

Razvoj tehnologija sučelja mozak-računalo

Draženić, Matija

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet organizacije i informatike**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:211:004651>

Rights / Prava: [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported](#) / [Imenovanje-Bez prerada 3.0](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Organization and Informatics - Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
V A R A Ž D I N**

Matija Draženović

**RAZVOJ TEHNOLOGIJE SUČELJA
MOZAK-RAČUNALO**

DIPLOMSKI RAD

Varaždin, 2018

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE
V A R A Ź D I N

Matija Draženović

Matični broj: 44422-15/IZV

Studij: Informacijsko i programsko inženjerstvo

RAZVOJ TEHNOLOGIJE SUČELJA
MOZAK-RAČUNALO

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Dr.sc. Božidar Kliček

Varaždin, rujan 2018.

Matija Draženović

Izjava o izvornosti

Izjavljujem da je moj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onima koji su u njemu navedeni. Za izradu rada su korištene etički prikladne i prihvatljive metode i tehnike rada.

Autor potvrdio prihvaćanjem odredbi u sustavu FOI-radovi

Sažetak

Ovaj rad će se fokusirati na obradu sučelja između računala i mozga (BCI-eng. Brain-Computer Interface) koji označava spoj ljudskog mozga sa tehnologijom, tj. kako bi se moglo pomoću moždanih valova upravljati nekim uređajem ili programom, te nadzirati zdravlje pojedinca kroz BCI. Ovaj rad će prvo proći povijest samog BCI-a, te će prikazati kako je BCI napredovao od načina da se moglo samo preko operacija instalirati u ljudsko tijelo do toga da danas postoje uređaji koji se samo stave na glavu i pomaže ljudima sa poteškoćama, tj. olakšava im život. Praktični dio rada će obraditi analizu tržišta vezanu za BCI, gdje će se kroz anketu prikazati stajalište ispitanika vezano uz sami BCI te općenito spajanje ljudi i tehnologije. Zaključak rada će prikazati kakvo je stajalište ljudi danas u vezi BCI i spajanje ljudi i tehnologije, te da li se smatra da će broj „modificiranih“ ljudi povećati i kakav je njihov dojam po tom pitanju.

Ključne riječi: BCI;HCI;EEG;P-300;EVP;Bionički; Proteze;

Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Povijest BCI-a.....	2
3. Neuroprotetika	4
4. Istraživanje BCI na životinjama.....	6
4.1. Početak istraživanja nad životinjama.....	6
4.2. Veći uspjesi u BCI polju	7
4.2.1. Kennedy i Yang Dan	7
4.2.2. Nicolelis	7
4.2.3. Ostala značajnija istraživanja	8
5. Istraživanje BCI nad ljudima.....	10
5.1. Invazivni BCI.....	11
5.1.1. Vid	11
5.1.2. Pokret	12
5.2. Polu-invazivan BCI	12
5.3. Ne-invazivni BCI.....	13
5.3.1. Sučelje čovjek-računalo netemeljen na EEG-u	13
5.3.1.1. Oscilacija veličine zjenice.....	13
5.3.2. Sučelje čovjek-računalo temeljeno na EEG-u.....	13
5.3.2.1. Suho-aktivna polja elektroda	16
5.3.2.2. DIY i open-source BCI	17
5.3.3. Kontrolne strategije BCI-a u “neuro-igranju”	17
5.3.3.1. Zamišljanje motornih funkcija	18
5.3.3.2. Bio/neurofeedback za pasivni dizajn BCI-a.....	18
5.3.3.3. Evocirani potencijali (EVP).....	19
5.4. Sintetička telepatija / tiha komunikacija.....	21
6. BCI na razini stanica.....	23
7. BCI – etičke dileme.....	25
8. Klinička i znanstvena primjena BCI sučelja	27
9. Komercijalno pristupačna BCI sučelja	29
10. Budućnost BCI-a.....	31
11. Praktični primjer	33
11.1. BCI nepismenost.....	34
11.2. Usporedba komercijalnih BCI sustava za igre i virtualna okruženja	35
11.2.1. Usporedba igranja igara koristeći Emotiv	35

11.2.2.	Usporedba igranja igara pomoću Neurosky	37
11.2.3.	Usporedba Emotiv-a i Neurosky-a	39
12.	Istraživanje tržišta za BCI.....	40
12.1.	Sastav uzorka nad kojim je izvršeno propitivanje tržišta	41
12.2.	Istraživanje upoznatosti sa BCI te mišljenje o BCI-a.....	43
12.2.1.	Zaključak	48
12.3.	Ispitivanje vezano općenito uz „unapređenje“ ljudi kroz tehnologiju.....	49
12.3.1.	Prikaz statistike za ne-invazivne uređaje za poboljšanje ljudi	49
12.3.2.	Prikaz statistike za invazivne uređaje za poboljšanje ljudi.....	52
12.3.3.	Mišljenje ispitanika vezano za Emotiv	56
12.3.4.	Predviđanja tržišta za BCI	57
12.4.	Zaključak o istraživanju tržišta za BCI	61
13.	Zaključak.....	64
14.	Literatura.....	65

1. Uvod

HCI ili čovjek-računalo sučelje (*eng. Human-computer interface*) je u današnje vrijeme sveprisutno, od toga da preko miša i tipkovnice „komuniciramo“ sa računalom, do toga da koristimo mobitele, tablete te ostale tehnološke naprave kako bi komunicirali sa računalima svakakvih vrsta. No kako tehnologija napreduje počinje potreba za novom vrstom sučelja kojima HCI nije prihvatljiva ili čak i nedostupna interakcija sa računalima kako bi si olakšali svakodnevni život. Direktna komunikacija između mozga i računala postaje sve popularnija i daje novu dimenziju HCI-u, nazvana mozak-računalo sučelje (*eng. Brain-computer interface - BCI*). Ovakvo sučelje bi znatno olakšalo svakodnevni život ljudima kojima je sveprisutan HCI nedostupan jer ne mogu imati direktnu interakciju sa tipkovnicama, ekranima na dodir zbog toga što ne mogu sami napraviti potrebni pokret mišićima, ili vidjeti ili čuti kako bi to ostvarili. BCI omogućuje direktnu komunikaciju između mozga sa nekim vanjskim uređajem. Iako direktan kontakt sa mozgom može imati više etičkih ili zdravstvenih posljedica, primarna uloga je da se korisniku olakša korištenje uređaja koji su danas sveprisutni.

2. Povijest BCI-a

Početak mozak-računalo sučelja je počelo sa otkrićem doktora Hans Berger-a 1929. god, koji je pomoću EEG-a (eng. electroencephalography) uspio pokazati električnu aktivnost mozga na papiru. Umetanje srebrenih žica u sami skalp pacijenata, kasnije srebrenih folija na glavu pacijenata uspio je očitati električnu aktivnost ljudskog mozga. Kako je njegov uređaj bio dosta elementaran, početni rezultati nisu bili dosta obećavajući. Kasnije zahvaljujući galvanometru sa dvostrukom zavojnicom koji je mogao prikazati jednu deset tisućinku volta, uspio je detaljnije prikazati aktivnost mozga. Ovo je prvi primjer sučelja mozak-računalo koji je potekao daljnju revoluciju ove grane znanosti prema Berger(2004).

40 godina kasnije doktor Wolpaw je zajedno sa suradnicima 1970-ih, uspio razviti primitivni uređaj koji snima električne signale iz mozga. DARPA (eng. Pentagon's Advanced Research Projects Agency) koja je bila odgovorna za prvu verziju interneta je pružala financijsku podršku za razvijanje bioničkih uređaja kako bi pomogli vojnicima. Ranija istraživanja provedena od strane George Lawrence-a fokusirala su se na razvijanje tehnika za poboljšanje performansa vojnika koji su imali velikih mentalnih izazova. Istraživanje doktora Lawrence je proizvelo puno rezultata u smislu da su dali veliki uvid u autoregulaciju i kognitivni *bio-feedback*, ali nisu proizveli niti jedan koristan uređaj kako navodi Wolpaw (2014).

DARPA je htjela prošiti područje istraživanja, koje je nastavio profesor Jacques Vidal, sa Sveučilišta u Kaliforniji, Los Angeles (eng. UCLA), koji je izumio izraz BCI i dao prvi znanstveni članak na temu „Prema direktnoj komunikaciji mozak-računalo“ (eng. „*Toward direct brain-computer communication*“. *Annual Review of Biophysics and Bioengineering*“). Poznat kao izumitelj BCI-a, 1977. godine Vidal je objavio ne-invazivnu EEG kontrolu, koja je u suštini bila prikaz miša kakav danas vidimo na računalima koji je bio na ekranu. Ispitanici su micali taj “miš” kroz labirint. Nakon toga sve do 2011. godine kada je držao govor u Grazu, Austrija Vidal nije bio aktivan u očima javnosti. 1988. godine je napravio izvještaj koji je opisivao ne-invazivnu EEG kontrolu nad fizičkim objektom, robotom. Eksperiment je opisivao kako bi korisnik pomicao ruku sa jednostavnim komandama kreni-stani-restart, prema nekoj proizvoljnoj putanji. Sama inteligencija te izvor energije robotske ruke ne bi bila u doticaju sa mozgom pacijenta, ta dva dijela bi bila autonomna, kao i kod svakog drugog

robotu. 1990. godine izumljen je dvosmjerni adaptivni BCI pomoću kojeg se moglo kontrolirati dugme koje bi pustilo zvuk predviđajući moždani potencijal (eng. Contingent Negative Variation potential - CNV). Cjelokupni eksperiment je opisivao kako očekivanjem stanja mozga, preko CNV-a, sudionik može kontrolirati dugme koje bi puštalo određeni zvuk. 2015. godine „BCI zajednica“ (eng. „BCI Society“) je službeno osnovana, ova neprofitna organizacija je pod upravom međunarodnog odbora za BCI. Organizaciju sačinjavaju stručnjaci različitih polja, kao što su akademija, industrija i medicina sa iskustvom u različitim vrstama BCI-a, kao što su invazivna i ne-invazivna te kontrolna i ne-kontrolna prema Vidalu (1973).

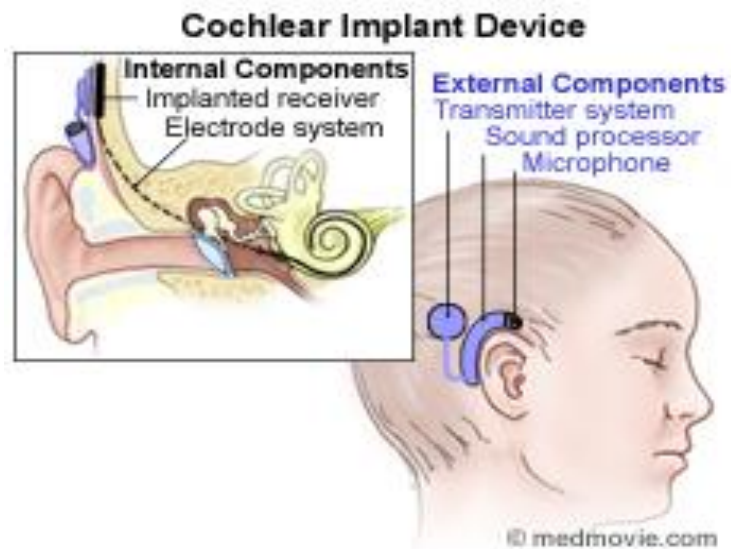
3. Neuroprotetika

Neuro-protetika je područje znanosti koje se bavi sa neuralnim protezama. Ova grana znanosti se bavi korištenjem umjetnih uređaja kako bi zamijenila određene funkcije kod oštećenih živčanih sustava i problema vezanih za mozak ili senzornih organa. Najpoznatiji uređaj u ovom polju je umjetna pužnica, koja je od 2010. kada je prvi put uspješno instalirana kod čovjeka, sve popularnija za pomoć ljudima koji imaju problema sa sluhom. Razlika između BCI i neuronske proteze jest način na koji se koriste, neuronske proteze se uglavnom spajaju na sami živčani sustav, dok se BCI uređaji spajaju na sami mozak preko računalnog sustava. Neuro-proteze podrazumijevaju da se mogu spojiti na bilo koji dio živčanog sustava dok se BCI spaja na centralni živčani sustav prema Krucoff(2016).

Neuronske proteze su niz uređaja koji mogu zamijeniti motor, osjetilni ili kognitivni modalitet koji bi mogli biti oštećeni kao posljedica ozljede ili bolesti. Koklearni implantati pružaju primjer takvih uređaja. Ovi uređaji zamjenjuju funkcije koje obavljaju bubnjevi za uši i stremen dok simuliraju analizu frekvencije koja se izvodi u kohleima(dio unutarnjeg uha koji je ključan za sluh(pužić)). Mikrofon na vanjskoj jedinici prikuplja zvuk i obrađuje ga; procesirani signal se zatim prenosi na ugrađenu jedinicu koja stimulira slušni živac kroz niz mikro-elektroda. Kroz zamjenu ili povećanje oštećenih osjetila, ti uređaji namjeravaju poboljšati kvalitetu života za osobe s invaliditetom. Ovi implantabilni uređaji također se obično koriste u pokusima na životinjama kao alat za pomoć neuro-znanstvenicima u razvijanju većeg razumijevanja mozga i njegovog funkcioniranja. Bežičnim praćenjem električnih signala mozga poslanih elektrodom ugrađenim u mozak subjekta, subjekt se može proučavati bez uređaja koji utječe na rezultate. Točno ispitivanje i snimanje električnih signala u mozgu olakšalo bi bolje razumijevanje odnosa lokalne skupine neurona koji su odgovorni za određenu funkciju. Neuralni implantati su dizajnirani tako da budu što manji kako bi bili minimalno invazivni, osobito u područjima koja okružuju mozak, oči ili kohlea(pužić). Ovi implantati obično komuniciraju sa ostalim protezama bežično. Osim toga, energija se trenutno prima putem bežičnog prijenosa energije kroz kožu. Tkivo koje okružuje implantat je obično vrlo osjetljivo na porast temperature, što znači

da potrošnja energije mora biti minimalna kako bi se spriječilo oštećenje tkiva kako navodi Wang (2005).

Neuroprotetika koja ima trenutno najrašireniju uporabu je kohlearni implantat, s više od 300.000 koji se koriste u svijetu od 2012. godine, možemo vidjeti izgled i kako se on pričvršćuje na pacijenta na slici 1.



Slika 1: Primjer „Pužnice“

4. Istraživanje BCI na životinjama

Nekoliko laboratorija diljem svijeta je uspjelo zabilježiti signale iz majmunskih i štakorskih cerebralnih korteksa kako bi koristili BCI da proizvedu neku vrstu pokreta. Majmuni su uspijevali micati ikonu na ekranu, pa čak i micanje same robotske ruke da izvodi jednostavne zadatke, tako što su samo razmišljali o zadatku, a prikaz robotske ruke je bio prikazan na monitoru. Cijeli ovaj dio eksperimenta je bio takav da se sve što su majmuni radili sa robotskom rukom prikazivalo kao povratna informacija na ekranu monitora, a ne direktan pogled na samu robotsku ruku. Htjelo se vidjeti da li mogu pomicati robotsku ruku samim zamišljanjem kako pomiču ruku.

4.1. Početak istraživanja nad životinjama

1969. na sveučilištu u Washington-u, fakultet medicine u Seattle-u su uspješno pokazali kako majmun pomoću *biofeedback*-a može upravljati sa robotskim rukama.

„*Biofeedback* je proces kojim ispitanik dobiva veću svijest mnogih fizioloških funkcija koristeći instrumente koji nude informacije o aktivnostima koji koriste te uređaje sa ciljem da te uređaje koristi kada god želi. *Biofeedback* u suštini znači da je ispitanik spojen na električne senzore koji pomažu primiti informacije o ispitanikovom tijelu.“ (Durand, Vincent Mark, Barlow, David, 2009, str. 331)

Kako navodi Georgopoulos (1989), pronašao je matematičku poveznicu između električnih odaziva jednog motornog korteksa kod majmuna i smjera u kojem se robotska ruka pomiče, preko kosinus funkcije. Također je pronašao da rašireni neuroni u majmunskim mozgovima zajedno upravljaju motorom robotske ruke, tj zajedno dajući naredbe za pomicanje, ali je mogao samo snimiti po jedno područje neurona od jednom, zbog ograničenja tehnologije u to vrijeme. Sredinom 1990.-ih, uspio je uhvatiti kompleksne signale iz motornog korteksa majmuna na način da su snimali grupe neurona, te na temelju njih, mogli su predvidjeti kako bi upravljali nekim vanjskim uređajem.

4.2. Veći uspjesi u BCI polju

Početak 1990. počelo je dolaziti do većih otkrića u polju BCI koji je poslužio svim znanstvenicima od tada pa do danas kao temelj da bi mogli dalje istraživati i unaprijeđivati BCI uređaja kako bi se moglo pomoći ljudima sa nekom vrste invalidnosti te im se olakšao život.

4.2.1. Kennedy i Yang Dan

Phillip Kennedy i kolege su bili prvi koji su izgradili prvo inter-kortikalni BCI tako da su ugradili neurotropne elektrode(elektrode namijenjene očitavanju električnih signala koje mozak koristi za obradu informacija) u majmune. 1999. znanstvenici predvođeni sa Yang Dan-om su uspješno dešifrirali neuronska ispuštanja kako bi reproducirali slike koje su mačke vidjele. Znanstvenici su upotrijebili niz elektroda koje su bile postavljene u talamusu, dio mozga koji je zadužen za sve informacije koje mozak prima, u mačku. Ciljali su otprilike 177 moždanih ćelija u dijelu talamusa koji je zadužen za vizualne „puteve“ u mozgu, koji su dešifrirali signale iz mrežnica. Mačkama su pokazivali kratke filmove, a njihovi neuroni su tokom toga snimani. Korištenjem matematičkih funkcija znanstvenici su uspjeli dešifrirati signale kako bi prikazali filmove koje je mačka upravo vidjela, uspješno su prikazali određene scene i objekte (Kennedy i Yang, 1999).

4.2.2. Nicolelis

Miguel Nicolelis, profesor sveučilišta Duke u Sjevernoj Karolini, je bio istaknuti predlagač korištenja nekoliko elektroda koji bi prekrivali veće područje mozga kako bi se dohvatili neuronski signali kojima bi se upravljalo sa BCI. Nakon što je Nicolelis prvotno provodio istraživanja nad štakorima, kasnije je usredotočio svoja istraživanja na noćnim majmunima, kako bi reproducirali pokrete sa robotskom rukom od strane samih majmuna. Zbog toga što majmuni imaju vrhunske sposobnosti hvatanja i manipulacijom rukama, oni su bili idealni testni subjekti prema. 2000. godine znanstvenici su uspjeli napraviti BCI gdje bi noćni majmuni pomoću džojstik kontrolirali robotsku ruku kako bi došli do voća. BCI koji su napravili je omogućavao pomicanje robotske ruke u stvarnom vremenu preko interneta, ali majmuni ne bi vidjeli samu

robotsku ruku kojom su upravljali, ovo je bilo otvorena petlja. U kasnijim istraživanjima Nicolelis je koristio rezus majmuna, te je prethodni eksperiment koji koristi otvorenu petlju, napokon pretvorio u zatvorenu. Majmuni su prvo preko monitora upravljali sa džojstik kako bi došli do voća ili općenito samo pomicali robotskom rukom, bez da im se sama ruka pokazivala. Kasnije su im predočili samu robotsku ruku koju su pomicali tako što su ju promatrali i pomicali ju tako da su direktno nju vidjeli i govorili kuda da ide ili što da radi. U tim istraživanjima su koristili algoritme za predviđanje brzine kojom se ruka micala te samu jačinu stiska robotske ruke (Nicolelis, 2005).

