

# De Astronautas a Sobreviventes de AVE: como o Método Therasuit® pode impulsionar o equilíbrio e a recuperação.

## OPEN ACCESS

### EDITED BY

Elena S. Tomilovskaya,  
Russian Academy of Sciences (RAS), Russia

### REVIEWED BY

Satoshi Iwase, Aichi Medical University,  
Japan

\*CORRESPONDENCE

Rose Lampert

✉ [roselampert@mac.com](mailto:roselampert@mac.com)

RECEIVED 28 February 2025

ACCEPTED 25 June 2025

PUBLISHED 13 August 2025

### CITATION

Lampert R, Goel R, Oblanca JV and Martins DF (2025) From astronauts to stroke survivors: how the TheraSuit Method® can boost balance and recovery. *Front. Neurol.* 16:1581256. doi: 10.3389/fneur.2025.1581256

### COPYRIGHT

© 2025 Lampert, Goel, Oblanca and Martins. This is an open-access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) and the copyright owner(s) are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Rose Lampert<sup>1,2\*</sup>, Rahul Goel<sup>3</sup>, João V. Oblanca<sup>4</sup> and Daniel F. Martins<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratório de Neurociência Experimental (LaNEX), Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul), Palhoça, Brasil;

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul), Palhoça, Brasil;

<sup>3</sup> Pesquisador Biomédico Independente, Houston, TX, Estados Unidos;

<sup>4</sup> Departamento de Educação Física, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Brasil.

O corpo humano apresenta uma notável capacidade de adaptação a diferentes ambientes. Astronautas em microgravidade experimentam alterações fisiológicas semelhantes às observadas em pacientes pós-AVE devido à inatividade. Esse desafio compartilhado inspira a exploração de métodos de reabilitação, estabelecendo uma ponte entre a medicina espacial e a fisioterapia. Esta perspectiva examina as semelhanças fisiológicas entre a microgravidade e o AVE, com foco nos déficits proprioceptivos. Em seguida, introduzimos o traje de carga axial utilizado por astronautas para contrabalançar esses déficits e seu potencial de aplicação na reabilitação de pacientes pós-AVE. Propomos o Método TheraSuit®, um traje que utiliza princípios semelhantes, como uma ferramenta promissora para aprimorar a propriocepção de corpo inteiro e facilitar a ativação muscular contra a gravidade, promovendo, assim, força e recuperação funcional em pacientes pós-AVE.

### KEYWORDS

stroke, proprioception, rehabilitation, microgravity, bed rest, TheraSuit Method®, axial-loading suit

## Introduction

Uma das principais funções do cérebro é receber estímulos sensoriais do ambiente e produzir uma resposta motora adequada, ou seja, o movimento corporal. O cérebro depende do fluxo sanguíneo livre para fornecer oxigênio às diferentes áreas e funcionar corretamente. Uma interrupção vascular, como o acidente vascular encefálico (AVE), pode comprometer partes do cérebro que, sem oxigênio, sofrem danos e perdem funções importantes (1). Todos os anos, estima-se que quase 800.000 pessoas sejam afetadas por um AVE nos Estados Unidos (2), ou seja, aproximadamente um a cada 40 segundos.

Os acidentes vasculares cerebrais interrompem a comunicação entre os neurônios (3) e podem se manifestar com uma ampla gama de sintomas, variando desde alterações cognitivas, parestesia, atrofia muscular, ausência de movimento, distúrbios vestibulares e dificuldade para ficar em pé e manter o equilíbrio. Isso reduz a independência e a funcionalidade gerais e deteriora a qualidade de vida (4, 5).

A reabilitação é uma intervenção necessária no período pós-AVE para melhorar a força, o equilíbrio e a marcha, além de diminuir o sedentarismo que pode ocorrer após a hospitalização (4, 6). Diferentes estratégias de reabilitação têm sido aplicadas para facilitar a recuperação, como mobilização, exercícios resistidos, estimulação elétrica neuromuscular, transferências do leito para a posição sentada em cadeira e deambulação sempre que possível (7–9). Entretanto, não há consenso sobre estratégias reabilitativas universalmente estabelecidas, incluindo frequência e duração (10). Nas primeiras semanas após o AVE, uma intervenção intensiva (ou seja, realizada diariamente por pelo menos uma hora) pode ser aplicada para preservar mapas motores e aproveitar a neuroplasticidade aumentada (10), o que poderia aumentar as respostas sensoriais e estimular o engajamento motor (11). A manutenção da força pode ajudar a preservar a massa muscular, contribuindo adicionalmente para acelerar a recuperação (12).

