



**Aplicación del exoesqueleto Lokomat en la rehabilitación de la
marcha postictus, mediante la integración de la información
sensoriomotora.**

**Trabajo final de máster
Máster en neurorehabilitación, Instituto Guttmann
2023-2024**

Autora: Carla Ruiz Sanz

Tutores: Narda Murillo, Jesús Benito, Miquel Sarrió, Mark Wright

Fecha de entrega: 10/6/2024

ÍNDICE

1.	Resumen	2
2.	Introducción	2
3.	Epidemiología	2
4.	Alteraciones de la marcha en pacientes que han sufrido un ictus	3
5.	Diferentes patrones de marcha postictus	4
6.	Rehabilitación convencional en la marcha para pacientes post ictus	5
7.	Integración sensitivomotora a través de agentes externos en el tratamiento	6
8.	Diferentes exoesqueletos utilizados en neurorehabilitación	7
	8.1 Beneficios y funcionamiento de los exoesqueletos	7
	8.2 Limitaciones y desafíos	7
9.	Tratamientos de rehabilitación aplicados en la marcha con Lokomat	8
10.	Revisión sistemática de la utilización del Lokomat en el entrenamiento de la marcha en Ictus.	9
	10.1 Materiales y métodos	9
	10.2 Procedimientos	9
	10.3 Estrategia de búsqueda	9
	10.3.1 Criterios de inclusión	9
	10.3.2 Criterios de exclusión	9
	10.4 Análisis de la información	10
	10.5 Resultados	12
11.	Conclusión	14

1. Resumen

En las últimas décadas, el avance de la rehabilitación junto a las nuevas tecnologías han evolucionado en el campo de la fisioterapia, proporcionando esperanzas y oportunidades a pacientes con diversas discapacidades motoras. Entre todas estas, los exoesqueletos robóticos han emergido como herramientas claves dentro de este proceso rehabilitador sobre todo en pacientes post-ictus, con el propósito de mejorar su calidad de vida y la recuperación funcional de personas con movilidad reducida.

La fisioterapia post ictus, se basa en promover la neuroplasticidad para recuperar las funciones motoras perdidas. Los exoesqueletos son una buena herramienta en este proceso ya que entre sus cualidades está el ejecutar movimientos repetitivos y específicos a la vez que proporcionan una retroalimentación sensorial que participa en la reorganización cortical. Este trabajo compara las distintas aplicaciones del Lokomat en el tratamiento rehabilitador y sus resultados en la recuperación neuromotora de los pacientes.

2. Introducción

El ictus es una enfermedad cerebrovascular, siendo la primera causa de discapacidad adquirida en adultos y la segunda causa de demencia después del Alzheimer. (1) Su alta incidencia tiene un gran impacto sociosanitario y social. Hay varios factores demográficos como la edad, el sexo o el lugar de residencia que influyen en la incidencia y prevalencia según la zona.(2) Diversos estudios afirman que es más prevalente en hombres que en mujeres y se observan más casos en personas que viven en zonas urbanas y aumenta conforme la población envejece. (1)

Cuando un paciente sufre una lesión cerebral, puede suceder que el foco de la lesión se encuentre en las áreas corticales motoras y sensitivas, lo cual implica que el paciente sufra una serie de consecuencias en el hemisferio corporal contralateral a la lesión que le impidan realizar las funciones de las que se encargan de manera normal. (3)

La marcha es un proceso simétrico, se comprende de una serie de movimientos estereotipados (5) que requieren la interacción de diversos segmentos corporales para actuar de manera coordinada. A toda esta serie de movimientos que permiten un desplazamiento le llamamos locomoción. (4)

3. Epidemiología

Actualmente, en España cada año mueren en torno a 27 mil personas a causa de un ictus, se prevé que este número incremente un 39% en los próximos 20 años, debido a que cada vez la población es más longeva. (1) De entre los supervivientes, el 62,4% de los pacientes sufren alteraciones de la marcha. (6)

Después de sufrir un ictus, el paciente puede presentar diversas afectaciones además de la movilidad, como la visión o el habla, así como trastornos del ánimo, cognitivos y de personalidad. (1) Esto afecta a la ejecución y organización de la marcha ya que no solo es un proceso muscular sino que requiere voluntariedad y cognición. (6)

4. Alteraciones de la marcha en pacientes que han sufrido un ictus

Existen diversas causas por las que el paciente podría presentar una, varias o ninguna de estas afectaciones, lo cual va a depender del grado de la lesión cortical, si se trata de un accidente isquémico o hemorrágico y de la zona parenquimal afectada.(7)

Mayormente son afectaciones motoras, aunque también se puede dar a nivel cognitivo una afectación que impida realizar la marcha, y por lo tanto se vería afectada. Se debe tener en cuenta de que se trata de una lesión cortical, por lo tanto afectará en la transmisión de la información aferente y eferente. (8)

- Espasticidad

La espasticidad es un desorden neurológico que provoca hipertonía debido a la hiperexcitabilidad e hiperreflexia de los tendones. Es una manifestación de la lesión de la primera neurona y afecta al 40% de los pacientes que han sufrido un ictus. (7) Cursa junto con dolor, rigidez e hipertonía, que va ligada al desuso de esta musculatura y conlleva a pérdidas en la calidad de vida y afectaciones en la marcha cuando es en miembro inferior. (9)

Durante la marcha en pacientes con espasticidad en el miembro inferior, podemos observar una asimetría que se debe a que ésta dificulta el control excéntrico de la musculatura durante las fases de la marcha, interfiriendo de manera negativa, sobre todo en la fase de apoyo. La espasticidad persistente da lugar a distintos patrones según el músculo o grupo muscular que afecte, y otras consecuencias como contracturas o daños tisulares más graves. (7)

- Alteraciones en la coordinación

El paciente que ha sufrido un ictus experimenta una descoordinación entre las extremidades a la hora de realizar la marcha. No hay alternancia entre las fases predeterminadas de la marcha que realiza cada pierna por separado para que la acción sea cómoda y correcta. (10) Esto puede ser dado a una incongruencia entre las vías aferentes y eferentes ya que una lesión a nivel cerebral podría interpretar mal o no interpretar la información que capta del medio.(8)

- Alteraciones de la secuencia de activación muscular

Debido a la suma de las dos anteriores, la activación muscular puede verse prolongada, acortada, retrasada, adelantada, ser continua o estar ausente. Por lo tanto, dará como resultado movimientos exagerados, lentos, muy rápidos o descoordinados.(6)

- Alteraciones de la propiocepción

Estas alteraciones privan al paciente de saber en qué posición se encuentra su cuerpo en el espacio. Esto conlleva que sea difícil saber en qué fase de la marcha se encuentra, qué debe hacer después, si el pie se encuentra apoyado o no, cuánto peso debería apoyar, o si debe avanzar, por lo que provocará una inestabilidad mayor.(8,11,12) Todas las afectaciones anteriores provocan una marcha asimétrica y vemos como muchas de ellas están relacionadas y proporcionan al paciente una nueva realidad a la que se tiene que adaptar. (12)

5. Diferentes patrones de marcha postictus

Cuando se habla de la afectación de la marcha postictus, una de las características que presenta es la asimetría del paso.

