos sienten que son más un “entrenador de vida” que da consejos a un paciente que una sesión tradicional de rehabilitación en persona⁵⁶.

CONCLUSIONES

En un futuro previsible, se hará realidad la promesa de la tecnología de sensores portátiles para mejorar la práctica de rehabilitación física. Un objetivo clave para este campo es trabajar para trasladar los sistemas de dispositivos portátiles que miden el movimiento humano a la práctica clínica habitual. Las principales barreras para la implementación surgen tanto de la práctica clínica actual como de los propios sistemas de dispositivos portátiles. Las barreras a superar incluyen: 1) dispositivos de consumo que no son precisos para muchas poblaciones de pacientes de rehabilitación física; 2) dispositivos aptos para investigación que no son fáciles de usar para los médicos o los pacientes; 3) datos publicados insuficientes sobre la confiabilidad, validez y capacidad de respuesta de las variables de resultado que puedan informar las decisiones clínicas; y 4) la necesidad de tener estos datos sobre una variedad de variables de salida para que los médicos puedan seleccionar las más apropiadas para pacientes específicos.

La base de evidencia sobre la eficacia de los SP-W se está ampliando. Sin embargo, esta evidencia está sesgada hacia el entrenamiento de rehabilitación física a corto plazo, los trastornos neurológicos y la rehabilitación después de lesiones en las extremidades y se centra en criterios de valoración secundarios en lugar de resultados a largo plazo. Esta evidencia también está sesgada hacia la rehabilitación en un entorno de atención y con la participación de un especialista en rehabilitación. Para avanzar en nuestra comprensión del uso de estos sistemas

⁵⁵ Lobo LC. Inteligência Artificial e Medicina. Rev. bras. educ. med. 2017; 41(2):185-193. Doi: 10.1590/1981-52712015v41n2esp.

⁵⁶ Elor A, Conde S, Powell M, Robbins A, Chen NN, Kurniawan S. Physical Therapist Impressions of Telehealth and Virtual Reality Needs Amidst a Pandemic. Front. Virtual Real. 2022; 3:1-9. Doi: 10.3389/frvir.2022.915332.

en rehabilitación, se necesita más investigación y desarrollo para abordar cuestiones de consumo de energía, estandarización, interoperabilidad, validez de las mediciones, privacidad y confidencialidad. Para una adopción más amplia de SP-W en rehabilitación, la comprensión del uso final debe ir de la mano con el desarrollo tecnológico. El uso rutinario y a largo plazo de dispositivos portátiles presenta muchos desafíos que no se abordan en estudios clínicos breves, como la durabilidad, el consumo de energía, la comodidad y la usabilidad. Por lo tanto, para avanzar en el uso de sistemas portátiles para rehabilitación fuera del entorno clínico, se necesita un enfoque sistemático e integrado para desarrollar sistemas centrados en el usuario para una amplia gama de aplicaciones de rehabilitación. Este enfoque motivará y mantendrá el compromiso dentro de la comunidad de usuarios y demostrará claros beneficios para la salud a largo plazo.

BIBLIOGRAFIA

1. Ahmetovic D, Pugliese A, Mascetti S, Begnozzi V, Boccalandro E, Gualtierotti R, et al. Rehabilitation through Accessible Mobile Gaming and Wearable Sensors. 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '21), October 18-22, 2021, Virtual Event, USA. ACM, New York, NY, USA, 4 pages. Doi: 10.1145/3441852.3476544
2. Alexandre R, Postolache O, Silva Girão P. Physical Rehabilitation based on Smart Wearable and Virtual Reality Serious Game. Conference: 2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). Doi: 10.1109/I2MTC.2019.8826947.
3. Alonso-Arévalo J, Mirón-Canelo JA. Aplicaciones móviles en salud: potencial, normativa de seguridad y regulación. *Rev. cuba. inf. cienc. Salud.* 2017; 28(3):1-13.
4. Alòs F, Puig-Ribera A. Uso de wearables y aplicaciones móviles (mHealth) para cambiar los estilos de vida desde la práctica clínica en atención primaria: una revisión narrativa. *Atención Primaria Práctica* 2021; 3(1):100122. Doi: 10.1016/j.appr.2021.100122.
5. Appelboom G, Camacho E, Abraham ME, et al. Smart wearable body sensors for patient self-assessment and monitoring. *Arch Public Health* 2014; 72(28):1-9. Doi:10.1186/2049-3258-72-28.
6. Benson LC, Räisänen AM, Volkova VG, Pasanen K, Emery CA. Workload a-WEAR-ness: Monitoring Workload in Team Sports With Wearable Technology. A Scoping Review. *J Orthop Sports Phys Ther* 2020; 50(10):549-563. Doi:10.2519/jospt.2020.9753.
7. Blumenthal J, Wilkinson A, Chignell M. Physiotherapists' and Physiotherapy Students' Perspectives on the Use of Mobile or Wearable Technology in Their Practice. *Physiother Can.* 2018; 70(3):251-261. Doi: 10.3138/ptc.2016-100.e.
8. Boehringer Ingelheim. Las innovaciones tecnológicas de los wearables en la monitorización de la salud de tus pacientes. 05 monográfico. 1-19.

