

Predikcija ishoda protetičke rehabilitacije nakon amputacije donjih ekstremiteta uz oslonac na algoritme veštačke inteligencije

Jovana Arsenović, Aleksandar Knežević, Mirna N. Kapetina i Zoran D. Jeličić

Apstrakt—Protetička rehabilitacija trenutno predstavlja najbolji tretman za pacijente sa amputacijom donjih ekstremiteta. Međutim, fabrikacija proteze i prateća protetička rehabilitacija predstavljaju veoma dug i skup proces koji nekada ne dovodi do poboljšanja mobilnosti i kvaliteta života pacijenata. Zbog toga je neophodno predvideti ishod rehabilitacionog tretmana. Glavni zadatak ovog rada bio je da se napravi alat, uz oslonac na algoritme veštačke inteligencije, koji bi se mogao primeniti u ranim fazama, kako bi se napravila što bolja predikcija ishoda rehabilitacije pacijenata sa amputacijom donjih ekstremiteta, odnosno kako bi se predvideo K-nivo (engl. *Medicare Functional Classification Level, K-level*), ishod testa dvominutnog hoda (engl. *two minute walk test*) i testa ustani i kreni (engl. *timed up and go test*). Evaluacija modela vršena je nad realnim podacima pacijenata Klinike za rehabilitaciju, Kliničkog centra Vojvodine. Dobijeni rezultati pokazuju značajno poboljšanje, u pogledu performansi klasifikatora, u odnosu na prethodne metode i potvrđuju izbor nekih od najznačajnijih parametara prilikom identifikacije pacijenata.

Ključne reči—Predikcija, veštačka inteligencija, metoda vektora nosača - SVM, stabla odluke, amputacija, rehabilitacija.

I. UVOD

Amputacija donjih ekstremiteta predstavlja hirurški postupak koji se primenjuje radi odstranjenja ishemičnog, inficiranog, nekrotičnog tkiva ili lokalnog tumora, kada nije moguća resekcija [1]. U svetu se godišnje izvrši preko milion amputacija noge, procena je Svetske zdravstvene organizacije i Međunarodne dijabetološke federacije, dok se prema podacima Kliničkog centra Vojvodine, u toj ustanovi godišnje izvrši više od 100 amputacija donjih ekstremiteta iznad nivoa skočnog zgloba [1]. Kretanje predstavlja osnovnu potrebu čoveka, a hod je primarni način kretanja ljudi, tako da je glavni cilj rehabilitacionog procesa ponovno uspostavljanje ove funkcije. Poboljšanje sveobuhvatnog stanja i kvaliteta života osoba sa amputacijom donjih ekstremiteta omogućava protetička rehabilitacija.

Proteze mogu omogućiti funkcionalni hod i nadomestiti fizički nedostatak i trenutno predstavljaju najbolje rešenje za

Jovana Arsenović (email: arsenovic.jovana@uns.ac.rs), Mirna N. Kapetina (email: mirna.kapetina@uns.ac.rs), Zoran D. Jeličić (email: jelicic@uns.ac.rs) - Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Katedra za automatsko upravljanje, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija.

Aleksandar Knežević (email: aleksandar.knezevic@mf.uns.ac.rs) - Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet, Katedra za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju, Hajduk Veljkova 3, 21137 Novi Sad, Srbija.

osobe sa amputacijom donjih ekstremiteta [2]. Nažalost, nisu sve osobe sa amputacijom dobri kandidati za protetičku rehabilitaciju, a ovaj skup i dug proces nekada ne dovodi do poboljšanja mobilnosti i kvaliteta života u meri u kojoj se očekivalo. Stoga postoji potreba da se predvidi ishod potencionalnog rehabilitacionog tretmana.

Cilj ovog istraživanja bio je da se napravi alat, uz oslonac na algoritme veštačke inteligencije, koji bi se mogao što ranije primeniti, kako bi se napravila što bolja predikcija ishoda rehabilitacije pacijenata sa amputacijom, odnosno kako bi se predvideo K-nivo i ishodi testa dvominutnog hoda i testa ustani i kreni. Da bi predikcija bila što uspešnije potrebno je identifikovati parametre za predikciju, odnosno one faktore koji utiču na osposobljenost za hod uz pomoć proteze. Prilikom identifikovanja pacijenata, odnosno tokom donošenja odluke da li je pacijent dobar kandidat za propisivanje proteze i započinjanje protetičke rehabilitacije, lekari se fokusiraju na određenje parametre (engl. *feature*, u daljem tekstu obeležje, atribut, faktor, varijabla ili parametar). Oni moraju biti strogo definisani, što jednostavniji za procenu, da ih ne bude previse, a ni premalo, tako da doprinose najboljoj tačnosti klasifikatora i ne predstavljaju problem lekarima za određivanje. Svi autori koji su pisali na ovu temu, složili su se da postoji više faktora koji utiču na uspešnost predikcije hoda uz pomoć proteze, ali koji su dominantni i dalje je predmet istraživanja.