O AVE afeta a propriocepção que se traduz em um sistema sensorial alterado (13). A propriocepção faz parte do sistema sensorial necessário para a ativação pré-motora. Ela é codependente da contração muscular para enviar sinais aos receptores nas articulações, órgãos tendinosos de Golgi e fusos musculares, a fim de ativar respostas somáticas que ajustam o tônus muscular (13). Uma consequência comum da propriocepção prejudicada após um AVE é a negligência do lado afetado do corpo. Essa negligência pode se manifestar de várias formas, sendo uma delas o impacto nas atividades de sustentação de peso. Os indivíduos podem, de maneira não intencional, favorecer o lado não afetado, levando a uma distribuição desigual do peso durante atividades como ficar em pé ou caminhar. Essa sustentação assimétrica afeta o membro comprometido e pode contribuir para dificuldades em manter o equilíbrio e a estabilidade (4, 13). Embora Apriliyasari et al. (14) apresentem uma excelente revisão recente sobre o efeito do treinamento propioceptivo na reabilitação pós-AVE, é evidente que a maioria das intervenções discutidas não tem como alvo a melhora da propriocepção de segmentos corporais como um todo (13). Pacientes pós-AVE podem se beneficiar de uma simulação de sobrecarga axial que possa ser experimentada pelo sistema sensorio-motor (6). Uma sobrecarga axial semelhante também é utilizada com sucesso por astronautas que vivenciam alterações neuro musculoesqueléticas semelhantes no espaço, comparáveis às que ocorrem após um AVE.

## Similaridades nas alterações fisiológicas decorrentes de um AVE e da exposição à microgravidade

O corpo humano, em condições de microgravidade no espaço, adapta-se a um ambiente fisiologicamente menos exigente. Como resultado, astronautas frequentemente apresentam falta de força, resistência e capacidade cardiovascular necessárias para enfrentar as demandas da gravidade terrestre imediatamente após o retorno de uma missão espacial (13, 15). Os astronautas retornam com diversas adaptações fisiológicas, como atrofia muscular, distúrbios da marcha, função propioceptiva alterada, distúrbios vestibulares, descondição cardiovascular, deslocamento de fluidos para a parte superior do corpo, perda de densidade óssea e visão reduzida (15–21). Essas adaptações são observadas com maior frequência em missões espaciais de longa duração, que se estendem por semanas ou meses (6, 22–24).

Essas mudanças podem se assemelhar às adaptações fisiológicas observadas em pacientes que permaneceram em repouso prolongado no leito após um AVE (4, 6). De fato, pesquisadores utilizam o repouso no leito como um dos análogos de voo espacial para forçar a inatividade de diferentes partes do corpo humano, testar várias medidas compensatórias e compreender as adaptações fisiológicas em nível fundamental (24). A incapacidade de mover-se de forma independente e segura leva rapidamente à atrofia muscular, perda de força e descondição cardiovascular em pacientes pós-AVE (25). O lado afetado após o AVE também pode apresentar redução da densidade óssea e comprometimento da integridade óssea (4). Alterações nos sistemas sensorio-motor e vestibular podem dificultar a manutenção da posição ortostática (26). Há ainda migração de fluidos dos membros inferiores para o tórax e a cabeça, o que aumenta a pressão intracraniana, podendo causar tontura, perda de equilíbrio e visão reduzida, deixando o paciente mais propenso a quedas (26).

Essas semelhanças entre astronautas e pacientes pós-AVE, que vivenciam um período de mobilidade reduzida e/ou repouso prolongado no leito, têm despertado o interesse da comunidade médica em buscar alternativas e técnicas eficazes de reabilitação (24). Pesquisas derivadas de missões espaciais avançaram significativamente nossa compreensão sobre programas de reabilitação voltados a contrabalançar os efeitos fisiológicos prejudiciais da redução da ativação gravitacional (6, 18, 27). Os astronautas passam por programa intensivos de reabilitação para acelerar a recuperação (15) e, enquanto estão no espaço, utilizam diversos regimes de exercícios e contramedidas especializadas — como trajes corporais — para atenuar os efeitos debilitantes da microgravidade em seu corpo.

## Trajes de contramedida para astronautas

Para mitigar os déficits somatossensoriais e musculoesqueléticos prejudiciais, o traje “Pinguin” (às vezes chamado de “Penguin”) foi desenvolvido por cientistas soviéticos para uso dos cosmonautas durante o voo espacial (28). O traje apresentava um sistema intrincado de faixas elásticas ancoradas na cintura, gerando tensão vertical entre os ombros e a cintura e tensão horizontal entre a cintura e os pés. Essa carga axial desafiava os músculos e a estabilidade do core do cosmonauta. Embora o traje tenha sido usado rotineiramente durante os voos espaciais soviéticos nas décadas de 1970 e 1980, ele era suscetível a superaquecimento e desconforto, sendo posteriormente substituído por variantes mais modernas, como o traje Penguin-3 (29).