Una marcha asimétrica no es eficiente y, por lo tanto, conlleva a un mayor coste energético por parte del individuo para desplazarse, además de otras lesiones en el sistema musculoesquelético por sobrecarga. (13)

Valoración de la marcha asimétrica

Aunque la manera en la que camina el individuo no sea simétrica, puede ser funcional, pese a no ser el patrón más eficiente. Dicha asimetría se puede valorar con medidas cinemáticas y cinéticas de la marcha, teniendo en cuenta las diferentes características en los tiempos de balanceo y de apoyo. (6) Existen tres patrones principales que describimos a partir de la afectación de distintos grupos musculares, dicha afectación nos describe un patrón de los que tenemos a continuación.

1. Marcha en estepaje

- **Características:** Pie equino en la extremidad inferior pléjica, por la hipotonía que presenta el paciente en musculatura anteroexterna de la región tibial y espasticidad en sóleo y gemelos.
- **Compensaciones:** flexión excesiva de cadera y rodilla para compensar en la fase de despegue y oscilación que la pierna no arrastre.
- **Tratamiento:** ortopédico para el pie equino y reeducación de la marcha

No siempre será un pie equino irreductible: cuanto menor sea la afectación, menores serán las compensaciones. (11)(12)

2. Marcha en guadaña o del segador

Cuando el paciente tiene un pie equino, y las compensaciones anteriores no son suficientes o no tiene fuerza en flexores de rodilla y cadera, ésta es la alternativa que presentan.

- **Características:** movimientos de circunducción de la pierna pléjica debido a la debilidad en flexores de cadera, acompañado de una sinergia extensora al dar el paso, que no me permite doblar la rodilla.
- **Compensaciones:** inclinación posterolateral del tronco hacia el lado sano, levantando la pelvis del lado afectado, balanceo del miembro inferior mediante la activación de cuadrado lumbar, glúteo medio y abdominales, compensando de nuevo con una flexión de tronco hacia delante e inclinación del mismo hacia el lado pléjico.
- **Tratamiento:** ortopédico para el pie equino y reeducación de la marcha
- **Impacto:** se trata de una marcha en la que se requiere más consumo energético y con estrategias compensatorias más demandantes. (11)(12)

3. Hiperextensión de rodilla

- **Características:** el paciente presenta una hiperextensión de rodilla (recurvatum) durante la fase media de apoyo. Puede ser debido a hiperactividad del cuádriceps, inestabilidad de

tobillo, sinergia extensora de la extremidad pléjica, actividad prematura del sóleo para compensar la hipotonía en cuádriceps o espasticidad del tríceps sural.

- **Compensaciones:** hiperextensión de rodilla en fase de apoyo, que puede persistir hasta la fase de pre-oscilación.
- **Tratamiento:** tratar la causa subyacente que lo provoque, principalmente será la espasticidad de flexores plantares y reeducar la marcha.(11)(12)

De los puntos anteriores surgen limitaciones importantes que debemos tratarse en la terapia:

1. Mejorar la fuerza muscular en flexores de cadera, para lograr una marcha más cómoda.
2. Aumento de la fuerza muscular en extensores de rodilla para lograr una marcha más rápida.
3. Reducción de la espasticidad en el tríceps sural que minimizará la asimetría espaciotemporal. (11)(12)

6. Rehabilitación convencional en la marcha para pacientes post ictus

La evolución en el tratamiento del ictus ha avanzado considerablemente en las últimas décadas. Sin embargo, la discapacidad resultante sigue siendo un reto significativo. La fisioterapia desempeña un papel crucial en la recuperación de la funcionalidad y la calidad de vida de estos pacientes. En este contexto, los exoesqueletos emergen como una herramienta innovadora con gran potencial para la rehabilitación. (4)

Existen diversas metodologías que podemos aplicar en el tratamiento para mejorar la marcha en pacientes post-ictus. Se debe tomar en cuenta la condición del individuo, necesidades y objetivos que se describen, adaptándolo a la fase de evolución en la que se encuentre. (4)

La base de una buena rehabilitación neurológica reside en tratamientos repetitivos que activan los procesos plásticos y corrigen la coordinación del movimiento.(13) Los pacientes post ictus suelen presentar debilidades en el hemicuerpo contralateral al que se produce la lesión, falta de equilibrio y coordinación, generalizada, reducción del control de tronco, además de lesiones que afectan al habla, a la vista, a la planificación, organización o procesamiento de la información para ejecutar o sentir un movimiento. (15)

La propuesta de tratamiento para reeducar la marcha debe tener en cuenta todos estos puntos, incluyendo el entrenamiento de reconocimiento corporal y de propiocepción. Dado que algunas acciones están temporalmente anuladas, la imaginería motora es una buena herramienta para empezar a trabajar la neuroplasticidad (16) junto al entrenamiento en tareas específicas, ambas darán mayor propiocepción al paciente y mejor control del movimiento.(8)

El control de tronco es fundamental para alcanzar la marcha ya que ahí reside el centro del equilibrio. La reeducación del paso, que debe incidir en el traspaso de carga y ejercicios específicos para cada fase de la marcha y lograr un movimiento lo más fisiológico posible. (4)

La adherencia en el tratamiento es crucial, al igual que recomendar terapias complementarias como la hidroterapia, equinoterapia o deporte adaptado, para mejorar el compromiso del paciente y los resultados del tratamiento (4)

7. Integración sensitivomotora a través de agentes externos en el tratamiento

La percepción se define como el conocimiento consciente e interpretación de las sensaciones. Estas sensaciones, como generar un cambio de posición, un movimiento, vibración presión, provocará un potencial de acción captado por los propioceptores, que generará la interpretación de la posición del cuerpo en el espacio. Las neuronas de primer orden, envían aferencias a la corteza cerebral, donde esta información se interpreta. (20)

A nivel cortical y subcortical, junto con la médula espinal, se forman circuitos en serie y en paralelo que analizan, integran y ejecutan respuestas a esa información. Esta actividad sincronizada da lugar a estas acciones sensitivomotoras, por lo que una lesión a cualquier nivel, generará un déficit (20). Diversos autores hablan de que la organización funcional de la corteza sensitivomotora es dinámica y puede cambiar según el contexto, el tipo de tarea, el nivel de exigencia y las manipulaciones periféricas, (20) estas nuevas conexiones neuronales se forman gracias al fenómeno de la plasticidad.(17)