4.2.3. Ostala značajnija istraživanja

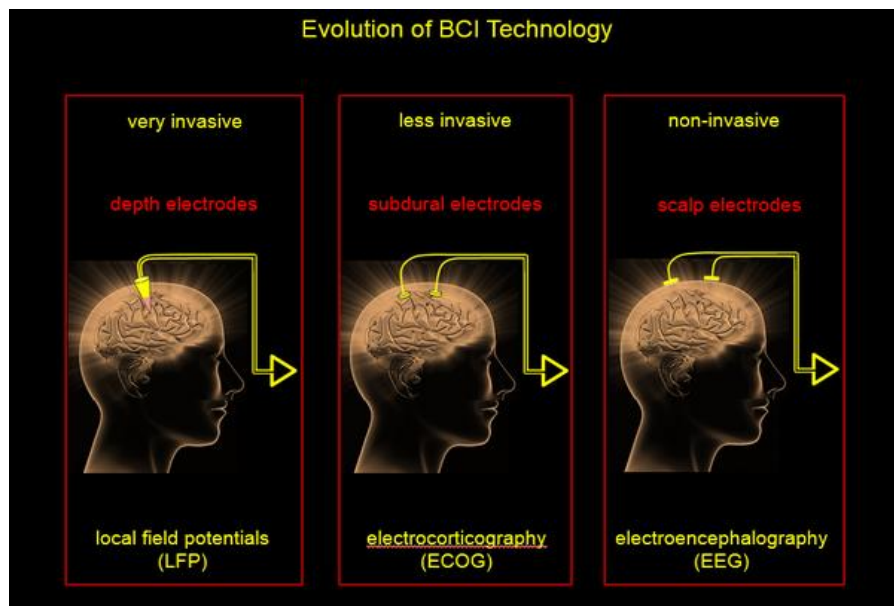
Kako se počela razvijati tehnologija koja predviđa kinetičke i kinematske parametre za kretanje udova, BCI su počeli sa predviđanjem elektromiografskih (eng. Electromyography - EMG) ili električkih aktivnosti mišića primata. Takvi BCI bi pomogli ljudima da ponovno uspostave pokrete u paraliziranim udovima preko električnih stimulansa. Nicolelis je u svom istraživanju uspio pokazati da velike nakupine neurona mogu biti iskorištene kako bi se predvidjelo kretanje ruke, takvo istraživanje je uspjelo čitati naum u pokretanju ruke i prevesti ga u stvarno kretanje samo ruke. Najveći problem sa trenutnim BCI tehnologijama je taj da nema senzora preko kojih bi sigurno mogli očitati aktivnosti mozga bez invazivnih procesa. Doduše moguće je da se takav senzor razvije u idućih 10 godina, te bi takav senzor značajno pomogao da se proširi samo polje BCI-a, te kako bi se povećao spektar funkcionalnosti koje bi BCI mogao ponuditi. Samo razvijanje i implementacija BCI sustave je kompleksno i zahtijeva puno vremena. Gerwin Schalk je sa tim problem na umu počeo istraživati opće-namjenski sustav sa BCI istraživanje, te ga je nazvao „BCI2000“, takav sustav je u razvoju od 2000. god, od strane Wadsworth centra u New Yorku, New York državni odjel. Također novi bežični pristup koji koristi svjetlosne kanale kako bi se kontrolirala aktivnost genetski modificiranih setova neurona na živo, tj koristili bi se na živim testnim subjektima, a ne nad dijelovima tkiva. Mozak-stroj sučelje ili BMI (eng. *Brain-machine interface*), je doveo do toga da znanstvenici sada jasnije razumiju cjelokupnu neuronsku mrežu i sami centralni živčani sustav. Znanstvenici vjeruju da iako skup neurona pokreće udove, da se može programirati da jedan neuron pokrene lavinu reakcije koji potaknuo sve ostale neurone, rezultirajući time da se pomiču paralizirani

udovi. Korištenjem BMI-a se počinje shvaćati da do određene granice jedan neuron može biti katalizator za pokretanje grupe neurona, ali da još ne znaju kako točno natjerati da jedan neuron sa izuzetnom preciznošću pokrene ostale (Schalk, 2010).

Neki znanstvenici tvrde da se BCI može primijeniti i na ljude koji nemaju nikakav oblik invalidnosti ili hendikepa.

5. Istraživanje BCI nad ljudima

Kako obične proteze više ne zadovoljavaju potrebe ljudi sa nekim oblikom invalidnosti, te sa samim razvojem tehnologija, dolazi do toga da ljudi žele nešto što bi im pomoglo u svakodnevnom životu više nego obična plastična proteza. U tom pogledu do izražaja dolazi BCI koji omogućava da ljudi ponovno koriste ruke, noge ili druge dijelove tijela čak i nakon što su izgubili mogućnost korištenja tih dijelova tijela. Način na koji se BCI realizira postoji u nekoliko oblika, invazivni, polu-invazivni i ne-invazivni, svaki će biti detaljno objašnjen u nastavku. Na slici 2. možemo vidjeti primjer kako duboko se elektrode implantiraju u mozak za određenu vrstu BCI-a.



Slika 2: Prikaz 3 vrste BCI-a (Izvor: Claro Mader, 2016)

5.1. Invazivni BCI

5.1.1. Vid

Invazivni BCI pomaže ljudima koji imaju problema sa vidom ili neki oblik paralize da ponovno vide, pa čak i da im se ponudi više funkcionalnosti. Ovakva vrsta BCI-a se implementira direktno u sivu tvar mozga. Kako takva vrsta leži direktno u sivoj tvari mozga, ona nudi najkvalitetnije signale BCI uređaja. Mana je ta da se to područje mozga često ostavlja u ožiljcima, koji se dodatno nakupljaju tokom vremena, koji opet uzrokuju da sami signali budu slabiji zbog toga što tijelo reagira na strani predmet u mozgu. U obnovi vida, BCI se ostvaruje tako da se direktno stavi u mozak kako bi se pomoglo pri sljepoći koja je stečena, a ne dobivena rođenjem.

Jedan od znanstvenika koji je prvi na tom području napravio napredak je privatni istraživač William Dobelle. Njegov prvi prototip je bio ugrađen u čovjeka koji je oslijepio kao odrasla osoba. 1978. god. jednostavan BCI koji sadrži 68 elektroda je usađen u ispitanikov vizualni korteks, te je uspješno postignuta „phosphenes“-a, tj. da oko vidi svjetlost bez da sama svjetlost ulazi u oko. Sami sustav je sačinjavao kameru koja je bila na naočalama koja je slala signale u usadnik. U početku je ispitanik vidio samo nijanse sive u ograničenom polju sa niskom brzinom okvira, također je ispitanik morao biti spojen sa računalom, ali kako se elektronika te tehnologija općenito počela smanjivati, umjetno oko ispitaniku je pomagalo da obavlja jednostavne zadatke bez pomoći (Dobelle, 2002).

2002. god. novi ispitanik imenom “Jens Naumann” koji je također oslijepio kao odrasla osoba, bio je prvi od 16 pacijenata koji su platili drugu generaciju BCI koji je izumio Dobelle. Nova generacija je bila naprednija od prošle, jer je omogućavala da ispitanik vidi malo konkretnije od nekoliko nijansi sive, te je omogućio ispitanicima da voze auto. Iako jedan od prvih komercijalnih BCI-a, ovaj tip nije bio savršen, smrću Dobelle-a u 2004. je ostavio ispitanike da sa nesavršenim sustavom ponovno izgube vid, jer je opterećenje na sami mozak bilo preveliko (Nauman, 2012).

5.1.2. Pokret

BCI se također počeo fokusirati na motorne neuronske-proteze čiji bi cilj bio vraćanje pokreta pojedincima koji pate od nekog oblika paralize, ili da im se omogući upravljanje uređajem koji bi imao sličnu funkciju.

Program sveučilišta Emory u Atlanti, predvođeni Phillip Kennedy-em i Roy Bakay-em. Oni su bili prvi znanstvenici koji ugradili u mozak usadnik koji je proizveo dovoljno kvalitetan signal pomoću kojeg bi se stimulirao pokret. Njihov prvi ispitanik je bio bolesnik koji je patio od paralize svih mišića tijela, 1998. godine su mu ugradili usadnik koji je omogućio ispitaniku da pokreće kursor na monitoru, tu je nažalost cijeli projekt stao, jer je ispitanik zbog bolesti preminuo ubrzo nakon. Usprkos tome nastavili su sa istraživanjem te 2005. godine su uspješno ugradili usadnik u ispitanika da kontrolira robotsku ruku, ispitanik je bio paraplegičar. Usadnik su pozicionirali u desnom dijelu mozga, dijelu koji kontrolira pokret ruke, te sa usadnikom koji je sadržavao 96 elektrode, ispitanik je uspješno pomicao robotsku ruku, tako što je istovremeno mislio na pomicanje svoje ruke i kursora na monitoru kako navode Kennedy i Bakay (1998).

5.2. Polu-invazivan BCI

Polu-invazivan BCI je takav da se dio ugradi u lubanju, a ostatak van mozga umjesto da se sve usađuje u sivu tvar mozga. Ovakav tip BCI-a daje bolje rezultate od ne-invazivnog BCI-a, gdje kost lubanje deformira same signale i šalje signale sveukupno lošije kvalitete, ali imaju manji rizik od stvaranja ožiljaka za razliku od invazivnog BCI-a.

Electrocorticography (ECoG) mjeri električnu aktivnost mozga, tako da se pozicionira ispod lubanje, ali elektrode su usađene u mali komad plastike koji su onda postavljeni na sami korteks. ECoG tehnologije su se prvi put testirale na ljudima 2004., od strane Erica Leuthardt i Daniel-a Moran sa sveučilišta Washington u St. Louisu. U kasnijim istraživanjima, znanstvenici su uspjeli napraviti da dječak igra „Space Invaders“ igru pomoću ECoG usadnika. Znanstvenici su dokazali da je kontrola nad takvim usadnikom skoro trenutna i da zahtijeva minimalno treninga, te s obzirom da nije u direktnom kontaktu sa sivom tvari kao invazivni način, odlična zamjena za takvu

vrstu BCI-a. Nažalost iako je ovakva metoda polu-invazivna, da bi se sama testiranja obavila te dobili konkretne rezultate, potrebno je obavljati istraživanja invazivnom metodom, kako bi se bolje lokalizirali i pronalazili neuroni kojim bi se stimulirali određeni pokreti određenog tijela. ECoG je svejedno bolje rješenje, jer pokriva veću površinu, te nudi bolji omjer signala u odnosu na pozadinsku buku koja se dobiva ovakvim testiranjem, veći spektar frekvencija, i manje treniranja samog ispitanika, u isto vrijeme sama tehnička težina je manja, te je manji zdravstveni rizik, te je dugoročno bolji odabir od prethodne metode prema Leuthardt i Moran (2008).

5.3. Ne-invazivni BCI

Ne-invazivni BCI postaje sve popularniji oblik BCI koji ne zahtijeva operacije bilo kakvog tipa te je sam trening još kraći nego kod polu-invazivnog BCI-a, ovakav BCI je zasnovan na EEG-u(eng. Electroencephalography), način promatranja za bilježenje električne aktivnosti mozga. S druge strane mana takvog BCI-a je da ima manju prostornu rezoluciju i ne može učinkovito koristiti signale visoke frekvencije zato jer lubanja zagušuje signale, raspršuje ih te zamućuje elektromagnetske valove koje koriste neuroni. Također ovakva metoda prije svakog korištenja zahtijeva trening kojim bi se ponovno ispitanik naviknuo koristiti, dok kod ostalih metoda to nije potrebno.

5.3.1. Sučelje čovjek-računalo netemeljen na EEG-u

5.3.1.1. Oscilacija veličine zjenice

2016. je objavljen članak „*The Mind-Writing Pupil: A Human-Computer Interface Based on Decoding of Covert Attention through Pupillometry*“ u kojem se navodi novi uređaj za komunikaciju koji nije temeljen na EEG-u te ne zahtijeva vizualnu fiksaciju ili mogućnost pomicanja oka. Sve se zasniva na „interesu“, emociji koja prouzrokuje pažnju da se usredotoči na određeni objekt, događaj ili proces. U ovom slučaju da se odabere slovo sa virtualne tipkovnice tako da svako slovo na tipkovnici u pozadini ima mali krug svjetlosti koji drugačije oscilira u različitim vremenskim periodama, tako da se zjenica oka fokusira samu tipku i u drugom slučaju na krug iza slova.

5.3.2. Sučelje čovjek-računalo temeljeno na EEG-u

EEG je najproučavanije polje istraživanja za ne-invazivna sučelja zbog svoje vremenske rezolucije, lakoće korištenja, prenosivosti i manjeg troška postavljanja.

Sama tehnologija je podložna šumovima tokom snimanja samih signala. Također još jedna mana ovakvog pristupa je ta da svaki ispitanik kako bi se uspješno koristi BCI-em temeljenim na EEG mora proći kroz povećani trening. Tokom jednog eksperimenta 1990-ih, na sveučilištu u Njemačkoj, doktor Niels Birbaumer je trenirao nekoliko ispitanika kako da sami kontroliraju dio korteksa u mozgu samo kako bi mogli slati signale u binarnom obliku da pomaknu strelicu na monitoru. Cilj Birbaumer-ovog eksperimenta je bio da pacijenti nauče kontrolirati svoj spori kortikalni potencijal kako bi upravljali sa nekom vrstom BCI-a. Kako bi pacijenti to uspješno postigli trebalo je potrošiti mjesecima kako bi se naviknuli te uspješno ispisali neke riječi na monitoru. Dohvaćanje sporog kortikalnog potencijala se prestalo koristiti kod treninga ispitanika, gledajući kako postoje druge metode koje ne zahtijevaju minimalno treninga te daju više rezultata kako navodi Birbaumer (2006).

Općenito, sučelje EEG tipa pokušava razlučiti odluku subjekta kroz mjerenje kombinirane električne aktivnosti enormnog broja neurona. Aktivnost pojedinih moždanih regija smanjuje rezoluciju korisnog signala. Nadalje, signal iz mozga do elektroda prolazi kroz tkivo, kosti i kožu što mu još više smanjuje rezoluciju. EEG je osjetljiv na EMG (elektromiografiju), EOG (elektro-okulografiju) i mehaničke artefakte. Bez obzira na navedene mane EEG može detektirati promjene moždane aktivnosti povezane s vizualnom stimulacijom, kutom gledanja, namjerom ili kognitivnim stanjima. Zato postoje nekoliko vrsta sustava baziranih na EEG-u. Razlikujemo ih mjerenjem različitih moždanih regija. Jedna vrsta koristi VEP. Ovakvo sučelje detektira VEP uzrokovan gledanjem određenog objekta na monitoru računala. Sučelje bazirano na P300 potencijalu razlučuje odziv parcijalne regije na poželjne i nepoželjne pobude. Neka sučelja mogu kontinuirano pomicati pokazivač miša po ekranu. Za ovakvo sučelje snima se spori moždani potencijal nekoliko moždanih regija na valovima mu (8-12 Hz) i beta (18-26 Hz) senzor-motorne regije. Drugi parametar istraživanja je vrsta oscilirajuće aktivnosti koja se mjeri. Birbaumerova kasnija istraživanja s Jonathanom Wolpawom na New York State Sveučilištu usmjerena su na razvoj tehnologije koja bi korisnicima omogućila da odaberu signale mozga kojima bi najlakše upravljali sa BCI, uključujući mu i beta ritmove. Daljnji parametar je metoda povratne veze i to je prikazano u studijama P300 signala. Oblik P300 valova se generira nenamjerno (stimulans-povratna informacija) kada ljudi vide nešto što prepoznaju i mogu dopustiti BCI da dekodira kategorije misli bez treninga pacijenata na prvom mjestu. Nasuprot

tome, metode *biofeedback* opisane gore zahtijevaju učenje za kontrolu moždanih valova tako da se može otkriti rezultirajuća aktivnost mozga kako navodi Birbaumer (2006).

Dok se EEG-temeljena na mozak-računalo sučelju intenzivno bavi nizom istraživačkih laboratorija, nedavni napredak koji je napravio Bin He i njegov tim na Sveučilištu Minnesota ukazuju na potencijal EEG-baziranog sučelja mozga i računala za obavljanje zadataka blizu invazivnih sučelje mozga-računala. Koristeći naprednu funkcionalnu „neuroimaging“, uključujući BOLD funkcionalnu MRI i EEG izvor slike. Bin He i suradnici su identificirali ko-varijaciju i ko-lokalizaciju elektrofizioloških i hemodinamskih signala induciranih motornom maštom. Pročišćen pristupom neuronskih-mapiranja i protokolom treninga, Bin He i suradnici pokazali su sposobnost neinvazivnog sučelja mozga-računala na EEG-u kako bi kontrolirali let virtualnog helikoptera u trodimenzionalnom prostoru, temeljenom na motoričkoj mašti. U lipnju 2013. objavljeno je da je Bin razvio tehniku kako bi helikopter na daljinsko upravljanje mogao biti vođen kroz prepreke. Uz sučelje mozga i računala, temeljeno na moždanim valovima, kao što je zabilježeno iz EEG elektroda s vlasištem, Bin He i suradnici istražili su virtualno sučelje mozga i računala pomoću EEG signala prvo rješavajući EEG inverzni problem, a zatim upotrijebili virtualne EEG za zadatke mozga i računala. Dobro kontrolirane studije ukazivale su na zasluge takvog izvora na temelju analize mozga i računala kako navodi He (2005).

Studija iz 2014. godine pokazala je da bi pacijenti s teškoćama u razvoju mogli brže i pouzdanije komunicirati s neinvazivnim EEG BCI nego s bilo kojim mišjim komunikacijskim kanalom.

5.3.2.1. Suho-aktivna polja elektroda

Početak devedesetih godina Babak Taheri, na Kalifornijskom sveučilištu, Davis je pokazao prve pojedinačne i više-kanalne suhe aktivne polja elektrode pomoću mikro-strojne obrade. Izgradnja suhe EEG elektrode jednog kanala i rezultati objavljeni su 1994. godine. Pokazana elektroda također je pokazala da radi dobro u usporedbi sa srebrom/srebrno kloridnim elektrodama. Uređaj se sastojao od četiri senzora s integriranom elektronikom kako bi se smanjila buka prema podudarnosti impedancije kako navode Taheri i Knight (1994).

Prednosti takvih elektroda su:

- nema elektrolita koji se koristi
- nema pripreme kože
- značajno smanjuje senzor
- kompatibilnost sa sustavima EEG praćenja

Aktivni elektrodni niz je integrirani sustav sastavljen od niza kapacitativnih senzora s lokalnim integriranim krugom smještenim u pakiranju s baterijama za napajanje strujnih krugova. Ova razina integracije bila je potrebna kako bi se postigla funkcionalna učinkovitost koju je dobila elektroda.

Elektroda je testirana na električnoj ploči za testiranje i na ljudskim subjektima u četiri modaliteta EEG aktivnosti:

- spontani EEG
- potencijali povezani sa senzornim događajima
- potencijali moždanog debla
- kognitivni događaj povezanih potencijala

Performanse suhe elektrode u usporedbi s standardnim vlažnim elektrodama u smislu pripreme kože, bez željenih gelova (suha) i većeg omjera signala i šuma. Godine 1999. istraživači na Sveučilištu Case Western Reserve u Clevelandu, Ohio, predvodili Hunter Peckham, koristili su 64-elektrodni EEG „skullcap“ kako bi vratili ograničene pokrete rukama u Jim Jatich koji je bio kvadriplegičar. Budući da se Jatich usredotočio na jednostavne, ali suprotne koncepte kao što su gore i dolje, njegova

beta-ritam EEG izlaz analiziran je pomoću softvera za prepoznavanje uzoraka buke. Osnovni je uzorak identificiran i korišten za kontrolu prekidača: iznad prosječne aktivnosti postavljena je na, ispod prosjeka. Osim što je omogućio Jatichu da kontrolira računalni pokazivač, signali su također korišteni za pokretanje upravljača živaca ugrađenih u njegove ruke, vraćajući neki pokret kako navodi Peckham (2001).

5.3.2.2. DIY i open-source BCI

Godine 2001. OpenEEG projekt pokrenula je skupina DIY neuroznanstvenika i inženjera. ModularEEG je bio primarni uređaj koji je stvorio OpenEEG zajednicu; to je bio 6-kanalni signal za snimanje odbora koji bi koštao između 200 i 400 dolara za izradu kod kuće. OpenEEG projekt obilježio je značajan trenutak u nastanku DIY mozga i računalnih sučelja.

U 2013, OpenBCI je nastao iz zahtjeva DARPA-e i kasnije Kickstarter kampanje. Oni su stvorili visokokvalitetan 8-kanalni EEG, poznat kao „32bit Bord“, koji se prodavao za manje od 500 dolara. Dvije godine kasnije stvorili su prvu 3D-ispisanu EEG slušalicu, poznatu kao Ultracortex, kao i 4-kanalnu ploču za nabavu EEG-a, poznatu kao Ganglionov odbor, koji se prodavao za manje od 100 dolara. U 2015. godini, NeuroTechX je stvoren sa zadaćom izgradnje međunarodne mreže za neurotehnologiju.

5.3.3. Kontrolne strategije BCI-a u “neuro-igranju”

Neurogaming je novo nastali oblik igara koji uključuje korištenje BCI-a poput EEG-a, tako da korisnici mogu komunicirati s igrom bez upotrebe tradicionalnog kontrolera. Kada koristite Multiplayer način, igrači mogu vidjeti aktivnost mozga drugih korisnika. Neuro-igranje može imati primjene u liječenju poremećaja mozga poput PTSP-a i ADHD-a. Osim neuro-igranja tehnologija u industriji zdravstva, zanimanje je za druge sektore kao što su obrana, sport i obrazovanje.

Schaaf, Mohan(2014) navode da „Igrač postaje virtualni agent u igri .. U učionici se prevodi u oblik diferencirane nastave.“

Jedan od najranijih neurogamera je utrka NeuroRacer, koju je dizajnirao Adam Gazzaley kako bi unaprijedio kognitivno funkcioniranje starijih odraslih osoba. Drugi rani neurogameri uključuju "Baciti kamione s vašim umom" (koji korisnicima omogućuje da podižu i bacaju predmete mentalnim blokiranjem smetnji) i NeuroMage, koji korisnicima omogućuje korištenje tehnike "opuštanja uma" kako bi naučili nove čarolije.

Među mogućim opasnostima i zabrinutost oko neurogaminga su etička pitanja kao što su kontrola uma, invazija mozga i čitanje uma.

5.3.3.1. Zamišljanje motornih funkcija

Zamišljanje motornih funkcija uključuje zamišljanje kretanja različitih dijelova tijela koja rezultiraju aktivacijom senzor-motornog korteksa, koja modulira senzor-motorske oscilacije u EEG. BCI to može otkriti te zaključiti koja je namjera korisnika. Zamišljanje motornih funkcija obično zahtijevaju niz treninga prije nego što se stekne prihvatljiva kontrola BCI-a. Te vježbe mogu trajati nekoliko sati tijekom nekoliko dana prije nego što korisnici dosljedno koriste ovu tehniku s prihvatljivom razinom preciznosti. Bez obzira na trajanje treninga, korisnici ne mogu svladati upravljačku shemu. To rezultira vrlo sporim tempom igranja. Nedavno su razvijene metode naprednog strojnog učenja kako bi se izračunao model specifičan za određenog ispitanika za otkrivanje performansi motoričkih slika.

