

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
BIOLOĢIJAS FAKULTĀTE
CILVĒKA UN DZĪVNIEKA FIZIOLOĢIJAS KATEDRA

**BINAURĀLO PUKSTU IDENTIFICĒŠANAS IESPĒJAS NOMODA
ELEKTROENCEFALOGRAMMĀ**

BAKALaura DARBS

Autors: Emīls Miglinieks

Studenta apliecības Nr. em11047

Darba vadītājs: prof. Juris Imants Aivars

Konsultants: docenta p.i. Zbigņevs Marcinkevičs

Recenzents: Dr. Biol. Igors Sviķis

RĪGA 2014

KOPSAVILKUMS

Pētījums attiecas uz aktuālu neirozinātnes problēmu, saistītu ar eksogēnu un endogēnu ritmisku stimulu spēju ietekmēt cilvēka smadzeņu (t.sk. lielo pusložu garozas) darbību un, līdz ar to, arī cilvēka uzvedību un intelektuālās darbaspējas.

Pētījums veikts ar mērķi noskaidrot binaurāli disonējošu skaņu stimulu, kuru parametri atbilst binaurālo pukstu izraisīšanas kritērijiem, ietekmi uz pieaugušu, jaunu cilvēku nomoda elektroencefalogrammu (turpmāk EEG). Pētījuma ietvaros izstrādāta metodika konsonantas un disonantas (vienlaicīgi aplicēto skaņu frekvenču atšķirība 10 Hz) binaurālas stimulācijas ietekmju uz EEG salīdzinošai izvērtēšanai. Tika veikta 12 EEG novadījumu reģistrācija 10 izmeklējamām personām randomizēti trīs variantos: kontrole bez akustiskas stimulācijas, ar stimulāciju, kas kalpo kā potenciāls binaurālo pukstu izraisītājs, un ar identiskas frekvences skaņu binaurālu aplikāciju.

Pētījuma rezultāti liecina, ka elektroencefalogrāfiski ir iespējams identificēt binaurāli disonantas stimulācijas specifisko ietekmi garozas elektroencefalogrammā paura apakšējās daiviņas (*lobulus parietalis inferior*) garozā, kas izpaužas kā spektrālās jaudas statistiski ticama izmaiņa (palielināšanās vai samazināšanās) α viļņu diapazonā. Rezultāti liecina arī, ka binaurāli disonantās stimulācijas izsuktā smadzeņu atbildes reakcija ir unilaterāla un visizteiktākās izmaiņas EEG ir P4 un T6 novadījumos. Kopumā darba rezultāti uzskatāmi kā objektīvs apliecinājums t.s. binaurālo pukstu fenomena esamībai un ļauj formulēt tālāko pētījumu mērķus, lai pierādītu (vai noliegtu) skaņu percepcijā endogēni veidojošos ritmisku norišu ietekmi uz smadzeņu garozas funkcijām.

Atslēgas vārdi: binaurālie puksti, elektroencefalogramma (EEG), apakšējā paura daiviņa.

SUMMARY

This study covers a topical problem of neuroscience, which is related with capabilities of rhythmical exogenous and endogenous stimuli being able to effect human brain (including cerebral cortex of cerebral hemispheres) functions thus effecting behavior and intellectual and work capabilities.

The study was made with an aim to find out the influence of binaurally dissonant sound stimuli, which meets the criteria of eliciting binaural beats, on young adult awake state electroencephalogram (further EEG). Within the frameworks of this study a method for comparing and evaluating the effect of consonant and dissonant (simultaneously applied sound frequency difference was 10 Hz) binaural stimuli was made. Randomized acquisition of 12 channel EEG for 10 persons was made in three variants: control without acoustic stimulation, with stimulation which serves as potential binaural beat elicitor and identical sound without the capabilities.

Results of this study show that it is possible to electroencephalographically identify specific influence of binaurally dissonant stimuli in cortical EEG on inferior parietal lobule (*lobules parietalis inferior*), which is expressed as statistically significant change (increase or decrease) in spectral power of α wave range. Results also show that the brain response caused by binaurally dissonant stimulus is unilateral and strongest changes are visible in P4 and T6 channels. Overall results of this study serves as an objective proof of existence of so called binaural beat phenomenon and lets us to form goals for further studies to prove (or disprove) the effect of endogenous rhythmical processes on cerebral cortex functions.

Keywords: binaural beats, electroencephalogram (EEG), inferior parietal lobule.

SATURS

KOPSAVILKUMS	2
SUMMARY	3
SATURS	4
IEVADS	6
LITERATŪRAS APSKATS	8
1.1. Binaurālo pukstu raksturojums	8
1.2. Binaurālos pukstus izraisošo stimulu pētījumi	9
1.3. Audiālā signāla uztveršanā un analizē iesaistītās struktūras	10
1.3.1. Skaņas viļņa uztvere vidusausī un iekšējā ausī.....	11
1.3.2. Audiālā signāla specifiskais aferentais ceļš.....	11
1.3.3. Par skaņas apstrādi atbildīgie smadzeņu garozas apgabali.....	12
1.3.4. Smadzeņu viļņi un to raksturojums.....	13
1.3.5. Binaurālo pukstu izcelsme.....	13
1.4. Binaurālo pukstu pielietojums un izmantošanas iespējas	15
1.4.1. Binaurālo pukstu fenomena pielietojums medicīnā	15
1.4.2. Citi binaurālos pukstus izraisošo skaņu aplikāciju pielietojumi	16
1.4.3. Parazinātniskās spekulācijas par binaurālo pukstu pielietojumu	16
1.5. EEG elektrofizioloģiskās sistēmas tehniskais raksturojums un darbības princips, EEG analīžu metodes būtība	17
1.5.1. „MITSAR-EEG-05/70-201” elektrofizioloģiskās sistēmas tehniskais raksturojums un darbības princips	17
1.5.2. EEG analīžu metodes būtība.....	18
2. MATERIĀLI UN METODES	20
2.1. Pētījumā iesaistītās personas	20
2.2. Ētiskie aspekti	20
2.3. Pētījumā izmantotās metodes	20
2.3.1. Intermitējoša α binaurālo pukstu faila sintēze	21
2.3.2. EEG un citas nepieciešamās aparatūras uzstādīšana.....	21
2.3.3. Elektrodu izvietošana pēc starptautiskās 10-20 sistēmas	23
2.3.4. EEG ieraksta veikšana binaurālo pukstu stimula klātbūtnē un bez tā	26
2.3.5. Iegūto datu apstrāde un analīze	28

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA.....	30
4. SECINĀJUMI.....	35
5. PATEICĪBAS.....	36
6. LITERATŪRAS SARAĶSTS	37
7. INTERNETA VIETŅU SARAĶSTS	40

IEVADS

Vairumā gadījumu cilvēki savu psiholoģisko un fizioloģisko problēmu risināšanai nevis dodas pie attiecīgajiem speciālistiem, bet gan cenšas visu izlabot paši. Viena no pēdējos gados popularitāti guvušajām pašārstēšanās metodēm ir binaurālo pukstu stimulācijas terapija/ klausīšanās.

20. gs. beigās šo metodi propagandēja kā brīnumlīdzekli, kas var palīdzēt ārstēt atkarības, uzlabot atmiņu, padzīt depresiju un vēl dažādus citus pretrunīgus efektus.

Līdz ar metodes popularizēšanos sākās paša fenomena pastiprināta izpēte. Rezultāti par binaurālo pukstu efektu krasi atšķiras – daudzi pētījumi to apstiprina, daudzi to noliedz. Atšķiras arī pētījumu metodes. Viena no piemērotākajām un populārākajām metodēm ir lielo pusložu garozas elektroencefalogrāfija – metode, kas ļauj kvantitatīvi novērtēt garozas spontānās elektriskās aktivitātes viļņveidīgās svārstības, veikt šo svārstību spektrālo analīzi un salīdzināt spektrālo jaudu dažādos frekvenču diapazonos dažādos garozas apvidos.