La neuroplasticidad es la capacidad que tiene el sistema nervioso de reorganizarse, formando nuevas conexiones neuronales en respuesta al aprendizaje y la experiencia que experimenta el individuo. (17), (18), (19). Este proceso, depende de dos mecanismos: la potenciación a largo plazo, que logra generar nuevas conexiones neuronales mediante la repetición de actividades, y la depresión a largo plazo, que pierden su utilidad por el desuso. Por lo que realizar tareas de manera repetida a lo largo del tiempo, generará nuevas conexiones a nivel cortical.(18)

Para que estas conexiones tengan lugar el paciente debe estar concentrado en la tarea, pues es un proceso cognitivo dependiente, es decir, la persona debe ser capaz de interpretar esta información y generar voluntariamente respuestas motoras adecuadas, cuando la parte cognitiva está afectada, la aplicación del tratamiento será más desafiante, pues se trata de un proceso de reaprendizaje. (20)

Para que el aprendizaje sea competitivo, debe establecerse una buena asociación entre las representaciones sensoriales de la corteza cerebral y el hipocampo, quién crea representaciones de experiencias espacio-temporales, genera nuevos recuerdos y relaciona vivencias con recuerdos anteriores. (21),(22), (23)

El papel de los exoesqueletos es facilitar movimientos repetitivos y precisos que simulan una marcha fisiológica, esta serie de estímulos que el paciente capta en el tiempo de terapia, son procesados a nivel cerebral. El objetivo de la terapia es que el individuo trate de realizar esos mismos movimientos de manera activa, por lo que requiere concentración y voluntariedad. Esta serie de factores que se repiten a lo largo del tiempo, favorecen a la neuroplasticidad, lo que ayuda a establecer nuevas conexiones en estas áreas motoras encargadas de ejecutar la marcha y recuperar la función.(19)

El exoesqueleto dispone de unos sensores que permiten crear interacción entre el usuario y la máquina, detecta los movimientos que es capaz de realizar el paciente y proporcionan la fuerza necesaria para suplirlos si fuera necesario.(18)

8. Diferentes exoesqueletos utilizados en neurorehabilitación

La rehabilitación convencional, aunque beneficiosa, presenta limitaciones en el proceso de reeducación de la marcha analítica debido a la necesidad de mano de obra intensiva y la variabilidad y precisión de los movimientos que la constituyen, esta rehabilitación puede suponer una carga física intensiva para el fisioterapeuta.(24)

Los robots, en particular los exoesqueletos, surgen como una herramienta eficaz para superar estas limitaciones, permitiendo movimientos repetitivos y precisos con mucho menos esfuerzo físico por parte del profesional. (24) Los exoesqueletos se dividen en dos tipos principales: los robots fijos sobre cinta rodante con sistema de soporte de peso corporal, como el Lokomat. Y por otro lado, los exoesqueletos portátiles, superpuestos al cuerpo del paciente, como es el caso del Able. Ambos diseñados para la rehabilitación de la marcha y el equilibrio. (25)

8.1 Beneficios y funcionamiento de los exoesqueletos:

La finalidad de los dispositivos robóticos de tipo exoesqueleto es generar movimientos repetitivos y progresivos adaptados a la discapacidad motora de cada paciente, con parámetros ajustables según su anatomía como a los déficits que presente. Este tipo de robots están preparados para poder cubrir los objetivos en el tratamiento de reeducación de la marcha como es mejorar la función del equilibrio en bipedestación, aumentar la amplitud del movimiento de las articulaciones implicadas. (25) (26) A la vez que generan adherencia en el tratamiento.(24)

El trabajo en exoesqueleto, no solo mejora la función motora, sino que tiene repercusión a nivel central, contribuyendo a la neuroplasticidad en SNC (27), mecanismo esencial para la recuperación del sistema neuromuscular. La aplicación de estos dispositivos, resulta una terapia útil, que genera una estimulación multisensorial compleja y controlable. (25)

Los estudios demuestran que, aunque los exoesqueletos no sustituyen el tratamiento de fisioterapia convencional, sí que ofrecen resultados positivos en la reeducación de la marcha y el equilibrio además de mostrar resultados positivos también en la velocidad del paso y funcionalidad del miembro inferior afectado. (25), (28), (29), (30), (31), (32). Algunos estudios nos hablan de recuperación de fuerza muscular con el uso de este dispositivo (33), (27), y otros nos dicen lo contrario, (34), (35).

8.2 Limitaciones y desafíos

Aunque los exoesqueletos no sustituyen a la figura del fisioterapeuta, son herramientas útiles para la recuperación del paciente post-ictus, aunque presentan limitaciones en cuanto a asemejar el patrón de marcha normal, ningún exoesqueleto del mercado ofrece un movimiento de tobillo que permita generar la fase pre-empuje (24). No obstante, ofrecen una estimulación multisensorial compleja y controlable que fomenta la neuroplasticidad y la recuperación motora. Sin embargo, su alto costo y la necesidad de complementarse con tratamientos convencionales deben ser considerados. (24),(25),(27),(30)

Existen en el mercado gran cantidad de exoesqueletos disponibles para centros de rehabilitación, uno de los pioneros y más conocido es el sistema robótico Lokomat, en el cual se centrará este trabajo.

9. Tratamientos aplicados en la rehabilitación de la marcha con Lokomat

El Lokomat es un robot exoesquelético que se compone de una órtesis robótica bilateral que se usa sobre todo en el área de la neurorehabilitación con la finalidad de automatizar la marcha que ofrece un ejercicio orientado a la tarea que permite el entrenamiento del ciclo de la marcha, mediante una estimulación multisensorial de la cual obtenemos una mejora en la reeducación motora.

