

Vpliv robotsko podprte vadbe hoje pri pacientih z multiplo sklerozo

Effects of robot-assisted gait training in multiple sclerosis patients

Luka Zavec¹, Tina Tomc Žargi¹

IZVLEČEK

Uvod: Multipla skleroza je kronična avtoimuna neurodegenerativna bolezen osrednjega živčnega sistema, ki najpogosteje prizadene mlajše odrasle. Značilne vnetne demielinizacije z aksonskimi okvarami pogosto vodijo v kompleksne nevrološke izpade. Zaradi motenj v hoji je usmerjanje rehabilitacije k izboljšanju mobilnosti zelo pomembno. Pri hujših omejitvah je še posebno obetavna robotsko podprta vadba hoje, ki jo omogoča lokomat. **Metode:** Literaturo smo iskali v podatkovni zbirki PubMed novembra 2023. **Rezultati:** V pregled je bilo vključenih osem raziskav. Primerjava med preiskovalno in kontrolno skupino je v treh raziskavah pokazala statistično značilno izboljšanje hitrosti (ob koncu + 0,08 m/s pri 10MWT oziroma 4,1 s manj pri 25FWT) in vzdržljivosti hoje (8–33,9 m daljša prehojena razdalja ob koncu) pri uporabi lokomata. V eni raziskavi so to ugotovili na področju ravnotežja (2,6 točke več na Berg lestvici kot na začetku). Uporaba lokomata je v primerjavi s konvencionalnim pristopom vplivala tudi na statistično značilno izboljšanje jakosti ekstenzorjev kolena (39,2 N več) ter kadence (6,6 koraka več) in dolžine koraka (0,03 m daljši korak). **Zaključki:** Na podlagi rezultatov lahko zaključimo, da robotsko podprta vadba hoje z lokomatom lahko vpliva na izboljšanje hitrosti, vzdržljivosti in drugih parametrov hoje pri pacientih z multiplo sklerozo. Potrebne so nadaljnje raziskave za določitev optimalne kombinacije parametrov vadbe z lokomatom.

Ključne besede: multipla skleroza, rehabilitacija, robotsko podprta vadba, hoja, lokomat.

ABSTRACT

Background: Multiple sclerosis is a chronic autoimmune neurodegenerative disease of the central nervous system that most commonly affects young adults. Characteristic inflammatory demyelinations with axonal damage often lead to complex neurological deficits. Due to gait disturbances, the focus of rehabilitation is on improving mobility. Robot-assisted gait training, enabled by the Lokomat, is particularly promising for those with severe conditions. **Methods:** A literature search was conducted by reviewing the PubMed database in November 2023. **Results:** Eight studies were included in this review. Comparison between experimental and control groups in three studies showed statistically significant improvements in walking speed (0.08 m/s faster in 10MWT and 4.1 s less in 25FWT) and endurance (walked 8–33.9 m further) with Lokomat. Only one study reported such improvements in balance (scored 2.6 points more on the Berg scale). Compared to conventional approaches, Lokomat also showed statistically significant improvements in knee extensor strength (+ 39.2 N), cadence (+ 6.6 steps), and step length (+ 0.03 m). **Conclusions:** Based on the results, we can conclude that robot-assisted gait training with the Lokomat can improve walking speed, endurance, and other gait parameters in patients with multiple sclerosis. Further research is needed to determine the optimal combination of Lokomat training parameters.

Key words: multiple sclerosis, rehabilitation, robot-assisted training, gait, Lokomat.

¹ Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana

Korespondenca/Correspondence: Luka Zavec, dipl. fiziot.; e-pošta: lukazavec6@gmail.com

Prispelo: 17. 09. 2024

Sprejeto: 06. 12. 2024

UVOD

Multipla skleroza (MS) je kronična avtoimuna nevrodegenerativna bolezen osrednjega živčnega sistema, za katero so značilne vnetne demielinizacije z aksonskimi okvarami (1). Močno spremenljiva razporeditev demielinizacijskih območij in aksonskih izgub v osrednjem živčevju lahko vodi v zelo kompleksne in nepredvidljive nevrološke izpade. Motnje v hoji, kot so zmanjšana hitrost in dolžina koraka, asimetrija, povečana poraba energije med hojo, izpadi ravnotežja in povečano tveganje za padce so tako eni izmed najbolj omejujočih vidikov bolezni. Vse te gibalne težave močno vplivajo na raven samostojnosti, ki jo oseba z multiplo sklerozo lahko doseže, in tako zelo poslabšajo kakovost življenja, zato je ohranjanje funkcije hoje eden izmed glavnih ciljev rehabilitacije (2). MS je najpogostejša nevrološka bolezen z invalidnostjo pri mlajših odraslih, saj simptomi navadno nastopijo med 20. in 40. letom starosti (3). Walton in sodelavci (4) poročajo, da naj bi bilo leta 2020 po svetu 2,8 milijona ljudi z MS.

Vzrok nastanka MS še ni povsem znan, vemo pa, da je sprožilec imunski odziv telesu lastnih celic, ki v osrednjem živčnem sistemu napadejo mielin, ki tvori zaščitno ovojnico živčnih vlaken oziroma aksonov (3). Vnetni odziv, ki vodi do demielinizacije oziroma okvare mielinske ovojnice, sprožijo T-limfociti in makrofagi, ki prek krvno-možganske pregrade vstopijo v osrednji živčni sistem. Pomembno vlogo imajo tudi glija celice. Mikroglije s sproščanjem vnetnih mediatorjev še dodatno spodbujajo vnetje in okvaro tkiva, astrociti pa sodelujejo tudi v popraviljanju poškodovanega tkiva, vendar lahko v poznejših fazah bolezni prispevajo k tvorbi brazgotin, ki motijo prenos signalov med nevroni (5). Poleg genetskih dejavnikov je pomemben tudi vpliv drugih dejavnikov, kot so pomanjkanje vitamina D, okužba z Epstein-Barr virusom (mononukleozna) in kajenje. Prav tako kaže, da so ženske dovzetnejše za obolenost z MS, saj je razmerje obolelih žensk v primerjavi z moškimi približno 3 : 1 (6).

