INFORMATICA MEDICA SLOVENICA

Časopis Slovenskega društva za medicinsko informatiko
Journal of the Slovenian Medical Informatics Association

LETNIK / VOLUME **25 (2020)**, ŠTEVILKA / NO. **1-2**

ISSN 1318-2129 (tiskana izdaja / printed edition)
ISSN 1318-2145 (spletna izdaja / online edition)

http://ims.mf.uni-lj.si/

Editor in Chief / Glavni urednik

Gaj Vidmar

Managing Editor / Odgovorna urednica

Ema Dornik

Associate Editors / Souredniki

Kevin Doughty
Malcolm Fisk
Peter Juvan

Technical and Web Editor / Tehnični in spletni urednik

Peter Juvan

Editorial Board Members / Člani uredniškega odbora

Barbara Artnik
Andreja Kukec
Brane Leskošek
Drago Rudel

Former Editors in Chief / Bivši glavni uredniki

Martin Bigec
Peter Kokol
Janez Stare

About the Journal

Informatica Medica Slovenica (IMS) is an interdisciplinary professional journal that publishes contributions from the field of medical informatics, health informatics, nursing informatics and bioinformatics. Journal publishes scientific and technical papers and various reports and news. Especially welcome are the papers introducing new applications or achievements.

IMS is the official journal of the Slovenian Medical Informatics Association (SIMIA). It is published two times a year in print (ISSN 1318-2129) and electronic editions (ISSN 1318-2145, available at http://ims.mf.uni-lj.si). Prospective authors should send their contributions in Slovenian, English or other acceptable language electronically to the Editor in Chief Prof. Gaj Vidmar, PhD. Detailed instructions for authors are available online.

The journal subscription is a part of the membership in the SIMIA. Information about the membership or subscription to the journal is available from the secretary of the SIMIA (Mrs. Mojca Paulin, mojca.paulin@gmail.com).

O reviji

Informatica Medica Slovenica (IMS) je interdisciplinarna strokovna revija, ki objavlja prispevke s področja medicinske informatike, informatike v zdravstvu in zdravstveni negi, ter bioinformatike. Revija objavlja strokovne prispevke, znanstvene razprave, poročila o aplikacijah ter uvajanju informatike na področjih medicine in zdravstva, pregledne članke in poročila. Še posebej so dobrodošli prispevki, ki obravnavajo nove in aktualne teme iz naštetih področij.

IMS je revija Slovenskega društva za medicinsko informatiko (SDMI). Izhaja dvakrat letno v tiskani (ISSN 1318-2129) in elektronski obliki (ISSN 1318-2145, dostopna na naslovu http://ims.mf.uni-lj.si). Avtorji člankov naj svoje prispevke pošljejo v elektronski obliki glavnemu uredniku prof. dr. Gaju Vidmarju. Podrobnejša navodila so dosegljiva na spletni strani revije.

Revijo prejemajo vsi člani SDMI. Informacije o članstvu v društvu oziroma o naročanju na revijo so dostopne na tajništvu SDMI (Mojca Paulin, mojca.paulin@gmail.com).

Contents

Research Papers

1 **Matej Tomc, Matjaž Zadravec, Gregor Harih, Zlatko Matjačić**
A System for Tripping Emulation During Treadmill Walking

9 **Drago Rudel, Marjan Pajntar, Gaj Vidmar, Branimir Leskošek**
Assessing Ripeness of the Cervix Through its Electromyographic Activity in Relation to the Bishop Score

Research Review Papers

19 **Nina Ružić Gorenjec**
Graphical Displays of Effects in Regression Models

25 **Eva Nike Cvikl, Dejan Dinevski**
Theory of Mind and Its Application in the Field of Artificial Intelligence

Technical Paper

33 **Jure Tihole, Romana Mance Kristan, Matic Kranjec, Dejan Dinevski**
Teledentistry: Diagnostics, Preventive Care and Consulting

SIMIA Bulletin

40 **Valentin Fidler**
My Work in the Field of Medical Informatics

46 **Ema Dornik**
Digital Bridges in Health Care: Report from the Meeting of the Nursing Informatics Section – SIZN 2020

Vsebina

Izvirna znanstvena članka

1 **Matej Tomc, Matjaž Zadravec, Gregor Harih, Zlatko Matjačić**
Sistem za posnemanje spotikanja med hojo po tekočem traku

9 **Drago Rudel, Marjan Pajntar, Gaj Vidmar, Branimir Leskošek**
Ocena zrelosti materničnega vratu z vrednotenjem njegove EMG aktivnosti v odnosu do ocene po Bishopu

Pregledna znanstvena članka

19 **Nina Ružić Gorenjec**
Grafični prikazi učinkov v regresijskih modelih

25 **Eva Nike Cvikl, Dejan Dinevski**
Teorija uma in njena uporaba na področju umetne inteligence

Strokovni članek

33 **Jure Tihole, Romana Mance Kristan, Matic Kranjec, Dejan Dinevski**
Uporaba telezobozdravstva pri diagnostiki, svetovanju in zdravljenju obolenj v ustni votlini

Bilten SDMI

40 **Valentin Fidler**
Moje delo na področju medicinske informatike

46 **Ema Dornik**
Digitalni mostovi v zdravstvu: poročilo s srečanja Sekcije za informatiko v zdravstveni negi – SIZN 2020

■ *Izvirni znanstveni članek*

Matej Tomc, Matjaž Zadravec, Gregor Harih, Zlatko Matjačić

Sistem za posnemanje spotikanja med hojo po tekočem traku

Povzetek. Padci med hojo so velika nevarnost za starejšo populacijo in za preživele po možganski kapi, pri katerih je sposobnost vzdrževanja dinamičnega vzdrževanja ravnotežja okrnjena. Za rehabilitacijske programe, ki vključujejo urjenje dinamičnega ravnotežja za preprečevanje padcev, so na voljo rehabilitacijski roboti in različne merilne naprave. Cilj naše študije je bil razviti in ovrednotiti napravo, ki bi razpoznavala faze hoje ter robustno in ponovljivo omogočala posnemanje spotikanja v fazi srednjega zamaha pri hoji po tekočem traku. V preliminarno študijo je bila vključena zdrava oseba, ki je hodila po tekočem traku, ki omogoča merjenje reakcijskih sil podlage, pri dveh počasnih hitrostih hoje. Meritve prijemališča reakcijske sile podlage, težišča telesa in reakcijske sile podlage pričakovano kažejo na uporabo ene od strategij odziva na izgubo ravnotežja po spotiku, ki so opisane v strokovni literaturi. Rezultati kažejo, da algoritem prepozna osnovne faze hoje, ponovljivo sproži spotikanje v želenem delu cikla hoje, naprava pa uporabniku ne dopušča, da bi predvidel nastop perturbacije.

A System for Tripping Emulation During Treadmill Walking

Abstract. Falling is a major hazard for the elderly population as well as for stroke survivors, who have impaired dynamic balancing capabilities. To assist with rehabilitation and prevent the falls, robots and measurement devices can be used. Our goal was to create a system that can automatically detect gait cycle phases and can initiate a trip of the subject walking on a treadmill during mid-swing phase. To evaluate the device, a tripping experiment was conducted with one healthy subject walking on an instrumented treadmill at two slow walking speeds. Measurements of centre of pressure, centre of mass and ground reaction forces show that the subject used one of the tripping strategies described in the literature. The results indicate that the device detects gait phases, repeatedly triggers tripping perturbations in the correct timeframe during swing phase, without the subjects being able to anticipate the perturbation.

■ **Infor Med Slov** 2020; 25(1-2): 1-8

Institucije avtorjev / Authors' institutions: Faculty of Electrical Engineering, University of Ljubljana (MT); Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor (GH), University Rehabilitation Institute, Republic of Slovenia, Ljubljana (MZ, ZM).

Kontaktna oseba / Contact person: dr. Matjaž Zadravec, URI – Soča, Linhartova 51, 1000 Ljubljana, Slovenia. E-pošta / E-mail: matjaz.zadravec@ir-rs.si.

Prispelo / Received: 12. 5. 2020. Sprejeto / Accepted: 20. 5. 2020.

Uvod

Po podatkih Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) so padci drugi najpogostejši vzrok nenamerne smrti, pri čemer odrasli, starejši od 65 let, utrpijo največ padcev, ki se končajo s smrtnim izidom. Zaradi padca vsako leto približno 37 milijonov ljudi potrebuje zdravstveno pomoč, kar pomeni približno 17 milijonov t. i. izgubljenih zdravih let življenja (angl. DALY – *disability adjusted life years*), finančni stroški zaradi poškodb pa so znatni.[1] Študije navajajo, da med 37 % in 73 % pacientov, ki okrevajo po kapi, pade v prvih šestih mesecih od odpusta iz bolnišnične oskrbe.[2-5] Kljub veliki prisotnosti padcev in hudim posledicam, ki jih povzročajo pri pacientih, pa se problematika padcev pri osebah, ki okrevajo po kapi, v klinični praksi večinoma obravnava na enak način kot padci pri starejših osebah, navkljub ključnim razlikam med skupinama.[6] Sposobnost varnega vzdrževanja ravnotežja močno vpliva na posameznikovo neodvisnost in kakovost življenja. Padci ne povzročijo zgolj telesnih poškodb, temveč vplivajo na samozavest osebe med hojo, kar negativno vpliva na gibanje. Pri rehabilitaciji je pomembno, da se pacient nauči hoditi na način, ki zmanjšuje tveganje za spotikanje in posledično padec,[6] hkrati pa se mora naučiti tudi, kako ob izgubi ravnotežja zaradi spotika ponovno vzpostaviti ravnotežje, da ne pride do padca. V tej raziskavi smo se osredotočili na slednje.

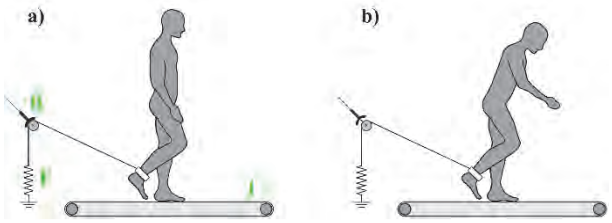
Bolniki po preboleli možganski kapi imajo v večini primerov zmanjšane zaznavno-gibalne sposobnosti enega od spodnjih udov, kar se odraža v asimetričnem vzorcu hoje in slabšem dinamičnem ravnotežju med hojo. Na področju robotske rehabilitacije se v zadnjem času uveljavljajo različne vrste treninga za vzdrževanje dinamičnega ravnotežja med hojo, kjer robotizirane naprave povzročijo različne motilne sunke (perturbacije) na telo, ki zmotijo pacientovo hojo in izzovejo ravnotežni odziv. Z izvajanjem perturbacij pri robotsko podprti rehabilitaciji bolniku zagotovimo, da je potencialno nevarnim nenadnim motnjam ravnotežja izpostavljen v varnem okolju, brez strahu pred padcem. To omogoča, da je bolnik perturbacijam izpostavljen mnogo pogosteje, kot v naravnem okolju, s čimer lahko poskrbimo za intenziven in učinkovit trening. Robotsko podprta rehabilitacija med drugim zagotavlja visoko ponovljivost treninga, sprotno in objektivno spremljanje bolnikovega stanja ter njegovega napredka. V strokovni literaturi je opisanih le nekaj naprav, ki omogočajo spotikanje med hojo za namen študij posturalnih odzivov. Tukaj lahko ločimo med napravami za spotikanje med hojo po tleh[7] ter napravami za spotikanje med hojo po tekočem traku.[8,9] V primeru hoje po tleh so pod pohodno površino vgrajene stopnice, ki se ob določenih trenutkih, odvisno od tega kje se človek na pohodni površini nahaja, dvignejo ter povzročijo spotik.[7] Taka naprava ima sicer določeno prednost pred napravami za hojo po tekočem traku, ker ne vsiljuje gibanja, zaradi česar je hoja kinematično neoporečna. Ima pa številne druge slabosti, saj potrebuje veliko prostora, zaradi česar je izvajanje kakršnihkoli meritev lahko oteženo (merjenje kinematike, elektromiografije) ali praktično nemogoče (npr. meritve reakcijske sile podlage, prijemališča reakcijske sile podlage). Imeti mora tudi veliko aktivnih stopnic, da bi lahko povzročila spotik ob želenem trenutku znotraj cikla hoje. Po drugi strani so naprave, ki temeljijo na tekočem traku, bistveno bolj uporabne za izvajanje meritev, saj lahko uporabimo instrumentirani tekoči trak za merjenje reakcijske sile podlage in prijemališča reakcijske sile podlage, delovno območje se zmanjša na velikost tekočega traku, s hojo po tekočem traku pa lahko zagotovimo konstantno hitrost hoje. Izvajanje spotikov se na tekočem traku lahko izvede bodisi s postavljanjem mehanskih ovir na pohodno površino tekočega traku, pri čemer je potrebna časovna uskladitev proženja naprave za postavljanje mehanskih ovir z želenim nastopom perturbacije v določenem delu cikla hoje, bodisi s prednapeto vrvico, ki je pripeta na čevelj, in ob želenem trenutku zaustavi gibanje noge.[8] Taka naprava za spotikanje omogoča ponovljivo izvedbo spotika ob istem trenutku v ciklu hoje in možnost opazovanja različnih strategij lovljenja ravnotežja po nastopu perturbacije.

Namen študije je bil razviti in preizkusiti napravo, ki bi robustno in ponovljivo omogočala emulacijo spotikanja pri hoji po tekočem traku. Za uporabo te inovativne naprave, ki skoraj hipoma ustavi gibanje noge, je bilo potrebno napisati ustrezen algoritem, ki proži spotike (perturbacije) ob točno določenem času, ko je noga v zamahu. V preliminarno študijo je bila vključena zdrava oseba, ki je hodila po tekočem traku pri različnih hitrostih ter bila deležna spotikanja s strani naprave za spotikanje.

Metode

Na sliki 1 je ponazorjen sistem za spotikanje med hojo po tekočem traku, ki ga v grobem sestavljata naprava za spotikanje in tekoči trak. Naprava za spotikanje, ki jo sestavljata zavorni mehanizem in konstantna vzmet, je na zadnji strani tekočega traku pritrjena na stacionarno ogrodje. Naprava za spotikanje je zasnovana tako, da je njen način delovanja enak ne glede na velikost tekočega traku ali hitrost hoje po njem. Ob proženju zavornega mehanizma pri človeku

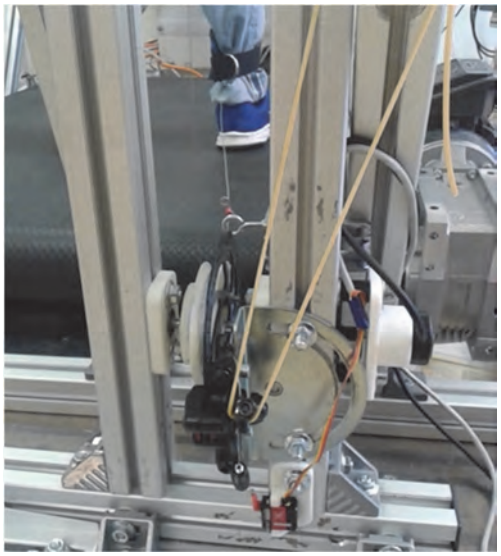
izzovemo ravnotežni odziv, ki se odrazi v spremenjeni kinematiki, kinetiki in elektromiografiji.



Slika 1 Shematski prikaz delovanja sistema za spotikanje med hojo po tekočem traku (B – zavorni mehanizem, F – konstantna vzmet, T – tekoči trak): a) zavorni mehanizem se sproži in b) izzove ravnotežni odziv človeka.

Naprava za spotikanje

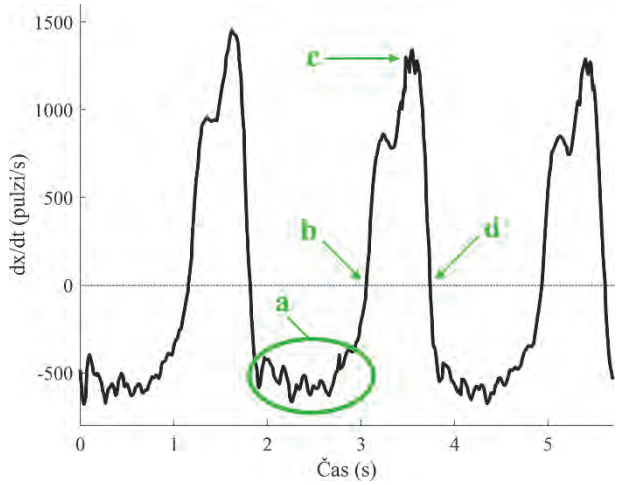
Naprava za spotikanje je majhna in robustna; sestavljena je iz manšete za gleženj, jeklene vrvice, škripca, zavornega mehanizma, vzmeti in inkrementalnega rotacijskega dajalnika. Človeku okoli gležnja namestimo manšeto, ki je z jekleno vrvico preko škripca povezana na vzmet. Vzmet poskrbi, da je med hojo jeklena vrvica vseskozi prednapeta s konstantno silo, vendar pa ta ni prevelika, da bi človeka ovirala pri hoji ali kakorkoli vplivala na njegovo kinematiko med hojo. Na os škripca je pritrjena disk zavora za kolo, ki jo čeljusti zavornega mehanizma lahko hipoma ustavijo. Čeljusti zavornega mehanizma so mehansko povezane s servomotorjem KST X12-508, tega pa vodimo preko mikrokrmilniške platforme Arduino Uno R3. S takim zavornim sistemom lahko ustavimo vrtenje škripca, torej se dolžina vrvice od škripca do gležnja ne spremeni, s tem pa povzročimo, da se na primer v fazi zamaha noga skoraj hipoma ustavi, s čimer posnemamo spotik. V času proženja zavornega mehanizma lahko človek nogo premakne le v smeri nazaj, v stran ali navzgor, ne more pa je premakniti naprej, kar je podobno, kot če z nogo zadenemo ob mehansko oviro. Na os škripca je nameščen inkrementalni rotacijski dajalnik z resolucijo 400 pulzov na obrat, ki daje informacijo o zasuku škripca. Ko škripec ni ustavljen z zavoro, je zaradi stalne napetosti vrvice dolžina vrvice od škripca do gležnja sorazmerna zasuku škripca in s tem zasuku dajalnika. Podatki iz inkrementalnega rotacijskega dajalnika se v realnem času berejo z uporabo mikrokrmilnika Arduino, s čimer lahko identificiramo podfaze hoje – torej, v katerem delu cikla hoje se človek nahaja, vendar je za to potreben ustrezen algoritem za prepoznavo podfaz hoje in proženje perturbacij. Fizična izvedba naprave za spotikanje med hojo po tekočem traku je prikazana na sliki 2.



Slika 2 Izvedba in postavitev naprave za spotikanje med hojo po tekočem traku.

Algoritem za proženje perturbacij

Cikel hoje delimo na fazi opore in zamaha. Spotikanje lahko izvedemo le v fazi zamaha noge, ki predstavlja okrog 40 % cikla pri hoji zdravega človeka. Da bi s spotikanjem izzvali čimbolj izrazit ravnotežni odziv, smo spotikanje želeli izvesti na sredini faze zamaha, ko je noga postavljena navpično ob drugi nogi, ki je v opori. To je tudi blizu mesta, ko je hitrost noge najvišja (t. i. podfaza sredine zamaha). Namen sistema je, da naprava človeka spotakne v enakem delu cikla hoje, ne glede na njegov položaj na tekočem traku ali hitrost hoje. Edini podatek o hoji, ki ga naprava beleži, so pulzi inkrementalnega rotacijskega dajalnika, ki so sorazmerni razdalji med gležnjem in škripcem. Ta razdalja je lahko med različnimi cikli hoje različna, kar je odvisno od tega, kje se človek trenutno na tekočem traku nahaja. Nekoliko več nam pove časovni odvod te razdalje, ki pa je neodvisen od človekove trenutne pozicije na tekočem traku. Iz grafa časovnega odvoda signala iz inkrementalnega rotacijskega dajalnika lahko razberemo štiri ločene dogodke, ki nam pomagajo določiti trenutek v ciklu hoje. Za ponazoritev identifikacije podfaz hoje vzemimo primer, ko je manšeta pritrjena na desni gleženj. Ko stoji desna noga v fazi opore na tekočem traku, je časovni odvod vedno negativen in premo sorazmeren hitrosti tekočega traku (slika 3 – območje a), nato odvod naraste preko ničle (slika 3 – točka b) in je v fazi zamaha pozitiven in narašča do svojega maksimuma, ki ga doseže približno na sredini zamaha (slika 3 – točka c). Ob koncu faze zamaha se noga ustavi (slika 3 – točka d) in se spet postavi na tekoči trak.

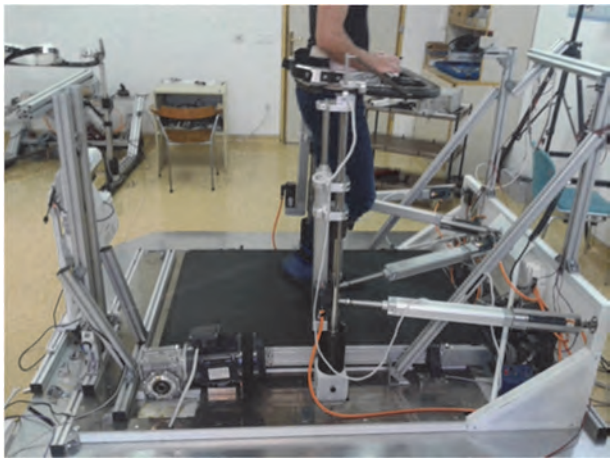


Slika 3 Časovno odvajani signal iz inkrementalnega rotacijskega dajalnika, ki ponazarja razdaljo med gležnjem in škripcem, z označbami za razpoznavo podfaz cikla hoje: a) faza opore, b) začetek faze zamaha, c) sredina faze zamaha in d) konec faze zamaha.

Uporaba odvoda signala je pri vsaki obdelavi signalov problematična, saj odvajanje ojači šum. Da bi vpliv šuma omejili, smo odvod filtrirali z digitalnim filtrom drugega reda z neskončnim impulznim odzivom. Na sliki 3 je prikazan graf časovno odvajanega signala iz inkrementalnega rotacijskega dajalnika, ki je že filtriran. V področju (a) s slike 3 kljub filtriranju signala opazimo, da odvod ni konstanten, kot bi bilo v idealnih razmerah pričakovati, temveč nekoliko niha. Prav tako je opaziti prisotnost še enega lokalnega maksimuma med točkama (b) in (c). Te neidealnosti se pojavljajo zaradi neidealnosti naprave, kjer ob visokem pojemku na koncu faze zamaha vrvica nekoliko zaniha, kar povzroči določene oscilacije signala. Prav tako je v napravi prisotna skoraj zanemarljiva vztrajnost, ki izvira iz mase samega škripca. Nekoliko težje so določljive meje področja (a) s slike 3 zaradi nihanja jeklene vrvice, prav tako pa je oteženo iskanje globalnega maksimuma (c) zaradi lokalnega minimuma, ki se pojavi pred tem, zato področje (a) in točka (c) nista tako primerni za prepoznavanje faze cikla hoje kot točki (b) in (d). Algoritem za določanje faz cikla hoje in posledično trenutka proženja zavore smo implementirali v razvojnem okolju Arduino, z uporabljenim mikrokrmilnikom Arduino pa se je algoritem izvajal v časovni zanki s frekvenco 75 Hz. Pri tem se je pojavil dodaten problem, da smo med oddanim ukazom za proženje zavore in dejansko zaustavitvijo škripca izmerili zakasnitev približno 100 ms. Ta zakasnitev v proženju zavore je pomenila, da smo morali trenutek, ko je noga v sredini zamaha, pričakovati vsaj 100 ms vnaprej. V ta namen smo shranjevali časovne žige zadnjih petih trenutkov, ko smo beležili točki (b) in (c) neperturbirane hoje. Zanašali smo se na to, da so si cikli hoje med seboj dovolj podobni, da lahko na podlagi statistike zadnjih petih napovemo, kako dolg bo naslednji cikel hoje. V ciklu, ko želimo prožiti perturbacijo, algoritem najprej počaka na prepoznavo točke (b), nato pa iz povprečja zadnjih petih ciklov določi čas proženja zavore. Proženje zavore smo nastavili ob času, ko preteče 60 % časa med točko (b) in (d). Ta delež smo dobili eksperimentalno in vanj ne vključujemo 100 ms zakasnitve zaradi proženja zavore – to zakasnitev upoštevamo posebej. Trajanje perturbacije (čas držanja zavore) smo arbitrarno nastavili na 150 ms. Prekratek čas trajanja perturbacije namreč ne povzroči vidne dinamične reakcije človeka, po drugi strani pa predolg čas trajanja perturbacije lahko povzroči poskakovanje na eni nogi ali pa nenadzorovano izgubo ravnotežja, ki bi lahko privedla do padca. Ocenjujemo, da je smiselno uporabljati čase držanja zavore med 100 ms in 400 ms. Po proženju perturbacije algoritem onemogoči proženje za vsaj 10 sekund. V tem času ima človek dovolj časa, da se odzove na spotik in se njegova hoja spet lahko povrne v ustaljeno stanje.

Sistem BART

Pri razvoju in evalvaciji naprave za spotikanje smo uporabili instrumentacijski tekoči trak, ki stoji na štirih senzorjih sile in tako deluje na enak način kot pritiskovna plošča. Omogoča merjenje reakcijske sile podlage (angl. GRF – *ground reaction force*) v vseh treh oseh in določanje prijemališča reakcijske sile podlage (angl. COP – *center of pressure*). Tekoči trak skupaj s šest osnim robotom sestavlja sistem za ovrednotenje ravnotežja BART (angl. *Balance Assessment Robot for Treadmill Walking*), ki smo ga razvili na URI – Soča.[10] Robot zaobjame pacientovo medenico, sledi gibanju medenice in meri lokacijo medenice v prostoru, kar lahko aproksimiramo s človekovim težiščem (angl. COM – *center of mass*). Sistem BART in naprava za spotikanje sta med seboj povezana z analognim signalom, ki smo ga uporabili za sinhronizacijo podatkov iz obeh sistemov. Celotna eksperimentalna platforma za evalvacijo je prikazana na sliki 4, kjer je preiskovanec v višine medenice vpet v sistem BART, manšeta okoli njegovega gležnja pa je povezana preko jeklene vrvice na napravo za spotikanje, ki je pritrjena na stacionarnem stojalu na zadnji strani tekočega traku.



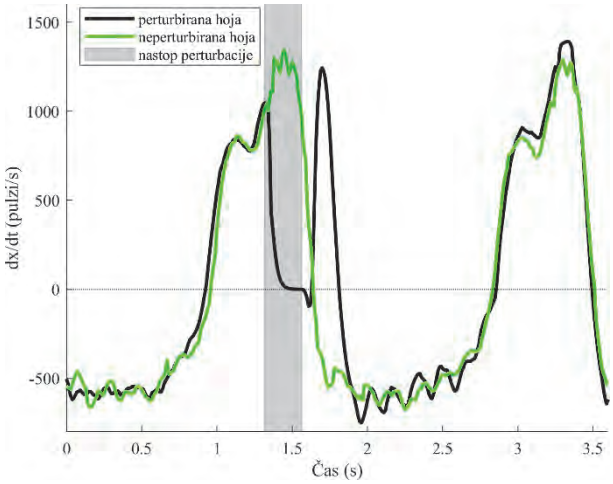
Slika 4 Eksperimentalna platforma za evalvacijo: sistem BART in naprava za spotikanje med hojo prostovoljca po tekočem traku.

Evalvacija naprave za spotikanje

Za evalvacijo naprave za spotikanje smo izvedli dve meritvi dinamičnega ravnotežnega odziva na spotikanje. V meritvi je sodeloval zdrav odrasel prostovoljec (181 cm, 75 kg, 36 let). Prostovoljec je hodil po tekočem traku pri dveh različnih hitrostih: 0,4 m/s in 0,6 m/s. Okoli medenice je bil vpet z medenično objemko sistema BART, na desni nogi okoli gležnja pa je imel nameščeno manšeto, ki je bila povezana z napravo za spotikanje. Pred eksperimentom je prostovoljec nekaj minut hodil po tekočem traku ter nekajkrat preizkusil delovanje sistema, da se je spoznal z eksperimentalnim okoljem. Evalvacija je zajemala povprečno 10 ponovitev perturbacij za vsako hitrost, proženje spotikov pa smo izvajali na desni nogi. Signale o proženju zavore in vrtenju rotacijskega dajalnika smo preko serijske povezave iz mikrokrmilniške platforme Arduino sproti prenašali na osebni računalnik. Sinhronizirane signale o reakcijski sili podlage (GRF), prijemališču reakcijske sile podlage (COP) in težišču (COM) smo dobili iz sistema BART. Vse signale smo razdelili na cikle hoje, jih ločili na neperturbirano in perturbirano hojo, izločili odstopajoče signale ter izračunali povprečne vrednosti signalov s standardno deviacijo. V povprečju je bilo uporabnih približno 7 ponovitev človekovega odziva.

Rezultati

Testiranje naprave in opazovanje prostovoljca med hojo je nakazovalo, da algoritem dobro ujame trenutek v sredini faze zamaha, kar so potrdili tudi rezultati evalvacije. Na sliki 5 je prikazan primer delovanja naprave za spotikanje med hojo prostovoljca pri hitrosti 0,4 m/s. Na grafu časovnega odvoda signala iz inkrementalnega rotacijskega dajalnika, ki ponazarja razdaljo med gležnjem in škripcem, sta prikazana signal hoje z emulacijo spotika (črna) ter signal neperturbirane hoje (zelena), ki sta za lažjo predstavitev časovno poravnana. Iz grafa je jasno razvidno, da se trenutek proženja zavore (sivo obarvano območje) zgodi malo pred trenutkom, ko bi pri neperturbirani hoji dosegli maksimalno hitrost noge v zamahu. Tu se namesto nadaljevanja cikla hoje v fazo sredine zamaha sproži zavora, kar povzroči, da pride do hipne zaustavitve – odvod signala iz inkrementalnega rotacijskega dajalnika pade na nič. Sledi človekov odziv na perturbacijo, ki v tem primeru traja kratek čas, nato pa se ponovno vzpostavi normalen cikel hoje.