Realiza movimientos, programados, repetitivos y estipulados de la marcha fisiológica, pasando por todas las fases del ciclo de la marcha (29)

Combina un sistema de soporte corporal con una cinta de correr, así consigue imitar el acto de caminar, se puede acompañar de un sistema de realidad aumentada. En ambas piernas se encuentra un sistema de motores eléctricos lineales que guían estas ortesis externas que mueven rodillas y caderas del paciente. Además dispone de un mecanismo que coloca el pie en posición neutra para dar alineación en el paso e imitar el movimiento de dorsiflexión. (29)

Hay distintos modos de ajustar el robot, según las necesidades de cada paciente. Cuando Entre los parámetros a configurar encontramos el peso de soporte corporal, que es la cantidad de peso corporal del paciente que soporta el robot, mientras que la fuerza de guía es la ayuda que el exoesqueleto ofrece al paciente a la hora de realizar el movimiento del paso, pudiendo ser esta activa o pasiva. La velocidad a la que circula la cinta rodante por la que el paciente desfila, depende de la velocidad del paso a la que el paciente deambula. A todo esto, debemos sumarle la frecuencia de tratamiento escogida. (30)

Este tratamiento puede ser adecuado para pacientes que se encuentren en fases agudas o en fases crónicas, teniendo en cuenta que en ambas fases podemos obtener resultados, pues el cerebro es un órgano plástico. (37), (29) Estas mejoras se asocian a cambios observados también en la corteza motora, aumento en la densidad sináptica y activación de áreas cerebrales, inactivas previas al tratamiento. (18)

La evaluación inicial es crucial para obtener los datos necesarios a la hora de colocar y configurar el robot, es importante el monitoreo continuo del progreso del paciente y los ajustes del exoesqueleto según los cambios que surjan. (37)

10. Revisión bibliográfica de la utilización del Lokomat en el entrenamiento de la marcha en Ictus.

10.1 Materiales y método

Este estudio consiste en una revisión sistémica de la literatura sobre la utilización del Lokomat en el entrenamiento de la marcha en Ictus. Se ha llevado a cabo una búsqueda en la base de datos PUBMED y Google Scholar, con el fin de descubrir evidencia sobre el uso del lokomat en pacientes con Ictus durante los últimos 10 años.

10.2 Procedimiento

El procedimiento se dividió en cuatro fases; la primera fase fue de búsqueda de artículos relacionados con el tema. La estrategia de búsqueda fue a partir de las palabras clave, descriptores y operadores en la búsqueda de “robot-assisted gait training, stroke”. La segunda fase se llevó a cabo a partir de la lectura de los resúmenes encontrados, en donde se hizo un primer filtro de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión que se mencionan más adelante. La tercera fase fue a partir de la lectura de los artículos seleccionados, para lo cual se hizo una matriz en excel de la información, delimitando las variables de este estudio, la cual fue revisada por la tutora de este trabajo.

10.3 Estrategia de búsqueda

Se encontraron 89 artículos en total en las bases de datos con las palabras “robot-assisted gait training stroke patients”. La gestión de la información se hizo a partir del gestor de referencias bibliográficas zotero y refworks. Una vez clasificada la información, se procedió a la generación de una matriz de datos en excel, en la cual se resumieron y clasificaron las variables de este estudio.

10.3.1 Criterios de inclusión

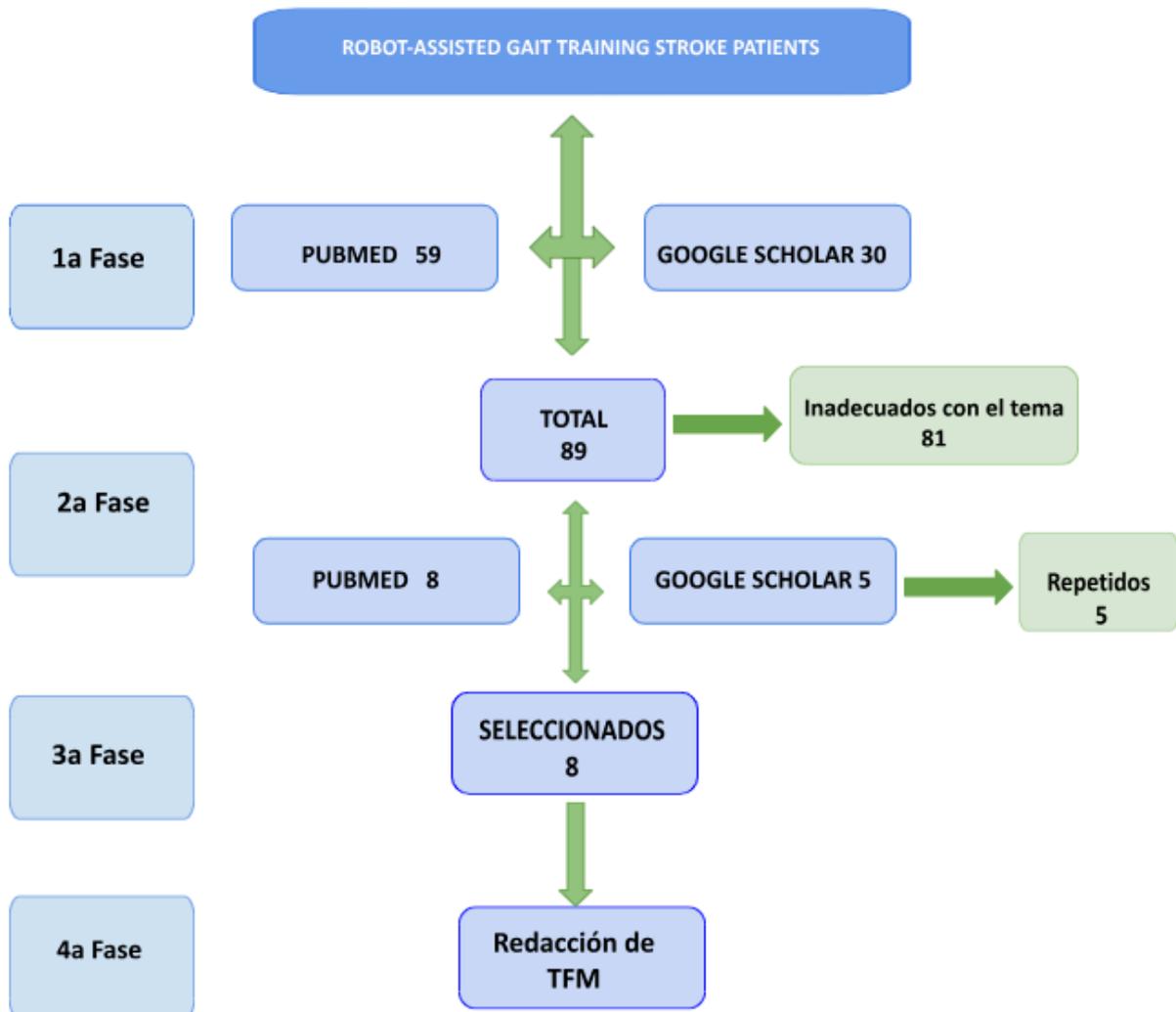
- De acuerdo al análisis bibliométrico. Se incluyeron artículos que describen datos referentes a los autores, año de publicación, revista de publicación y factor de impacto.
- De acuerdo al análisis metodológico. Se incluyeron estudios en los cuales se describirán la metodología, la muestra, el tipo de intervención.
- De acuerdo al tipo de estudio. Se incluyeron estudios de meta-análisis, revisiones sistemáticas, revisiones, ensayos clínicos, ensayos clínicos aleatorizados.
- De acuerdo a su acceso. Solo se consideraron artículos con acceso completo al texto.
- De acuerdo al tipo de intervención. Solo se consideraron el Lokomat como método de intervención.
- De acuerdo al idioma. Se revisaron artículos en inglés.