Prilagajanje rehabilitacije pacientov z MS, ki imajo hude omejitve, je usmerjeno v izboljšanje mobilnosti, kar je zelo pomembno pri procesu obvladovanja bolezni. Pomembna cilja rehabilitacije sta zmanjšanje utrudljivosti in izboljšanje parametrov hoje, kar želimo doseči prek

vzdrževanja mišične zmogljivosti in optimizacije gibalnih vzorcev, dinamičnega ravnotežja in pomičnosti (7). Metode fizioterapije vključujejo vadbo in v funkcijo usmerjene telesne dejavnosti. Usmerjene morajo biti tudi v individualizirane cilje posameznika, ki stremijo k njegovemu delovanju in sodelovanju v vsakodnevnih dejavnostih (8).

Robotsko podprta vadba je pogosto opredeljena kot v nalogo usmerjena metoda in je še posebno obetavna pri pacientih s hujšimi omejitvami (8). Naprave za robotsko podprto vadbo hoje (angl. robot assisted gait training – RAGT) so tako idealno sredstvo za v nalogo usmerjeno masovno vadbo hoje, ki prek motoričnega učenja spodbuja nevroplastičnost (9). Čeprav imajo te naprave omejitve, kot so na primer visoki stroški, pa imajo tudi številne prednosti v primerjavi s konvencionalno vadbo hoje. Predstavljajo manj napora za fizioterapevta, omogočajo daljši čas vadbe in večje število ponovitev, usmerjenih v funkcijo, spodbujajo fiziološke in ponovljive vzorce hoje, omogočajo pa tudi objektivno spremljanje napredka (10). Yang in sodelavci (1) v svojem sistematičnem pregledu literature ugotavljajo pomembno kratkoročno izboljšanje hitrosti hoje, vzdržljivosti, pomičnosti, ravnotežja in zmanjšanje utrudljivosti v skupinah, ki so bile deležne hoje s pomičnim eksoskeletom.

Lokomat, ki ga je razvilo podjetje Hocoma (11), je robotska naprava, ki je namenjena intenzivni rehabilitacijski terapiji hoje pri odraslih in pediatričnih pacientih s hudo do zmerno prizadetostjo hoje in funkcionalne mobilnosti. Lokomat aktivno usmerja gibe pacientovih spodnjih udov med hojo po tekalni stezi prek računalniško vodenega eksoskeleta. Integriran dinamični sistem podpore telesne teže omogoča razbremenjevanje skozi celoten cikel hoje in tako omogoča pokončno držo pacienta za vadbo hoje v varnem okolju. Hkrati zagotavlja tudi povratne informacije in igram podobne naloge, s čimer pacienta med terapijo hoje še bolj izzove ter motivira. Fizioterapevt lahko med vadbo hoje s prilagajanjem parametrov doseže bolj individualizirano terapijo in obravnavo specifičnih potreb pacienta (12). Namen pregleda literature je bil ugotoviti učinkovitost robotsko podprte vadbe hoje z uporabo Lokomata pri pacientih z multiplo sklerozo v primerjavi s konvencionalnimi pristopi.

METODE

Pregled literature je bil izveden novembra 2023. Literatura je bila iskana v angleškem jeziku v podatkovni zbirki PubMed z uporabo kombinacije ključnih besed »multiple sclerosis« AND »robot assisted gait training« v naslovu in/ali povzetku. Vključitvena merila so obsegala klinične raziskave ter kontrolirane in randomizirane kontrolirane klinične raziskave, v katerih so sodelovali pacienti z multiplo sklerozo. Raziskovalci so preučevali vplive uporabe robotsko podprte vadbe hoje. Izključitvena merila so obsegala študije primerov in preglede literature ter raziskave, v katerih niso preučevali vpliva lokomata ali so njegov vpliv preučevali pri ljudeh z drugimi nevrološkimi boleznimi.

REZULTATI

Na podlagi iskalnega niza je bilo v podatkovni zbirki najdenih 48 rezultatov. Po pregledu naslovov, izvlečkov, dostopnosti v polnem besedilu ter uporabljenih vključitvenih in izključitvenih meril je bilo v podroben pregled in kvalitativno analizo vključenih osem raziskav. V vseh raziskavah so avtorji ovrednotili učinke uporabe lokomata pri

pacientih z multiplo sklerozo takoj po koncu intervencije, v dveh raziskavah so meritve opravili tudi na polovici (13, 14), v petih pa so vrednotili tudi dolgoročne učinke, bodisi po treh mesecih (13–16) bodisi pol leta po koncu programa (15, 17). Le v eni izmed raziskav (18) preiskovalne skupine (PS) niso primerjali s kontrolno (KS). V raziskave je bilo skupno vključenih 321 preiskovancev obeh spolov, vsi pa so imeli diagnosticiranega enega izmed teh tipov MS: recidivno-remitentna, primarno-progresivna, sekundarno-progresivna ali progresivno-recidivna MS. Značilnosti preiskovancev so predstavljene v preglednici 1. Programi robotsko podprte vadbe hoje z uporabo lokomata so trajali od treh (7, 17) do šest tednov (13, 16, 18). Podrobnosti vadbenih programov preiskovalnih in kontrolnih skupin so predstavljene v preglednici 2.

