

# MNENJE UPORABNIKOV ELEKTRIČNIH PROTEZ V SLOVENIJI O POMENU ZAZNAVANJA S PROTEZO

## OPINION OF MYOELECTRIC UPPER LIMB PROSTHESIS USERS IN SLOVENIA ABOUT IMPORTANCE OF SENSATION WITH PROSTHESIS

Helena Burger<sup>1,2</sup>, dr. med., Darinka Brezovar<sup>1</sup>, dipl. del. ter., Matej Burgar<sup>1</sup>, ing. orto. in prot., Maja Mlakar<sup>1</sup>, ing. orto. in prot., Tomaž Kos<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana

<sup>2</sup>Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani

<sup>3</sup>MatTeh, svetovanje in razvoj, dr. Tomaž Kos s.p.

### Izvleček

#### Izhodišča:

Glavna pomanjkljivost protez za zgornje ude je, da uporabnik s protezo ne čuti. Zanimalo nas je mnenje uporabnikov električnih protez v Sloveniji o ideji in pomenu zaznavanja s protezo, kako pomembne so zanje dejavnosti, za katere menimo, da bi jim zaznavanje najbolj pomagalo, ter o prednostih in pomanjkljivostih obstoječe mioelektrične proteze.

#### Metode:

K sodelovanju v raziskavi smo povabili vse polnoletne uporabnike mioelektričnih protez v Sloveniji in vse polnoletne osebe, ki so v zadnjih desetih letih uporabljale mioelektrično protezo (skupno 34 oseb). Poslali smo jim vprašalnik s 14 vprašanji, ki smo mu priložili opis internega projekta, pristopno izjavo za sodelovanje in pisemsko ovojnico z znamko in naslovom za vračilo izpolnjenega vprašalnika.

#### Rezultati:

Dobili smo 11 izpolnjenih vprašalnikov. Sedem uporabnikov mioelektričnih protez je odgovorilo, da je za njih izjemno pomembno, da bi s protezno roko lahko čutili, zelo pomembno pa je tudi rokovanje s krhkimi predmeti. Po pomembnosti je temu sledila možnost, da si lahko očistijo rokavico. Deset oseb bi si želelo čutiti stik s predmetom, devet drsenje predmeta in silo stiska oziroma prijema ter sedem, da bi zaznali temperaturo predmeta. Šest uporabnikov bi si želelo dobiti

### Abstract

#### Background:

*The main limitation of current upper limb prostheses is lack of sensation. We wanted to find out the opinion of upper-limb prosthesis users in Slovenia about the importance of sensation with prosthesis, how important are for them the activities for which sensation is important, and about advantages and disadvantages of their myoelectric prosthesis.*

#### Methods:

*We prepared a survey with 14 questions and sent it together with information about the project, informed consent and post envelope with stamp and our address on it to all current users of a myoelectric prosthesis in Slovenia or those who had worn it in the last ten years, aged at least 18 years; altogether to 34 people.*

#### Results:

*We received 11 answers. For seven myoelectric prosthesis users, it is extremely important that they can feel with the prosthetic hand and also manipulate fragile objects, followed by the ability to clean the glove. Ten respondents would want to feel the touch of the object, nine the sliding of the object and the grip force, and seven to also feel the temperature of the object. Six participants preferred to get information via vibration, two with vision, one by vision and sound, and one by vision and vibration.*

povratne informacije s pomočjo vibracije, dva s pomočjo vida in po eden z vidom in zvokom oziroma vidom in vibracijo.

### Zaključek:

Za uporabnike mioelektričnih protez, ki so nam odgovorili, je zaznavanje s protezo zelo pomembno.

### Ključne besede:

proteze za zgornje ude; zaznavanje; amputacija zgornjega uda

### Conclusions:

*Sensation with prosthesis is very important for myoelectric prosthesis users who responded to our survey.*

### Key words:

*upper limb prostheses; sensation; upper limb loss*

## UVOD

Človeška roka ima dve pomembni funkciji, gibanje in zaznavanje, ob tem pa pomembno vlogo igra tudi videz roke. Z amputacijo dela ali celega zgornjega uda oseba izgubi vse te funkcije. Ena od možnosti povrnitve zmožnosti gibanja, zaznavanja in estetskega videza je uporaba različnih protez, od pasivnih – estetskih, do funkcionalno-mehanskih in (mio)električnih protez.