A NASA tem financiado o desenvolvimento de trajes de contramedida em voo por muitos anos; por exemplo, o Gravity Loading Countermeasure Suit (ou MIT Skinsuit) (30, 31) é um conceito de traje de carga axial passivo, mas até agora, apenas alguns dados pilotos de voos parabólicos sobre sua eficácia ou de um pequeno número de missões espaciais, onde foi usado mais como demonstração tecnológica, estão disponíveis. De forma semelhante, um Torso Compression Harness para prevenir a descondição da coluna (32) e um Variable Vector Countermeasure Suit (ou traje V2) (33) para fornecer “resistência viscosa” contra uma direção “para baixo” selecionada durante os movimentos foram propostos e, em certa medida, apoiados pela NASA quanto à viabilidade inicial. No entanto, ainda não foram publicados dados quantitativos de testes experimentais, especialmente em microgravidade. Um estudo financiado pela ESA propôs, em 2012, o conceito do “Dynasuit” (34) como um traje ativo e inteligente com biosensores e atuadores em um loop de biofeedback, incluindo resistência ao movimento e estimulação das solas dos pés. Contudo, até o momento, essa ideia ainda não foi concretizada publicamente.

## O Método TheraSuit®

### Histórico do Método TheraSuit®

Inspirado pelo sucesso inicial dos trajes de carga axial, como o traje Pinguin durante voos espaciais, e reconhecendo que crianças com condições como Paralisia Cerebral (PC) apresentam dificuldades de movimento semelhantes às dos astronautas, o Instituto Pediátrico da Academia Russa de Ciências desenvolveu e modificou o traje Pinguin em outra versão, o traje Adeli (primeiramente, Adeli-92, e aprimorada Adeli-94). Esses trajes modificados foram utilizados para tratar crianças com PC e outros distúrbios neuromusculares.

Em 2000, um casal de fisioterapeutas poloneses treinados, Richard e Izabela Koscielny, cuja filha tem Paralisia Cerebral, explorou diversas estratégias de reabilitação para ela. Eles desenvolveram uma variante do traje russo Adeli, conhecida como vestimenta TheraSuit®, juntamente com o uso da Unidade de Exercícios Universal (Universal Exercise Unit – UEU) e um programa de treinamento de ganho de força intensivo. Esta marcou a primeira implementação de programa desse tipo nos Estados Unidos, e eles receberam uma patente por sua invenção sob o nome “TheraSuit”. A roupa TheraSuit® é feita de uma órtese dinâmica macia, capaz de fornecer um input sensorial significativo de propriocepção para aumentar o movimento funcional em sinergia (35). O desenvolvimento da roupa TheraSuit® visa a facilitação do movimento funcional em todos os planos: sagital, frontal e transversal. O Método TheraSuit® (que combina a roupa, o UEU e o programa intensivo) pode ser adaptado às necessidades individuais de cada paciente com distúrbio neurológico. Ele é baseado em princípios de treinamento para ganho de força, respeitando a resposta fisiológica máxima de cada paciente. Planos de tratamento podem ser elaborados dependendo do tipo de produção energética, fibras musculares e nível funcional do paciente. Embora existam outros trajes no mercado dos EUA, como o Pediasuit, o Adeli suit e o Neurosuit, até onde sabemos, o TheraSuit® é o único método certificado pela FDA nos Estados Unidos. Ele tem sido usado ativamente em várias clínicas ao redor do mundo, principalmente como parte de programas de reabilitação para crianças com paralisia cerebral (PC). Embora alguns ensaios clínicos tenham sido realizados com a população pediátrica com PC, mostrando sucesso no aumento de habilidades motoras grossas, qualidade da marcha e alinhamento corporal (36, 37), o Método TheraSuit® ainda não foi aplicado em populações adultas, particularmente no contexto da reabilitação pós-AVE; entretanto, seus princípios têm potencial para melhorar os resultados da reabilitação pós-AVE.

### Pilares do Método TheraSuit®

O Método TheraSuit® possui diversos pilares que definem seus princípios. Esta técnica não se limita apenas ao uso da roupa TheraSuit®; ela é baseada em terapias intensivas que utilizam princípios de treinamento de força e exercícios específicos por tarefa, envolvendo movimentos repetitivos e trabalho contra a gravidade com o uso do UEU.