Preiskovalci so vadbene programe RAGT stopnjevali s prilagajanjem parametrov hitrosti hoje in odstotka razbremenitve: Beer in sodelavci (17) so razbremenitev in vodenje postopoma znižali, hitrost pa povežali do največ 2,8 km/h; Łyp in sodelavci (18) so hitrost postopoma povežali do 1,8 km/h;

Preglednica 1: Značilnosti preiskovancev

Avtorji	Začetno (in končno) število preiskovancev		Povprečna starost (leta)		Spol		Tip multiple skleroze (število preiskovancev)	EDSS ocena
	PS	KS	PS	KS	M	Ž		
Beer in sod., 2008 (17)	19 (14)	16 (15)	49,7	51,0	12	23	RR (3) SP (18) PP (14)	6,0–7,5
Łyp in sod., 2018 (18)	20 (20)	/	46,3	/	10	10	RR (7) PP (13)	/
Schwartz in sod., 2012 (15)	15 (12)	17 (16)	46,8	50,5	14	18	PR (/) SP (/) PP (/)	5,0–7,0
Sconza in sod., 2021 (2)	19 (17)		/ (36–74)		3	16	RR (7) PR (4) SP (5) PP (3)	3,5–7,0
Straudi in sod., 2013 (16)	9 (8)	9 (8)	49,6	61,0	5	11	RR (3) PP (8) SP (5)	4,5–6,5
Straudi in sod., 2016 (13)	30 (27)	28 (25)	53,15		18	34	PP (16) SP (36)	6,0–7,0
Straudi in sod., 2020 (14)	36 (34)	36 (30)	56	55	23	49	PP (34) SP (38)	6,0–7,0
Vaney in sod., 2012 (7)	34 (26)	33 (23)	58,2	54,2	/	/	/	3,0–6,5

EDSS – razširjena lestvica stopnje zmanjšane zmožnosti, PS – preiskovalna skupina, KS – kontrolna skupina, RR – recidivno-remitentna, PP – primarno-progresivna, SP – sekundarno-progresivna, PR – progresivno-recidivna.

Preglednica 2: Podrobnosti vadbenih programov preiskovalnih in kontrolnih skupin

Avtorji	Intervencija	Trajanje
Beer in sod., 2008 (17)	PS: lokomat razbremenitev teže 40–80 %, vodenje 40–100 %, hitrost hoje sprva 1–1,5 km/h KS: vadba hoje z asistenco terapevta (s pripomočkom in brez)	3 tedne 5-krat na teden (30 minut) + 16,5 h/teden multimodalni program rehabilitacije
Łyp in sod., 2018 (18)	PS: lokomat razbremenitev teže 50 %, hitrost hoje sprva 1 km/h KS: /	6 tednov 2-krat na teden (35 minut)
Schwartz in sod., 2012 (15)	PS: lokomat razbremenitev teže sprva 40 %, hitrost hoje 0–3 km/h KS: vadba za hojo in dinamično ravnotežje, vstajanje ter hoja s pripomočkom in brez, z asistenco terapevta	4 tedne 3-krat na teden (30 minut)
Sconza in sod., 2021 (2)	PS: lokomat (razbremenitev teže in hitrost hoje sprva 40 % in 1,5 km/h) + 60 minut fizioterapevtske obravnave z osnovnimi vajami in vadbo hoje (kot KS) KS: osnovne vaje (ogrevanje, raztezanje, krepitev aktivno-asistirano, koordinacija in ravnotežje) + vadba hoje (PNF, pravilen vzorec)	5 tednov 5-krat na teden (90 minut)
Straudi in sod., 2013 (16)	PS: 30 minut lokomat razbremenitev teže in vodenje sprva 100 %, hitrost hoje 0–3 km/h KS: konvencionalna terapija – vaje za raztezanje, nato za krepitev spodnjih udov, vaje za koordinacijo, ravnotežje in hojo	6 tednov 2-krat na teden (60 minut)
Straudi in sod., 2016 (13)	PS: 30 minut lokomat razbremenitev teže in vodenje sprva 50 % in 100 %, hitrost hoje 0,1–3 km/h KS: vaje za raztezanje, krepitev spodnjih udov, vaje za koordinacijo, ravnotežje ter hojo	6 tednov 2-krat na teden (60 minut)
Straudi in sod., 2020 (14)	PS: 30 minut lokomat (razbremenitev teže in vodenje sprva 50 % in 100 %, hitrost hoje 1,5–2,0 km/h) + 60 minut vaje za krepitev spodnjih udov in raztezanje KS: vaje za ogrevanje, 40 minut hoja s pripomočkom in asistenco fizioterapevta, vaje za ohlajanje + 60 minut vaje za krepitev spodnjih udov in raztezanje	4 tedne 3-krat na teden (120 minut)
Vaney in sod., 2012 (7)	PS: lokomat razbremenitev teže in vodenje sprva 50 % in 100 %, hitrost individualno KS: hoja s fizioterapevtom	3 tedne 3-krat na teden (30 minut) + 2,5 h/dan multimodalna rehabilitacija

PS – preiskovalna skupina, KS – kontrolna skupina.

Schwartz in sodelavci (15) so razbremenitev teže postopoma znižali do 20 %, hitrost pa so individualno povišali do največ 3 km/h; Sconza in sodelavci (2) so najprej povišali hitrost do 2,2–2,5 km/h ter nato znižali še razbremenitev telesne teže; Straudi in sodelavci (13, 16) so postopoma znižali razbremenitev in vodenje, hitrost pa zvišali do največ 3 km/h, enako tudi Straudi in sodelavci (14), le da so oni hitrost zvišali do največ 2,0 km/h; Vaney in sodelavci (7) so postopoma znižali

vodenje ter prilagajali razbremenitev glede na opazovanje hoje, hitrost pa so naključno spreminjali in prilagajali individualno.

