

ROBOTSKA VADBA PRI PACIENTU S POŠKODBO BRAHIALNEGA PLETEŽA – PRIKAZ PRIMERA

ROBOT-ASSISTED THERAPY FOR PATIENTS WITH BRACHIAL PLEXUS INJURY – A CASE STUDY

Emma Zgonc, dipl. del. ter., Zdenka Prosič, dipl. del. ter., Klara Prislan, dipl. del. ter.,
doc. dr. Primož Novak, dr. med.

Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

Povzetek

Izhodišča:

Poškodba brahialnega pleteža lahko povzroči nezmožnost gibanja zgornjega uda, izgubo občutenja in bolečine v zgornjem udu, kar vpliva na izvajanje ožjih in širših dnevnih aktivnosti. Armeo® Spring je prilagodljiv suspenzijski sistem za zgornji ud, ki je povezan z virtualno resničnostjo. V prispevku prikazujemo primer delovnoterapevtske obravnave pri pacientu s poškodbo brahialnega pleteža in rezultate robotske terapije po daljšem časovnem obdobju po poškodbi.

Metode:

Preiskovanec je 31-letni motorist, pri katerem so ugotovili motorični izpad v predelu od C4 do C6 desno. Navajal je tudi mravljinčenje in nevropatske bolečine po desni rami in desni nadlahti. Za ocenjevanje smo uporabili Kanadski test izvajanja dejavnosti (COPM), dinamometer, krajšo različico vprašalnika o funkcionalnosti zgornjega uda, ramena in roke (QuickDASH), Funkcijski test zgornjega uda (ARAT) ter meritve obsega gibljivosti na robotski napravi Armeo® Spring. Pacient je bil vključen v delovnoterapevtsko in robotsko terapijo.

Rezultati:

Ob začetku rehabilitacije je bila povprečna ocena izvedbe aktivnosti po COPM-u 2, ob zaključku 5,5. Začetna povprečna ocena zadovoljstva z izvedbo aktivnosti je bila 2 in ob zaključku 4,5. Jakost stiska pesti se je izboljšala. Pri prvem ocenjevanju QuickDASH se je uporabnik ocenil s 57 točkami in pri zadnjem s 60 točkami. Ocenjevanje ARAT je ob začet-

Abstract

Background:

A brachial plexus injury causes upper limb immobility, reduced sensitivity and causes pain sensation loss in the upper limb, resulting in difficulties performing basic and instrumental activities of daily living. The Armeo® Spring robotic device is an adjustable system for the upper limb. We present an example of an occupational therapy treatment in a patient with brachial plexus injury and the effects of robotic therapy after a longer period following the injury.

Methods:

The subject was a 31-year-old motorcyclist who sustained motor nerve impairment in the area from C4 to C6 on the right side. He also reported tingling and neuropathic pain in his right shoulder and upper arm. For assessment, we used the Canadian Occupational Performance Measure (COPM), dynamometer, the short form of the Disabilities of the Arm, Shoulder, and Hand outcome measure (QuickDASH), the Action Research Arm Test (ARAT), and range-of-motion measurements of the Armeo® Spring device. The patient was involved in occupational and robotic therapy.

Results:

According to COPM, the average activity performance score was 2 in the beginning and 5.5 at the end of rehabilitation. Hand grip strength improved. The QuickDASH measurements increased by 3 points. At the beginning, the ARAT assessment showed deviations in all areas, but later only in pinch grip and

ku rehabilitacije pokazalo odstopanja na vseh ocenjevanih področjih, kasneje pa le na področju pincetnih prijemov in grobih gibov. Glede na meritve na robotski napravi Armeo® Spring se je izboljšal obseg gibljivosti.

Zaključek:

Rezultati študije primera kažejo, da je vadba na robotski napravi lahko koristna dopolnilna metoda pri rehabilitaciji pacientov po poškodbi brahialnega pleteža.

Ključne besede:

rehabilitacija; delovna terapija; robotika

gross movements. According to measurements on the Armeo® Spring, the range of motion improved.

Conclusion:

The results show that therapy on a robotic device may be a useful complementary method in the rehabilitation of patients after brachial plexus injury.