U radu [3] za konstruisanje predikcionog modela baziranog na vektorima nosačima (engl. *support vector machine*, u daljem tekstu SVM) korišćeno je 11 varijabli: starost, pol, uzrok i nivo amputacije, period od amputacije do protetičke rehabilitacije, funkcionalni komorbidetni indeks, prisustvo šećerne bolesti, prisustvo partnera, ograničena ekstenzija kuka ili kolena rezidualnog ekstremiteta i mobilnost pri prijemu. Za izbor najboljih obeležja u radu [3] korišćen je genetski algoritam, koji je izdvojio starost, funkcionalni komorbidetni indeks, nivo amputacije i mobilnost pri prijemu kao dominantne faktore. Kriterijum optimalnosti bila je tačnost klasifikacije nad test skupom. Preciznost modela bila je u intervalu od 72,5% do 82,5%. Kao dominantna obeležja za klasifikaciju u radu [4] izabran je test šestominutnog hoda (engl. *6-minute walk test*) i test stajanja na jednoj nozi (engl. *one-leg standing test*). Na osnovu ovih parametara K-nivo su predviđali sa osetljivošću blizu 90%. Ono što su u ovom radu istakli jeste da je klasifikacija rađena samo za pacijente sa transtibijalnom amputacijom. U radu [5] kao nezavisni

prediktivni faktori predloženi su pol pacijenta, starost, dužina trajanja rehabilitacije i dužina čekanja na početak primarne protetičke rehabilitacije, dok su u radu [6] izdvojena sledeća obeležja: pređenja razdaljina i trajanje hoda, nivo amputacije, pol i vremenski interval od amputacije do protetičke rehabilitacije. Trenutno, ne postoje tačno definisane kliničke preporuke za određivanje kandidata za protetičku rehabilitaciju, kao ni jasnih faktora koji bi potencijalno mogli predvideti ishod rehabilitacije. U radovima [7, 8] izvršen je sistematičan pregled literature napisan na ovu temu od 2007. godine do 2015. Faktori koji su označeni kao potencijalni prediktori su starost, nivo amputacije, funkcionalni status pri prijemu, kao i komorbiditeti. Međutim, u radu [9], koji se takođe bavio pregledom literature na ovu temu, jedino je uočena snažna veza između parametra balans i sposobnosti hoda uz pomoć proteze.

Poglavlje 2 sadrži opis dostupnog skupa podataka, kao i mehanizme za rešavanje problema nedostajućih podataka i balansiranje skupa podataka. U poglavlju 3 dat je opis predloženih metoda i izbora obeležja za klasifikaciju. Ostvareni rezultati i diskusija predstavljeni su u poglavlju 4. Naposljetku, u zaključku, u sklopu poglavlja 5, dat je rezime i naznačeni su pravci daljeg istraživanja.

II. EKSPERIMENTALNI PODACI

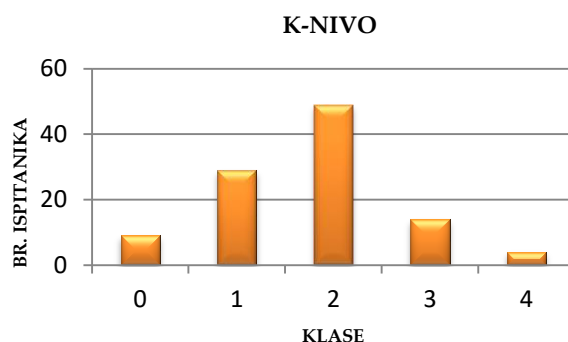
U radu je analiziran uticaj različitih atributa na predikciju ishoda rehabilitacionog tretmana pacijenata sa amputacijom donjih ekstremiteta. Podaci koji su korišćeni u istraživanju, prikupljeni su u Kliničkom centru Vojvodine u period između 2010. i 2012. godine. Bazu podataka činila su 104 pacijenta, različitog pola i starosti ($62,1 \pm 10,9$ godina) koja su bila podvrgnuta eksperimentu. Kriterijum za uključivanje pacijenata u istraživanje bila je jednostrana amputacija donjih ekstremiteta iznad nivoa skočnog zgloba pacijenata koji su prvi put snadbeveni protezom. Svi ispitanici dali su pismeni informativni pristanak za učešće u ovoj studiji. Istraživanje je dobilo saglasnost za sprovođenje od strane Etičke komisije Medicinskog fakulteta u Novom Sadu i Kliničkog centra Vojvodine.