#### Preparação

A preparação do corpo inclui bolsas de calor e massagens, utilizando mobilização neurológica, tração, compressões e vibração. Isso ajuda a desenvolver a consciência corporal enquanto estimula os receptores sensoriais na pele, músculos e articulações (38).

#### Calor

O calor promove vasodilatação, ajuda a eliminar ácido lático e aumenta a oxigenação muscular (39). Também relaxa os músculos e pontos-gatilho e diminui o tônus muscular (40).

#### Massagem

A massagem aumenta a circulação e melhora a oxigenação, promovendo relaxamento muscular (40). A fricção da massagem estimula os receptores sensoriais, relaxa músculos doloridos e incrementa o fluxo sanguíneo (40). A massagem também auxilia na quebra de tecido conjuntivo e promove liberação miofascial.

### Mobilização

Compressões articulares, tração e mobilização podem ser realizadas para preparar o membro para exercícios resistidos no sistema de polias. As mobilizações podem encurtar e alongar músculos, expondo nervos à tensão e alongamento, aumentando a amplitude de movimento para facilitar os exercícios. Mobilização dos membros aumento da amplitude de movimentos, melhora a flexibilidade e função neuromuscular (38).

### Unidade Universal de Exercícios

A Unidade Universal de Exercícios (UEU), ou “Gaiola”, é um equipamento pesado feito de metal, com uma parede em grade aberta na frente. Possui formato cúbico ou em caixa, medindo dois metros de largura por dois metros de fundo por dois metros de altura. Este equipamento utiliza um sistema de cabos, polias, pesos, faixas desuspensão e elásticos. Pode ser usado de várias formas, como polias para exercícios resistidos ou o sistema “aranha” para suspensão corporal.

### Sistema de Polias

As polias permitem que os membros sejam suspensos em eliminação da gravidade, facilitando o movimento e auxiliando em padrões de movimento complexos. Este equipamento utiliza pesos para criar resistência ou facilitar o movimento, com o objetivo de que o movimento seja realizado ativamente. Enquanto se trabalha no sistema de polias, sacos de areia são preparados especialmente para atuar como um conjunto extra de mãos; eles ajudam a segurar um membro ou alinhar o corpo. A UEU permite a isolamento de grupos musculares e foca em movimentos específicos. O treinamento de força promove aumento da função, melhorando a qualidade da marcha, o equilíbrio e a coordenação.



FIGURA 1  
Exemplo do uso do sistema de polias..

## Suspensão “Aranha”

O sistema “aranha” permite que o paciente seja suspenso por um cinto conectado a quatro ou mais elásticos presos à gaiola, eliminando a gravidade e facilitando a posição em pé (41, 42). Os elásticos também podem ser fixados em posições mais baixas na gaiola, adicionando peso e resistência ao momento de permanecer em pé. O sistema “aranha” suporta de forma segura transferência de peso corporal, saltos, ajoelamento, meio ajoelamento e postura em pé. A gaiola “aranha” é uma ferramenta eficaz para auxiliar pacientes que apresentam dificuldades de equilíbrio e força. A Figura 2 mostra um exemplo de exercícios no sistema “aranha” da UEU.

## A Veste TheraSuit®

A veste TheraSuit® é uma órtese dinâmica e macia, composta por touca, colete, shorts, joelheiras e calçados, com elásticos que se prendem a ganchos estrategicamente posicionados no corpo para inibir ou facilitar movimentos (42). Esses elásticos fornecem suporte por meio de facilitação, resistência, inibição, correção postural e alinhamento corporal. Também oferecem feedback dinâmico e estímulo profundo de propriocepção aos músculos, articulações e sistema nervoso (36, 37). A roupa TheraSuit® estabiliza o tronco e corrige a postura, facilitando tarefas específicas de força e funcionais (35, 36).

A roupa utilizada, juntamente com a intervenção intensiva de exercícios resistidos, constitui o Método TheraSuit® (41). É importante enfatizar que o Método TheraSuit® é composto por pilares que incluem diversos componentes para promover ganhos de força e funcionais. Esses pilares englobam a preparação do corpo com massagem, calor, vibração e mobilização. Em seguida, realizam-se exercícios resistidos no sistema de polias, facilitando a ativação contra a gravidade. A ação seguinte consiste em ajustar a roupa TheraSuit® para trabalhar em Função motora no solo, treino de marcha e outras tarefas. O tratamento é concluído com treinamento vestibular e fortalecimento, realizados na gaiola “aranha” ou no sistema de polias.



FIGURA 2  
Exemplo de exercício no sistema “aranha” da Unidade Universal de Exercícios.