V raziskavah so spremljali več izhodnih parametrov za oceno uspešnosti intervencije. Izhodni podatki in najpomembnejši rezultati so predstavljeni v preglednici 3.

Preglednica 3: Izhodni podatki in najpomembnejši rezultati

Avtorji	Izhodni podatki	Rezultati
Beer in sod., 2008 (17)	– hitrost hoje (20MWT)	– ↑** PS (+0,11 m/s), ↑* KS (+0,07 m/s),
	– vzdržljivost hoje (6MWT)	– ↑** PS (+22 m).
	– dolžina koraka	– ni značilno pomembnega izboljšanja v dolžini koraka.
	– moč ekstenzorjev kolena L in D	– ↑** PS L in D; primerjava med skupinama D ↑* (+34,3 N za PS in –4,9 N za KS).
Łyp in sod., 2018 (18)	– navor v spodnjih okončinah (mišice kolka in kolena)	– Skoraj simetrično izboljšanje moči v vseh mišičnih skupinah, ↑*** PS (fleksorji in ekstenzorji) (+5,76 Nm).
Schwartz in sod., 2012 (15)	– hitrost hoje (10MWT)	– ↑* KS (+0,1 m/s),
	– vzdržljivost hoje (6MWT)	– ↑** KS ob koncu (+30,2 m) in ↑* KS tri mesece pozneje (+22,2 m),
	– ravnotežje (TUG, BBS)	– TUG: ↑* PS ob koncu, tri in šest mesecev pozneje (–10,6 s), ↑* KS po treh mesecih (–6 s); BBS: ↑* PS (+3,4), ↑** KS ob koncu (+5,8) in ↑* KS tri mesece pozneje (+4).
Sconza in sod., 2021 (2)	– hitrost hoje (10MWT, 25FWT)	– 10MWT: ↑*** PS, ↑*** KS; 25FWT: ↑*** PS, ↑** KS; primerjava med skupinama pri 25FWT: ↑** (–6,6 s za PS in –2,5 s za KS),
	– vzdržljivost hoje (6MWT)	– ↑*** PS, ↑** KS; primerjava med skupinama ↑* (+21 m za PS in +13 m za KS),
	– ravnotežje (Tinetti)	– ↑** PS (+2), ↑* KS (+0,9),
	– moč ekstenzorjev kolena	– ↑** PS (+34,3 N),
	– delež dvojne opore	– ↑* PS (–3,3 %),
Straudi in sod., 2013 (16)	– razmerje dolžine koraka	– ↑** PS (+0,05), ↑* KS (+0,03).
	– hitrost hoje (biomeh. analiza)	– ↑** PS; primerjava med skupinama ob koncu ↑** (+0,07 m/s za PS, –0,01 m/s za KS) in po treh mesecih ↑* (+0,03 m/s za PS, –0,02 m/s za KS),
	– vzdržljivost hoje (6MWT)	– ↑* PS ob koncu in tri mesece pozneje; primerjava med skupinama ob koncu ↑* (+33,2 m za PS, –0,7 m za KS) in tri mesece pozneje ↑* (+32,1 m za PS, –3,8 m za KS),
	– ravnotežje (TUG)	– ni značilno pomembnega izboljšanja ravnotežja,
	– kinematika in prostorsko-časovni parametri (kadenca, dvojna opora, dolžina in čas koraka, P3, H1, H3, H5, H6)	– značilno pomembno izboljšanje vseh meritev znotraj PS, medtem ko znotraj KS le pri dolžini koraka in minimalni rotaciji medenice; primerjava med skupinama za kadenco ob koncu ↑* (+6,3 za PS, –0,3 za KS) ter za dolžino koraka ob koncu ↑** (+0,03 m za PS, +0 m za KS) in po treh mesecih ↑** (+0,03 m za PS, –0,01 m za KS).
Straudi in sod., 2016 (13)	– hitrost hoje (10MWT)	– primerjava med skupinama po treh mesecih ↑* (+0,03 m/s za PS, –0,02 m/s za KS),
	– vzdržljivost hoje (6MWT)	– ↑* PS na polovici in ↑*** PS ob koncu; primerjava med skupinama na polovici ↑** (+16,9 m za PS, –6 m za KS) in ob koncu ↑* (+23,2 m za PS, –0,75 m za KS),
	– ravnotežje (TUG, BBS)	– BBS: ↑* PS na polovici in ob koncu; primerjava med skupinama na polovici ↑* (+2,4 za PS, –0,2 za KS).
Straudi in sod., 2020 (14)	– hitrost hoje (25FWT)	– ↑* PS (+0,05 m/s), ↑* KS (+0,06 m/s),
	– vzdržljivost hoje (6MWT)	– ↑* PS (+19 m), ↑* KS (+14 m),
	– ravnotežje (TUG, BBS)	– TUG: ↑* KS (–6,3 s); BBS: ↑* PS (+3), ↑* KS (+2).
Vaney in sod., 2012 (7)	– hitrost hoje (10MWT)	– ni značilno pomembnega izboljšanja hitrosti,
	– vzdržljivost hoje (3MWT)	– ↑np KS (+0,11 m/s),
	– ravnotežje (BBS)	– ↑np PS (+1,7), ↑np KS (+2,9).

PS – preiskovalna skupina, KS – kontrolna skupina ↑ – statistično značilno izboljšanje (* – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$, np – ni natančnega podatka), 20MWT – test hoje na 20 metrov, 6MWT – 6-minutni test hoje, 10MWT – test hoje na 10 metrov, TUG – časovno merjeni vstani in pojdi test, BBS – Bergova lestvica za oceno ravnotežja, 25FWT – časovno merjeni test hoje na 25 čevljev, P3 – minimalna rotacija medenice, H1 – fleksija kolka pri zamahu pete, H3 – maksimalna ekstenzija kolka, H5 – maksimalna fleksija kolka, H6 – totalna ekscurzija kolka v sagitalni ravnini, 3MWT – triminutni test hoje; vrednosti v oklepajih pod rezultati so razlike v primerjavi z začetnimi meritvami, izražene v povprečju.