A. Balansiranost skupa podataka

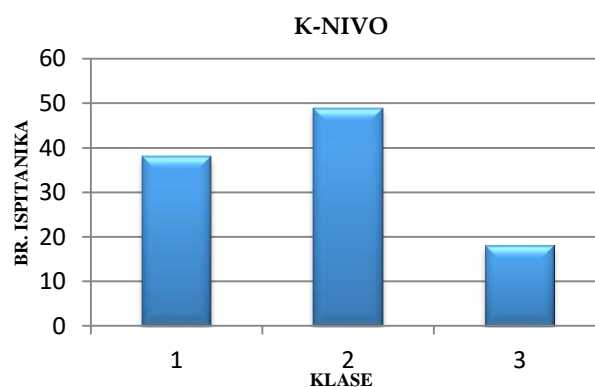
Kao što je već napomenuto, 104 pacijenta je učestvovalo u istraživanju, a njihova klasna raspodela za kategoriju K-nivo je prikazana na slici 1. Sa grafika se može očitati da je međuklasna razlika u broju ispitanika veoma velika.

Klasifikatori mašinskog učenja ne mogu se nositi sa nebalansiranim setom podatka, odnosno ovi algoritmi imaju tendenciju da favorizuju klasu sa najvećim udelom ispitanika [10]. Ovakva neuravnoteženost može posebno da bude problematična kada nas zanima tačna klasifikacija manjinskih klasa, klasa sa najmanjim brojem ispitanika, kao što su u našem slučaju klase označene kao 0 i 4.

K-nivo predstavlja međunarodno priznatu skalu koja se koristi za predstavljanje ishoda rehabilitacionog tretmana pacijenata sa amputacijom donjih ekstremiteta. Donja granica K-nivoa, označena klasom 0, predstavlja nemogućnost samostalnog hoda uz pomoć proteze, dok je maksimalni ishod



Sl. 1. Raspodela ispitanika prema klasama za kategoriju K-nivo.

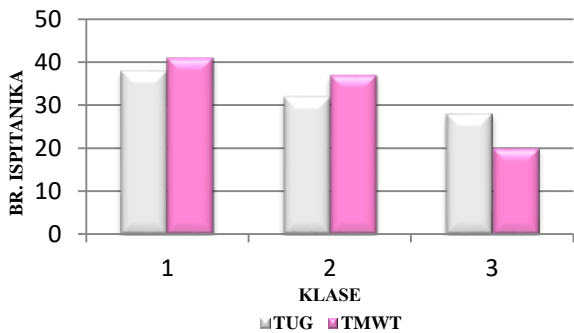


Sl. 2. Modifikovane klase kategoriju K-nivo.

rehabilitacionog tretmana označen klasom 4. Sa slike 1 se očitava velika međuklasna razlika u broju ispitanika.

Da bi se smanjila neuravnoteženost broja ispitanika po klasama, izvršena je modifikacija klasa (slika 2), po uzoru na [3, 4]. Novi nivo 1 označavao bi nemogućnost samostalnog hoda uz pomoć proteze ili strogo ograničen hod na veoma kratkim relacijama (hod u kućnim uslovima), praktično, sama proteza ne bi značajno poboljšala mobilnost pacijenta, niti njegov kvalitet života. Posle modifikacije, ovoj klasi pripadalo je 38 ispitanika. Nivoom 2 predstavljao bi se ishod rehabilitacije pacijenata koji su imali mogućnost hoda na relacijama koje bi bile i izvan kuće ali uz značajna ograničenja, dok pacijenti nivoa 3 bi bili osposobljeni za hod na dugim relacijama, uz minimalna ili čak bez ograničenja. Nakon modifikacije, ovim grupama pripadalo je 49, odnosno 17 ispitanika, respektivno.

Na osnovu rezultata testa dvominutnog hoda i testa ustani i kreni, formirane su nove kategorije, koje bi potencijalno predstavljale ishode rehabilitacionog tretmana. Ukoliko bi za vreme testa dvominutnog hoda ispitanik prešao manje od 26 metara, klasifikovan bi bio u klasu TMWT1. U slučaju da bi ispitanik prešao između 25 metara i 55 metara, pripadao bi klasi TMWT2, a ukoliko bi prešao više od 55 metara za vreme dvominutnog testa pripadao bi klasi TMWT3. Što je veći indeks klase, odnosno što je ispitanik prešao više metara za vreme testa, ishod rehabilitacionog tretmana je bolji.