Vse tri vrste protez imajo svoje prednosti in pomanjkljivosti (1). Pasivne – estetske proteze v večini povrnejo le del videza. V kolikšni meri povrnejo videz, je odvisno od njihovega načina izdelave oz. vrste materiala - lahko so izdelane iz silikona, lahko pa uporabimo klasično pasivno protezno roko, ki je prekrita z rokavico. Rokavice so lahko serijsko izdelane iz polivinilklorida (PVC) ali silikona ali pa individualno izdelane iz silikona. Fraser (2) ugotavlja, da si uporabniki s pasivnimi protezami, ki imajo predvsem vpliv na estetiko, lahko pomagajo tudi pri različnih opravilih (2).

Funkcionalno-mehanske proteze upravljamo s hotenimi, neodvisnimi gibi telesa, za katere je vir energije telo uporabnika. Povrnejo le del motorične funkcije (pincetni prijem, večinoma pasivno gibanje v zapestju – rotacije in le pri redkih zapestjih tudi dorzalno oz. palmarno fleksijo; možna je aktivna fleksija v komolcu ter delna pasivna rotacija). Povrnitev funkcije je odvisna tudi od uporabnikove sposobnosti razviti potrebne sile za upravljanje končnega nastavka. V primeru, da je končni nastavek roka, rokavica, ki jo prekriva, daje dodaten upor ter poveča potrebno silo za odpiranje oz. zapiranje končnega nastavka (3 - 5). Smit in Plettenburg (4) ugotavljata, da je najmanjša sila potrebna za upravljanje kljuke podjetja TRS (33 N za silo prijema 15 N), ki ima tudi najmanjšo izgubo energije (52 Nmm). Največja sila je potrebna za odprtje protezne roke »Hosmer soft«, to je 131 N za silo prijema 15 N. Ta protezna roka ima tudi največjo izgubo energije (1409 Nmm) (4). Gibanje manj ovirajo rokavice iz silikona (3). Funkcionalno-mehanske proteze videz povrnejo le delno, saj imajo serijsko izdelano protezno roko in PVC ali silikonsko rokavico. Nekateri avtorji menijo, da naj bi funkcionalno-mehanske proteze uporabniku preko podaljšane fiziološke propriocepcije (*angl.* extended physiological proprioception) (5 - 8) dale nekaj informacij o jakosti prijema in položaju proteze

v prostoru (1). Podaljšana fiziološka propriocepcija pomeni, da iz informacij, ki jih dobimo iz receptorjev preostalih sklepov in mišic zgornjega uda ter trupa, vemo, kje v prostoru je proteza (ali orodje ali športni rekvizit, npr. lopar, ki ga držimo v roki).

Najbolje zmožnosti gibanja povrnejo (mio)električne proteze. Najnaprednejša, komercialno dostopna, vsaj v Združenih državah Amerike, je DEKA 3 proteza (*angl.* DEKA Arm Gen 3) podjetja DEKA Integrated Solutions Corp., ki ima šest različnih prijemov in po štiri gibe v zapestju, komolcu in ramenu (9, 10). Povrnitev videza je enaka kot pri funkcionalno-mehanskih, ne povrnejo pa zaznavanja, zato jih morajo uporabniki ves čas nadzorovati z vidom. Za upravljanje vseh teh gibov uporabljajo številne različne senzorje (9, 10), zato je upravljanje za uporabnika zelo zahtevno (11, 12). Hancock in sodelavci zato pred odločitvijo o oskrbi s tako protezo in postavljanjem ciljev rehabilitacije priporočajo oceno kognitivnega stanja osebe (12). Povrnitev videza je enaka kot pri funkcionalno-mehanskih protezah. Glavna razlika med (mio)električnimi in funkcionalno-mehanskimi protezami je v povrnitvi zaznavanja. Mioelektrične proteze zaznavanja ne povrnejo (5, 13), zato je pri njih še toliko bolj potrebno, da jih uporabnik ves čas nadzoruje z vidom (5, 13, 14).