Slika 5 Graf časovnega odvoda signala iz inkrementalnega rotacijskega dajalnika, ki ponazarja razdaljo med gležnjem in škripcem, pri neperturbirani hoji (zelena) in perturbirani hoji (črna) ter časovni interval proženja zavore (sivo območje), ko prostovoljec hodi s hitrostjo 0,4 m/s.

Grafi na sliki 6 prikazujejo signale COP, COM in GRF, zajete pri hoji prostovoljca s hitrostjo 0,4 m/s, slika 7 pa prikazuje dogajanje pri hitrosti hoje 0,6 m/s. Prva dva grafa v prvi vrstici prikazujeta COP (polne črte) in COM (črtkane črte) v mediolateralni (ML) in anteroposteriorni (AP) osi, graf zgoraj desno prikazuje navpično komponento signala COM, v spodnji vrstici pa so prikazani grafi reakcijske sile podlage GRF v ML, AP in navpični osi. Na vodoravni osi vseh grafov je delež opravljenega cikla hoje, pri čemer je 0 % postavljeno na trenutek, ko je prostovoljec s peto leve noge dostopil na tekoči trak. V primeru neperturbiranega cikla hoje prvih 10 % traja faza dvojne oporne, nato 40 % faza enojne opore leve noge oziroma zamaha desne noge, sledi 10 % faze dvojne opore ter zadnjih 40 % faza zamaha leve noge oziroma enojne opore desne noge. Signali iz

ciklov neperturbirane hoje so na grafih obarvani z zeleno, signali iz ciklov s proženjem perturbacije pa so obarvani črno. Čas nastopa perturbacije je označen s sivim območjem in se pri obeh hitrostih hoje pojavi v času sredine faze zamaha desne noge. Čeprav je interval perturbacije pri obeh hitrostih hoje časovno enako dolg (tj. 150 ms), je pri hitrosti hoje 0,6 m/s opazno širši, kar je le posledica normiranja časovne lestvice na cikel hoje. Čas trajanja cikla hoje je pri hitrejši hoji krajši, interval perturbacije pa se tako sorazmerno raztegne.

Rezultati na sliki 6 prikazujejo odziv na spotik pri hitrosti 0,4 m/s, ki se zgodi v času srednjega zamaha desne noge (leva noga v srednji opori). Pred nastopom perturbacije se vsi signali (COP, COM, GRF) prekrivajo, nato pa se kmalu po nastopu perturbacije začne odziv človeka na motnjo, ki se še pred koncem cikla zaključi, ko se ponovno vzpostavi normalno stanje.

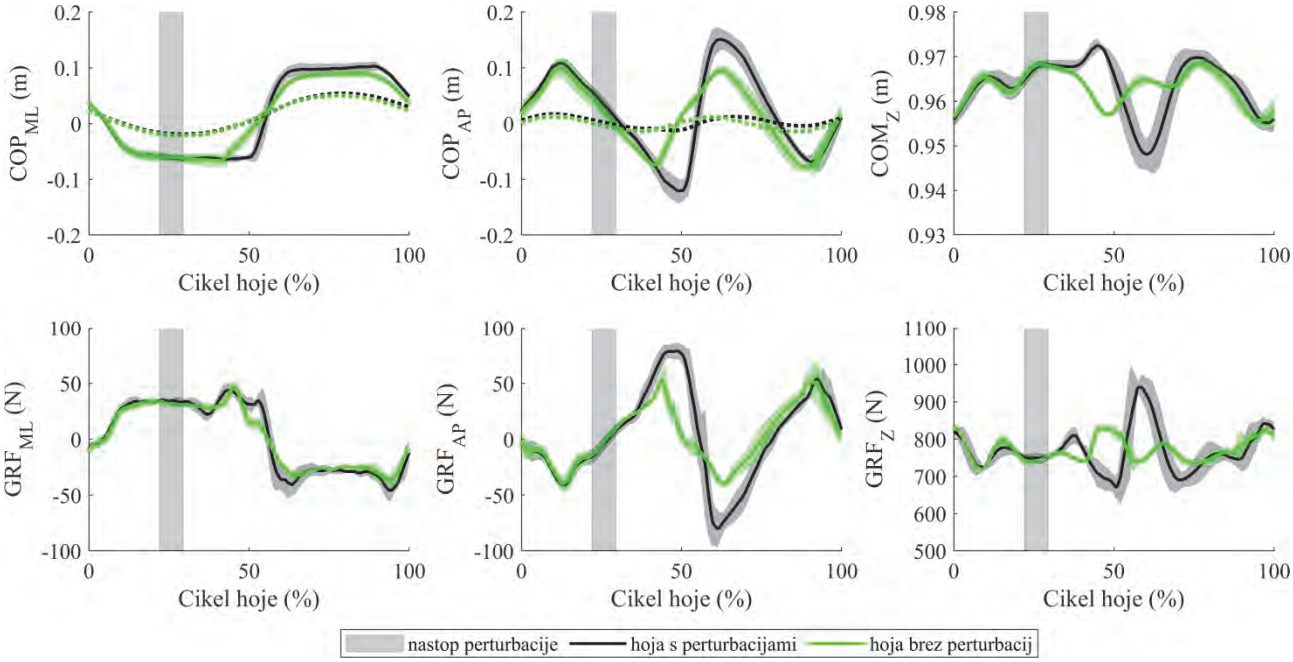
Po nastopu spotika na desni nogi se človek najprej odzove s povečanjem navpične komponente GRF (slika 6 spodaj desno), kar povzroči dvig težišča telesa (COM_Z – slika 6 zgoraj desno), nato pa GRF_Z pri okoli 50 % cikla hoje prične upadati in COM_Z se posledično znižuje. Faza enojne opore leve noge se podaljša, kar prikazujejo grafi COP v ML osi (slika 6 zgoraj levo) in AP osi (slika 6 zgoraj v sredini) v območju okoli 50 % cikla hoje, kjer se tudi COM_{AP} rahlo premakne v smeri naprej. Tu pride do povečanega odriva leve noge, kar se vidi v povečani sili pospeševanja v GRF_{AP} (slika 6 spodaj v sredini) glede na neperturbirano hojo. Sledi hitrejši prehod iz faze enojne opore leve noge v fazo enojne opore desne noge v primerjavi z neperturbirano hojo. V fazi dvojne opore se pojavi naraščanje vertikalne GRF, desna noga prične z zaviranjem gibanja, ki ga zaznamo kot povečanje GRF_{AP} v negativni smeri v območju okoli 60 % cikla hoje (slika 6 spodaj v sredini), COP_{AP} se tu pomakne bolj posteriorno (slika 6 zgoraj v sredini) kot v primeru neperturbirane hoje. Povečanje COP_{AP} lahko pomeni, da je prostovoljec v iskanju ravnotežja naredil daljši korak ali pa je pri enaki dolžini koraka potisnil COP_{AP} proti prstom. Faza dvojne opore je bistveno krajša kot pri neperturbirani hoji. V odzivu ni zaznati večjih sprememb v COM_{ML} (slika 6 zgoraj levo, črtkana črta).

Rezultati na sliki 7 prikazujejo odziv na spotik pri hitrosti 0,6 m/s. Nastop perturbacije se v tem primeru zgodi rahlo kasneje (približno 5 % cikla hoje) kot v primeru počasnejše hoje s slike 6. Odziv na spotik je zelo podoben odzivu pri nižji hitrosti. Nekoliko manjša je ponovljivost odzivov, kar se opazi pri povečani standardni deviaciji v nekaterih delih cikla hoje. Glede na odzive pri nižji hitrosti lahko tukaj opazimo nekoliko bolj podaljšano fazo enojne opore, ki sega preko 50 % cikla hoje, kaže se tudi skozi večji odriv leve noge ter zmanjšanju GRF_Z (slika 7 spodaj desno) pred dostopom desne noge, kar nekoliko bolj zniža COM_Z, (slika 7 zgoraj desno, med 60 % in 70 % cikla hoje), ob dostopu desne noge pa je GRF_Z nekoliko večji. Na tem mestu pride do nekoliko manjšega zaviranja gibanja telesa z desno nogo kot pri odzivu pri nižji hitrosti, kar se vidi v GRF_{AP} med 60 % in 70 % cikla hoje (slika 7 spodaj v sredini), COP_{AP} pa ostane na približno enakem nivoju kot pri neperturbirani hoji. Tudi tukaj ni zaznati sprememb v COM_{ML} (slika 7 zgoraj levo, črtkana črta), medtem ko je opaziti rahel pomik COM_{AP} v smeri naprej pri okoli 60 % cikla hoje.

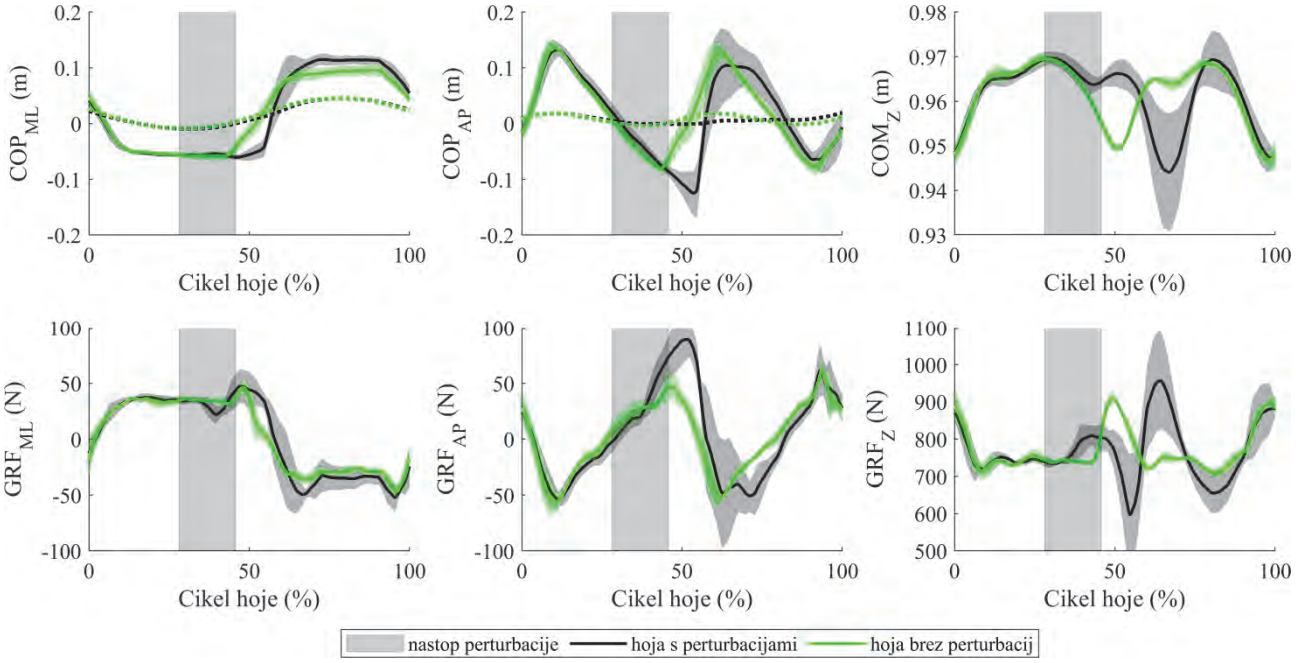
Razprava

Čeprav naprava za emulacijo spotikanja za svoje delovanje ne uporablja fizične ovire, ob katero bi se človek spotaknil, pa izzove dinamični odziv, ki je zelo podoben odzivu na spotik ob fizično oviro. Pri sledenju gibanja noge naprava uporablja konstantno vzmet, katere sila je zanemarljiva, da bi lahko vplivala na kinematiko noge. Kinematike (z izjemo merjenja položaja medenice) v tej študiji nismo preučevali, tako da gre za subjektivno mnenje preiskovanca. Prednost delovanja opisane naprave je tudi, da preiskovanec ne more zaznati oziroma predvideti nastopa perturbacije, sicer bi se lahko na perturbacijo pripravil, kar bi lahko privedlo do spremenjenih odzivov. V našem primeru gre za spotikanje na eni nogi, vendar je z uporabo dveh naprav možno naključno izbrati tudi stran spotika. Iz rezultatov je razvidno, da ima sistem visoko ponovljivost izvedbe perturbacij, kar je posledica ustreznega delovanja algoritma, ki poskrbi, da perturbacije nastopijo ob določenem času znotraj cikla hoje. Algoritem za proženje zavore uspešno prepozna faze cikla hoje in zavoro proži v sredini faze zamaha desne noge, kar je bil tudi cilj študije. V strokovni literaturi se omenja več strategij vzdrževanja ravnotežja po nastopu spotika,[8,9] tj. a) strategija dvigovanja noge, kjer oseba po spotiku nogo dvigne ter jo postavi posteriorno (za oviro); b) strategija zakasnjenega spuščanja noge, kjer oseba po spotiku dvigne nogo ter jo postavi anteriorno (na mesto ovire ali pred oviro); c) strategija spuščanja noge, kjer oseba po spotiku le postavi nogo anteriorno (na mesto ovire ali pred oviro). Študije navajajo, da so zgoraj opisane strategije lahko odvisne od tega, v katerem delu faze zamaha noge perturbacija nastopi, od hitrosti hoje ali od trajanja perturbacije. Trajanje perturbacije lahko zagotovimo z višino fizične ovire ali z držanjem zavore, kot v našem primeru. Rezultati naše

preliminarne študije nedvomno kažejo, da je preiskovanec pri obeh hitrostih hoje uporabil strategijo dvigovanja noge, kar je razbrati že iz poteka COP_{AP}, ki se po perturbaciji premakne v smeri naprej. S to napravo lahko prožimo perturbacije v kateremkoli delu faze zamaha. V primeru proženja v drugih delih faze zamaha sicer pričakujemo tudi drugačne strategije odzivov na izgubo ravnotežja, vendar pa je v pričujoči študiji uporabljeno proženje le ob enem časovnem trenutku v fazi zamaha. Nadaljnje delo na sistemu za emulacijo spotikanja bo zajemalo izboljšave, kot je pohitritev mehanskega odziva, ko pride do ukaza za proženje zavore; posplošenje algoritma za proženje perturbacije ob katerem koli trenutku znotraj faze zamaha; ter izdelava dveh enakih naprav za izvajanje perturbacij na obeh nogah. Zasnova in sestava naprave je enostavna in vsebuje nizkocenovne elemente, neodvisna pa je tudi od modela tekočega traku, kar pomeni, da je naprava lahko potencialno dostopna in široko uporabna v rehabilitacijskih centrih pri urjenju vzdrževanja ravnotežja med hojo.



Slika 6 Rezultati odziva na spotikanje pri hitrosti hoje 0,4 m/s. V prvi vrstici sta prikazana grafa prijemališča reakcijske sile podlage (COP) skupaj s težiščem (COM, črtkano) v mediolateralni (ML) in anteroposteriorni (AP) osi ter COM v longitudinalni osi (z); v drugi vrstici so prikazani grafi reakcijske sile podlage (GRF) v vseh treh oseh.



Slika 7 Rezultati odziva na spotikanje pri hitrosti hoje 0,6 m/s. V prvi vrstici sta prikazana grafa prijemališča reakcijske sile podlage (COP) skupaj s težiščem (COM, črtkano) v mediolateralni (ML) in anteroposteriorni (AP) osi ter COM v longitudinalni osi (z); v drugi vrstici so prikazani grafi reakcijske sile podlage (GRF) v vseh treh oseh.

Zaključek

Rezultati evalvacije naprave za posnemanje spotikanja po tekočem traku z enim prostovoljcem kažejo, da algoritem prepozna osnovne faze hoje, ponovljivo proži spotikanje v želenem delu cikla hoje, naprava pa človeku ne dopušča možnosti predvidevanja nastopa perturbacije. Meritve prijemališča reakcijske sile podlage, težišča telesa in reakcijske sile podlage pričakovano kažejo na uporabo ene od strategij odziva na izgubo ravnotežja ob spotikanju, ki so opisane v strokovni literaturi.

Reference

1. World Health Organization: *Falls*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls (9. 3. 2020)
2. Mackintosh SFH, Hill K, Dodd KJ, Goldie P, Culham E: Falls and injury prevention should be part of every stroke rehabilitation plan. *Clin Rehabil* 2005; *19*(4): 441-451. https://doi.org/10.1191/0269215505cr796oa
3. Mackintosh SF, Hill KD, Dodd KJ, Goldie PA, Culham EG: Balance score and a history of falls in hospital predict recurrent falls in the 6 months following stroke rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil* 2006; *87*(12): 1583-1589. https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.09.004
4. Kerse N, Parag V, Feigin VL, et al.: Falls after stroke: results from the Auckland regional community stroke (ARCOS) study, 2002 to 2003. *Stroke* 2008; *39*(6): 1890-1893. https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.107.509885
5. Forster A, Young J: Incidence and consequences offalls due to stroke: a systematic inquiry. *BMJ* 1995; *311*(6997): 83. https://doi.org/10.1136/bmj.311.6997.83
6. Batchelor FA, Mackintosh SF, Said CM, Hill KD: Falls after stroke. *Int J Stroke* 2012; *7*(6): 482-490. https://doi.org/10.1111/j.1747-4949.2012.00796.x
7. Okubo Y, Brodie MA, Sturnieks DL, et al.: Exposure to unpredictable trips and slips while walking can improve balance recovery responses with minimum predictive gait alterations. *bioRxiv* 2018: 333989. https://doi.org/10.1101/333989
8. Shirota C, Simon AM, Kuiken TA: Trip recovery strategies following perturbations of variable duration. *J Biomech* 2014; *47*(11): 2679-2684. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2014.05.009
9. King ST, Eveld ME, Martínez A, Zelik KE, Goldfarb M: A novel system for introducing precisely-controlled, unanticipated gait perturbations for the study of stumble recovery. *J Neuroeng Rehabil* 2019; *16*: 69. https://doi.org/10.1186/s12984-019-0527-7
10. Matjačić Z, Zadravec M, Olenšek A: An effective balancing response to lateral perturbations at pelvis level during slow walking requires control in all three planes of motion. *J Biomech* 2017; *60*: 79-90. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2017.06.020

■ *Research paper*

Drago Rudel, Marjan Pajntar, Gaj Vidmar, Branimir Leskošek

Assessing Ripeness of the Cervix Through its Electromyographic Activity in Relation to the Bishop Score

Abstract. Our aim was to characterise selected parameters of the cervical smooth muscle EMG activity at the onset of labour as indicators of cervical ripeness in comparison to the Bishop score. We conducted a retrospective study of 46 healthy primiparous women with induced labour (rupture of membranes and oxytocin stimulation). Digitally assessed Bishop score values for the cervix at the onset of labour were compared with two parameters of EMG signal derived from the cervix: average amplitude (U_{RMSA}) and average median frequency (MF_A). Only the basal cervical EMG activity was considered, i.e., the periods of EMG activity when there was no uterine contraction and no bursts in EMG signal. U_{RMSA} and MF_A of the uterine smooth muscle EMG activity proved to be negatively correlated with cumulative Bishop score. The basal EMG activity reflects a stage in the cervical ripening process and thus a level of readiness of the cervix for labour, therefore the EMG parameters U_{RMSA} and MF_A are indicators of cervical ripeness.

Ocena zrelosti maternične vratu z vrednotenjem njegove EMG aktivnosti v odnosu do ocene po Bishopu

Povzetek. Želeli smo ovrednotiti parametre EMG aktivnosti gladkega mišičja maternične vratu, izmerjene na začetku poroda, kot indikator zrelosti maternične vratu in jih primerjati s kumulativno oceno po Bishopu. V retrospektivno študijo smo zajeli 46 prvorodk z induciranim porodom (predrtje jajčnih mehurjev in stimulacija poroda z oksitocinom). Oceno maternične vratu s prsti po Bishopu na začetku poroda smo primerjali z dvema parametroma EMG aktivnosti, izmerjenima na maternične vratu: povprečno amplitudo (U_{RMSA}) in mediano frekvence (MF_A). Ocenjena so bila le obdobja bazalne EMG aktivnosti maternične vratu, tj. tista, v katerih ni bilo kontrakcij maternice in ni bilo registriranih izbruhov EMG aktivnosti. Pokazalo se je, da sta U_{RMSA} in MF_A EMG aktivnosti gladkega mišičja maternične vratu negativno korelirani s kumulativno oceno po Bishopu. Bazalna EMG aktivnost odseva stanje v procesu zorenja maternične vratu in s tem stopnjo pripravljenosti maternične vratu za porod, torej lahko trdimo, da sta EMG parametra U_{RMSA} in MF_A pokazatelja zrelosti maternične vratu.

■ **Infor Med Slov** 2020; 25(1-2): 9-18

Institucije avtorjev / Authors' institutions: MKS Electronic Systems Ltd., Ljubljana (DR), Division of Gynaecology and Obstetrics, University Medical Centre Ljubljana (MP); Institute for Biostatistics and Medical Informatics, Faculty of Medicine, University of Ljubljana (GV, BL); University Rehabilitation Institute, Ljubljana (GV); Faculty of Mathematics, Natural Sciences and Information Technologies, University of Primorska, Koper (GV).

Kontaktna oseba / Contact person: dr. Drago Rudel, MKS d.o.o., Rožna dolina c. XVII/22b, 1000 Ljubljana, Slovenia. E-pošta / E-mail: drago.rudel@mks.si.

Prispelo / Received: 4. 2. 2020. Sprejeto / Accepted: 4. 3. 2020.

Introduction

The cervix prepares itself for labour during the process of ripening.[1-3] Failure of the cervix to ripen at term may be followed by failure to progress in labour.[4] At labour, before a regimen of conducting the labour is selected, the obstetrician assesses cervical ripening or its preparedness for induction of labour. In the absence of a ripe (favourable) cervix, steps are to be taken for its preparation. Numerous non-pharmacological methods and pharmacological agents are available for that purpose.[5]

Systems of quantifying and scoring cervical ripeness have been sought for years to determine if a patient may successfully and safely undergo induction of labour. The prevalent Bishop scoring system[6] is a subjective method performed by an obstetrician involving also an assessment of physical properties of the cervix. The scoring system considers the effacement, dilation, consistency, and position of the cervix in addition to the station of the presenting part. Attributes that advocate for cervical ripeness are: an effaced, dilated, favourable cervix with its canal axis directed as much forward as possible. When assessing the Bishop score, each of the attributes is scored so that the cumulative score ranges from 0 to 13. Scores for unripe cervices range from 3 to 6, and for ripe cervices from 7 to 12. Repeated digital cervical examinations give poorly reproducible results and are uncomfortable for the patient.

As the cervix can be considered a mechanical system with physical characteristics that can be measured objectively, methods for objective evaluation of cervical ripeness have been sought. They have not been aiming at substituting the Bishop scoring system but to empower the obstetrician in decision-making by giving him/her objective information on the progress of cervical preparation for labour. Different non-invasive and invasive solutions have been proposed for periodic or continuous follow-up of changes of a single cervical physical characteristic, e.g. cervical dilatation,[7-9] consistency,[10] cervical resistance,[11] mechanical stretch characteristics[12] or cervical compliance.[13] Modern techniques of cervical ripeness assessment technique are based on collagen content assessment,[3,14,15] determination of cervical hydration state[16] or determination of quantity of fetal fibronectin in cervicovaginal secretion.[17] Nowadays, transvaginal sonography is a widely accepted and well-standardised method to measure cervical length.[18,19] One of potential methods for assessing cervical ripeness is also electromyography (EMG). Some researchers have combined different methods (EMG, dilatation, intrauterine pressure) in order to better assess cervical ripeness in humans[8] or animals.[20]

It has been proved in humans[21-29] and animals[20,30-34] that EMG signals derived from the cervix reflect electrical activity of smooth muscle cells in the cervix. The activity is different in women at different stages of the cervical ripeness at the onset of labour.[35] When a labour progresses and the cervix ripens, EMG activity changes in its pattern and the EMG content thus probably (at least partly) reflects changes in the status of cervical ripeness.[8,23,28,29,35]

EMG activity registered in the cervix at the onset of labour when there are no uterine contractions and no locally produced bursts in EMG activity can be considered the basal EMG activity of the smooth muscle tissue in the cervix. As such, it could reflect the level of cervical readiness for successful labour and thus the level of its ripeness.

Researchers and clinicians still argue about the value of some technical approaches in assessment of cervical ripeness. As the Bishop scoring system[6] seems to be the best and currently the most widely accepted method, any newly developed method should parallel its results to it.[36] Hence, our paper is aimed at relating Bishop score values to parameters calculated from EMG signal derived from the cervix at the onset of labour. More specifically, our hypothesis was that the average EMG signal amplitude (U_{RMSA}) and the average median frequency (MF_A) calculated from the EMG that is derived from the cervix at the onset of labour in primiparous women correlate with the cumulative Bishop score and could therefore serve as a measure of cervical ripeness.

Methods

Sample

Forty-six healthy women at term undergoing induction of labour with amniotomy and subsequent oxytocin infusion were included in the study. Cervical electromyographic activity (EMG) and intrauterine pressure (IUP) were registered electronically throughout the latent and active phase of labour without major artefacts. Women were classified into three groups according to their cumulative Bishop score (CBS) value assessed by an obstetrician at the onset of the labour: group CBS 1-4 with 12 labours having CBS values from 1 to 4, group CBS 5-6 with 21 labours and CBS values 5 and 6, and group CBS 7-9 with 13 labours having CBS values 7 and above.

The National Medical Ethics Committee of the Republic of Slovenia approved the study (No. 32/01/97) and an informed consent was obtained from each woman before being enrolled in the study.

Patient preparation and EMG and IUP measurements procedure

After admission to the delivery room, cervical ripeness was estimated according to the Bishop score. Amniotomy was performed and a fluid-filled, open-end intra-amniotic catheter (Hewlett Packard 1286) for measuring and recording the intrauterine pressure (IUP) was inserted in the uterine cavity. An ECG fetal spiral steel electrode (Hewlett Packard 15130A) was attached to the infant's head to monitor the fetal heart rate. To record the EMG activity of smooth muscle tissue at the exterior wall of the cervix, two identical fetal spiral steel electrodes (Hewlett Packard 15130A) as for ECG measurements were inserted directly into the cervical tissue from the vaginal side, 2-3 mm deep in the outer aspect of the cervix (proximal part of the portio), circumferential to the cervical canal (at 9 o'clock and 12 o'clock).[23,28,29] The calculated average initial inter-electrode distance was 31.7 mm (SD 0.63 mm), and at the end of the observed period it was 33.9 mm (SD 0.70 mm). A reference flat metal (Sn) electrode was attached to the woman's thigh. Neither the electrodes themselves nor their application caused any pain or discomfort to the women.

A miniature differential preamplifier and a portable amplifier with an isolation unit were used to amplify (A = 2000) and condition EMG signals. To identify uterine contractions, the intrauterine pressure (IUP) was measured by the intra-amniotic catheter and recorded by cardiotocograph (CTG; Hewlett Packard HP8030A). Analogue signals of EMG and IUP were registered on the monitor chart recorder. A personal computer was used for data acquisition with 12-bit A/D conversion (DAS-8PGA Data Acquisition and Control Board – Metrabyte Inc., USA). EMG and IUP were sampled at 18.2 Hz and the data were written to a personal computer hard disk for later processing. The registration of EMG and IUP began approximately 10 minutes after amniotomy and lasted throughout the duration of labour.

Bishop score values for each labour were collected from the patient's labour documentation. Average values of Bishop score, duration of latent phase and number of contractions in the selected interval are listed in Table 1.

Identification of uterine contractions

IUP signal was recorded to get information on uterine contractions. An increase in IUP above 10 % of its basal level for a period above 30 seconds was classified as a contraction. Periods with contractions were visually determined to distinguish them from periods without contractions. The information was used only for the purpose of proper selection of EMG signal time-intervals that were processed.

Selection of EMG signal intervals

Each EMG record of the selected labours was peer-reviewed for the quality of the recording. For the purpose of the study, one 20-minute measurement interval was selected from each labour record containing no major artefacts in EMG. The interval was selected as close to the onset of labour as possible.

Within the selected 20-minute intervals, the periods with no uterine contractions and the periods with contractions were visually determined for each labour. Periods containing neither uterine contractions nor bursts in EMG activity were classified as periods of *basal EMG activity*. The selected EMG intervals were then grouped to form a collage of shorter periods of EMG activity. Total duration of these periods in each labour was from 3.3 to 13.0 minutes. The periods of EMG activity recorded during uterine contractions at which bursts in EMG activity appeared were classifies as periods of *EMG activity at contractions*. The duration of such intervals ranged from 1.0 to 5.0 minutes.

EMG signal processing

The selected EMG recordings for each labour were filtered digitally (2nd order Butterworth band pass filter 0.3 Hz – 3.0 Hz) for diminishing the influence of artefacts and noise. Then they were collated and processed as a joined signal in time and frequency domain. The Root Mean Square (U_{RMS}) of the EMG signal voltage and median frequency (MF) of the EMG signal were calculated for each 5-second interval of the selected intervals and average values were determined (U_{RMSA}, MF_A). Power Spectra Density (PSD) spectrum was also calculated for the joint intervals. Descriptive statistics for the EMG values for the three groups of labours are given in Table 2. MathLab software (MathLab Inc., Ver. 4) was used for signal processing, analyses and graphic presentation.

Statistical analysis

The following parameters of each labour were used in the statistical analyses: cumulative Bishop score

(CBS), values of Bishop score components (effacement – EFFA, dilation – DILA, consistency – CONS, position of the cervix – POCE; station of the presenting part – PRES), duration of the latent phase (LATPH) and the results of EMG signal processing (U_{RMSA}, MF_A). For all the variables, descriptive statistics were calculated and distributions were examined univariately and bivariately.

To assure validity of the findings, the influence of oxytocin during the observed interval on U_{RMSA} and MF_A was tested using weighted least-squares linear regression (WLS) with cases weighted by total duration of the selected EMG intervals. No statistically significant association was found between time of oxytocin injection and either U_{RMSA} ($p = 0.081$) or MF_A ($p = 0.232$), hence all the labours (i.e., cases) were retained in the subsequent analysis.

The ability of EMG characteristics to predict the Bishop score component values was then tested using regression models with U_{RMSA} and MF_A as independent variables. To test the association of EMG signal characteristics with CBS, LATPH and number of uterine contractions (NC), WLS was applied (with case weights calculated from the duration of the selected EMG intervals). The statistically significant associations were visualised using 3D-scatterplot with local regression smoother (with Epanechnikov kernel). Exact binomial logistic regression was used for testing the association with individual components of the Bishop score, which were dichotomised for the purpose.