Sl. 3. Raspedela ispitanika za test ustani i kreni - TUG (belo) i test dvominutnog hoda - TMWT (roze).

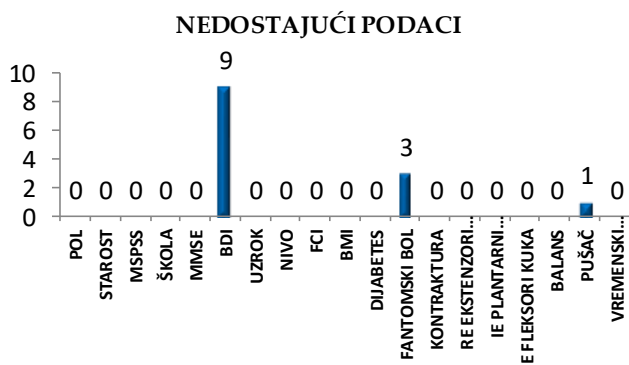
Test ustani i kreni 28 ispitanika završilo je za manje od 30 sekundi i svrstano je u klasu TUG3, 32 ispitanika klasifikovano je u TUG2, odnosno bilo im je neophodno između 30 i 60 sekundi za test, dok je njima 38 bilo potrebno više od 60 sekundi da bi završili test. Ovi podaci grafički su predstavljeni na slici 3.

Modifikacijom klasa smanjena je razlika broja ispitanika među klasama ali je i dalje postojala razlika koja bi potencijalno mogla uzrokovati favorizaciju većinske klase. Dodatno, ta razlika je smanjenja ponavljanjem uzoraka manjinske klase na slučajan način.

B. Rešavanje problema nedostajućih podataka

Istraživanje, koje je realizovano u Kliničkom centru Vojvodine, sprovedeno je kao prospektivna serija slučaja, što za posledicu ima mali broj nedostajućih podataka u bazi. Od 19 parametara kojima su predstavljeni pacijenti, kod samo 3 parametra se javljaju nedostajući podaci (slika 4).

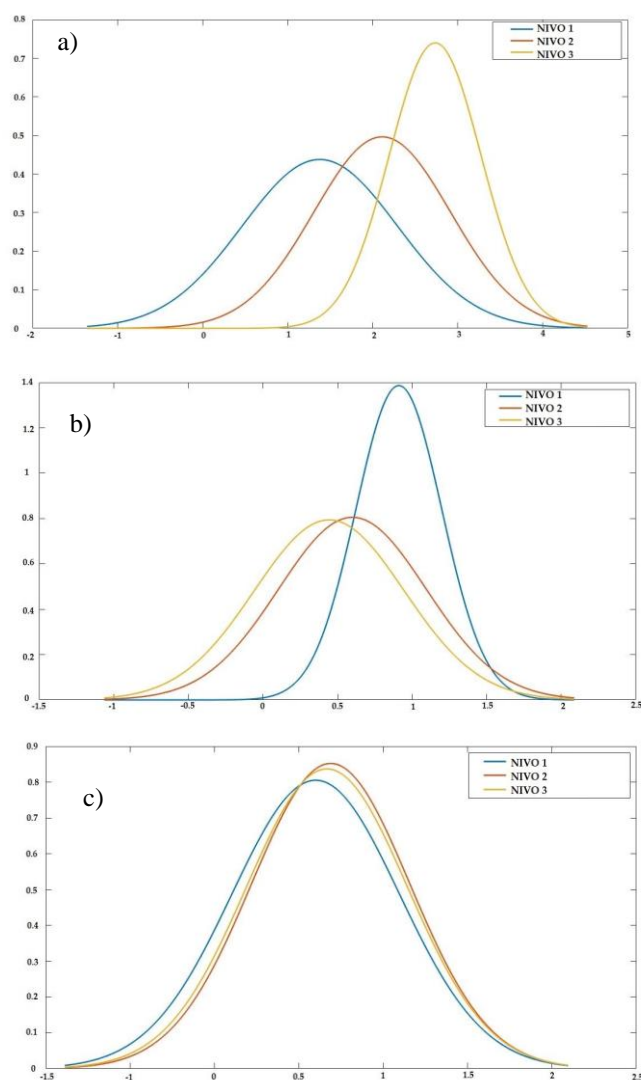
Jedan od najpopularnijih načina rešavanja problematike nedostajućih podataka jeste zamena nedostajućih podataka uzoračkom srednjom vrednošću ili modom [11]. Iako se ovom metodom umanjuje varijabilnost podatak (varijansa) i procene kovarijanse i korelacije u podacima (jer se ignoriše odnos između varijabli), zbog malog broja nedostajućih podataka smatrano je da ove promene nemaju statistički uticaj na konačni rezultat.