Vse več raziskovalnih skupin po svetu išče način, kako osebam po amputaciji zgornjega uda, ki uporabljajo protezo, povrniti vsaj del zaznavanja (4, 15 - 30), vendar so vse ideje zaenkrat še v fazi raziskav. Dve glavni možnosti za povrnitev zaznavanja sta neinvazivni in invazivni način. Neinvazivne možnosti predstavljajo uporaba vibracije (15, 16, 25 - 27), pritiska (17 - 19, 28, 29), površinske električne stimulacije (20-22), zaznavanje natega kože (23) in pritiska na sklep (24). Invazivne možnosti povrnitve zaznavanja so povezane z različnimi kirurškimi posegi in implantacijami (4, 30).

Tomaž Kos je želel (31), da bi sistem za zaznavanje z mioelektričnimi protezami razvili v Sloveniji. Pred začetkom razvoja smo želeli preveriti, kakšno je mnenje uporabnikov električnih protez v Sloveniji o ideji razvoja sistema zaznavanja, kaj menijo o pomenu zaznavanja s protezo, kako pomembne so zanje dejavnosti, za katere menimo, da bi jim zaznavanje najbolj pomagalo ter kakšno je njihovo mnenje o prednostih in pomanjkljivostih mioelektrične proteze, ki jo trenutno uporabljajo.

## METODE

Pripravili smo vprašalnik s 14 vprašanji (Priloga 1). Vprašalnik smo pripravili posebej za našo študijo, ker v obstoječi literaturi nismo našli vprašalnika, s katerim bi dobili odgovore na vprašanja o temi, ki smo jo želeli proučiti. Sedem vprašanj je bilo oblikovanih tako, da so uporabniki odgovorili s pomočjo številčne lestvice od nič (povsem nezadovoljen ali povsem nepomembno) do 10 (bolj zadovoljen ne morem biti ali izjemno pomembno). Pri štirih vprašanjih so imeli uporabniki na voljo več možnih odgovorov. Na koncu smo za uporabnike pripravili še tri vprašanja odprtega tipa.

Vprašalnik smo po pošti skupaj z opisom internega projekta, ki poteka na Univerzitetnim Rehabilitacijskem inštitutu Republike Slovenije – Soča (URI – Soča), pristopno izjavo za sodelovanje v raziskavi in pisemsko ovojnico z znamko in naslovom URI – Soča poslali vsem polnoletnim uporabnikom mioelektričnih protez v Sloveniji, tj. 12 osebam, in vsem polnoletnim osebam, ki so v zadnjih desetih letih uporabljale mioelektrično protezo, tj. še 22 osebam (skupno 34).

Študijo je odobrila etična komisija URI – Soča dne 3. 6. 2019 (št. 20/2019).

## REZULTATI

Dobili smo 11 (32 %) izpolnjenih vprašalnikov. Poleg tega sta se dve pisemski ovojnici vrnili zaprti zaradi naslova, ki ni bil več pravi, saj sta se uporabnika preselila. Od 11 oseb, ki so poslale izpolnjeni vprašalnik, jih je bilo osem (sedem jih še vedno uporablja mioelektrično protezo in eden ne več) pripravljenih sodelovati v nadaljnjem testiranju in so izpolnili pristopno izjavo. Tri osebe so vrnile le izpolnjen vprašalnik brez pristopne izjave, zato njihovih osebnih podatkov ne poznamo ter ne vemo, ali sodijo v skupino oseb, ki protezo še uporablja ali v tisto, ki je ne uporablja več. Osnovni demografski in klinični podatki o osebah so natančneje prikazani v Tabeli 1. Odgovore na vprašanja, na katera so osebe odgovarjale na številčni lestvici od nič do deset, prikazuje Tabela 2.

Deset od enajstih oseb bi si želelo čutiti stik s predmetom, devet drsenje predmeta in silo stiska oziroma prijema ter sedem tudi temperaturo predmeta. Šest si jih želi dobiti povratne informacije z vibracijo, dva z vidom in po eden z vidom in zvokom oziroma vidom in vibracijo. Pet bi jih želelo spremeniti videz rokavice, štirje ne, dva na to vprašanje nista odgovorila.