Keywords:

rehabilitation; occupational therapy; robotics

UVOD

Brahialni pletež tvorijo sprednje korenine spinalnih živcev hrbtenjačnih segmentov C5–C8 in T1. Oživčuje kožo in mišice hrbta, rame, nadlahti, podlahti in roke. Okvarjen je lahko posamezen ali več živcev (1). Poškodba brahialnega pleteža lahko povzroči nezmožnost gibanja zgornjega uda, izgubo občutenja in bolečine v zgornjem udu. Regeneracija je lahko popolna, lahko pa ostanejo trajne posledice. Izguba ali omejena funkcija zgornjega uda povzroči veliko težav pri izvajanju ožjih in širših dnevnih aktivnosti, kar močno vpliva na kakovost življenja. Za uspešno rehabilitacijo osebe z okvaro brahialnega pleteža je potrebna multidisciplinarna obravnava in intenzivne terapije. Ključnega pomena v terapijah predstavlja veliko število ponovitev gibov. Pri tem je pomembno, da zahtevnost nalog stopnjujemo in prilagajamo glede na pacientovo zmožnost in bolečino (2).

Robotska vadba ima v rehabilitaciji osebe s poškodbo brahialnega pleteža velik potencial. Ponavljajoče izvajanje nalog je namreč pri rehabilitaciji zgornjega uda (3, 4) dokazano učinkovito. Klasične oblike terapij izvedbo dejavnosti sicer pomembno izboljšajo, vendar imajo določene omejitve. Vadba s pomočjo navidezne resničnosti se vse pogosteje uporablja v rehabilitaciji, saj tehnologija postaja vedno bolj dostopna. Chen in sod. so ugotovili, da ta vadba statistično značilno vpliva na pacientovo vsakodnevno sodelovanje v terapevtskem programu (3). Kot razlog navajajo ciljno usmerjene naloge in veliko število ponovitev. Slednje je večkrat omenjena prednost robotske vadbe. V zadnjem desetletju je uporaba robotskih naprav za zgornji ud dobro vpeljana v rehabilitacijo na nevrološkem področju (5).

Armeo® Spring je prilagodljiv suspenzijski sistem za zgornji ud, ki je povezan z navidezno resničnostjo. Napravo predstavlja eksoskelet, ki podpira uporabnikovo roko in poveča vsako najmanjše gibanje, ki se pojavi v poškodovani roki v tridimenzionalnem prostoru. Na distalnem delu vključuje sistem za zaznavo jakosti prijema. Občutljivost sistema je nastavljiva glede na uporabnikove zmožnosti. Okolje navidezne resničnosti je oblikovano tako, da

ponuja različne nivoje težavnosti (smer gibanja, hitrost, območje gibanja) in storilnostno naravnane naloge. Sistem delovnemu terapevtu omogoča, da okolje prilagodi glede na uporabnikovo aktivno zmogljivost. Ponuja različne informacije gibanja (upor, moč, obseg giba in koordinacijo) za primerno prilagoditev uporabniku med celotno rehabilitacijo (6).

V URI – Soča zadnjih nekaj let uporabljamo robotsko vadbo zgornjega uda pri pacientih z okvarami perifernega živčevja, predvsem pri okvarah brahialnega pleteža. Pri pregledu literature smo ugotovili, da je na to temo zelo malo objav (2, 5). V prispevku smo zato želeli prikazati primer delovnoterapevtske obravnave pri pacientu s poškodbo brahialnega pleteža in ugotoviti, ali so učinki robotske terapije vidni tudi po daljšem časovnem obdobju po poškodbi.

Predstavitve je odobrila Komisija za medicinsko etiko URI – Soča.

METODE

Opis primera

31-letni desnični pacient se je 26. 5. 2020 poškodoval ob trčenju motorja z drugim vozilom. Urgentno je bil sprejet v bolnišnico, kjer so naslednji dan ugotovili nevrološki izpad v predelu od C4 do C6 desno. Opravili so magnetno resonančno slikanje (MR) rame in vratne hrbtenice, ki je pokazalo stanje po nategu ali delni rupturi mišice skalenus in zadebeljeno nitje desnega brahialnega pleteža v višini ključnice. Navajal je mravljinčenje in nevropatične bolečine po desni rami in desni nadlahti. 29. 5. 2020 so ga odpustili v domače okolje. Od drugih bolezni je imel še arterijsko hipertenzijo, sladkorno bolezen tipa 2 in debelost. Po poklicu je avtomehaničar in je redno zaposlen. Ob sprejemu na rehabilitacijo v URI – Soča 22. 6. 2020 je bila vidna začetna usahlost mišic ter izrazito zmanjšana moč mišic desnega ramenskega obroča in upogibalk komolca. Vključen je bil v program celostne rehabilitacije, ki je poleg klasičnega terapevtskega programa vključevala tudi vadbo s pomočjo robota. Elektromiografija, opravljena pri nas 21. 7. 2020,

je pokazala znake sveže nevrogene okvare v mišicah miotoma C5–C6 z znaki začetne reinervacije. V mišicah miotoma C7 je bil izvid praktično v mejah normale.