10.3.2 Criterios de exclusión

- De acuerdo a la fecha de publicación. Se excluyeron artículos anteriores al año 2014.
- De acuerdo a la intervención. Que utilizaran otro tipo de exoesqueleto.
- Se excluyeron los artículos duplicados.
- Se excluyeron los artículos que solo mostraban el resumen.

10.4 Análisis de la información

Se encontraron 89 artículos en total en la base de datos. La gestión de la información se hizo a partir del gestor de referencias bibliográficas zotero y refworks. Una vez clasificada la información, se procedió a la generación de una matriz de datos en excel, en la cual se resumieron y clasificaron las variables de este estudio a partir de tablas de información bibliométrica y metodológica.



Número de artículo	Base de datos	Artículo	Aceptado o descartado
1 - (38)	PUBMED	Bang DH, Shin WS. Effects of robot-assisted gait training on spatiotemporal gait parameters and balance in patients with chronic stroke: A randomized controlled pilot trial. NeuroRehabilitation. 2016 Apr 6;38(4):343–9.	Aceptado
2- (39)	PUBMED	Chang WH, Kim MS, Huh JP, Lee PKW, Kim YH. Effects of robot-assisted gait training on cardiopulmonary fitness in subacute stroke patients: a randomized controlled study. Neurorehabil Neural Repair. 2014 May;26(4):318–24.	Aceptado
3- (40)	PUBMED	Uçar DE, Paker N, Buğdaycı D. Lokomat: a therapeutic chance for patients with chronic hemiplegia. NeuroRehabilitation. 2014;34(3):447–53.	Aceptado
4- (41)	PUBMED	Han EY, Im SH, Kim BR, Seo MJ, Kim MO. Robot-assisted gait training improves brachial-ankle pulse wave velocity and peak aerobic capacity in subacute stroke patients with totally dependent ambulation: Randomized controlled trial. Medicine . 2016 Oct;95(41):e5078.	Aceptado
5- (42)	PUBMED	Mustafaoğlu R, Erhan B, Yeldan İ, Ersöz Hüseyinsinoğlu B, Gündüz B, Razak Özdiñler A. The effects of body weight-supported treadmill training on static and dynamic balance in stroke patients: A pilot, single-blind, randomized trial. Turk J Phys Med Rehabil. 2018 Dec;64(4):344–52.	Aceptado
6- (43)	PUBMED	Park J, Chung Y. The effects of robot-assisted gait training using virtual reality and auditory stimulation on balance and gait abilities in persons with stroke. NeuroRehabilitation. 2018;43(2):227–35.	Aceptado
7- (44)	PUBMED	Van Nunen MPM, Gerrits KHL, Konijnenbelt M, Janssen TWJ, de Haan A. Recovery of walking ability using a robotic device in subacute stroke patients: a randomized controlled study. Disabil Rehabil Assist Technol. 2015 Mar;10(2):141–8.	Aceptado

8- (45)	PUBMED	Yun N, Joo MC, Kim SC, Kim MS. Robot-assisted gait training effectively improved lateropulsion in subacute stroke patients: a single-blinded randomized controlled trial. Eur J Phys Rehabil Med. (2018) 54:827–36. 10.23736/S1973-9087.18.05077-3	Aceptado
---------	--------	---	----------

10.5 Resultados

La estrategia de búsqueda mostró 89 artículos encontrados en las bases de datos. Después de leer los resúmenes, se excluyeron y se identificaron 8 artículos que cumplieran con las variables de búsqueda. Se eliminaron 81 porque fueron inadecuados con el tema, en muchos de los casos mencionando otro tipo de exoesqueleto como tema de estudio, lo cual es un criterio de exclusión para este estudio.

Los 8 artículos mencionan distintas maneras de programar el exoesqueleto. En todos los casos los resultados son positivos respecto al grupo control, hablan de mejoras tanto a nivel de equilibrio como en la marcha.

Las 8 publicaciones proponen establecer un soporte corporal que oscila entre el 30% y el 50% como punto de inicio en la terapia, hasta poder llegar en algunos casos a un 0% de fuerza de soporte (41). Por otro lado, la fuerza de guía, oscila en porcentajes de entre el 100% al 10%, conforme avanza la terapia, aunque en algunos casos esta no se especifica. (38), (40), (42), (44)

La velocidad se especifica en todos los casos menos uno(38), en fases iniciales suele iniciarse a 1 km/h hasta llegar, en algunos casos a los 3km/h.

El número de sesiones establecidas y tiempo de tratamiento por sesión varía según los estudios pero la media establece 20 sesiones con una duración de 45 minutos durante tiempos de entre 2 a 6 semanas. (18,19)

En las 8 publicaciones mencionan como criterio de inclusión que el paciente esté cognitivamente estable, con resultados superiores a 24 en la escala MMSE (mini-mental state examination). Diversos artículos muestran resultados positivos en la aplicación del Lokomat en pacientes en fases agudas que oscilan periodos desde el primer al tercer mes post lesión (39),(41),(42),(44),(43) de la misma manera, que obtenemos también cambios positivos en pacientes en fases más avanzadas de entre los 6 al año de evolución post ictus.(38),(40),(45) En todos estos casos hablamos de personas que no padecen patologías subyacentes y que nunca antes habían sufrido un ictus. Los pacientes en todos los casos padecen hemiplejía y realizan la marcha de manera asimétrica, pueden caminar aunque no sea de manera independiente.