Ritmiski skaņu vai gaismas stimuli, kuru frekvence tuva smadzeņu viļņu pamatfrekvencēm, uzspiež savu frekvenci smadzeņu viļņiem, un šis fenomens („entrainment”, jeb optisku stimulu gadījumā „photic driving response” - PDR) sākotnēji visspilgtāk izteikts tieši garozas primārajos sensoriskajos apvidos. Binaurālo pukstu gadījumā tiek izmantota dzirdes disonanta stimulācija (skaņu stimuliem katrā ausī ir nedaudz atšķirīga frekvence) un paši puksti rodas nevis akustiskajā ierīcē, bet gan smadzeņu centros, kas veic abu stimulu frekvenču salīdzināšanu. Ja tiešām šādi iegūta informācija tiek izmantota dzirdes percepcijā, tad tas visdrīzāk notiek dzirdes garozas sekundārajos (nevis primārajos) apvidos. Šobrīd neirozinātnē aktuāls ir jautājums par binaurālo pukstu izcelsmes neirofizioloģisko mehānismu un par šo endogenu pukstu spēju (vai nespēju) uzspiest savu ietekmi smadzeņu endogenajiem ritmiem.

Bakalaura darba mērķis: noskaidrot binaurāli disonējoša skaņu stimula, kura parametri atbilst binaurālo pukstu izraisīšanas kritērijiem, ietekmi uz pieaugušu jaunu cilvēku nomoda EEG.

Darba uzdevumi:

1. Izstrādāt metodiku un pētījuma protokolu, kas nodrošinātu iespēju salīdzinoši izvērtēt konsonantas un disonantas (vienlaicīgi aplicēto skaņu frekvenču atšķirība 10 Hz) binaurālas stimulācijas ietekmi uz EEG.

2. Veikt 12 novadījumu EEG reģistrācijas procedūru 10 izmeklējamām personām randomizēti trīs variantos:
 - a) bez akustiskas stimulācijas (kontrolē);
 - b) ar stimulāciju, kas kalpo kā potenciāls binaurālo pukstu izraisītājs;
 - c) ar identiskas frekvences skaņu binaurālu aplikāciju (placebo).
3. Veikt iegūto EEG pierakstu spektrālo analīzi, izskaitļojot α , Δ , β , γ , τ diapazonu relatīvo jaudu un izdarīt secinājumus par binaurālos pukstus izraisošās stimulācijas spēju akūti ietekmēt nomoda elektroencefalogrammu; noskaidrot garozas apvidus, kuros vērojamas visizteiktākās EEG viļņu α diapazona spektrālās jaudas izmaiņas.

LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Binaurālo pukstu raksturojums

Binaurālie puksti (turpmāk BP) ir skaņu uztveres un percepcijas laikā radīti artefakti, kas izraisa specifisku smadzeņu atbildes reakciju. Šo efektu atklāja Henrihs Vilhelms Dovs (Heinrich Wilhelm Dove) 1839. gadā. Ar terminu „binaurālie puksti” (pulsācijas; angl. „binaural beats”) apzīmē apzinātas vai neapzinātas sajūtas, kas rodas, ja skaņām (toņiem), ko stereofoniskā ierīce veido katrā no ausiņām, ir nedaudz atšķirīga frekvence (Oster 1973, Pratt et al. 2009, Cole 2012). Apzinātā sajūta (ja tāda rodas) izpaužas kā noturīga augstuma toņa (frekvence ir aptuveni vidējā starp abiem vienlaikus eksponētajiem toņiem) skaļuma pulsācijas, kuru frekvence atbilst abu toņu frekvenču starpībai. Tā vismaz apgalvoja BP terapijas propagandētāji 1990-tajos gados, piem., J.Thompson no Duke University Medical Center and the University of Virginia (Lane et al. 1998).

BP rodas, ja, piemēram, vienā no stereo ausiņu skaļruņiem tiek atskaņota skaņa ar 300 Hz, bet otrā ar 310 Hz nesējfrekvenci. Lai izmantotajām skaņām būtu BP izraisošs efekts, to nesējfrekvences nedrīkst pārsniegt 1 kHz. Frekvenču starpība starp abām skaņām ir tuvu cilvēka skaņu uztveres jutības zemākajai robežai, tāpēc cilvēks saklausīs divas atšķirīgas augstuma skaņas, bet tiek uztverta viena skaņa ar 305 Hz frekvenci, kura svārstās 10 Hz diapazonā. Ja abām vienlaikus aplicētām skaņām ir atšķirīgas nesējfrekvences, tad šo frekvenču starpība nedrīkst pārsniegt 30 Hz, jo tad tiks uztvertas divas atsevišķas skaņas katra savā ausī („cocktail party” efekts) un vēlamais efekts netiks novērots (Oster 1973, Vernon et al. 2012, Nave 2013).

BP frekvence atbilst kādai no smadzeņu darbības ritmiem (dotajā piemērā tā atbilst *alfa* viļņu ritmam) (Cacioppo et al. 2007). Tiek uzskatīts, ka klausoties šādas skaņas ir iespējams inducēt smadzeņu darbību tieši šajā smadzeņu darbības ritmā (Wahbeh et al. 2007), vai mainīt smadzeņu darbības dominanto ritmu. Hillels Prats (Hillel Pratt) savā pētījumā atklāja, ka *delta* viļņu diapazona BP izsuktajiem potenciāliem ir tendence sinhronizēties ar binaurālā skaņu signāla frekvenci. Respektīvi tika novērota sakritība starp trīs un sešu Hz skaņas viļņu maksimumiem un izsukto potenciālu pīķiem (Oster 1973, Pratt et al. 2009, Vernon et al. 2012).

Neseni pētījumi pierāda, ka BP ir ne tikai jāatbilst iepriekš minētajiem kritērijiem, bet arī BP izraisošo skaņu stimulam ir jābūt gana ilgam. Pītera Gūdina (Peter Goodin) eksperimentā atklājās, ka divas minūtes ilgstošs BP stimuluss uz EEG parametriem atstāj tādu pašu efektu, kā vienkārša skaņa bez BP efekta (Goodin et al. 2012).

Tā kā ilgstoša BP klausīšanās, kas ir „tīras” sinusoidālas harmoniskas svārstības, cilvēkam var radīt nepatiku, praksē izmanto metodi, ka BP skaņas signālam „uzklāj” citas skaņas, piemēram, „rozā troksni” (*pink noise*) vai ambientās dabas skaņas. Tā rezultātā pukstu efekts nedaudz samazinās, taču joprojām saglabājas (Oster 1973, Brady, Stevens 2011, Stevens et al. 2011).

1.2. Binaurālos pukstus izraisošo stimulu pētījumi

Pētījumi, kas skar BP, galvenokārt, mēģina noskaidrot to, vai tiem ir kāds efekts. Daudzi apgalvo, ka BP ir efekts uz cilvēka EEG parametriem (Pratt et al. 2009, Lips et al. 2011, Goodin et al. 2012), bet daudzu iegūtais rezultāts ir noliedzošs (Foley et al. 1979, Padmanabhan et al. 2005, Kennel et al. 2010, Vernon et al. 2012).

Iepriekš noskaidrots tas, ka pašam BP stimulam ir jābūt gana garam – vismaz 3 minūtes (Goodin et al. 2012). Tomēr pārāk ilgs cilvēka maņu kairinātājs (šajā gadījumā ilgāks par 10 minūtēm) ar laiku tiek uztverts kā fons un vairs nerada nekādu efektu. Piemēram, ieejot istabā, kurā atrodas lieta ar sliktu aromātu, ar laiku šis aromāts izzūd – mūsu smadzenes to sāk uztvert par fonu un nevajadzīgu informāciju. To var secināt no eksperimentiem, kuros ekspozīcijas laiks ir bijis samērā ilgs un rezultāts bijis neapstiprinošs (Wahbeh et al. 2007).

Tomēr nevar arī izslēgt izmeklējamo personu cilvēcisko faktoru. Ilgas ekspozīcijas laikā pastāv liela iespēja, ka cilvēka uzmanība vairs nav fokusēta uz stimula klausīšanos. Respektīvi, izmeklējamās personas vēlme piedalīties eksperimentā un koncentrēšanās spējas var ietekmēt gala rezultātus (Pratt et al. 2009, Vernon et al. 2012).

Vēl viena kļūda, ko ir pieļāvuši vairāku pētījumu autori ir tā, ka nav veikta izmeklējamo personu aptauja par to, vai tie nav lietojuši alkoholu, rekreācijas narkotikas vai nervu sistēmu ietekmējošus medikamentus 24 stundas pirms eksperimenta veikšanas. Nav arī uzdots jautājums par garīgo veselību, jo, lai iegūtu kvalitatīvus un pareizus rezultātus, izmeklējamai personai nedrīkst būt nekādi smadzeņu darbību traucējoši faktori (Wahbeh et al. 2007, Stevens et al. 2011).