Statistical analyses were performed using SPSS for Windows 13.0.1 (SPSS Inc., Chicago, IL, 2004) and Cytel Studio 7.0.0 (Cytel Software Corp., MA, 2005).

Table 1 Descriptive statistics of clinical data for the three groups of labours according to cumulative Bishop score.

Document type	CBS 1-4 (12 labours; median 3)	CBS 5-6 (21 labours; median 6)	CBS 7-9 (13 labours; median 8)	*p*
CBS component				
EFFA – Effacement	1.0 (1.0) [0..3]	2.2 (0.7) [1..3]	2.8 (0.4) [2..3]	
DILA – Dilatation	1.0 (0.0) [1..1]	1.0 (0.2) [1..2]	1.4 (0.5) [1..2]	
CONS – Consistency	0.8 (0.9) [0..2]	1.4 (0.6) [0..2]	1.9 (0.3) [1..2]	
POCE – Position of the cervix	0.08 (0.29) [0..1]	0.86 (0.56) [0..2]	1.23 (0.44) [1..2]	
PRES – Station of the presenting part	0.1 (0.3) [0..1]	0.1 (0.4) [0..1]	0.6 (0.6) [0..2]	
Duration of latent phase (minutes)	242 (113) [105..420]	115 (78) [0..292]	42 (47) [0..150]	< 0.001
No. of contractions in the selected 20' interval	4.7 (1.7) [2..8]	5.3 (3.0) [0..11]	4.8 (2.6) [1..10]	0.787

Legend: CBS – cumulative Bishop score; descriptive statistics are reported as Mean (Standard Deviation) [Range]; where sensible, statistical significance of the difference between groups is also reported.

Table 2 Comparison of the selected cervical EMG activity intervals and the values of the calculated parameters for the three groups of labours separately for the basal EMG activity and EMG activity at contractions.

Document type		CBS 1-4 (12 labours)	CBS 5-6 (21 labours)	CBS 7-9 (13 labours)
Basal EMG activity				
Number of selected EMG intervals		3.3 (0.5)	3.0 (1.0)	3.0 (0.9)
Mean duration of selected EMG intervals (s)		148 (47)	169 (154)	141 (73)
Total duration of selected EMG intervals (s)		485 (140)	407 (162)	377 (125)
EMG activity at contractions				
Number of labours included		11	18	11
Number of selected EMG intervals		2.4 (1.3)	2.6 (1.1)	2.5 (1.1)
Mean duration of selected EMG intervals (s)		107 (61)	67 (23)	84 (35)
Total duration of selected EMG intervals (s)		220 (106)	167 (84)	210 (136)
EMG parameters				
U_{RMSA} (μV)	Basal EMG activity	30.0 (21.3)	22.4 (16.5)	22.1 (10.7)
	EMG activity at contractions	46.3 (29.1)	54.6 (47.1)	43.0 (31.1)
MF_A (Hz)	Basal EMG activity	0.79 (0.37	0.70 (0.37)	0.71 (0.23)
	EMG activity at contractions	0.67 (0 .29	0.58 (0.19)	0.69 (0.26)

Legend: numerical variables are reported as Mean (Standard Deviation).

Results

To illustrate differences in EMG activity pattern, two labours with their joined selected intervals of EMG signals are presented together with the EMG parameters (U_{RMSA}, MF_A) calculated from them. In Figure 1, the cervical basal EMG activity is displayed: on the left for a representative labour of the CBS 1-4 group (CBS = 3 case) and on the right for a representative labour of the CBS 7-9 group (CBS = 8 case). The filtered EMG signal (top trace) is composed of several manually selected sections of basal EMG activity in both cases. EMG activity clearly differs between group representatives in its amplitude and density (frequency contents); details are described below.

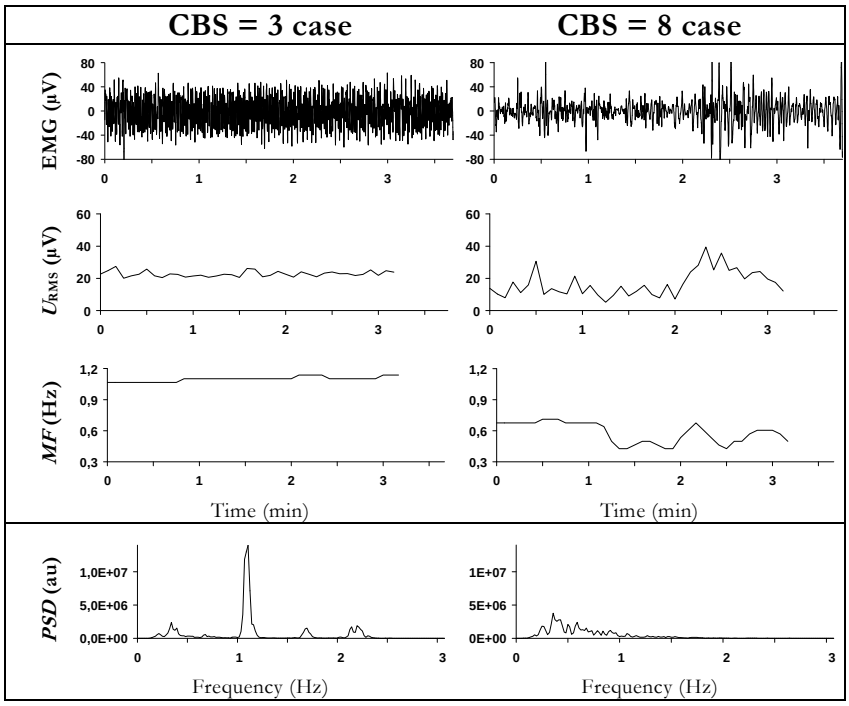


Figure 1 Cervical **basal EMG activity** of two labours having CBS = 3 and CBS = 8, respectively. Traces: combined intervals of filtered EMG signal (upper trace), EMG signal effective value (U_{RMS}, second trace), EMG signal median frequency (*MF*, third trace) and the corresponding power spectrum density (*PSD*, bottom trace).

On the left (CBS = 3 case), the amplitude of the basal EMG activity U_{RMS} (trace 2) is relatively high and constant around 20 μV. The median frequency (trace 3) of the activity is high and above 1 Hz. The peak frequency in Power Spectra Density (*PSD*; bottom trace) is at 1.2 Hz where also the majority of the EMG signal energy is grouped. Two minor groups of frequency components are also around 0.4 Hz and 2.4 Hz. Gaps between the groups of the frequency spectrum are evident.

On the right (CBS = 8 case), the EMG basal activity has lower amplitude values (U_{RMS}; trace 2) and much lower MF values (below 0.7 Hz; trace 3) with respect to CBS = 3 case. *PSD* (bottom trace) has its peak value at 0.4 Hz where also the majority of the EMG signal energy is condensed, so there are large differences in frequency content distribution between the two labour representatives.

In Figure 2, the cervical EMG activity at contractions and calculated values U_{RMS}, *MF* and *PSD* are presented in the same way as for the basal activity in Figure 1. The increase in amplitude with respect to the basal activity is particularly evident in the CBS = 8 case in the raw signal (upper trace) as well as in the U_{RMS} values (trace 2). The shift in frequency content toward lower values is clearly reflected in lower *MF* values (trace 3) for the CBS = 3 case, while *PSD* shows pronounced activity at up to about 0.5 Hz for both cases.

Results of the statistical analyses are presented in Table 1, Table 2 and Figure 3. In Table 2, descriptive statistics characterising the selected cervical EMG intervals are given, then the averaged EMG signal parameters U_{RMSA} and MF_A are summarised for the three CBS groups. Values are reported separately for the basal EMG activity and the EMG activity at contractions.

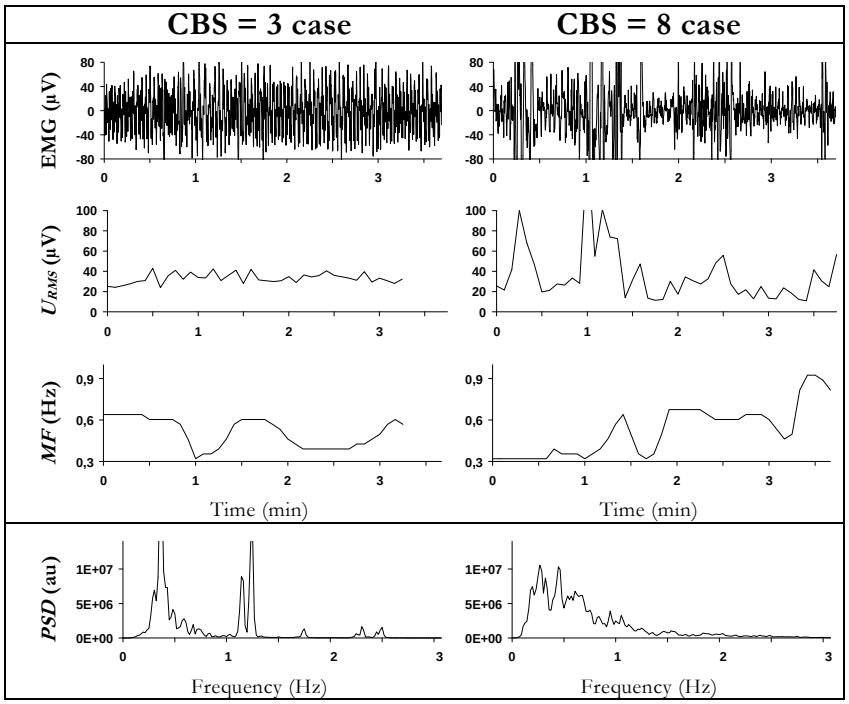


Figure 2 Cervical EMG activity of the same sample labours as in Figure 2 but for selected and jointly **presented periods at uterine contractions and bursts in the cervical EMG**. Traces: combined intervals of filtered EMG signal (upper trace), EMG signal effective value (U_{RMS}, second trace), EMG signal median frequency (*MF*, third trace) and the corresponding power spectrum density (*PSD*, bottom trace).

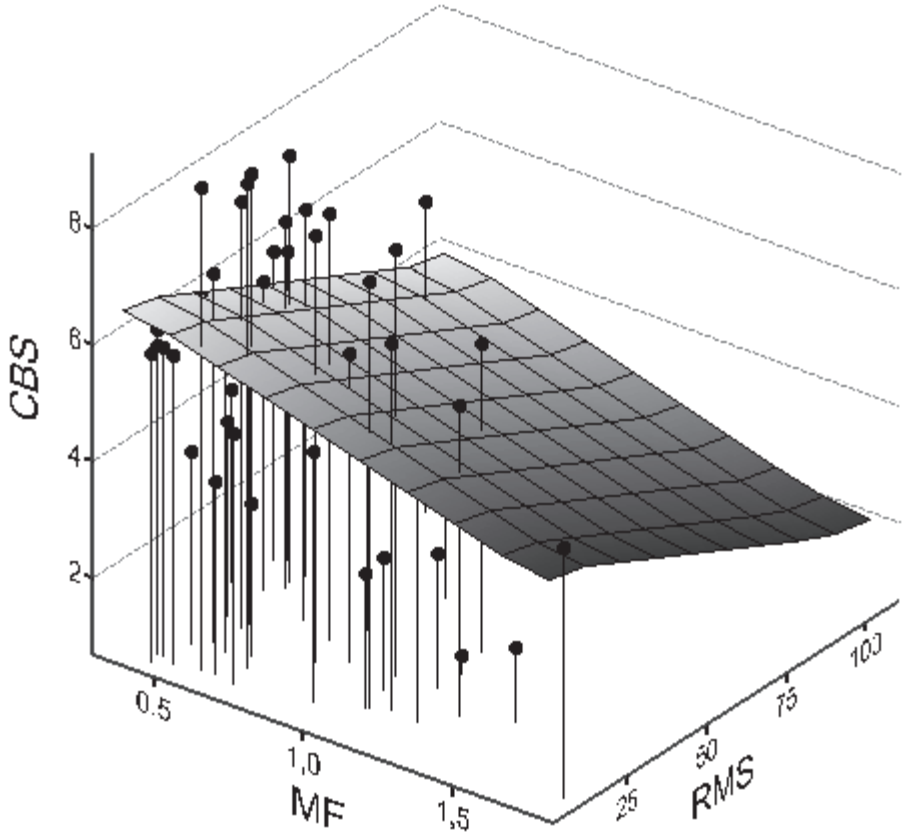


Figure 3 Association of the basal EMG activity parameters (URMSA and MFA) with the cumulative Bishop score. Local regression smoother is superimposed on the point-cloud.

The average value of the basal EMG activity signal amplitude (U_{RMSA}) decreases from 30 μV in the CBS 1-4 group to 22 μV in the CBS 7-9 group. In all three groups, U_{RMSA} values of the EMG activity at contractions are about twice as high as those of the basal EMG activity. The average median frequency values (MF_A) for the basal EMG activity are at 0.7 Hz for all three groups. The values are slightly higher than those of the EMG activity at contractions in all three groups.

The statistical analysis illustrated in Figure 3 shows that the average EMG amplitude U_{RMSA} and the average median frequency MF_A as the characteristic parameters of the selected intervals of the basal EMG activity are predictive of the cumulative Bishop score CBS ($p = 0.017$ for the model from ANOVA; adjusted $R^2 = 0.131$). Both U_{RMSA} and MF_A are negatively associated with CBS ($\beta = -0.364$, $p = 0.013$ for U_{RMSA}; and ß = -0.045, $p = 0.045$, for MF_A). CBS is high when both U_{RMSA} and MF_A have low values, and vice versa, its value is low when both U_{RMSA} and MF_A have high values.

No statistically significant association of U_{RMSA} or MF_A was found among with the individual Bishop score components: cervical channel dilatation DILA, dichotomized as 2-3 vs. 0-1: $p = 0.104$ for the model from Likelihood Ratio (LR) test; cervical effacement EFFA, 2-3 vs. 0-1: $p = 0.105$ for the model from LR test; and cervical consistency CONS, 2 vs. 0-1: $p = 0.311$ for the model from LR test. Similarly, no statistically significant association of U_{RMSA} or MF_A was found with time to delivery ($p = 0.816$ for the model from ANOVA), or with number of contractions ($p = 0.475$ for the model from ANOVA).

Discussion

The cumulative Bishop score values in Table 1 indicate that patients belonging to the CBS 1-4 and CBS 5-6 groups had partially unripe cervices while patients in the CBS 7-9 group had ripe cervices. The groups were formed adequately because average values of Bishop score components (EFFA, DILA, CONS, PRES, POCE) increase from the CBS 1-4 group to the CBS 7-9 group. The average latent phase duration decreases adequately from the longest in CBS 1-4 to the shortest in CBS 7-9. The CBS 1-4 group also has the longest average time to delivery and the lowest number of contractions.

Assessment of the cervical ripeness according to Bishop at the onset of labour is a subjective procedure performed by an obstetrician that tends to predict the labour outcome. Clinical practice experiences phenomena where quite rapid changes in cervical tonus (consistency) are detected at digital examination. Changes may happen in minutes and may influence the results of a single assessment of Bishop score values of the cervix at the onset of labour. This speaks in favour of introducing methods for continuous objective assessment of cervical ripeness.

Cervical smooth muscle tissue is active at the onset of labour[28,29] and consequently generates its own electrical activity that can be detected at the cervix as an EMG activity.[8,23,27-29] The basal EMG activity of the cervix was in the focus of our study. It is defined as the EMG activity registered in the periods when there are no uterine contractions and no bursts in the cervical EMG signal.[29] We may expect that at the site of the EMG signal detection in the cervix, the electrodes picked up not only the EMG signal originating in the cervix but also some EMG activity originating in the uterine corpus myometrium and being conducted through a layer of the uterine wall tissue to the cervix. The amount of the EMG derived from the cervix having such origin would be higher during uterine contractions when high amplitude EMG bursts are generated in the uterine corpus. In the periods with no contractions, we may expect that the registered EMG activity has mainly its local origin in the contracting cervical smooth musculature.

The basal EMG activity of an unripe cervix is characterized by relatively high amplitudes and high frequency content.[28,29] As the labour progresses and the cervix ripens, the EMG activity gradually diminishes in amplitude and in median frequency.[23] In a ripe cervix, the basal EMG activity is of low amplitude and low EMG frequencies. As such, the basal EMG activity could reflect the stage (status) of the cervical ripeness and thus readiness of the cervix for successful labour. A close relation is therefore expected between the assessed cumulative Bishop value and the EMG parameters of the basal EMG activity.

In our study, the average EMG signal parameter values (U_{RMSA}, MF_A) of the basal EMG activity and the EMG activity at contraction were compared for three groups of labours (CBS 1-4, CBS 5-6, CBS 7-9). Differences in the cervical ripeness between the groups are naturally reflected in the differences in Bishop score component average values (Table 1), but they are also reflected in different EMG signal patterns (Figure 1) belonging to representatives of the two labour groups, as well as in differences in the average EMG signal parameter values U_{RMSA} and MF_A

(Table 2). Average scores for effacement (EFFA) and consistency (CONS) increase from CBS 1-4 group to CBS 7-9 group (Table 1), while both U_{RMSA} and MF_A of the basal EMG activity decreases from CBS 1-4 to CBS 7-9 (Table 2). Hence, the riper the cervix (higher CBS, CONS and EFFA values), the lower are the basal EMG average amplitude U_{RMSA} and average median frequency MF_A.

In riper cervices, i.e., in the CBS 5-6 and CBS 7-9 groups, MF_A values are lower than in the CBS 1-4 group (Table 2). In Figure 1 (right side, lower trace), *PSD* of the representative of the CBS 7-9 group with a ripe cervix has only one group of frequencies, all lying below 1 Hz. Absence of higher frequency components decreases the average median frequency of the EMG signals. This is consistent with previous findings at the onset of labour.[28,29,35] Analogously, extinguishing of high frequency EMG activity, being characteristics of an unripe cervix smooth muscle tissue activity, was noticed with the ripening of the cervix.[23,37] It can therefore be concluded that richness of EMG signal in frequency diminishes as the cervix ripens, so labours in which rich EMG activity is detected in the cervix at the onset of labour should have lower CBS values.

U_{RMSA} of EMG at contractions was always higher than U_{RMSA} of the basal EMG activity (Figure 2, Table 2), which is also in line with previous results.[28,29] As expected, the MF_A values of the cervical EMG activity at contractions were lower in all groups than during basal EMG activity. The drop in MF_A could be attributed to a stronger presence of the uterine corpus low frequency EMG activity in the cervical EMG at contractions. Because of that, MF_A at contractions did not differ between the groups.

Figure 3 demonstrates that at the onset of an induced labour, the average cervical EMG signal amplitude (U_{RMSA}) and the average median frequency (MF_A) are negatively associated with the cumulative Bishop score. An obstetrician may expect a high CBS value for the cervix when EMG signal is of low amplitude (e.g., $U_{RMSA} < 25$ μV) and has low median frequency value ($MF_A < 0.5$ Hz). In the case that the EMG signal is visualised on a graphic monitor, EMG indicating a ripe cervix would be of low amplitude and its polarity would change slowly. Conversely, the obstetrician may expect low cumulative Bishop score value when both the EMG amplitude and the EMG median frequency have high values (e.g., $U_{RMSA} > 50$ μV, $MF_A >> 1$ Hz). In such case of an unripe cervix, EMG on the monitor would have high amplitude and a dense trace.

As the basal EMG activity derived from the cervix relates well to the cumulative Bishop score, we may conclude that the basal EMG activity reflects the stage of the cervical ripening process and thus the level of readiness of the cervix for labour. Consequently, the EMG parameters U_{RMSA} and MF_A can be deemed indicators of cervical ripeness. If so, an adequately processed cervical EMG signal, when visually presented in a delivery room, could help an obstetrician to better assess cervical ripeness at the onset of labour, thus facilitating the decision how to better conduct the labour.

Conclusion

At the onset of an induced labour, EMG activity derived from the cervix and registered in the periods when there are no uterine contractions and no bursts in the cervical EMG signal is considered the basal EMG activity of the cervix. Its average amplitude (U_{RMSA}) and average median frequency (MF_A) are negatively associated with the cumulative Bishop score, the latter being a clinical measure of cervical ripeness. High U_{RMSA} and high MF_A advocate for low Bishop score values indicating an unripe cervix, while low U_{RMSA} and low MF_A advocate for high Bishop score values indicating a ripe cervix. It may thus be concluded that the basal EMG activity reflects the stage of the cervical ripening process and thus the level of readiness of the cervix for labour. Consequently, the EMG parameters U_{RMSA} and MF_A are potential indicators of cervical ripeness or lack thereof.

Acknowledgements

The authors are grateful to Mr. Darko Oberžan, MKS Ltd. Ljubljana, for his help with EMG signal processing.

The study was supported by the Ministry of Science and Technology of the Republic of Slovenia (grants L3-7365, J3-8759, J3-5342, J3-2361).

References

1. Uldbjerg N, Ulmsten U, Ekman G: The ripening of the human uterine cervix in terms of connective tissue biochemistry. *Clin Obstet Gynecol* 1983; *26*(1): 14-26. https://doi.org/10.1097/00003081-198303000-00006
2. Leppert PC: Anatomy and physiology of cervical ripening. *Clin Obstet Gynecol* 1995; *38*(2): 267-279. https://doi.org/10.1097/00003081-199506000-00009
3. Garfield RE, Saade G, Buhimschi C, et al.: Control and assessment of the uterus and cervix during pregnancy

and labour. *Hum Reprod Update* 1998; *4*(5): 673-695. https://doi.org/10.1093/humupd/4.5.673
4. Oláh KS, Gee H: The active mismanagement of labour. *Br J Obstet Gynaecol* 1996; *103*(8): 729-731. https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.1996.tb09863.x
5. Tenore JL: Methods for cervical ripening and induction of labor. *Am Fam Physician* 2003; *67*(10): 2123-2128.
6. Bishop EH: Pelvic scoring for elective induction. *Obstet Gynecol* 1964; *24*: 266-268.
7. Pajntar M, Roškar E, Rudel D, Maležič M: *Uterine activity IV: Electronic measurements of cervical dilatation and uterine contractions in labour.* Ljubljana 1982: Gynaecology and Obstetrics Hospital Kranj.
8. Oláh KS: Changes in cervical electromyographic activity and their correlation with the cervical response to myometrial activity during labour. *Europ J Obstet Gynaecol Reprod Biol* 1994; *57*(3): 157-159. https://doi.org/10.1016/0028-2243(94)90292-5
9. Lucidi RS, Blumenfeld LA, Chez RA: Cervimetry: a review of methods for measuring cervical dilatation during labor. *Obstet Gynecol Surv* 2000; *55*(5): 312-320. https://doi.org/10.1097/00006254-200005000-00025
10. Bakke T, Gytre T: Ultrasonic and mechanical measurement of human cervical consistency. In: Naftolin F, Stubblefield P (eds.), *Dilatation of the uterine cervix*. New York 1980: Raven; 219-246.
11. Shi L, Shi SQ, Saade GR, Chwalisz K, Garfield RE: Changes in cervical resistance and collagen fluorescence during gestation in rats. *J Perinat Med* 1999; *27*(3): 188-194. https://doi.org/10.1515/JPM.1999.026
12. Conrad JT, Ueland K: Physical characteristics of the cervix. *Clin Obstet Gynecol* 1983: *26*(1): 27-36. https://doi.org/10.1097/00003081-198303000-00007
13. Stys S, Clewell WH, Mechia G: Changes in cervical compliance at parturition independent of uterine activity. *Am J Obstet Gynecol* 1978; *130*(4): 414-418. https://doi.org/10.1016/0002-9378(78)90282-x
14. Garfield RE, Maul H, Maner W, et al.: Uterine electromyography and light-induced fluorescence in the management of term and preterm labor. *J Soc Gynecol Investig* 2002; *9*(5): 265-275.
15. Maul H, Olson G, Fittkow CT, Saade GR, Garfield RE: Cervical light-induced fluorescence in humans decreases throughout gestation and before delivery: preliminary observations. *Am J Obstet Gynecol* 2003; *188*(2): 537-541. https://doi.org/10.1067/mob.2003.94
16. Oláh KS: The use of magnetic resonance imaging in the assessment of the cervical hydration state. *Br J Obstet Gynaecol* 1994; *101*(3): 255-257.
17. Blanch G, Olah KS, Walkinshaw S: The presence of fetal fibronectin in the cervicovaginal secretions of women at term--its role in the assessment of women before labor induction and in the investigation of the physiologic mechanisms of labor. *Am J Obstet Gynecol* 1996; *174*(1 Pt 1): 262-266. https://doi.org/10.1016/s0002-9378(96)70405-2
18. Tsoi E, Akmal S, Rane S, Otigbah C, Nicolaides KH: Ultrasound assessment of cervical length in threatened preterm labor. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2003; *21*(6): 552-555. https://doi.org/10.1002/uog.131
19. Hoesli I, Tercanli S, Holzgreve W: Cervical length assessment by ultrasound as a predictor of preterm labour – is there a role for routine screening? *BJOG* 2003; *110*(S20): 61-65.
20. Breeveld-Dwarkasing VN, Struijk PC, Lotgering FK, et al.: Cervical dilatation related to uterine electromyographic activity and endocrinological changes during prostaglandin F(2alpha)-induced parturition in cows. *Biol Reprod* 2003; *68*(2): 536-542. https://doi.org/10.1095/biolreprod.102.005900
21. Serr DM, Porath-Furedi A, Rabau E, Zakunt H, Mannor S: Recording of electrical activity from the human cervix. *J Obstet Gynaecol Br Commonw* 1968; *75*(3): 360-363. https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.1968.tb02092.x
22. Jarakov L, Nedeltschewa E: Elektrohysterographische Untersuchungen bei normaler Wehentätigkeit. *Zbl Gynäk* 1973; *95*: 876-885.
23. Pajntar M, Roškar E, Rudel D: Electromyographyc observations on the human cervix during labor. *Am J Obstet Gynecol* 1987; *156*(3): 691-697. https://doi.org/10.1016/0002-9378(87)90080-9
24. Pajntar M: The smooth muscles of the cervix in labour. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1994; *55*(1): 9-12. https://doi.org/10.1016/0028-2243(94)90180-5
25. Oláh KS, Gee H, Brown JS: Cervical contractions: the response of the cervix to oxytocic stimulation in the latent phase of labour. *Br J Obstet Gynaecol* 1993; *100*(7): 635-640. https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.1993.tb14229.x
26. Hofmeister JF, Slocumb JC, Kottmann LM, Picciottino JB, Ellis DG: A noninvasive method for recording the electrical activity of the human uteus in vivo. *Biomed Instrum Technol* 1994; *28*(5): 391-404.
27. Pajntar M, Verdenik I, Pušenjak S, Rudel D, Leskošek B: Activity of smooth muscles in human cervix and uterus. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol* 1998; *79*(2): 199-204. https://doi.org/10.1016/s0301-2115(98)00048-7
28. Rudel D, Pajntar M: Active contractions of the cervix in the latent phase of labour. *Br J Obstet Gynaecol* 1999; *106*(5): 446-452. https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.1999.tb08298.x
29. Rudel D, Pajntar M: Contractions of the cervix in the latent phase of labour. *Contemp Reviews in Obstet Gynaecol* 1999; *11*(4): 271-279.
30. Toutain PL, Garcia-Villar R, Hanzen C, Ruckebusch Y: Electrical and mehanical activity of the cervix in the ewe during pregnancy and parturition. *J Reprod Fertil* 1983; *68*(1): 195-204. https://doi.org/10.1530/jrf.0.0680195
31. Garcia-Villar R, Toutain PL, Ruckebusch Y: Electromyographic evaluation of the spontaneous and drug-induced motility of the cervix in sheep. *J Pharma*

Method 1982; *7*(1): 83-90. https://doi.org/10.1016/0160-5402(82)90061-4
32. Garcia-Villar R, Toutain PL, Ruckebusch Y: Spontaneous motility of the cervix in cyclic and ovariectomized ewes and changes induced by exogenous hormones. *J Reprod Fertil* 1982; *66*(1): 317-326. https://doi.org/10.1530/jrf.0.0660317
33. Leskošek B, Pajntar M, Rudel D. Time/frequency analysis of the uterine EMG in pregnancy and parturition in sheep. In: Magjarević R (ed.), *Biomedical measurement and instrumentation – BMI'98. Proceedings of the 8th international IMEKO TC-13 conference on measurement in clinical medicine*. Zagreb 1998: KoREMA; 3-106-3-109.
34. Cavaco-Goncalves S, Marques CC, Horta AE, Figueroa JP: Increased cervical electrical activity during oestrus in progestagen treated ewes: possible role in sperm transport. *Anim Reprod Sci* 2006; *93*(3-4): 360-365. https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2005.08.011
35. Pajntar M, Verdenik I: Electromyographic activity in cervices with very low Bishop score during labor. *Int J Gynaecol Obstet* 1995; *49*(3): 277-281. https://doi.org/10.1016/0020-7292(95)02374-l
36. Rozenberg P, Goffinet F, Hessabi M: Comparison of the Bishop score, ultrasonographically measured cervical length, and fetal fibronectin assay in predicting time until delivery and type of delivery at term. *Am J Obstet Gynecol* 2000; *182*(1 Pt 1): 108-113. https://doi.org/10.1016/s0002-9378(00)70498-4
37. Pajntar M, Leskošek B, Rudel D, Verdenik I: Contribution of cervical smooth muscle activity to the duration of latent and active phases of labour. *BJOG* 2001; *108*(5): 533-538. https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2001.00109.x

■ *Pregledni znanstveni članek*

Nina Ružić Gorenjec

Grafični prikazi učinkov v regresijskih modelih

Povzetek. Pri statističnih analizah podatkov je pogosta uporaba regresijskih modelov z več neodvisnimi spremenljivkami, v katere nekatere spremenljivke vključimo z nelinearnimi učinki in dodamo interakcije med nekaterimi neodvisnimi spremenljivkami. Teh učinkov praviloma ni mogoče povzeti številčno na intuitiven način, zato so grafični prikazi nujni za njihovo povedno predstavitev v poročilih ali znanstvenih člankih. V uporabljenem regresijskem modelu ocenimo napovedane vrednosti izida ali njegove pretvorjene različice in jih predstavimo na grafikonu skupaj z intervali zaupanja. Neodvisne spremenljivke, katerih učinek predstavljamo, pri tem variirajo, preostalim spremenljivkam v multiplem regresijskem modelu pa določimo izbrane konstantne vrednosti. V članku predstavimo, kako vrednosti preostalih spremenljivk v modelu vplivajo na širino intervalov zaupanja za napovedane vrednosti izida, zaradi česar grafično presojanje statistične značilnosti nelinearnosti učinka na podlagi intervalov zaupanja v multipli regresiji ni verodostojno. Prikažemo tudi, da je risanje intervalov zaupanja pri grafičnih predstavitvah interakcij med neodvisnimi spremenljivkami lahko zavajajoče, saj nas njihovo (ne)prekrivanje lahko vodi v zmotno prepričanje o statistični (ne)značilnosti interakcije. V drugem delu članka na kratko predstavimo knjižnico `rms` iz programa R, s katero lahko učinke v raznovrstnih regresijskih modelih enostavno prikažemo. Izvirna koda za tvorbo podatkov in vseh grafičnih prikazov iz članka je prosto dostopna na spletu.