A roupa TheraSuit® é um dos componentes do Método TheraSuit®. Ela é utilizada quando há necessidade de alinhar o corpo, corrigir a postura, estabilizar o tronco e fornecer forte estímulo proprioceptivo (36, 37). Em algumas situações, a roupa TheraSuit® não será utilizada durante a aplicação do Método TheraSuit®.

O uso da roupa TheraSuit® é contraindicado na presença de escoliose, distúrbios metabólicos progressivos, degenerações articulares, osteoporose grave, subluxação severa e contraturas fixas (41, 42).

## Benefícios do Método TheraSuit®

A participação em terapias mais intensivas e exercícios resistidos oferece benefícios que podem manter a força muscular (36, 37, 41). O uso da roupa TheraSuit® tem como objetivo aumentar a carga e a propriocepção nas articulações e músculos do lado afetado do corpo. Os componentes elásticos presentes na roupa TheraSuit® fornecem resistência, compressão e carregamento axial, gerando estimulação dos órgãos tendinosos de Golgi e criando uma resposta reflexa (43).

O Método TheraSuit® pode reeducar o sistema nervoso central, ajudando a normalizar o tônus muscular, corrigir o padrão de marcha, melhorar o equilíbrio, aumentar a força e manter a densidade óssea por meio de impacto e treinamento com pesos (35, 36, 41, 42). As bandas elásticas podem ser usadas para alinhar corretamente o corpo, apoiar músculos fracos e fornecer estabilização externa (35, 36, 41, 42). As bandas elásticas podem ser ajustadas individualmente para fornecer suporte ou resistência conforme a necessidade de cada paciente.

O Método TheraSuit® utiliza princípios de treinamento com frequência aumentada e demonstrou ganhos significativos nos padrões de marcha em crianças com paralisia cerebral (PC) (44, 45). Estudos de pesquisa mostraram ganhos mensuráveis de força já na terceira semana do tratamento intensivo (36, 37). Entretanto, é importante enfatizar que, para manter a força muscular, é necessário continuar os exercícios resistidos nos intervalos entre uma intervenção e outra, seguindo um programa de manutenção (37).

A terapia intensiva utilizando o Método TheraSuit® demonstrou resultados no aumento da função motora grossa em maior extensão do que as terapias tradicionais, promovendo correção postural (45–48). Também mostrou melhorias consistentes e efeitos positivos na velocidade, cadência e comprimento do passo (44). Em conclusão, apesar do número limitado de estudos, há evidências da eficácia deste método no tratamento de crianças com distúrbios neurológicos.

## Discussão

Astronautas vêm utilizando contramedidas há muitas décadas para reduzir as alterações fisiológicas durante voos espaciais. Uma dessas contramedidas específicas inclui a estimulação da propriocepção por meio de trajes de carregamento axial em combinação com treinamento de força (15).

O Método TheraSuit® tem o potencial de oferecer vantagens significativas na recuperação de pacientes com distúrbios neurológicos, como o acidente vascular encefálico (AVE), aqui na Terra. Essa abordagem pode aumentar a força, melhorar a resistência, otimizar o equilíbrio e a funcionalidade geral do paciente. Além disso, o input proprioceptivo fornecido por este método pode levar a melhorias notáveis no controle do tronco, desempenho do equilíbrio, marcha e mobilidade em pacientes

pós-AVE. Ao integrar esses benefícios, o Método TheraSuit® poderia desempenhar um papel fundamental na facilitação de resultados de reabilitação mais eficazes (14).

O número de estudos revisados por pares sobre o Método TheraSuit® é limitado, e todos focados em crianças (45, 48–50). Até o momento, nenhum estudo foi realizado sobre o uso do Método TheraSuit® especificamente no contexto da reabilitação pós-AVE. Isso representa uma lacuna significativa na literatura, pois compreender a aplicação do Método TheraSuit® nesta área poderia oferecer insights valiosos sobre seus potenciais benefícios.

É crucial explorar esses programas de fortalecimento, já que eles têm o potencial de ampliar os ganhos funcionais para pacientes em recuperação de AVE. Ao investigar como o Método TheraSuit® pode facilitar melhorias na força muscular, mobilidade e capacidade funcional geral, poderemos descobrir estratégias eficazes de reabilitação que impactem significativamente os resultados dos pacientes.

Realizar pesquisas nessa área não apenas contribuirá para a base de evidências do Método TheraSuit®, mas também auxiliará os clínicos a desenvolver planos de reabilitação abrangentes, adaptados às necessidades únicas de pacientes pós-AVE. Em última análise, pesquisas futuras podem levar a trajetórias de recuperação aprimoradas e melhor qualidade de vida para indivíduos afetados por AVE.