Estudio	Diseño de estudio	Población	Intervención	Comparación	Resultados
(38)	ECA	1. $n = 9$ (4F/5M; edad 53.56 ± 3.94); 2. $n = 9$ (5F/4M; edad 53.67 ± 2.83)	Soporte corporal (40%) Velocidad (0.45m/s) Frecuencia : 5 (1 h/session) 4 semanas	Cinta rodante sin soporte	BBS, ABC y velocidad del paso.
(39)	ECA	1. $n = 20$ (7F/13M; edad 55.5 ± 12.0); 2. $n = 17$ (7F/10M; edad 59.7 ± 12.1)	Soporte corporal (40% - 0%), Fuerza de guía (100% - 10%) Velocidad (1.2 - 2.6km/h); Frecuencia 10(40 min/sesión/sem) 2 semanas	TTO convencional, método Bobath	FMA-LE; FAC; MI-L
(40)	ECA	1. $n = 11$ (0F/11M; edad 56.2); 2. $n = 11$ (0F/11M; edad 61.5)	Soporte corporal (50%) Velocidad 1.5 km/h; Frecuencia 5 (30 min/sesión/semana) 2 semanas	Tratamiento convencional	TUG, 10mWS Mejora en velocidad
(41)	ECA	1. $n = 30$ (13F/17M; edad 67.89 ± 14.96); 2. $n = 26$ (11F/15M; edad 63.2 ± 10.62)	Soporte corporal (50% - 0%) Fuerza de guía (100% - 40%) Velocidad (1.2 - 2.6km/h); Frecuencia: 5 (30 min/sesión/semana) 4 semanas	Tratamiento convencional	FMA-LE; BBS; FAC
(42)	ECA	1. $n = 15$ (4F/11M; edad 53.7 ± 11.6); 2. $n = 15$ (4F/11M; mean age 52.6 ± 14.7)	Soporte corporal (40%) Velocidad (1.2~2.6 km/h) Frecuencia: 2/semana for 4 semanas	Tratamiento convencional, incidiendo en control de tronco	BBS; TUG; RMI

				y traspaso de cargas	
(43)	ECA	1. $n = 12$ (5F/7M; edad 55.58 ± 10.42); 2. $n = 16$ (7F/9M; edad 57.50 ± 9.90)	Soporte corporal (30%) Fuerza de guía (100%) Velocidad (1.5~2.0 km/h) Frecuencia : 3 (45 min/sesión/semana) 6 semanas	Tratamiento convencional junto a cinta rodante	BBS; TUG; BI; BI;FMA
(44)	ECA	1. $n = 16$ (6F/10M; edad 50.0 ± 9.6); 2. $n = 14$ (8F/5M; edad 56.0 ± 8.7)	Soporte corporal (35%) Velocidad (2.5km/h) Frecuencia 3 (30 min/sesión/semana) 4 semanas	Tratamiento convencional de fisioterapia	FMA-LE; BBS; Gait Speed
(45)	ECA	1. $n = 8$ (2F/6M; edad 58.6 ± 16.9); 2. $n = 8$ (1F/7M; edad 55.1 ± 13.6)	Soporte corporal (50%) Fuerza de guía (100%) Velocidad (1.1 km/h) Frecuencia: 5 (30 min/session/semana) 3 semanas	Tratamiento convencional de fisioterapia	FMA-LE; FMA; BBS;

BBS, Berg Balance Scale; ABC, activities-specific balance confidence; TUG, Timed Up and Go; FAC, functional ambulation category scale; MI-L, leg score of Motricity Index; FMA-LE, Fugl-Meyer Assessment lower-extremity subscale; BI, Barthel Index, RMI, Rivermead Mobility Index; FMA, Fugl-Meyer Assessment.

11. Conclusión

La incorporación de exoesqueletos en la fisioterapia es un avance significativo en el tratamiento de pacientes con discapacidades motoras, especialmente aquellos que han sufrido un ictus. Estos dispositivos facilitan la realización de movimientos repetitivos, proporcionando retroalimentación sensorial y promoviendo la neuroplasticidad, componente fundamental en la rehabilitación del paciente post ictus.

Según diversos estudios, el Lokomat ha resultado ser un exoesqueleto útil en la reeducación de la marcha, siempre que el paciente mantenga las capacidades cognitivas que le permitan entender y ejecutar la acción que se plantea.

Entre los beneficios del Lokomat en la neurorehabilitación se incluye mejoras en la capacidad de realizar una marcha autónoma y más simétrica a la de la valoración inicial, mejora en el equilibrio tanto estático, como dinámico, un aumento de la fuerza muscular de la musculatura implicada en la marcha e incremento en la velocidad de la misma. Todos estos resultados positivos tienen un alto impacto en la mejora de la calidad de vida del individuo.

El éxito de la aplicación de esta terapia se atribuye a la capacidad que tiene el cerebro de reorganizarse, en respuesta a los estímulos repetitivos a los que se somete (movimientos que simulan una marcha fisiológica). La retroalimentación sensoriomotora, por lo tanto, es fundamental y se da tanto en pacientes que se encuentran en fases agudas, como en fases crónicas. Por lo que se demuestra que el cerebro no pierde su capacidad plástica, permitiendo la reorganización de las redes neuronales y la mejora motora funcional.

Es importante destacar que este tipo de dispositivos no es del todo accesible, pues no todos los pacientes ni centros podrán asumir su alto coste.

De cara al futuro, con el fin de aumentar la accesibilidad a esta tecnología, es crucial el desarrollo de versiones más económicas, tanto para el beneficio del paciente, como para poder realizar mayor cantidad de estudios sobre su aplicación.

12. Bibliografía

1. [No title] [Internet]. [cited 2024 May 8]. Available from: https://www.sen.es/images/2020/atlas/Atlas_del_Ictus_de_Espana_version_web.pdf
2. Guzik A, Bushnell C. Stroke Epidemiology and Risk Factor Management. *Continuum*. 2017 Feb;23(1, Cerebrovascular Disease):15–39.
3. Boursin P, Paternotte S, Dercy B, Sabben C, Maïer B. [Semantics, epidemiology and semiology of stroke]. *Soins*. 2018 Sep;63(828):24–7.
4. Pérez-de la Cruz S. Comparison between Three Therapeutic Options for the Treatment of Balance and Gait in Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2021 Jan 7;18(2). Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph18020426>
5. Sylos-Labini F, Zago M, Guertin PA, Lacquaniti F, Ivanenko YP. Muscle Coordination and Locomotion in Humans. *Curr Pharm Des*. 2017;23(12):1821–33.
6. Patterson KK, Parafianowicz I, Danells CJ, Closson V, Verrier MC, Staines WR, et al. Gait asymmetry in community-ambulating stroke survivors. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008 Feb;89(2):304–10.
7. Sáinz-Pelayo MP, Albu S, Murillo N, Benito-Penalva J. [Spasticity in neurological pathologies. An update on the pathophysiological mechanisms, advances in diagnosis and treatment]. *Rev Neurol*. 2020 Jun 16;70(12):453–60.
8. Kim KH, Jang SH. Effects of Task-Specific Training after Cognitive Sensorimotor Exercise on Proprioception, Spasticity, and Gait Speed in Stroke Patients: A Randomized Controlled Study. *Medicina* [Internet]. 2021 Oct 13;57(10). Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/medicina57101098>
9. Thibaut A, Chatelle C, Ziegler E, Bruno MA, Laureys S, Gosseries O. Spasticity after stroke: physiology, assessment and treatment. *Brain Inj*. 2013 Jul 25;27(10):1093–105.
10. Cleland BT, Schindler-Ivens S. Symmetry Is Associated With Interlimb Coordination During Walking and Pedaling After Stroke. *J Neurol Phys Ther*. 2022 Apr 1;46(2):81–7.
11. Irenea [Internet]. 2017 [cited 2024 May 14]. Patrón de marcha hemipléjica. Available from: <https://irenea.es/blog-dano-cerebral/patron-marcha-hemiplejica/>
12. Patrón de marcha hemipléjica - Coggle Diagram [Internet]. [cited 2024 May 14]. Available from: <https://coggle.it/diagram/YQqxxHm1rhTsgqXc/t/patr%C3%B3n-de-marcha-hemipl%C3%A9jica>
13. Lo K, Stephenson M, Lockwood C. Effectiveness of robotic assisted rehabilitation for mobility and functional ability in adult stroke patients: a systematic review. *JBI Database System Rev Implement Rep*. 2017 Dec;15(12):3049–91.
14. Belda-Lois JM, Mena-del Horno S, Bermejo-Bosch I, Moreno JC, Pons JL, Farina D, et al. Rehabilitation of gait after stroke: a review towards a top-down approach. *J Neuroeng Rehabil*. 2011 Dec 13;8:66.
15. Geerars M, Minnaar-van der Feen N, Huisstede BMA. Treatment of knee hyperextension in post-stroke gait. A systematic review. *Gait Posture*. 2022 Jan;91:137–48.