Iepriekš minēto faktoru lielo ietekmi novēroju sava kursa darba eksperimentā, kur izrādījās, ka viena no izmeklējamām personām lieto spēcīgus antidepresantus. Šī iemesla dēļ iegūtais rezultāts bija nelietojams, pilns ar dažādiem neizlabojamiem artefaktiem, kuri ierakstu padarīja nelietojamu.

Vēl viens parametrs, kurš ir nepieciešams BP stimula efektīgai darbībai ir skaņas faila tīrība. Klausītāju labsajūtai uz šī skaņu faila tiek uzklāts „rozā troksnis”, kurš parasti ir dažādas dabas skaņas,

piemēram, vējš vai viļņu sišanās pret krastu. Tomēr labāk ir izmantot tīras sinusoidālas skaņas svārstības, jo to efekts ir spēcīgāks. Šis secinājums, galvenokārt, ir radies tāpēc, ka gandrīz visos eksperimentos, kuros tiek veiktas EEG analīzes ne psihofizioloģiskie testi, tiek izmantoti skaņas faili tieši ar šādiem parametriem (Pratt et al. 2009, Lips et al. 2011, Vernon et al. 2012).

Iepriekšējo apgalvojumu pierāda arī tas, ka pētījumos, kuros tika izmantoti skaņu faili bez rozā trokšņa, ir iegūti uzskatāmāki apliecinājumi BP esamībai un ietekmēm. Piemēram, Hillela Prata (Hillel Pratt) eksperimenta rezultāts norāda uz BP stimulu ietekmi uz smadzeņu darbības aktivitāti (Pratt et al. 2009).

Kā arī, ja pa virsu skaņu failam tiek uzklāts rozā trokšnis, izmeklējamai personai ir grūtāk koncentrēties. Tas tāpēc, ka rozā trokšnis ir nomierinošs un izmeklējamās personas domas „sāk kļīst apkārt”. Manuprāt, tas viss mazina koncentrēšanās spējas uz konkrēto uzdevumu.

Deivida Lipsa (David Lips) eksperimentā tika iegūts BP ietekmi uz EEG apstiprinošs rezultāts. Tomēr šaubas rada tas, ka skaņu stimulu, ko bagātināja rozā trokšnis, aplicēja ilgi – 30 minūtes; nav izslēgts, ka EEG izmaiņas radīja pati monotonā akustiskā stimulācija, nevis tīro toņu komponenta binaurālās frekvenču atšķirības (Lips et al. 2011). Turklāt, minētajā pētījumā skaņu fails tika iegūts no interneta resursiem, vadoties tikai pēc lietotāju atsauksmēm par efekta esamību. Ja šis fails netiek sintezēts uz paša datora, izmantojot tam paredzētas datorprogrammas, piemēram, „Gnural” vai „Adobe Audition”, nav iemesla ticēt, ka tas atbilst nepieciešamajiem kritērijiem (Lips et al. 2011).

Ir arī nepieciešams izvēlēties pareizo BP stimula frekvenču diferenci. To vēlams ņemt samērā zemu (4-10 Hz) (Oster 1973, Vernon et al. 2012).

Vairumā pētījumu BP izraisīšanai izmanto skaņas, kuru frekvenču binaurālā difference ir 4 – 8 Hz (atbilst smadzeņu viļņu *teta* diapazonam), vai 8 – 13 Hz (*alfa* diapazons). Nav sastopamas publikācijas, kas ziņotu par zemākas frekvenču atšķirības izmantošanu, kas atbilstu *delta* diapazonam 1 – 4 Hz. Tas, acīm redzot, skaidrojams ar to, ka *delta* viļņus ikdienas apstākļu nomoda EEG nenovēro.

Apkopojot pieejamo informāciju par BP stimulu pētījumiem pēdējo gadu laikā, var secināt, ka vēl joprojām nav vienotas metodes šo pētījumu veikšanai.

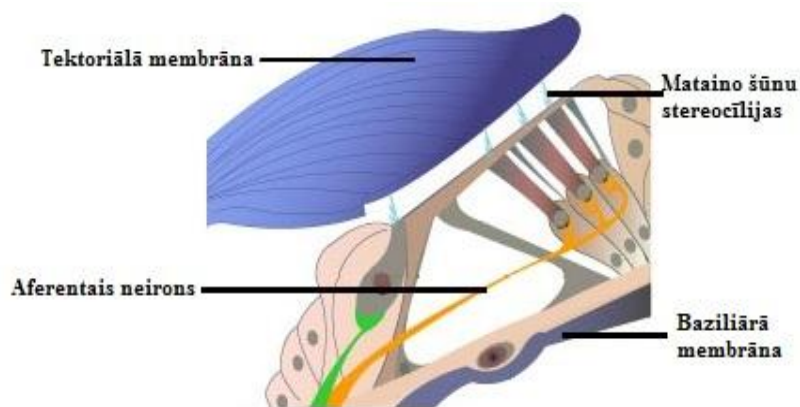
1.3. Audiālā signāla uztveršanā un analīzē iesaistītās struktūras

Cilvēka auss spēj sadzirdēt skaņu, kuras radītā spiediena izmaiņa uz bungādiņas ir tikai 20 μ Pa. Lai šo skaņu vispār varētu uztvert, tās frekvencei jāatrodas cilvēka dzirdes diapazonā, kas ir no 20 Hz

līdz 20 kHz. Ja skaņas signāls atbilst iepriekš minētajiem parametriem, notiek skaņas uztveršana un apstrāde (Smith 2000, Eglīte 2010, Nave 2013).

1.3.1. Skaņas viļņa uztvere vidusausī un iekšējā ausī

Skaņa ir gaisa vai citas vides daļiņu viļņveida svārstība (gaisa vidē izplatās kā garenvilņi). Kad tā tiek uztverta, tā iesvārsta bungplēvīti, kas atdala ārējo ausi no vidusausis. Bungplēvītes svārstības iekustina dzirdes kauliņu sistēmu (āmuriņu, laktiņu un kāpslīti). Šī sistēma samazina skaņas svārstību amplitūdu, bet palielina akustisko spiedienu. Kāpslīša skrimšļa daļa ir pievienota pie ovālā lodziņa membrānas. Tās vibrācija izraisa auss gliemežnīcas iekšējās vides - perilimfas svārstības. Tādējādi gaisa svārstības tiek aizvadītas uz šķidrumu. Šīs svārstības savukārt iekustina baziliāro membrānu, uz kuras atrodas matainās šūnas, kas ar savām stereocīlijām ir piesaistītas tektoriālajai membrānai (1. attēls). Šo šūnu matiņu kustības izraisa to depolarizāciju vai hiperpolarizāciju (Smith 2000, Eglīte 2010).



1. attēls. Auss gliemežnīcas vidus kāpņu shematisks attēlojums (Gray L).

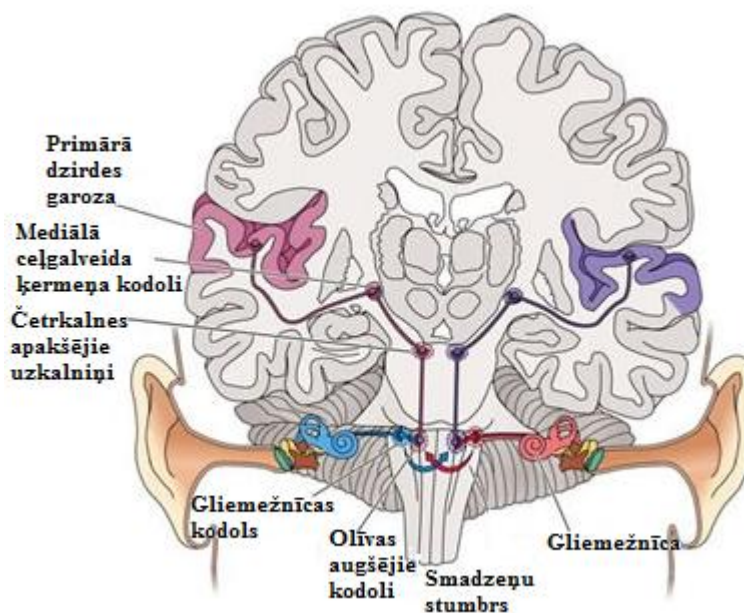
Figure 1. Schematic drawing of Scala media in cochlea (Gray L).