9. Braakhuis HEM, Bussmann JBJ, Ribbers GM, Berger MAM. Wearable Activity Monitoring in Day-to-Day Stroke Care: A Promising Tool but Not Widely Used. *Sensors*. 2021; 21(12):4066. Doi: 10.3390/s21124066
10. Chan C, Sounderajah V, Normahani P, Acharya A, Markar SR, Darzi A, et al. Wearable Activity Monitors in Home Based Exercise Therapy for Patients with Intermittent Claudication: A Systematic Review. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2021; 61(4):676-687. Doi: 10.1016/j.ejvs.2020.11.044.
11. Cooper C, Gross A, Brinkman C, Pope R, Allen K, Hastings S, et al. The impact of wearable motion sensing technology on physical activity in older adults. *Exp Gerontol*. 2018; 112:9-19. Doi: 10.1016/j.exger.2018.08.002.
12. Costa Cantanhede LR, Pereira Dias EJ, Lobato Pompeu Gammarano IJ, Montero Arruda EJ. Filho Comportamento do consumidor de tecnologia vestível: características que influenciam na intenção de consumo. *Rev. eletrônica adm*. 2018; 24(03):244-268. Doi: 10.1590/1413-2311.225.85428
13. Dean, E. Exercise Specialists and the Health priorities of the 21st Century: A new perspective on knowledge translation for the Physical Therapist. *Fisioterapia*. 2008; 16(3): 3-7.
14. Dobkin BH. Wearable motion sensors to continuously measure real-world physical activities. *Curr Opin Neurol*. 2013; 26(6):602-608. Doi: 10.1097/WCO.0000000000000026.
15. Dobkin BH, Martinez C. Wearable Sensors to Monitor, Enable Feedback, and Measure Outcomes of Activity and Practice. *Curr Neurol Neurosci Rep* 2018;18(87):1-7. Doi: 10.1007/s11910-018-0896-5.
16. Duan L, Yan X. Sweat biosensors for sports monitoring. *Rev Bras Med Esporte* 2023; 29: e2022_0390. Doi: 10.1590/1517-8692202329012022_0390
17. Elor A, Conde S, Powell M, Robbins A, Chen NN, Kurniawan S. Physical Therapist Impressions of Telehealth and Virtual Reality Needs Amidst a Pandemic. *Front. Virtual Real*. 2022; 3:1-9. Doi: 10.3389/frvir.2022.915332
18. Equipo de Expertos de Ciencia y Tecnología de la Universidad Internacional de Valencia. Qué es wearable y qué tipos de dispositivos existen. 2019. [Internet] Disponible en: <https://www.universidadviu.com/es/actualidad/nuestros-expertos/que-es-wearable-y-que-tipos-de-dispositivos-existen>
19. Gowun K, Won-Seok K, Woo K, Yong Seuk L, Hooman L, Nam-Jong P. Home-based rehabilitation using smart wearable knee exercise device with electrical stimulation after anterior cruciate ligament reconstruction: A study protocol for a randomized controlled trial. *Medicine* 2020; 99(20):e20256. Doi: 10.1097/MD.00000000000020256.
20. Hodkinson A, Kontopantelis E, Adeniji C, et al. Interventions Using Wearable Physical Activity Trackers Among Adults With Cardiometabolic Conditions: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Netw Open*. 2021; 4(7):e2116382. Doi:10.1001/jamanetworkopen.2021.16382
21. Huang K, Sparto PJ, Kiesler S, Smailagic A, Mankoff J, Siewiorek D. A Technology Probe of Wearable In-Home Computer Assisted Physical Therapy. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors*. *En Computing Systems* 2014; 2541–2550. Doi: 10.1145/2556288.2557416