16. Silva S, Borges LR, Santiago L, Lucena L, Lindquist AR, Ribeiro T. Motor imagery for gait rehabilitation after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2020 Sep 24;9(9):CD013019.
17. Norman SL, Wolpaw JR, Reinkensmeyer DJ. Targeting neuroplasticity to improve motor recovery after stroke: an artificial neural network model. *Brain Commun*. 2022 Oct 21;4(6):fcac264.
18. Singh N, Saini M, Kumar N, Srivastava MVP, Mehndiratta A. Evidence of neuroplasticity with robotic hand exoskeleton for post-stroke rehabilitation: a randomized controlled trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2021 May 6;18(1):76.
19. Calabrò RS, Naro A, Russo M, Bramanti P, Carioti L, Balletta T, et al. Shaping neuroplasticity by using powered exoskeletons in patients with stroke: a randomized clinical trial. *J Neuroeng Rehabil*. 2018 Apr 25;15(1):35.
20. Machado S, Cunha M, Velasques B, Minc D, Teixeira S, Domingues CA, et al. Sensorimotor integration: basic concepts, abnormalities related to movement disorders and sensorimotor training-induced cortical reorganization. *Rev Neurol*. 2010 Oct 1;51(7):427–36.
21. Zhao D, Zhang Z, Lu H, Cheng S, Si B, Feng X. Learning Cognitive Map Representations for Navigation by Sensory-Motor Integration. *IEEE Trans Cybern*. 2022 Jan;52(1):508–21.
22. David Redish A. *Beyond the Cognitive Map: From Place Cells to Episodic Memory*. MIT Press; 1999. 452 p.
23. Website [Internet]. Available from: @article{Machado2010IntegracinSC, title={Integraci{‘o}n sensitivomotora: conceptos b{‘a}sicos, anomal{i}as relacionadas con trastornos del movimiento y reorganizaci{‘o}n cortical inducida por el entrenamiento sensitivomotor}, author={Sergio Machado and Marlo Cunha and Bruna Velasques and Daniel Minc and Silmar Teixeira and Clayton Amaral Domingues and Julio Guilherme Silva and V{‘i}ctor Hugo Bastos and Henning Budde and Mauricio Cagy and Luis F. H. Basile and Roberto Airton Marques Piedade and Pedro Ribeiro}, journal={Revista De Neurologia}, year={2010}, volume={51}, pages={427-436}, url={https://api.semanticscholar.org/CorpusID:68733202} }
24. Chaparro-Cárdenas SL, Lozano-Guzmán AA, Ramirez-Bautista JA, Hernández-Zavala A. A review in gait rehabilitation devices and applied control techniques. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2018 Nov;13(8):819–34.
25. Zhang H, Li X, Gong Y, Wu J, Chen J, Chen W, et al. Three-Dimensional Gait Analysis and sEMG Measures for Robotic-Assisted Gait Training in Subacute Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Biomed Res Int*. 2023 Apr 11;2023:7563802.
26. Calabrò RS, Sorrentino G, Cassio A, Mazzoli D, Andrenelli E, Bizzarini E, et al. Robotic-assisted gait rehabilitation following stroke: a systematic review of current guidelines and practical clinical recommendations. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2021 Jun;57(3):460–71.
27. Artoni F, Cometa A, Dalise S, Azzollini V, Micera S, Chisari C. Cortico-muscular connectivity is modulated by passive and active Lokomat-assisted Gait. *Sci Rep*. 2023 Dec 7;13(1):21618.
28. Moucheboeuf G, Griffier R, Gasq D, Glize B, Bouyer L, Dehail P, et al. Effects of robotic gait training after stroke: A meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med*. 2020 Nov;63(6):518–34.
29. Baronchelli F, Zucchella C, Serrao M, Intiso D, Bartolo M. The Effect of Robotic Assisted Gait Training With Lokomat® on Balance Control After Stroke: Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Neurol*. 2021 Jul 6;12:661815.