Graphical Displays of Effects in Regression Models

Abstract. Regression models with multiple independent variables are frequently used in statistical data analysis. Independent variables are often included with non-linear effects, and interactions between independent variables are added to the model. Because it is usually not possible to present these effects numerically in an intuitive way, graphical presentations are necessary to properly illustrate these effects in reports and scientific papers. For a chosen regression model, we estimate the predicted value of the outcome or its transformed version and plot it together with the corresponding confidence intervals. Independent variables that are included in the effect that we are presenting vary, while all other variables in the model are fixed to certain values. In the paper, we present how the values for which the other variables are adjusted influence the width of the confidence intervals for predicted values of the outcome, implying that graphical inspection of statistical significance of non-linearity of an effect based on confidence intervals is not sensible. Furthermore, we show that confidence intervals in graphical presentations of interactions between independent variables can be misleading, since the (lack of) intersection between them can give wrong intuition about the (lack of) statistical significance of the interaction. In the second part of the paper, we concisely present the `rms` library from R software, which is very useful for graphical presentations of effects in various regression models. Source code for data simulation and all graphical presentations from the paper is freely available online.

■ **Infor Med Slov** 2020; 25(1-2): 19-24

Institucija avtorice / Author's institution: Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani.

Kontaktna oseba / Contact person: asist. dr. Nina Ružić Gorenjec, Inštitut za biostatistiko in medicinsko informatiko, Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Vrazov trg 2, 1000 Ljubljana, Slovenija. E-pošta / E-mail: nina.ruzic.gorenjec@mf.uni-lj.si.

Prispelo / Received: 17. 7. 2020. Sprejeto / Accepted: 26. 11. 2020.

Uvod

Pri statističnih analizah podatkov je za preverjanje raziskovalnih domnev pogosto potrebna uporaba regresijski modelov,[1] ki omogočajo hkratno preučevanje povezanosti več pojasnjevalnih spremenljivk z izidom v enem modelu. Še posebej v medicini, ki preučuje kompleksne pojave, so v raziskavah in znanstvenih člankih velikokrat uporabljeni regresijski modeli (linearna regresija, logistična regresija in preostali posplošeni linearni modeli, mešani modeli, nelinearni modeli, Coxov regresijski model idr.).

Med analizo prileganja modela se pogosto izkaže, da je potrebno nekatere spremenljivke vključiti v model nelinearno (na primer v obliki kvadratne funkcije ali kubičnega zlepka z omejitvami, angl. *restricted cubic spline*) in da je potrebno dodati interakcije med spremenljivkami, ali pa imamo vsebinske razloge za vključitev takšnih učinkov. Omenjenih učinkov ni mogoče predstaviti številčno na intuitiven način (če niso vse vpletene spremenljivke opisne z malo kategorijami), zato so za njihovo povedno predstavitev nujni grafični prikazi. Z regresijskim modelom ocenimo napovedane vrednosti izida ali njegove pretvorjene različice (npr. v logistični regresiji raje predstavimo verjetnost dogodka kot logaritem obetov za dogodek) in jih predstavimo na sliki skupaj z intervali zaupanja. Neodvisne spremenljivke, katerih učinek predstavljamo, pri tem variirajo, preostalim spremenljivkam v modelu multiple regresije pa določimo konstantne vrednosti.

V članku bomo predstavili, kako vrednosti preostalih spremenljivk v modelu vplivajo na širino intervalov zaupanja za napovedane vrednosti izida in na kaj moramo biti pozorni pri njihovi interpretaciji. Prikazali bomo tudi, zakaj je risanje intervalov zaupanja pri grafičnih predstavitvah interakcij med neodvisnimi spremenljivkami lahko zavajajoče.

V drugem delu članka bomo na kratek in preprost način predstavili knjižnico `rms` (avtorja Franka E. Harella)[2] iz programa R,[3] s katero lahko učinke v raznovrstnih regresijskih modelih enostavno prikažemo. Programska koda za tvorbo podatkov in izdelavo vseh grafičnih prikazov iz članka je prosto dostopna na spletu.[4]

Pasti risanja intervalov zaupanja za napovedane vrednosti izida

Skozi članek bomo prikazali nekaj linearnih in logističnih regresijskih modelov; pri vseh bomo uporabljali iste neodvisne spremenljivke, ki jih bomo simulirali na naslednji način. Za 200 enot bomo simulirali X_1 in X_2 iz standardne normalne porazdelitve, Z_1 in Z_2 pa iz Bernoullijeve porazdelitve s parametrom 0,2, kjer bomo Z_2 premaknili za 1, tako da bo zavzemala vrednosti 1 in 2 (zgolj zaradi hitrejšega razločevanja med dvojiškima spremenljivkama na grafikonih). Za linearne modele bomo napako ε simulirali iz normalne porazdelitve s povprečjem 0 in standardnim odklonom 3. Rezultati v članku so dobljeni pri uporabi `set.seed(6)` v programu R, verzija 3.6.3.[3]

Pri vrednotenju rezultatov bo vrednost p statistično značilna, če bo manjša od stopnje tveganja 0,05.

Nelinearni vpliv neodvisne spremenljivke

Za povedno predstavitev nelinearnega vpliva neodvisne spremenljivke na izid je grafični prikaz nujen, pogosto pa nam poleg vrednosti p služi tudi kot dodatno orodje za presojanje statistične značilnosti in strokovne pomembnosti nelinearnosti učinka. Pri slednjem se je potrebno zavedati, da moramo v primeru multiple regresije ob risanju napovedanih vrednosti izida preostale spremenljivke v modelu »fiksirati« (tj. predpisati jim določene vrednosti), kar vpliva na širino intervalov zaupanja in s tem tudi na našo zaznavo pomembnosti učinka. To bomo prikazali s primerom.

Izid naj bo generiran iz linearnega modela

$$Y = 1 + X_1 + X_1^2 + X_2 + Z_1 + Z_2 + 3X_2Z_1 + 3X_2Z_2 + \varepsilon.$$

V modelu imamo torej poleg kvadratnega vpliva številske spremenljivke X_1 še tri druge pojasnjevalne spremenljivke in dve interakciji med njimi, ki bosta služili za predstavitev preprostosti risanja s knjižnico `rms` v programu R v naslednjem razdelku. Zaradi enostavnosti smo si za vrsto nelinearnega učinka izbrali kvadratno funkcijo; namesto te bi lahko uporabili tudi kakšno vrsto zlepka. Generiranim podatkom prilagodimo model multiple linearne regresije, v katerega vključimo X_1 s kvadratnim učinkom, X_2, Z_1 in Z_2 ter pripadajoči interakciji. Za kvadratni učinek dobimo vrednost p<0,0001.

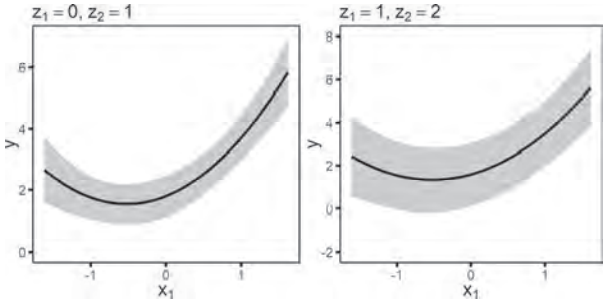
Na sliki 1 je predstavljena napovedana vrednost izida glede na različne vrednosti X_1, pri čemer je na levem grafu $Z_1 = 0$ in $Z_2 = 1$, na desnem pa $Z_1 = 1$ in $Z_2 = 2$, medtem ko je X_2 na obeh grafih enak mediani vzorca. Marsikdo (vključno z avtorico tega članka) statistično značilnost nelinearnosti učinka grafično ovrednoti »čez palec« tako, da presodi, ali bi lahko v pas, ki ga omejujejo intervali zaupanja, vrisali premico – če tega ne moremo narediti, potem se nam učinek zdi statistično značilno nelinearen. To je le približna grafična metoda, poleg tega so intervali zaupanja izračunani za vsako točko posebej (celoten pas skupaj torej nima primernega pokritja), zato seveda statistično značilnost presojamo na podlagi vrednosti p. Na levi sliki naša intuicija sovpada z visoko značilno vrednostjo p, medtem ko za desno sliko to ne drži. Spremenljivki Z_1 in Z_2 smo na desni sliki nastavili na vrednosti, ki ju zavzame le 18 % oziroma 19 % enot v naših podatkih.

V grafične prikaze nelinearnih učinkov je priporočljivo vključiti intervale zaupanja, saj dodajo informacijo o variabilnosti ocene in omogočajo presojanje strokovne pomembnosti za populacijo. Pri tem pa se je potrebno zavedati, da lahko nastavljene vrednosti preostalih spremenljivk bistveno vplivajo na njihovo širino. Praviloma so intervali zaupanja ožji, če so preostale spremenljivke nastavljene na svoj modus oziroma mediano, ni pa to nujno in zato je v kompleksnejših modelih z veliko spremenljivkami pogosto potrebno vložiti kar nekaj truda za jasno prikazan nelinearen učinek, predhodno nakazan z značilno vrednostjo p.

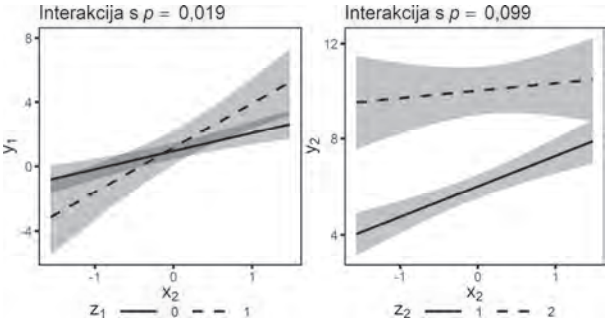
Interakcija med neodvisnimi spremenljivkami

Če imamo v modelu interakcijo med dvema neodvisnima spremenljivkama, je velikost učinka prve neodvisne spremenljivke odvisna od vrednosti druge in obratno. Prisotnost oziroma odsotnost interakcije bomo podrobneje predstavili na dveh primerih, namen pa je preko njiju razmisliti o smiselnosti vključevanja intervalov zaupanja v grafične prikaze interakcij.

V prvem primeru bo izid generiran iz linearnega modela $Y_1 = 1 + X_2 + Z_1 + 2X_2Z_1 + \varepsilon$, v drugem pa iz modela $Y_2 = 1 + X_2 + 5Z_2 + \varepsilon$. V obeh primerih imamo torej v model vključeni dve neodvisni spremenljivki, eno številsko in eno dvojiško, pri čemer je v prvem modelu prisotna interakcija, v drugem pa ne. Tako generiranim podatkom (uporabimo že generirane neodvisne spremenljivke in napako) prilagodimo dva modela multiple linearne regresije, enega za izid Y_1 glede na neodvisni spremenljivki X_2 in Z_1 ter drugega za izid Y_2 glede na spremenljivki X_2 in Z_2, kjer v obeh modelih dovolimo še interakcijo. V prvem modelu dobimo statistično značilno interakcijo z vrednostjo $p = 0{,}019$, v drugem modelu pa je vrednost $p = 0{,}099$ in interakcija torej ni statistično značilna.



Slika 1 Grafična predstavitev nelinearnega učinka v linearnem modelu za Y s 95 % intervali zaupanja za napovedane vrednosti, pri čemer je na levem grafu $Z_1 = 0$ in $Z_2 = 1$, na desnem pa $Z_1 = 1$ in $Z_2 = 2$, medtem ko je X_2 na obeh grafih enak mediani vzorca.



Slika 2 Grafična predstavitev interakcije v linearnem modelu za Y_1 (levo) in Y_2 (desno) s 95 % intervali zaupanja za napovedane vrednosti, kar je lahko za vrednotenje statistične značilnosti interakcije (vrednost p nad grafom) zavajajoče.

Na sliki 2 sta interakciji predstavljeni grafično, tj. narisane so napovedane vrednosti izida glede na številsko neodvisno spremenljivko pri različnih vrednostih opisne spremenljivke. Če bi bila tudi druga spremenljivka številska, potem bi narisali napovedane vrednosti pri nekaterih izbranih vrednostih te spremenljivke. Osredotočimo se najprej le na premice brez intervalov zaupanja. Na levi sliki lahko nazorno vidimo grafično predstavitev interakcije – naklona premic sta različna. Skladno s tem opazimo, da sta si na desni sliki naklona premic bolj podobna, kar sovpada z večjo vrednostjo p – predpostavka modela brez interakcije je vzporednost premic (v praksi na vzorcu seveda praktično nikoli ne dobimo točno vzporednih premic). Pri tem lahko opazimo tudi, da imata premici na desni sliki zelo različno začetno vrednost (presečišče z ordinatno osjo), kar je

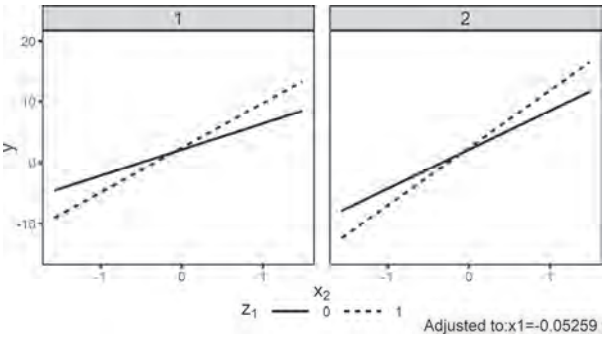
posledica dejstva, da ima Z_2 v tem modelu velik učinek – odsotnost učinka spremenljivke in s tem potreba po enostavnejšem modelu bi se kazala v podobnosti premic.

Čeprav je večini bralcev zgoraj napisano popolnoma jasno, pa lahko grafično preučevanje interakcij ob narisanih intervalih zaupanja marsikoga hitro zavede. Ob prvem pogledu na levi graf na sliki 3 bi namreč lahko zmotno pomislili, da interakcija zaradi prekrivajočih se intervalov zaupanja ni statistično značilna, medtem ko bi nam intervali zaupanja na desni sliki lahko nakazovali statistično značilnost, čeprav je v resnici ravno obratno. Čeprav je širina intervalov zaupanja odvisna od variabilnosti, ki je povezana s statistično značilnostjo, pa je prekrivanje intervalov zaupanja oziroma sekanje premic odvisno predvsem od začetnih vrednosti, ki nikakor niso povezane z interakcijo. Risanje intervalov zaupanja pri grafičnih predstavitvah interakcij v splošnem zato ni priporočljivo.

Uporaba knjižnice `rms` v programu R

V programu R[3] je v eno izmed osnovnih knjižnic `stats` vgrajena funkcija `predict`, ki izračuna napovedane vrednosti izida skupaj z intervali zaupanja za velik nabor regresijskih modelov, kot so linearni modeli (preko funkcije `lm`), posplošeni linearni modeli (`glm`) in s tem logistična regresija in nelinearni modeli (`nls`). Z vključitvijo knjižnice `survival`[5] dobimo še možnost izračuna napovedi za Coxov regresijski model (`coxph`). Pri vseh je potrebno v argumentu `newdata` v obliki podatkovnega okvirja (`data.frame`) podati vrednosti neodvisnih spremenljivk, pri katerih bo izračunana napoved izida, funkcija `predict` pa vrne matriko s tremi stolpci, v katerih so shranjene napovedi in njihove spodnje ter zgornje meje intervalov zaupanja (če je argument `interval` nastavljen na vrednost `'confidence'`). Že ko imamo v modelu le nekaj več neodvisnih spremenljivk, postane ročno določanje vrednosti vseh neodvisnih spremenljivk mučno. Če bi na primer želeli v našem prvem modelu za izid Y predstaviti interakciji, ki vključujeta tri neodvisne spremenljivke X_2, Z_1 in Z_2 (kot na sliki 3), potem bi ob 100 vrednostih za številsko spremenljivko X_2 morali za argument `newdata` eksplicitno podati podatkovni okvir velikosti 400×4 (v njem bi morali med drugim 400-krat ponoviti neko vrednost za X_1), pa čeprav so pri opisnih spremenljivkah Z_1 in Z_2 možne vrednosti jasne. Ta problem je bolj elegantno rešen v knjižnici `rms` s funkcijo `Predict` (z veliko začetnico), katere glavne lastnosti in prednosti bomo predstavili v nadaljevanju. Avtor knjižnice je priznani biostatistik Frank E. Harell, ki je v svoji knjigi o regresijskem modeliranju[1] knjižnici namenil posebno poglavje. V članku smo uporabili njeno verzijo 6.0-0.[2]

Uporabo funkcije bomo predstavili na primeru prvega modela za Y in pripadajoče slike 3.



Slika 3 Grafična predstavitev interakcij v linearnem modelu za Y, narisana z uporabo funkcije `Predict` iz knjižnice `rms` v programu R.

Privzete vrednosti neodvisnih spremenljivk

Pri uporabi funkcije `Predict` je ključno, da si najprej v globalnih nastavitvah za neodvisne spremenljivke shranimo privzete vrednosti, pri katerih bomo napovedi izračunali. Če so naši podatki shranjeni v podatkovnem okviru z imenom `podatki`, to naredimo preprosto z:

```
dd=datadist(podatki);
options(datadist='dd')
```

Z `datadist` v `options` je s tem med drugim določeno:

- na katero vrednost bodo nastavljene spremenljivke, ki bodo pri napovedi fiksne (npr. X_1) – funkcija `datadist` nastavi modus za opisne spremenljivke (tiste, ki so shranjene kot `factor`) in mediano za številske;
- na katerem razponu bodo izračunane napoved za številsko spremenljivko, ki bo pri napovedi variirala (npr. X_2) – funkcija `datadist` nastavi 5. in 95. percentil pri velikost vzorca 200 ali manj, za večje vzorce pa 10. najmanjšo in največjo vrednost.

Če želimo, lahko v objektu `dd` nekatere od nastavljenih privzetih vrednosti prepišemo s svojimi in šele nato `dd` zapišemo v `options`. Tako definirane privzete vrednosti bodo veljale za vse modele, ki jih bomo nato prilagodili podatkom.

Funkcija `Predict`

Čeprav lahko s funkcijo `Predict` izračunamo napovedane vrednosti izida za nekoliko manjši nabor regresijskih modelov kot s funkcijo `predict`, je ta še zmeraj obsežen. Za prilagajanje modela pa moramo uporabiti funkcije iz knjižnice `rms`, na primer za linearne modele funkcijo `ols`, za logistično regresijo `lrm`, za posplošene linearne modele `Glm` (velika začetnica) in za Coxov regresijski model `cph`. Za nelinearne učinke v modelu prav tako uporabimo funkcije iz knjižnice `rms`, na primer za polinome funkcijo `pol`, za kubični zlepek z omejitvami (angl. *restricted cubic spline*) pa bi uporabili funkcijo `rcs`.

Za naš primer torej prilagodimo model linearne regresije s funkcijo `ols` (uporabimo `pol`, shranimo v `fit`) in ker imamo privzete vrednosti že nastavljene, dobimo sliko 3 (oziroma eno izmed njenih različic) preprosto z ukazoma `p=Predict(fit,x2,z1,z2); ggplot(p)`.

Na levem in desnem grafu so narisane napovedane vrednosti pri spremenljivki Z_2 enaki 1 oziroma 2. Za sliko 3 smo v funkciji `Predict` dodatno nastavili argument `conf.int` na `FALSE`, saj smo v prejšnjem razdelku videli, da risanje intervalov zaupanja ob prikazovanju interakcij ni priporočljivo.

Pod grafom se privzeto izpišejo vrednosti, na katere so preko `datadist` nastavljene preostale spremenljivke v modelu. To lahko onemogočimo z uporabo logičnega argumenta `adj.subtitle` znotraj funkcije `ggplot`. Če bi želeli X_1 nastaviti na kakšno drugo vrednost, to določimo znotraj funkcije `Predict`, npr. z `x1=0`. Globalnih nastavitev in `datadist` nam torej ni potrebno spreminjati.

V našem primeru smo za risanje uporabili funkcijo `ggplot` (oz. `ggplot.Predict`), ki uporablja knjižnico `ggplot2`,[6] lahko pa bi uporabili tudi `plot`, ki uporablja knjižnico `lattice`.[7] Če bi variirali le dve spremenljivki namesto treh, bi lahko uporabili še `plotp`, ki uporablja knjižnico `plotly`.[8]

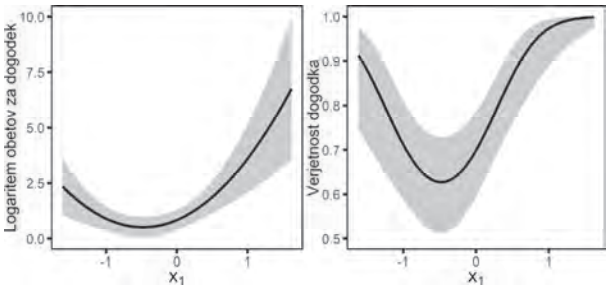
Znotraj funkcije `ggplot` lahko nastavimo še nekaj drugih argumentov. V našem primeru smo `aestype` nastavili na `'linetype'`, privzeta vrednost je `'color'`, možni pa sta še `'size'` in `'shape'`. Sliko lahko prilagodimo svojim željam z verižnim dodajanjem grafičnih ukazov preko znaka `+`, kot je običajno za risanje z `ggplot2`, ali pa iz dobljenih izračunanih napovedanih vrednosti (shranjene so v predmet `p`) naredimo svoj podatkovni okvir in na njem sami zgradimo celoten `ggplot` predmet. To je enostavno, saj so v predmetu `p` shranjene vrednosti vseh neodvisnih spremenljivk, pri katerih so napovedane vrednosti izračunane.

Kakor pri vseh knjižnicah oziroma programih, je za končno sliko potrebno nastaviti in popraviti mnogo podrobnosti (oznake, velikosti, razmiki ipd.), za vmesna poročila in preučevanje podatkov ter modelov pa zadostujejo že grafi, ki jih dobimo z nekaj kratkimi vrsticami kode, predstavljene zgoraj. Kot smo navedli že uvodoma, je programska koda za vse slike iz članka in njihove preprostejše različice dostopna na spletu.[4]

Če imamo v programu R hkrati naloženo še knjižnico `car`,[9] je namesto `Predict` nujno uporabiti `rms::Predict`, saj ima knjižnica `car` istoimensko funkcijo, ki je različica funkcije `predict` iz knjižnice `stats`, uporabna le za linearne modele s funkcijo `lm`.

Prikaz pretvorjenega izida

Oglejmo si še zadnjo prednost funkcije `Predict`, in sicer izračun napovedanih vrednosti za pretvorjen izid. To potrebujemo na primer v modelu logistične regresije, kjer je predstavitev napovedanih vrednosti na osnovni lestvici logaritma obetov za dogodek sicer primerna za preučevanje učinkov s statističnega vidika, ni pa koristna za poveden prikaz strokovni javnosti. Za slednjo je potrebno predstaviti napovedane vrednosti za verjetnost dogodka. Kako lahko to enostavno naredimo z uporabo funkcije `Predict`, prikazuje spodnji primer.



Slika 4 Predstavitev nelinearnega učinka v modelu logistične regresije na napovedane vrednosti logaritma obetov za dogodek (levo) in verjetnosti za dogodek (desno) s 95 % intervali zaupanja, narisana z uporabo funkcije `Predict` iz knjižnice `rms` v programu R.

Generiramo izid iz modela logistične regresije, v katerem je linearni prediktor na lestvici logaritma obetov enak $1 + X_1 + X_1^2$ (uporabimo že generiran X_1), in prilagodimo model logistične regresije preko funkcije `lrm` s kvadratnim učinkom za X_1 (uporabimo `pol`, shranimo v `fit`). Z uporabo ukaza `Predict(fit,x1)` dobimo levo stran slike 4, na

kateri so napovedane vrednosti logaritma obetov za dogodek, desno stran slike pa dobimo tako, da znotraj `Predict` dodatno uporabimo `fun=plogis`.

Potreba po prikazu pretvorjenega izida se lahko naravno pojavi tudi v linearni regresiji. Če so predpostavke modela linearne regresije s prvotnim izidom kršene, jih lahko skušamo popraviti tako, da izid pretvorimo. Poskusimo lahko uporabiti različne strogo naraščajoče funkcije. V primeru pozitivnega izida lahko uporabimo na primer pretvorbo Box-Cox,[10] ki je enoparametrična družina potenčnih funkcij, kjer parameter ocenimo s pomočjo metode največjega verjetja. V programu R lahko uporabimo knjižnico `car`,[9] ocenimo parameter s funkcijo `powerTransform` in nato uporabimo ustrezno pretvorbo Box-Cox s funkcijo `bcPower`.

Čeprav je model morda statistično primerneje narediti s pretvorjenim izidom, pa nas z vsebinskega vidika zanima učinek spremenljivk na prvotni izid. Izid iz modela linearne regresije moramo torej pretvoriti nazaj v prvotnega, kar lahko naredimo tako, da v programu R definiramo funkcijo za inverzno pretvorbo (shranimo v `f`) in nato znotraj funkcije `Predict` uporabimo `fun=f`. Izračunamo lahko torej napovedane vrednosti za poljubno pretvorjen izid.

Razprava

V članku smo opozorili, na kaj moramo biti pazljivi pri preučevanju in interpretaciji intervalov zaupanja za napovedane vrednosti izida v regresijskih modelih. Gotovo bi se našlo še marsikaj, na kar moramo biti pozorni pri grafičnih prikazih modelov. Osredotočili smo se na nelinearne učinke in interakcije, saj jih praviloma ni mogoče povzeti številčno na intuitiven način in so grafični prikazi nujni za njihovo povedno predstavitev v poročilih ali znanstvenih člankih.

Drugi del članka ponudi uporabnikom programa R enostaven način za računanje napovedanih vrednosti (prvotnega ali pretvorjenega) izida in njihovo risanje s pomočjo knjižnice `rms`. Za analizo podatkov seveda obstaja še mnogo drugih (statističnih) programov z dobrimi možnostmi grafičnega prikazovanja, prav tako so v programu R na voljo tudi drugi načini in knjižnice. Predstavljena kratka navodila omogočajo hitro usvojitev preprostega načina prikazovanja učinkov za uporabnike z osnovnim poznavanjem programa R.

Zaključek

V regresijskih modelih so intervali zaupanja priporočljivi pri grafičnih prikazih nelinearnih učinkov na napovedane vrednosti izida (podajajo informacijo o variabilnosti ocene in omogočajo presojanje strokovne pomembnosti za populacijo), pri čemer pa se je potrebno zavedati, da je njihova širina odvisna od tega, katere vrednosti smo določili preostalim spremenljivkam v modelu. Grafično presojanje statistične značilnosti nelinearnosti učinka na podlagi intervalov zaupanja v multipli regresiji zato ni verodostojno.

Vključevanje intervalov zaupanja na grafične predstavitve interakcij med neodvisnimi spremenljivkami odsvetujemo, saj nas njihovo (ne)prekrivanje lahko vodi v zmotno prepričanje o statistični (ne)značilnosti interakcije.

Reference

1. Harell FE: *Regression modelling strategies* (2nd ed.). New York 2015: Springer.
2. Harell FE: *rms: Regression modeling strategies, R package version 6.0-0*. 2020, https://cran.r-project.org/package=rms/ (8. 7. 2020)
3. R Core Team: *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna 2020: Foundation for Statistical Computing, https://www.r-project.org/ (8. 7. 2020)
4. Ružić Gorenjec N: *Grafični prikazi učinkov v regresijskih modelih, programska koda.* http://ibmi.mf.uni-lj.si/files/graficniPrikaziUcinkov.r (8. 7. 2020)
5. Therneau TM: *A package for survival analysis in R, R package 3.2-3*. 2020, https://cran.r-project.org/package=survival/ (8. 7. 2020)
6. Wickham H: *ggplot2: Elegant graphics for data analysis* (2nd ed.). New York 2016: Springer.
7. Sarkar D: *Lattice: multivariate data visualization with R*. New York 2008: Springer.
8. Sievert C: *Interactive web-based data visualization with R, plotly, and shiny*. Florida 2020: CRC Press.
9. Fox J, Weisberg S: *An R companion to applied regression* (3rd ed.). Thousand Oaks CA 2019: Sage.
10. Box GEP, Cox DR: An analysis of transformations. *J R Stat Soc Series B Stat Methodol* 1964; *26*(2): 211-252.

■ *Pregledni znanstveni članek*

Eva Nike Cvikl, Dejan Dinevski

Teorija uma in njena uporaba na področju umetne inteligence

Povzetek. Razvoj umetne inteligence teži k vedno večjemu povezovanju robotov s človekom in človeško družbo. Ključne za sposobnost povezovanja ljudi v družbo so sposobnosti socialne kognicije in socialnih interakcij. Najpomembnejši nabor sposobnosti, potrebnih za tovrstno udejstvovanje, se imenuje teorija uma (angl. *Theory of Mind*). Gre za sposobnost razumevanja mentalnih stanj drugih posameznikov in razlikovanje le-teh od lastnih mentalnih stanj. Sposobnosti teorije uma so ključne za učinkovito gibanje v socialnem okolju ter tvorbo kakovostnih medosebnih odnosov. Obstaja že nekaj socialnih robotov, ki učinkovito simulirajo sposobnosti teorije uma ter vstopajo v smiselne socialne interakcije z ljudmi. Tovrstni roboti se uporabljajo v izobraževanju, storitvenem sektorju in v raziskovalne namene. Nekateri futuristi verjamejo, da gre pri ustvarjanju robotov s sposobnostmi teorije uma za korak, ki nas loči do zadnjega mejnika v robotiki – razvoja samozavedne umetne inteligence. Trenuten konsenz znanstvene skupnosti je, da je simulacija sposobnosti teorije uma še daleč od dejanske zaznave oziroma doživetja teh sposobnosti, ter da je mogoče ustvariti zgolj prepričljivo simulacijo samozavedanja, ne pa umetne zavesti kot take. V pričujočem prispevku bomo na podlagi spoznanj iz filozofije in medicinske (psihiatrične) stroke orisali koncept teorije uma ter probleme pri epistemoloških in praktičnih korakih implementacije tega koncepta na področju umetne inteligence.