RAZPRAVA

V pregled smo vključili osem raziskav, v katerih so avtorji preučevali vpliv robotsko podprte vadbe hoje z lokomatom pri odraslih pacientih z MS. Vsi razen Łypa in sodelavcev (18) so preiskovalne skupine primerjali s kontrolno, v kateri so bili preiskovanci deležni standardne fizioterapije ali drugih fizioterapevtskih postopkov.

Vadbeni programi v pregledanih raziskavah so se med seboj razlikovali tako po številu kot tudi frekvenci vadbenih enot, je pa bil v vseh pregledanih raziskavah učinkoviti del vadbe z lokomatom primerljivo dolg (od 30 do 35 minut). Vadbo z lokomatom so v vseh pregledanih raziskavah sprva začeli s hitrostjo hoje od 0 do 3 km/h, podpora telesne teže od 40 do 100 % ter z vodenjem hoje od 40 do 100 %. Začetni programi so glede na povišan mišični tonus in povečano utrudljivost, ki sta glavna dva zapleta pri pacientih z MS, smiselni, saj z razmeroma kratkimi obdobji vadbe in primerno razbremenitvijo lahko vplivamo na zmanjšanje utrujanja in zmanjšamo stopnjevanje višanja tonusa kot posledice povečanega napora med vadbo. Vadbo so raziskovalci stopnjevali s prilagajanjem razbremenitve in hitrosti hoje, kar je omogočalo smiselno prilagoditev napredku preiskovancev. Kontrolne skupine v raziskavah so izvajale konvencionalno terapijo, ki je trajala od 30 (7, 15, 17) do 120 minut (14), se je pa med raziskavami precej razlikovala. V raziskavi Straudijeve in sodelavcev (14) so preiskovanci v okviru preiskovalne skupine poleg hoje z lokomatom izvajali tudi vaje za krepitev in raztezanje, Sconza in sodelavci (2) pa so dodali še fizioterapevtske obravnave, enake kontrolni skupini, s čimer so imeli preiskovanci preiskovalne skupine teh dveh raziskav še dodatnih 60 minut vadbe. Preiskovanci v raziskavi Beera in sodelavcev (17) so bili med vadbenim obdobjem deležni skupno dodatnih 16,5 ure večmodalnega programa rehabilitacije na teden, v raziskavi Vaneyja in sodelavcev (7) pa so vsak dan prejeli dodatnih 2,5 ure večmodalne rehabilitacije, ki je vključevala vadbo za mišično zmogljivost, jahanje, hidroterapijo in delovno terapijo. Oba izmed dodatnih programov sicer nista vsebovala elementov hoje, vseeno pa je dodatno količino vadbe treba upoštevati, saj je lahko vplivala na zmogljivost preiskovancev in dodatno pripomogla k izboljšanju rezultatov v preiskovalnih skupinah.

Sedem raziskav, razen Łypa in sodelavcev (18), je preiskovalo učinek uporabe RAGT na hitrost hoje. O značilnem izboljšanju rezultatov hitrosti hoje v primerjavi z začetnimi jih je poročalo pet, tri so izboljšanje ugotovile v obeh skupinah (2, 14, 17), Straudi in sodelavci (16) le znotraj preiskovalne, Schwartz in sodelavci (15) pa le znotraj kontrolne skupine. Značilno boljše rezultate v primerjavi s kontrolno skupino so prikazale tri raziskave (2, 13, 16). V slednjih so imeli vsi vključeni preiskovanci visoko stopnjo oviranosti, Vaney in sodelavci (7), ki izboljšanja niso zaznali v nobeni izmed skupin, pa so v raziskavo vključili posameznike s precej nižjo stopnjo omejenosti (EDSS med 3,0 in 6,5) kot vse druge raziskave. Iz teh rezultatov bi lahko sklepali, da bi bila RAGT učinkovitejša predvsem pri pacientih s težjimi stopnjami omejitev, ki pri funkciji hoje potrebujejo več podpore. Raziskovalci so teste, s katerimi so merili hitrost hoje, izbirali različno. Najpogosteje zastopan je bil test hoje na 10 metrov, ki so ga uporabili v štirih raziskavah (2, 7, 13, 15). Sconza in sodelavci (2) so poleg tega testa uporabili tudi časovno merjeni test hoje na 25 čevljev, ki so ga uporabili tudi Straudi in sodelavci (14). V raziskavi Beera in sodelavcev (17) so uporabili test hoje na 20 metrov, Straudi in sodelavci (16) pa so hitrost merili v okviru biomehanske analize hoje.