5.3.3.2. Bio/neurofeedback za pasivni dizajn BCI-a

Biofeedback je proces dobivanja veće svijesti o mnogim fiziološkim funkcijama primarno pomoću instrumenata koji pružaju informacije o aktivnostima tih istih sustava, s ciljem da ih mogu manipulirati po volji. Neki od procesa koji se mogu kontrolirati uključuju moždane valove, tonus mišića, vodljivost kože, brzinu otkucaja srca i percepciju boli. U *biofeedbacku*, ispitanik je spojen na električne senzore koji mu pomažu primiti informacije (povratne informacije) o svom tijelu (bio).

Biofeedback se može koristiti za poboljšanje zdravlja, performansi i fizioloških promjena koje se često javljaju zajedno s promjenama misli, emocija i ponašanja. Naposljetku, ove promjene mogu se održavati bez upotrebe dodatne opreme, jer nije

nužno potrebna oprema za praćenje bioraspodjelivosti. Otkriveno je da je *biofeedback* učinkovit za liječenje glavobolja i migrena.

Pasivna sučelja za mozak i računalo (pasivni BCI), pružaju informacije za mentalne aktivnosti korisnika u računalnoj aplikaciji bez potrebe da korisnik kontrolira svoju aktivnost mozga. Pasivni BCI čini se osobito relevantnim u kontekstu stvaranja glazbe gdje mogu pružiti nove informacije kako bi prilagodili proces stvaranja glazbe (npr. Korisnikova mentalna koncentracijska stanja kako bi prilagodila tempo glazbe).

Lagos(2008) je naveo: „Nadamo se da će potencijalne prednosti varijabilnosti otkucaja srca *biofeedbacka*(eng. Heart Rate Variability Biofeedback – HRV BFB) za sportaše različite dobi, razine vještina i sportskih disciplina ispitivanje u kontroliranim eksperimentalnim studijama mehanizam (ih) djelovanja i unaprijediti razvoj mjera ishoda, strategija i metoda za provedbu HRV BFB u sportskim postavkama.“

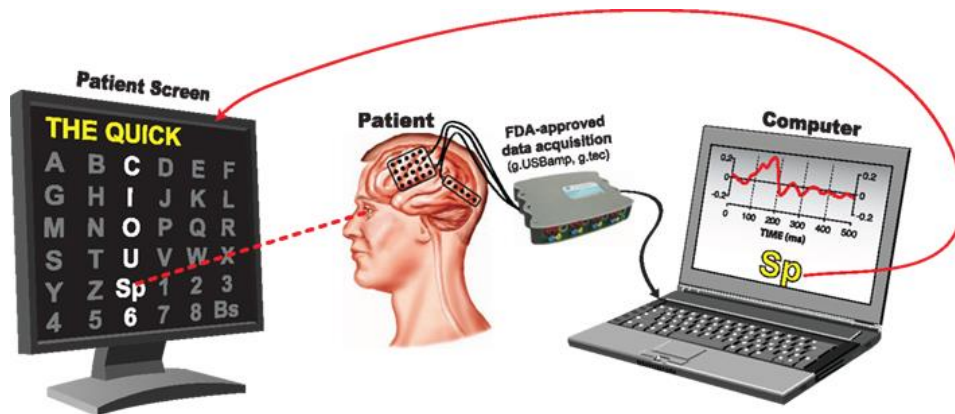
5.3.3.3. Evocirani potencijali (EVP)

Evocirani potencijali predstavljaju bezbolnu funkcionalnu elektrofiziološku metodu koji su odgovor ispitivanog živčanog sustava na ponavljajuću stimulaciju prilagođenim tipiziranim podražajem, koji se registrira elektrodama postavljenim na tijelu i glavi. Registriraju se pomoću elektroda postavljenih na pogravini tj. Aponeuroza svoda lubanje koja predstavlja široku tetivu umetnutu između dva trbuha mišića, čvrsto je pripojena za unutrašnju stranu kože i sa njom čini pogravinu. Postoje tri modaliteta evociranih potencijala, za ispitivanje sljedećih osjetnih sustava. VEP se dijeli na nekoliko dijelova, u nastavku će se objasniti dva: Stacionarni vizijski evocirani potencijal(SSVEP) te P300. U istraživanju neurologije i neuroznanosti, stacionarni vizijski evocirani potencijali (SSVEP) su signali koji su prirodni odgovori na vizualnu stimulaciju na određenim frekvencijama. Kada se mrežnica uzbuđuje vizualnim poticajem u rasponu od 3,5 Hz do 75 Hz, mozak generira električnu aktivnost u istoj (ili višestrukoj) učestalosti vizualnog stimulansa. Ova tehnika se široko koristi s elektroencefalografskim istraživanjima glede vizije i pažnje. SSVEP-ovi su korisni u istraživanju zbog izvrsnog omjera signala i šuma i relativnog otpornosti na artefakte. SSVEP također osigurava sredstvo za karakteriziranje poželjnih frekvencija neokortikalnih dinamičkih procesa. SSVEP generiraju stacionarni lokalizirani izvori i

distribuirani izvori koji pokazuju karakteristike valnih fenomena. Val P300 (P3) je (ERP – event related potencial eng.) potencijalni događaj izazvan u procesu donošenja odluka. Smatra se endogenim potencijalom, jer njegova pojava ne povezuje fizičke attribute poticaja, nego reakciju osobe na nju. Točnije, smatra se da P300 odražava procese koji su uključeni u procjenu ili kategorizaciju poticaja. Obično se postiže pomoću neobične paradigme, u kojoj su stavke s malom vjerojatnosti pomiješane s ne-ciljnim (ili "standardnim") elementima visoke vjerojatnosti. Kada se bilježi pomoću EEG, prikazuje se površine kao pozitivno odstupanje napona s latencijom (kašnjenje između poticaja i odgovora) od otprilike 250 do 500 ms. Signal se tipično mjeri najčešće pomoću elektroda koje prekrivaju parijetalni režanj. Prisutnost, veličina, topografija i vrijeme ovog signala često se koriste kao mjerni podaci kognitivne funkcije u procesima donošenja odluka. Dok su neuralni supstrati ove ERP komponente i dalje zamagljeni, ponovljivost i sveprisutnost ovog signala čini zajedničkim izborom za psihološke testove u klinici i laboratoriju prema Donchin (2000).

Postoje primjene u sučelju za mozak i računalo (BCI). P300 ima brojne poželjne osobine koje pomažu u provedbi takvih sustava. Prvo, valni oblik se konstantno detektira i izaziva se kao odgovor na precizne podražaje. Valni oblik P300 također se može probiti u gotovo svim subjektima s malom varijacijom u tehnikama mjerenja, što može pomoći u pojednostavljenju dizajna sučelja i omogućavanju veće upotrebljivosti. Brzina kojom sučelje može raditi ovisi o tome kako se signal detektira unatoč smetnjama. Jedna negativna karakteristika P300 je da amplituda valnog oblika zahtijeva traženje „aritmetičke sredine“ na više snimaka da bi se izolirao signal. Ovo i ostali koraci obrade nakon snimanja određuju ukupnu brzinu sučelja. Algoritam koji su predložili Farwell i Donchin daje primjer jednostavnog BCI koji se oslanja na nesvjesne procese donošenja odluka P300 za upravljanje računala. Subjektu se prikazuje 6 × 6 znakova, a istaknuti su različiti stupci ili retci. Kada stupac ili redak sadrži znak za kojeg osoba želi komunicirati, izaziva se P300 odgovor (budući da je taj znak "poseban", to je ciljani poticaj opisan u tipičnoj oddball paradigmi). Kombinacija redaka i stupca koji je izazvao odgovor smješta željeni lik. Mnogo takvih pokusa mora biti prosječno kako bi se očistila buka iz EEG-a. Brzina označavanja određuje broj obrađenih znakova u minuti. Rezultati istraživanja pomoću ove postavke pokazuju da bi normalni ispitanici mogli postići stopu uspjeha od 95% na 3,4-4,3 pozadina / min. Takve stope uspjeha nisu ograničene na korisnike koji nemaju neki oblik invaliditeta; istraživanje provedeno

2000. godine otkrilo je da su 4 paralizirana sudionika (jedan s potpunom paraplegijom, tri s nepotpunom paraplegijom) uspješno izvedeni kao 10 normalnih sudionika (Donchin, 2000). Na slici 3. možemo vidjeti kako izgleda P300 eksperiment gdje pacijent čitava slova te odgovarajući impulsi se prikazuju po čemu znanstvenici mogu zaključiti koji signal je za koje slovo.



Slika 3: Primjer P300 eksperimenta (Izvor: Schalk, 2011)

5.4. Sintetička telepatija / tiha komunikacija

Godine 2002. Kevin Warwick imao je niz od 100 elektroda ispaljenih u njegov živčani sustav kako bi povezo svoj živčani sustav s Internetom kako bi istražio mogućnosti poboljšanja. Time je Warwick uspješno proveo niz eksperimenata. Uz elektrode također ugrađene u živčani sustav njegove supruge, proveli su prvi izravni eksperiment elektroničke komunikacije između živčanih sustava dvaju ljudi kako navodi Warwick (2004).

Istraživanje sintetičke telepatije pomoću subvokalizacije odvija se na Kalifornijskom sveučilištu, Irvine pod vodstvom znanstvenika Mikea D'Zmura. Prva takva komunikacija dogodila se u 1960-ima pomoću EEG-a za stvaranje Morseovog koda pomoću alfa valova mozga. Upotreba EEG-ja za komunikaciju zamišljenog govora manje je točna od invazivne metode postavljanja elektrode između lubanje i mozga. Dana 27. veljače 2013. grupa s Miguel Nicolelis na Sveučilištu Duke i IINN-ELS uspješno je povezivala mozak dvaju štakora s elektroničkim sučeljima koja su im omogućila izravno dijeljenje informacija, u prvom izravnom sučelju mozga i mozga prema Nicolelis (2005).

Dana 3. rujna 2014. izravna komunikacija između ljudskih mozgova postala je mogućnost tijekom proširenih udaljenosti putem Interneta prijenosa EEG signala.

6. BCI na razini stanica

Kako tehnologija napreduje tako se i nove metode pomoću kojih se može BCI provesti kod ispitanika razvijaju svakodnevno. Novi način kako pomoći ljudima ili samo „poboljšati“ ljude dolazi sa manje skale nego se prvotno očekivalo kada je kompletno istraživanje BCI-a počelo. Neuronske mreže su jedan od novih načina koji bi pomagao ljudima, a da nije invazivna tehnologija ili da zahtijeva puno resursa, treninga itd.

Kulturna neuronskih mreža je stanična kultura neurona koja se koristi kao model za proučavanje središnjeg živčanog sustava, posebno u mozgu. Često su kultivirane neuronske mreže spojene na ulazni / izlazni uređaj kao što je polje s više elektroda (MEA – *multi-electrode array*, eng.), čime se omogućuje dvosmjerna komunikacija između istraživača i mreže. Ovaj se model pokazao neprocjenjivim sredstvom za znanstvenike koji proučavaju temeljna načela koja proizlaze iz neuronskog učenja, memorije, plastičnosti, povezanosti i obrade informacija.

Kulturni neuroni često su povezani putem računala na stvarnu ili simuliranu robotsku komponentu, stvarajući tako hibridne robote ili animiranje. Istraživači mogu temeljito proučiti učenje i plastičnost u realnom kontekstu, gdje neuronske mreže mogu komunicirati s okolinom i primiti barem neke umjetne osjetilne povratne informacije. Jedan primjer toga može se vidjeti u sustavu Multielectrode Array Art (MEART) kojeg je razvila Potter Research Group na Georgia Institute of Technology u suradnji sa SymbioticA, Centrom za izvrsnost u biološkoj umjetnosti, Sveučilišta Western Australia. Drugi primjer može se vidjeti u živom kontroliranom animiranju. Kulturna stanična kultura je omogućila razvoj nove tehnologije te naprave kako bi još bolje povezali moždane valove ispitanika sa nekim BCI uređajem. Ovo novo polje znanosti je rezultiralo izumom neuronskih čipova. Sama uloga neuronskih čipova je bila da komunicira sa neuronskim ćelijama u mozgu, te odašilja dalje te signale kako navodi Potter (2006).

Izrađen je od silicija koji je dopiran na takav način da sadrži EOSFET (elektrolit-oksidi-poluvodički FET) koji može osjetiti električnu aktivnost neurona (akcijski

potencijali) u gore navedenoj fiziološkoj elektrolitskoj otopini. Također sadrži kondenzatore za električnu stimulaciju neurona. Medicinski fakultet Sveučilišta u Calgaryu, kojeg su vodili pakistanski rođeni kanadski znanstvenik Naweed Syed koji je dokazao da je moguće kultivirati mrežu moždanih stanica koje se ponovno povezuju na silicijski čip ili mozak na mikročipu, razvili su novu tehnologiju koja nadgleda mozak stanica u rezoluciji nikada dosegnut prije. Razvijeni s Nacionalnim istraživačkim vijećem Kanade (NRC), novi čipovi silicija također su jednostavniji za upotrebu, što će pomoći budućem razumijevanju rada stanica mozga u normalnim uvjetima i omogućavanju otkrića lijekova za različite neurodegenerativne bolesti kao što su Alzheimerova bolest i Parkinsonova bolest. Laboratorij Naweed Syed proučavao je stanice mozga na mikročipu. Nova tehnologija iz laboratorija Naweed Syed, u suradnji s NRC, objavljena je u kolovozu 2010. u časopisu Biomedical Devices.

Godine 2003. tim koji je vodio Theodore Berger, započeo je rad na neuro čipu dizajniranom da funkcionira kao umjetni ili protetički hipokampus. Neurozvuk je dizajniran da funkcionira u mozgu štakora i bio je namijenjen kao prototip za eventualni razvoj proteza višeg mozga. Hipokampus je izabran zato što se smatra najcjjenjenijim i strukturiranim dijelom mozga i najzastupljenijim područjem. Njegova je zadaća kodirati iskustva za pohranu kao dugoročne uspomene u drugim dijelovima mozga. Godine 2004. Thomas DeMarse na Sveučilištu u Floridi koristio je kulturu od 25.000 neurona preuzetih iz mozga štakora da bi letjeli simulator zrakoplova F-22 aviona. Nakon zbirke, kortikalni neuroni su kultivirani u petrijevu zdjelu i brzo se počeli ponovno povezati kako bi formirali živu živčanu mrežu. Stanice su bile postavljene preko rešetke od 60 elektroda i korištene su za kontrolu funkcija simulacije i skretanja. Fokus istraživanja bio je na razumijevanju kako ljudski mozak izvodi i uči računalne zadatke na staničnoj razini kako navodi Berger (2004).

7. BCI – etičke dileme

Jedinstvena izravna veza koju BCI stvara između našeg mozga i računala podiže važna etička pitanja. Trenutačno smo u interakciji s računalima s našim perifernim živčanim sustavom: mi koristimo prste za upisivanje e-pošte na našem prijenosnom računalu ili našim vokalnim mišićima za proizvodnju govora i interakciju s sustavima prepoznavanja glasa. Nasuprot tome, BCI bilježi signale izravno iz našeg središnjeg živčanog sustava - našeg mozga.

Ovo ima zanimljive etičke implikacije, u rasponu od pitanja privatnosti do gubitka čovječanstva. Jedan primjer je pripisivanje odgovornosti za izlaz BCI-a. Možda imamo manje kontrole nad našim mislima nego preko naših akcija - mnogi od nas su doživjeli razmišljanje o nečemu, ali su se suzdržali od naglašavanja. Ako BCI uređaj vidi misli i izvršava štetne radnje, iako bi korisnik normalno ne postupao na taj način sam, možemo li reći da je korisnik BCI u potpunosti odgovoran?

Još jedno etičko pitanje je potencijalno varljiva uloga medija na percepciji BCI. Općenito, većina motornih pomoćnih sustava daleko je učinkovitija od BCI za pojedince koji zadržavaju bilo kakvu motornu funkciju. Primjer je Stephen Hawkingov komunikacijski uređaj, koji kontrolira s laganim pokretima mišića lica i preferira BCI sustave.

Međutim, medijska pokrivenost BCI-a ima tendenciju da bude pretjerano pozitivna i futuristička, s izrazima "čitanje uma" i "lijek" koji se vidi u člancima. Ta pogrešna prezentacija može stvoriti jaz u očekivanju u kojem pacijenti očekuju da BCI uređaj bude učinkovitiji ili jednostavniji za upotrebu nego što je zapravo. Razočaranje koje proizlazi iz pretjerano visokih očekivanja može biti povezano s pacijentovom depresijom.

Mnogi istraživači vide veliki potencijal u BCI uređajima, s implikacijama za pojedince koji se bore s teškim invaliditetom i za budućnost zabave. Ipak, etička literatura pokazuje da bi te prednosti mogle biti popraćene moralnim i društvenim izazovima. Stoga je važno da neuroznanstvenici, zakonodavci, etičari i javnost

raspravljaju o utjecaju ove tehnologije na pravnu i moralnu odgovornost, pristanak za informiranje i drugačija etička pitanja.

8. Klinička i znanstvena primjena BCI sučelja

BCI ne čita umove. Umjesto toga, BCI mijenja elektrofiziološke signale od puke refleksije aktivnosti središnjeg živčanog sustava (CNS – *central nervous system* eng.) u poruke i naredbe koje djeluju na svijet i koje, poput izlaza u konvencionalnim neuromuskularnim kanalima, ostvaruju namjeru osobe. Dakle, BCI zamjenjuje živce i mišiće i pokrete koje proizvode pomoću hardvera i softvera koji mjere signale mozga i prevode te signale u akcije.

Pojedinci koji su teško pogođeni poremećajima kao što su ALS, cerebralna paraliza, moždani udar, ozljede kralježne moždine, mišićne distrofije ili kronične periferne neuropatije mogu imati koristi od BCI. Kako bi se utvrdilo vrijednost BCI-a za različite pojedince, Wolpaw je predložio da se potencijalni BCI korisnici kategoriziraju prema stupnju, a ne o etiologiji, o njihovoj invalidnosti. Na taj način, potencijalni korisnici BCI-a procjenjuju se u tri razmjerno različite skupine:

- (1) ljudi koji nemaju detektabilnu preostalu korisnu neuromuskularnu kontrolu i stoga su potpuno zaključani
- (2) ljudi koji zadržavaju samo vrlo ograničenu sposobnost za neuromuskularnu kontrolu, kao što su slabe pokrete oko očiju ili lagano trzanje mišića
- (3) ljudi koji i dalje imaju značajnu neuromuskularnu kontrolu i mogu lako koristiti konvencionalnu pomoćnu komunikacijsku tehnologiju baziranu na mišiću

Još nije jasno u kojoj mjeri BCI-ovi mogu služiti ljudima u prvoj skupini, onih koji su potpuno zaključani (npr. U kasnim fazama ALS ili ozbiljnom cerebralnom paralizom). Rješavanje ovog problema zahtijeva opsežnu i dugotrajnu procjenu svakog pojedinca kako bi se riješili osnovni problemi budnosti, pozornosti, vizualnih ili slušnih sposobnosti i veće kortikalne funkcije. Iako je pretpostavljeno da potpuno zaključano stanje predstavlja jedinstveni BCI-otporni uvjet, pitanje ostaje neriješeno u ovom trenutku. Vrijedno je spomenuti da su istraživači nagađali da bi pojedinci u ovoj skupini mogli zadržati sposobnost korištenja BCI-a ako počnu prije nego što postanu potpuno zaključani kako navodi Wolpaw (2008).

Trenutno, ljudi iz druge skupine čine primarnu potencijalnu korisničku populaciju za trenutne BCI sustave. Ova skupina, koja nadmašuje prvu skupinu, uključuje ljude s pacijentima s ALS u kasnoj fazi koji se oslanjaju na umjetnu ventilaciju kao bolest koja napreduje, osobe s moždanim udarima i osobe s teškom cerebralnom paralizom. Tipično, oni zadržavaju samo vrlo ograničene, lako umorne i / ili nepouzdate pokrete oko očiju ili druge minimalne funkcije mišića i stoga se ne mogu adekvatno služiti konvencionalnom tehnologijom pomoćne komunikacije koja se temelji na mišićima. Za ljude u ovoj skupini, BCI sustavi mogu biti u mogućnosti pružiti osnovnu komunikaciju i kontrolu koja je prikladnija i pouzdanija od one koju pruža konvencionalna tehnologija. Treća i najveća skupina potencijalnih BCI korisnika sastoji se od ljudi koji zadržavaju znatnu neuromuskularnu kontrolu. Za većinu u ovoj skupini, današnji BCI sustavi, s ograničenim kapacitetima, nemaju dovoljno za ponuditi. Ove osobe se obično mnogo bolje služe konvencionalnom tehnologijom. Ipak, neki u ovoj skupini, poput onih s ozljedama kralježnične moždine visokih cerviksa, možda preferiraju BCI u odnosu na konvencionalne pomoćne uređaje koji potiču preostalu dobrovoljnu kontrolu mišića (npr. sustavi koji ovise o smjeru pogleda ili EMG iz mišića lica). U budućnosti, budući da se kapaciteti, pouzdanost i praktičnost BCI sustava i dalje poboljšavaju, više ljudi iz ove skupine moglo bi ih pronaći vrijedno, a broj ljudi koji koriste BCI može se značajno povećati. Različiti prethodno navedeni uvjeti narušavaju CNS na različite načine, a različiti BCI ovise o različitim aspektima aktivnosti mozga. Dakle, neki ljudi mogu bolje služiti jedan BCI nego drugi. Na primjer, osobe koje imaju oštećenje senzor-motornih korteksa uslijed teške moždane paralize možda neće moći koristiti BCI na temelju EEG ili jedne neuronske aktivnosti iz ovih kortikalnih područja. U takvim ljudima, BCI sustavi koji koriste druge EEG komponente (npr. P300) ili neuronsku aktivnost iz drugih regija mozga mogu biti dobre alternative prema Wolpaw (2008).