1.3.2. Audiālā signāla specifiskais aferentais ceļš

Pēc mataino šūnu kairinājuma skaņas signāls tiek pārveidots no mehāniskā par elektroķīmisko signālu un tiek vadīts uz dzirdes centru galvas smadzeņu deniņu daivā (2. attēls).

Mataino šūnu radītais nervu signāls tiek pārraidīts no korti orgāna uz spirālo gangliju (*ganglion spirale*), kurā atrodas jušanas neironu ķermeņi. Šie neironi veido dzirdes un līdzsvara nerva (*nervus vestibulocochlearis*) dzirdes šķiedras. No spirālā ganglija informācija tālāk tiek pārvadīta uz dzirdes kodoliem (*nuclei cochleares*). Tālāk signāls tiek pārvadīts uz trapecveida ķermeņa mugurējiem kodoliem (*nucleus dorsalis corporis trapezioidi*). Pēc tam signāls nonāk četrkalnes apakšējo

pauguriņu kodolos (*nucleus colliculi inferiores*) un mediālajos ceļgalveida ķermeņu kodolos (*nucleus corporis geniculati medialis*). Tālāk pa dzirdes starojuma šķiedrām signāls tiek aizvadīts uz primāro dzirdes garozu. Tā ir izvietota deniņu daivā (*lobus temporalis*) un pēc Brodmaņa klasifikācijas tā atbilst 41. un 42. Brodmaņa laukam (Oster 1973, Smith 2000, Eglīte 2010).



2. attēls. Skaņas signāla specifiskais aferentais ceļš (Richards 2001).

Figure 2. Specific afferent pathway of sound signal (Richards 2001).

1.3.3. Par skaņas apstrādi atbildīgie smadzeņu garozas apgabali

Kad skaņas informācija ir apstrādāta tai atbilstošajā specifiskajā aferentajā ceļā, notiek tās percepcija. Tā notiek primārajā un sekundārajā dzirdes garozā. Dzirdes garozas atbilst Brodmaņa 41. un 42. laukam (Cacioppo et al. 2007, Poepel et al. 2012).

Primārā dzirdes garoza saņemto informāciju no dzirdes aferentajiem ceļiem izkārtoti tonotopiski – katram šīs garozas apgabalam atbilst konkrēts skaņas frekvences diapazons. Varētu teikt, ka uz primārās dzirdes garozas tiek projicēta auss gliemežnīca. Sekundārā dzirdes garoza informāciju nekārtoti tādā veidā, tā ir vairāk difūza, līdz ar to tonotopiskā organizācija tām nav precīza.

Sekundārajās dzirdes garozas apstrādes centros noris arī citu skaņas parametru analīze un percepcija, piemēram, abu aferentāciju tālāka salīdzināšana. Par to ir atbildīga paura apakšējās daiviņas garoza. Tās funkcija saistībā ar skaņu ir telpiskās informācijas veidošana. Izmantojot akustiskos

signālus no apkārtējās vides, šī smadzeņu garozas daļa palīdz organismam orientēties telpā, apzināties savu vietu tajā (Karnath 2001, Branucci et al. 2011).

1.3.4. Smadzeņu viļņi un to raksturojums

Reģistrējot elektroencefalogrammu no galvaskausa virsmas, summārajā garozas neironu aktivitātē var identificēt noteiktu frekvenču vājus elektriskos signālus (5-10 μ V), kurus sauc par smadzeņu viļņiem. Tie tiek iedalīti 5 pamattipos:

- *delta* (1-4 Hz);
- *teta* (4-8 Hz);
- *alfa* (8-13 Hz);
- *beta* (13-30 Hz);
- *gamma* (36-44 Hz).

Šie viļņi var raksturot smadzeņu funkcionālo stāvokli, piemēram, *delta* viļņi ir raksturīgi dziļam bezsapņu miegam. Tos var arī novērot anestēzijas laikā. Tiek uzskatīts, ka *delta* ir smadzeņu inhibitorais ritms. *Teta* viļņus var novērot REM (*rapid eye movement*) miega vai pirms miega noguruma laikā. Lielāko *alfa* viļņu aktivitāti, galvenokārt, var novērot smadzeņu pakauša daivā (*lobus occipitalis*). Tie ir raksturīgi relaksētam nomoda stāvoklim. Šo viļņu garumu uzskata par „tukšgaitas” viļņiem. *Beta* viļņu aktivitāte palielinās, ja cilvēks koncentrējās uz kādu noteiktu darbību vai arī palielinās tā uzbudinājums. *Gamma* viļņus var novērot mācību, problēmu risināšanas, percepcijas un citu procesu laikā. *Gamma* var uzskatīt par smadzeņu darba ritmu (Cacioppo et al. 2007).

1.3.5. Binaurālo pukstu izcelsme

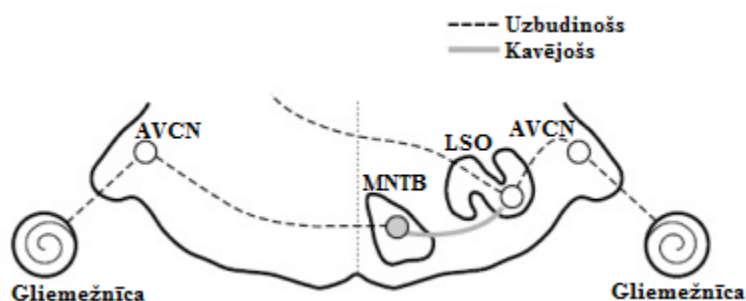
Iepriekšējās nodaļās tika aprakstīts tas, ka BP var uzskatīt par dzirdes sensorās sistēmas radītiem artefaktiem. Papildus skaņām katrā no stereo ausiņu skaļruņiem, cilvēks „dzird” pulsējoša skaļuma skaņu, kuras frekvence atbilst BP izraisošo skaņu nesējfrekvenču starpībai. Tiek radīta sajūta, ka šī pulsējošā skaņa rodas galvas iekšienē. Vairāki zinātnieki uzskata, ka binaurālo pukstu stimulu radītais efekts darbojas pēc FFR (Frequency Followed Response) mehānisma. Tas nozīmē to, ka, ja izmeklējamā persona saņem zemas frekvences gaismas, skaņas vai citas modalitātes ritmisku stimulāciju, tad smadzeņu darbības dominantais ritms nobīdās uz ritmiskā stimula frekvences pusi (Oster 1973, Schnupp et al. 2011, Cole 2012, Vernon et al. 2012).

Jau 1916. gadā tika izvirzīta hipotēze, ka BP fenomenam ir endogēna izcelsme. Respektīvi, BP nerodas iekšējā ausī, bet gan smadzenēs - uztvertās akustiskās informācijas apstrādes procesā (Peterson 1916).

Sākotnēji tika uzskatīts, ka atbildes reakcija uz BP izraisošu stimulāciju sākas četrkalnes apakšējo pauguriņu kodolos. Kuvada, Jins un Vikesbergs (Kuwada, Jin, Wickesberg) 1979. gadā to atklāja, stimulējot kaķu četrkalnes apakšējo pauguriņu kodolu neironus ar BP stimuliem. Tika novērots efekts, ka šo neironu atbildes reakciju frekvence atbilst BP stimula frekvencei (Cole 2012).

Tomēr jaunākie literatūras avoti un pētījumi norāda uz to, ka atbildes reakcija uz BP stimulu sākas agrāk nekā četrkalnes apakšējo pauguriņu kodolos.

BP stimulu efekta pamatā ir mehānisms, kurš cilvēkam palīdz lokalizēt skaņu avotu horizontālajā plaknē (Spitzer, Semple 1998, Schnupp et al. 2011). Neironi, kas pilda šo funkciju, atrodas olīvas augšējās kodolos jeb olīvas augšējā kompleksā (3. attēls).



3. attēls. Neironu aferentācijas shēma olīvu kodolos (Schnupp et al. 2011).

AVCN – anteroventrālais kohleārais kodols, LSO – laterālā augšējā olīva, MNTB – trapecveida ķermeņa mediālais kodols.

Figure 3. Neuron afferentation scheme in olivary nuclei (Schnupp et al. 2011).

AVCN – anteroventral cochlear nucleus, LSO – lateral superior olive, MNTB – medial nucleus of trapezoid body.