Kar šest jih je kot glavno opravilo, za katero uporabljajo protezo, napisalo vožnjo avtomobila, štirje aktivnosti, povezane s pripravo hrane (kuhanje, odpiranje plastenk, steklenic), po dva uporabo računalnika ter dvigovanje ali nošenje predmetov ter po eden nego in zavežovanje čevljev. Kot glavno prednost proteze so štirje uporabniki navedli funkcionalnost (samostojnost, neodvisnost, pomoč pri opraviilih) in štirje prijem. Kot glavno pomanjkljivost proteze sta dva uporabnika navedla težko čiščenje rokavice, dva hitro umazanost rokavice in dva nefunkcionalnost. Po eden pa so navedli še počasen odziv, ni občutka, motnje delovanja pri uporabi električnih aparatov ter da se rokavica hitro uniči.

## RAZPRAVA

Ugotovili smo, da je za večino uporabnikov (sedem od 11) izjemno pomembno, da bi s protezno roko lahko čutili, zelo pomembna pa jim je tudi možnost rokovanja s krhkimi predmeti. Rokovanje s krhkimi predmeti je lažje in boljše, če imamo povratne informacije o tem, kaj se v naših rokah s krhkim predmetom dogaja. Osebe, ki so odgovorile na vprašanja, si večinoma želijo občutiti tako stik kot tudi drsenje predmeta, silo prijema in temperaturo. Nekoliko v nasprotju s temi ugotovitvami je, da je le eden od enajstih izpostavil, da je glavna pomanjkljivost proteze, da z njo ne čuti. Morda bi temu lahko dodali tudi tista dva, ki sta napisala, da je glavna pomanjkljivost, da proteza ni funkcionalna, saj prejšnje študije ugotovljajo, da uporabniki protez in strokovnjaki, ki delajo z njimi, pod funkcijo proteze razumejo tako motorično funkcijo kot tudi zaznavanje (35, 36). Kljub temu menimo, da naši rezultati potrjujejo smiselnost razvoja sistema, ki bi uporabnikom protez za zgornje ude omogočil vsaj minimalno zaznavanje. V svetu potekajo številne študije, kako uporabnikom protez za zgornje ude povrniti vsaj del zmožnosti občutenja (4 - 29), vendar pričakujemo, da bodo sistemi, ki in ko bodo prišli na tržišče, dragi in za uporabnike protez za zgornje ude v Sloveniji zato težko dostopni. Razvoj enostavnega in poceni domačega sistema bi bil za uporabnike protez za zgornje ude v Sloveniji velika prednost. Večina si jih želi, da bi povratne informacije dobili z vibracijo, o čemer tudi v svetu potekajo številne raziskave (15, 16, 25 - 27).

Zaznavanje je še posebej pomembno za osebe po amputaciji obeh zgornjih udov. S protezami jim odvzamemo zaznavanje s krni, kar lahko dodatno vpliva na sprejetje ali zavrnitev protez. Zato je veljalo, da slepim po amputaciji obeh zgornjih udov kirurg naredi operacijo po Krukenbergu (32). Pri tej operaciji loči radius in ulno ter oblikuje škarjast prijem. Pomen zaznavanja za osebe po amputaciji obeh zgornjih udov potrjujejo tudi naši rezultati, saj so kar tri od petih oseb po obojestranski amputaciji zgornjega uda, ki še uporabljajo električno/i protezo/i, pripravljene sodelovati. Števila oz. deleža oseb po amputaciji obeh zgornjih udov, ki proteze ne uporabljajo več, ne moremo primerjati s številom oz. deležem oseb po amputaciji enega zgornjega uda, ki proteze več ne uporabljajo. Kar nekaj od njih jih namreč uporablja pasivno ali funkcionalno mehansko protezo. Številnim smo glede na končano srednjo šolo in poklic, ki so si ga izbrali, svetovali prehod na drugačno vrsto proteze, nekateri pa so se za spremembo odločili sami.

Skoraj enako pomembno kot zaznavanje je za naše uporabnike protez za zgornje ude možnost, da si rokavico proteze lahko očistijo. Dejstvo, da je rokavico proteze težko očistiti in se po drugi strani rokavica proteze tudi hitro umaže, so bile tudi najbolj pogosto izpostavljene pomanjkljivosti obstoječe proteze. To se tudi ujema z našimi rezultati izpred 25 let (33). Tudi iz kliničnih izkušenj vemo, da se rokavice zelo hitro zamažejo, zlasti z barvo za blago in tiskarsko barvo. Skoraj nemogoče jih je povsem očistiti. Zaščita z dodatno rokavico, kot priporočajo nekateri proizvajalci, ni praktična, čistila, ki jih prodajajo, pa so draga in niso tako učinkovita, kot bi si želeli.