9. Komercijalno pristupačna BCI sučelja

Postoje razna sučelja korisničkog sučelja mozga i računala dostupnih za prodaju. To su uređaji koji općenito koriste EEG-slušalice za elektroencefalografiju kako bi pokupili EEG signale, procesor koji čisti i pojačava signale i pretvara ih u željene signale i neku vrstu izlaznog uređaja.

Od 2012. godine, EEG slušalice kreću se od jednostavnih suhih uređaja s jednim kontaktom do detaljnijih kontakata s 16 kontakata i vlažnim kontaktima, a izlazni uređaji sadržavali su igračke poput cijevi s ventilatorom koji puše teže ili mekše ovisno o tome koliko je korisnik koncentriran, što zauzvrat preselio loptu za ping-pong, video igre ili video prikaz EEG signala. Tvrtke koje razvijaju proizvode u prostoru imaju različite pristupe.

Neurosky je nastao u akademskom laboratoriju u Koreji početkom 2000-ih. Tim je koristio EEG slušalicu za kontrolu brzine vozila s daljinskim upravljanjem, a njihov je uređaj također koristio praćenje očiju kako bi kontrolirala smjer kretanja automobila. Znanstvenici su u početku namjeravali osnovati tvrtku koja bi razvila i prodavala igračke, ali kada je tvrtka osnovana u Silicijskoj dolini, bila je uglavnom usmjerena na pružanje uređaja i softvera drugim tvrtkama kao OEM. Tvrtka je 2010. izdala proizvod nazvan Mindwave s jednim kontaktom, procesorom, aplikacijom (i mobilnom aplikacijom) koja bi mogla prikazati EEG signal i nekoliko igara i drugih aplikacija, uključeni su API pa su programeri mogli izraditi nove aplikacije koje koriste podatke.

2007. kanadski znanstvenik Ariel Garten osnovao je InteraXon s Trevorom Colemanom i Chrisom Aimonom da bi komercijalizirala svoje istraživanje na sučeljima mozga i računala, s početnim fokusom na izlazne uređaje koji bi mogli obavljati praktične zadatke kao što su isključivanje svjetala, upravljanje audio uređajima ili premještanje objekata. Tvrtka je izdala slušalicu i procesor zvan Muse sa sedam elektroda, s aplikacijom i API-jem.

U 2010-oj francuski znanstvenici Yohan Attal i Thibaud Dumas osnovali su myBrain za komercijalizaciju svojih istraživanja, a radio je s Institutom za mozak i kralježnicu (ICM) u Parizu kako bi stvorio EEG slušalicu zvanu „Melomind“ s četiri elektrode s aplikacijom za upravljanje stresom.

10. Budućnost BCI-a

Iako postoji nevjerojatan potencijal za razvoj budućih BCI aplikacija, čekajući da budu otključana u stotinama indikatora neuronskog ponašanja koje su identificirali istraživačka zajednica neurotičnih znanosti, trenutni i vjerojatni kratkoročni BCI-ovi ostaju "orijentirani na zadatke" (tj. aplikacija je izravno orijentirana prema zadatku koji korisnik pokušava ostvariti) i uključuju:

a) BCI-e koje su primarno sučelje za zadatak koji korisnik eksplicitno izvodi, kao što je korištenje signala mozga za kontrolu micanje proteze

b) BCI koji izravno podupiru zadatak koji korisnik izvodi, ali nije primarno sučelje, kao što je sustav koji nadzire korisničke signale mozga kako bi predvidio performanse tijekom vožnje i ublažio razdoblja predviđene male performanse.

Razvojni programeri imaju i vjerojatno će nastaviti pronalaziti uspjeha s rješenjima usmjerenim na zadatke, pri čemu sama aplikacija kontrolira uvjete pod kojima korisnik provodi, za razliku od pokušaja pronalaženja indeksa mozga koji se generaliziraju na svim zadacima koje korisnik može obavljati. To je stoga što će BCI-ovi koji su orijentirani prema zadatku imat više konteksta za ono što korisnik zapravo radi, a time i veću mogućnost interpretiranja dolaznih neuronskih signala.

Budući zadaci usmjereni na BCI-i, temeljeni na napredovanju senzorskih tehnologija, algoritmi analize, umjetne inteligencije, multi-aspekt senzora mozga, ponašanja i okoliša kroz sveobuhvatne tehnologije i algoritmi računanja, moći će prikupiti i analizirati podatke mozga kroz produžena razdoblja i očekuje se da će postati preteča u mnogim aspektima svakodnevnog života. Ako i kada tehnologije koje su bazirane na mozgu sa sensorima se budu nosile tijekom dijela svakodnevnog života ljudi, javlja se mogućnost korištenja BCI infrastrukture za "oportunističke" aplikacije. To znači da, kada korisnici redovito nose BCI temeljen na sensorima u mozgu za određene svrhe, oportunističke BCI-ove, koje su BCI tehnologije koje korisniku pružaju pogodnosti, ali ne podržavaju izravno zadatak koji korisnik obavlja, mogu se koristiti bez dodatnih troškova. Primjer oportunističkih BCI-ova mogu biti računalne aplikacije koje prilagođavaju korisničko okruženje (poput boje rasvjete, glazbe ili možda čak i mirisa ili prijedloga za prehrambene, vježbe, zabavu ili opcije liječenja) kako bi izmijenili

ili pojačali raspoloženje ili mentalnog stanja ili medicinskih aplikacija koje povremeno prikazuju korisnika za pokazatelje neuronskih bolesti i provode različite ublažavanja. Takve ublažavanja mogu uključivati sljedeće: generiranje zadataka za daljnju analizu i prikaz (premještanje BCI-a u zadanu domenu zadataka), sugerirajući da korisnik vidi liječnika radi dijagnoze ili predlaganje preventivnih mjera. Međutim, zbog nedostatka ograničenja prema kojima takve aplikacije moraju funkcionirati, oportunistički razvoj BCI-a vjerojatno će napredovati kroz prikupljanje velikih razmjera i analizu podataka tijekom dužeg vremenskog razdoblja, kao i razvoj tehnika za opsežnu individualnu prilagodbu korisnika. Iako će ta pitanja ograničiti kratkoročni razvoj, u dugoročnom okviru, oportunistički BCI-ovi mogu imati štetne posljedice, uz brojne druge potencijalne prednosti medicinskom, obrazovnom, radnom i društvenom primjenom.

11. Praktični primjer

U ovom poglavlju ćemo raditi procjenu BCI sustava za dva komercijalno dostupna uređaja: NeuroSky i Emotiv. Predstaviti ćemo kako izgleda igranje igara sa Emotiv uređajem, a nakon toga sa Neurosky uređajem. Također ćemo napraviti analizu tržišta za ta 2 uređaja, kako bi vidjeli prihvatljivost tih uređaja ne samo od ljudi sa poteškoćama, nego i zdravih ljudi, te pokušati približiti potencijalnim krajnjim korisnicima ove uređaje i općenito pojam BCI, gledajući kako je to u zadnjih 15 godina napravilo ogromne napretke.

Kako je u početku rečeno, usporediti ćemo 2 BCI sustava komercijalno dostupnih uređaja. Prezentirati ćemo kako korisnici sa njima mogu upravljati, koliko je treninga za to potrebno, prikazati njihove specifikacije, te na kraju ih usporediti međusobno.

U početku usporedba BCI sustava će više biti teoretske prirode, dok će anketa i sve nakon biti konkretni doprinos za praktični dio.

11.1. BCI nepismenost

Najveći problem kod korištenja BCI-a je nepismenost. U ovom slučaju se ne podrazumijeva neznanje iskazano kod korištenja uređaja BCI kao takvim, nego više da se učini da je sami BCI uređaj efektivan. Kako bi komercijalno dostupni BCI uređaji bili efektivni i imali neku svrhu u svakodnevnom životu, korisnici moraju znati kako kada koriste te uređaje, kako proizvesti kvalitetne signale koje bi sami uređaj mogao koristiti. Kako komercijalni uređaji ne zahtijevaju nikakvu operaciju da bi se koristili već se samo stave na glavu i spremni su za korištenje, korisnik svejedno treba naučiti se služiti sa samim uređajem. Kako je rečeno da bi BCI uređaj bio efektivan, korisnik mora znati proizvesti kvalitetne signale koje će uređaj moći očitati i te signale onda prevesti u neku akciju koje korisnik želi napraviti. Da bi se krajnji korisnici mogli koristiti BCI uređajem, trebaju prvo proći kroz trening. Korisnici koji ne mogu proizvesti kvalitetne mu moždane valove, uređaj ne bude mogao stvoriti pravu „sliku“ onoga što bi korisnik htio napraviti, u ovom slučaju mu moždani valovi se koriste za pokretanjem neke robotske ruke, te bez kvalitetnih mu valova, pokretanje ruke je nemoguće. Također velik broj korisnika ima dosta problema sa koncentracijom na što zapravo želi napraviti, pa stoga ne mogu proizvesti dovoljno velik broj moždanih signala po minuti da bi bilo neke koristi od njih. Jedan od indikatora zašto korisnici imaju toliko problema koristiti BCI uređaje proizlazi iz starenja, pokazano je da u prosjeku, djeca imaju većeg uspjeha kod korištenja BCI uređaja nego odrasli, no ta teorija se još razmatra. Sami problem BCI nepismenosti se tek počeo promatrati nedavno, naime takvi uređaji su dosta podložni velikom broju faktora zbog kojeg onda oni ne mogu dati zadovoljavajuće rezultate. Jedan od takvih problema je da korisnici nisu ni svjesni da postoji nešto što se zove BCI nepismenost, ne razumiju da bi mogli koristiti BCI nije toliko jednostavno da se samo natakne na glavu i sve je spremno, ne trenirani korisnici koji nisu imali prije iskustva sa BCI su imali 20-30% lošiji učinak od onih koji jesu bili trenirani. Nadalje, sami BCI je ovisan i o psihološkim faktorima, ako je korisnik pod stresom, umoran ili na neki način smeten, ne bude bio u mogućnosti koristiti uređaj kako je i namijenjeno. Tako da se i ovaj faktor uzima u obzir u nastavku obrade teme (Maskeliunas, 2016).

11.2. Usporedba komercijalnih BCI sustava za igre i virtualna okruženja

Emotiv su neuro-slušalice temeljene na neurosignalizaciji i bežičnoj obradi s 14 vlažnih senzora (i 2 referentna senzora) koja je sposobna otkriti EEG signal kao i izraz lica korisnika. Analizira se neuralni signal i pružaju se brojne afektivne mjere, a to uključuje "angažman" 'Frustracija', 'meditacija' i 'uzbuđenje'. Ova vrsta mjera može se iskoristiti u pasivnom BCI dizajnu. Štoviše, ugrađeni klasifikator može se trenirati pomoću različitih (npr. motorička mašta) i one se mogu dodijeliti operacijama u virtualno okruženje, kao što su "push", "pull", "rotate" i "lift". Ovi parametri mogu se jednostavno koristiti za aktivnu BCI aplikaciju.

Uređaj NeuroSky MindSet je bežična slušalica sa zvučnicima i mikrofonom te jednim EEG senzorom na čelu. Većina prikupljenog signala od ovog senzora odgovara frontalnom režnju, koji ograničava vrste mentalnih aktivnost koja se može koristiti za kontrolu BCI. NeuroSky pruža dvije mjere koje su već unaprijed izračunate od strane „black-box“ NeuroSky algoritma. To su "pažnja" i 'meditacija'. Mjera pažnje je modulacija frekvencijskog pojasa koja potiče intenzitet korisničke razine mentalnog "fokusa" kada se korisnik usredotoči. Povećava se kada se korisnik koncentrira na jednu misao ili vanjski objekt i smanjuje se kada je korisnik ometan. Obje su mjere prikladne pasivne BCI aplikacije.

11.2.1. Usporedba igranja igara koristeći Emotiv

BrainMaze je dizajniran za korisnika za navigaciju 3D verzijom LEGO NXT Robot unutar labirinta s glavnim ciljem da pronađe različite putne točke koje će dovesti do cilja. Ako robot udari u zid, položaj se vraća i počinje ponovno s početka. Korisnici moraju biti precizni i oprezni kako bi pronašli put do kraja. Zidovi su relativno uski, zahtijevaju precizno upravljanje i izbjegavanje od nagle kretnje koje bi mogle uzrokovati poništavanje položaja. Slijedi sjednica igre prvi trening, tijekom kojeg je korisnik trenirao na upravljačkoj ploči, tako da korisnik je upoznat s osnovnom kontrolom mozga.

Roma Nova je izgrađena na Rimu Reborn jedne od najrealnijih 3D reprezentacija drevnog Rima koji trenutno postoji. Ovaj 3D prikaz pruža a visokokvalitetni 3D digitalni model koji se može istražiti u stvarnom vremenu. Rim Reborn uključuje stotine zgrada, od kojih je trideset dva vrlo detaljna spomenika obnovljena na temelju pouzdanih arheoloških dokaza. Interaktivna igra je ozbiljna igra koja ima za cilj podučavati povijest djecu (11-14 godina). Igra omogućuje istraživačko učenje uranjavanjem igrača unutar virtualnog baštinskog okružja gdje uče kroz različite aspekte povijesti interakcije s mnoštvom virtualnih rimskih avatara. Provedba igre Roma Nova uključuje:

- (a) mnoštvo rimskih likova u Forumu
- (b) vrlo detaljan skup zgrada koje pripadaju Rimu Reborn modelu

Inteligentan agenti lutaju u okruženju igranja između unaprijed definiranih točaka od interesa, dok se igrač može slobodno kretati i kontrolirati ga putem BCI uređaja. Za interakciju s inteligentnim agentima, BCI-kontroliranim igračem treba im pristupiti.

Trideset i jedan sudionik je koristio svaki prototip. U slučaju oba BCI sustava sudionici su prvo trenirali pomoću upravljačke ploče (aplikacija koju pruža Emotiv SDK) a nakon toga obavljali zadatke u virtualnom okruženju. Nakon završetka zadatka, sudionici su zamoljeni da procijene svoje iskustvo popunjavanjem upitnika. Ovi prijedlozi su vrlo korisni doprinos poboljšanju sustava, davanje povratnih informacija da obični upitnik ne može uhvatiti.

Tablica 11.1 prikazuje usporedbu rezultata procjene korisnika romske Nova virtualne okoliš i virtualni robot s emocionalnim slušalicama. Nema značajnih razlika za sposobnost kontrole, odaziv, interakcija i prirodnost iskustva bili su pronađeno. Nedostatak značajnih razlika može se objasniti sličnim poteškoćama BCI zadatka. Obje igre zahtijevale su dvodimenzionalnu kontrolu i kvalitetu virtualnog okruženja može utjecati na korisničko iskustvo koje vjerojatno neće učiniti značajne promjene.

Varijable	BrainMaze	Roma Nova
Mogućnost kontrole	3.452	3.129
Responzivnost	3.226	3.581
Interakcija	3.323	3.032
Prirodnost	3.484	3.290

Tablica 1: Usporedba BCI sustava na dvjema igricama (Prema Fialek i Liarokapis, 2016)

11.2.2. Usporedba igranja igara pomoću Neurosky

Nova Roma ponovno je korištena za procjenu korisničkog doživljaja tijekom korištenja NeuroSky uređaj. Sudionici su bili upućeni da se presele u određenu točku unutar virtualno okruženje. Međutim, glavna je razlika u odnosu na prethodnu interakciju paradigma je da je samo jedan senzor korišten za potpunu kontrolu avatara. U ovom slučaju, sudionici pokušavaju kontrolirati avatar promjenom kognitivnih stanja kao što su meditaciju i pažnju, koja se prevodi na dvije cjelobrojne vrijednosti (u rasponu 0- 100). Za skrenuti desno, sudionik se mora usredotočiti što je moguće jače, dok se kako bi se pomaknuli lijevo, moraju odgurati svoju pozornost. Kretanje ravno naprijed bilo je moguće samo održavanjem ravnoteže između dviju država. Koristi se meditacija za kontrolu brzine avatara, uz visoku razinu meditacije što je rezultiralo visokim brzinama.

Druga aplikacija koja se koristi za procjenu NeuroSky je poznata Tetris igra. Cilj Tetrisove igre bio je podučiti igračima kako samo-regulirati svoje stanje uma u stresnoj zahtjevnoj situaciji na svoju korist tako da budu više meditativni, oni koji uspiju postati sporiji svaki oblik će pasti u odgovarajućom brzinom na svoje mjesto. Razlika koju će ova značajka učiniti postaje sve istaknutija kako se razine povećavaju. Ova ozbiljna igra je multi-dretovna aplikacija gdje se brzina trenutne padajuće cigle određuje brojem milisekundi potrebno da oblik prijeđe jednu liniju prema dolje (pomaknite se na Y osi od y0 do Y1). Što je ova vrijednost koraka veća, to će sporija opadati. Sudionici su bili

zatraženi je tri puta igrati igru s krajnjim ciljem postizanja najmanje pet redaka svaki put. Brzina pada oblika povećala se za svaku razinu i da je razina bila obilježena kolapsa linije. Brzina pada blokova također ovisi o razini meditacije koju pruža BCI uređaj. Sudionicima su dobili neograničeno vrijeme treninga u kojem bi se mogli naviknuti na postavljanje i pravila igre.

Tablica 11.2 prikazuje usporedbu rezultata procjene korisnika Roma Nova virtualnom okruženju i Tetris igrama s NeuroSky slušalicama. Korisnici su izjavili da je igranje Roma Nova bilo mentalno, fizički i vremenski zahtjevnije. Također su izjavili da je Tetris bio manje frustrirajući, zahtijevao manje napora, lakše je učiti, a korisnici su postizali bodove izvedbu veća nego kod Roma Nove. Nije bilo značajne razlike u pogledu zadovoljstva koje je dobio interakcija s dva sustava.

Varijable	Roma Nova	Tetris
Mentalni napor	3.968	3.000
Fizički napor	4.032	1.933
Vremenski napor	2.516	2.667
Performanse	2.452	3.933
Trud	3.806	2.667
Frustracije	3.097	2.267
Lakoća učenja	2.516	3.967
Zadovoljstvo	4.452	4.100

Tablica 2: usporedba BCI sustava nad dvjema igara (Prema Fialek i Liarokapis, 2016)

Varijable	NeuroSky	Emotiv
Lakoća učenja	2.5161	3.6774
Zadovoljstvo	4.4516	3.4516
Performanse	2.4516	3.5806
Trud	3.8065	3.5806

Tablica 3: Usporedba dvaju BCI sustava (Prema Fialek i Liarokapis, 2016)

11.2.3. Usporedba Emotiv-a i Neurosky-a

U oba slučaja uređaji su korišteni za navigaciju avatara u virtualnom okruženju Roma Nova. Rezultati su prikazani u Tablici 11.3 i ukazali su da je to lakše je kontrolirati avatar, postigao veću mogućnost učenja i ocijenjena izvedba je veća kada koristite Emotiv. Štoviše, korištenje Emotiv slušalica zahtijevalo je i manje napora nego pomoću NeuroSky. Međutim, zadovoljstvo je bilo veće u Neurosky-u.

Najveći problem u cijelom eksperimentu je bila BCI nepismenost, jer ako korisnici ne mogu proizvesti dovoljno kvalitetan signal koji bi uređaj mogao očitati, te će takve smetnje direktno utjecati na krajnje rezultate eksperimenta. Uređaji sami po sebi imaju svrhu te su i korisni u svakodnevnom životu, ali ako se korisnici ne znaju njima služiti, oni gube svu svrhu. Problem kod korištenja tih uređaja je što su oni sami limitirani dosta sa tehnološkog aspekta, tj. ne mogu još savršeno prepoznavati moždane signale, tj. dobivaju slabi *feedback* od korisnika vezan za signale. Prije nego se nastavi sa razvojem BCI uređaja, trebala bi se smanjiti BCI nepismenost, jer izuzetno kvalitetan uređaj nema smisla ako se korisnik ne zna njime služiti. Iako je u ovom eksperimentu Emotiv bio bolji uređaj, kod oba uređaja korisnici su imali dosta problema sa treniranjem da bi se mogli njima koristiti kvalitetno, te neki čak nisu ni uspjeli zbog prethodno navedenih faktora.

U zaključku komercijalni BCI uređaji su daleko došli od običnih elektroda i ogromnih računala, ali je nova prepreka čovjek koji mora naučiti kako ih koristiti.

12. Istraživanje tržišta za BCI

Istraživanje tržišta za BCI je provedeno anketom nad skupinom akademskih građana zbog toga što samo polje znanosti BCI i sama tehnologija je dosta naprednija, te je uzeto u obzir da netko tko ima niži nivo obrazovanja ne bude znao u potpunosti razumjeti pitanja te u tom smislu dati valjan odgovor. U tom smislu u anketu su uključeni ispitanici koji su stariji od 18 do neodređeno, jer se također uzima u obzir da mlađi ispitanici nisu dovoljno upoznati sa temom. Nadalje u anketu su uključeni ispitanici koji su završili neki informatički fakultet, te već imaju iskustva sa robotima ili su općenito upoznati sa BCI-em, uzimalo se u obzir da ispitanici rade u polju robotike ili da rade na programima ili uređajima koji na neki način povezuju ljude i računala. Ova anketa je više namijenjena za ljude koji imaju već iskustva u tehnološkim poljima koji vežu ljude i računala, u tom smislu sama anketa nije za javno anketiranje jer većina ispitanika koji ne pokrivaju gore navedene uvjete ne bi dalo odgovor koji bi bio važeći za krajnji rezultat.