Ocenjevalni instrumenti

Za prepoznavanje težav pri izvajanju aktivnosti/dejavnosti smo uporabili polstrukturiran intervju, Kanadski test izvajanja dejavnosti – COPM (*angl.* Canadian Occupational Performance Measure). Z njim uporabniki izpostavijo težave na različnih področjih: skrb zase (osebna nega, funkcionalna mobilnost, obvladovanje skupnosti), produktivnost (plačano/neplačano delo, obvladovanje gospodinjstva, igra/šola) in prosti čas (mirno ter aktivno razvedrilo, socializacija). Preko analize poteka običajnega dne uporabnik izpostavi najpomembnejše dejavnosti. Z 10-stopenjsko lestvico oceni svoje dožemanje izvedbe in zadovoljstva z izvedbo. Preko izbranih dejavnosti lahko delovni terapevti načrtujemo obravnave, ki so usmerjene k cilju in za posameznika pomembne (7).

Jakost stiska pesti smo izmerili z elektronskim dinamometrom (Jamar Patterson Medical, 2016), ki je preprost, zanesljiv in veljaven pripomoček za merjenje mišične jakosti in vzdržljivosti zgornjega uda. Uporablja se kot ocenjevalni instrument pri okvarah zgornjega uda. Slabša moč cilindričnega prijema je pokazatelj slabše funkcionalne zmožnosti. Normativi se določijo glede na spol, starost in dominanco uporabnika (8, 9).

Krajša različica vprašalnika o funkcionalnosti zgornjega uda, ramena in roke (*angl.* Disabilities of the arm, shoulder and hand – QuickDASH) je zanesljiv in veljaven samoocenjevalni instrument. Ima 11 vprašanj, ki se nanašajo na uporabo poškodovanega zgornjega uda v vsakodnevnih situacijah. Kot primeren ocenjevalni instrument za sledenje napredka je uporaben v različnih fazah rehabilitacije. Za točkovanje se uporablja Likertova lestvica od 1 do 5. Možen je rezultat 0–100. Rezultat 100 pomeni popolno odsotnost funkcionalne zmožnosti z resnimi simptomi, rezultat 0 pa odsotnost znakov funkcijske nezmožnosti (10).

Funkcijski test zgornjega uda (*angl.* Action Research Arm Test – ARAT) je ocenjevalni instrument, ki ocenjuje grobe, cilindrične in pincetne prijeme ter grobe gibe zgornjega uda. Vseh možnih točk je 57. 0 točk pomeni, da uporabnik ni zmožen izvesti zahtevanih nalog, 57 točk pa, da uporabnik brez odstopanj opravi vse naloge (11).

Za meritve obsega gibanja smo uporabili napravo Armeo® Spring, ki omogoča izvedbo giba addukcije, abdukcije, retrofleksije, antefleksije, zunanje rotacije, notranje rotacije rame, ekstenzije in fleksije komolca ter pronacije in supinacije podlahti. Omogoča tudi nastavitve odzema teže ločeno na nadlahti in podlahti. Na nadlahti so stopnje odzema teže od A do I, kjer A pomeni 0 % podpore, I pa omogoča 100 % razbremenitve teže. Na podlahti so stopnje podpore od A do E, kjer A pomeni 0 % podpore, E pa omogoča 100 % razbremenitve teže.