Tabela 1: Osnovni demografski in klinični podatki.

Table 1: Basic demographic and clinical data.

	Še uporabljajo mioelektrično protezo Still using myoelectric prosthesis		Ne uporabljajo več električne proteze Stopped to use myoelectric prosthesis	
	Vsi (n=12)	Pripravljene sodelovati (n=7)	Vsi (n=22)	Pripravljene sodelovati (n=1)
	All (n=12)	Willing to participate (n=7)	All (n=22)	Willing to participate (n=1)
<b>Spol (moški/ženske)</b> <b>Sex (men/women)</b>	7/5	4/3	16/6	1/0
<b>Starost (mediana) [leta]</b> <b>Age (median) [years]</b>	18 - 83 (25)	18 - 83 (36)	18 - 46 (25)	25
<b>Višina amputacije</b> <b>Amputation level</b>				
<b>V zapestju</b> <b>Wrist disarticulation</b>	-	-	1	-
<b>Transradialna</b> <b>Trans-radial</b>	7	4	18	1
<b>V komolcu</b> <b>Elbow disarticulation</b>	-	-	1	-
<b>Obojestranska vsaj na eni strani v zapestju ali višje, na drugi pa ni funkcionalnega prijema</b> <b>Bilateral on one side at least wrist disarticulation and on the other no functional grip or grasp</b>	5	3	2	-
<b>Vzrok amputacije</b> <b>Cause of amputation</b>				
<b>Prirojena</b> <b>Congenital</b>	7	3	14	1
<b>Poškodba</b> <b>Injury</b>	5	4	8	-
<b>Vrsta protezne roke</b> <b>Type of prosthetic hand</b>				
<b>Klasična</b> <b>Classic</b>	9	5	20	1
<b>Bionična</b> <b>Bionic</b>	3	2	2	-

Presenetljiva je ugotovitev, da je za uporabnike, ki so nam odgovorili, nekoliko manj pomembno, da se na rokavici vidijo podrobne značilnosti kože. Po naših izkušnjah in prejšnjih študijah, predvsem pri osebah po amputaciji dela roke in prstov, je videz, vključno s podrobnimi značilnostmi kože, zelo pomemben (33, 36, 37). Tudi drugi avtorji ugotavljajo, da je za uporabnike protez za zgornje ude videz proteze pomemben (38, 39). Ljudje, ki že dolgo uporabljajo protezo za zgornje ude, na njen videz gledajo drugače kot osebe kmalu po amputaciji ali kot strokovnjaki, vključno s strokovnjaki z veliko let delovnih izkušenj na področju protetike zgornjega uda (39).

Kar šest uporabnikov je kot glavno dejavnost, ki jo opravljajo s protezo, navedlo vožnjo. Pri tem številu je potrebno upoštevati, da dve osebi še nimata voznškega izpita. Vožnjo z mioelektrično protezo v klinični praksi odsvetujemo in vse, ki želijo voziti, ko dopolnijo 17 let ali ko menimo, da obvladajo uporabo proteze, napotimo v ambulanto za voznike na oceno voznških sposobnosti in svetovanje potrebnih prilagoditev za varno vožnjo. Rezultati analize teh sposobnosti so predstavljeni v drugi študiji (40). Glavna nevarnost vožnje z (mio)električno protezo je, da se uporabniku lahko izprazni baterija in zato volana ne more spustiti ali ga pripraviti. Kljub temu številni uporabniki protez za zgornje ude

**Tabela 2:** Zadovoljstvo z obstoječo protezo, pomen zaznavanja s protezo in pomen videza proteze (0 – povsem nezadovoljen/-na ali povsem nepomembno, 10 – bolj zadovoljen/-na ne morem biti ali izjemno pomembno).**Table 2:** Satisfaction with current prosthesis, importance of sensation and cosmesis of the prosthesis (0 – completely unsatisfied or not important at all, 10 – cannot be more satisfied or extremely important).