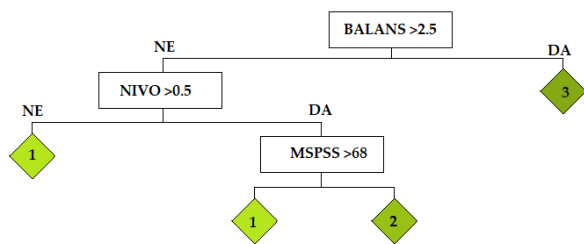
Sl. 4. Raspedela nedostajućih podataka prema parametrima. Nedostajući podaci se javljaju kod obeležja Bekova skala depresivnosti, fantomski bol i obeležja pušač.

III. IZBOR OBELEŽJA I METODE ZA KLASIFIKACIJU

Izbor adekvatnih obeležja ima ključan uticaj kako na kvalitet, tako i na efikasnost klasifikacije. Odabir (selekcija) obeležja podrazumeva biranje bitnijih (diskriminatornih) obeležja iz celog skupa podataka [11]. Na slici 5 prikazane su Gausove krive za obeležja balans, nivo amputacije i fantomski bol. Sa slike zaključujemo da obeležje fantomski bol nije diskriminatorno. Srednja vrednost obeležja svake klase, prikazane na apcisi, imaju slične vrednosti. Takođe, i verovatnoće ovog obeležja po klasama su veoma slične, pa je na osnovu ovog obeležja gotovo nemoguće klasno razdvojiti ispitanike. Međutim, obeležja balans i nivo amputacije moguće je okarakterisati kao diskriminatorna. Za potvrdu izbora obeležja i određivanje njihove značajnosti, korišćena je i tehnika stable odluke.



Sl. 5. Gausove krive za obeležje balans (a), nivo amputacije (b) i fantomski bol (c). Na osnovu ovih grafika možemo da zaključimo da su obeležja balans i nivo amputacije diskriminatorna, dok obeležje fantomski bol nije.



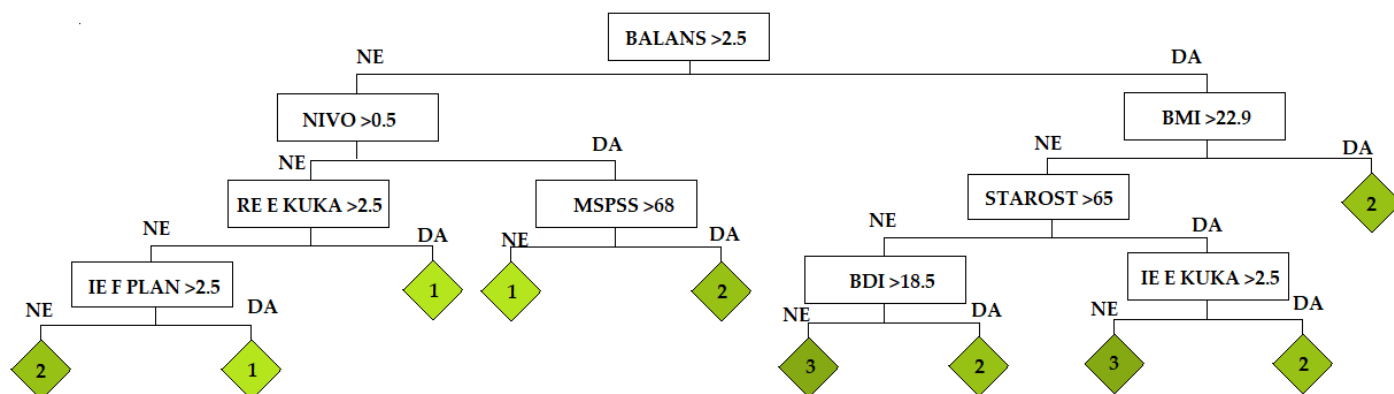
Sl. 6. Stablo odluke kako pokazatelj značajnosti obeležja balans. Sa grafika je jasno uočljivo da veoma lako možemo izdvojiti klasu 3, odnosno pacijente sa potencijalnim visokim ishodom rehabilitacije.