Theory of Mind and Its Application in the Field of Artificial Intelligence

Abstract. The development of artificial intelligence tends to increasingly connect robots with humans and human society. Crucial to the human ability to connect in society are social cognition and social interaction skills. The most important set of abilities required for this kind of activity is called Theory of Mind. It is the ability to understand the mental states of other individuals and to differentiate them from our own mental states. The Theory of Mind abilities are crucial for effective navigation of the social environment and the formation of meaningful interpersonal relationships. There are already some social robots that effectively simulate the Theory of Mind abilities and are capable of entering meaningful social interactions with humans. Such robots are used in education, in the services sector and for research purposes. Some futurists believe that creating robots with Theory of Mind abilities is a final step that separates us to the last milestone in robotics – the development of self-aware artificial intelligence. It is important to emphasise that the simulation of the Theory of Mind abilities is far from the actual perception or experience of these abilities, and that it is possible to create only an extremely convincing simulation of self-awareness, not artificial consciousness per se. In this article, we will draw upon the findings of philosophy and the medical (psychiatric) profession to outline the concept of Theory of Mind and the problems in both the epistemological and practical steps of implementing that concept in the field of artificial intelligence.

■ **Infor Med Slov** 2020; 25(1-2): 25-32

Instituciji avtorjev / Authors' institutions: Univerzitetni klinični center Maribor (ENC), Medicinska fakulteta Univerze v Mariboru (DD)

Kontaktna oseba / Contact person: Eva Nike Cvikl, dr. med., Univerzitetni klinični center Maribor, Ljubljanska ulica 5, 2000 Maribor, Slovenija. E-pošta / E-mail: evanike.cvikl@student.um.si

Prispelo / Received: 12. 5. 2020. Sprejeto / Accepted: 30. 11. 2020.

Uvod

Ljudje smo socialna bitja. Socialni stiki so eden izmed temeljnih gradnikov naše družbe, ki nam omogočajo tvorbo odnosov in nadaljevanje vrste, izmenjavo informacij, ustvarjanje višjih družbenih struktur in institucij ter napredek civilizacije. Sposobnosti, potrebne za socialne interakcije, so v človeški vrsti prirojene in naravne, razvijemo pa jih preko procesov socialnega učenja, ki potekajo od rojstva dalje. . Ena izmed pomembnih sposobnosti, potrebnih za kvalitetne socialne interakcije, je teorija uma. Ta sposobnost nam omogoča prepoznavo mentalnih stanj sebe in drugih.

Področje umetne inteligence je že toliko razvito, da prihaja do rednih socialnih interakcij med inteligentnimi stroji in ljudmi. Naslednji korak je razvoj umetne inteligence s sposobnostjo teorije uma. V pričujočem prispevku predstavljamo področje socialne kognicije in sposobnosti teorije uma ter opisana dognanja umeščamo v kontekst sposobnosti različnih vrst umetne inteligence. V nadaljevanju prispevka si zastavljamo vprašanje, kako v razvoju umetne inteligence doseči naslednji korak po sposobnostih teorije uma – dejanski obstoj zavesti, ali je to sploh mogoče in kako bi obstoj zavesti v primeru umetne inteligence preverili.

Umetna inteligenca

Na področju računalništva se izraz »umetna inteligenca« uporablja za opis inteligence strojev, ki imajo sposobnost zaznave svojega okolja in odzivanja na okolje z nenaključnimi dejanji.[1] Ustreznejši slovenski prevod angleškega izraza »artificial intelligence« bi sicer bil »umetna inteligentnost«, vendar je dandanes »umetna inteligenca« že vsesplošno sprejeta in jo uporabljamo tudi v tem prispevku. Pogovorno se izraz »umetna inteligenca« uporablja, kadar stroj posnema kognitivne funkcije, ki jih ljudje povezujejo s sposobnostmi, kot sta učenje in reševanje problemov. V nadaljevanju predstavljamo vrste umetne inteligence:

Odzivni stroji

Gre za najstarejšo obliko sistemov umetne inteligence, ki imajo izjemno omejene, vnaprej določene kapacitete. Posnemajo sposobnost človeškega uma, da se odziva na različne vrste stimulusov. Te oblike umetne inteligence nimajo spominske funkcionalnosti, kar pomeni, da ne morejo uporabiti predhodno pridobljenih izkušenj, ki bi vplivale na njihove prihodnje poteze in odločitve. Z drugimi besedami, nimajo sposobnosti učenja. Uporabne so zgolj za direktno odzivanje na omejeno zbirko različnih stimulusov. Primer takega inteligentnega stroja je IBM-ova »Deep Blue«, ki je premagala Garryja Kasparova v šahu leta 1997.[2]

Stroji s sposobnostjo učenja

Druga oblika umetne inteligence so stroji, ki imajo ob sposobnostih reaktivnega stroja tudi sposobnost učenja iz preteklih izkušenj in odločanja na podlagi teh preteklih izkušenj. Skoraj vse v praksi uporabljene oblike umetne inteligence sodijo v to kategorijo. Sistemi, kot so tisti, ki sodelujejo pri globokem učenju, so priučeni z uporabo velikih količin podatkov za namen urjenja, ki jih nato shranijo v spominu kot referenco za reševanje prihodnjih problemov. Večina današnjih splošno uporabnih umetno inteligentnih sistemov, kot so virtualni asistenti, pogovorni roboti in tudi samovozeči avtomobili, uporablja to tehnologijo.[2]

Strojno učenje je znanstvena disciplina, ki se ukvarja s procesi, s katerimi se stroji »učijo« določenih dejanj iz podatkov. Pomembni komponenti strojnega učenja sta statistika, ki išče vzorce in zakonitosti v velikih zbirkah podatkov, ter programiranje, ki se ukvarja z izdelavo algoritmov. V grobem delimo strojno učenje na dve podvrsti: nadzorovano (zahteva označene podatke, iz katerih se algoritmi učijo reševanja problema) in nenadzorovano učenje (označeni podatki niso potrebni), v domeni nadzorovanega pa je pogosto omenjana kategorija tudi t. i. vzpodbujevano učenje.[3]

Globoko učenje je oblika strojnega učenja, ki največ navdiha črpa iz delovanja človeških možganov ter kognitivnih in nevrobioloških procesov. Globoko učenje poskuša modelirati abstraktne koncepte iz velikih podatkovnih zbirk z uporabo večslojnih umetnih nevronskih mrež, s čimer lahko kot vhodne informacije uporablja slike, zvoke in tudi tekst.

Osnova globokega učenja so umetne nevronske mreže. Razvoj umetnih nevronskih mrež je črpal navdih iz biološkega učenja že v 60. letih prejšnjega stoletja, ko so nevroznanstveniki prišli do prvih dognanj o strukturi možganske skorje. Ključno je bilo spoznanje, da ima možganska skorja notranjo strukturo, v kateri se informacije obdelujejo v posameznih slojih.[4] Nevronske mreže so bile sprva model, ki je pojasnjeval prenašanje informacij v možganih. Pri nevronskih mrežah vstopajo vhodni podatki v vhodni sloj mreže, se nato prenašajo v enega ali več skritih slojev, ti pa se nazadnje povezujejo z izhodnim slojem. Vsak sloj vsebuje procesne enote (analogne nevronom), ki so prek uteži (analogne sinapsam) povezane z enotami v predhodnih in

sledečih slojih. Enote v vhodnem sloju običajno enkodirajo spremenljivke, ki jih merimo v podatkovni zbirki. Vsak izmed globljih slojev običajno sodeluje z izgradnjo predhodnih enot. Učenje in optimizacija mreže za reševanje določenega problema prispeva k izboljšanju globljih slojev, kar posledično izboljša zgodnejše sloje. Algoritmi običajno vsebujejo enote, ki so uporabne za več različnih nalog, ter te nato prilagodijo za eno ali več specifičnih nalog.[5]

V sklopu globokega učenja se lahko uporabi tako nadzorovani kot nenadzorovani pristop k učenju, lahko pa se uporabi kombinacijo teh korakov. Kadar ima sistem za globoko učenje na voljo dovolj podatkov, lahko zgradi enote, ki so prilagojene za reševanje specifičnega problema ter nato te enote združi v sistem za predvidevanje.[5]

Teorija uma

Socialna interakcija

Socialna interakcija ali socialni stik je eden izmed temeljnih gradnikov človeške družbe. Omogoča nam tvorbo medosebnih odnosov, grajenje družbe in izmenjavo informacij o okolju. Socialna vedenja so pri otrocih prisotna že v najzgodnejšem razvojnem obdobju kmalu po rojstvu.[6]

Sposobnost vzpostavljanja primernih socialnih interakcij vsebuje več različnih procesov. Najprej mora osebek oziroma »socialni agens« prepoznati druge osebke kot živeče osebe, kar stori preko analize kompleksnih zaznavnih informacij, kot so obrazni izrazi, gestikulacija, drža, telesna govorica in glas. Ko se te informacije integrirajo, predstavljajo vhodne informacije za višje procese, ki omogočajo neposredno usklajevanje z doživetim občutjem ob procesiranih informacijah o stanju drugega (empatija), ter interpretacijo opazovanih vedenj drugega v smislu njihovih miselnih stanj (mentalizacija ali teorija uma). Z vplivom na sprejemanje odločitev bodo ti procesi vplivali na subjekt na način, da bo prilagodil svoje socialno vedenje. V opisanem procesu sodelujejo tri področja: socialna zaznava, socialno razumevanje in socialno odločanje, ki so ključne domene socialne kognicije[7].

Osnovna sposobnost, ki omogoča socialno zaznavo in udejstvovanje, je sposobnost razlikovati med objekti in subjekti (objekt je predmet, katerega vedenje je možno v celoti pojasniti preko fizikalnih pojavov, subjekt ali osebek pa ima notranja izkustva in doživetja, kot so motivacije, razlogi in nameni, zaradi česar njihovo vedenje ne more biti nikoli povsem predvidljivo).[7]

Socialna kognicija

Socialna kognicija zajema zbirko kognitivnih sposobnosti za dojemanje in obdelovanje informacij medosebnega in družbenega konteksta. Socialna kognicija osebi omogoča, da ugotovi, katera čustva čutijo posamezniki, s katerimi je v stiku, ter da na njih ustrezno odgovori. Socialna kognicija je pomemben korelat socialnih spretnosti. Propad socialnih kognitivnih funkcij lahko bolniku povzroči večjo funkcionalno škodo kot upad na drugih kognitivnih področjih, saj posamezniku onemogoča učinkovito komunikacijo ter tvorbo pristnih in kvalitetnih medosebnih odnosov. Raziskovanje socialne kognicije ter uporaba koncepta v klinični praksi je nujna za prepoznavo oškodovanosti bolnikov na tem področju ter za možnost uporabe ciljanih intervencij, ki bi bolniku vsaj deloma povrnile izgubljeno funkcionalnost oziroma preprečila izgubo le-te.[8] Ocena socialne kognicije je mogoča deloma skozi natančno klinično opazovanje, za natančnejšo opredelitev pa lahko uporabimo kognitivne naloge.[8]

Sposobnosti teorije uma

Teorija uma (angl. *Theory of Mind* – ToM) je sposobnost razumevanja lastnih mentalnih stanj in mentalnih stanj drugih. Sposobnost teorije uma se deli na afektivni del, ki vsebuje razumevanje čustvenih stanj sebe in drugih, in kognitivni del, ki pomeni razumevanje kognitivnih procesov, prepričanj, misli in namenov sebe in drugih.[8]

Izraz teorija uma in pristopi za oceno te zbirke sposobnosti so bili v znanstvenem svetu prvič uporabljeni leta 1978 v vplivnem članku Primacka in Woodroofa o sposobnostih teorije uma pri šimpanzih.[9,10] Sposobnosti teorije uma oziroma slabšanje ali propad le-teh so pomembno raziskovalno vprašanje na področju nevrodegenerativnih in nevrorazvojnih bolezni, nevroloških bolezni, možganskih poškodb in psihiatričnih bolezni.[11]

Razvoj sposobnosti teorije uma je ključen tekom razvojnega procesa. Otroci, ki sposobnosti še nimajo razvite, imajo pomembneje izraženo lastnost egocentričnosti – ne zmorejo še prevzemati perspektive drugih oseb. Z nevrološkim razvojem se ta sposobnost izboljšuje, največji premiki v razvoju teorije uma pa se zgodijo med 3. in 5. letom starosti.[12]

Sposobnost razumeti čustvena in miselna stanja drugih je ključna za naše socialno vključevanje in pravilno razumevanje socialnih interakcij.[12]

Stopnje teorije uma

Študije so pokazale, da otroci, ko pridobivajo zbirko sposobnosti teorije uma, le-te pridobivajo v stopnjah od najmanj do najbolj zahtevne:

1. Razumevanje, da imajo ljudje lahko različne želje.

2. Razumevanje, da lahko imajo ljudje različna prepričanja o isti stvari ali situaciji.

3. Razumevanje, da lahko ljudje ne vedo, da je neka stvar ali dejstvo resnično.

4. Razumevanje, da lahko imajo ljudje napačna prepričanja oziroma prepričanja, ki niso skladna z dejstvi.

5. Razumevanje, da lahko ljudje skrivajo svoje občutke in ravnajo drugače, kot občutijo.[13]

Študije so pokazale tudi, da so sposobnosti teorije uma lahko nestabilne in spremenljive. V razvojnem obdobju so pogosto vezane na posamezno situacijo, in se nato izboljšujejo tekom adolescence v odraslost. V odrasli dobi se s procesi socialnega učenja in nevroplastičnosti lahko izboljšujejo,[13] v primeru bolezni pa lahko tudi upadejo.[14]

Ocenjevanje sposobnosti teorije uma

Čustveno komponento teorije uma običajno ocenjujemo s pomočjo slikovnih dražljajev, ki predstavljajo kompleksna čustvena stanja, ali s pomočjo besednih pripovedi, ki opisujejo čustveno stanje lika. Pogosto uporabljana naloga za ocenjevanje čustvene komponente teorije uma je »Reading the Mind in the Eyes Test« (kratica MET, avtorji Baron-Cohen in sodelavci, 1997, revidirano 2001).[8] Naloga MET preiskovancem pokaže fotografijo oči vzorčne osebe, udeleženec pa mora opisati čustva, ki jih oseba na fotografiji čuti. Podobno kot pri zgornjih nalogah je tukaj pomembno kontrolirati za prisotnost druge oškodovanosti v kognitivnem procesiranju vidnih dražljajev.

Za ocenjevanje kognitivnega dela teorije uma uporabljamo naloge, ki vključujejo resnična in napačna prepričanja. Naloga z resničnimi prepričanji od udeleženca zahteva, da glede na informacije, ki jih prejme, razume, kaj oseba v opisani zgodbi ve o dejstvih situacije, pri čemer imata tako udeleženec kot oseba iz zgodbe enako točno informacijo o dejanskem stanju. Naloga z napačnimi prepričanji vsebuje neusklajenost med udeleženčevim vedenjem o situacijami ter prepričanjem o isti situaciji protagonista iz predstavljene zgodbe. Ta tip nalog je še posebej pomemben, saj preverja kompleksno sposobnost zanemarjanja lastnega vedenja o resničnosti in razumevanja možnosti, da imajo drugi posamezniki drugačna, tudi napačna, prepričanja o svetu[8].

Obstajajo kognitivne naloge, ki hkrati preverjajo tako kognitivno kot afektivno komponento sposobnosti teorije uma. Ena izmed takih nalog je »Strange Stories Test« (avtor Happé, 1994),[15] kjer udeleženci preberejo zgodbo o protagonistovem vedenju in morajo izkazati njeno razumevanje. Za uspešno razlago zgodbe je potrebno razumevanje mentalnih stanj protagonistov. Nekatera izmed mentalnih stanj v nalogi so kognitivne narave, nekatera pa afektivne, zato ta testna naloga pokriva obe področji sposobnosti teorije uma. Na podoben način deluje tudi naloga »Faux Pas« (avtorji Baron-Cohen in sodelavci, 1999),[15] kjer morajo udeleženci prepoznati protagonistove socialno neustrezne odzive. Tudi ta naloga preverja afektivno in kognitivno komponento sposobnosti teorije uma, saj zahteva prepoznavo občutkov kot tudi namenov protagonista.[8]

Uporaba teorije uma na področju robotike

Robotski sistem, ki bi imel razvite sposobnosti teorije uma, bi zmogel sodelovati v socialnih interakcijah med roboti in ljudmi na način, ki poprej niso bile mogoče. Tak stroj bi bil sposoben učenja od osebe z uporabo socialnih signalov na enak način, kot se uči človeški otrok; druge intervencije (kot je učenje iz zbirke podatkov, opisano zgoraj), ne bi bile potrebne. Prav tako bi bila taka tehnologija sposobna prepoznati cilje in želje oseb ali osebkov, s katerimi bi prišla v stik, ter se na ta način ustrezneje odzivala na njihova čustvena in miselna stanja. S tem bi imela možnost predvidevati odziv sogovornika in spremeniti svoje vedenje z ozirom na to.

Implementacija takega robotskega sistema je zahtevna, saj je za to potrebno pri robotih razviti veliko število koordiniranih procesov (zaznavnih, senzorno-motornih, pozornostnih in drugih kognitivnih). Primarna lastnost, ki jo mora imeti tak robot, je sposobnost razlikovati med živim in neživim, torej med objektom in subjektom, kar je tudi osnovna sposobnost človeške zbirke sposobnosti teorije uma.[16]

Predhodne raziskave so pokazale, da imajo roboti prejšnjih generacij pomanjkljive sposobnosti prilagajanja glede na človekova spremenljiva čustvena in motivacijska stanja, kar pogosto povzroči nezadovoljstvo človeka v socialnih interakcijah z roboti. Roboti s sposobnostjo teorije uma bi lahko omogočili kvalitetnejše tovrstne interakcije. Prvotne

implementacije teorije uma na področju umetne inteligence so bile osredotočene v glavnem na to, da so roboti prevzemali vidno perspektivo in upravljali s prepričanji, da bi razumeli, kakšno predstavo o svetu ima človek, s katerim so bili v interakciji. Uporaba teh metod je izboljšala socialne interakcije med človekom in robotom. Sodobnejši pristop se osredotoča na povratni inženiring človeških sposobnosti teorije uma, in sicer na sklepanje o človeških miselnih in čustvenih stanjih na podlagi vedenjskih pokazateljev. Naslednji veliki korak v sposobnostih umetno inteligentnih sistemov je zmanjšati razkorak med pravilnim sklepanjem o človeških čustvenih in miselnih pojavih ter sprejemanjem smiselne odločitve na podlagi prejetih informacij.[17]

Pomembno odprto vprašanje, na katerega naletijo eksperimentalni poskusi implementacije teorije uma na področju umetne inteligence, je iskanje koherentnega teoretičnega koncepta teorije uma. Če znamo na področju psihologije, medicine in družbenih znanosti opisati pojem sposobnosti teorije uma, ostajajo nejasnosti o procesih, ki sodelujejo pri uporabi sposobnosti teorije uma (npr. ali gre za izključno priučena znanja, ali pa sodelujejo notranji in prirojeni človeški mehanizmi, ki jih ni mogoče simulirati z uporabo umetne inteligence).[18] Prav tako je pomanjkljivo naše poznavanje nevroanatomskih korelatov procesov zavesti in socialne zavesti.[19] Ker je implementacija teh sposobnosti na področju umetne inteligence nujno odvisna od znanja in razvoja na področju človeške teorije uma,[18] pomanjkljivosti v našem razumevanju človeške teorije uma povzročajo težave pri tej implementaciji.

Trenutne implementacije teorije uma v robotiki

Trenutno obstaja nekaj delujočih robotov, ki sodijo v skupino »socialnih robotov«, torej robotov, ki so zmožni stopati v smiselne socialne interakcije z ljudmi[20]. Opisani roboti do določene mere uporabljajo sposobnosti teorije uma.

Najbolj poznan izmed socialnih roboto je Sophia, ki jo je razvilo podjetje Hanson robotics in jo prvič predstavilo leta 2016. Sophia je humanoidni robot, ki vsebuje napredno tehnologijo, s katero se lahko učinkovito vključuje v človeške socialne interakcije. Kamere v notranjosti oči v kombinaciji z algoritmom za predelavo zaznanih slik omogočajo, da »vidi« človeški obraz pred seboj, s čemer lahko sledi obrazni mimiki, vzdržuje očesni kontakt in prepozna posamezne obraze. Prav tako lahko procesira govorne podatke in se nanje v socialnem kontekstu smiselno odziva.[21] Potrebno pa je razumeti, da gre v tem primeru za zelo dovršeno simulacijo razumevanja in udeleževanja v komunikaciji, ne pa za dejansko procesiranje informacij, ki bi bilo primerljivo s človeškimi procesi socialne kognicije.[22]

Na podoben način delujeta tudi robota Pepper in NAO, ki ju je razvilo podjetje Software Robotics, in se uporabljata v izobraževanju ter na področju stikov s strankami (na primer v hotelirstvu),[23] ter robot ASIMO podjetja Honda and Kaspar, ki ga uporabljajo za pomoč pri delu z otroki s spektroavtistično motnjo.[24]

Samozavedna umetna inteligenca

Gre za končno stopnjo razvoja umetne inteligence, ki zaenkrat obstaja zgolj hipotetično.

Sposobnost samozavedanja

Da bi lahko govorili o robotih s sposobnostjo samozavedanja, potrebujemo najprej delovno definicijo zavesti. Barron in Klein sta leta 2015 napisala kontroverzni članek, ki je naletel na številne odzive v znanstveni skupnosti, v katerem utemeljujeta, da imajo žuželke primitivne živčne strukture, analoge strukturam višjih živali, ki le-tem omogočajo zavedanje lastnega telesa in gibanja tega v prostoru, kar je zadostni pogoj za samozavedanje.[25] Shelley Anne Adamo je v kritiki njunega prispevka izpostavila, da imajo glede na zastavljene kriterije sposobnosti samozavedanja že nekateri trenutno obstoječi roboti, ki zmorejo ustvarjati integrirano simulacijo sebe v prostoru z uporabo notranjih in zunanjih vhodnih podatkov.[26] Nekateri futuristi verjamejo v neizbežnost razvoja umetne inteligence s sposobnostjo samozavedanja in v to tudi vlagajo tako finančne kot intelektualne vire, a v znanstveni skupnosti vlada konsenz, da trenutno stroji še nimajo sposobnosti samozavedanja ter da še nimamo orodij, s katerimi bi lahko strojno zavest vzpostavili.[20] Problem oblikovanja umetne zavesti leži v številnih dilemah in nejasnostih, tako glede nevroanatomskih struktur, ki bi naj vzpostavljale funkcije zavesti, kot glede filozofskih dilem o tem, kaj zavest je in kako jo lahko opredelimo in preverimo.

Nevroanatomski korelati zavesti

Anatomski regiji, ki sta po dosedanjih dognanjih najtesneje povezane s pojavom zavesti, sta talamo-kortikalni sistem in ascendentni sistem vzburjenja. Ascendentni sistem vzburjenja in nekaj specifičnih talamičih jeder (vse strukture se nahajajo v možganskem deblu ali v njegovi neposredni bližini)

omogočajo difuzno aktivacijo obeh možganskih hemisfer. Ta aktivacija je ključna za vzpostavitev zavestnega zaznavanja. Aktivnost posameznih področij možganskih hemisfer korelira z vsebino zavestnega zaznavanja, vendar pa ni nobeno izmed višjih (kortikalnih) možganskih področij samo po sebi odgovorno za vzpostavitev zavedanja.[27]

Primerjalne analize so pokazale, da nekatera možganska stanja korelirajo z vzpostavitvijo zavesti. Študija iz leta 2003 ugotavlja, da se v stanju anestezije in komatoznem stanju zmanjša metabolna aktivnost v kortikalnih regijah možganov, specifično v področju prefrontalne in parietalne skorje.[28] Podobno so študije pokazale večjo metabolno aktivnost in povečano komunikacijo med kortikalnimi regijami ob ciljanem, zavestnem učenju novih nalog v primerjavi z izvajanjem naloge, ki je že priučena in avtomatizirana.[27] Elektroencefalografske študije so prav tako pokazale razlike v aktivnosti med budnim in zavedajočim stanjem ter komatoznim stanjem.[27]

Študije na področju nevroanatomskih korelatov zavesti so pomembne in koristne, vendar so dognanja pri pojasnjevanju funkcije zavesti lahko pomanjkljiva ali zavajajoča. V odmevnem članku iz leta 2015 Tononi in Koch opozarjata, da dognanja o možganskem dogajanju, ki naj bi sovpadala z zavestjo, niso enoznačna (npr. obstajajo stanja kortikalne metabolne ali električne aktivnosti brez zavesti). Poleg tega lahko gre pri opisanih nevroanatomskih korelatih zavesti dejansko za korelate aktivnosti, ki se zgodi pred samim zavestnim izkustvom ali tik za njim, ne pa za korelat samega izkustva. Definicija zavesti zgolj skozi prizmo nevroanatomskih korelatov je problematična tudi pri vprašanju o obstoju zavesti v primeru ljudi s pomanjkljivo razvitimi ali poškodovanimi strukturami, ki naj bi bile odgovorne za vzpostavitev zavesti (kot so pacienti po hudi poškodbi glave), ter seveda neprenosljiva na vprašanje obstoja zavesti živali in tudi možnosti obstoja zavesti strojev.[19]

Definicije zavesti v filozofiji

Filozofske šole, ki se ukvarjajo s problemom obstoja zavesti in njene definicije, se v grobem delijo v dve skupini – dualizem in monizem. Smer dualizma zagovarja, da človeško bit sestavljata dve različni in ločeni substanci – materialna in nematerialna. Telo je manifestacija materialne substance, medtem ko je um oziroma zavest manifestacija nematerialne substance. Dualizem v znanstveni skupnosti nima veliko privržencev zaradi nepreverljivosti hipotez in manjkajoče razlage, kako prideta nematerialno in materialno v medsebojno interakcijo, ki je kot rezultat očitna. Monizem zagovarja tezo, da je vse na svetu sestavljeno iz ene materije, pri čemer smer idealizma trdi, da je vse nematerialna substanca (kar v praksi pomeni, da izven naših misli materialni svet ne obstaja), smer materializma pa trdi, da je vse, tako fizično kot duhovno doživetje, produkt materialne substance. Materializem je najbolj obče sprejeta perspektiva na zavest v znanstveni skupnosti, še posebej pa njegova specifična struja, imenovana funkcionalizem, ki zagovarja trditev, da so mentalna ali duhovna stanja funkcionalna stanja možganov, kar pomeni, da njihovo kvaliteto duhovnosti oziroma mentalnosti definira njihova funkcija, ki je stanje substrata in mu je analogna. Z vidika funkcionalizma je razmeroma preprosto navesti določene funkcije zavesti – kognitivno kontrolo nad vedênjem, sposobnost integracije informacij, pozornosti, sposobnost opisati notranje dogajanje in o njem komunicirati. Prav tako si je mogoče predstavljati, da bi tovrstne funkcije lahko simulirali z uporabo robotske tehnologije. Težje pa si je zamisliti stroj, ki bi lahko izvajal funkcijo subjektivnega izkustva zavesti, se pravi pojasniti in simulirati občutek zavedanja oziroma »imeti zavest«.[27]

Problem druge zavesti

Vprašanje definicije zavesti odpira še eno pomembno vprašanje s področja epistemologije: kako lahko ugotovimo, da ima subjekt, s katerim smo prišli v stik, svojo notranjo zavest? Če lahko prisotnost svoje zavesti, bodisi kot korelat materialnega sveta bodisi kot ločeno duhovno substanco, potrdimo skozi dejanje samozavedanja,[29] pa enako ni mogoče trditi za druge zavesti. Na prisotnost njihovih notranjih stanj lahko sklepamo na podlagi njihovega vedênja in naše sposobnosti empatije in mentalizacije, ne moremo pa nikoli dostopiti do dejanskih notranjih stanj in s tem potrditi obstoja zavesti.[30] Aplikativne raziskave teorije uma pogosto zanemarjajo vprašanje druge zavesti in se osredotočajo na merljive korelate notranjih stanj, kar je tudi osnova raziskav na področju teorije uma v psihiatriji in nevroznanosti.[31] Vendar pa je brez odgovora na to temeljno vprašanje problematično vzpostavljati kriterije za ocenjevanje prisotnosti zavesti v primeru umetne inteligence.

Umetna zavest

Nejasnosti na področju razumevanja koncepta zavesti povzročajo tudi prepreke pri načrtovanju umetne inteligence s sposobnostjo učenja. Osnovno vprašanje, na katerega je potrebno poiskati odgovor, je: kako bomo vedeli, da smo ustvarili stroj s sposobnostjo samozavedanja? V preteklosti je bilo že več poskusov, kako definirati kriterije, po katerih bi

lahko ugotovili, da je robot samozaveden.[27] Najbolj poznan tovrsten poskus je Turingov test, ki preizkuša, ali je vedênje stroja nerazločljivo od človeškega vedênja.[32] Vendar pa, kot so kritiki testa opozarjali, pri tem ni mogoče reči, ali opazujemo dejansko delovanje zavesti ali zgolj simulacijo zavesti.[33] Kasnejši poskusi definicije kriterijev zavesti pri umetni inteligenci so se osredotočali na ugotavljanje dejanskih notranjih stanj in ne zgolj opazovanja vedênja. Aleksander in Dunmall sta leta 2003 predlagala pet preizkusov oziroma aksiomov, ki preverjajo prisotnost zaznavnih, emotivnih in domišljijskih notranjih stanj ter mehanizmov pozornosti in načrtovanja. Haikonen je leta 2007 predlagal test, ki preverja prisotnost notranjih predstav in notranjega govora, ter sposobnost opisati te vsebine ter jih prepoznati kot lastne. Leta 2010 je Arrables s soavtorji kot kriterij predlagal oceno prostorsko-časovnih vzorcev fizičnih stanj stroja v primerjavi s stanjem človeških možganov. Noben izmed naštetih poskusov vzpostavitve kriterijev zaenkrat ni univerzalno sprejet.[27]

Zaključek

Umetna inteligenca je področje hitrega razvoja, veliko aplikacij umetne inteligence pa že uporabljamo vsakodnevno v naših domovih ali na strokovnem in raziskovalnem področju. Ob napredku sposobnosti umetne inteligence postaja delo s tovrstnimi stroji manj podobno uporabi in bolj podobno interakciji oziroma sodelovanju. Za izboljšanje sodelovanja med človekom in strojem je pomemben naslednji korak v razvoju tehnologij umetne inteligence – razvoj strojev s sposobnostjo teorije uma oziroma izboljšanimi sposobnostmi socialnih interakcij, ki bi robotu omogočale razumevanje človeških mentalnih stanj in ustrezno odzivanje nanje. Poznavanje in razumevanje področja človeških socialnih kognitivnih sposobnosti je korak do ustvarjanja strojev s temi sposobnostmi. Ustvarjanje umetno inteligentnih strojev s sposobnostjo teorije uma je nujni premostitveni korak do razvoja umetne inteligence s sposobnostjo samozavedanja, ostaja pa odprto vprašanje, ali je slednje tehnično in metafizično sploh mogoče.