Sama anketa je na nekoliko načina obuhvatila polje BCI, te se u tom tonu ispitalo ispitanike. Anketa propituje ispitanike njihovo općenito znanje za sami BCI, koliko su upoznati, da li shvaćaju njegove prednosti i mane te njihovo stajalište vezano za sami BCI, tj. etička opravdanost jer BCI ipak podrazumijeva na određenim razinama direktno operiranje i manipulacija moždanih signala. Anketa nadalje propituje općenito stajalište ispitanika kakav oni pogled imaju na tehnička unaprjeđenja ljudskog tijela, također na liječenje i pomaganje bolesnicima sa tehničkog aspekta. U ovom smislu se pod tehnički aspekt smatra BCI, znači ispituje se kako bi ispitanici prihvatili i koliko bi platili za proteze vezanih za noge, ruke, oči itd., te da li bi bili voljni ugraditi elektronički čip u sami mozak radi bolje praćenja njihovog zdravlja. Kako je navedeno unaprjeđenja ljudi u smislu genetsko modificiranje, modificiranje krvi te općenito sa biološke strane nije ispitano jer ti pojmovi i tehnologije ne spadaju pod BCI već pod druge grane znanosti vezane za unaprjeđenja ljudi. U nastavku se propituje njihovo znanje o Emotiv-u te njihova voljnost, tj koliko su spremni platiti uređaj koji je prethodno obrađen u radu. U anketi se ispituje samo za Emotiv jer kako bi dobili pravovaljane odgovore za oba uređaja to bi značilo da ispitanici trebaju biti otprije upoznati sa tim uređajima ili ih se treba educirati prethodno za što anketa nije prigodno sredstvo edukacije. Na kraju se propituje samo stajalište vezano za etičku pravovaljanost BCI, da li on opravdava rezultate za ono što se traži od pacijenata kako bi si poboljšali život ili vratili na otprije

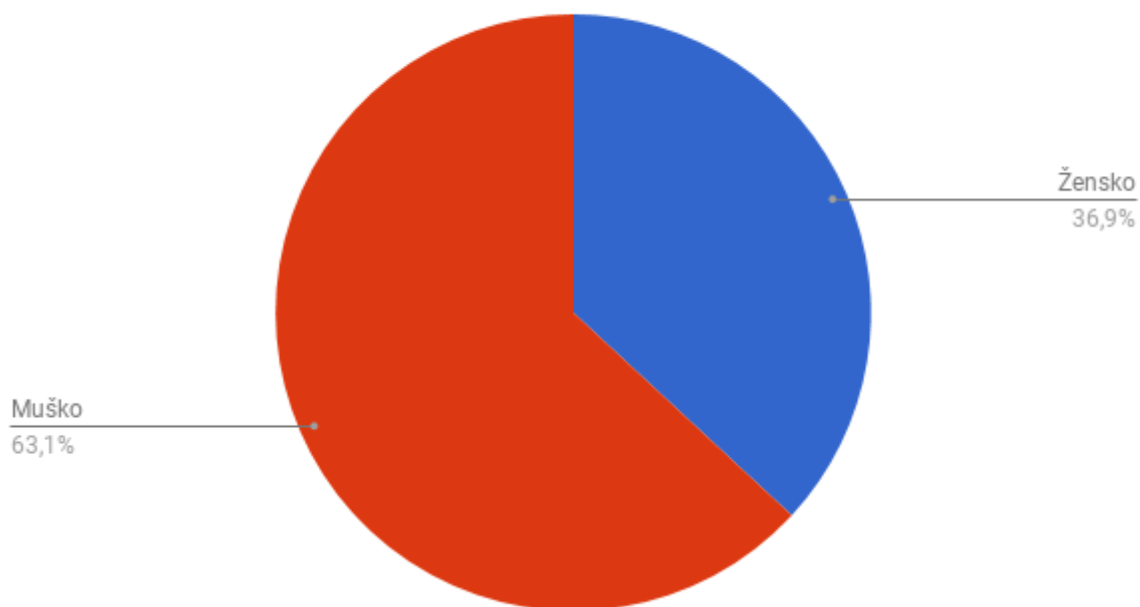
bolesti ili neke nesreće zbog koje sada njima BCI može pomoći. Ispitanike se propituje njihovo mišljenje za kakvu oni misle da će BCI imati budućnost, da li će se proširiti upotreba ili će zamrijeti tehnologija.

Iako je bilo tek 104 ispitanika, neki grafovi ne budu prikazivali tačno broj 104, jer su pitanja u obliku odaberi više mogućih odgovora, tako da u tom slučaju će se prikazivati oni odgovori koji su najviše puta odabrani iako ih se moglo više odabrati, prikazat će se najučestaliji.

12.1. Sastav uzorka nad kojim je izvršeno propitivanje tržišta

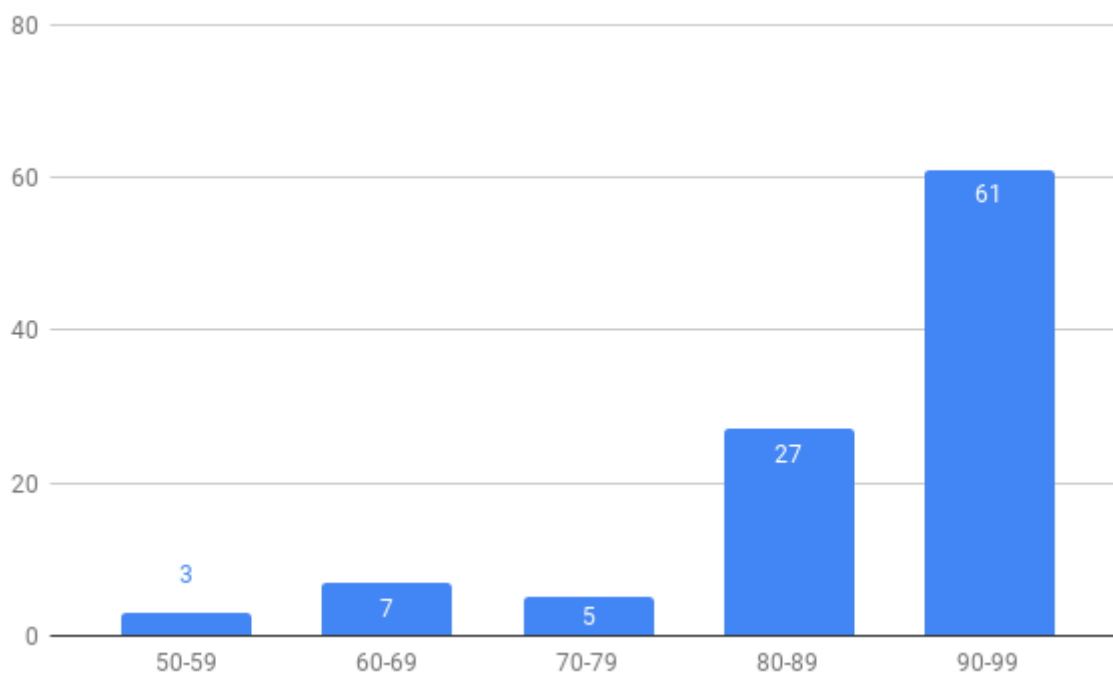
Anketi je pristupilo 103 ispitanika od kojih je:

Ukupno Spol:



Slika 4. Postotak ženskih i muških ispitanika

Raspon godišta ispitanika koji su ispunili je dosta velik za uzorak takve veličine, godine su od 1957.-1996.:



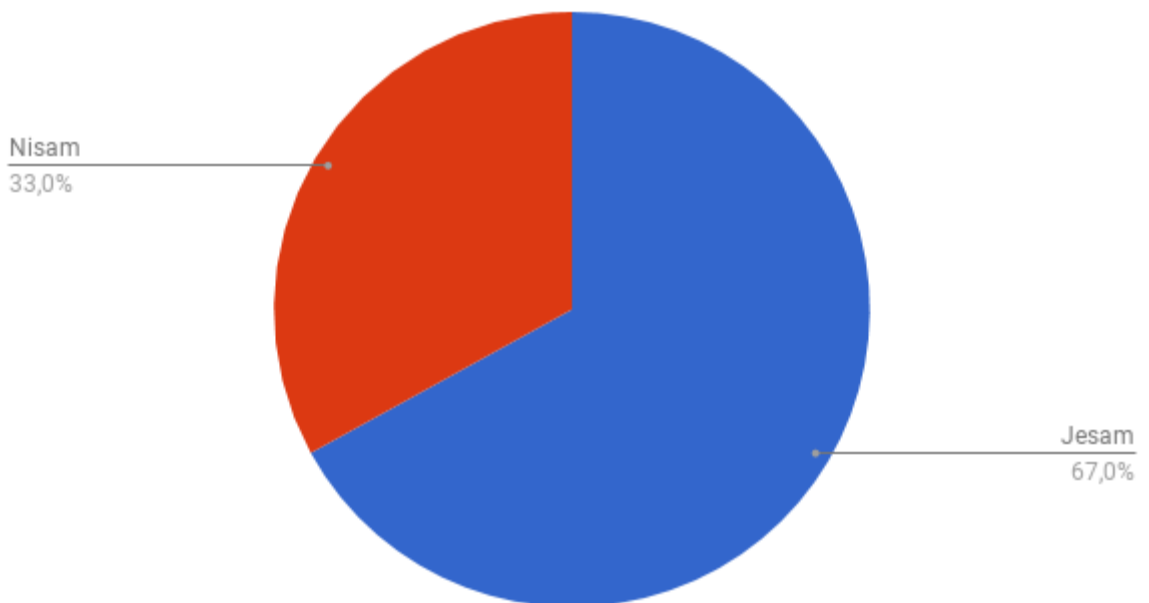
Slika 5. prikazuje raspon godišta ispitanika koji su sudjelovali u anketi

12.2. Istraživanje upoznatosti sa BCI te mišljenje o BCI-a

U ovom dijelu će se prikazati koliko su ljudi upoznati sa samim BCI, tj. koliko znaju o spajanju ljudi i tehnologije gdje bi ljudi mogli upravljati uređajima sa moždanim valovima. Također se propituje stajalište ispitanika vezano za etičku prihvatljivost ovakvog načina tretiranja ljudskog tijela.

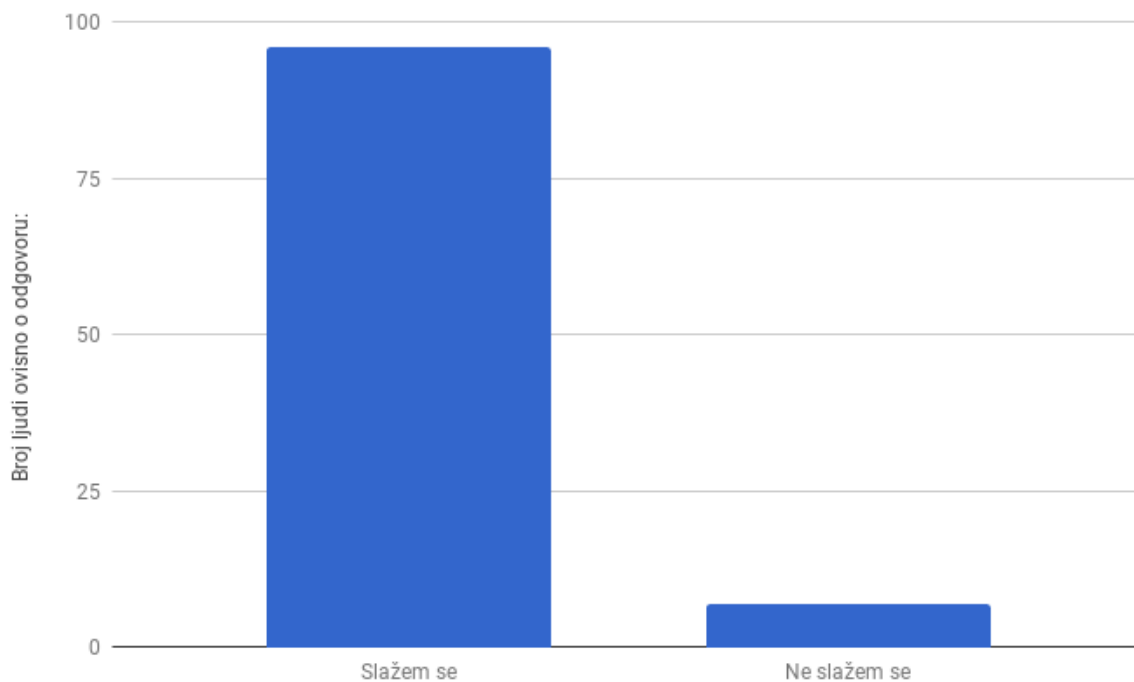
Za tehnologiju koja iako postoji već duže vrijeme, ali je tek u zadnjih 10-15 godina počela aktivno zauzimati mjesto na javnoj sceni, dosta velik postotak ispitanika je upoznat sa BCI. Razlog tome može biti što su svi ispitanici u polju informatike, tj. rade na nekom obliku sučelja između ljudi i računala, strojeva itd.

Postotak ljudi upoznat sa BCI:



Slika 6. Postotak ljudi upoznat sa BCI

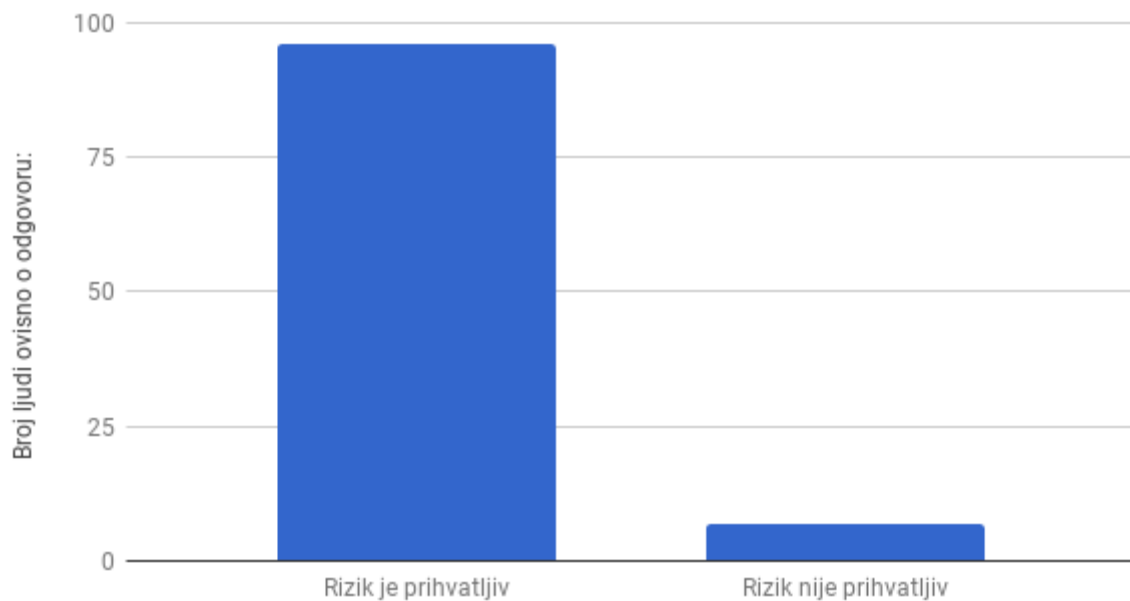
Prema grafu možemo vidjeti da je čak 67% ljudi upoznati sa BCI, dok 33% nije imalo doticaja sa BCI prije.



Slika 7. Prikaz odgovora ljudi vezano uz korištenje BCI za liječenje

Na slici 7. možemo vidjeti graf koji prikazuje koliko ljudi se slaže da BCI može zamijeniti standardne lijekove, metode liječenja i slično kod ljudi koji su nepokretni ili koji su izgubili dijelove tijela i kako bi im u tome pomogao BCI umjesto da koriste standardne proteze. Na slici 7. možemo vidjeti da 96 ispitanika misli kako je BCI dobra zamjena za standardne metode liječenja, dok samo 7 je protiv. Ovaj graf prikazuje mišljenje ljudi koji se slažu po mišljenju da standardni načini više ne daju rezultate koji bili prihvatljivi za bolesnika, te koji bi im poboljšao život.

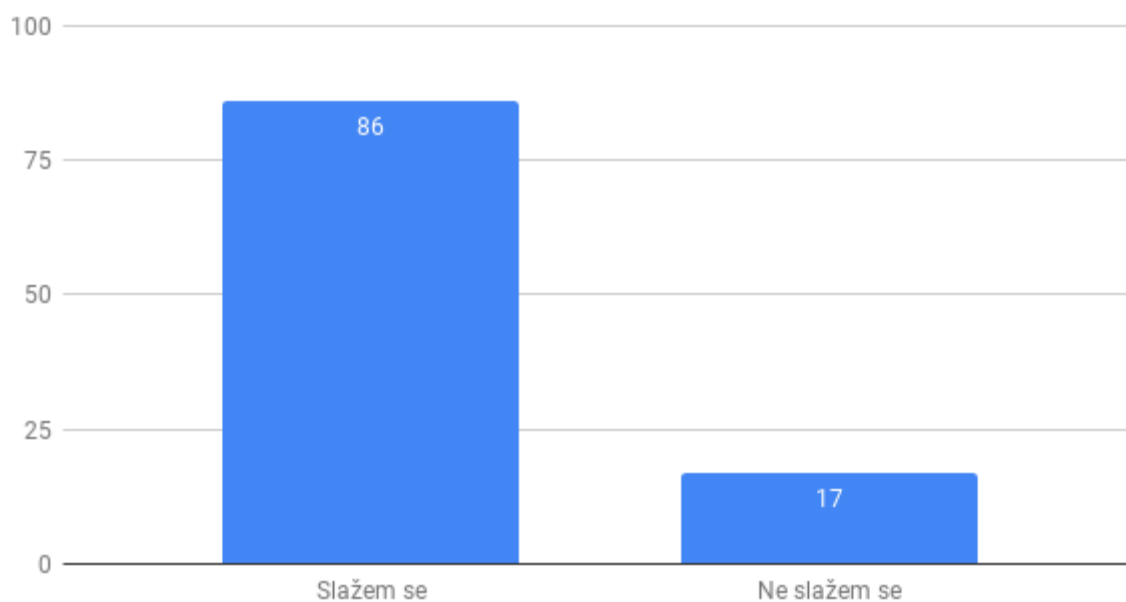
Prihvatljivost rizika BCI



Slika 8. Prihvatljivost rizika BCI

Slika 8. nam prikazuje stajalište ljudi vezano za prihvaćanje BCI, jer na određenim razinama, gdje se treba izvršiti operacija nad bolesnikom da bi se instalirao BCI, naravno postoji određeni rizik, jer takve operacije znače direktni kontakt sa mozgom bolesnika. Nakon ispitivanja tržišta, slika 8. prikazuje kako je 95 ljudi izjavilo da kako bi bolesnik imao bolje izgleda da se vrati „normalnom“ životu, rizik koji predstavlja BCI je prihvatljiv, sa druge strane 8 ispitanika je izjavilo da se takav rizik nikako ne isplati.

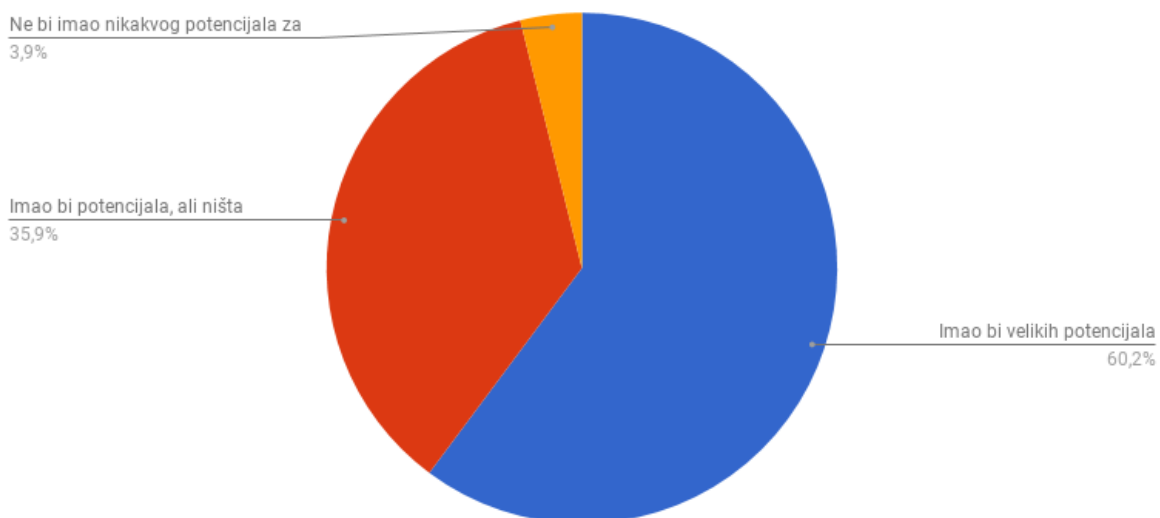
Prihvatljivost modifikacija putem BCI-a:



Slika 9. Prihvatljivost modificiranja ljudi putem BCI-a

Na slici 9. možemo vidjeti razliku sa prethodnim grafom 8. koji ispituje da li BCI može zamijeniti standardne metode liječenja. Iako nije velika razlika, ona ipak postoji. Slika 9. prikazuje da se 86 ispitanika slaže da modifikacije u smislu vraćanja osjeta njuha, sluha, okusa su prihvatljive. U ovom slučaju se podrazumijevaju modifikacije ljudi koji nisu striktno govoreći izgubili mogućnost pokreta ili koji su izgubili ruku ili nogu pa bi im trebala bionička proteza kojom bi upravljali moždanim valovima. 86 ispitanika je reklo da za povrat nekog osjetila, da se slažu da bi BCI mogao pomoći, dok 17 ispitanika se protivi takvom načinu pomaganju ljudi.