Največje izboljšanje hitrosti so v skupinah ugotovili Sconza in sodelavci (2). Izmed vseh pregledanih raziskav so tu preiskovanci opravili tudi največ vadb, in sicer po 25 v vsaki skupini. Preiskovanci so bili poleg lokomata hkrati deležni še enake konvencionalne vadbe kot tisti v kontrolni skupini, tako da se je lokomat v kombinaciji s konvencionalno terapijo v primerjavi z uporabo le konvencionalne vadbe izkazal za učinkovitejšega pri izboljšanju hitrosti hoje. V primerjavi z drugimi je bila ta raziskava zasnovana po načelu »cross-over«, kar pomeni, da so isti preiskovanci sodelovali tako v eni kot tudi v drugi skupini. Vmesno obdobje premora, ki je trajalo štiri mesece, se je izkazalo za metodološko primerno, saj se tako morebitni učinki prve faze niso prenesli v drugo fazo, ko so preiskovanci zamenjali skupino. Ker so v tem vmesnem času pacienti prekinili vse terapije, pa se je izkazalo tudi, da so bili učinki tako terapije z lokomatom kot konvencionalne terapije kratkotrajni in da so po koncu izvajanja pozitivni učinki precej hitro izzveneli. Po drugi strani dodaten

večmodalni rehabilitacijski program, ki so ga bili vsak dan deležni preiskovanci raziskave Vaneyja in sodelavcev (7), ni pokazal prednosti pri izboljšanju hitrosti hoje, res pa je, da ni imel elementov hoje. Vzrok, da do izboljšanja ni prišlo, je mogoče tudi razmeroma majhno število obravnav, saj so jih preiskovanci opravili le devet v razponu treh tednov.

V sedmih raziskavah (2, 7, 13–17) so preiskovali učinek RAGT na vzdržljivost hoje. O značilnem izboljšanju v vsaj eni izmed skupin so poročali v vseh sedmih, vendar so le v treh (2, 13, 16) zaznali statistično značilne razlike med preiskovalno in kontrolno skupino. Treba je omeniti, da sta raziskavi Sconze in sodelavcev (2) ter Straudijeve in sodelavcev (16) vključevali zelo majhno število preiskovancev (manj kot 20), kar skupaj z variabilnostjo vključenih pacientov zmanjšuje možnost posploševanja rezultatov na populacijo. Nasprotno so Vaney in sodelavci (7) statistično pomembno izboljšanje vzdržljivosti ugotovili le v kontrolni skupini, ne pa tudi v skupini z lokomatom. Konvencionalna vadba hoje se je v tej raziskavi izkazala za boljšo izbiro pri skupini pacientov z MS z oceno EDSS med 3,0 in 6,5, kar nakazuje večji terapevtski učinek RAGT pri pacientih s težjo oviranostjo. Izboljšanje le v kontrolni skupini so ugotovili tudi Schwartz in sodelavci (15), ko so v okviru konvencionalne vadbe hoje preiskovanci vadili tudi vstajanje iz sedečega položaja, kar je morda dodatno okrepilo mišice spodnjih udov in pomagalo k vzdržljivosti pri hoji. Straudi in sodelavci (14), ki so značilno izboljšanje ugotovili v obeh skupinah, ugotavljajo, da so imeli počasnejši posamezniki večje koristi od vadbe hoje kot tisti, ki so bili na začetnih meritvah hitrejši. Izboljšanja v kontrolni skupini bi bila lahko tudi posledica daljših obravnav, ki so jih bili preiskovanci deležni, v primerjavi z drugimi raziskavami (dve uri namesto ene), tako so posledično prehodili daljše razdalje. Tudi tukaj so ponovitvene meritve po treh mesecih pokazale upad učinkov in kratkoročno delovanje terapije s povrnitvijo rezultatov nazaj k začetnim. Vzrokov za poslabšanje rezultatov ob odloženih meritvah bi lahko bilo več, od napredovanja bolezni do hkratnega splošnega zmanjšanja ravni telesne dejavnosti po prekinitvi vodene intervencije, kar posledično vodi v upad telesne zmogljivosti.

Glede uporabe testov so bili preiskovalci v pregledanih raziskavah zelo skladni, saj so skoraj vsi uporabili šestminutni test hoje, le Vaney in sodelavci (7) so se odločili za krajšo različico, in sicer triminutni test hoje, kar bi lahko bil vzrok različnih ugotovitev.

V našem pregledu so v šestih raziskavah preiskovali vpliv RAGT na ravnotežje. Razen Straudijeve in sodelavcev (13), ki so o značilnem izboljšanju poročali le v preiskovalni skupini, so v petih raziskavah poročali o značilnem izboljšanju vsaj enega izmed uporabljenih testov v obeh skupinah (2, 7, 14–16). Statistično značilne razlike med skupinama so ugotovili le Straudi in sodelavci (13), ki menijo, da bi boljše rezultate pri testu ravnotežja v skupini RAGT lahko pripisali izboljšanju moči ekstenzorjev kolena, kar posledično vodi k boljšemu nadzoru pri ohranjanju ravnotežja. Pomanjkanje pozitivnih učinkov pri vadbi hoje na lokomatu bi lahko pripisali dejstvu, da gre pri tovrstni vadbi za sistem, pri katerem je pacient v napravo stabilno vpet, podprt in se vadba hoje izvaja v razbremenitvi. Kot taka pa tovrstna vadba ne spada v kategorijo v ravnotežje usmerjene vadbe, za katero je značilno, da vključuje tudi senzorimotorične elemente vadbe na mehki podlagi.

Najpogosteje uporabljena testa sta bila časovno merjeni vstani in pojdi test ter Bergova lestvica za oceno ravnotežja. Vsaj enega izmed teh dveh so uporabile vse raziskave, razen Sconze in sodelavcev (2), ki so se odločili le za uporabo testa Tinetti. Ti trije testi se med seboj razlikujejo, saj si ocenjevani elementi ravnotežja znotraj njih niso enaki, zaradi česar ugotovitve raziskovalcev niso popolnoma primerljive.