Tas sakrīt ar Hillela Prata un citu pētnieku (Pratt et al. 2009) izvirzīto hipotēzi par to, ka smadzeņu stumbrā atrodas neironi, kurus aktivizē tieši BP.

Šī fenomena mehānismu šobrīd vislabāk ir izpētījuši Metjū Spitzera (Matthew Spitzer) pētnieku grupa. Olīvas augšējie kodoli iegarenajās smadzenēs satur norobežotas neironu populācijas, kuras ir jutīgas uz fāzu neatbilstību tonāliem stimuliem, kurus vienlaicīgi uztver viena un otra auss. Tas nozīmē

to, ka olīvas augšējos kodolos tiek identificēti, vai abu ausu uztvertajām skaņām sakrīt svārstību fāze (skaņa ir sinusoidālas harmoniskas svārstības). Šajos kodolos atrodas arī neironi, kuri identificē tonālā stimula frekvenci. Līdz ar to olīvas augšējie kodoli ir „ierīce”, kas salīdzina aferentāciju no abām ausīm un ir spējīga veidot fāzu neatbilstību raksturojošu signālu, ko tie sūta tālāk uz vidussmadzenēm. Citiem vārdiem sakot, augšējie olīvu kodoli ir abu ausu aferentācijas komparatori (Oster 1973, Spitzer, Semple 1998).

1.4. Binaurālo pukstu pielietojums un izmantošanas iespējas

Kopš BP tika atklāti 1839. gadā, tie ir plaši pētīti un izmantoti dažādu mērķu sasniegšanai. Vairākos pētījumos ir pierādīti dažādi to iedarbības veidi, piemēram, trauksmes sajūtas mazināšana, bezmiega un atkarību ārstēšanā, u.c. (Oster 1973, Watson et al. 1978, Peniston et al. 1989, Saxby et al. 1995, Padmanabhan et al. 2005, Brady, Stevens 2011, Stevens et al. 2011).

1.4.1. Binaurālo pukstu fenomena pielietojums medicīnā

BP perspektīvākais pielietojums ir medicīnā un terapijā. 20. gs. otrajā pusē tos sāka plaši izmantot pētījumos, kas ietver ārstēšanos no atkarībām, trauksmes sajūtas mazināšanu u.c.

Trīs dažādos neatkarīgi veiktos pētījumos tika apstiprināts, ka *alfa* vai *alfa-teta* BP terapija palīdz ārstēties no alkoholisma. Šajos pētījumos tika izveidotas trīs dažādas grupas – alkoholiķi, kurus ārstē ar tradicionālajām metodēm (atturība, grupu terapija, antidepresanti), alkoholiķi, kurus ārstē ar BP un kontroles grupa – bez alkohola atkarības. Grupām, kuras saņēma *alfa* vai *alfa-teta* BP terapiju, vairāku nedēļu garumā notika šo stimulu klausīšanās sesijas, kas katra ilga vismaz 15 minūtes.

Grupām, kas tika pakļautas BP terapijai, novēroja samazinātu agresijas līmeni un depresijas pakāpi. Kā arī šo grupu dalībnieku vidū tika novērots mazāks to gadījumu skaits, kuros pacients atsāka iepriekšējos alkoholisma paradumus (Watson et al. 1978, Peniston et al. 1989, Saxby et al. 1995).

Līdzīga veida terapiju var izmantot arī trauksmes sajūtas un stresa mazināšanai. 2005. gadā tika veikts pētījums, kas noskaidroja, vai mūzikas un BP klausīšanās palīdz mazināt pirms operācijas stresu stacionārā. Pētījumā piedalījās trīs grupas – mūzikas grupa, BP grupa un kontroles grupa (Padmanabhan et al. 2005).

Lai izvērtētu rezultātus tika veikts STAI (*State-Trait Anxiety Inventory*) tests, kurš ar 40 jautājumu palīdzību izvērtē personas trauksmes/uztraukuma līmeni (Spielberger et al. 1983).

Pēc rezultātu apkopošanas un izvērtēšanas atklājās, ka BP grupai trauksmes/uztraukuma līmenis ir samazinājies par aptuveni 26 %, salīdzinot ar sākotnējo. Mūzikas grupai tika novērots aptuveni 11% kritums, bet kontroles grupai tikai aptuveni 4% kritums (Padmanabhan et al. 2005).

1.4.2. Citi binaurālos pukstus izraisošo skaņu aplikāciju pielietojumi

Bez iepriekšējā nodaļā apskatītajiem piemēriem par BP pielietojumiem medicīnā – tiem vēl ir arī citi pielietojumi.

Ar BP palīdzību ir iespējams stimulēt konkrētu dziedzeru darbību vai konkrētu vielu sekrēciju. Iepriekšējā nodaļā pieminētajā pētījumā, ko veikuši Jūdžins G. Penistons un Pols Dž. Kulkoskis (Eugene G. Peniston, Paul J. Kulkosky) atklājās, ka *alfa – teta* BP stimulācija izraisa *beta* endorfīna sintēzes palielināšanos (Peniston et al. 1989).

Tā kā *beta* endorfīns ir hipofīzes sintezēts hormons, kam ir atsāpinoša un nomierinoša iedarbība (Foley et al. 1979), iespējams, ka tieši *alfa-teta* BP stimulācija varētu būt efektīvs līdzeklis sāpju mazināšanai.

H. Wābehas (H Wahbeh) pētījumā noskaidrojās, ka ilgstoša BP stimulācija (vairāku nedēļu garumā) ietekmē ne tikai *beta* endorfīna, bet arī citu hormonu, piemēram, adrenalīna, noradrenalīna, serotonīna un melatonīna sintēzes intensitātes (Wahbeh et al. 2007).

Vairāki pētījumi pierāda, ka *teta* viļņu diapazona BP stimulācija var tikt izmantota, lai palielinātu cilvēku hipnotizējamību (Brady, Stevens 2011, Stevens et al. 2011).

Sjūzenas Kennelas un citu līdzautoru (Susan Kennel et al.) pētījumā tika noskaidrots, ka BP ietekmē uzlabojas bērnu un pusaudžu, kuriem ir uzmanības deficīta un hiperaktivitātes traucējumi, mācīšanās un koncentrēšanās spējas. Šiem bērniem un pusaudžiem mazinājās šo traucējumu simptomi un uzlabojās sekmes skolā (Kennel et al. 2010).

1.4.3. Parazinātniskās spekulācijas par binaurālo pukstu pielietojumu

Papildus visiem izpētītajiem un derīgajiem BP efektiem, tiek uzskatīts, ka to lietošanai ir arī dažādi citi – empīriski un neapstiprināti efekti.

Dažādās interneta vietnēs tiek pārdoti BP stimulu produkti, kuru efekts uz cilvēka smadzeņu darbību un citām funkcijām nekādā veidā nav pārbaudīts un izpētīts. Pieļauju, ka lielākajā daļā gadījumu šie nopērkamie stimuli strādā kā placebo, nevis kā leģitīmi „*neuro feedback*” treniņam paredzēti skaņu faili.

Pēdējos gados ir arī parādījušies dažādi pretrunīgi avīžu raksti par to, ka BP esot iekodēti J.S. Baha skaņdarbos 150 gadus pirms pašu stimulu atklāšanas. Tiek runāts, ka šie stimuli var tikt izmantoti, lai iefiltrētos cilvēku prātos, tos hipnotizētu vai kontrolētu (Brown 2012). Tomēr ir tikai nedaudzi pētījumi, kas kaut nedaudz atbalsta šo radikālo apgalvojumu. Respektīvi, BP stimulācija *teta* viļņu diapazonā palielina cilvēku pakļāvību hipnozei (Brady, Stevens 2011, Stevens et al. 2011).

Tiek runāts arī par BP stimulu izmantošanu kā psihoaktīvo narkotiku analogus. Tomēr šie apgalvojumi tika nepamatoti radīti ASV presē 2010. gadā (Singel 2010).