22. Iberdrola. Qué es un 'wearable' La tecnología 'wearable', mucho más que un complemento [Internet] Disponible en: <https://www.iberdrola.com/innovacion/tecnologia-wearable>
23. Kimel JC. Thera-Network: A Wearable Computing Network to Motivate Exercise in Patients Undergoing Physical Therapy. Conference: 25th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCS 2005 Workshops), 6-10 June 2005, Columbus, OH, USA. Doi: 10.1109/ICDCSW.2005.135.
24. Landa-Jiménez MA, González-Gaspar P, Montes-González FM, Morgado-Valle C, Beltrán-Parrazal L. An open-source low-cost wireless sensor system for acquisition of human movement data. An. Acad. Bras. Ciênc. 2022; 94(1):e20191419. Doi: 10.1590/0001-3765202220191419.
25. Lang CE, Barth J, Holleran CL, Konrad JD, Bland MD. Implementation of Wearable Sensing Technology for Movement: Pushing Forward into the Routine Physical Rehabilitation Care Field. Sensors (Basel). 2020; 20(20):5744. Doi: 10.3390/s20205744.
26. Lavallière M, Burstein AA, Arezes P, Coughlin JF. Tackling the challenges of an aging workforce with the use of wearable technologies and the quantified-self. DYNA 2016; 83(197):38-43. Doi: 10.15446/dyna.v83n197.57588.
27. Li LC, Feehan LM, Xie H, Lu N, Shaw CD, Gromala D, et al. Effects of a 12-Week Multifaceted Wearable-Based Program for People With Knee Osteoarthritis: Randomized Controlled Trial. JMIR Mhealth Uhealth. 2020; 8(7):e19116. Doi: 10.2196/19116.
28. Liu X, Zhao C, Zheng B, Guo Q, Duan X, Wulamu A, Zhang D. Wearable Devices for Gait Analysis in Intelligent Healthcare. Front. Comput. Sci. 2021; 3:1-8. Doi: 10.3389/fcomp.2021.661676
29. Llamas RT. Market Analysis Perspective: Worldwide and U.S. Wearables, 2023. [Internet] Disponible en: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=US51182323&pageType=PRINTFRIENDLY>
30. Lobo LC. Inteligência Artificial e Medicina. Rev. bras. educ. med. 2017; 41(2):185-193. Doi: 10.1590/1981-52712015v41n2esp.
31. Lobo MA, Hall ML, Greenspan B, Rohloff P, Prosser LA, Smith BA. Wearables for Pediatric Rehabilitation: How to Optimally Design and Use Products to Meet the Needs of Users. Phys Ther. 2019; 99(6):647-657. Doi: 10.1093/ptj/pzz024.
32. Master H, Bley JA, Coronado RA, Robinette PE, White DK, Pennings JS, et al. Effects of physical activity interventions using wearables to improve objectively-measured and patient-reported outcomes in adults following orthopaedic surgical procedures: A systematic review. PLoS ONE 2022; 17(2): e0263562.. Doi: 10.1371/journal.pone.0263562.
33. Monoli C, Tuhtan JA, Piccinini L, Galli M. Wearable technologies for monitoring aquatic exercises: A systematic review. Clin Rehabil. 2023; 37(6):791-807. Doi: 10.1177/02692155221141039.
34. Mwththerapy. 6 New Technology Trends in Physical Therapy in 2022. [Internet] Disponible en:

<https://www.mwtherapy.com/blog/6-new-technology-trends-in-physical-therapy-in-2022>