V štirih raziskavah so v okviru meritev preučevali še vpliv RAGT na preostale parametre hoje (2, 16–18). Beer in sodelavci (17) so pokazali, da je lokomat lahko učinkovita fizioterapevtska izbira pri pacientih z MS s hujšimi omejitvami v hoji (EDSS med 6,0 in 7,5). Poleg že zgoraj naštetih parametrov se je značilno izboljšala tudi jakost ekstenzorjev kolena. Vzroki za izboljšanje, ki jih avtorji navajajo v preiskovalni skupini, bi lahko bili razbremenjena telesna teža in podpora z vodenjem pri hoji, kar lahko vodi v zmanjšano utrudljivost in posledično omogoča dalj časa trajajočo in učinkovitejšo vadbo hoje. Strah pred padcem je manjši, prav tako pa je

tudi krepitev mišice kvadriceps bolj v ekscentrični smeri, v primerjavi z bolj koncentrično aktivacijo med konvencionalno hojo, kar potrjujejo tudi rezultati primerjave jakosti med skupinama. Tudi v tej raziskavi so se vrednosti po 6 mesecih v obeh skupinah vrnila nazaj na začetne, kar nakazuje na pojemanje učinkov po prekinitvi vadbe na lokomatu.

Lyp in sodelavci (18) so učinkovitost lokomata merili s pomočjo navora v fazi zamaha, ki je bil uporabljen kot merilo zmogljivosti mišic kolka in kolena (fleksorji in ekstenzorji). Končni izidi so pokazali statistično pomembno izboljšanje mišične zmogljivosti v vseh merjenih mišičnih skupinah v primerjavi z izhodiščnimi meritvami. Izboljšanje navora pripisujejo delovanju lokomata, ki od pacienta zahteva hitrejše prehode med fleksijo in ekstenzijo v fazi zamaha. Višje vrednosti navora v ekstenzorjih kolena lahko tako pozitivno vplivajo na telesno poravnavo in stabilizacijo (18). To je omogočilo pacientom, da so hodili z manj napora in se manj zanašali na pomoč pripomočkov ali fizioterapevtov. Čeprav optimalen način popravljanja vzorca hoje pri nevroloških pacientih ostaja nejasen, avtorji menijo, da bi takšna izboljšanja v spodnjih udih lahko pomagala k pravilnejšemu vzorcu hoje. Pomanjkljivost te raziskave je, da učinka lokomata niso primerjali z učinkom konvencionalne vadbe hoje, saj bi le tako lahko zares primerjali spremembe v moči po uporabljeni tako eni kot drugi metodi vadbe hoje.

Prostorsko-časovne spremenljivke hoje so vrednotili v dveh raziskavah (2, 16). V obeh poročajo o pomembnih izboljšavah spremenljivk (jakost ekstenzorjev kolena, dolžina in čas koraka, delež dvojne opore, kadenca, minimalna rotacija medenice, fleksija kolka pri zamahu pete, maksimalna ekstenzija in fleksija kolka, totalna ekskurzija kolka v sagitalni ravnini). V kontrolni skupini so ugotovili izboljšave le v dolžini koraka, v eni od raziskav tudi pri minimalni rotaciji medenice (16). Ti rezultati kažejo na to, da RAGT izboljšuje prostorsko-časovne spremenljivke, s čimer se lahko pacientom z MS pomaga pri simetričnosti in vzorcu hoje, znotraj katerega so za to populacijo značilni predvsem zmanjšana hitrost in dolžina koraka ter podaljšan čas dvojne opore s kinematičnimi odstopanji.

Tako terapija z lokomatom kot tudi konvencionalna terapija sta prikazali pozitivne učinke na elemente hoje, čeprav se rezultati med pregledanimi raziskavami razlikujejo. Število preiskovancev v raziskavah je bilo razmeroma majhno, kar je treba pri posploševanju rezultatov upoštevati. Robotsko podprta vadba hoje vključuje različne parametre, kot so hitrost hoje, ki jo nastavimo, delež telesne teže, ki jo z razbremenitvijo odvezamo preiskovancu med hojo, in stopnja vodenja hoje, ki jo določimo. Različne kombinacije teh parametrov lahko različno vplivajo na izid terapije, ki se izvaja. Prav zato je optimalna kombinacija naštetih parametrov, tudi z vidika intenzivnosti in pogostosti trajanja, nekaj, s čimer bi se morda morali ukvarjati v prihodnjih raziskavah. Poleg različnih parametrov terapij so bili v raziskavah različno zastopani tudi pacienti z MS. Med seboj so se razlikovali v oceni stopnje zmanjšane zmožnosti (EDSS) in tudi po obliki MS. Sconza in sodelavci (2) menijo, da je bistven dejavnik za izboljšanje izidov intenzivnost terapije, zelo pomembna pa je predvsem sposobnost odkrivanja pravega tipa pacientov, ki bi imeli od robotsko podprte vadbe največ koristi. Razumeti je treba tudi trajanje učinka, ki ga imajo tovrstne terapije, na kar so opozorile ponovitvene meritve po koncu raziskav, ki so pokazale upad rezultatov in vrnitev nazaj k začetnim vrednostim. Straudi in sodelavci (16) na podlagi ugotovitev sklepajo, da učinki lokomata lahko trajajo dlje kot tri mesece, vendar ne dlje kot šest. Če bi želeli izkoristiti čim večji učinek terapije, bi bilo zato morda smiselno razmišljati o obnovitvenih terapijah. Uporaba lokomata je zato morda primerna za tiste paciente, ki kljub uporabi različnih tipov zdravljenja in terapij še naprej kažejo napredujoče telesne oviranosti pri spopadanju z vsakodnevnimi dejavnostmi, predvsem tistimi, ki so povezane z omejitvami v hoji. Pacienti z nižjo stopnjo oviranosti lahko namreč še vseeno dosegajo primerljive rezultate tudi z uporabo konvencionalne vadbe hoje.