Potencijal BCI kod poboljšavanja ljudi:



Slika 10. prikazuje mišljenje ispitanika vezano uz „nadogradnju“ ljudi

Na slici 10., po pitanju „Mislite li da bi BCI imao i potencijala kod "poboljšavanja" ljudi umjesto samo u medicinske svrhe, tj. pomaganje bolesnicima?“, 60.2% ispitanika se složilo da bi imao velikih potencijala, dok je 35.9% izjavilo da bi imalo potencijala, ali ništa značajnije, tj. da ne bi imao velikog utjecaja, te 3.9% ispitanika je izjavilo da BCI nema nikakvih potencijala kod poboljšavanja ljudi. U ovom slučaju se nije uzimalo da je pojedinac nad kojim bi se instalirao BCI bolestan ili invalid u nekom obliku, u ovom slučaju „poboljšanje“ ljudi podrazumijeva isključivo nadogradnju zdravih ljudi kako bi imali bolje fizičke, kognitivne ili druge predispozicije. Samo to pitanje će se obraditi kasnije kroz rad.

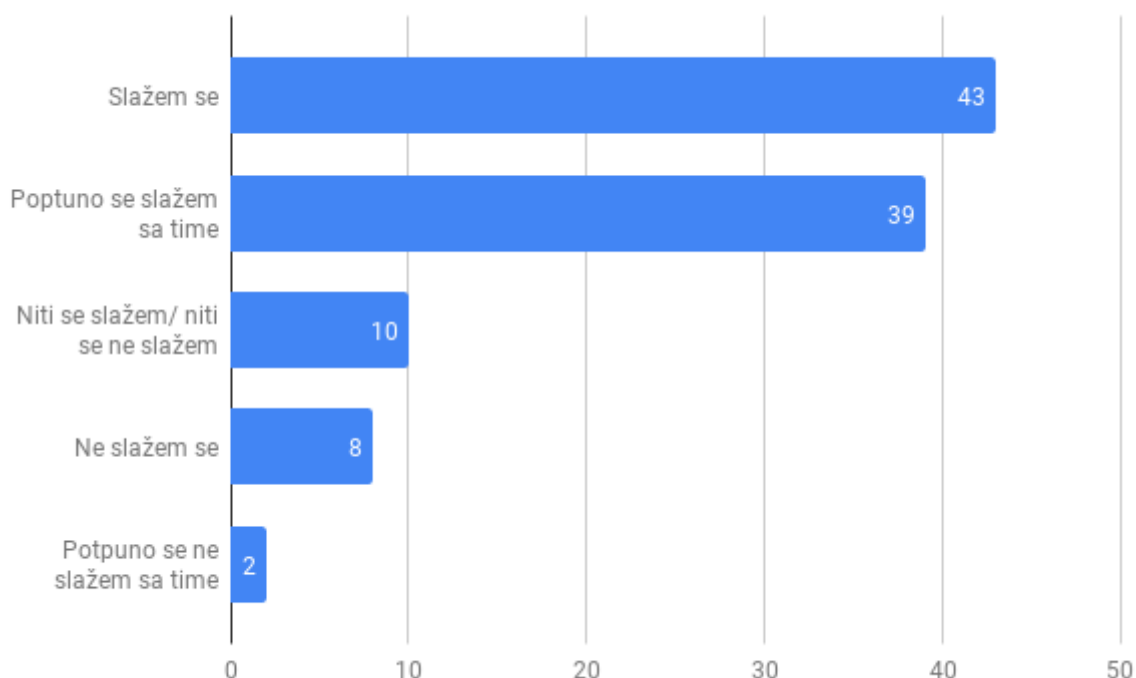
12.2.1. Zaključak

Možemo vidjeti prema podacima iz grafa 6. da od 104 ispitanika njih 70 (67%) je upoznato sa samim pojmom BCI-a, dok njih 44(33%) nije imalo prije doticaja sa BCI-om. Nadalje prema podacima iz grafa 7. možemo vidjeti da čak 96(93%) ispitanika misli kako BCI može zamijeniti standardne načine liječenja kod bolesnika koji imaju problema sa ponovno korištenjem njihovog „tijela“, dok njih 7(7%) smatra da su trenutne metode liječenja kod bolesnika za vraćanje mogućnosti hodanja, korištenja ruka itd, tj fizioterapije dovoljne kako bi bolesnik čim više ozdravio. U grafu 8. možemo vidjeti kako 95(91%) ljudi smatra da iako je BCI u današnje vrijeme još uvijek kao dugotrajnija opcija ipak veći rizik od običnih metoda liječenja jer katkada podrazumijeva direktno spajanje mozga čovjeka sa tehnologijom, ipak 91% ispitanika smatra da je BCI svejedno prihvatljiv, dok je samo 8(8%) ispitanika izjavilo da smatra da je rizik ipak još prevelik jer je to polje još neistraženo dovoljno. Kod grafa 9. možemo vidjeti da čak 86(83%) ispitanika misli kako je modificiranje ljudi prihvatljivo i preporučljivo onima koji bi htjeli vratiti svoj vid, sluh itd. nadalje iz grafa 9. možemo vidjeti da je njih 17(17%) protiv modifikacija ljudi jer se to smatra većim dijelom neljudski, što se prikazuje na podacima dalje navedenima u radu. U grafu 10. možemo vidjeti da 62(60.2%) ispitanika misli kako bi BCI imao velikih potencijala u nadogradnji ljudi, tj da se ide dalje od samog pomaganja ljudima te da ih se sa tehnološke strane unaprijedi. Također možemo vidjeti da je 36(35.9%) ispitanika misli da bi BCI imao potencijala, ali da takav način unaprjeđenja ljudi ne bude zaživio i 6(3.9%) ispitanika smatra da BCI ne bi imao nikakvog potencijala kod unaprjeđenja, te da će biti odbačen takav način modificiranja.

12.3. Ispitivanje vezano općenito uz „unapređenje“ ljudi kroz tehnologiju

12.3.1. Prikaz statistike za ne-invazivne uređaje za poboljšanje ljudi

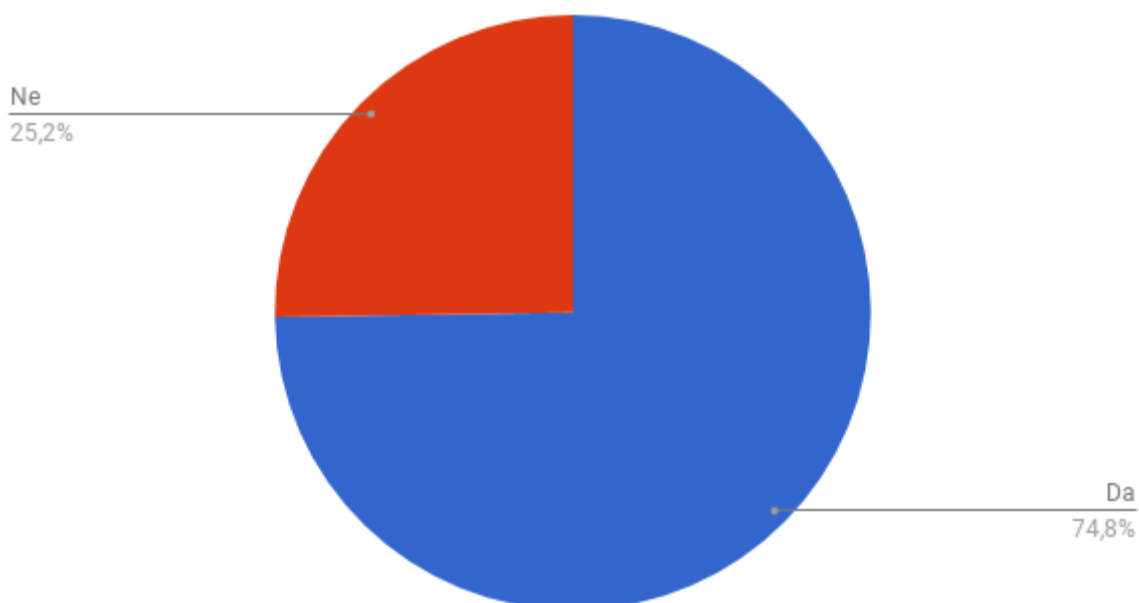
U ovom poglavlju će se prikazati stanje tržišta za BCI vezano za ne-invazivne uređaje koji ljudi mogu koristiti kako bi si poboljšali život u nekom pogledu. Također će se prikazati koji su to uređaji koje bi ljudi najradije koristili te koliko su spremni platiti takve uređaje.



Slika 11. prikaz stajališta ispitanika za spajanje ljudi sa računalom u svrhu „unaprjeđenja“ ljudi

Na slici 11. možemo vidjeti stajalište ispitanika vezano za spajanje ljudi i računala. U ovom smislu se podrazumijeva da bi spajanje ljudi sa računalom bolje pratilo zdravlje ljudi, njihovu težinu (BMI), mogle bi se pronalaziti mane, podsjećati pojedince kada da uzmu koje lijekove, koje lijekove da uzmu kako bi najbolje tretirali bolest itd.. Stupci na slici 11. prikazuju da 39 ispitanika se potpuno slaže sa time, 43 ispitanika se samo slaže, 10 ispitanika je ravnodušno, 8 ih se ne slaže i 2 se u potpunosti ne slaže sa takvim spajanje ljudi i tehnologije.

Prihvatljivost ne-invazivnih uređaja za poboljšanje života:

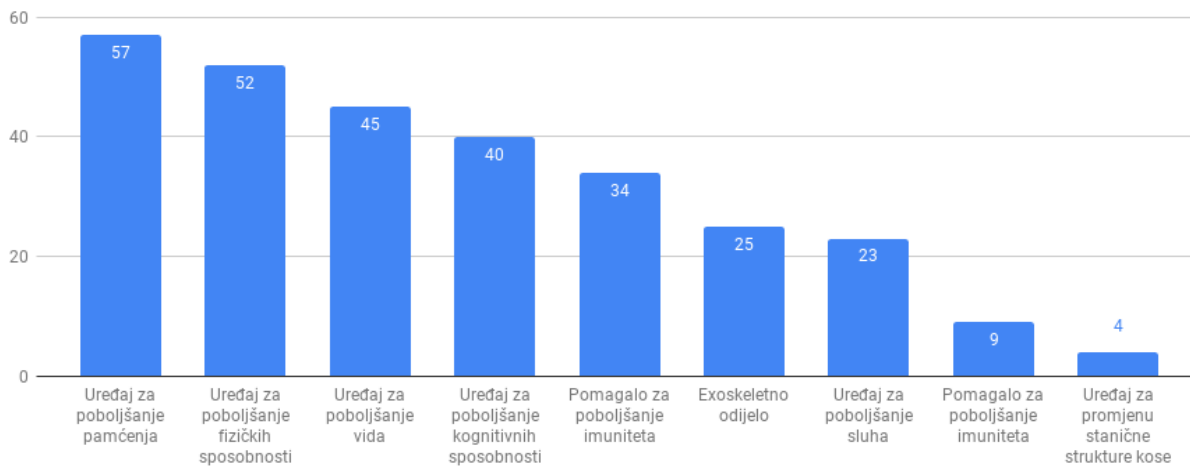


Slika 12. prihvatljivost ispitanika za ne-invazivne uređaje

Na slici 12. možemo vidjeti odgovore ispitanika na pitanje : „Da li bi bili voljni koristiti uređaj koji poboljšava vaš svakodnevni život(uređaj koji poboljšava vid, uređaj koji poboljšava fizičke sposobnosti, poboljšavanje pamćenja itd.)“ . Pod ovo pitanje se ubraja i uređaj prethodno obrađen, Emotiv, pitanje tog uređaja je također obrađeno kroz anketu. Prema slici 12. možemo vidjeti da bi 74.8% ispitanika bilo voljno koristiti uređaje određene vrste kako bi si poboljšali određene fizičke aspekte, dok bi 25.2% ispitanika bilo protiv korištenja takvih uređaja. Na ovo pitanje se nadovezuje i sljedeći graf koji prikazuje koji su to sve uređaji koje bi ispitanici htjeli koristiti.

Ispod vidimo sliku 13., koja nam pokazuje koji uređaj bi ispitanici najviše koristili:

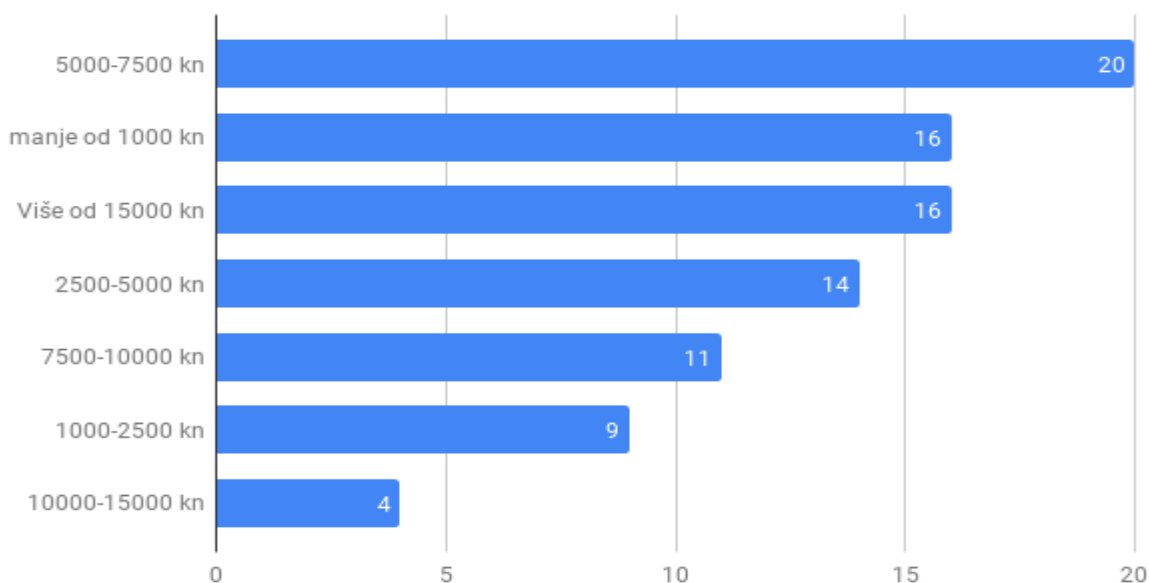
- 57 ispitanika je odabralo uređaj za poboljšanje pamćenja
- 52 ispitanika je odabralo uređaj za poboljšanje fizičkih sposobnosti
- 45 ispitanika je odabralo uređaj za poboljšanje vida
- 40 ispitanika je odabralo uređaj za poboljšanje kognitivnih sposobnosti
- 34 ispitanika je odabralo pomagalo za poboljšanje imuniteta
- 25 ispitanika je odabralo exoskeletno odijelo
- 23 ispitanika je odabralo uređaj za poboljšanje sluha
- 4 ispitanika je odabralo uređaj za promjenu stanične strukture kose



Slika 13. prikaz najčešće odabranih uređaja za poboljšanja ljudskih performansi, ne trajna unaprjeđenja

Nadalje, ispod je slika 14. koja prikazuje koliko su ljudi voljni platiti za gore navedene uređaje koji bi im „olakšali“ život:

- 20 - 5000-7500kn
- 16 – manje od 1000
- 16 – više od 15000
- 14 – 2500-5000kn
- 11 – 7500-10000kn
- 9 – 1000-2500kn
- 4 – 10000-15000kn



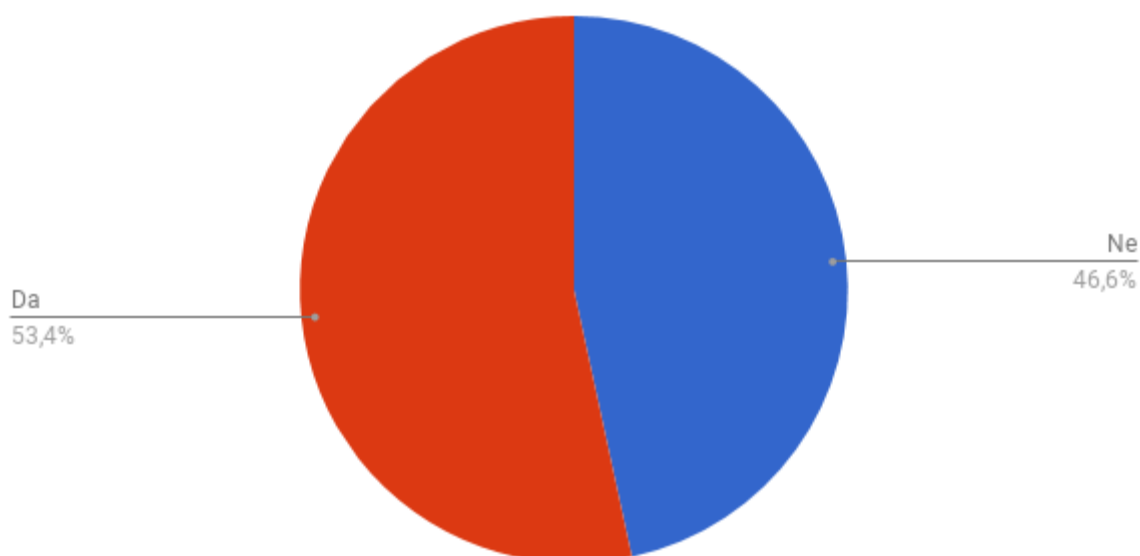
Slika 14. rangovi cijena za uređaje za poboljšanje ljudskog tijela

12.3.2. Prikaz statistike za invazivne uređaje za poboljšanje ljudi

Ovo poglavlje pokazuje istraživanje tržišta za invazivne uređaje, tj. za uređaje koji će ljudi moći instalirati na svom tijelu nekom operacijom. Prikazat će se koje sve uređaje bi ljudi htjeli imati u svom tijelu te koliko bi bili spremni platiti za unaprijeđenje određenih dijelova tijela.

Sljedeća slika 15. pokazuje postotak ispitanika koji je voljan operacijom „instalirati“ u svoje tijelo dugoročno rješenje, tj. poboljšanje radi nekih beneficija koje bi mogli dobiti.

Postotak voljnosti na operaciju zbog dobivanja nekog unaprijeđenja:

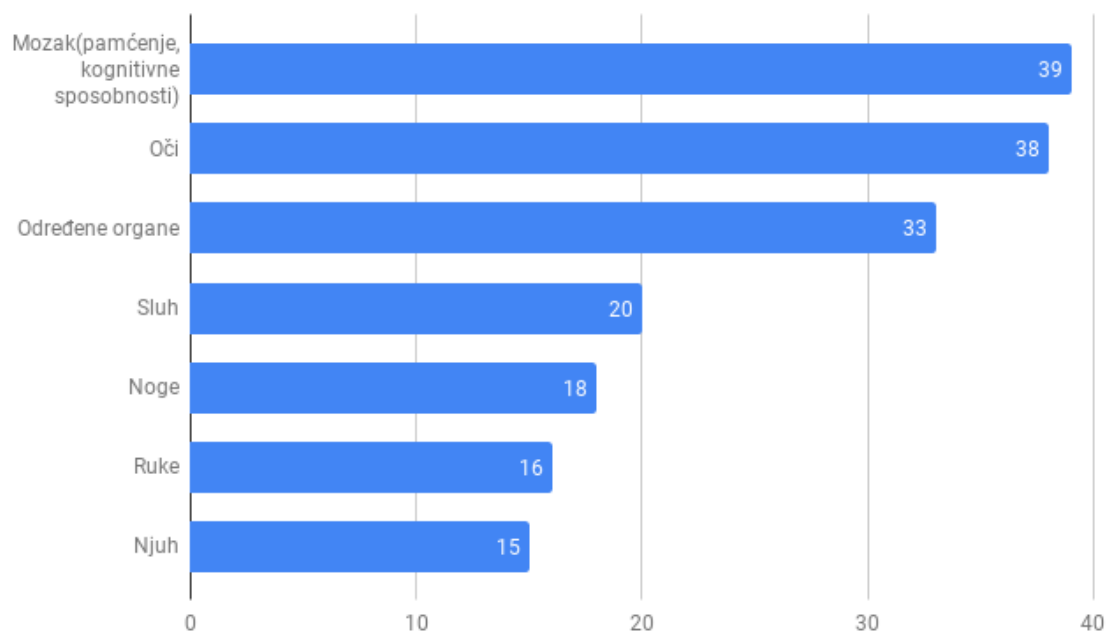


Slika 15. prikaz ispitanika koji su (ne)voljni operacijom se unaprijediti

Možemo vidjeti da je 53.4% ispitanika izjavilo da bi bilo voljno operacijom unaprijediti svoje tijelo, dok je 46.6% protiv toga. Ovdje možemo primijetiti veliku razliku u odnosu na koliko je ispitanika bilo voljno samo koristiti uređaje, gdje je 74.8% izjavilo da bi htjelo koristiti neke uređaje, ali se taj broj smanjio na trenutnih 53.4% kada je u pitanju trajnije rješenje. Možemo primijetiti da iako ljudi polako sve više prihvaćaju BCI, tj. spajanje ljudi sa tehnologijom, još uvijek postoji neki otpor prema baš mijenjaju dijelova tijela za bioničke proteze.