30. Wu L, Xu G, Wu Q. The effect of the Lokomat robotic-orthosis system on lower extremity rehabilitation in patients with stroke: a systematic review and meta-analysis. *Front Neurol*. 2023 Dec 6;14:1260652.
31. Neves MVM, Furlan L, Fregni F, Battistella LR, Simis M. Robotic-Assisted Gait Training (RAGT) in Stroke Rehabilitation: A Pilot Study. *Arch Rehabil Res Clin Transl*. 2023 Mar;5(1):100255.
32. Swinnen E, Beckwée D, Meeusen R, Baeyens JP, Kerckhofs E. Does robot-assisted gait rehabilitation improve balance in stroke patients? A systematic review. *Top Stroke Rehabil*. 2014 Mar-Apr;21(2):87–100.
33. Longatelli V, Pedrocchi A, Guanziroli E, Molteni F, Gandolla M. Robotic Exoskeleton Gait Training in Stroke: An Electromyography-Based Evaluation. *Front Neurobot*. 2021 Nov 26;15:733738.
34. Minkes-Weiland S, Reinders-Messelink HA, Boonstra AM, van der Woude LH, den Otter R. Effects of asymmetrical support on lower limb muscle activity during Lokomat guided gait in persons with a chronic stroke: an explorative study. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2022 Oct;58(5):693–700.
35. van Kammen K, Boonstra AM, van der Woude LHV, Reinders-Messelink HA, den Otter R. Differences in muscle activity and temporal step parameters between Lokomat guided walking and treadmill walking in post-stroke hemiparetic patients and healthy walkers. *J Neuroeng Rehabil*. 2017 Apr 20;14(1):32.
36. Cherni Y, Blache Y, Begon M, Ballaz L, Dal Maso F. Effect of Robotic-Assisted Gait at Different Levels of Guidance and Body Weight Support on Lower Limb Joint Kinematics and Coordination. *Sensors [Internet]*. 2023 Oct 29;23(21). Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/s23218800>
37. Louie DR, Eng JJ. Powered robotic exoskeletons in post-stroke rehabilitation of gait: a scoping review. *J Neuroeng Rehabil*. 2016 Jun 8;13(1):53.
38. Bang DH, Shin WS. Effects of robot-assisted gait training on spatiotemporal gait parameters and balance in patients with chronic stroke: A randomized controlled pilot trial. *NeuroRehabilitation*. 2016 Apr 6;38(4):343–9.
39. Chang WH, Kim MS, Huh JP, Lee PKW, Kim YH. Effects of robot-assisted gait training on cardiopulmonary fitness in subacute stroke patients: a randomized controlled study. *Neurorehabil Neural Repair*. 2012 May;26(4):318–24.
40. Uçar DE, Paker N, Buğdaycı D. Lokomat: a therapeutic chance for patients with chronic hemiplegia. *NeuroRehabilitation*. 2014;34(3):447–53.
41. Han EY, Im SH, Kim BR, Seo MJ, Kim MO. Robot-assisted gait training improves brachial-ankle pulse wave velocity and peak aerobic capacity in subacute stroke patients with totally dependent ambulation: Randomized controlled trial. *Medicine*. 2016 Oct;95(41):e5078.
42. Mustafaoğlu R, Erhan B, Yeldan İ, Ersöz Hüseyinsinoğlu B, Gündüz B, Razak Özdiñçler A. The effects of body weight-supported treadmill training on static and dynamic balance in stroke patients: A pilot, single-blind, randomized trial. *Turk J Phys Med Rehabil*. 2018 Dec;64(4):344–52.
43. Park J, Chung Y. The effects of robot-assisted gait training using virtual reality and auditory stimulation on balance and gait abilities in persons with stroke. *NeuroRehabilitation*. 2018;43(2):227–35.

44. van Nunen MPM, Gerrits KHL, Konijnenbelt M, Janssen TWJ, de Haan A. Recovery of walking ability using a robotic device in subacute stroke patients: a randomized controlled study. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2015 Mar;10(2):141–8.
45. Yun N, Joo MC, Kim SC, Kim MS. Robot-assisted gait training effectively improved lateropulsion in subacute stroke patients: a single-blinded randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med*. (2018) 54:827–36. 10.23736/S1973-9087.18.05077-3
46. Hyun SJ, Lee J, Lee BH. The Effects of Sit-to-Stand Training Combined with Real-Time Visual Feedback on Strength, Balance, Gait Ability, and Quality of Life in Patients with Stroke: A Randomized Controlled Trial. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2021 Nov 21;18(22). Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph182212229>
47. de Rooij IJM, van de Port IGL, Visser-Meily JMA, Meijer JWG. Virtual reality gait training versus non-virtual reality gait training for improving participation in subacute stroke survivors: study protocol of the ViRTAS randomized controlled trial. *Trials*. 2019 Jan 29;20(1):89.
48. Veldema J, Gharabaghi A. Non-invasive brain stimulation for improving gait, balance, and lower limbs motor function in stroke. *J Neuroeng Rehabil*. 2022 Aug 3;19(1):84.
49. Wist S, Clivaz J, Sattelmayer M. Muscle strengthening for hemiparesis after stroke: A meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med*. 2016 Apr;59(2):114–24.
50. Khalid S, Malik AN, Siddiqi FA, Rathore FA. Overview of gait rehabilitation in stroke. *J Pak Med Assoc*. 2023 May;73(5):1142–5.
51. Selves C, Stoquart G, Lejeune T. Gait rehabilitation after stroke: review of the evidence of predictors, clinical outcomes and timing for interventions. *Acta Neurol Belg*. 2020 Aug;120(4):783–90.
52. van de Port IGL, Wevers LEG, Lindeman E, Kwakkel G. Effects of circuit training as alternative to usual physiotherapy after stroke: randomised controlled trial. *BMJ*. 2012 May 10;344:e2672.
53. Infarinato F, Romano P, Goffredo M, Ottaviani M, Galafate D, Gison A, et al. Functional Gait Recovery after a Combination of Conventional Therapy and Overground Robot-Assisted Gait Training Is Not Associated with Significant Changes in Muscle Activation Pattern: An EMG Preliminary Study on Subjects Subacute Post Stroke. *Brain Sci* [Internet]. 2021 Apr 1;11(4). Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/brainsci11040448>
54. Schröder J, Truijien S, Van Criekinge T, Saeys W. Feasibility and effectiveness of repetitive gait training early after stroke: A systematic review and meta-analysis. *J Rehabil Med*. 2019 Feb 1;51(2):78–88.
55. Lim C. Multi-Sensorimotor Training Improves Proprioception and Balance in Subacute Stroke Patients: A Randomized Controlled Pilot Trial. *Front Neurol*. 2019 Mar 1;10:157.
56. Ko H, Kim H, Kim Y, Sohn MK, Jee S. Dose-Response Effect of Daily Rehabilitation Time on Functional Gain in Stroke Patients. *Ann Rehabil Med*. 2020 Apr;44(2):101–8.
57. Dantas MTAP, Fernani DCGL, Silva TD da, Assis ISA de, Carvalho AC de, Silva SB, et al. Gait Training with Functional Electrical Stimulation Improves Mobility in People Post-Stroke. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2023 May 5;20(9). Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph20095728>

58. Saunders DH, Sanderson M, Hayes S, Johnson L, Kramer S, Carter DD, et al. Physical fitness training for stroke patients. *Cochrane Database Syst Rev.* 2020 Mar 20;3(3):CD003316.
59. Yang YR, Mi PL, Huang SF, Chiu SL, Liu YC, Wang RY. Effects of neuromuscular electrical stimulation on gait performance in chronic stroke with inadequate ankle control - A randomized controlled trial. *PLoS One.* 2018 Dec 10;13(12):e0208609.
60. Rose DK, Nadeau SE, Wu SS, Tilson JK, Dobkin BH, Pei Q, et al. Locomotor Training and Strength and Balance Exercises for Walking Recovery After Stroke: Response to Number of Training Sessions. *Phys Ther.* 2017 Nov 1;97(11):1066–74.