A. Stabla odluke

Zbog svoje sistemske strukture, metoda stabla odluke je jednostvna i razumljiva za ljude. Izdvajanjem puta od odgovarajuće klase, odnosno lista, pa sve do korena stabla, dobija se odgovor zašto je donesena neka odluka, pri čemu se iz svakog čvora čita razlog trenutnog izbora. Takođe, svako stablo odluke se jednoznačno može definisati preko skupa pravila “ako-onda” (engl. *if-then*), koja su osnovni gradivni blokovi baza znanja ekspertskih i drugih sistema zasnovanih na znanju [12].

Stabla odluke izvršavaju klasifikaciju u dve ili više klase, na osnovu vrednosti obeležja kojima opisujemo uzorke, propuštajući ih niz stablo od korena ka listovima. Na početku klasifikacije bira se obeležje čija vrednost najbolje deli raspoložive uzorke. Algoritam ID3, koji je razvijen za učenje stable odluke i koji je korišćen u ovom radu, obeležja deli na osnovu statističke veličine koja se naziva informacioni blok i koja se definiše preko entropije (entropija je 0 ako svi uzorci pripadaju istoj klasi a 1 ako klase imaju isti broj uzoraka) [12]. Analizom baze podataka, algoritam je procenio da je najbitnije obeležje balans. Sa slike 6 može se videti da se pomoću obeležja balans lako mogu izdvojiti pacijenti čiji bi ishod rehabilitacionog tretmana bio maksimalan (što je ujedno i potvrda za za Gausovu krivu sa slike 5).

Na slici 7 prikazano je stablo odluke sa izdvojenim



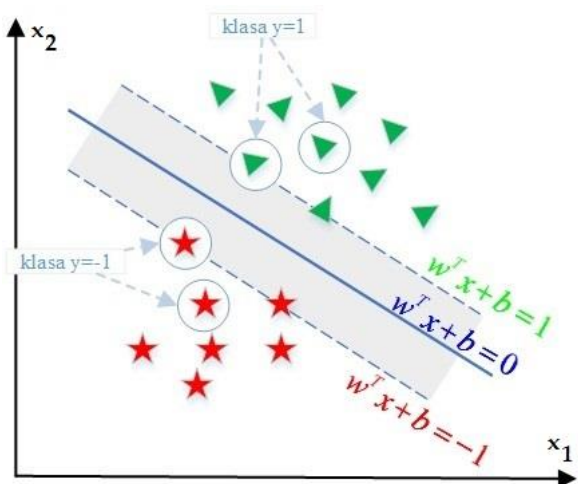
Sl. 7. Stablo odluke za kategoriju K-nivo.

parametrima za kategoriju K-nivo. Obeležja koja je stablo označilo kao diskriminatorna su: balans, nivo amputacije, starost, indeks telesne mase (engl. *body mass index* - BMI), mišićna snaga ekstenzora kuka rezidualnog ekstremiteta (*RE E kuka* na grafiku), Bekova skala depresivnosti (engl. *Beck depression inventory* - BDI), starost pacijenta pri prijemu, multidimenzionalna skala ostvarene socijalne podrške (engl. *multidimensional scale of perceived social support test* - MSPSS), kao i parametre mišićne snage ekstenzora kuka (*IE E kuka* na grafiku) i plantarnog fleksora (*IE F plan* na grafiku) intaknog ekstremiteta.

B. Metoda vektora nosača

Odabrana obeležja prosleđuju se algoritmima baziranim na vektorima nosačima. Primarna verzija SVM algoritma na ulazu uzima skup podataka i zatim određuje kojoj od dve moguće klase svaki uzorak pripada, odnosno traži se funkcija $f(x)$ koja je u funkciji hiper-ravni H , koja predstavlja razdvajajuću marginu za dva stanja sistema u prostoru obeležja [11], $H: w^T x + b = 0$, kao i dve hiper-ravni (koje se nazivaju vektori nosači) $H_1: w^T x + b = 1$ i $H_2: w^T x + b = -1$, uz uslov da ne postoje tačke između H_1 i H_2 i da je razmak između margina maksimalan. Šematski, to je predstavljeno na slici 8.

Iako je SVM algoritam primarno razvijen za binarnu klasifikaciju, on se može koristiti i za problem višeklasne klasifikacije. Standardan algoritam za rešavanje ovakvog problema je rastavljanje problema od M klase na seriju problema od po dve klase, i konstrukcijom više binarnih klasifikatora [11]. Jedan od pristupa je metod „jedan protiv jedan“, koji formira za svaki par klase po jedan klasifikator [12]. Ti klasifikatori su osposobljeni za razlikovanje uzoraka jedne klase od uzoraka druge klase. Klasifikacija nepoznatog uzorka se vrši prema maksimalnom broju „glasova“, gde svaki klasifikator „glasa“, za jednu klasu.