Poleg tega samozavedna umetna inteligenca odpira številne etične pomisleke, o katerih je potrebno poglobljeno razmišljati vzporedno z razvojem tehnologije. Ravnanje samozavedne umetne inteligence bi določala neke vrste morala ali etika, pri tem pa bi se soočali z vprašanjem, kako zagotoviti, da bi etična načela samozavednih strojev delovala za dobrobit človeka oziroma usklajeno s cilji človeštva. Odprla bi se tudi pravna vprašanja, in sicer, kako opredeliti pravice in odgovornosti samozavednih strojev ter kako zagotoviti njihovo spoštovanje in izpolnjevanje.[34] Psihologija, medicina, filozofija, nevroznanost in družbene znanosti lahko tukaj znanstveno-tehničnemu področju umetne inteligence nudijo pomembne odgovore in razumevanje problematike za nadaljnji razvoj.

Reference

1. Poole D, Mackworth A, Goebel R: *Computational intelligence: a logical approach*. New York 1998: Oxford University Press.
2. Joshi N: 7 types of artificial intelligence. *Forbes* 2019 https://www.forbes.com/sites/cognitiveworld/2019/06/19/7-types-of-artificial-intelligence/#18f25e2b233e (4. 4. 2020)
3. Deo RC: Machine learning in medicine. *Circulation 2015; 132*(20): 1920-1930. https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.115.001593
4. Cao C, Liu F, Tan H et al.: Deep learning and its applications in biomedicine. *Genomics Proteomics Bioinformatics* 2018; *16*(1): 17-32. https://doi.org/0.1016/j.gpb.2017.07.003
5. Ching T, Himmelstein DS, Beaulieu-Jones BK et al.: Opportunities and obstacles for deep learning in biology and medicine. *J R Soc Interface* 2018; *15*(141): 20170387. https://doi.org/10.1098/rsif.2017.0387
6. Gordon G: Social behaviour as an emergent property of embodied curiosity: a robotics perspective. *Philos Trans R Soc B Biol Sci* 2019; *374*(1771): 20180029. https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0029
7. Arioli M, Crespi C, Canessa N: Social cognition through the lens of cognitive and clinical neuroscience. *BioMed Res Int* 2018: 4283427. https://doi.org/10.1155/2018/4283427
8. Henry JD, Cowan DG, Lee T, Sachdev PS: Recent trends in testing social cognition. *Curr Opin Psychiatry* 2015; *28*(2): 133-140. https://doi.org/10.1097/YCO.0000000000000139
9. Call J, Tomasello M: Does the chimpanzee have a theory of mind? 30 years later. *Trends Cogn Sci* 2008; *12*(5): 187-192. https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.02.010
10. Premack D, Woodruff G: Does the chimpanzee have a theory of mind? *Behav Brain Sci* 1978; *1*(4): 515-526. https://doi.org/10.1017/S0140525X00076512
11. Schaafsma SM, Pfaff DW, Spunt RP, Adolphs R: Deconstructing and reconstructing theory of mind. *Trends Cogn Sci* 2015; *19*(2): 65-72. https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.11.007
12. Cherry K: How the theory of mind helps us understand others. *VeryWell Mind* 2020. https://www.verywellmind.com/theory-of-mind-4176826 (13. 5. 2020)
13. Wellman HM, Fang F, Peterson CC: Sequential progressions in a theory-of-mind scale: longitudinal perspectives. *Child Dev* 2011; *82*(3): 780-792. https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2011.01583.x

14. Bora E, Berk M: Theory of mind in major depressive disorder: a meta-analysis. *J Affect Disord* 2016; *191*: 49-55. https://doi.org/10.1016/j.jad.2015.11.023
15. Beaudoin C, Leblanc É, Gagner C, Beauchamp MH: Systematic review and inventory of theory of mind measures for young children. *Front Psychol* 2020; *10*: 2905. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02905
16. Scassellati B: Theory of mind for a humanoid robot *Auton Robots* 2002; 12(1): 13-24. https://doi.org/10.1023/A:1013298507114
17. Görür OC, Rosman Benjamin S, Hoffman G, Albayrak S: Toward integrating theory of mind into adaptive decision-making of social robots to understand human intention. In: *Workshop on "The Role of Intentions in Human-Robot Interaction" in 12th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. Viena 2017.
18. Bianco F, Ognibene D: Transferring adaptive theory of mind to social robots: insights from developmental psychology to robotics. In: Salichs M et al. (eds), *Social Robotics. Proceedings, 11th International Conference, ICSR 2019 November 26-29, 2019,*. Madrid 2019: Springer; 77-87. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35888-4_8
19. Tononi G, Koch C: Consciousness: here, there and everywhere? *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2015; *370*(1668): 20140167. https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0167
20. Meissner G: Artificial intelligence: consciousness and conscience. *AI Soc* 2019; 35(2): 225-235. https://doi.org/10.1007/s00146-019-00880-4
21. Sophia the robot takes her first step. *The Telegraph* 2018. https://www.telegraph.co.uk/technology/2018/01/08/sophia-robot-takes-first-steps/ (19. 1. 2020)
22. Fitzsimmons C: Why Sophia the robot is not what it seems. *The Sydney Morning Herald* 2017. https://www.smh.com.au/opinion/why-sophia-the-robot-is-not-what-it-seems-20171031-gzbi3p.htm (19. 1. 2020)
23. SoftBank Robotics Europe. *Pepper and NAO in the service of Education and Research*. https://www.softbankrobotics.com/emea/en/industries/education-and-research (19. 1. 2020)
24. ASIMO by Honda: *The world's most advanced humanoid robot*. https://asimo.honda.com/ (19. 1. 2020)
25. Barron AB, Klein C: What insects can tell us about the origins of consciousness. *Proc Natl Acad Sci* 2016; *113*(18): 4900-4908. https://doi.org/10.1073/pnas.1520084113
26. Adamo SA: Consciousness explained or consciousness redefined? *Proc Natl Acad Sci U S A* 2016; *113*(27): E3812. https://doi.org/10.1073/pnas.1606942113
27. Reggia JA: The rise of machine consciousness: Studying consciousness with computational models. *Neural Netw* 2013; *44*: 112-131.
28. Baars BJ, Ramsøy TZ, Laureys S: Brain, conscious experience and the observing self. *Trends Neurosci* 2003; *26*(12): 671-675. https://doi.org/10.1016/j.tins.2003.09.015
29. Encyclopedia Britannica. *Cogito, ergo sum*. https://www.britannica.com/topic/cogito-ergo-sum (19. 1. 2020)
30. Avramides A: Other Minds. In: Zalta EN (ed.): *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford 2020: The Metaphysics Research Lab, Center for the Study of Language and Information, Stanford University. https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/other-minds/ (19. 1. 2020)
31. Leudar I, Costall A: On the persistence of the 'problem of other minds' in psychology: Chomsky, Grice and theory of mind. *Theory Psychol* 2004; *14*(5): 601-621. https://doi.org/10.1177/0959354304046175
32. Alan Turing Scrapbook. *The Turing test, 1950*. https://www.turing.org.uk/scrapbook/test.html (19. 1. 2020)
33. Searle JR: Minds, brains, and programs. *Behav Brain Sci* 1980; *3*(3): 417-424. https://doi.org/10.1017/S0140525X00005756
34. Müller VC: Ethics of artificial intelligence and robotics. In: Zalta EN (ed.): *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Stanford 2020: The Metaphysics Research Lab, Center for the Study of Language and Information, Stanford University. https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/ethics-ai/ (2. 3. 2021)

■ *Strokovni članek*

Jure Tihole, Romana Mance Kristan, Matic Kranjec, Dejan Dinevski

Uporaba telezobozdravstva pri diagnostiki, svetovanju in zdravljenju obolenj v ustni votlini

Povzetek. Telemedicina v zobozdravstvu oziroma telezobozdravstvo je novejša veja telemedicine, kjer se združujejo zobozdravstvo, telekomunikacije in informacijske tehnologije. Uporablja se na različnih področjih zobozdravstva, predvsem v smislu posveta med zobozdravniki in zdravniki drugih strok ter v izobraževalne namene. Namen zobozdravstva na daljavo je hitreje in pravilno diagnosticirati obolenje v ustni votlini, predvsem kadar gre za kompleksnejše primere, ki jih zobozdravniki na primarni ravni težje rešujejo. Zaradi težje dostopnosti do specialistov in dolgih čakalnih dob lahko s posvetom na daljavo prej odkrijemo obolenje in temu primerno napotimo bolnika na nadaljnje zdravljenje. Zaradi manjšega števila nepotrebnih napotitev bi se s tem lahko skrajšale tudi čakalne dobe. Implementacija zobozdravstva na daljavo v Sloveniji ima določene omejitve. Telezobozdravstvo bi olajšalo delo zobozdravnikom in pacientom, je pa potrebno ugotoviti, ali je uporaba telezobozdravstva v naši državi utemeljena in ekonomična. V prispevku povzemamo uporabo telemedicine v različnih vejah zobozdravstva v tujini ter smiselnost in omejitve uporabe v Sloveniji.

Teledentistry: Diagnostics, Preventive Care and Consulting

Abstract. Telemedicine in dentistry or teledentistry is a newer branch of telemedicine, which combines dentistry, telecommunications and information technology. It is used in various fields of dentistry, especially in terms of consultation between dentists and medical doctors from other fields, and for educational purposes. The purpose of remote dentistry is to quickly and correctly diagnose the disease in the oral cavity, especially when it comes to more complex cases that are more difficult for general dentists to deal with. Due to difficult access to specialists and long waiting times, the disease can be detected earlier with a remote consultation and the patient can be referred for further treatment accordingly. Due to the smaller number of unnecessary referrals, waiting times could also thus be shortened. The implementation of teledentistry in Slovenia has certain limitations. Teledentistry would facilitate the work of dentists and patients, but it is necessary to determine whether the use of teledentistry in our country is justified and economical. In this paper, we summarise the use of telemedicine in various branches of dentistry abroad and the reasonableness and limitations of its use in Slovenia.

■ **Infor Med Slov** 2020; 25(1-2): 33-39

Institucije avtorjev / Authors' institutions: Zdravstveni dom Adolfa Drolca Maribor (JT, RMK); Medizob d.o.o., Ruše (MK); Medicinska fakulteta Maribor, Univerza v Mariboru (DD)

Kontaktna oseba / Contact person: Jure Tihole, Zdravstveni dom Adolfa Drolca Maribor, Ulica Kneza Koclja 10, 2000 Maribor, Slovenija.
E-pošta / E-mail: jure.tihole@gmail.com

Prispelo / Received: 18. 10. 2020. Sprejeto / Accepted: 18. 12. 2020.

Uvod

Pojem telemedicina se je pojavil v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja. Uporablja se ga v primeru zagotavljanja zdravstvenih storitev z uporabo informacijskih in telekomunikacijskih tehnologij, kadar udeleženci niso na istem mestu.[1] Namen telemedicine je izboljšati učinkovitost in kvaliteto zdravstvene oskrbe.[2] Pojem telezobozdravstvo oziroma zobozdravstvo na daljavo pa se je pojavil kasneje, kot vojaški projekt ZDA leta 1994. Namen projekta je bil izboljšati zobozdravstveno oskrbo vojakov na terenu, izobraževanje na področju zobozdravstva ter komunikacijo med zobozdravniki in zobotehničnimi laboratoriji.[3] Izraz telezobozdravstvo oziroma zobozdravstvo na daljavo je prvič uporabil Cook leta 1997, ki je pojem *teledentistry* definiral kot uporabo videokonferenčne tehnologije za diagnostiko in svetovanje na daljavo.[4] Namen telezobozdravstva je s pomočjo informacijske tehnologije in telekomunikacij omogočiti zobozdravstveno oskrbo, posvetovanje, izobraževanje pacientov, zdravnikov in ozaveščanje javnosti.[5] Zobozdravnik lahko posreduje bolnikove podatke, rentgenske posnetke, meritve stanja obozobnih tkiv, podatke o dosedanjem zdravljenju, rezultate laboratorijskih preiskav in fotografije, kar je pomembno pri posvetovanju med (zobo)zdravniki.[6]

Tako kot so se v zadnjih letih razvile informacijsko-telekomunikacijske tehnologije, so se tudi v zobozdravstvu pojavile številne tehnološke novosti, predvsem na področju računalniškega vodenja bolnikov, elektronskega izdajanja računov, digitalne radiologije, ekstra- in intraoralnih digitalnih kamer, 3D računalniških sistemov za protetično rekonstrukcijo ter računalniške tomografije konusnega snopa (angl. *cone beam computered tomography* – CBCT). To je omogočilo bolj kakovostno oskrbo bolnikov, povečalo natančnost diagnostike in omogočilo vsaj delno oskrbo na daljavo. Oskrba na daljavo je pomembna v velikih, redko poseljenih državah, v primeru potrebe po specialistični obravnavi, ko specialist ni v bližini ali kadar je potrebno sodelovanje med različnimi področji zobozdravstva.[6-8] Diagnostika na daljavo ima velik pomen v domovih starejših občanov, kjer so varovanci odvisni od pomoči drugih, prevoz takega bolnika pa pogosto predstavlja težavo.[9] Informacijska tehnologija je pomembna tudi za klinične, izobraževalne in raziskovalne namene. Na spletu si namreč lahko uporabniki poiščejo želene informacije, možen je dostop do on-line knjižnic ali pa gre za komunikacijo učenec – učitelj. Možne so on-line konference, lahko se prenaša operativne posege v živo ali pa on-line tečaje.[3,10-14]

V literaturi je opisanih več načinov telekonzultacije v telezobozdravstvu; najpogostejša sta dva. Prvi način je posvet v živo ali videokonferenca, pri katerem lahko zdravnik in bolnik, ki nista na istem kraju, komunicirata med seboj. Drugi način je asinhron (t. i. »shrani in posreduj«), kjer se podatke najprej shrani in nato pošlje naprej. Najpogosteje se uporablja za posvetovanje med (zobo)zdravniki, ki si lahko na ta način med seboj pošiljajo podatke v pisni in slikovni obliki, pri čemer bolnik ni prisoten.[15]

Uporaba telezobozdravstva po področjih

Oralna medicina

Telezobozdravstvo je pomembno pri prepoznavanju sprememb v ustni votlini. Gre za področje zobozdravstva, ki ga imenujemo oralna medicina in je najbolj podobno dermatologiji. Diagnoza ustnih lezij je zaradi pomanjkanja izkušenj pogosto velik izziv za izvajalce primarne zdravstvene oskrbe. To pojasnjuje veliko število napotitev k specialistom in posledično daljše čakalne dobe. V primeru rakavih obolenj ustne votline je zgodnje odkrivanje lezij bistvenega pomena, saj je preživetje bolnika pri napredovalih oblikah bistveno manjše kot pri zgodnjih fazah bolezni.[16] Raziskava Carrarda in sodelavcev je pokazala pomembnost telekonzultacije pri prepoznavanju sprememb v ustni votlini, saj se je število napotitev na sekundarni nivo zmanjšalo.[17] Svetovanje je smiselno tudi takrat, ko ni možen histopatološki pregled vzorca ali pa bi odstranitev spremembe pomenila estetsko ali funkcionalno okvaro. Svetovanje je možno na podlagi digitalne fotografije visoke ločljivosti. Rezultati so še boljši, če imamo poleg slik še natančno pacientovo anamnezo, seznam zdravil, ki jih jemlje in rezultate morebitnih predhodno opravljenih diagnostičnih postopkov ter dosedanjega zdravljenja.[3] O uspešni uporabi telezobozdravstva na področju oralne medicine so poročali tudi na Irskem.[15] Po letu 2008 je bilo objavljenih več raziskav, ki kažejo, da je bila uporaba telemedicine pri diagnostiki sprememb v ustih dobro sprejeta s strani zdravstvenega osebja in pacientov.[18]

Oralna in maksilofacialna kirurgija

Telezobozdravstvo se uporabljajo tudi na področju oralne in maksilofacialne kirurgije. Omogoča boljšo diagnostiko in načrtovanje zdravljenja. Impaktirani modrostni zobje predstavljajo velik odstotek oralno-kirurške patologije. Kadar zobozdravnik ni izkušen na

področju oralne kirurgije, mu lahko po poslanih slikovnih podatkih oralni kirurg svetuje, ali je potrebno puljenje takega zoba, manjši kirurški poseg ali bo za uspešno zdravljenje dovolj že konzervativna oskrba.[19]

Vse večji del oralne kirurgije predstavlja implantologija. Bolnika lahko zobozdravnik na primarnem nivoju pregleda in ga napoti na posnetek CBCT. Oralni oziroma maksilofacialni kirurg lahko brez bolnika naredi 3D rekonstrukcijo čeljusti, načrtuje vrsto, dolžino in položaj zobnega vsadka ter izdelavo kirurškega vodila, ki omogoči natančnejšo vstavitev zobnega vsadka. Šele potem lahko bolnika pregleda in mu razloži vse možnosti zdravljenja. Poleg tega lahko bolj izkušen operater preko videokonference spremlja kirurški poseg in med posegom svetuje manj izkušenemu operaterju.[3]

Fiksna in snemna protetika

Telemedicina se uporablja tudi v zobni protetiki. Trenutno je najbolj uporabljena metoda za nadomeščanje zlomljenega ali manjkajočega zoba s prevleko ali mostičkom ta, da se bolniku obrusi zob, zobozdravnik odtisne oba zobna loka ter odtise pošlje v zobni laboratorij. Slabost odtisov je predvsem njihova volumska nestabilnost. Po nekaj dneh zobozdravnik naredi preizkus ogrodja in ga ponovno pošlje v laboratorij, kjer se nanese na ogrodje porcelan in se po nekaj dneh naredi preizkus dokončne konstrukcije. Če je ustrezna, se jo pošlje v dokončno glaziranje. Pri četrtem obisku se bolniku vstavi dokončno protetično konstrukcijo.[20] Danes vse več zobozdravstvenih ordinacij namesto klasičnega ročnega modeliranja uporablja računalniške sisteme CAD/CAM (angl. *computer-aided design*, *computer-aided manufacturing*) za izdelavo manjših protetičnih nadomestkov. Osnova take izdelave je 3D slikovni prikaz stanja zob po preparaciji, ki se ga naredi s posebno intraoralno kamero. Kriptirano datoteko se pošlje po elektronski pošti zobotehničnemu laboratoriju, kjer se slike analizira in s pomočjo računalniškega programa oblikuje protetično konstrukcijo. Nato se podatke pošlje stružnici, ki iz blokov izreže ustrezno konstrukcijo, ali 3D tiskalniku, ki natisne kovinsko ogrodje in odlitek zobnih lokov.[3] Za izbiro barve zob se lahko uporablja posebne intraoralne optične čitalce, ki delujejo s pomočjo spektrofotometrije ali kolorimetrije. Pridobljene podatke se s pomočjo računalnika posreduje zobotehničnemu laboratoriju. Ko ima zobni laboratorij vse potrebne podatke, lahko izdela protetični nadomestek. Če pri tem pošlje zobozdravnik še bolnikovo fotografijo, se lahko pred začetkom izdelave protetičnega nadomestka naredi v računalniškem programu t. i. *smile design*, na katerem lahko pacient preveri izgled z novimi protetičnimi nadomestki. Na ta način se izognemo nepotrebnim dodatnim obiskom bolnika v ordinaciji, izognemo se volumskim spremembam odtisne mase in napakam, ki jih prinaša njeno izlivanje ter obdelava mavčnih modelov. Možnost predogleda pred izdelavo pa odpravlja morebitne nesporazume. Za boljše rezultate je možna tudi dodatna izmenjava informacije med zobozdravnikom in zobotehničnim laboratorijem s pomočjo videokonference. Zavedati se je potrebno, da telezobozdravstvo na tak način ni možno, če laboratorij ni opremljen s sistemom CAD-CAM ali 3D tiskalnikom in če nima strokovnjakov, ki znajo to tehnologijo uporabljati.[20] V primeru kompleksnejših protetičnih rehabilitacij bolnikov je preko videokonference možen tudi posvet zobozdravnika na primarni ravni s specialistom protetikom na drugi lokaciji, kar je pomembno zlasti v državah, ki so redkeje poseljene in kjer je specialistov manj.[21]

Endodontija

Velik delež zobne patologije predstavljajo periapikalne lezije. Njihovo zdravljenje večinoma izvajajo zobozdravniki na primarni ravni, ki nimajo toliko izkušanj z zdravljenjem zahtevnejših primerov kot specialisti za zobne bolezni in endodontijo. S pomočjo izmenjave slikovnega materiala je mogoče pravilno postaviti diagnozo, na podlagi katere se naredi načrt za ustrezno endodontsko ali oralno-kirurško zdravljenje, če endodontsko zdravljenje ni mogoče. Ekstra- in intraoralna digitalna fotografija, dobra anamneza in digitalni radiološki posnetki omogočajo svetovalcu razmeroma dobro postavitev diagnoze in določitev načina zdravljenja.[22]

Čeljustna in zobna ortopedija

Tako kot na ostalih področjih zobozdravstva je prišlo do razvoja tudi na področju zobne in čeljustne ortopedije oziroma ortodontije. Uporaba telemedicine se je izkazala kot pomembna pomoč pri analiziranju modelov. S pomočjo intraoralnih optičnih bralnikov se posname stanje zob v ustni votlini in izdela digitalne delovne modele, ki nadomeščajo klasične, mavčne. S pomočjo programske opreme se naredi vse meritve in oceni medčeljustne odnose. Posledično sta na daljavo možna tudi posvet in izdelava načrt nadaljnjega ortodontskega zdravljenja.[3] Ortodont lahko na daljavo svetuje tudi bolniku, ki ima težave z nošenjem ortodontskega aparata.[23]

Otroško zobozdravstvo in preventiva

Uporaba telemedicine je pomembna tudi v otroškem in preventivnem zobozdravstvu. Zobna gniloba

predstavlja veliko težavo predvsem pri otrocih, zato je preventiva in zgodnje odkrivanje izrednega pomena. Za zgodnje ugotavljanje zobne gnilobe je pomembna kakovost in oblika intraoralnih kamer. Oblikovane morajo biti tako, da z njimi enostavno dosežemo mesta, ki jih želimo slikati. Uporaba telemedicine v preventivi je pomembna pri omejenem dostopu do zobozdravnika ali pa predstavlja možnost pregleda pri otrocih, ki se bojijo zobozdravnika in jim ta način pregleda bolj ustreza kot klasičen klinični pregled.[24] Študije so pokazale, da naj bi imelo približno 30 % svetovnega prebivalstva leta 2017 v stalnem zobovju prisotno zobno gnilobo.[25] Zobne gnilobe je več pri ljudeh z nižjim socialnoekonomskim statusom, kjer je tudi dostopnost do preventivne dejavnosti in zdravljenja manjša.[26] S preventivno dejavnostjo je možno zobno gnilobo močno zmanjšati. Videokonference so pomembne pri osveščanju ljudi glede prehranjevalnih navad, vrste hrane, uporabe fluoridov in ustne higiene, ki so ključni dejavniki tveganja za zobno gnilobo.[27]

Več študij je pokazalo, da lahko s pomočjo posnetkov s pametnimi telefoni ali videokamerami na daljavo diagnosticiramo karies podobno natančno kot pri pregledu v živo.[28-30] Študija Daniela in Kumarja je pokazala, da se lahko določeni zdravstveni delavci, npr. ustni higieniki, dodatno izobrazijo tako, da lahko primerljivo z zobozdravniki prepoznajo zobno gnilobo tudi preko slikovnega materiala na daljavo.[10] Prepoznavanje zobne gnilobe na podlagi pregledanih posnetkov je pomembno, da se otroke, ki prednostno potrebujejo zdravljenje, prej napoti k zobozdravniku.[31] Zaradi raznolikosti pri metodologiji in merilih pri različnih študijah pa moramo biti pri interpretaciji rezultatov previdni. Potrebne bodo dodatne raziskave, da bi potrdili ustreznost telemedicine pri ugotavljanju kariesa.[32]

Interdisciplinarnost

Sodelovanje med različnimi področji zobozdravstva in medicine je pomembno pri izključevanju žarišč pred večjimi kirurškimi posegi. Obolelo zobovje in obzobna tkiva lahko predstavljajo vir okužbe, ki se lahko širi v neposredno okolico, druge predele glave, npr. orbito in proti možganom, ali v oddaljena področja telesa, kot so npr. srce, ledvice in sklepi. Te okužbe lahko ogrozijo bolnikovo zdravje, lahko pa povzročijo celo smrt. Da bi preprečili bakteriemijo zobnega izvora, zdravniki pošljejo bolnike pred različnimi kirurškimi posegi (operacijo srca, uvajanjem imunosupresivnega zdravljenja, obsevanjem glave in vratu, vstavitvijo sklepnih protez, presaditvijo organa) na pregled zobovja z namenom izključitve žarišč.[33]

Ekonomičnost telezobozdravstva

Številne študije so na modelih prikazale primerjavo cene pregleda pri zobozdravniku v primerjavi s pregledom na daljavo. Skupna ugotovitev je, da je cena pregleda na daljavo značilno manjša kot cena pregleda pri zobozdravniku.[32,34,35] Mariño in sodelavci so analizirali dostopnost in ceno pregleda za prebivalce doma za starejše občane, kjer so primerjali pregled pri zobozdravniku s pregledom na daljavo.[35] Naredili so več modelov, med njimi asinhrone, sinhrone in model, kjer je pregled opravil kvalificiran zdravstveni delavec, ki ni zobozdravnik. Analiza je pokazala, da je pregled na daljavo, ki ga opravi za to usposobljen ustni higienik ali medicinska sestra, bistveno cenejši kot pregled pri zobozdravniku. Tudi če je zobozdravnik naredil pregled na daljavo, je bila cena nižja kot pri pregledu v živo, še ceneje pa je bilo, če je zobozdravnik poslani posnetek pregledal naknadno. Pri tem niso upoštevali stroškov prevoza ostarelih pacientov, stroškov porabljene zaščitne opreme in drugih stroškov, ki niso neposredno vezani na ceno storitve. Zaključek raziskave je bil, da pregled na daljavo bistveno zmanjša skupne stroške pregleda.[35]

Estai in sodelavci so v Avstraliji izvedli študijo, kjer so primerjali ceno tradicionalnih sistematskih pregledov s ceno sistematskih pregledov z uporabo telezobozdravstva za vse otroke, stare od 7 do 14 let, v vseh pokrajinah Avstralije, kar pomeni 2,7 milijona otrok. Preračunali so, da na leto za tradicionalne sistematske preglede porabijo povprečno 135 milijonov avstralskih dolarjev, medtem ko bi s telezobozdravstvom in ustrezno izobraženim kadrom na leto porabili 50 milijonov avstralskih dolarjev. Petinosemdeset milijonov bi privarčevali zaradi nižjih plač osebja, zmanjšanja stroškov prevoza, cenejše delovne opreme in manjše porabe opreme za enkratno uporabo. Predvidevajo, da bo z leti tehnologija napredovala in bodo posnetki bolj kakovostni, oprema pa posledično cenejša.[32]

Teoh in sodelavci so primerjali ceno obiska pri specialistu s pregledom na daljavo pri pacientih s shizami. Upoštevali so tudi stroške, ki jih ima pacient s prevozom do zdravnika. Za zdravljenje shiz je potreben interdisciplinarni pristop pediatra, maksilofacialnega kirurga in ortodonta, ki se začne kmalu po rojstvu in lahko traja več let. Raziskava je pokazala, da so pregledi na daljavo bistveno cenejši za pacienta, če živi več kot 50 km od kraja, kjer je prisoten ustrezno izobražen kader za zdravljenje shiz.[34]

Razprava

Telezobozdravstvo se je zaradi težje dostopnosti do zobozdravnikov razvilo predvsem v državah, ki so redkeje poseljene. Pri nas je sicer največ zobozdravnikov v večjih mestih, vendar pa zobozdravstvo deluje tudi v manjših krajih po Sloveniji. Težji je dostop do zobozdravnikov specialistov, ki se nahajajo v večjih slovenskih krajih. Njihovo število je majhno, zato so čakalne dobe zelo dolge. Zobozdravniki večino dela opravijo sami v svoji ordinacijah, pri kompleksnejših primerih pa je potreben posvet med njimi in (zobo)zdravniki specialisti. Najpogosteje gre za spremembe na ustni sluznici, zahtevnejša endodontska zdravljenja zob, delno ali popolnoma impaktirane modrostnike, poškodbe zob ali protetično oskrbo bolnikov. Otroško preventivno zobozdravstvo je v Sloveniji razmeroma dobro razvito. Tudi tu je najpomembnejše posvetovanje, predvsem v primeru hujših poškodb zob in pri nepravilnem izraščanju in postavitvi zob. Če bi bil možen posvet s specialistom ortodontom, bi lahko zmanjšali število nepotrebnih napotitev. Na področju ortodontije bi bilo dolgoročno smiselno tudi analiziranje modelov z računalniškim programom, kar pa zahteva dodatno izobraževanje in na začetku tudi visok strošek investicije. Zaradi velikega pomanjkanja sredstev za izobraževanje, predvsem v javnih zavodih, bi bila izvedba izobraževanj na daljavo smiselna za vzdrževanje visoke ravni znanja ter seznanjanja z novostmi na področju dentalne medicine.