Vprašanje/odgovori (ocena zadovoljstva) Question/answer (evaluation of satisfaction)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kako zadovoljni ste z obstoječo protezo? How satisfied are you with your current prosthesis?	-	-	-	-	1	1	2	2	2	1	2
Kako pomembno/a je za vas,... How important is it for you ...											
da bi s protezo čutili? to feel with prosthesis?	-	-	-	-	-	-	1	-	3	-	7
rokovanje s krhkimi predmeti? manipulation with fragile objects?	-	-	-	-	-	-	1	2	4	-	4
videz proteze? cosmesis?	-	-	-	1	-	-	1	1	2	1	5
barva rokavice? colour of the glove?	-	-	-	1	-	1	-	1	3	2	3
da lahko rokavico dobro očistite? possibility to clean the glove?	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	7
da se na rokavici vidijo detajli kože? visible skin details on the glove?	1	-	-	-	-	-	1	4	3	-	2

le-te uporabljajo za vožnjo (40, 41), večinoma za prestavljanje prestav. Če oseba s protezo drži volan, medtem ko z drugo roko prestavlja ali ima amputacijo obeh zgornjih udov, bi jim sistem zaznavanja s protezo med vožnjo lahko dal potrebno informacijo o jakosti stiska volana in predvsem o drsenju volana v protezi ter s tem pripomogel k varnejši vožnji s protezo.

Naslednja dejavnost, pri kateri naši uporabniki najbolj pogosto uporabljajo protezo, je pripravljanje hrane. Iz izkušenj vemo, da je pri številnih delih priprave hrane (ubijanje jajc, rokovanje s predmeti iz stekla, keramike in porcelana, rezanje, lupljenje predvsem mehkejših hrane, npr. paradižnika, trganje groznih jagod) zaznavanje izjemnega pomena. Vendar pa Fraser (2) ugotavlja, da tudi pasivne proteze izkušenim uporabnikom pri teh opravilih lahko nekoliko pomagajo.

Glavna pomanjkljivost naše študije je majhen vzorec. V Sloveniji imajo po Pravilih obveznega zdravstvenega zavarovanja (42) pravico do električne proteze le otroci in mladostniki, dokler se redno šolajo oz. najdalj do dopolnjenega 26. leta. Kasneje lahko za električno protezo zaprosijo po 259. členu Pravil obveznega zdravstvenega zavarovanja (42). Zato imamo v Sloveniji zelo malo odraslih oseb, ki uporabljajo (mio)električno protezo. Vzorec, ki smo ga dobili, je bistveno večji, kot v katerikoli naši študiji pri ljudeh po amputaciji zgornjega uda do sedaj (34, 37, 40, 43), se pa od prejšnjih vzorcev razlikuje tudi po tem, da v njem ni oseb po transhumeralni ali višji amputaciji; višji je tudi odstotek oseb s prirojeno amputacijo (34, 37, 40, 43). Do sedaj smo le trem Slovencem po transhumeralni amputaciji aplicirali električno

protezo, vendar so jo vsi nehali uporabljati pred več kot desetimi leti. Eden jo je nehali uporabljati, ker otroški električni komolec ni bil dovolj močen, da bi lahko skrčil/dvignil podlahtni del proteze z odraslo električno roko, drugi, ker se mu je zdela pretežka in premalo uporabna, tretji pa kljub intenzivni delovni terapiji ni nikoli povsem osvojil njene uporabe.

## ZAKLJUČEK

Za uporabnike mioelektričnih protez, ki so nam odgovorili, je zaznavanje s protezo zelo pomembno. Rezultati so osnova za nadaljevanje internega projekta razvoja sistema zaznavanja z električno protezo.

## Literatura:

- Carey SL, Lura DJ, Highsmith MJ; CP; FAAOP. Differences in myoelectric and body-powered upper-limb prostheses: systematic literature review. *J Rehabil Res Dev.* 2015; 52(3): 247-62.
- Fraser CM. An evaluation of the use made of cosmetic and functional prostheses by unilateral upper limb amputees. *Prosthet Orthot Int.* 1998; 22(3): 216-23.
- Smit G, Plettenburg DH. Comparison of mechanical properties of silicone and PVC (polyvinylchloride) cosmetic gloves for articulating hand prostheses. *J Rehabil Res Dev.* 2013; 50(5): 723-32.
- Smit G, Plettenburg DH. Efficiency of voluntary closing hand and hook prostheses. *Prosthet Orthot Int.* 2010; 34(4): 411-27.