## Contribuições dos autores

RL: Concepção do estudo, obtenção de financiamento, redação do rascunho original, revisão e edição do texto. RG: Revisão e edição do texto. JO: Revisão e edição do texto. DM: Revisão e edição do texto.

## References

- Carr JH, Shepherd RB. Neurological rehabilitation: Optimizing motor performance. 2nd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone (2010).
- CDC. (2024). Stroke facts. Available online at: <https://www.cdc.gov/stroke/facts.htm> [Accessed February 5, 2024]
- Tsao CW, Aday AW, Almarzoq ZI, Anderson CAM, Arora P, Avery CL, et al. Heart disease and stroke Statistics-2023 update: a report from the American Heart Association. *Circulation*. (2023) 147:e93–e621. doi: 10.1161/CIR.0000000000001123
- Ostrowska PM, Studnicki R, Rykaczewski M, Spychala D, Hansdorfer-Korzon R. Evaluation of the effect of SPIDER system therapy on weight shifting symmetry in chronic stroke patients—a randomized controlled trial. *Int J Environ Res Public Health*. (2022) 19:6214. doi: 10.3390/ijerph192316214
- Saber Tehrani AS, Kattah JC, Kerber KA, Gold DR, Zee DS, Urrutia VC, et al. Diagnosing stroke in acute dizziness and Vertigo: pitfalls and pearls. *Stroke*. (2018) 49:788–95. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.016979
- Motanova E, Bekreneva M, Rukavishnikov I, Shigueva TA, Saveko AA, Tomilovskaya ES. Application of space technologies aimed at proprioceptive correction in terrestrial medicine in Russia. *Front Physiol*. (2022) 13:921862. doi: 10.3389/fphys.2022.921862
- Brewer L, Horgan F, Hickey A, Williams D. Stroke rehabilitation: recent advances and future therapies. *QJM*. (2013) 106:11–25. doi: 10.1093/qjmed/hcs174
- Brower RG. Consequences of bed rest. *Crit Care Med*. (2009) 37:S422–8. doi: 10.1097/CCM.0b013e3181b6e30a
- Vikne H, Strøm V, Pripp AH, Gjøvaag T. Human skeletal muscle fiber type percentage and area after reduced muscle use: a systematic review and meta-analysis. *Scand J Med Sci Sports*. (2020) 30:1298–317. doi: 10.1111/sms.13675
- Coleman ER, Moudgal R, Lang K, Hyacinth HI, Awosika OO, Kissela BM, et al. Early rehabilitation after stroke: a narrative review. *Curr Atheroscler Rep*. (2017) 19:59. doi: 10.1007/s11883-017-0686-6
- Scrivener K, Dorsch S, McCluskey A, Schurr K, Graham PL, Cao Z, et al. Bobath therapy is inferior to task-specific training and not superior to other interventions in improving lower limb activities after stroke: a systematic review. *J Physiother*. (2020) 66:225–35. doi: 10.1016/j.jphys.2020.09.008

## Financiamento

Os autores declaram que nenhum apoio financeiro foi recebido para a realização da pesquisa e/ou publicação deste artigo.

## Conflito de interesse

RL é instrutora do Método TheraSuit®. Os demais autores declaram que a pesquisa foi conduzida na ausência de quaisquer relações comerciais ou financeiras que possam ser interpretadas como potencial conflito de interesse.

Os autores declaram que eram membros do conselho editorial da *Frontiers* no momento da submissão. Isso não teve impacto no processo de revisão por pares nem na decisão final.

## Declaração sobre IA generativa

Os autores declaram que nenhuma IA generativa foi utilizada na elaboração deste manuscrito.

## Nota do editor

Todas as afirmações expressas neste artigo são de responsabilidade exclusiva dos autores e não representam necessariamente as opiniões de suas instituições de afiliação, nem as do editor, dos revisores ou da editora. Qualquer produto avaliado neste artigo, ou qualquer afirmação feita pelo seu fabricante, não é garantido nem endossado pela editora.