Delovnoterapevtska obravnava

Uporabnik je bil od 22. 6. do 24. 8. 2020 v času hospitalizacije na URI - Soča vključen v delovnoterapevtsko obravnavo z robotsko vadbo na napravi Armeo® Spring. Rehabilitacija je potekala vsak dan od ponedeljka do petka, robotska obravnava je potekala v popoldanskem času, povprečno dvakrat tedensko, skupaj 15 vadb. Po zaključeni hospitalizaciji je bil od 1. 9. do 17. 11. 2020 vključen v ambulantno terapijo, v tem času je imel 20 robotskih obravnav. Sledila je daljša prekinitev, nato je od 6. 12. 2021 do 17. 1. 2022 opravil še sklop 10 robotskih obravnav. Skupno je imel 45 robotskih obravnav.



Slika 1: Uporabnik med robotsko terapijo na napravi Armeo® Spring.

Figure 1: User during robotic therapy on the Armeo® Spring device.

REZULTATI

Uporabnik po poškodbi brahialnega plečnega je bil vključen v obravnavo na napravi Armeo® Spring. Ob začetku je potreboval 100 % odzema teže tako na nadlahti kot na podlahti. Po 18 obravnava na robotski napravi je bilo izvedeno vmesno ocenjevanje napredka. Takrat se je podpora robotske naprave na nadlahti zmanjšala za eno stopnjo, na stopnjo H. Podpora na nadlahti je dosegla stopnjo A, torej odzem teže ni bil več potreben. Podpora robota na podlahti se je v času rehabilitacije zmanjšala za tri, na nadlahti za štiri stopnje. Izboljšala se je uporabnikova aktivna vključenost mišic zgornjega uda.

Ocenjevanje COPM je bilo izvedeno štirikrat. Povprečna ocena izvedbe se je v času hospitalizacije izboljšala za 4 točke, ocena zadovoljstva za 5,5 točke. Do naslednje meritve se je ocena izvedbe zmanjšala za 2 točki, ocena zadovoljstva za 3 točke. Po 10 terapijah je povprečna ocena izvedbe znašala 5,5, povprečna ocena zadovoljstva 4,5 (Tabela 1).

Tabela 1: Rezultati Kanadske metode ocenjevanja izvajanja dejavnosti (COPM).**Table 1:** Results of the Canadian Occupational Performance Measure (COPM).

Težave izvajanja dejavnosti/ Occupational performance problems	Točke izvedbe Scores for performance				Točke zadovoljstva Scores for satisfaction			
	8. 7. 20	28. 8. 20	1. 12. 21	17. 1. 22	8. 7. 20	28. 8. 20	1. 12. 21	17. 1. 22
Težja hišna opravila/ Heavier housework	3	7	4	6	3	10	5	5
Delo v službi/ Work	1	5	4	5	1	5	4	4
Povprečna vrednost/ Average value	2	6	4	5,5	2	7,5	4,5	4,5

Meritve jakosti stiska pesti so bile izvedene štirikrat. Moč stiska levece je bila pri vseh merjenjih v skladu z normativi. Moč stiska desnice je bila ob prvem ocenjevanju zmanjšana za približno polovico. Do drugega ocenjevanja se je moč izboljšala, nato po daljši prekinutvi ponovno nekoliko zmanjšala. Pri četrtem ocenjevanju ob zaključku rehabilitacije so bile vrednosti v obeh rokah v okviru normativov (Tabela 2).

Tabela 2: Rezultati merjenja jakosti stiska pesti.**Table 2:** Results of measurement of grip strength.

	Desna roka (kg)/ Right hand (kg)	Leva roka (kg)/ Left hand (kg)
Normativ/Normal value	54,8	50,1
8. 7. 2020	29	48,3
28. 8. 2020	47,1	52,6
1. 12. 2021	41,4	49,3
17. 1. 2022	53,5	52,4

Pri prvem ocenjevanju QuickDASH se je uporabnik ocenil s 57 točkami, ob koncu hospitalizacije se je rezultat izboljšal za 15 točk. Na tretjem ocenjevanju je njegov rezultat znašal 68 točk, ob koncu rehabilitacije 60 točk.

Ocenjevanje ARAT smo izvedli trikrat. Ob začetku rehabilitacije so se odstopanja pojavila na vseh ocenjevanih področjih, skupen rezultat ocenjevanja desne roke je znašal 19 točk. Na drugem ocenjevanju so se odstopanja pojavila le na področju pincetnih prijemov in grobih gibov. Skupno je dosegel rezultat 52 točk. Ob zaključku rehabilitacije je dosegel 53 točk (Tabela 3).