5. Hichert M, Abbink DA, Kyberd PJ, Plettenburg DH. High cable forces deteriorate pinch force control in voluntary-closing body-powered prostheses. *PLoS One*. 2017; 12(1): e0169996.
6. Simpson DC. The choice of control system for the multi-movement prosthesis: extended physiological proprioception (EPP). In: Herberts P, ed. *The control of upper-extremity prostheses and orthoses*. Springfield: Charles Thomas; 1974.
7. Doubler JA, Childress DS. An analysis of extended physiological proprioception as a prosthesis-control technique. *J Rehabil Res Dev*. 1984; 21(1): 5-18.
8. Doubler JA, Childress DS. Design and evaluation of a prosthesis control system based on the concept of extended physiological proprioception. *J Rehabil Res Dev*. 1984; 21(1): 19-31.
9. Resnik L, Klinger SL, Etter K. The DEKA Arm: its features, functionality, and evolution during the Veterans Affairs Study to optimize the DEKA Arm. *Prosthet Orthot Int*. 2014; 38(6): 492-504.
10. Resnik L, Klinger SL, Etter K, Fantini C. Controlling a multi-degree of freedom upper limb prosthesis using foot controls: user experience. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2014; 9(4): 318-29.
11. Resnik L, Borgia M, Latlief G, Sasson N, Smurr-Walters L. Self-reported and performance-based outcomes using DEKA Arm. *J Rehabil Res Dev*. 2014; 51(3): 351-62.
12. Hancock L, Correia S, Ahern D, Barredo J, Resnik L. Cognitive predictors of skilled performance with an advanced upper limb multifunction prosthesis: a preliminary analysis. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2017; 12(5): 504-11.
13. Cordella F, Ciancio AL, Sacchetti R, Davalli A, Cutti AG, Guglielmelli E, et al. Literature review on needs of upper limb prosthesis users. *Front Neurosci*. 2016; 10: 209.
14. Bouwsema H, Kyberd PJ, Hill W, van der Sluis CK, Bongers RM. Determining skill level in myoelectric prosthesis use with multiple outcome measures. *J Rehabil Res Dev*. 2012; 49(9): 1331-48.
15. D'Alonzo M, Cipriani C, Carrozza MC. Vibrotactile sensory substitution in multi-fingered hand prostheses: evaluation studies. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*. 2011; 2011: 5975477.
16. Witteveen HJ, Rietman HS, Veltink PH. Vibrotactile grasping force and hand aperture feedback for myoelectric forearm prosthesis users. *Prosthet Orthot Int*. 2014; 39: 204-12.
17. Meek SG, Jacobsen SC, Goulding PP. Extended physiologic tactation: design and evaluation of a proportional force feedback system. *J Rehabil Res Dev*. 1989; 26: 53-62.
18. Patterson PE, Katz JA. Design and evaluation of a sensory feedback system that provides grasping pressure in a myoelectric hand. *J Rehabil Res Dev*. 1992; 29: 1-8.
19. Patterson PE, Katz JA. A sensory feedback system for grasping pressure in a myoelectric hand. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. New Orleans: IEEE; 1988: 1564-65.
20. Shannon GF. A myoelectrically-controlled prosthesis with sensory feedback. *Med Biol Eng Comput*. 1979; 17: 73-80.
21. Scott RN, Brittain RH, Caldwell RR, Cameron AB, Dunfield VA. Sensory-feedback system compatible with myoelectric control. *Med Biol Eng Comput*. 1980; 18: 65-9.
22. Prior RE, Lyman J. Electrocutaneous feedback for artificial limbs. Summary progress report. February 1, 1974, through July 31, 1975. *Bull Prosthet Res*. 1975; (10-24): 3-37.
23. Wheeler J, Bark K, Savall J, Cutkosky M. Investigation of rotational skin stretch for proprioceptive feedback with application to myoelectric systems. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2010; 18: 58-66.