- Di Girolamo FG, Fiotti N, Milanović Z, Situlin R, Mearelli F. The aging muscle in experimental bed rest: a systematic review and Meta-analysis. *Front Nutr*. (2021) 8:633987. doi: 10.3389/fnut.2021.633987
- Yu Y, Chen Y, Lou T, Shen X. Correlation between proprioceptive impairment and motor deficits after stroke: a meta-analysis review. *Front Neurol*. (2022) 12:688616. doi: 10.3389/fneur.2021.688616
- Apriliyasari RW, Van Truong P, Tsai PS. Effects of proprioceptive training for people with stroke: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Rehabil*. (2022) 36:431–48. doi: 10.1177/02692155211057656
- Krittana Wong C, Singh NK, Scheuring RA, Urquieta E, Bershad EM, Macaulay TR, et al. Human health during space travel: state-of-the-art review. *Cells*. (2023) 12:40. doi: 10.3390/cells12010040
- Carriot J, Mackrous I, Cullen KE. Challenges to the vestibular system in space: how the brain responds and adapts to microgravity. *Front Neural Circ*. (2021) 15:760313. doi: 10.3389/fncir.2021.760313
- Chuang TT. Interplanetary regenerative medicine for mission Mars of SpaceX and NASA. *Regen Med*. (2016) 11:427–9. doi: 10.2217/rme-2016-0061
- Grimm D. Microgravity and space medicine 2.0. *Int J Mol Sci*. (2022) 23:4456. doi: 10.3390/ijms23084456
- Ozdemir RA, Goel R, Reschke MF, Wood SJ, Paloski WH. Critical role of Somatosensation in postural control following spaceflight: Vestibularly deficient astronauts are not able to maintain upright stance during compromised Somatosensation. *Front Physiol*. (2018) 9:1680. doi: 10.3389/fphys.2018.01680
- Proske U, Weber BM. Proprioceptive disturbances in weightlessness revisited. *NPJ Microgravity*. (2023) 9:64. doi: 10.1038/s41526-023-00318-8
- Roberts DR, Asemanni D, Nietert PJ, Eckert MA, Inglesby DC, Bloomberg JJ, et al. Prolonged microgravity affects human brain structure and function. *AJNR Am J Neuroradiol*. (2019) 40:1878–85. doi: 10.3174/ajnr.A6249
- Grimm D, Hemmersbach R. Translation from microgravity research to earth application. *Int J Mol Sci*. (2022) 23:995. doi: 10.3390/ijms231910995