Zagotovo bi bil posvet na daljavo smiseln na področju oralne kirurgije, oralne medicine in parodontologije, s čimer bi bolje triažirali bolnike. Pri tem bi potrebovali fotografije, v določenih primerih digitalne rentgenske in/ali CBCT posnetke ter kakovostno anamnezo, za kar bi bilo potrebno na varnem strežniku na nacionalni ravni pripraviti spletne obrazce, iz katerih bi dobili ustrezne podatke o bolniku. Komunikacija med (zobo)zdravniki je nujno potrebna zaradi višje povprečne starosti populacije, ki ima več pridruženih bolezni in jemlje več zdravil. Prilagoditev jemanja zdravil prepreči zaplete po kirurških posegih. Trenutno poteka komunikacija med zobozdravnikom in zdravnikom pisno, kar podaljša začetek zdravljenja. Pogosto pripeljejo na pregled za izključitev žarišč bolnike, ki imajo brezzobo stanje oskrbljeno s totalnima protezama, zato bi bilo s pomočjo ustrezne komunikacije in s pregledom rentgenskega posnetka možno izključiti žarišča brez prisotnosti bolnika. Nekateri bolniki se zdravijo z zdravili, katerih jemanje je pred določenimi posegi v ustni votlini potrebno ukiniti ali pa je bolnike pred posegi potrebno ustrezno pripraviti. S predhodno komunikacijo bi se lahko zmanjšalo število prevozov k zobozdravniku in se vse opravilo z enim ali celo brez pacientovega obiska. Pomembno področje telezobozdravstva je tudi komunikacija med zobozdravnikom in zobotehničnim laboratorijem, s čimer skrajšamo čas protetične oskrbe bolnika, zmanjšamo število prihodov bolnika v ordinacijo, vnaprej predvidimo rezultate dela in zaradi novih tehnologij zmanjšamo napake pri delu.

Če bi želeli večje sodelovanje med (zobo)zdravniki različnih strok, bi morali zasnovati mrežo in program, ki bi preko e-kartoteke povezal podatke ustnega in splošnega zdravja posameznega bolnika. Z ustreznimi ravnmi dostopa do podatkov bi zmanjšali podvajanje preiskav. Komunikacija med zdravniki po varnih kanalih bi pospešila zdravljenje in zmanjšala število obiskov bolnika. V Sloveniji e-kartotek še nimamo oziroma v zobozdravstvu še niso splošno uveljavljene. Tak sistem bi moral biti enoten in izdelan na nacionalni ravni. Potrebno bi bilo redno obnavljanje in posodabljanje. Za nemoteno delovanje bi morala skrbeti ekipa informatikov in (zobo)zdravnikov svetovalcev. S postopno uveljavitvijo elektronskih kartotek bi olajšali implementacijo telemedicinskih storitev tudi v zobozdravstvu.

Uporaba telezobozdravstva v slovenskem prostoru je smiselna predvsem pri svetovanju med zobozdravniki in (zobo)zdravniki specialisti, ki delajo v večjih mestih Slovenije in jih je premalo, zaradi česar bolniki predolgo čakajo na specialistično obravnavo. Če obravnava pri zobozdravniku specialistu ni nujno potrebna, s tem prihranimo bolnikov čas in stroške prevoza iz oddaljenih krajev Slovenije. S svetovanjem lahko lažje primere oskrbi splošni zobozdravnik, s čimer se zmanjša število nepotrebnih napotitev in se skrajšajo čakalne dobe.

Zaključek

Zaradi pomanjkanja kakovostnih in primerljivih študij menimo, da bi bile potrebne dodatne raziskave, da bi ocenili ekonomičnost in smiselnost vpeljave telezobozdravstva v naš prostor. Glede na ugotovitve pregledanih raziskav in poznavanje stanja v slovenskem zdravstvu pa menimo, da bi uporaba telezobozdravstva skupaj s strokovnim izpopolnjevanjem obstoječega kadra pripomoglo k razbremenitvi zobozdravnikov na primarni ravni tako za odraslo kot otroško populacijo, s čimer bi imeli več časa za zdravljenje bolezni in potencialno tudi na ta način krajšali čakalne dobe. Olajšalo bi se zdravljenje primerov, kjer je potreben interdisciplinarni pristop. Prav tako bi privarčevali čas in denar za nepotrebne

kontrolne preglede in prevoze bolnikov, ki bi ga lahko izkoristili za zdravljenja drugih patologij.

Potreba po uvedbi telezobozdravstva se je pokazala v času pandemije SARC-CoV-2 (COVID-19). Ranljive skupine, predvsem varovanci domov starejših občanov, praktično ne morejo do oskrbe pri zobozdravniku, saj je večina domov zaprtih. Zaradi tega se še dodatno poslabšuje njihova kakovost življenja, saj zobozdravstvenih težav ne uspejo urediti, kar jim pogosto lahko še dodatno oteži prehranjevanje in komunikacijo.

Spomladansko zaprtje vseh zobozdravstvenih ambulant in vzpostavitev vstopnih točk za nujne primere sta zelo jasno pokazala potrebo po oddaljenem dostopu do pacientove (digitalne) kartoteke in slikovne diagnostike (RTG), saj so se zaradi tega določeni posegi podvajali, anamneze pa so trajale dalj časa, ker pacienti pogosto niso poznali storitev, ki so bile pri njih opravljene v preteklosti.

Zaradi vsega navedenega verjamemo, da uporaba telezobozdravstva v Sloveniji nosi potencial za dvig kakovosti in učinkovitosti zobozdravstvene oskrbe prebivalstva.

Reference

1. Dasgupta A, Deb S: Telemedicine: a new horizon in public health in India. *Indian J Community Med* 2008; *33*(1): 3-8. https://doi.org/10.4103/0970-0218.39234.
2. Roine R, Ohinmaa A, Hailey D: Assessing telemedicine: a systematic review of the literature. *CMAJ* 2001; *165*(6): 765-771.
3. Mihailovic B, Miladinovic M, Vujicic B: Telemedicine in dentistry (Teledentistry). In: Graschew G. (ed.), *Advances in Telemedicine: Applications in various medical disciplines and geographical regions.* Rijeka 2011: In Tech. https://cdn.intechopen.com/pdfs/14328/InTech-Telemedicine_in_dentistry_teledentistry_.pdf (15. 12. 2020).
4. Fricton J, Chen H: Using teledentistry to improve access to dental care for the underserved. *Dent Clin North Am* 2009; *53*(3): 537-548. https://doi.org/10.1016/j.cden.2009.03.005.
5. Clark GT: Teledentistry: what is it now, and what will it be tomorrow? *J Calif Dent Assoc* 2000; *28*(2): 121-127.
6. Jampani ND, Nutalapati R, Dontula BS, Boyapati R: Applications of teledentistry: a literature review and update. *J Int Soc Prev Community Dent* 2011; *1*(2): 37-44. https://doi.org/10.4103/2231-0762.97695.
7. Lienert N, Zitzmann NU, Filippi A, Weiger R, Krastl G: Teledentistry consultations related to trauma in Swiss telemedical center - a retrospective survey. *Dent Traumatol* 2010; *26*(3): 223-227. https://doi.org/10.1111/j.1600-9657.2010.00873.x.
8. Sanchez Dils E, Lefebvre C, Abeyta K: Teledentistry in the United States: a new horizon of dental care. *Int J Dent Hyg* 2004; *2*(4): 161-164. https://doi.org/10.1111/j.1601-5037.2004.00093.x.
9. Queyroux A, Saricassapian B, Herzog D. et al.: Accuracy of teledentistry for diagnosing dental pathology using direct examination as a gold standard: results of the tel-e-dent study of older adults living in nursing homes. *J Am Med Dir Assoc* 2017; *18*(6): 528-532. https://doi.org/10.1016/j.jamda.2016.12.082.
10. Daniel SJ, Kumar S: Comparison of dental hygienists and dentists: clinical and teledentistry identification of dental caries in children. *Int J Dent Hyg* 2017; *15*(4): e143-e148. https://doi.org/10.1111/idh.12232
11. Schleyer TK, Thyvalikakath TP, Spallek H, Dziabiak MP, Johnson LA: From information technology to informatics: the information revolution in dental education. *J Dent Educ* 2012; *76*(1): 142-153.
12. Liu SC: Information technology in family dentistry. *Hong Kong Dent J* 2006; *3*: 61–66.
13. Reynolds PA, Mason R: On-line video media for continuing professional developement in dentistry. *Comp Educ* 2002; *39*(1): 65-98. https://doi.org/10.1016/S0360-1315(02)00026-X
14. Ignatius E, Makela K, Happonen RP, Perala S: Teledentistry in dental specialist education in Finland. *J Telemed Telecare* 2006; *12*(Suppl 3): 46–49.
15. Bradley M, Black P, Noble S, Thompson, R Lamey PJ: Application of teledentistry in oral medicine in a community dental service, N. Ireland. *Br Dent J* 2010; *209*(8): 399-404. doi: https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2010.928.
16. Warnakulasuriya S: Global epidemiology of oral and oropharyngeal cancer. *Oral Oncol* 2009; *45*(4-5): 309-316. https://doi.org/ 10.1016/j.oraloncology.2008.06.002.
17. Carrard VC, Gonçalves MR, Strey JR, et al.: Telediagnosis of oral lesions in primary care: the EstomatoNet Program. *Oral Dis* 2018; *24*(6): 1012-1019. https://doi.org/10.1111/odi.12851
18. Flores APDC, Lazaro SA, Molina-Bastos CG, et al.: Teledentistry in the diagnosis of oral lesions: a systematic review of the literature. *J Am Med Inform Assoc* 2020; *27*(7): 1166-1172. https://doi.org/10.1093/jamia/ocaa069
19. Duka M, Mihailović B, Miladinović M, Janković A, Vujicić B: Evaluation of telelmedicine systems for impacted third molars diagnosis. *Vojnosanit Pregl* 2009; *66*(12): 985-991. https://doi.org/10.2298/vsp0912985d
20. Mazlooman N, Sahebkar B: Evaluate the effect of teledentistry and information technology on dentistry: case study Iran. In: Sixth International Conference on Digital Information and Communication Technology and its Applications (DICTAP), Konya, Turkey, 2016,: IEEE, 148-155. https://doi.org/10.1109/DICTAP.2016.7544018
21. Ignatius E, Perälä S, Mäkelä K: Use of videoconferencing for consultation in dental prosthetics and oral rehabilitation. *J Telemed Telecare* 2010; *16*(8): 467-470. https://doi.org/10.1258/jtt.2010.100303.

22. Živkovič D, Tošič G, Mihajlovič B, Miladinović M, Vujičić B: Diagnosis of periapical lesions of the front teeth using the internet. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:86836524 (15. 12. 2020)
23. Favero L, Pavan L, Arreghini A: Communication through telemedicine: home teleassistance in orthodontics. *Eur J Paediatr Dent* 2009; *10*(4): 163-167.
24. Kopycka-Kedzierawski DT, Billings RJ, McConnochie KM: Dental screening of preschool children using teledentistry: a fasibility study. *Pediatr Dent* 2007; *29*(3): 209-213.
25. Bernabe E, Marcenes W, Hernandez CR: Global, regional, and rational levels and trends in burden of oral conditions from 1990 to 2017: a systematic analysis for the global burden of disease 2017 study. *J Dent Res* 2020; *99*(4): 362-373. https://doi.org/ 10.1177/0022034520908533
26. Peres MA, Macpherson LMD, Weyant RJ, et al.: Oral diseases: a global public health challenge. *Lancet* 2019; *394*(10194): 249-260. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31146-8
27. Pitts NB, Zero D, Marsh P, et al.: Dental caries. *Nat Rev Dis Primers* 2017; *3*(1): 17030. https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.30
28. Estai M., Kanagasingam Y, Huang B, et al.: Comparison of a smartphone-based photographic method with face-to-face caries assessment: a mobile teledentistry model. *Telemed J E Health* 2017; *23*(5): 435-440. https://doi.org/10.1089/tmj.2016.0122.
29. McLaren SW, Kopycka-Kedzierawski DT, Nordfelt J: Accuracy of teledentistry examinations at predicting actual treatment modality in a pediatric dentistry clinic. *J Telemed Telecare* 2017; *23*(8): 710-715. https://doi.org/10.1177/1357633X16661428
30. Pentapati KC, Mishra P, Damania M, Narayanan S, Sachdeva G, Bhalla G: Reliability of intra-oral camera using teledentistry in screening of oral diseases - pilot study. *Saudi Dent J* 2017; *29*(2): 74-77. https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2017.03.002
31. Estai M, Kanagasingam Y, Mehdizadeh M, et al.: Teledentistry as a novel pathway to improve dental health in school children: a research protocol for a randomised controlled trial. *BMC Oral Health* 2020; *20*: 11. https://doi.org/10.1186/s12903-019-0992-1
32. Estai M., Bunt S, Kanagasingam Y, Tennant M: Cost savings from a teledentistry model for school dental screening: an Australian health system perspective. *Aust Health Rev* 2018; *42*(5): 482-490. https://doi.org/10.1071/AH16119
33. Bali, RK, Sharma P, Gaba S, Kaur A, Ghanghas P: A review of complications of odontogenic infections. *Natl J Maxillofac Surg* 2015; *6*(2): 136-143. https://doi.org/10.4103/0975-5950.183867
34. Teoh J, Hsueh A, Mariño R, Manton D, Hallett K: Economic evaluation of teledentistry in cleft lip and palate patients. *Telemed J E Health* 2018; *24*(6): 449-456. https://doi.org/10.1089/tmj.2017.0138
35. 35. Mariño R, Tonmukayakul U, Manton D, Stranieri A, Clarke K: Cost-analysis of teledentistry in residential aged care facilities. *J Telemed Telecare* 2016.; *22*(6): 326-332. https://doi.org/10.1177/1357633X15608991

■ Bilten SDMI

Valentin Fidler

Moje delo na področju medicinske informatike

My Work in the Field of Medical Informatics

Uvod

V prispevku, za katerega me je kot soustanovitelja SDMI povabil dr. Marjan Premik, se bom omejil na svojo dejavnost na področju medicinske informatike, ki se ukvarja s pridobivanjem in analizo podatkov pri preiskavah v nuklearni medicini (NM). Področje je izrazito interdisciplinarno. Pokriva znanja iz jedrske fizike, analogne in digitalne elektronike, računalništva, radiokemije in farmacije ter matematičnih in statističnih metod pri obdelavi radioizotopskih in radioloških slikovnih in drugih podatkov.

Slika 1 Dr. Valentin Fidler, univ. dipl. ing. fizike.

Izobraževalna pot

Rodil sem se 9. 11. 1946 v Šentjurju pri Celju v številni kmečki družini. V Šentjurju sem obiskoval osnovno šolo, gimnazijo pa v Celju. Ker je bila kmetija skromna, si je bilo potrebno zaslužiti sredstva za šolanje in obleko z delom izven kmetije v času poletnih počitnic. Oče nam je dal dober motiv za izobraževanje in marljivost z besedami, da bomo šli delat v železarno Štore ali v Cinkarno v Celju, če se ne bomo dobro učili. Že zgodaj sta me začeli privlačiti matematika in fizika. Poleg šahovskih problemov sem rad reševal matematične in fizikalne naloge v reviji Matematičko-Fizički list iz Zagreba, v reviji Proteus probleme prof. dr. Lava Čermelja ter na republiških srednješolskih matematičnih tekmovanjih. Za uspešno reševanje nalog sem prejel nagrade. V Ljubljani sem diplomiral iz tehniške fizike na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo leta 1970.

Zaposlitev

Takoj po zagovoru diplome sem se zaposlil na Reaktorskem centru Inštituta Jožef Stefan, kjer sem se seznanil z meritvami in analizo energijskih spektrov nekaterih radioizotopov na scintilacijskih detektorjih, delom v Reaktorju ter zaščito pred raznimi vrstami jedrskega sevanja. Po enem letu sem se prijavil na razpis Radioizotopnega laboratorija Interne klinike v Ljubljani za mesto fizika in tam ostal do upokojitve. Delo je zahtevalo študij zame povsem novega področja. Tako sem se sam učil osnov medicine, nuklearnomedicinske fizike, računalništva s programiranjem, obdelave podatkov z obsežnim naborom metod numerične analize, zaščite pred radioaktivnim sevanjem, statistične analize izmerjenih podatkov in drugega. Pridobil sem osnovno znanje iz programskega jezika FORTRAN na tečaju Republiškega računskega centra. To znanje mi je odločilno pomagalo in zaznamovalo vso mojo nadaljnjo strokovno pot. Užival sem pri uporabi numeričnih metod v računalniški obdelavi raznovrstnih podatkov v nuklearni medicini, še

posebej, če sem jih nadgradil s svojimi idejami. Na Inštitutu za nevrofiziologijo so mi prijazno dovolili razvoj programov za analizo radioizotopskih preiskav v hematologiji in radiokemiji, seveda v nočnem času, na edinem njihovem razvojnem osebnem računalniku proizvajalca HP. V matični ustanovi, ki se je v nekaj letih osamosvojila ter preimenovala najprej v Inštitut nato pa v Kliniko za nuklearno medicino pod vodstvom prof. dr. Bojana Varla, še ni bilo naprav z možnostjo računalniške obdelave, zato sem razvil in vpeljal analogne metode obdelave podatkov z lastno konstrukcijo naprav za izračun pomembnih kliničnih parametrov na izrisanih časovnih krivuljah pri renografu ter analogni gama kameri. Za kliniko sem skonstruiral zaščitna sredstva (pomične svinčene panoje, svinčene tulce za brizge, očala iz svinčenega stekla) za zaščito pred vsemi vrstami jedrskih sevanj (gama, beta in alfa) za vsa delovna mesta.

Magistrski študij

V svetu je nuklearna medicina v sedemdesetih letih hitro napredovala z uvajanjem računalniške tehnologije. Želel sem se izobraziti v znanjih, ki jih je napredek nudil, zato sem pogojeval svoje nadaljnje delo na kliniki s študijem medicinske fizike v evropskem centru v Aberdeenu pri prof. dr. Mallardu. Predstojnik klinike prof. dr. Varl mi je leta 1974 pridobil državno štipendijo za magistrski študij medicinske fizike, ki je bil po eni strani izjemno naporen s celodnevnim programom, vključno s sobotami od 1. oktobra do zadnjega dne v septembru naslednjega leta, po drugi strani pa zame zelo zanimiv in poglobljen. Poleg fizikalnih osnov medicinske fizike s področij radioterapije, nuklearnomedicinske tehnologije, digitalne elektronike in računalništva, ultrazvočnih metod, zaščite pred sevanji in radiobiologije je študij zajemal tudi osnovna znanja iz človeške anatomije, fiziologije in biokemije. Preverjanje znanja je bilo po prvem in drugem semestru v obliki vprašanj iz vsakega področja v šesturnem pisnem izpitu. Kdor ni opravil izpita po vsakem od obeh štirimesečnih študijskih semestrov, ni dobil dovoljenja za nadaljevanje študija. Tretji štirimesečni semester je bil v celoti namenjen poglabljanju izbranih tem ter izdelavi magistrskega dela. Iz nabora danih tem sem si izbral spektralno analizo slik možganov (naslov izvirnika: Fourier Analysis of Brain Scans), ki mi je omogočila pridobiti znanje na takrat zelo prodornem področju analize medicinskih slik tako pri planarnih kot tudi tomografskih gama kamerah in skenerjih. Nakupil sem si najnovejše knjige iz teorije računalniške obdelave slik, uporabe hitre Fourierove transformacije ter teorije izboljšanja ločljivosti struktur v slikah. Pri razvoju programske opreme za transformacijo slik v frekvenčni prostor sem naletel na napako v teoretičnem izvajanju algoritma za pospešeno Fourierovo transformacijo v takrat najnovejši knjigi The Fast Fourier Transform avtorja E. Orana Brighama, ki je izšla pri založbi Prentice Hall. Seveda sem izgubil nekaj dni, da sem uspel teoretično izvajanje algoritma v knjigi popraviti, nakar mi je transformacija stekla. Zakaj je bila Fourierova transformacija zanimiva za nuklearno medicino? Osnovni motiv je v metodi, s katero sliko nadomestimo z velikim številom dvodimenzionalnih valov različnih frekvenc, amplitud in faz. Jakost vsakega vala z določeno frekvenco se popiše z velikostjo amplitude, odmik začetka vala pa s faznim kotom. Pridobil sem poglobljeno znanje o tem, kakšen je amplitudni in fazni spekter v frekvenčnem prostoru pri zelo različnih radioizotopskih slikah (glede vrste preiskovanih delov telesa, količine zaznanih gama žarkov v slikah in raznih kolimatorjev gama kamere). V frekvenčnem prostoru je bilo možno optimalno odstraniti šum v slikah, ki se pojavlja zaradi naključnosti radioaktivnega razpadanja. Še posebej se pozna nenatančnost v scintigramih preiskav z nizko injicirano radioaktivnostjo ter pri prvem prehodu radioaktivne snovi skozi preiskovan organ. Z mojim delom so bili na univerzi zelo zadovoljni, saj sem omogočil obdelavo slik v frekvenčnem prostoru bistveno hitreje od predhodnikov (skrajšanje iz dvanajsturne obdelave na polurno) in so mojo metodo za izboljšanje radioizotopskih slik takoj vključili v vsakdanje klinično delo. Ob prejemu diplome na zaključni slovesnosti študija so mi nudili mesto predavatelja za predmet Radioizotopsko slikanje ter možnost opravljanja doktorskega študija. Nisem se odločil za to pot, saj sem komaj čakal povratek v domovino.

Delo in raziskave na kliniki in doktorat

Na kliniki smo po mojem povratku leta 1975 kmalu pridobili novo gama kamero z Digitalovim računalniškim sistemom PDP 11, ki je omogočil obdelavo slik ne samo z vgrajenimi komercialnimi programi, temveč tudi lasten razvoj in dograditev kliničnih obdelav. Zaradi zasedenosti aparata s preiskavami na bolnikih od jutra do večera sem imel razpoložljiv čas za razvoj novih obdelav v nočnem času ter ob sobotah in nedeljah. Ne glede na to omejitev sem s sodelovanjem zdravnikov uspel razviti vrsto novih metod za analizo pljučnih, ledvičnih, možganskih ter srčnih nuklearnomedicinskih preiskav. Novosti smo objavljali v pomembnih mednarodnih revijah ter poročali na kongresih v

tujini. V kratkem času smo objavili več deset odmevnih objav v mednarodnih revijah. Izsledki našega dela na področju sindroma WPW (motnje v regionalnem poteku kontraktilnosti levega srčnega prekata zaradi motenj v prevajanju električnega signala) so bili tudi večkrat citirani. Pri teh raziskavah in objavah se je posebej izkazal prof. dr. Peter Rakovec s kardiološkega oddelka. V kratkem času je uspel napisati članke, ki so bili dobro sprejeti v vrhunskih revijah. Svoje raziskovalne dosežke sem uspešno vgradil v doktorsko delo Inteligentno zajemanje scintigrafskih podatkov pri radioizotopskih preiskavah srčnih prekatov leta 1990, v knjižnih publikacijah Information Processing in Medical Imaging s konferenc na univerzah v Utrechtu leta 1987 in Berkeleyu leta 1989 ter v izdajah prispevkov z domačih in evropskih kongresov. Pri razvoju obdelav preiskav SPECT v scintigrafiji možganov pri zaznavanju ishemične penumbre sem z dr. med. Tomažem Milanezom in dr. med. Janom Kobalom razvil metode za kvantitativno spremljanje stanja bolezni. Metodo in rezultate smo objavili v knjižni obliki povzetkov s konference Sodobni pogledi na možganskožilne bolezni leta 2003. Za raziskovalne in razvojno inovativne dosežke smo trikrat prejeli nagrado Sklada Borisa Kidriča – v letih 1985, 1989 in 1990. Zanimiva je prigoda iz obdobja, ko smo uvajali digitalizacijo podatkov v administrativnem delu klinike. Na strokovnem sestanku sem predlagal, da nadomestimo pisalne stroje z osebnimi računalniki. Takratni predstojnik je bil proti temu z argumentom, da bo nastala zamuda pri pisanju izvidov in da bodo nastale napake v izvidih zaradi neveščega osebja. Odobril je nakup novih pisalnih strojev. Ker se s tem nisem strinjal, sem problem rešil tako, da sem brezplačno pridobil odslužene računalnike Zavarovalnice Triglav in SDK, ki so pri njih končali v skladiščnem odpadu. Uvajanje nove tehnologije mi je vzelo veliko časa, ker sem moral s tečaji najprej priučiti osebje o vsem potrebnem za rokovanje z računalniki, pisanje v urejevalniku besedil, shranjevati izvide na kasete in jih izpisovati na tiskalnike. V nekaj mesecih so šli pisalni stroji v naš skladiščni odpad. Naj povem še zgodbo o moji vlogi za docenta medicinske fizike na medicinski fakulteti. Po takratnih kriterijih sem imel prekomerno zbranih raziskovalnih in pedagoških točk, vendar mi vloga ni uspela zaradi odklonilnega stališča predstojnika Inštituta za biofiziko. Prof. dr. Kordeš mi je takoj po sestanku ocenjevalne komisije zaupal, da je predstojnik Inštituta za biofiziko utemeljil svoje nasprotovanje z argumentom, da na Medicinski fakulteti ni medicinske fizike, čeprav je bila strokovno prisotna na številnih klinikah UKC in Onkološkem inštitutu (OI). Tako se je končala moja kariera na Medicinski fakulteti. Poslej sem se usmeril še bolj v razvoj in raziskovanje, kar me je tudi sicer bolj privlačilo. Poučevanje znanja iz medicinskega slikanja pa je še naprej ostalo v programih raznih medicinskih vej.

Raziskovalno-razvojni projekti za ARRS in IAEA

Z uvajanjem osebnih računalnikov s pomočjo sredstev iz raziskovalnih projektov ARRS se je naš razvoj strmo dvignil. Za razvoj in uporabo lastnih pristopov pri slikanju srčnih prostorov z radioaktivno označenimi eritrociti smo se lotili razvoja lastnega zajemalno-obdelovalnega sistema. Pri tem mi je pomagal sodelavec elektronik dipl. ing. Milan Prepadnik, izjemen razvijalec tako analogne kot digitalne elektronike. Uspeli smo, tudi z denarno pomočjo Mednarodne agencije za atomsko energijo (IAEA), razviti in izpopolniti povsem samostojen sistem za zajemanje in analizo tako standardnih kot tudi z lastnimi idejami dopolnjenih radioizotopskih kliničnih preiskav. Naša vloga za sofinansiranje razvoja tega sistema je padla na plodna tla pri IAEA šele potem, ko sta vodja nuklearno medicinskega oddelka IAEA Y. Xie ter vodja projekta, londonski profesor Andrew Todd-Pokropek, obiskala našo kliniko ter uspešno, v manj kot eni uri, pridobila statične, dinamične in srčne preiskave na svoja osebna računalnika z našim sistemom ter jih uspela prikazati na svojih ekranih. Ta dosežek nam je odprl vrata za več raziskovalno-razvojnih projektov IAEA v naslednjem desetletnem obdobju. Razvoj je bil namenjen tehnološki pomoči Združenih narodov državam v razvoju pri digitalizaciji njihovih številnih analognih gama kamer. IAEA je zahtevala od nas velike napore pri optimizaciji elektronskega zajemalnega sistema ter avtomatizaciji obdelave kliničnih preiskav. Potrebno je bilo združiti naše tri okorne elektronske prototipne zajemalne module v enega samega v večplastni tehnologiji. Preden je nov prototip dokončno zaživel, je bilo potrebnih več nadgradenj in seveda preverjanj na različnih gama kamerah. Pri izgradnji novega prototipa so nam pomagala profesionalna elektronska in računalniška podjetja iz Slovenije. Enak napor je bil vložen tudi pri optimizaciji zajemalne programske opreme, ki je bila v končni obliki povsem enakovredna komercialni ali še boljša v mnogih segmentih. Omogočala ni samo standardnega zajemanja nuklearno medicinskih preiskav, temveč tudi izboljšave in nove tehnike. Pri analizi kliničnih preiskav se je s svojim znanjem in izkušnjami izkazal doc. dr. Jure Fettich. Uvajanje našega NM sistema preko IAEA je potekalo v več fazah. Najprej smo tekmovali v kakovosti in ekonomičnosti z drugimi raziskovalnimi centri, ki jih

je IAEA tudi financirala, na primerjalnih testih. Po končnem izboru našega sistema kot najboljšega in primernega za distribucijo po svetu je naša skupina na mnogih regionalnih tritedenskih tečajih v številnih azijskih, evropskih, afriških in srednjeameriških državah izobraževala inženirje radiologije, elektronike, fizike ter zdravnike za delo z našim sistemom ter dodanimi osnovami nuklearne medicine in tehnologije. Iz tega obdobja se spomnim doživljaja z učnega seminarja v Daki v Bangladešu. V prepolni dvorani udeležencev seminarja so se na začetku zvrstili pozdravni nagovori ministrov za zdravstvo in znanost. Pričakoval se je tudi nagovor predstavnika IAEA. Ker pa ga zaradi zadržanosti ni bilo, sem moral nagovor kot vodja seminarja na hitro sestaviti in ga posredovati občinstvu. V nagovoru sem izpustil običajne floskule. Udeležencem sem zaželel uspešno sprejemanje znanja ter timsko sodelovanje pri uvajanju tehnologije v klinično delo v bolnišnicah.

Tehnološki napredek pri operacijskih sistemih za osebne računalnike je v devetdesetih letih 20. stoletja prinesel razvoj večopravilnega in grafično odlično podprtega sistema Windows. V kratkem času sta naš zajemalno-obdelovalni sistem Gamma/PF iz operacijskega sistema DOS transformirala v novo operacijsko okolje Windows hči Sanja Fidler in Mario Medved, takrat še oba diplomanta uporabne matematike. Še več, nadgradila sta ga s telemedicinskimi funkcijami. Naš prispevek Development of Telemedicine Software for Efficient Low-Cost Communication je bil izbran med najboljše predstavitve na evropskem kongresu NM v Amsterdamu leta 2003. IAEA se je nemudoma odzvala s projektom pomoči Srednji in Južni Ameriki ter Severni Afriki z uvajanjem telemedicine v nuklearni medicini, ki je omogočila interaktivno delo med oddaljenimi nuklearno-medicinskimi centri. Zakaj telemedicina v NM ni zaživela kljub razviti programski opremi? Razlog je preprost: zdravniki še niso bili pripravljeni pošiljati svojih izvidov v preverjanje specialistom na kliniki ali inštitutu.