Sl. 8. Hiper-ravan H i njene margine u ravni parametara x_1 i x_2 . Zelenim trouglovima predstavljeni su uzorci koji pripadaju klasi $y=1$, dok su zvezdicama predstavljeni uzorci klase $y=-1$.

IV. REZULTATI I DISKUSIJA

Za generisanje i simulaciju rada SVM predikcionog modela i stabla odluke korišćen je programski paket *Matlab*. Pripremljeni podaci prosleđeni su algoritmu stabla odluke, koji radi po principu ID3 algoritma. Obeležja izabrana na ovaj način prosleđena su SVM algoritmu. Za rešavanje ovog problema izabran je linearni kernel. Rezultati su dobijeni evaluacijom obučениh modela nad odgovarajućim test skupovima, dobijenih krosvalidacijom metodom sa 10 particija. U svakoj iteraciji koristilo se 9 različitih particija za obuku, odnosno 9 podskupova skupa svih uzoraka, dok se preostali skup koristio za testiranje.

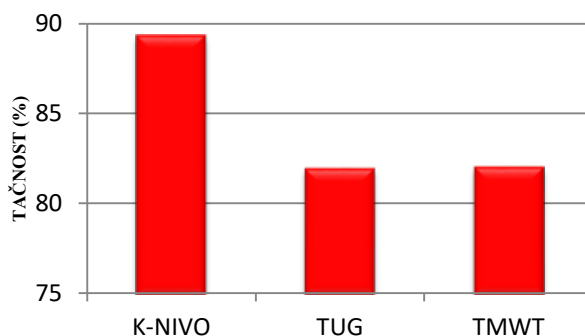
Tabela I predstavlja matricu konfuzije SVM klasifikatora za K-nivo, nakon rešavanja problema nedostajućih podataka i balansiranja klasa. Iz tabele se može iščitati da algoritam u veoma visokom procesu tačno klasifikuje. Tačnost SVM klasifikatora, odnosno procenat korektnih predviđanja od ukupnog broja predviđanja, iznosila je 89.3%. Tačnost klasifikacije ostalih kategorija prikazana je na slici 9. Najveća tačnost postignuta je prilikom predviđanja kategorije K-nivo (89,3%), dok najlošije performanse se javljaju kod klasifikacije kategorija testa ustani i kreni (81,88%). Pored tačnosti, i ostale mere za evaluaciju klasifikatora za kategoriju K-nivo su veoma visoke. Osetljivost klasifikacije, odnosno procenat korektno predviđenih od ukupnog broja pravih ponavljanja te klase za K-nivo iznosi 83,95%, specifičnost (sposobnost testa da identifikuje odsustvo neke klase) 91,97%, dok je preciznost (odnos tačnih predviđanja i ukupnog broja predviđanja) iznosila 83,7%.

V. ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir stalno povećanje broja pacijenata sa amputacijom donjih ekstremiteta, kao i cenu i trajanje rehabilitacionog tretmana, predikcija ishoda rehabilitacionog tretmana predstavlja jedno od veoma aktuelnih pitanja savremene rehabilitacione medicine. Brojni radovi napisani na

TABELA I
MATRICA KONFUZIJE ZA KATEGORIJU K-NIVO

		Predviđene klase		
		1	2	3
Prave klase	1	50	4	0
	2	7	38	9
	3	0	6	48



Sl. 9. Tačnost klasifikacije za različite kategorije.

ovu temu, čiji je jedan mali deo korišćen kao smernice i inspiracija ovom radu, svedoče o značaju ove tematike.

Glavni cilj razvijanja sistema za predikciju uspešnosti rehabilitacionog tretmana treba da bude identifikacija tačno onih obeležja koja će doprineti uspešnoj predikciji, to jest pronalasku onih parametara koji će omogućiti korektnu identifikaciju pacijenata sa amputacijom pogodnih za propisivanje proteze i uključivanje u odgovarajući rehabilitacioni tretman. Obradom podataka i selekcijom obeležja metodom stable odluke, postignute su veoma visoke performance SVM klasifikatora. Obeležje koje je označeno kao balans izdvojeno je kao jedan od najznačajnijih prilikom identifikacije pacijenata pogodnih za propisivanje proteze. Maksimalna efikasnost postignuta je prilikom predikcije K-nivoa i iznosila je 89.30%.