1.5. EEG elektrofizioloģiskās sistēmas tehniskais raksturojums un darbības princips, EEG analīžu metodes būtība

Elektroencefalogrāfs ir ierīce, kas ar pie skalpa piestiprinātu elektrodu palīdzību mēra smadzeņu elektrisko aktivitāti. Pirmos EEG lasījumus dzīvniekiem veica krievu fiziologs Vladimirs Pravdičs-Neminskis (Владимир Правдич-Неминский) 1912. gadā. Pirmais EEG lasījums cilvēkam tika veikts 1924. gadā. To veica vācu fiziologs un psihiatrs Hanss Bergers (Hans Berger) (Haas 2003, Cacioppo et al. 2007)

Pirmo ar tinti rakstošo EEG biopastiprinātāju izveido Dž.T. Toenīss (J.T. Toennies) 1932. gadā (Cacioppo et al. 2007). Kopš šī izgudrojuma EEG nozare ir strauji attīstījusies.

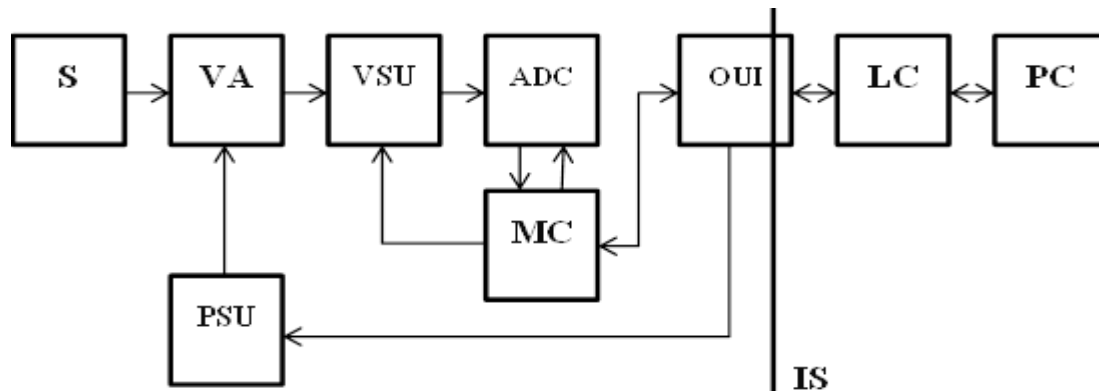
1.5.1. „MITSAR-EEG-05/70-201” elektrofizioloģiskās sistēmas tehniskais raksturojums un darbības princips

„MITSAR-EEG-05/70-201” ir elektrofizioloģiskā sistēma, kuru kontrolē personālais dators. Tā ir paredzēta elektroencefalogrāfijas un elektrokardiogrammas datu iegūšanai un apstrādei.

Elektrofizioloģiskās sistēmas galvenā daļa ir biosignālu pārveidotājs (biosignals converter).

Signāls, kas tiek saņemts no elektrodiem, kas izvietoti uz skalpa, ir vājš – mērāms mikrovoltos. Tāpēc to savāc multikanālu sprieguma pastiprinātājs. Kad elektriskais signāls ir pastiprināts, tas tālāk caur dažādiem filtriem tiek aizvadīts uz analog-digitālo pārveidotāju. Analog-digitālais pārveidotājs pārveido elektrisko signālu par 14 bitu digitālo signālu. Šīs visas darbības koordinē un kontrolē mikro kontrolieris. Mikro kontrolieris digitālo signālu caur USB kabeli nosūta uz datoru. Pirms signāla nokļūšanas datorā, tas nonāk sprieguma izlīdzinātājā, kas digitālo signālu modificē tā, lai tas atbilstu konkrētā datora standartiem (4. attēls, “Mitsar” Co.Ltd. 2002).

Kad dators ir saņēmis EEG signālu, to tālāk apstrādā specializēta datorprogramma, piemēram, „WinEEG”. Ar šo programmu iespējams veikt EEG nepārtraukto ierakstu, izsaukto potenciālu reģistrēšanu, videonovērošanu, kairinātāja signālu veidošanu, ieraksta analīzi un artefaktu labošanu (Nova Tech EEG).



4. attēls. Biosignālu pārveidotāja „Mitsar EEG” shēma.

S – primārie pārveidotāji (sensori), VA – multikanālu sprieguma pastiprinātājs, VSU – elektroniskais sprieguma slēdzis, ADC – analog-digitālais pārveidotājs, MC – mikrokontrolieris, OIU – optiskās izolācijas vienība, LC – sprieguma izlīdzinātājs, PSU – strāvas avots, IS – izolācija, PC – dators. (“Mitsar” Co.Ltd. 2002).

Figure 4. Functional layout of the biosignal converter „Mitsar EEG”.

S – primary converters (sensors), VA – multichannel voltage amplifier, VSU – electronic voltage switching unit, ADC – analog-digital converter, MC – microcontroller, OIU – optical isolation unit, LC – level converter, PSU – power source, IS – isolation, PC – personal computer. (“Mitsar” Co.Ltd. 2002).

Šis konkrētais aparāta modelis atbalsta lasījumus no 21 EEG elektroda. Tam ir arī speciāls ports dažādām stimulācijas ierīcēm, piemēram, fotostimulācijas brillēm (“Mitsar” Co.Ltd. 2002).

1.5.2. EEG analīžu metodes būtība

Kopš smadzeņu elektrisko potenciālu atklāšanas ir attīstītas metodes to uztveršanai, analīzei un pielietošanai.

EEG ierīce uztver smadzeņu garozas piramidālo neironu ķermeņu un aksonu radītos elektriskos darbības potenciālus, ko rada šūnu depolarizācija vai hiperpolarizācija. Vislielāko daļu no elektroencefalogrāfa uztvertā signāla sastāda elektriskie potenciāli, kas rodas neuro-neirālajās sinapsēs.

Tiek uzskatīts, ka arī neiroglijas šūnas piedalās EEG signāla veidošanā. Šos elektriskos signālus uztver EEG skalpa elektrodi (Cacioppo et al. 2007, Boutros et al. 2011).

Ar EEG analīžu palīdzību ir iespējams veikt dažādas darbības, kas saistītas ar cilvēka un dzīvnieka neurofizioloģiju, diagnostiku u.c. nozarēm.

Viena no galvenajām šo analīžu funkcijām ir smadzeņu darbības izprašana un katra smadzeņu apgabala specifisko funkciju noteikšana. Tāpēc 1942. gadā K. Motokava (K. Motokawa) izveido pirmo smadzeņu EEG karti. Šo ideju 1978. gadā pilnveidoja R.A. Ragots (R.A. Ragot) un A. Remonds (A. Remond). Viņi sāk smadzeņu EEG lauku kartēšanu. Pamatu šai kartēšanai 1909. gadā radīja vācu anatoms Korbinians Brodmanis (Korbinian Brodmann). Viņš, pētot smadzeņu histoloģiskos preparātus, sadalīja smadzenes laukos. Katram laukam ir sava raksturīgā neironu veidu un slāņu struktūra.

Ar šo karšu un EEG aparatūras palīdzību ir iespējams noskaidrot, kurās smadzeņu garozas daļās atrodas konkrētas informācijas (piemēram, skaņas) analīzes lauks. EEG kartes nesakrīt ar Brodmaņa laukiem, jo bieži vien par konkrēta stimula apstrādi ir atbildīgais reģions EEG kartē atbilst vairākiem Brodmaņa laukiem (Cacioppo et al. 2007).

Ar EEG analīzēm ir iespējams diagnosticēt dažādas slimības, kurām ir raksturīgas EEG struktūras izmaiņas. Šādā veidā ir iespējams diagnosticēt, piemēram, epilepsiju, Parkinsona slimību, kurlumu, histērisko aklumu, smadzeņu audzējus u.c. slimības. Ar šo analīžu palīdzību ir iespējams noteikt, piemēram, kādas psihotropās vielas vai medikamentus ir lietojis pacients, neveicot asins vai urīna analīzes (Berger 1973, Cacioppo et al. 2007, Boutros et al. 2011).

Šo metodi arī ir iespējams pielietot reālajā laikā noskaidrojot konkrētu stimulu, piemēram, gaismas vai skaņas iedarbību uz smadzeņu elektrisko aktivitāti (Berger 1973, Cacioppo et al. 2007).

Šo analīžu galvenā būtība ir izprast norises cilvēka un dzīvnieka smadzenēs.

2. MATERIĀLI UN METODES

Pētījums tika veikts no 2014. gada februāra līdz 2014. gada martam.