Ispod možemo vidjeti da kada bi se ispitanicima omogućila takva operacija, tj. barem onima koji su rekli da bi bili voljni pristati na operaciju, koje dijelove tijela bi najradije „unaprijedili“:

- 39 - bi unaprijedilo svoje kognitivne sposobnosti
- 38 - bi unaprijedilo svoje oči
- 33 - je stavilo da bi određene organe unaprijedilo (objašnjeno ispod slike)
- 20 - bi unaprijedilo sluh
- 18 - bi unaprijedilo noge
- 16 - bi unaprijedilo ruke
- 15 - bi unaprijedilo njih



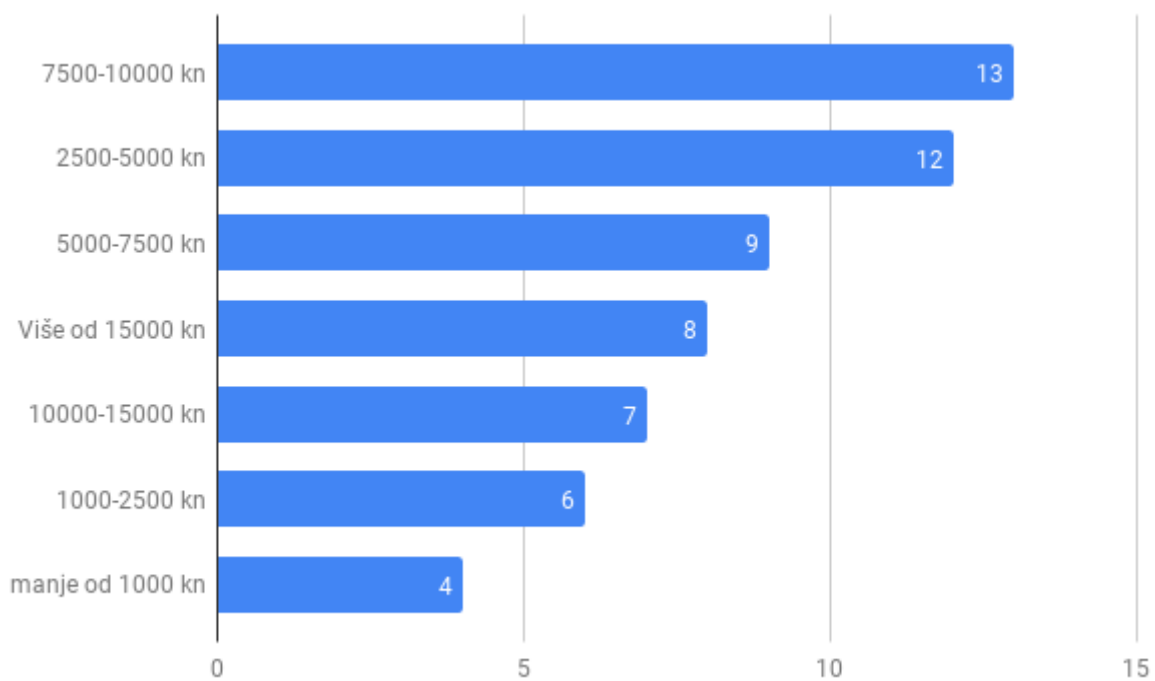
Slika 16. najviše odabran dio tijela za unaprjeđenje

U grafu 16. možemo vidjeti da ima kategorija „Određeni organi“. U ovom slučaju to bi značilo da bi ispitanici odabrali jedan određeni organ kako bi unaprijedili svoj metabolizam, otpornost na bolest, bolje pluća(zbog astme), bubrege(da više ne moraju na dijalizu) ili jetra.

Nadalje možemo vidjeti na slici 17. koliko su ispitanici voljni platiti za takva unaprjeđenja, tj za takve operacije, možemo primijetiti da su brojevi manji nego kod

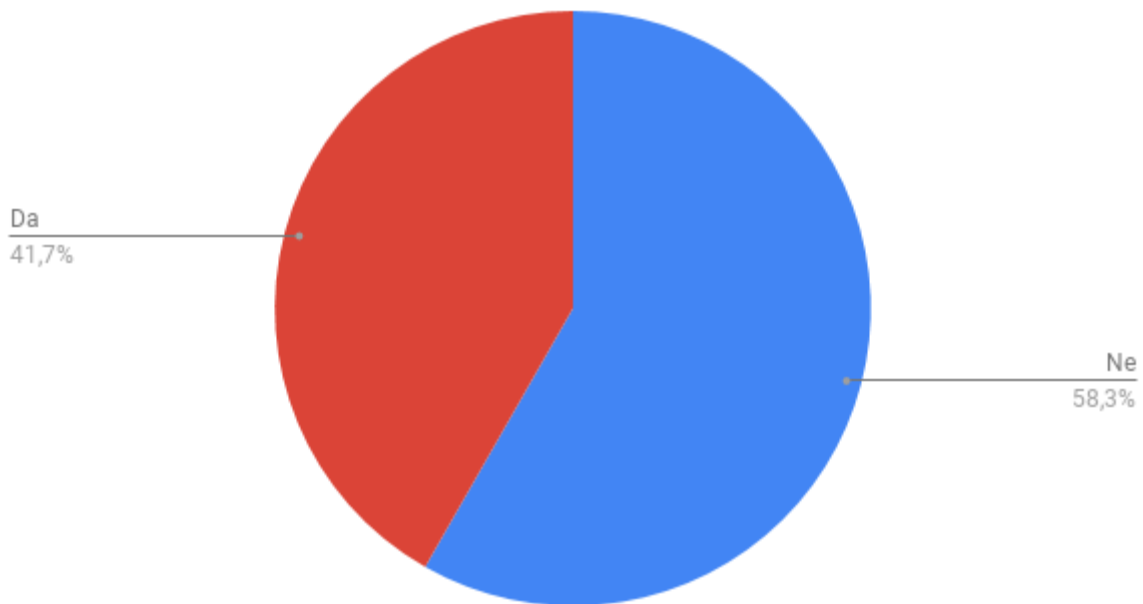
ostalnih grafova, to je zato što nisu svi ispitanici odabrali da bi bili voljni operacijom se „unaprijediti“:

- 13 – 7500-10000kn
- 12 – 2500-5000kn
- 9 – 5000-7500kn
- 8 – više od 15000kn
- 7 – 10000-15000kn
- 6 – 1000-2500kn
- 4 – manje od 1000kn



Slika 17. rangovi koliko su ispitanici spremni odvojiti za unaprjeđenja

Prikazivanje koliko su ljudi voljni ugraditi čip u mozak:



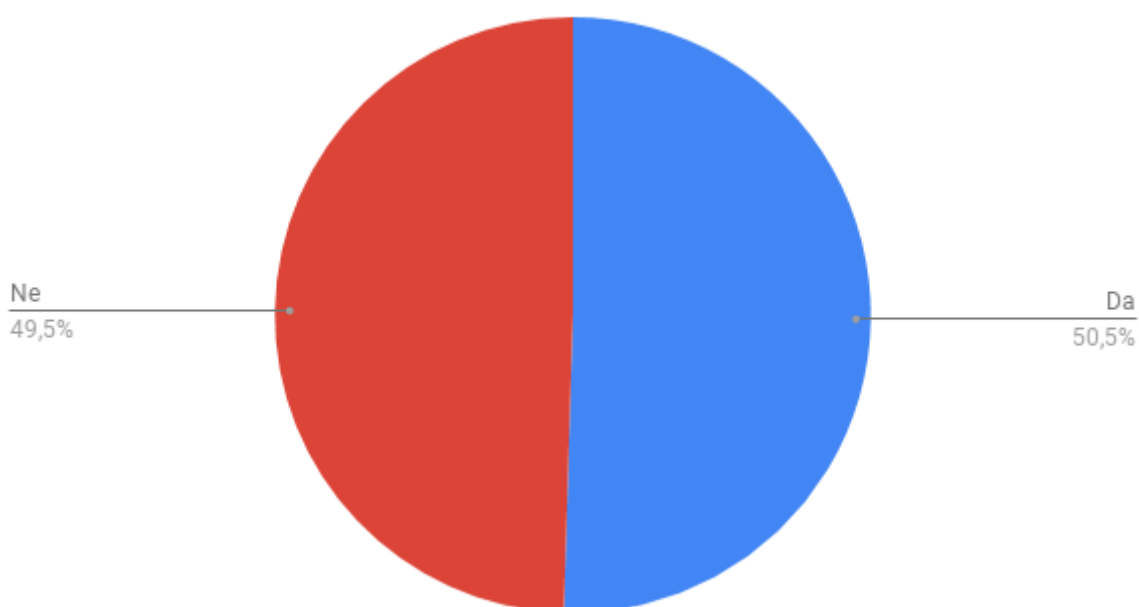
Slika 18. Čip-mozak

Slika 18. nam prikazuje postotak koliko su ispitanici voljni ugraditi elektronički čip u mozak, radi boljeg praćenja zdravlja, ili ranije detekcije mentalnih bolesti. Možemo vidjeti da zapravo većina ispitanika ne bi htjela se podvrgnuti takvoj operaciji, čak 58.3% ispitanika je reklo ne, dok je 41.7% reklo da.

12.3.3. Mišljenje ispitanika vezano za Emotiv

Na slici 19. možemo vidjeti koliko ljudi bi htjelo koristiti sami Emotiv uređaj. Sami uređaj je ukratko objašnjen u pitanju, iako je kako je prethodno navedeno, teško ostvariti da se ispitanici obrazuju o određenoj temi kroz anketu, zbog takve situacije je umjesto da se propitivalo za Emotiv i Neurosky, ispitanike se propitivalo samo za Emotiv.

Prikaz koliko je ljudi voljno koristit Emotiv:



Slika 19. Emotiv

Možemo vidjeti da iako je Emotiv veliki korak naprijed u polju BCI, ispitanici ipak nisu izrazili preveliku zainteresiranost za samim uređajem. Dojam je općenito da iako je dosta napredan, da mu je svrha van liječenja ljudi, dosta ograničena, te zbog toga je 49.5% protiv, a 50.5% za korištenje uređaja Emotiv.

Također na slici 20. dolje može vidjeti da iako je zainteresiranost već ovako mala za Emotiv, kada im se obznanilo da je sami uređaj oko 700\$, tj. ~4500kn, još manje ljudi je bilo voljno koristiti takav uređaj.

Prikaz koliko ljudi je voljno platiti 4500kn za Emotiv:

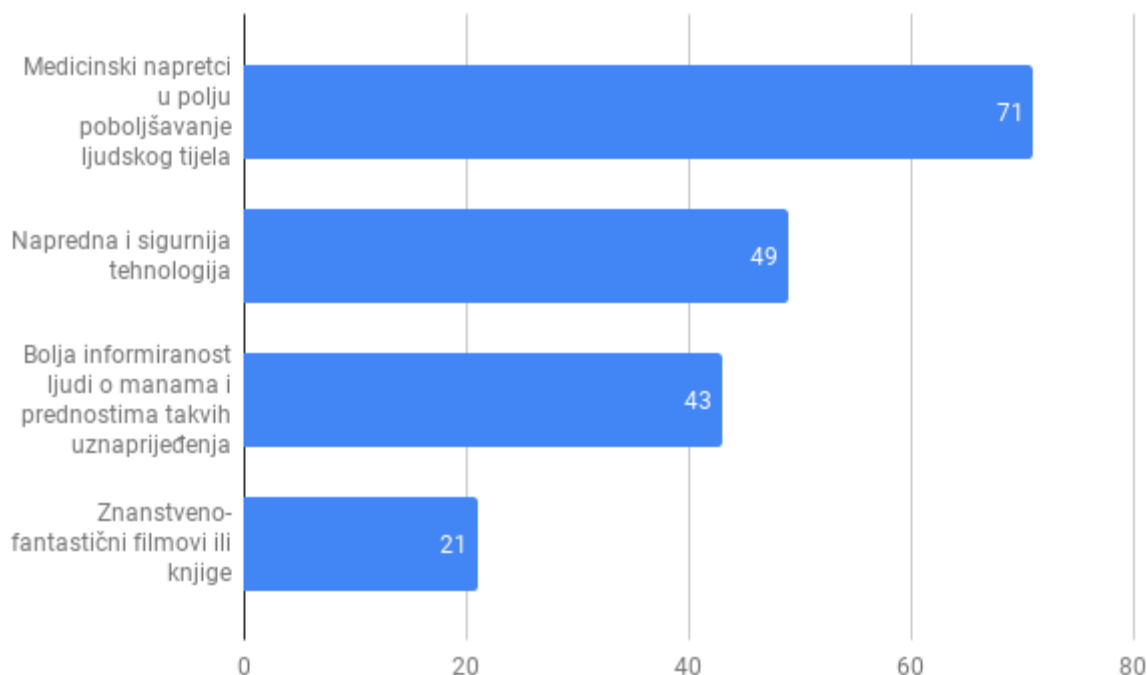


Slika 20. Emotiv - cijena

12.3.4. Predviđanja tržišta za BCI

U ovom poglavlju ćemo pokazati mišljenje ispitanika u vezi kakvu budućnost očekuju glede BCI-a, te da li uopće smatraju da će BCI biti sve više učestao prizor u budućnosti ili za BCI kao tu granu tehnologije je teško da će to ostvariti.

Na slici 21. dolje, ispitanici su upitani što oni misle da prema predviđanjima nekih znanstvenika koji kažu da ljudi koji koriste BCI će se samo povećati, što misle oni po tom pitanju da čemu bi mogao biti razlog tomu.

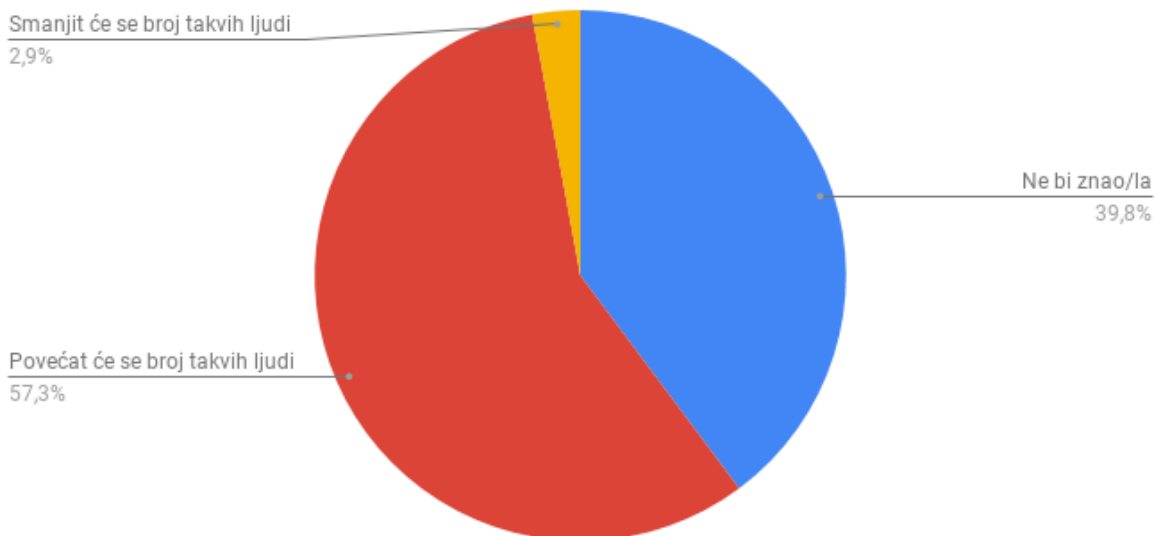


Slika 21. razlozi za povećanje ljudi sa BCI

Možemo vidjeti na grafu 21. da ispitanici vjeruju da je najvećim dijelom razlog napredak u medicinskom polju koji će omogućiti da BCI više nema toliko rizika kada se „spaja“ sa ljudima. 71 glasova je dano medicinskim napretcima u polju poboljšavanja ljudskog tijela, 49 glasova je dano naprednijoj i sigurnijoj tehnologiji koja se tek još bude razvila. Nadalje 43 glasova je dano boljoj informiranosti ljudi vezanih za takva unaprijeđenja, te 21 glasova je dano utjecaju znanstveno-fantastičnim filmovima ili knjigama.

Na slici 22. možemo vidjeti mišljenje ispitanika vezano uz da li oni smatraju da će se broj ljudi koji će biti u nekom smislu unaprijeđeni ili izmijenjeni tehnološki, biti učestaliji prizor ili će se smanjiti broj takvih ljudi.

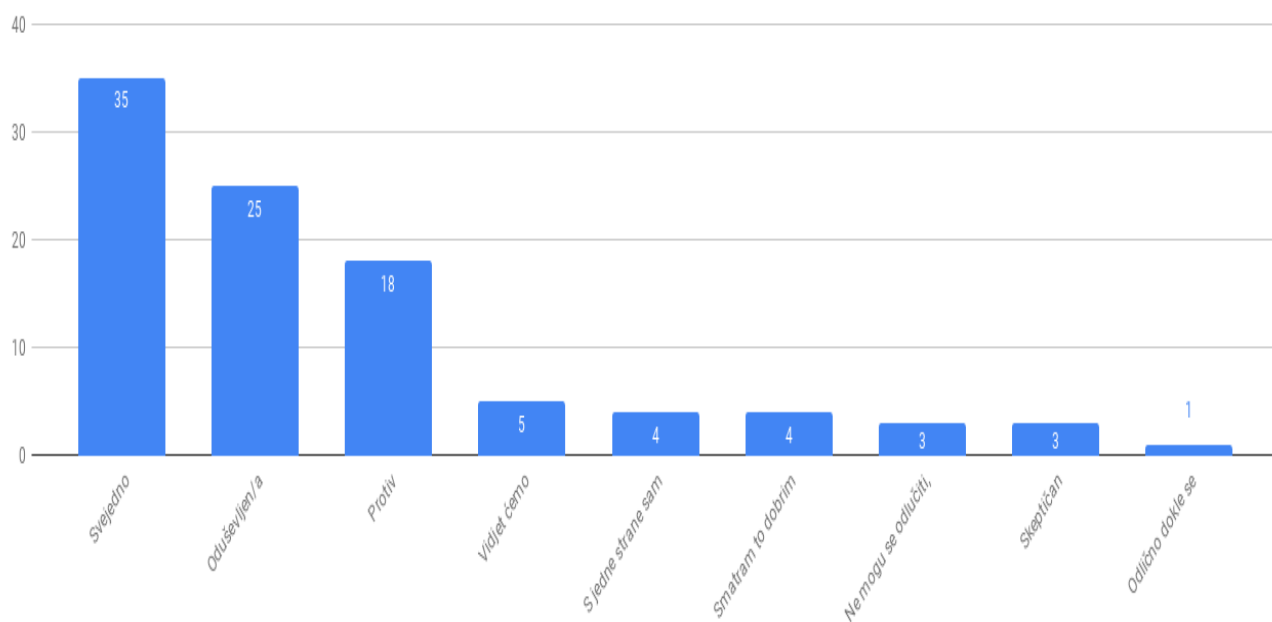
Mišljenje ispitanika o povećanju broja "poboljšanih" ljudi:



Slika 22. povećanje broja „poboljšanih ljudi“

Možemo vidjeti da je 57.3% ljudi uvjereni da će broj takvih ljudi povećati, dok je samo 2.9% uvjereni da ne bude, a 39.8% je suzdržano.

Slika 23. ispod prikazuje stajalište ljudi vezano za predviđanje povećanja broja unaprijeđenih ljudi do 2050. godine.



Slika 23. predviđanja ispitanika vezano za budućnost sa unaprijeđenim ljudima

Kao što vidimo na slici 23. ispitanici su dosta podijeljeni po pitanju povećanja broja „poboljšanih“ ljudi. Najviše je broj ljudi, tj. 35 koji su ravnodušni, dok je 25 ispitanika oduševljeno sa takvom budućnosti, a njih 18 je protiv. Također možemo vidjeti da je 4 ispitanika oduševljeno, ali istovremeno i prestravljeno. Isto tako je 3 skeptično, dok 3 smatra da je takva budućnost odlična ali i manje ljudska budućnost. Njih 1 također smatra da je to odlična stvar za budućnost ljudi, ali samo dokle god se to bude moglo kontrolirati i nadzirati, također da se ne bude moglo zloupotrebjavati kako od strane pojedinaca tako i od strane vlada.

12.4. Zaključak o istraživanju tržišta za BCI

BCI omogućuje da ljudi koji su izgubili noge, ruke, vid, sluh itd., da im se može pomoći tako da im se vrati što su izgubili, ovo polje znanosti je još uvijek neistraženo jer proučavati ljudski mozak nije mali pothvat, te ga ljudi ne razumiju još u potpunosti.

Kao što smo vidjeli kroz teoretski dio, BCI je krenuo od dosta revolucionarnih ideja, kako spojiti čovjeka i računalo, i od tada je ta znanstvena grana izuzetno napredovala. Kroz ovaj rad je obrađena cijela povijest BCI, od ranih početaka do kakvi sve oblici BCI-a postoje danas. Sama grana znanosti je krenula od toga da se sve može samo preko invazivnih operacija riješiti do toga da sada imamo uređaje koje samo stavimo na sebe i možemo upravljati strojevima, bioničkim protezama i dr. samo pomoću misli (tj. moždanim valovima).