Armeo® Spring izmeri obseg gibljivosti, ki ga je uporabnik zmožen izvesti ob podpori robota. Ugotovili smo izboljšanje v vseh gibih zgornjega uda. Rezultate meritev obsega gibljivosti na robotski napravi Armeo® Spring ter spremembe zmognosti aktivnega gibanja v tridimenzionalnem prostoru predstavljamo v Tabeli 4.

Tabela 3: Rezultati funkcijskega testa zgornjega uda (ARAT).**Table 3:** Results of The Action Research Arm Test (ARAT).

Datum/ Date	Desna roka/Right hand				Skupno/ Total
	Grobi prijemi/ grasp	Cilindrični prijemi/ grasp	Pincetni prijemi/ pinch	Grobi gibi/gross movement	
8. 7. 2020	6/18	4/12	6/18	3/9	19/57
1. 12. 2021	18/18	12/12	15/18	7/9	52/57
17. 1. 2022	18/18	12/12	15/18	8/9	53/57

RAZPRAVA

V prispevku smo prikazali primer vpliva obravnave z robotsko vadbo pri pacientu s poškodbo brahialnega pleteža na njegove dejavnosti.

Z vprašalnikom COPM smo pridobili vpogled v dejavnosti, ki so uporabniku pomembne. Med rehabilitacijo se izbrane dejavnosti niso spremenile. V času hospitalizacije se je njegovo dožemanje izvedbe in zadovoljstva z izvedbo izbranih dejavnosti izrazito izboljšalo. To pripisujemo intenzivnim terapijam in celostni obravnavi. Po daljši prekinutvi in življenju v domačem okolju je izvajal izbrane dejavnosti. Ob tem smo ugotovili poslabšanje, kar pripisujemo večji kritičnosti in izkušnji v realnem kontekstu. Pri merjenju jakosti stiska pesti je viden napredek v sklopu strnjene rehabilitacije. V vmesnem času se je moč stiska v obeh rokah poslabšala. Ugotavljamo, da delovni terapevt načrtuje in strukturira strategije za krepitev moči, ki pomembno vplivajo na rezultat. Zgolj vključevanje v vsakodnevne aktivnosti v domačem okolju ne zadošča za vzdrževanje pridobljene jakosti stiska pesti.

Po zaključeni bolnišnični rehabilitaciji se je rezultat pri vprašalniku QuickDASH pomembno izboljšal. Po daljši prekinutvi se je rezultat poslabšal, verjetno zato, ker je pacient v domačem okolju prepoznal težave z izvedbo aktivnosti.

Tabela 4: Rezultati aktivnega obsega gibljivosti in gibanja v tridimenzionalnem prostoru (A-MOVE) na napravi Armeo® Spring.**Table 4:** Results of active range of motion and of active movement in tridimensional workspace (A-MOVE) on the Armeo® Spring device.

	9. 7. 2020	10. 9. 2020	6. 12. 2021	17. 1. 2022	Razlika/ Difference
Podpora nadlahti/Upper arm support	I	H	F	F	3 stopnje
Podpora podlahti/Forearm support	E	A	A	A	4 stopnje
Prostornina [cm ³]/Volume [cm ³]	78,343	151,188	430,675	400,834	322,491
Addukcija /Adduction	0°	0°	0°	0°	0°
Abdukcija /Abduction	27°	16°	18°	27°	0°
Retrofleksija /Retroflexion	40°	40°	40°	40°	0°
Antefleksija /Anteflexion	65°	70°	91°	124°	59°
Zunanja rotacija /External rotation	20°	33°	52°	52°	32°
Notranja rotacija /Internal rotation	82°	117°	120°	123°	41°
Ekstenzija komolca /Elbow extension	9°	14°	0°	0°	9°
Fleksija komolca /Elbow flexion	74°	104°	82°	105°	31°
Pronacija /Pronation	28°	70°	70°	70°	42°
Supinacija /Supination	62°	62°	63°	63°	1°