2.1. Pētījumā iesaistītās personas

Pētījumā piedalījās desmit cilvēki – sešas sievietes un četri vīrieši, vecumā no 20 – 23 gadiem (vidēji – 21,3). Izmeklējamām personām bija jābūt fiziski un garīgi veselām, možām, iepriekšējā naktī labi gulējušām un rekreācijas narkotikas, spēcīgus nomierinošus medikamentus vai alkoholu nelietojušām vismaz 24 stundas pirms eksperimenta. Eksperiments ar katru cilvēku notika divas reizes (kontroles ieraksts un ieraksts ar efektu) viņu izvēlētajā laikā.

Izmeklējamās personas tika iepazīstinātas ar pētījuma gaitu un norisi. Tā kā eksperimenta laikā tiek pētīta smadzeņu darbība, tika minimizēta jebkāda veida papildu stimula (galvenokārt, audiāla) izdarīšana izmeklējamām personām. Tas tika darīts, lai novērstu nevajadzīgu EEG artefaktu veidošanos un nemazinātu BP stimula efektu.

Izmeklējamām personām tika nodrošināta konfidencialitāte un pēc viņu pieprasījuma tika parādīti pētījuma ieraksta dati un rezultāti.

2.2. Ētiskie aspekti

Darbs tika veikts saskaņā ar Latvijas Zinātņu padomes sastādīto „*Zinātnieka ētikas kodeksu*”. Tika ievērots „*Zinātnieka ētikas kodeksa*” 2. panta 7. punkts: „Zinātniskie pētījumi jāveic, nedegradējot cilvēka cieņu un nenonākot konfliktā ar humānisma principiem un cilvēktiesību normām. Pētījumi, kuros izpētes objekts ir cilvēks, jāveic atbilstoši starptautiski akceptētiem deontoloģijas principiem, respektējot cilvēka brīvprātīgu piedalīšanos pētījumā, anonimitāti un datu neizpaušanu. (..) Personai, kura piedalās pētījumā, ir tiesības jebkurā brīdī pārtraukt savu līdzdalību. (..)”

Persona, kas ir pētījuma objekts, pilnā mērā jāinformē par pētījuma raksturu, nolūkiem, izpētes materiāla ņemšanu (piemēram, biopsijas) un sagaidāmiem efektiem. (..)” (Latvijas Zinātnes padome 2008).

Izmeklējamās personas eksperimentam pieteicās brīvprātīgi. Tika izskaidrots, ka eksperimentā izmantotie BP stimuli nerada paliekošas sekas uz smadzeņu darbību un garīgo, fizisko veselību.

2.3. Pētījumā izmantotās metodes

Lai noskaidrotu binaurāli disonējošu skaņu stimula, kura parametri atbilst binaurālo pukstu izraisīšanas kritērijiem, ietekmi uz pieaugušu jaunu cilvēku nomoda EEG, darbam tika izveidota metode ar vairākiem posmiem:

1. intermitējoša α BP un placebo faila sintēze;
2. izmeklējamo personu atrašana;
3. EEG un citas nepieciešamās aparatūras uzstādīšana;
4. nepieciešamo elektrodu izvietošana uz skalpa pēc starptautiskās 10-20 sistēmas;
5. EEG ieraksta veikšana intermitējoša α BP stimula klātbūtnē un bez tā;
6. EEG ieraksta veikšana placebo ietekmē;
7. ierakstīto datu apstrāde un analīze.

2.3.1. Intermitējoša α binaurālo pukstu faila sintēze

Iegūt BP stimula skaņu failu ir iespējams divējādi – lejuplādējot jau gatavu failu vai sintezēt to pašam izmantojot tam paredzētu programmatūru.

Šobrīd ir pieejamas vairākas brīvpieejas programmas, kas ir paredzētas tieši šim mērķim, piemēram, „*Gnaural*”, „*WinAural*” un „*BrainJav*” (Sourceforge), vai arī tādas maksas programmas kā „*Adobe Audition*”.

Lejupielādes iespējas ir daudz plašākas. Ierakstot jebkurā interneta meklētājā pareizos atslēgas vārdus, piemēram, „*binaural beats download*”, būs iespēja izvēlēties no daudziem avotiem. Tomēr gatavie BP skaņu faili satur tā saukto „rozā troksni”, kas mazina to efektu (skatīt nodaļā: **Binaurālo skaņu stimulu raksturojums**).

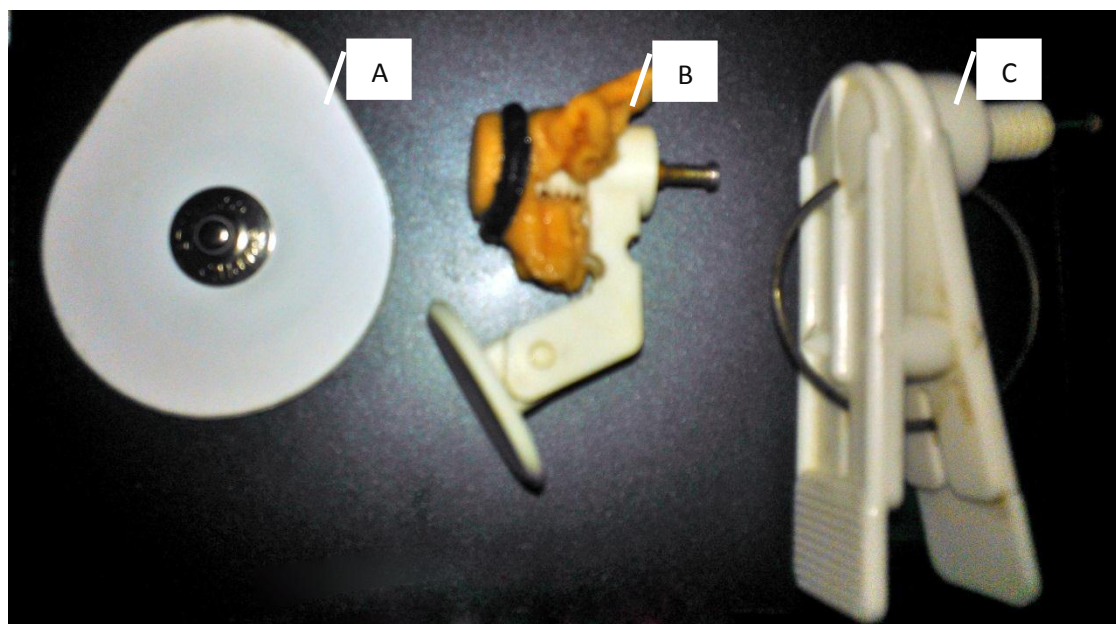
Tāpēc iepriekš minētā iemesla dēļ eksperimentam tika izmantota brīvpieejas programma BP stimulu sintēzei – „*Gnaural*”. Interneta adrese ar detalizētu šīs programmas pamācību ir pieejama izmantoto interneta vietņu sarakstā (Sourceforge).

2.3.2. EEG un citas nepieciešamās aparatūras uzstādīšana

Pirms ieraksta sākšanas, uz izmeklējamās personas skalpa ir jāizvieto EEG elektrodi, uz sejas un ausīm jāuzliek references elektrodi. Pirms elektrodu izvietošanas uz izmeklējamās personas galvas jāuzvelk speciāla cepure, kas sastāv no pielāgojama garuma gumijas pavedieniem. Tai ir cieši jāpieguļ skalpam, lai elektrodu darbība būtu visefektīvākā. Tomēr jāuzmanās, lai tā nebūtu par ciešu un netraucētu izmeklējamai personai siekalu rīšanā (jo tā sasprādzējas zem zoda) un neradītu vispārēju diskomfortu. Ja tas netiek novērsts, EEG ierakstā var rasties artefakti.

Pirms elektrodu izvietošanas tie ir pareizi jā sagatavo. Skalpa elektrodi pirms uzlikšanas ir jāievieto fizioloģiskajā šķīdumā uz apmēram 10-15 minūtēm. Pēc tam uz tiem ir jāuzliek filca auduma

kvadrāts, kas ir piesūcināts ar fizioloģisko šķīdumu. To piestiprina ar speciālu gumiju, kas nāk komplektā ar katru no elektrodiem. Auss references elektroda klipša iekšpusē ir jāievieto vates gabals, kas ir piesūcināts ar spirtu vai fizioloģisko šķīdumu. Uz sejas references elektrodu metāliskās daļas iekšpusē ir jāuzklāj tam paredzēta EEG pretpolarizācijas pasta. Tā novērš lādiņa uzkrāšanos un izlādi uz elektrodiem un artefaktu veidošanos EEG pierakstā (5. attēls). Uz izmeklējamās personas rokas jāuzliek zemējuma vads, zem kura metāliskās plāksnes ir vate, kas piesūcināta ar EEG pret polarizācijas pastu.