Slika 2 Fotografija s konference Information processing in Medical imaging v Berkeleyu 1989. Zbrani so bili vsi vabljeni vrhunski strokovnjaki s področja teorije, tehnologije in računalniške analize v medicinskem slikanju. Avtor prispevka je v sredini zadnje vrste.

Slika 3 Fotografija s podelitve nagrad Sklada Borisa Kidriča leta 1984 iz področja nuklearne kardiologije. Prejemniki so bili z desne proti levi prof. dr. Peter Rakovec, dipl. ing. Milan Prepadnik in dr. Valentin Fidler.

Slika 4 Fotografija s konference IAEA Validation of PC/Gamma camera interface and software for data processing of clinical studies v Ankari, na kateri so raziskovalne skupine iz Indije, Turčije, Kitajske, Kube in Slovenije predstavile in primerjale svoje dosežke pri razvoju zajemalno-obdelovalnega sistema za gama kamere. Projekt je bil finančno podprt s strani OZN in eden največjih in najbolj uspešnih v pomoči manj razvitim 50 državam sveta.

Slika 5 Fotografiji dveh mladih matematikov, odločilnih za posodobitev programske opreme iz operacijskega sistema DOS v Windows: na levi dipl. ing. Mario Medved (danes vodja oddelka za razvoj medicinskega slikanja v podjetju Xlab v Ljubljani) in na desni dr. Sanja Fidler (danes izredna profesorica na univerzi v Torontu).

Raziskovalni projekti na Onkološkem Inštitutu

V Sloveniji se je naš sistem uvedel v klinične preiskave NM ter nadomestil preko deset namenskih računalnikov v bolnišnicah v Ljubljani, Mariboru, Celju in Šempetru. Ta nadomestitev je prihranila finančna sredstva za ocenjenih milijon dolarjev, ki bi bila nujna za nakup komercialnih sistemov. Naš sistem je stal le 5000 dolarjev, torej le dvajsetino komercialnih. Ta cena je bila mogoča zaradi financiranja s strani ARRS in IAEA ter trdega dela razvijalcev. Nadaljevanje raziskovalnorazvojnega dela za majhne skupine se je z novo politiko ARRS po letih 2000 končalo. Tudi naše. Projekte so dobile samo velike skupine. Tudi pred letom 2000 so se kriteriji za pridobitev projektov ves čas spreminjali. Ko je kakšen »pomembnež« napredoval v državni raziskovalni svet ali na ministrstvo, je pri določanju uteži za raziskovalne točke vpeljal bodisi nove ali pa takšne, ki jih je lahko pri prijavah lastnih projektov izdatno izkoristil. Med drugim se je naenkrat pojavil tudi kot zelo pomemben kriterij naziv ambasadorja znanosti. Sam sem temu neuspešno ugovarjal z argumentom, da ta naziv ne sodi med kriterije za pridobitev raziskovalnega projekta. Posledica te spremenjene politike pri finansiranju raziskovalnih projektov so bile za majhne skupine z uspešnimi razvijalci ter raziskovalci pogubne. Strokovnjaki so začeli zapuščati državne ustanove, odšli so v tujino ali v zasebna podjetja. Vsakoletno podeljevanje priznanj uspešnim raziskovalcem se je iz prej priljubljenega množičnega dogodka spremenilo v dogodek z malo udeleženimi raziskovalci.

Na Onkološkem inštitutu se še po dvajsetih letih od prve namestitve uporabljata dva naša sistema z nadgradnjama za digitalni gama kameri, ki ju je bilo potrebno modificirati za oddajanje pozicijskih, energijskih in časovnih digitalnih signalov v naš programski sistem MedicView. Pri tem je potrebno poudariti, da se noben proizvajalec novih gama kamer ni držal obljube o neposredni programski povezavi z našim sistemom in smo morali sami izvesti to razvojno delo na stroške OI. Zakaj je OI vztrajal na našem zajemalnoobdelovalnem sistemu? Preprosto zato, ker je nudil veliko več od komercialno dostopnih sistemov tako pri zajemanju scintigrafskih podatkov kot tudi pri analizi. MedicView sistem lahko v večopravilnem operacijskem sistemu Windows hkrati izvaja naslednje funkcije: (1) zajema pozicijska signala ter energijo zaznanih gama žarkov, časovno značko vsako milisekundo ter EKG signal z našega namensko razvitega elektronskega pretvornika iz analognega v digitalni signal; (2) v času zajemanja sestavlja sliko v spominu računalnika, jo prikazuje v izbranem intervalu, požene poljubno izbrano barvno lestvico, obdela sliko z izbranimi raznovrstnimi matematičnimi transformacijami, gladi slike na osnovi regionalne gostote v okolici vsakega piksla ali filtrira šum v frekvenčnem prostoru; (3) pri slikanju srčnih prostorov z EKG proženo ponavljajočo ventrikulografijo razloči normalne od ekstrasistolnih ter postekstrasistolnih utripov s tekočo analizo EKG signala ter nudi še mnogo drugih funkcij. Istočasnost izvajanja več funkcij pri zajemanju je postala mogoča zaradi veliko hitrejših in spominsko zmogljivejših računalnikov. Pri prilagajanju in uvajanju sistema v klinično delo mi je izdatno pomagal radiološki inženir Slavko Škalič. On je bil tisti, na katerega je najprej letela kritika sodelavcev, če je sistem v času razvoja med izvajanjem kdaj zatajil. Preiskava za odkrivanje metastaz v varovanih bezgavkah s planarno gama kamero je zahtevala večleten razvoj, da je postala visoko cenjena in predstavljena s številnimi kliničnimi objavami na mednarodnih kongresih in v mednarodnih revijah. Je najbolj množična vsakodnevna preiskava.na NM oddelku OI. Tudi konkurenčna metoda s SPECT/CT ji ni vzela veljave, ker je enostavna, hitra, točna in veliko cenejša. Le v primeru slikanja bezgavk z metastazami v notranjosti telesa služi kot dodatna preiskava poleg SPECT/CT.

V letih po 2016 smo začeli z razvojem lastne majhne gama kamere zgrajene z LYSO kristali ter fotodiodne matrike, ki bo služila za izboljšanje tako prostorske ločljivosti kot občutljivosti zaradi tesnega kontakta s telesom bolnika.

■ **Infor Med Slov** 2020; 25(1-2): 40-45

Ema Dornik

Digitalni mostovi v zdravstvu: poročilo s srečanja Sekcije za informatiko v zdravstveni negi – SIZN 2020

Digital Bridges in Health Care: Report from the Meeting of the Nursing Informatics Section – SIZN 2020

Tradicionalno srečanje članov Sekcije za informatiko v zdravstveni negi (SIZN), ki deluje pri Slovenskem društvu za medicinsko informatiko (SDMI), je v letu 2020 potekalo v času Kongresa MI'2020, 5. novembra, prvič kot spletni dogodek. Obsežen programski sklop je postregel s 13 prispevki in razpravo o aktualnih izzivih digitalizacije v zdravstveni in babiški negi. Na srečanju, ki je namenjeno strokovni rasti, izobraževanju in druženju članov, je sodelovalo 68 udeležencev. V nadaljevanju so predstavljeni povzetki predstavitev v zaporedju, kot so si sledili po programu.

Vladislav Rajkovič: Umetna inteligenca v zdravstvu: moč in nemoč primerov dobre prakse

Splošno mnenje je, da je ustrezna zdravstvena obravnava pacienta tista, ki temelji na dokazanih primerih dobre prakse. Iz analize uspešne obravnave pacientov v preteklosti sklepamo, kako ravnati v podobnih primerih, s katerimi se srečujemo sedaj ozirom se bomo srečevali v bodoče. Tako si običajno vsak zdravstveni poklic oblikuje svojo doktrino. V prispevku iščemo odgovore na vprašanja, kdaj in zakaj primeri dobre prakse niso primerna in edina garancija za ustreznost zdravstvene doktrine. Pretekle primere sistematično zbiramo in analiziramo podatke, npr. z metodami statistike in strojnega učenja. Zlasti pričakovanja strojnega učenja kot področja umetne inteligence so velika, pogosto prevelika. Ne zavedamo se dveh dejstev. Prvo je, da je načeloma vsak pacient svet zase, unikaten. Kar velja za nekoga drugega, ni nujno, da velja za dotičnega pacienta. Drugo pa je, da so primeri dobre prakse primeri iz zgodovine. Živimo v nenehno spreminjajočem se svetu. Vse se spreminja, od mikroorganizmov naprej. To ne pomeni, da analize podatkov preteklih primerov niso pomembne in koristne. Kaj manjka? Pogosto manjkajo modeli, ki bi razlagali, zakaj so stvari take, kot se nam kažejo v podatkih. To je še posebej opazno pri reševanju problemov, povezanih s pandemijo COVID-19.

Urška Ugovšek, Lidija Jakupović: Ocenjevanje dobaviteljev zaščitnih mask

Uporaba zaščitne maske za obraz je pomembna za preprečevanje prenosa okužb. Kot smo lahko priča dogajanju z maskami v času epidemije, je zelo pomembno, da se znaš odločiti, katere zaščitne maske so dobre in katere ne ter kje jih kupiti. Odločiti se moramo za nakup zaščitne maske, ki ustreza izbranim kriterijem, kot so cena, značilnosti in dobava. S predlaganim modelom lažje pridemo do zaključkov, katere maske uporabljati in kupiti pri posameznih prodajalcih. Za oceno smo uporabili večparametrski model za odločanje, izdelan s pomočjo programa DEX. Izbrali smo osnovne kriterije za oceno zaščitne maske: cena maske, značilnosti maske ter dobava. Izvedeno analizo ocene treh dobaviteljev smo predstavili tudi s pomočjo grafikonov. Dobavitelji so bili ocenjeni in razvrščeni v eno od ocen: neustrezno, ustrezno ali zelo ustrezno. Te ocene in njihova analiza so v pomoč pri izbiri dobavitelja. Za končno potrditev lahko izvedemo tudi selektivno razlago, s katero poskušamo poiskati posebej izrazite prednosti in slabosti posameznih variant. Prikazani model je pripomoček za izbiro ustrezne zaščitne maske in dobavitelja.

Špela Rozman, Tatjana Somi: Model za oceno vitalnosti novorojenčka

Predmet odločanja je ocenjevanje odstopajočega zdravstvenega stanja novorojenčka po porodu, ki

lahko predstavlja hitro, praktično ter standardizirano orodje v okviru prepoznavanja ogroženosti novorojenčka. Cilj odločitvenega modela je omogočiti zdravstvenim delavcem hitro zaznavo ogrožujočih dejavnikov in posledično pravočasno izvedbo dodatnih ukrepov in nadaljnje zdravstvene obravnave. Za izdelavo večparametrskega odločitvenega modela smo uporabili metodo DEX in računalniški program DEXi. Izdelali smo računalniški model, ki vključuje drevo kriterijev, kamor so vključeni pomembni parametri za oceno ogroženosti novorojenčka, štiri variante in njihovo vrednotenje. Za oceno ogroženosti stanja so bili upoštevani trije glavni kriteriji, ki so bili hierarhično razdeljeni v naslednje skupine: motorika, respiracija in pulz. Kriterij motorika se deli na podkriterija reakcija in tonus. Kriterij respiracija se deli na podkriterije dihanje, saturacija in barva kože. V model smo vključili štiri variante, ki predstavljajo štiri novorojenčke z različnimi vitalnimi znaki. Vsaka izmed variant je bila ocenjena in razvrščena v različne ocene. Večparametrski model nam omogoča lažjo identifikacijo problema in rešitve, ker glavni problem lahko razdelimo na podprobleme. Odločitveni model ocene vitalnosti novorojenčka zdravstvenim delavcem lahko predstavlja dobro podporno sredstvo predvsem pri zaznavi potrebe po dodatnih ukrepih.

Boštjan Žvanut, Pucer Patrik: Priporočila za razvoj na scenariju temelječih e-vsebin: izkušnje iz projekta PreconNet

Informacijsko-komunikacijska tehnologija postaja vse bolj pomembna tudi za posredovanje koristnih informacij in posledično znanja na področju promocije zdravja. Ključno pri tem je, da uporabniki pridobljeno znanje tudi dolgoročno ohranijo. Eden od načinov za posredovanje znanja je uporaba na scenariju temelječih e-vsebin. V pričujoči predstavitvi bomo prikazali priporočila za razvoj omenjenih e-vsebin, ki smo jih identificirali s pomočjo pregleda literature: (1) implementacija e-vsebine kot vodene aktivnosti, kjer navidezni agent vodi uporabnika skozi e-vsebino; (2) zagotavljanje informativne povratne informacije kot osnove za refleksijo, kar lahko implementirano s primerno zasnovanimi interaktivnimi vprašanji znotraj e-vsebine; (3) možnost napredovanja skozi e-vsebino v lastnem ritmu. Pokazali bomo praktično implementacijo omenjenih priporočil v orodjih oziroma didaktičnih pripomočkih, razvitih v okviru projekta Reproduktivno zdravje mladih: s pomočjo izobraževanja nad primanjkljaj znanja (angl. *Preconception health of youth, bridging the gap in and through education* – PreconNet). Predlagana priporočila predstavljajo dobro teoretično osnovo za razvoj e-vsebin, a morajo slediti in se prilagajati sodobnim smernicam razvoja informacijsko-komunikacijske tehnologije in pedagogike.

Tereza Sever, Eva Skočir: Ocena uspešnosti dojenja

Dojenje krepi vez med materjo in otrokom, hkrati pa otroku omogoča zdrav razvoj. Uspešnost dojenja je odvisna od otroka in matere. Veliko žensk se v začetni fazi sooča s težavami pri dojenju, zato je potrebno uspešnost dojenja ocenjevati in tako pravočasno pomagati. Uporabili smo metodo večparametrskega odločanja v skladu z metodologijo DEX. Model odločanja smo pripravili s programom DEXi. Dejavnike, ki vplivajo na uspešnost dojenja, smo razdelili v podkategorije in jih razvrstili v drevesno strukturo. Vsakemu parametru smo določili zalogo vrednosti in funkcijo koristnosti. Odločitveni kriteriji so bili strukturirani na podlagi ocenjevalnega orodja BREAST. Predstavljenih je šest primerov z ocenami: neustrezno, zadovoljivo, delno ustrezno, ustrezno ali zelo ustrezno. Analiza in vrednotenje variant glede na kriterije sta pokazala opazne razlike med posameznimi primeri. Na končno oceno vplivajo vsi kriteriji, saj imajo vsi trije glavni sklopi razmeroma veliko utež. Največji vpliv na končno oceno ima sklop Otrok, najmanjšega pa Biološki dejavniki. Model odločanja je zelo pregledna metoda za odkrivanje težav, a bi ga bilo pred implementacijo v prakso potrebno dodelati. Z njegovo pomočjo bi zdravstveni delavci lažje ocenili uspešnost dojenja in hitreje pomagali odpravljati težave.

Neli Kocijančič, Eva Ferjančič: Večkriterijski model za oceno oskrbe pacienta s poškodbo

Medicinske sestre se tako na terenu kot tudi v urgentnem centru vsakodnevno srečujejo z vitalno ogroženimi ponesrečenci, ki potrebujejo oskrbo. To lahko predstavlja zelo stresno situacijo, saj je poslabšanje zdravstvenega stanja ponesrečenca običajno nenapovedano in življenjsko ogrožajoče, kar zahteva hitro ukrepanje po protokolu ABCDE. Naš namen je bil zasnovati model na podlagi obstoječega ABCDE pristopa, ki lahko pomaga objektivno oceniti stanje pacienta s poškodbo. Na podlagi pregleda strokovne literature smo s pomočjo računalniškega programa DEXi izdelali odločitveni model. Zasnovani model smo preizkusili na štirih pacientih, pri katerih smo ugotovili različne stopnje ogroženosti. Stanje prvega pacienta je bilo na podlagi večparametrskega modela ocenjeno kot nenujno, drugi in tretji bi potrebovala takojšnjo obravnavo, stanje četrtega pacienta pa je bilo ocenjeno kot nujno. Cilj odločitvenega procesa smo dosegli, saj je model

dobro ocenil stopnjo ogroženosti pacienta s poškodbo. Ob prihodu pacienta s poškodbo mora namreč medicinska sestra sprejemati hitre in optimalne odločitve glede pacientovega stanja.

Filip Krajnc, Matej Korošec: Ocenjevanje mentoriranja v zdravstveni negi

Mentoriranje v zdravstveni negi je ključen proces pri prehodu študentov iz učnega v klinično okolje. Za nenehno izboljševanje tega procesa je potrebna celostna ocena, ki lahko vodi do praktičnih izboljšav. Namen našega pristopa je večparametrska ocena mentorirancev in mentorjev o mentorstvu v zdravstveni negi. Za pripravo modela smo po pregledu literature oblikovali drevo kriterijev za oceno mentoriranja. Odločitveni model smo zasnovali po metodi DEX. S pomočjo večparametrskega pristopa smo odločitveni problem razdelili na več podproblemov z različnimi kriteriji. Izbrane kriterije za oceno mentoriranja smo opisali in jim določili uteži. Prikazujemo in analiziramo štiri izbrane variante mentoriranja. Po parametrih prikazujemo različne ocene mentorjev, delovnega okolja in managementa v procesu mentoriranja kot celote. Večparametrski odločitveni model mentoriranja zdravstvene nege je namenjen mentorjem, študentom in managementu zdravstvene nege. Z njim lahko ovrednotimo proces po posameznih sestavinah in iščemo priložnosti za izboljšavo mentoriranja študentov, s tem pa izboljšujemo tudi prakso zdravstvene nege.

Žiga Metelko, Tadeja Vidmar: Ocena ogroženosti za okužbo s SARS-CoV-2

Virus SARS-CoV-2, ki povzroča COVID-19, je s svojo močno nalezljivostjo močno zaznamoval in spremenil tok našega življenja. S kapljičnim prenosom lahko bolna oseba okuži dve do tri zdrave osebe. Socialna distanca, higiena rok, izogibanje dotikanju obraza in nošenje mask so nekateri od ukrepov, ki se jih moramo držati za preprečevanje okužbe. Tveganje za okužbo pa predstavljata tudi starost in komorbidnost. V odločitvenem modelu smo se osredotočili na oceno tveganja za okužbo s SARS-CoV-2. S pomočjo metode DEX je bil v programu DEXi izdelan večparameterski model. V program je bil vključen model s parametri, ki so pomembni za oceno ogroženosti. Vključili smo tri glavne kriterije: ogroženost (s podkriterijema starost in prisotnost kroničnih bolezni); higiena (s podkriteriji pravilna higiena rok, dotikanje obraza, nošenje maske) ter ostalo (s podkriteriji potrjeno obolenje COVID-19 pri družinskem članu, samoizolacija, ogroženost za okužbo zaradi narave dela). Določili smo štiri variante, ki se različno držijo ukrepov. Oseba C je imela oceno manj ogrožen, saj se je najbolj dosledno držala ukrepov. Oseba B je dobila najvišjo stopnjo ogroženosti, saj se ukrepov ne drži. Ker virusa ne poznamo, je potrebno, da se dosledno upošteva ukrepe za preprečevanje okužbe. Le tako lahko zaščitimo sebe in druge.

Rok Drnovšek, Marija Milavec Kapun, Andreja Kvas: Raba tehnologije za podporo neformalnih oskrbovalcev starostnikov na domu

Družinski člani onemoglih starostnikov se čutijo odgovorne za oskrbo svojcev, zato pogosto prevzemajo vloge neformalnih oskrbovalcev starostnikov na domu. To ima lahko negativne posledice za njihovo fizično in psihosocialno zdravje. Namen pričujočega pregleda literature je identificirati možne načine podpore neformalnih oskrbovalcev s poudarkom na uporabi tehnoloških rešitev v domačem okolju. Uporabili smo podatkovne zbirke CINAHL, PubMed in PubMed Central®. V pregled literature smo vključili izvirne znanstvene članke, objavljeni po letu 2010. Literaturo smo zajeli z enkratnim iskalnim nizom, osredotočenim na neformalne oskrbovalce, ki izvajajo dolgotrajno oskrbo starostnika v domačem okolju. V končno analizo smo vključili 11 izvirnih znanstvenih člankov. Rezultat pregleda literature so identificirane tehnološke rešitve za podporo neformalnih oskrbovalcev na domu, ki so usmerjene v posredovanje psihoedukacijskih vsebin, podporo rehabilitacije v domačem okolju in nudenje čustvene podpore, kot tudi v neposredno prevzemanje nekaterih nalog, povezanih z zagotavljanjem varnosti starostnikov ter zmanjševanjem fizičnih in psihičnih naporov neformalnih oskrbovalcev, povezanih z nudenjem oskrbe. Strokovna podpora neformalnim oskrbovalcem lahko uspešno vključuje rabo tehnoloških rešitev, vendar naj bo uporaba prilagojena potrebam in zmožnosti ciljnih uporabnikov. Avtorji člankov so namreč poročali tudi o pomembnih omejitvah uporabe tehnologije, kot so občutek nadzorovanosti, otežena uporaba naprav zaradi oslabljenega sluha ali vida in naklonjenost pristnim človeških odnosov pri izvajanju oskrbe.

Tina Gogova, Marija Milavec Kapun: Uporaba digitalnih tehnologij pri izobraževanju študentov zdravstvene nege

Sodobno izobraževanje predstavlja uporabo aktivnih metod poučevanja, kjer je izobraževalni proces osredotočen na aktivnega študenta. S takim pristopom je študentom omogočeno osvojiti kompetence, pomembne za uspešno delo v zdravstvu. Eden glavnih izzivov izobraževanja v zdravstveni negi

je izboljšanje sposobnosti študentov za oblikovanje in izvajanje inovativnih pristopov k promociji zdravja in opolnomočenju pacientov za njihovo aktivno vlogo. Namen našega pregleda literature je ugotoviti, ali sodobni pristopi poučevanja z uporabo digitalnih tehnologij prispevajo k uspešnemu pridobivanju poklicno specifičnih kompetenc. Pregled literature smo izvedli preko portala DiKul. Vključili smo članke, ki so bili objavljeni od leta 2016 do 2018. Populacija so bili študenti zdravstvene nege, vključeni v poučevanje z uporabo digitalnih tehnologij. V analizo so bile vključene tri raziskave, ki so ugotavljale učinkovitost izkustvenega oziroma situacijskega ter na študenta osredotočenega načina poučevanja v zdravstveni negi. Rezultati vpliva aktivnih oblik poučevanja v kombinaciji z digitalnimi tehnologijami nakazujejo na uspešno pridobivanje znanj in spretnosti študentov. Pozitiven vpliv je bil zaznan na področju kritičnega razmišljanja, odločanja, strokovnega znanja in usposobljenosti ter samozavesti študentov. Zato menimo, da so aktivne metode poučevanja študentov zdravstvene nege z uporabo digitalnih tehnologij uspešne. Aktualna epidemija nakazuje potrebo po dodatnih raziskavah, osredotočenih na širši vidik uporabe vseh aktivnih in digitalno podprtih oblik poučevanja v zdravstveni negi.

Vesna Lešnik Štefotič: Informatika v dodiplomskih programih zdravstvene nege v Sloveniji

Delovnega mesta brez uporabe informacijske tehnologije si v današnjem svetu skoraj več ne predstavljamo. Še posebej to velja za informacijsko intenzivne panoge, kamor spada tudi zdravstvo. Tako zdravstveni delavci in sodelavci vsakodnevno uporabljajo informacijsko-komunikacijsko tehnologijo (IKT), da lahko ustrezno in učinkovito oskrbijo paciente. Torej so tudi poznavanje IKT in njenih orodij, računalniška, informacijska in digitalna pismenost nujen predpogoj za uspešno opravljanje zdravstvenih poklicev. V prispevku predstavljamo analizo vključenosti informacijskih vsebin v vseh 8 dodiplomskih programov (1. bolonjska stopnja) zdravstvene nege v Sloveniji iz javno dostopnih podatkov. Prav tako podajamo nekaj aktualnih projektov in pobud, ki jih različne skupine ali države namenjajo spodbujanju razvoju digitalnih kompetenc med zdravstvenimi delavci. Namen prispevka je spodbuditi razpravo o ustreznosti razvoja informacijskih kompetenc med zdravstvenimi delavci v slovenskem prostoru in morebitno pripravo ustreznih strategij za izboljšanje stanja na tem področju.

Patricija Lunežnik, Ana Sajovic, Lucija Gosak, Gregor Štiglic, Nino Fijačko: Mobilne aplikacije za beleženje prehranskega vnosa: preliminarni pregled zadetkov v apple app store

Zdravje delovne populacije se zaradi številnih nezdravih vzorcev drastično slabša. Programi svetovanja za zdravje v Centrih za krepitev zdravja z zdravstveno vzgojnim delom v povezavi s preventivo v referenčnih ambulantah zmanjšujejo tveganja za razvoj kroničnih nenalezljivih bolezni. Cilj raziskave je bil poiskati obstoječe mobilne aplikacije, ki uporabnikom omogočajo redno beleženje prehranskega vnosa. Izvedli smo preliminarni pregled mobilnih aplikacij v spletni trgovini Apple App Store, kjer smo z uporabo ključnih besed in kriterijev pridobili nabor primernih mobilnih aplikacij. Te smo med seboj primerjali in jih analizirali s pomočjo lestvice za oceno spremembe vedenja ter z vprašalnikom za oceno kakovosti aplikacij. V končno analizo je bilo od 356 zadetkov vključenih 29 (8 %) mobilnih aplikacij. Na podlagi lestvic za ocenjevanje in primerjave rezultatov prehranskega vnosa, smo 8 (2 %) mobilnih aplikacij identificirali kot ustrezne za uporabo in jih uvrščamo v višji rang kakovosti, saj vplivajo na spremembo prehranskih vzorcev v obliki postavljanja in doseganja ciljev ter sledenju napredka. Za povečanje motivacije veliko aplikacij vključuje tudi elemente iger. Mobilno zdravje v obliki mobilnih aplikacij predstavlja priročno rešitev za spremljanje prehranskih vzorcev splošne populacije in je lahko dodana vrednost zdravstvenim delavcem, ki nadzorujejo in spremljajo njihovo zdravstveno stanje.

Maja Hriberšek, Nejka Korenjak, Lucija Gosak, Gregor Štiglic, Nino Fijačko: Mobilne aplikacije za samopregledovanje dojk: pregled zadetkov v Google Play Store

Samopregledovanje je najpomembnejša metoda za zgodnje odkrivanje raka dojk, ki velja za najpogostejše rakavo obolenje pri ženskah. Za spodbujanje samopregledovanja dojk so različni razvijalci ustvarili mobilne aplikacije. Namen pregleda je bil identificirati ustrezne mobilne aplikacije in ugotoviti, ali so podprte z znanstveno literaturo, ki temelji na dokazih s področja pravilnega izvajanja samopregledovanja dojk. Na podlagi iskalnih nizov ter vključitvenih in izključitvenih kriterijev smo v skladu s priporočili PRISMA izvedli pregled mobilnih aplikacij v spletni trgovini Google Play Store. V končno analizo smo vključili brezplačne mobilne aplikacije v angleškem jeziku, ki so se nanašale na samopregledovanje dojk. Na podlagi opisanega metodološkega pristopa je bilo od skupno 500 zadetkov v končno analizo vključenih

10 (2 %) aplikacij. Mobilne aplikacije najpogosteje s pomočjo slik oziroma fotografij, podkrepljenih z besedilom, zvokom ali videoposnetki prikazujejo korake samopregledovanja dojk. Vse mobilne aplikacije imajo možnost nastavitve mesečnega opomnika. Aplikaciji DearMamma in Breast Test sta bili identificirani kot najustreznejši, saj vključujeta največ z dokazi podprtih verodostojnih informacij, ki temeljijo na znanstveni literaturi s področja samopregledovanja dojk. Mobilne aplikacije lahko doprinesejo k poznavanju postopka in zavedanju pomembnosti izvajanja samopregledovanja dojk.

Zaključek

Ob zaključku rednega letnega strokovnega srečanja je potekal sestanek članov SIZN, kjer je predsednica sekcije doc. dr. Ema Dornik podala poročilo o delu SIZN za leto 2020, prav tako so bile opredeljeni načrti in usmeritve za nadaljnje delo SIZN. Komisija za oceno ustreznosti stalnega strokovnega izpopolnjevanja Zbornice zdravstvene in babiške nege Slovenije – Zveze strokovnih društev medicinskih sester, babic in zdravstvenih tehnikov Slovenije je s sklepom I-2020-0468-0468 ugotovila skladnost programa srečanja z zahtevami Pravilnika in Navodilom ter programu dodelila 8 licenčnih točk za pasivne udeležence in 12 licenčnih točk za aktivne udeležence.

Člani smo srečanje sklenili z naslednjimi zaključki:

- enakopravno vključevanje zdravstvene in babiške nege pri digitalizaciji zdravstva;
- na podlagi prispevkov se je izkazala potreba po opredelitvi digitalnih kompetenc izvajalcev v zdravstveni in babiški negi;
- nujno je sprotno vključevanje pridobljenih digitalnih kompetenc v prakso;
- pozitivno je, da se izvajalci zdravstvene in babiške nege aktivno vključujejo v raziskovanje na področju digitalnega zdravja, evalvacijo uporabnosti in razvoj mobilnih aplikacij;
- podpiramo uporabo metod umetne inteligence in modeliranja znanj v zdravstveni in babiški negi.

Sprejete so bile tudi naslednje smernice za nadaljnje raziskave:

- izpostaviti pomen varovanja podatkov in etičnih vidikov digitalnega zdravja;
- potreba po oceni ustreznosti aplikacij za ohranjanje in promocijo zdravja ter dobrega počutja;
- motivacija za razvoj in uporabo digitalnih tehnologij v zdravstveni in babiški negi;
- podpora implementaciji WHO Global Strategy on Digital Health 2020-2025 na nacionalni ravni.

Zahvala

Zahvaljujemo se avtorjem prispevkov ter članom SIZN, ki sodelujejo v naših aktivnostih. Hvala SDMI, ki je omogočilo naše srečanje.

Infor Med Slov 2020; 25(1-2): 46-50