Pri ocenjevanju z ARAT je dosegel pomembno izboljšanje med prvimi in drugimi ocenjevanjem. Njegova izvedba nalog ob zaključku rehabilitacije pomeni minimalno odstopanje od normale. Na napravi Armeo® Spring je izvedel giba addukcije in retrofleksije v polnem obsegu gibljivosti že ob začetnem ocenjevanju. Pri gibu abdukcije ni prišlo do povečanja obsega gibljivosti, vendar se je enak obseg giba ohranil ob zmanjšani podpori robotske naprave. Največje izboljšanje je dosegel pri gibih antefleksije, pronacije, notranje rotacije, zunanje rotacije in fleksije komolca. Duret in sod. so v študiji primera odraslega moškega s poškodbo brahialnega plečja izvedli standardni program rehabilitacije z dodatkom robotske vadbe za zgornji ud (5). Ugotovili so izboljšanje kinematike gibanja v prvih šestih mesecih po operaciji. Naprava Armeo® Spring omogoča merjenje uporabnikovega dosega zgornjega uda v prostor. Dosežena prostornina se je izboljšala za 322,5 cm³. Tudi Cole in sod. so vključili robotsko terapijo v rehabilitacijo pacienta po poškodbi brahialnega plečja in ugotovili izboljšano kinematiko gibanja (2). Več avtorjev navaja prednosti stopnjevanja in prilagajanja količine pomoči v terapijah z robotsko vadbo, ki statistično pomembno vpliva na uporabnikovo sodelovanje v rehabilitaciji (3, 12). V delovnoterapevski obravnavi želimo pridobljeno gibanje na robotski napravi vključiti v izvedbo uporabniku pomembnih dejavnosti (2).

ZAKLJUČEK

Rezultati študije primera kažejo, da je vadba na robotski napravi lahko koristna dopolnilna metoda pri rehabilitaciji pacientov po poškodbi brahialnega plečja. Robotska vadba namreč omogoča večje število ponovitev in razbremeni terapevta. Poleg tega poveča

motivacijo pacienta. Naprava zazna že minimalne spremembe v napredku funkcije roke in omogoča učinkovito vrednotenje učinkov terapije. Kljub navedenim pozitivnim učinkom robotske vadbe je za dober izid rehabilitacije pomembno vključevanje ostalih terapevtskih metod.

Literatura:

1. Noland SS, Bishop AT, Spinner RJ, Shin AY. Adult traumatic brachial plexus injuries. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27:705–16.
2. Cole T, Nicks R, Ferris S, Paul E, O'Brien L, Pritchard E. Outcomes after occupational therapy intervention for traumatic brachial plexus injury: a prospective longitudinal cohort study. *J Hand Ther.* 2020;33:528–39.
3. Chen B, Liang RQ, Chen RY, Xu FY. The effect of virtual reality training on the daily participation of patients: a meta-analysis. *Complement Ther Med.* 2021;58: 102676.
4. Remy-Neris O. Rehabilitation robotics: the role of the exoskeleton. *Ann Phys Rehabil Med.* 2011;54:236.
5. Duret C, Goubier JN, Renaudin A, Legrand C, Drouard P, Grosmaire AG, et al. Intensive upper limb therapy including a robotic device after surgically repaired brachial plexus injury: a case study. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2019;55(4):534–6.
6. Colomer C, Baldoví A, Torromé S, Navarro MD, Moliner B, Ferri J, et al. Efficacy of Armeo® Spring during the chronic phase of stroke. Study in mild to moderate cases of hemiparesis. *Neurologia.* 2013;28:261–7.
7. Law M. COPM manual: the Canadian Occupational Performance Measure. 5th ed. Hamilton: Canadian Association of Occupational Therapists; 2019.

8. El-gohary TM, Abd Elkader SM, Al-Shenqiti AM, Ibrahim MI. Assessment of hand-grip and key-pinch strength at three arm positions among healthy college students: Dominant versus non-dominant hand. *J Taibah Univ Medical Sci.* 2019; 14:566–71.
9. Puh U. Age-related and sex-related differences in hand and pinch grip strength in adults. *Int J Rehabil Res.* 2010;33:4–11.
10. Kolber MJ, Salamh PA, Hanney WJ, Samuel Cheng M. Clinimetric evaluation of the disabilities of the arm, shoulder, and hand (DASH) and QuickDASH questionnaires for patients with shoulder disorders. *Phys Ther Rev.* 2014;9:163–73.
11. Puh U, Lubej S. Merske lastnosti funkcijskega testa zgornjega uda. *Fizioterapija.* 2017;25:9–20.
12. Nelson CA, Nouaille L, Poisson G. A redundant rehabilitation robot with a variable stiffness mechanism. *Mech Mach Theory.* 2020;150(12):103862.