Kroz praktični dio je odrađeno istraživanje tržišta vezan sa BCI, jer u počecima BCI nije bio izuzetno prihvaćen jer je bio smatran ludom znanosti i neljudskim. Kao što možemo vidjeti iz grafa 7., čak 96 ispitanika misli da su standardni načini liječenja zastarjeli, te da bi BCI bio odlična zamjena, iz toga možemo vidjeti da su ljudi postali otvorenijeg uma kada je u pitanju spajanja čovjeka i tehnologije, iako postoje još neki mali otpori, sveukupno gledano, ljudi žele da mogućnosti koje BCI nudi da se ostvare čim prije. Isto tako ljudi su spremni prihvatiti rizike koje BCI trenutno ima jer tehnologija još nije usavršena, kao što možemo vidjeti u grafu 8. njih 95 od 103, smatra da kako bi pojedinac mogao ponovno imati „normalan“ život, da se onda isplati prihvatiti rizik. Također u svrhu modificiranja ljudi u smislu pomaganja, ugradnja pužnica, bioničkog oka ili jezika u ovom slučaju 86 od 103 smatra da je to u redu dok je njih 17 je protiv toga, jer bi njima to narušavalo svetost ljudskog tijela, kao što je vidljivo iz grafa 9. Iz grafa 10. možemo vidjeti da 60,2% ispitanika smatra da BCI ima potencijala za unaprjeđenje ljudi, u smislu da se ne koristi samo za liječenje, nego da bi moglo biti sljedeći korak u ljudskoj evoluciji, uzdizanje kroz spajanje sa tehnologijom, njih 35,9% smatra da BCI ima takav potencijal, ali da ljudi se budu pobunili protiv toga te da će limitirati ne liječenje ljudi, a ne modifikaciju, i na kraju imamo 3,9% koji smatra da BCI nema nikakvog potencijala u tom smislu. Nadalje možemo iz grafa 11. vidjeti da čak 44 ispitanika se slaže sa spajanjem ljudi sa računalom u svrhu poboljšanja životnog

standarda ljudi. U ovom slučaju to bi podrazumijevalo kako bi se moglo bolje promatrati zdravlja pojedinca, pratiti razvoj kod djece, te bolja skrb za starije osobe, naravno moglo bi se i pomoći kod praćenja tjelesne težine, pomaganje pri učenju itd, u tom polju BCI ima ogroman broj primjena. Možemo iz grafa 11. iščitati da većina ispitanika 83 se ili slaže ili potpuno slaže, dok je 10 ravnodušno, a samo 10 se ili ne slaže ili potpuno ne slaže. Možemo vidjeti iz grafa 12. da velika većina ispitanika, čak 74,8% je spremno koristiti BCI kao ne-invazivne uređaje kako bi poboljšalo svoj život, od toga najveći dio ljudi bi koristilo uređaj za poboljšanje pamćenja i/ili kognitivnih sposobnosti. Iz grafa vidimo da iako bi ispitanici bili voljni koristiti uređaje koji bi im pomogli u svakodnevnom životu, ipak nisu toliko spremni platiti, samo njih 16 od 103 bi bilo voljno platiti 15000kn naviše za takav uređaj, dok bi većina, tj. njih 20 platilo oko 5000-7500kn. u grafu 15. možemo vidjeti da iako je velika većina bila za kupnju BCI uređaja koji bi im poboljšali život, taj broj se znatno smanjio kada je u pitanju direktno spajanje ljudi sa BCI uređajem, 53,4% je samo izjavilo da bi bilo voljno odraditi neku vrstu operacije kako bi si nadogradili tijelo, popratno na graf 15. nadovezuje se graf 16. koji nam pokazuje da većina ispitanika bi najviše operacijom htjela poboljšati kognitivne sposobnosti, njih 21,8%, dok bi najmanje ljudi 8,2% poboljšalo njih. Kada su u pitanju koliko su ispitanici voljni platiti za takva unaprjeđenja, njih 13 je spremno platiti 5000-7500kn, dok samo njih 15 je spremno platiti od 10000kn pa naviše. Graf 18. se indirektno nadovezuje na graf 11., iako vidimo da 44 ispitanika je za spajanje ljudi i tehnologije, u ovom slučaju njih 58,3% se izjasnilo da ne bi htjelo da im se u mozak ugradi čip kojim se kontroliralo njihovo zdravlje, dok je 41,7% izjavilo da bi. U ovom primjeru možemo vidjeti da iako su ispitanici prethodno bili većinom za spajanje ljudi i tehnologije, ipak su još suzdržani kada ih se ispita na konkretnom primjeru.

Podaci iz grafa 19. i 20. nam pokazuju stajalište za jedan od BCI uređaja konkretno tj. Emotiv. Kako je bio problem upoznati ispitanike sa uređajem preko ankete, dati je konkretan i sažet opis što je zapravo Emotiv, koje su njegove karakteristike te njegova svrha i po kojoj se cijeni može nabaviti. Možemo vidjeti da 50,5% ispitanika je voljno koristiti takav uređaj, što nam govori da iako Emotiv ima prednosti kod liječenja, a ne općenito u poboljšanje ljudskog tijela, tj svrha mu je još dosta limitirana, samo njih 50,5% bi bilo voljno koristiti takav uređaj. Taj postotak se još više smanjuje kada im se prikaže podatak da Emotiv dođe 4500kn, postotak ispitanika koji bi bili spremni koristiti taj uređaj pada na 43,7%.

Većina ispitanika misli da se broj ljudi koji će na neki način biti spojeni sa tehnologijom, tj sa BCI-em, će porasti u budućnosti, tj. postati će dio svakodnevice, njih 57,3% dijeli takvo mišljenje dok 2,9% se ne slaže, a ostalih 39,8% je ravnodušno ostalo. Također najveći razlog porasta broja modificiranih ljudi, ispitanici smatraju da će to biti zbog napretka u polju medicine koja će olakšati implementaciju BCI-a u ljude, njih 71 misli da će to biti najveći razlog, a 49 ih smatra da bi drugi razlog bio naprednija i sigurnija tehnologija. Na kraju mišljenje ispitanika je dosta raznovrsno po pitanju etičke opravdanosti u spajanju tehnologije i ljudi. 35 ih je ravnodušno, dok ih je 25 oduševljeno sa takvom idejom, 8 se slaže sa spajanje ljudi i tehnologije ali samo ako se to bude moglo kontrolirati, i ne koristiti u zle namjere.

Ovaj rad je obradio kako je počeo sami BCI, te kako se razvijao. U praktičnom dijelu je prikazano stanje tržišta u godini 2018. vezan sa sami BCI i pokazuje da su ljudi polako spremni prihvatiti modificirane ljude kao dio svakodnevice, također možemo vidjeti kako su ljudi spremni platiti malo veće iznose kako bi svoje tijelo poboljšali bilo samo kroz uređaj, ili direktno instaliranjem uređaja u tijelo. Iako su ljudi spremni prihvatiti spajanje čovječanstva i tehnologije, prema podacima možemo vidjeti da ih još uvijek u tome sprječava zloupotreba ili kontrola od strane vlade. Iz svih podataka koje sam dobio tokom anketiranja, mogu zaključiti da su ljudi spremni prihvatiti BCI, ali sa određenom dozom rezerviranosti, više su spremni prihvatiti BCI dokle god se ne direktno spaja sa ljudskim tijelom.

13. Zaključak

Odabrao sam ovu temu jer sam uvijek bio fasciniran tehnologijom, te što se sve sa njom može postići. Izuzetno mi je bilo zanimljivo kada sam prvi put čuo da čovjeku ugrađena proteza koju može kontrolirati makar do neke granice, umjesto da je samo običan dio koji stavi svaki dan, da ove nove proteze mogu biti funkcionalne, te me zanimalo kako takav napredak ostvaren, stoga sam odabrao ovu temu. U samom radu sam prošao kroz cijelu povijest BCI-a, kako je izgleda u samim počecima, te što BCI predstavlja danas. Kako je došlo od nekih rudimentarnih tehnologija do toga da je sada pristupačno svima. Također sam proveo istraživanje da vidim stajalište drugih ljudi vezanih za temu spajanja ljudi i tehnologije. Iz praktičnog primjera sam zaključio da je tehnologija malo pretekla sposobnost ljudi da ju mogu efektivno koristiti, također što se tiče sveukupnog stajališta ljudi koje sam ispitivao, barem za sada u 2018. odobravaju spajanje ljudi sa tehnologijom, iako još uvijek postoji određena doza skepticizma zbog zloupotrebe. Vidjeli smo da iako ne odobravaju svi spoj ljudi sa tehnologijom, ljudi su više za nego protiv, te također smo vidjeli da iako su više-manje svi spremni koristiti uređaje, osim ako im baš nije potrebno, ljudi nisu spremni samoinicijativno sebe „poboljšati“, tj unaprijediti sa određenim tehnologijama, tj poboljšati neki dio tijela trajno bez da im je to prijeko-potrebno. Postoji neka averzija prema trajnom spajanju ljudi sa tehnologijom, i vjerujem da se to tako skoro još ne bude promijenilo. Osobno sam oduševljen sa ovim područjem, te sam da mogu i da tehnologija dopušta bi možda unaprijedio neki dio tijela, u mom slučaju bolji vid. Nadam se da ovo područje znanosti se bude nastavilo poboljšavati i bude bilo sve bolje i pristupačnije svim ljudima kako vrijeme prolazi. Mislim da je tehnologija daleko došla ali da je sada važno naučiti ljude kako ju koristiti prije nego li se nastavi dalje, jer smatram da ako tehnologija bude samo napredovala da će ostaviti ljude iza, jer tehnologija koju nitko ne koristi ili nitko ne zna koristiti nije dobro za samo tehnologiju, jer iako ima velike koristi od nje, ako je nitko ne zna koristiti sa vremenom ju svi budu izbjegavali ili sveukupno prestali koristiti, a to bi bilo loše za u ovom slučaju granu znanosti koja pokušava pomoći ljudima i uspijeva u tome. Na kraju nadam se da ova tehnologija bude se još više unaprijedila i bila lakša ljudima sa korištenje, te da ubrzo bude bila općeprihvaćena jer potencijal je nemjerljiv.

14. Literatura

- [1] Vidal, JJ (1973). "Toward direct brain-computer communication". Annual Review of Biophysics and Bioengineering.
- [2] S. Bozinovski, M. Sestakov, L. Bozinovska: Using EEG alpha rhythm to control a mobile robot, In G. Harris, C. Walker (eds.) Proc. IEEE Annual Conference of Medical and Biological Society, p. 1515-1516, New Orleans, 1988
- [3] L. Bozinovska, S. Bozinovski, G. Stojanov, Electroexpectogram: experimental design and algorithms, In Proc IEEE International Biomedical Engineering Days, p. 55-60, Istanbul, 1992
- [4] Vallabhaneni A., Wang T., He B. (2005) Brain—Computer Interface. In: He B. (eds) Neural Engineering. Bioelectric Engineering. Springer, Boston, MA
- [5] Santucci, David M.; Kralik, Jerald D.; Lebedev, Mikhail A.; Nicolelis, Miguel A. L. (2005). "Frontal and parietal cortical ensembles predict single-trial muscle activity during reaching movements in primates". European Journal of Neuroscience.
- [6] Schalk, Gerwin; Mellinger, Juergen (2010). A Practical Guide to Brain-Computer Interfacing with BCI2000
- [7] Yuan, H; Liu, Tao; Szarkowski, Rebecca; Rios, Cristina; Ashe, James; He, Bin (2010). "Negative covariation between task-related responses in alpha/beta-band activity and BOLD in human sensorimotor cortex: an EEG and fMRI study of motor imagery and movements". NeuroImage.
- [8] Doud, AJ; Lucas, John P.; Pisansky, Marc T.; He, Bin (2011). Gribble, Paul L, ed. "Continuous Three-Dimensional Control of a Virtual Helicopter Using a Motor Imagery Based Brain-Computer Interface".
- [9] Qin, L; Ding, Lei; He, Bin (2004). "Motor imagery classification by means of source analysis for brain-computer interface applications". Journal of Neural Engineering.
- [10]Höhne, J; Holz, E; Staiger-Sälzer, P; Müller, KR; Kübler, A; Tangermann, M (2014). "Motor imagery for severely motor-impaired patients: evidence for brain-computer interfacing as superior control solution".
- [11]Taheri, B; Knight, R; Smith, R (1994). "A dry electrode for EEG recording". Electroencephalography and Clinical Neurophysiology

- [12] Alizadeh-Taheri, Babak (1994). "Active Micromachined Scalp Electrode Array for Eeg Signal Recording". PhD thesis. University of California
- [13] Pfurtscheller, G.; Müller, G. R.; Pfurtscheller, J. R.; Gerner, H. J. R.; Rupp, R. D. (2003). "'Thought' – control of functional electrical stimulation to restore hand grasp in a patient with tetraplegia". *Neuroscience Letters*
- [14] Do, An H; Wang, Po T; King, Christine E; Chun, Sophia N; Nenadic, Zoran (2013). "Brain-computer interface controlled robotic gait orthosis". *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*.
- [15] Singularity University (2013). "The Future Of Gaming - It May Be All In Your Head". *Forbes*
- [16] Forsythe C., Liao H., Trumbo M., Cardona-Rivera, C. (2015). *Cognitive Neuroscience of Human Systems: Work and Everyday Life*.
- [17] Ryan Schaaf R.; Mohan N. (2014). *Making School a Game Worth Playing: Digital Games in the Classroom*.
- [18] What is Biofeedback. Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback. 2008.
- [19] Sharon O; Nir Y (2017). "Attenuated Fast Steady-State Visual Evoked Potentials During Human Sleep".
- [20] Piccione F, Giorgi F, Tonin P, et al. (2006). "P300-based brain computer interface: Reliability and performance in healthy and paralysed participants"
- [21] Donchin E, Spencer KM, Wijesinghe R (2000). "The Mental Prosthesis: Assessing the Speed of a P300-Based Brain–Computer Interface". *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*
- [22] Nijboer F, Sellers EW, Mellinger J, et al. "A P300-based brain–computer interface for people with amyotrophic lateral sclerosis", 1909
- [23] Tressoldi, Patrizio E.; Pederzoli, Luciano; Bilucaglia, Marco; Caini, Patrizio; Fedele, Pasquale; Ferrini, Alessandro; Melloni, Simone; Richeldi, Diana; Richeldi, Fiorentina (2014). "Brain-to-Brain (Mind-to-Mind) Interaction at Distance: A Confirmatory Study"

- [24]Mazzatenta, A.; Giugliano, M.; Campidelli, S.; Gambazzi, L.; Businaro, L.; Markram, H.; Prato, M.; Ballerini, L. (2007). "Interfacing Neurons with Carbon Nanotubes: Electrical Signal Transfer and Synaptic Stimulation in Cultured Brain Circuits".
- [25]Grau, Carles; Ginhoux, Romuald; Riera, Alejandro; Nguyen, Thanh Lam; Chauvat, Hubert; Berg, Michel; Amengual, Julià L.; Pascual-Leone, Alvaro; Ruffini, Giulio (). "Conscious Brain-to-Brain Communication in Humans Using Non-Invasive Technologies"
- [26]Wagenaar DA, Pine J, Potter SM (2006). "Searching for Plasticity in Dissociated Cortical Cultures on Multi-Electrode Arrays". *Journal of Negative Results in BioMedicine*:
- [27]Bakkum DJ, Gamblen PM, Ben-Ary B, Chao ZC, Potter SM (2007). "MEART: The semi-living artist". *Frontiers in Neurorobotics*.
- [28]DeMarse TB, Wagenaar DA, Blau AW, Potter SM (2001). "The Neurally Controlled Animat: Biological Brains Acting with Simulated Bodies"
- [29]Carolyn Abraham (2010). "Calgary scientists to create human 'neurochip'"
- [30]Kubler A, Mushahwar VK, Hochberg LR, Donoghue JP. BCI Meeting 2005--workshop on clinical issues and application,2006
- [31]Vaughan TM, Wolpaw JR. The Third International Meeting on Brain-Computer Interface Technology: making a difference,2006
- [32]Konger C, Principe JC. Neural network classification of event related potentials for the development of a new computer interface,1990
- [33]Birbaumer N. Breaking the silence: brain-computer interfaces (BCI) for communication and motor control. *Psychophysiology*. 2006
- [34]Hochberg LR, Serruya MD, Friehs GM, Mukand JA, Saleh M, Caplan AH, Branner A, Chen D, Penn RD, Donoghue JP. Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia. *Nature*. 2006
- [35]Genuth, Iddo (2015). „Brain computer interfaces bring neuroscience to the masses“

- [36] Allison, B.Z., Dunne, S., Leeb, R., Millan, J., and Nijholt, A. (2013). Towards Practical Brain-Computer Interfaces: Bridging the Gap from Research to Real-World Applications. Springer Verlag, Berlin Heidelberg
- [37] What is EEG-based brain-computer interface?, Edward Claro Mader (2016)
- [38] Emotion in Games: Theory and Praxis, S. Fialek, F. Liarakapis, (2016)
- [39] Wolpaw, J.R. and Wolpaw, E.W. (2012). "Brain-Computer Interfaces: Something New Under the Sun"
- [40] Georgopoulos, A.; Lurito, J.; Petrides, M; Schwartz, A.; Massey, J. (1989). "Mental rotation of the neuronal population vector"
- [41] Stanley, GB; Li, FF; Dan, Y (1999). "Reconstruction of natural scenes from ensemble responses in the lateral geniculate nucleus"
- [42] *Wired Magazine*, 2002, Dobelle
- [43] Naumann, J. *Search for Paradise: A Patient's Account of the Artificial Vision Experiment* (2012)
- [44] Kennedy, PR; Bakay, RA (1998). "Restoration of neural output from a paralyzed patient by a direct brain connection"
- [45] Schalk, G; Miller, KJ; Anderson, NR; Wilson, JA; Smyth, MD; Ojemann, JG; Moran, DW; Wolpaw, JR; Leuthardt, EC (2008). "Two-dimensional movement control using electrocorticographic signals in humans"
- [46] The Next Brainiacs *Wired Magazine*, 2001., Hunter Peckham
- [47] Warwick, K, Gasson, M, Hutt, B, Goodhew, I, Kyberd, P, Schulzrinne, H and Wu, X: "Thought Communication and Control: A First Step using Radiotelegraphy", *Proceedings on Communications*, 151(3), pp.185–189, 2004
- [48] Musallam, S.; Corneil, BD; Greger, B; Scherberger, H; Andersen, RA (2004).
- [49] Krucoff, Max O.; Rahimpour, Shervin; Slutzky, Marc W.; Edgerton, V. Reggie; Turner, Dennis A. (2016-01-01). "Enhancing Nervous System Recovery through Neurobiologics, Neural Interface Training, and Neurorehabilitation"
- [50] Durand, Vincent Mark; Barlow, David (2009): „Abnormal psychology: an integrative approach“

[51]Consumer-grade EEG devices: are they usable for control tasks?; Rytis Maskeliunas , Robertas Damasevicius , Ignas Martisius i Mindaugas Vasiljevas, 2016

Popis slika

1. Slika 1: Primjer „Pužnice“ (Izvor:“ https://www.fda.gov/ForConsumers/ConsumerUpdates/ucm2007474.htm “)...	5
2. Prikaz 3 vrste BCI-a (Izvor: Claro Mader, 2016).....	10
3. Primjer P300 eksperimenta (Izvor: Schalk, 2011).....	21
4. Slika 4. Prikaza grafa koji pokazuje postotak ženskih i muških ispitanika.....	40
5. Slika 5. prikazuje raspon godišta ispitanika koji su sudjelovali u anketi.....	41
6. Slika 6. Postotak ljudi upoznat sa BCI.....	42
7. Slika 7. Prikaz odgovora ljudi vezano uz korištenje BCI za liječenje.....	43
8. Slika 8. Prihvatljivost rizika BCI.....	44
9. Slika 9. Prihvatljivost modificiranja ljudi putem BCI-a.....	45
10. Slika 10. prikazuje mišljenje ispitanika vezano uz „nadogradnju“ ljudi.....	46
11. Slika 11. prikaz stajališta ispitanika za spajanje ljudi sa računalom u svrhu „unaprjeđenja“ ljudi.....	48
12. Slika 12. prihvatljivost ispitanika za ne-invazivne uređaje.....	49
13. Slika 13. prikaz najčešće odabranih uređaja za poboljšanja.....	50
14. Slika 14. rangovi cijena za uređaje za poboljšanje ljudskog tijela.....	51
15. Slika 15. prikaz ispitanika koji su (ne)voljni operacijom se unaprijediti.....	52
16. Slika 16. najviše odabran dio tijela za unaprjeđenje.....	53
17. Slika 17. rangovi koliko su ispitanici spremni odvojiti za unaprjeđenja.....	54
18. Slika 18. Čip-mozak.....	55
19. Slika 19. Emotiv.....	56
20. Slika 20. Emotiv – cijena.....	57
21. Slika 21. razlozi za povećanje ljudi sa BCI.....	58
22. Slika 22. povećanje broja „poboljšanih ljudi“.....	59
23. Slika 23. mišljenje ispitanika vezano za budućnost BCI.....	59

Popis tablica

1. Tablica 1: Usporedba BCI sustava na dvjema igricama (Prema Fialek i Liarokapis, 2016).....36
2. Tablica 2: usporedba BCI sustava nad dvjema igarima (Prema Fialek i Liarokapis, 2016).....37
3. Tablica 3: Usporedba dvaju BCI sustava (Prema Fialek i Liarokapis, 2016)...37