24. Gillespie RB, Contreras-Vidal JL, Shewokis PA, O'Malley MK, Brown JD, Agashe H, et al. Toward improved sensorimotor integration and learning using upper-limb prosthetic devices. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*. 2010; 2010: 5077-80.
25. Pena AE, Rincon-Gonzalez L, Abbas JJ, Jung R. Effects of vibrotactile feedback and grasp interface compliance on perception and control of a sensorized myoelectric hand. *PLoS One*. 2019; 14(1): e0210956.
26. Aboseria M, Clemente F, Engels LF, Cipriani C. Discrete vibro-tactile feedback prevents object slippage in hand prostheses more intuitively than other modalities. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2018; 26(8): 1577-84.
27. Raveh E, Portnoy S, Friedman J. Adding vibrotactile feedback to a myoelectric-controlled hand improves performance when online visual feedback is disturbed. *Hum Mov Sci*. 2018; 58: 32-40.
28. Wijk U, Svensson P, Antfolk C, Carlsson IK, Björkman A, Rosén B. Touch on predefined areas on the forearm can be associated with specific fingers: towards a new principle for sensory feedback in hand prostheses. *J Rehabil Med*. 2019; 51(3): 209-16.
29. Li K, Fang Y, Zhou, Y, Liu H. Non-invasive stimulation-based tactile sensation for upper-extremity prosthesis: a review. *IEEE Sens J*. 2017; 17(9): 2625-35.
30. George JA, Davis TS, Brinton MR, Clark GA. Intuitive neuromyoelectric control of a dexterous bionic arm using a modified Kalman filter. *J Neurosci Methods*. 2020; 330: 108462.
31. Patent A50548/2019: Rückmeldungssystem für eine Prothese, insbesondere für eine Armprothese, und Verfahren zum Erzeugen eines Stimulus für den Träger der Prothese mittels eines solchen Rückmeldungssystems. Wien: Österreichischen Patentamt; 2019.
32. Krajčich JI, Pinzur MS, Potter BK, Stevens PM. 4th ed. *Atlas of amputations and limb deficiencies: surgical, prosthetic, and rehabilitation principles*. Rosemont: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2016: 244.
33. Burger H, Marinček Č. Upper limb prosthetic use in Slovenia. *Prosthet Orthot Int*. 1994; 18: 25-33.
34. Burger H, Giordano A, Mlakar M, Albensi C, Brezovar D, Franchignoni F. Cross-cultural adaptation and Rasch validation of the Slovene version of the Orthotics and Prosthetics Users' Survey (OPUS) Client Satisfaction with Device (CSD) in upper-limb prosthesis users. *Ann Phys Rehabil Med*. 2019; 62: 168-73.
35. Schultz AE, Baade SP, Kuiken TA. Expert opinions on success factors for upper-limb prostheses. *J Rehabil Res Dev*. 2007; 44(4): 483-9.
36. Burger H, Maver T, Marinček Č. Partial hand amputation and work. *Disabil Rehabil*. 2007; 29: 1317-21.
37. Kuret Z, Burger H, Vidmar G, Maver T. Adjustment to finger amputation and silicone finger prosthesis use. *Disabil Rehabil*. 2019; 41(11): 1307-12.
38. LeBlanc M. Use of prosthetic prehensors. *Prosthet Orthot Int*. 1988; 12(3): 152-4.
39. Buckingham G, Parr J, Wood G, Day S, Chadwell A, Head J, et al. Upper- and lower-limb amputees show reduced levels of eeriness for images of prosthetic hands. *Psychon Bull Rev*. 2019; 26(4): 1295-302.
40. Burger H, Marinček Č. Driving ability following upper limb amputation. *Prosthet Orthot Int*. 2013; 37: 391-5.
41. Datta D, Selvarajah K, Davey N. Functional outcome of patients with proximal upper limb deficiency - acquired and congenital. *Clin Rehabil*. 2004; 18(2): 172-7.
42. Pravila obveznega zdravstvenega zavarovanja. Dostopno na: <http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV3562> (citirano 17. 4. 2020).
43. Mlakar M, Burger H, Toman P, Vidmar G. Zadovoljstvo oseb po amputaciji zgornjega uda s protezo. *Rehabilitacija*. 2015; 14: 51-6.