23. Macias BR, Patel NB, Gibson CR, Samuels BC, Laurie SS, Otto C, et al. Association of Long-Duration Spaceflight with Anterior and Posterior Ocular Structure Changes in astronauts and their recovery. *JAMA Ophthalmol.* (2020) 138:553–9. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2020.0673
24. Scott JPR, Kramer A, Petersen N, Green DA. The role of long-term head-down bed rest in understanding inter-individual variation in response to the spaceflight environment: a perspective review. *Front Physiol.* (2021) 12:614619. doi: 10.3389/fphys.2021.614619
25. Patsaki I, Dimitriadi N, Despoti A, Tzoumi D, Leventakis N, Roussou G, et al. The effectiveness of immersive virtual reality in physical recovery of stroke patients: a systematic review. *Front Syst Neurosci.* (2022) 16:880447. doi: 10.3389/fnsys.2022.880447
26. Winkelman C. Bed rest in health and critical illness: a body systems approach. *AACN Adv Crit Care.* (2009) 20:254–66. doi: 10.1097/NCI.0b013e3181ac838d
27. Hupfeld KE, McGregor HR, Reuter-Lorenz PA, Seidler RD. Microgravity effects on the human brain and behavior: dysfunction and adaptive plasticity. *Neurosci Biobehav Rev.* (2021) 122:176–89. doi: 10.1016/j.neubiorev.2020.11.017
28. Kozlovskaya IB, Girgoriev AI, Stephantzov VI. Countermeasures of the negative effects of weightlessness on physical systems in long-term space flights. *Acta Astronaut.* (1995) 36:661–8.
29. Yarmanova EN, Kozlovskaya IB, Khimoroda NN, Fomina EV. Evolution of Russian microgravity countermeasures. *Aerosp Med Hum Perform.* (2015) 86:A32–7. doi: 10.3357/AMHP.EC05.2015
30. Bellisle R.F., Newman D.J. (2020). "Countermeasure suits for spaceflight," in 50th International Conference on Environmental Systems: Lisbon, Portugal.
31. Waldie JM, Newman DJ. A gravity loading countermeasure skinsuit. *Acta Astronaut.* (2011) 68:722–30. doi: 10.1016/j.actaastro.2010.07.022
32. Sayson JV, Lotz J, Parazynski S, Hargens AR. Back pain in space and post-flight spine injury: mechanisms and countermeasure development. *Acta Astronaut.* (2013) 86:24–38. doi: 10.1016/j.actaastro.2012.05.016
33. Duda KR, Vasquez RA, Middleton AJ, Hansberry ML, Newman DJ, Jacobs SE, et al. The variable vector countermeasure suit (V2Suit) for space habitation and exploration. *Front Syst Neurosci.* (2015) 9:55. doi: 10.3389/fnsys.2015.00055
34. Letier P, Motard E, Luchsinger R, Kovacs G, Stauffer Y, Bertschi M. (2012). "Dynasuit, intelligent space countermeasure suit concept based on new artificial muscles technologies and biofeedback," in International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space. Paris, France.
35. Koscielny I. Treatment method therasuit(TM) In: *Cerebral palsy magazine* (2004). 8–13.
36. Karadag-Saygi E, Giray E. The clinical aspects and effectiveness of suit therapies for cerebral palsy: a systematic review. *Turk J Phys Med Rehabil.* (2019) 65:93–110. doi: 10.5606/ftftrd.2019.3431
37. Kaushik K, Kumar K. Effect of cage therapy using advanced spider suit compared to traditional physical therapy on gross motor function in children with cerebral palsy – an Indian experience. *Int J Neurorehabil.* (2016) 03:193. doi: 10.4172/2376-0281.1000193
38. Bravo C, Skjaerven LH, Guitard Sein-Echaluce L, Catalan-Matamoros D. Experiences from group basic body awareness therapy by patients suffering from fibromyalgia: a qualitative study. *Physiother Theory Pract.* (2020) 36:933–45. doi: 10.1080/09593985.2018.1517286
39. Szekeres M, MacDermid JC, Grewal R, Birmingham T. The short-term effects of hot packs vs therapeutic whirlpool on active wrist range of motion for patients with distal radius fracture: a randomized controlled trial. *J Hand Ther.* (2018) 31:276–81. doi: 10.1016/j.jht.2017.08.003
40. Gui-Demase M, Silva K, Teixeira G. Manual therapy associated with topical heat reduces pain and self-medication in patients with tension-type headache. *Fisioter Pesqui.* (2021) 28:244–51. doi: 10.1590/1809-2950/17019328032021
41. Bailes AF, Greve K, Schmitt LC. Changes in two children with cerebral palsy after intensive suit therapy: a case report. *Pediatr Phys Ther.* (2010) 22:76–85. doi: 10.1097/PEP.0b013e3181cbf224
42. Koscielny I., Koscielny R. (2024). *Therasuit® Method: Basic course.*
43. Prokopenko SV, Rudnev VA, Arakchaa ÉM, Derevtsova SN. Use of the principle of proprioceptive correction in the restoration of voluntary movements in the paralyzed arm in patients in the late recovery and residual post-stroke periods. *Neurosci Behav Physiol.* (2008) 38:627–31. doi: 10.1007/s11055-008-9015-4
44. Belizón-Bravo N, Romero-Galisteo RP, Cano-Bravo F, Gonzalez-Medina G, Pinero-Pinto E, Luque-Moreno C. Effects of dynamic suit orthoses on the Spatio-temporal gait parameters in children with cerebral palsy: a systematic review. *Children (Basel).* (2021) 8:1016. doi: 10.3390/children8111016
45. Martins E, Cordovil R, Oliveira R, Pinho J, Vaz JR. The immediate effects of Therasuit® on the gait pattern of a child with unilateral spastic cerebral palsy. *J Pediatr Neurol Dis.* (2017) 1:S1011. doi: 10.4172/2572-4983.1000S1011
46. Lee SH, Shim JS, Kim K, Moon J, Kim MY. Gross motor function outcome after intensive rehabilitation in children with bilateral spastic cerebral palsy. *Ann Rehabil Med.* (2015) 39:624–9. doi: 10.5535/arm.2015.39.4.624
47. Mélo TR, Yamaguchi B, Chiarello CR, Costin ACS, Erthal V, Israel VL, et al. Intensive neuromotor therapy with suit improves motor gross function in cerebral palsy: a Brazilian study. *Motricidade.* (2018) 13:54. doi: 10.6063/motricidade.13669
48. Azab ASR, Hamed SA. Effect of suit therapy on back geometry in spastic diplegic cerebral palsied children. *J Am Sci.* (2014) 10:245–51.
49. Baptista PPA, Furtado ACA, Fernandes TG, Freire Júnior RC, Lima CFM, Mendonça ASGB. Positive impact of the Therasuit method on gross motor function of children with autism spectrum disorder: case series. *Front Neurol.* (2023) 14:1254867. doi: 10.3389/fneur.2023.1254867
50. Norian S, Rajaby R, Daneshmandi H, Fayazi A. Evaluation of the effect and durability of a 12-week exercise program with Therasuit on balance and gait kinematics in children with cerebral palsy spastic diplegia. *Sci J Rehabil Med.* (2023). 13:612–25. doi: 10.32598/SJRM.13.3.3121