Ovakav sistem veštačke inteligencije, zbog svojih visokih performansi, moguće je primeniti i u kliničkoj praksi. Dalji rad u budućnosti trebalo bi da se skoncentriše na testiranju algoritma nad proširenom bazom podataka, odnosno predviđanje nad originalnom petostepenom skalom.

ZAHVALNICA

Ovaj rad podržan je od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja kroz projekat broj 451-03-68/2020-14/200156: "Inovativna naučna i umetnička ispitivanja iz domena delatnosti FTN-a".

LITERATURA

- [1] A. Knežević, "Faktori koji utiču na nivo osposobljenosti za hod uz pomoć proteze nakon amputacije donjih ekstremiteta," Doktorska disertacija, Katedra za fizikalnu medicinu i rehabilitaciju, Medicinski fakultet, Univerzitet u Novom Sadu, Srbija, 2014.
- [2] K. K. Chui, M. M. Jorge, S. C. Yeng, M. M. Lusardi, *Orthotics and Prosthetics in Rehabilitation, fourth edition*, St. Louis, Missouri, Elsevier, 2021.
- [3] A. Knežević, M. Petković, A. Mikov, M. Jeremić Knežević, Č. Demeši Drljan, K. Bošković, S. Tomašević Todorović, Z. Jeličić, "Factors that predict walking ability with a prosthesis in lower limb amputees," -Srpski arhiv za celokupno lekastvo, 507-513, Sept-Okt 2016.
- [4] N. Majdić, G. Vidmar, H. Burger, "Establishing K-levels and prescribing transtibial prostheses using six-minute walk test and one-leg standing test on prosthesis: a retrospective audit," *International Journal of Rehabilitation Research*, 266-271, Sep 2020.
- [5] B. Majstorović, M. Pešta, "Factors predicting rehabilitation outcome in patients after unilateral transtibial amputation due to peripheral vascular disease," *Military Medical and Pharmaceutical Journal of Serbia*, 357-362, Maj 2020.
- [6] T. Pohjolainen, H. Alaranta, "Predictive factors of functional ability after lower limb amputation," *Annales chirurgiae et gynaecologicae*, 36-9, 1991.
- [7] K. Sansam, V. Neumann, R. O'Connor, B. Bhakta, "Predicting walking ability following lower limb amputation: a systematic review of the literature," *Journal of Rehabilitation Medicine*, 593-603, Jul 2009.
- [8] J. T. Kahle, M. J. Highsmith, H. Schaeffer, A. Johannesson, M. S. Orendurff, K. Kaufman, "Predicting walking ability following lower limb amputation: an updated systematic literature review," *Technology and Innovation*, 125-137, Sep 2016.
- [9] J. Van Velzen, C. van Bennekom, L. van der Woude, H. Houdijk, "Physical capacity and walking ability after lower limb amputation: a systematic review," *Journal of Clinical Rehabilitation*, 999-1016, Nov 2016.
- [10] C. Micheloni, A. Rani, S. Kumar, G. L. Foresti, "A balanced neural tree for pattern classification," *Elsevier: Neural Networks*, 81-90, Mar 2012.
- [11] V. Crnojević, "Prepoznavanje oblika za inženjere," Novi Sad, Srbija, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, edicija: Tehničke nauke, 2014.
- [12] M. Milosavljević, "Veštačka inteligencija," Beograd, Srbija, Univerzitet Singidunum, 2019.

ABSTRACT

Prosthetic rehabilitation is currently the best treatment for patients with lower limb amputation. However, prosthesis fabrication and accompanying prosthetic rehabilitation are very long and expensive process that sometimes does not lead to improved mobility and quality of life of patients. Therefore, it is necessary to predict the result of rehabilitation treatment. The main task of this work was to make a tool, based on artificial intelligence algorithms, which could be applied as early as possible, to make the best possible prediction of the result of rehabilitation of patients with amputation of the lower extremities, or to predict the K-level (Medicare Functional Classification Level), Walking Ability Level, Two-Minute Walk Test and Timed Up and Go Test. Evaluation of the model performed on data from the Rehabilitation Clinic, Clinical Center of Vojvodina. The obtained results show a significant improvement, in terms of classifier performance, compared to previous methods and confirm the choice of some of the most important parameters in patient identification.

Predicting results of prosthetic rehabilitation in lower limb amputees by using artificial intelligence algorithms
Jovana Arsenović, Aleksandar Knežević, Mirna N. Kapetina and Zoran D. Jeličić