Omejitve našega pregleda literature so predvsem metodološko različne raziskave z razmeroma majhnimi vzorci vključenih preiskovancev in heterogenost vključenih preiskovancev. Različni parametri, uporabljeni pri vadbi z lokomatom, postopki, ki so jih uporabili v kontrolnih skupinah, variabilno trajanje vadbenih obdobij in različna merilna orodja, ki so jih uporabili v pregledanih raziskavah, namreč otežujejo njihovo medsebojno

primerjavo in posplošitev rezultatov na celotno populacijo pacientov z MS. Treba bi bilo zastaviti raziskave tako, da bi z manj tovrstnimi spremenljivkami lažje izluščili glavne prednosti, ki jih ponuja uporaba robotsko podprte vadbe hoje z lokomatom, predvsem pa bi bilo smiselno raziskati, katera skupina pacientov glede na oviranost bi bila tista, ki bi imela od RAGT največ koristi.

ZAKLJUČKI

S pregledom literature smo ugotovili, da robotsko podprta vadba hoje z lokomatom, pa tudi konvencionalni fizioterapevtski pristopi, prinašajo pozitivne učinke pri vadbi hoje pacientov z MS. Ugotovitve so pokazale, da je uporabo lokomata smiselno vključevati v program rehabilitacije pri pacientih z MS, saj je lahko učinkovit dodatek pri izboljšanju hitrosti in vzdržljivosti hoje, ravnotežja ter drugih komponent, kot so jakost ekstenzorjev kolena, kadenca in dolžina koraka. V prihodnosti bi bilo treba ugotoviti optimalno kombinacijo parametrov vadbe z lokomatom pri različnih podskupinah pacientov z MS glede na njihovo stopnjo oviranosti.

LITERATURA

1. Yang FA, Lin CL, Huang WC, Wang HY, Peng CW, Chen HC (2023). Effect of Robot-Assisted Gait Training on Multiple Sclerosis: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Neurorehabil Neural Repair* 37(4): 228–39.
2. Sconza C, Negrini F, Di Matteo B, Borboni A, Boccia G, Petrikonis I, et al. (2021). Robot-Assisted Gait Training in Patients with Multiple Sclerosis: A Randomized Controlled Crossover Trial. *Medicina* 57(7): 713.
3. National Institute of Neurological Disorders and Stroke (2023). Multiple Sclerosis. <https://www.ninds.nih.gov/health-information/disorders/multiple-sclerosis#toc-what-is-multiple-sclerosis> <3. 2. 2024>.
4. Walton C, King R, Rechtman L, Kaye W, Leray E, Marrie RA, et al. (2020). Rising prevalence of multiple sclerosis worldwide: Insights from the Atlas of MS, third edition. *Mult Scler* 26(14): 1816–21.
5. Reich DS, Lucchinetti CF, Calabresi PA (2018). Multiple Sclerosis. *N Engl J Med* 378(2): 169–80.
6. Dobson R, Giovannoni G (2019). Multiple sclerosis - a review. *Eur J Neurol* 26(1): 27–40.
7. Vaney C, Gattlen B, Lugon-Moulin V, Meichtry A, Hausammann R, Foinant D, et al. (2012). Robotic-assisted step training (lokomat) not superior to equal intensity of over-ground rehabilitation in patients with multiple sclerosis. *Neurorehabil Neural Repair* 26(3): 212–21.
8. Centonze D, Leocani L, Feys P (2020). Advances in physical rehabilitation of multiple sclerosis. *Curr Opin Neurol* 33(3): 255–61.
9. Pompa A, Morone G, Iosa M, Pace L, Catani S, Casillo P, et al. (2017). Does robot-assisted gait training improve ambulation in highly disabled multiple sclerosis people? A pilot randomized control trial. *Mult Scler* 23(5): 696–703.
10. Calabrò RS, Russo M, Naro A, De Luca R, Leo A, Tomasello P, et al. (2017). Robotic gait training in multiple sclerosis rehabilitation: Can virtual reality make the difference? Findings from a randomized controlled trial. *J Neurol Sci* 377: 25–30.
11. Hocoma (2024). Lokomat. <https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/> <16. 3. 2024>.
12. Hocoma (2024). Lokomat – Intended Use & Indications. <https://www.hocoma.com/solutions/lokomat/intended-use-indications/> <16. 3. 2024>.
13. Straudi S, Fanciullacci C, Martinuzzi C, Pavarelli C, Rossi B, Chisari C, et al. (2016). The effects of robot-assisted gait training in progressive multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *Mult Scler* 22(3): 373–84.
14. Straudi S, Manfredini F, Lamberti N, Martinuzzi C, Maietti E, Basaglia N (2020). Robot-assisted gait training is not superior to intensive overground walking in multiple sclerosis with severe disability (the RAGTIME study): A randomized controlled trial. *Mult Scler* 26(6): 716–24.
15. Schwartz I, Sajin A, Moreh E, Fisher I, Neeb M, Forest A, et al. (2012). Robot-assisted gait training in multiple sclerosis patients: a randomized trial. *Mult Scler* 18(6): 881–90.
16. Straudi S, Benedetti MG, Venturini E, Manca M, Foti C, Basaglia N (2013). Does robot-assisted gait training ameliorate gait abnormalities in multiple sclerosis? A pilot randomized-control trial. *NeuroRehabilitation* 33(4): 555–63.
17. Beer S, Aschbacher B, Manoglou D, Gamper E, Kool J, Kesselring J (2008). Robot-assisted gait training in multiple sclerosis: a pilot randomized trial. *Mult Scler* 14(2): 231–6.
18. Łyp M, Stanisławska I, Witek B, Olszewska-Żaczek E, Czarny-Działak M, Kaczor R (2018). Robot-Assisted Body-Weight-Supported Treadmill Training in Gait Impairment in Multiple Sclerosis Patients: A Pilot Study. *Adv Exp Med Biol* 1070: 111–5.