35. Nascimento LMSD, Bonfati LV, Freitas MB, Mendes Junior JJA, Siqueira HV, Stevan SL Jr. Sensors and Systems for Physical Rehabilitation and Health Monitoring-A Review. *Sensors (Basel)*. 2020; 20(15):4063. Doi: 10.3390/s20154063.
36. Nogueira de Oliveira B, Branco Fraga A. Movimento quantified self: a vida fitness orientada por números. *Movimento* 2022; 28:e28035. Doi: 10.22456/1982-8918.117533.
37. Oliveira DA, Gasparotto LHS, Siqueira JR. Processing of nanomaterials in Layer-by-Layer films: Potential applications in (bio)sensing and energy storage. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 2019; 91(02): e20181343. Doi: 10.1590/0001-3765201920181343.
38. Owens JG, Rauzi MR, Kittelson A, Graber J, Bade MJ, Johnson J, et al. How New Technology Is Improving Physical Therapy. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2020; 13(2):200-211. Doi: 10.1007/s12178-020-09610-6.
39. Panagiotis K, Bruno Gil R, Meysam K, Guang-Zhong Y. Chapter 2 - From wearables to implantables—clinical drive and technical challenges. En: *Wearable Sensors (Second Edition) Fundamentals, Implementation and Applications 2021*, Pages 29-84. Doi: 10.1016/B978-0-12-819246-7.00002-4
40. Picha KJ, Howell DM. A model to increase rehabilitation adherence to home exercise programmes in patients with varying levels of self-efficacy. *Musculoskeletal Care*. 2018; 16(1):233-237. Doi: 10.1002/msc.1194.
41. Porciuncula F, Roto AV, Kumar D, Davis I, Roy S, Walsh CJ, et al. Wearable Movement Sensors for Rehabilitation: A Focused Review of Technological and Clinical Advances. *PM&R* 2018; 10(9): S220-S232. Doi: 10.1016/j.pmrj.2018.06.013
42. Rawashdeh SA, Reimann E, Uhl TL. Highly-Individualized Physical Therapy Instruction Beyond the Clinic Using Wearable Inertial Sensors. *IEEE* 2022; 10: 14564-14574. Doi: 10.1109/ACCESS.2022.3143765.
43. Reilly C, Sails J, Stavropoulos-Kalinoglou A, Birch RJ, McKenna J, Clifton IJ, et al. Physical activity promotion interventions in chronic airways disease: a systematic review and meta-analysis. *Eur Respir Rev*. 2023 Jan 25;32(167):220109. Doi: 10.1183/16000617.0109-2022.
44. Robinson T, Condell J, Ramsey E, Leavey G. Self-Management of Subclinical Common Mental Health Disorders (Anxiety, Depression and Sleep Disorders) Using Wearable Devices. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20(3):2636. Doi: 10.3390/ijerph20032636.
45. Rodgers MM, Alon G, Pai VM, Conroy RS. Wearable technologies for active living and rehabilitation: Current research challenges and future opportunities. *J Rehabil Assist Technol Eng*. 2019; 6:2055668319839607. Doi: 10.1177/2055668319839607.
46. Rodrigues Mendes LO, Gonzales Jolandek E, Pereira AL. Tecnologias vestíveis e suas possibilidades nos ambientes educacionais formais e não formais. *Rev. iberoam. tecnol. educ. educ. tecnol.* 2020; 26:27-34. Doi: 10.24215/18509959.26.e3.

47. Song Y, Min J, Gao W. Wearable and Implantable Electronics: Moving toward Precision Therapy. *ACS Nano* 2019; 13(11):12280-12286. Doi: 10.1021/acsnano.9b08323.
48. Soto JA. ¿Qué es un Wearable y para qué sirve? 2021. [Internet] Disponible en: <https://www.geeknetic.es/Wearable/que-es-y-para-que-sirve>
49. Toh SFM, Fong KNK, Gonzalez PC, Tang YM. Application of home-based wearable technologies in physical rehabilitation for stroke: A scoping review. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2023; 31: 1614-1623. Doi: 10.1109/TNSRE.2023.3252880.
50. Verzani RH, de Souza Serapião AB. Contribuições tecnológicas para saúde: olhar sobre a atividade física. *Ciênc. saúde coletiva* 2020; 25(8):3227-3238. Doi: 10.1590/1413-81232020258.19742018.
51. Walsh C. Human-in-the-loop development of soft wearable robots. *Nat Rev Mater* 2018; 3:78-80. Doi: 10.1038/s41578-018-0011-1.
52. Winstein C, Requejo P. Innovative Technologies for Rehabilitation and Health Promotion: What Is the Evidence? *Phys Ther* 2015; 95(3):294-298. Doi: 10.2522/ptj.2015.95.2.294.
53. Yetisen AK, Martinez-Hurtado JL, Ünal B, Khademhosseini A, Butt H. Wearables in Medicine. *Adv. Mater.* 2018; 30:1706910. Doi: 10.1002/adma.201706910.
54. Yin J, Hinchet R, Shea H, Majidi C. Wearable Soft Technologies for Haptic Sensing and Feedback. *Adv. Funct. Mater.* 2020; 2007428. Doi: 10.1002/adfm.202007428.
55. Yumbla EQ, Qiao Z, Tao W, et al. Human Assistance and Augmentation with Wearable Soft Robotics: a Literature Review and Perspectives. *Curr Robot Rep* 2021; 2: 399-413. Doi: 10.1007/s43154-021-00067-0.
56. Zhou H, Al-Ali F, Kang GE, Hamad AI, Ibrahim RA, Talal TK, Najafi B. Application of Wearables to Facilitate Virtually Supervised Intradialytic Exercise for Reducing Depression Symptoms. *Sensors (Basel)*. 2020; 20(6):1571. Doi: 10.3390/s20061571.

Licencia Creative Commons Attribution
Non-Comercial 4.0 Unported (CC
BY-NC 4.0) Licencia Internacional



CUADERNOS DE SOFÍA EDITORIAL

Las opiniones, análisis y conclusiones del autor son de su responsabilidad y no necesariamente reflejan el pensamiento de la Revista.

Para referencias de números de páginas de este artículo revisar su versión en PDF