5. attēls. Sagatavoti EEG elektrodi.

A – sejas references elektrods, B – skalpa elektrods, C – auss references elektrods.

Figure 5. Prepared EEG electrodes.

A – facial reference electrode, B – scalp electrode, C – auricular reference electrode.

Pēc elektrodu sagatavošanas tie ir jāizvieto uz izmeklējamās personas sejas, skalpa un ausīm. Sejas references elektrodiem ir jāatrodas uz vaigu kauliem zem acīm. Tomēr, ja tos pieliek par tuvu tām var rasties nevajadzīgi EEG artefakti, kas rodas acu kustību rezultātā (elektrookulogramma). Ausu elektrodi ir jāuzliek uz ausu līpiņām. Obligāti ir jāuzliek abu ausu references elektrodi, pretējā gadījumā iegūtais EEG ieraksts ir ar zemām viļņu amplitūdām un ir nederīgs. Skalpa elektrodus zem cepures gumijām izvieto pēc starptautiskās 10-20 sistēmas, kas tiks aprakstīta nākamajā nodaļā. Pirms skalpa elektrodu izvietojšanas āda ir jāattauko ar spirtu. Kvalitatīvam ierakstam arī palīdz tas, ja ādu apstrādā ar abrazīvu gelu, kas noņem atmirušās ādas slāni.

Lai sāktu EEG ierakstu, aparāts ar USB vadu ir jāsavieno ar datoru, uz kura ir uzstādīta programma „WinEEG”. Ar šīs programmas palīdzību tiek kontrolēta EEG darbība, kalibrēšana, elektrodu impedance („Mitsar” Co.Ltd. 2002, Nova Tech EEG).

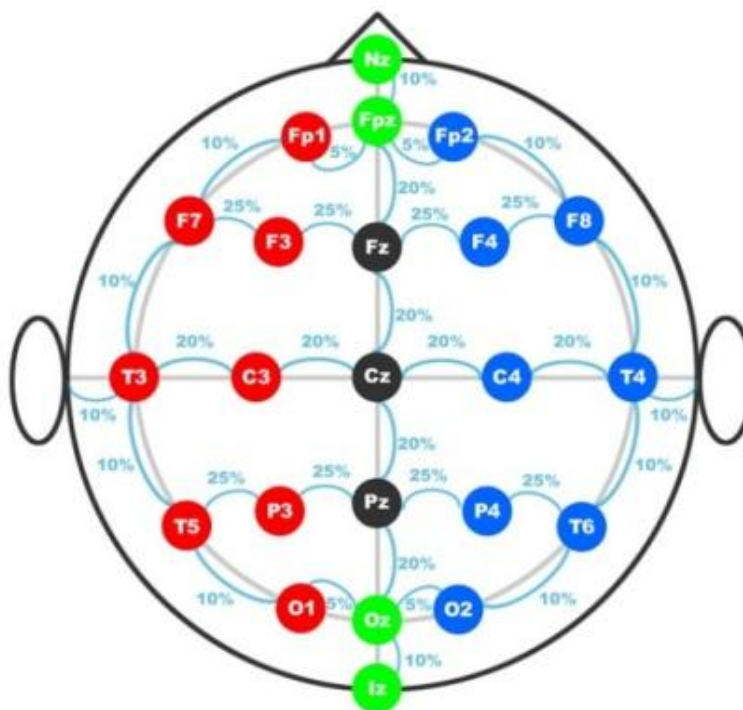
2.3.3. Elektrodu izvietošana pēc starptautiskās 10-20 sistēmas

10-20 ir starptautiski atzīta sistēma, pēc kuras izvieto galvas EEG elektrodus. Cipari 10 un 20 nozīmē to, ka attālumi starp elektrodiem ir tieši 10% vai 20% no kopējās izvietošanas attāluma. Elektrodus apzīmē gan pēc tās smadzeņu daivas, uz kuras tie atrodas, gan pēc puslodes, uz kuras tie ir pozicionēti (Cacioppo et al. 2007, Trans Cranial Technologies Ltd. 2012).

Pēc tā, uz kuras smadzeņu daivas atrodas elektrods tos iedala 5 grupās:

- F elektrodi – atrodas uz pieres daivas (*lobus frontalis*);
- T elektrodi – atrodas uz deniņu daivas (*lobus temporalis*);
- C elektrods – atrodas galvas centrā (nav tādas centrālās daivas, C tiek lietots tikai kā apzīmējums);
- P elektrodi – atrodas uz paura daivas (*lobus parietalis*);
- O elektrodi – atrodas uz pakauša daivas (*lobus occipitalis*);

Pie elektrodu apzīmējošā burta atrodas arī cipars. Pāra skaitlis norāda to, ka elektrods atrodas labajā puslodē, bet nepāra skaitlis – kreisajā (6. attēls).



6. attēls. Skalpa elektrodu pozīcijas pēc starptautiskās EEG elektrodu pozicionēšanas 10-20 sistēmas.

Figure 6. Scalp electrode positions by international system of EEG electrode placement 10-20.

Elektrodu izvietošana uz skalpa jāveic pēc sekojošiem soļiem:

1. Izmēra attālumu no pieres kaula paugura (*nasion*) līdz pakauša kaula pauguram (*protuberantia occipitalis externa*). Mērījums jāveic pa galvas vidus līniju.
2. Iegūto rezultātu izdala ar divi un ir iegūta Cz elektroda pozīcija (mēra gan no pieres kaula paugura, gan no pakauša kaula paugura).
3. 1. solī iegūto rezultātu izdala ar 10 un iegūst elektrodu Fpz un Oz pozīcijas (mēra attiecīgi no pieres kaula paugura (elektrodam Fpz) un pakauša kaula paugura (elektrodam Oz) galvas centra virzienā).
4. 1. solī iegūto rezultātu izdala ar pieci un iegūst elektrodu Fz un Pz pozīcijas (mēra attiecīgi no elektroda Fpz (elektrodam Fz) un no elektroda O (elektrodam Pz) galvas centra virzienā).
5. Caur punktu Cz izmēra attālumu starp abiem augšējiem punktiem, kur auss pievienojas galvai.

6. Iepriekšējā solī iegūto rezultātu izdala ar 10 un iegūst T3 un T4 elektrodu pozīcijas (mēra attiecīgi no abiem punktiem, kuros auss pievienojas galvai, virzienā uz galvas centru).
7. Izmēra attālumus starp T3 un Cz un T4 un Cz.
8. Iepriekšējā solī iegūtos rezultātus izdala ar divi un iegūst elektrodu C3 un C4 attālumus gan no elektrodiem T3 un T4, gan no punkta Cz.
9. Izmēra galvas apkārtmēru. Mērījumam jāiet caur punktiem Fpz, T3, Oz, T4.
10. Iepriekšējā solī iegūto rezultātu izdala ar 20. Iegūtais rezultāts ir elektrodu O1 un O2 attālums no elektroda Oz. Elektrodius izvieto pa labi un pa kreisi no Oz elektroda, mērot pa galvas apkārtmēra līniju.
11. Atkārti iepriekšējo soli, izņemot tagad tiek pozicionēti Fp1 un Fp2 elektrodi attiecībā pret Fpz elektrodu.
12. Izdala 7. solī iegūto rezultātu ar 10 un iegūst elektrodu F7 un F8 attālumus pa galvas apkārtmēra līniju no elektroda Fpz.
13. Atkārti iepriekšējo soli, izņemot tagad tiek pozicionēti T5 un T6 elektrodi attiecībā pret elektrodu Oz.
14. Elektrodu F3, F4, P3 un P4 izvietošanai izmanto attālumu kas iegūts 4. solī. No elektroda C3 nomēra attālumu, kurš tika iegūts 4. solī, pieres virzienā pa taisni, kas paralēla galvas viduslīnijai. Atliek elektroda F3 pozīciju.
15. Atkārti iepriekšējo soli, izņemot tagad kā atskaites elektrods tiek izmantots C4 un tiek izvietots F4 elektrods.
16. Atkārti 14. soli, izņemot tagad 4. solī iegūtais attālums tiek mērīts pakauša virzienā un tiek novietots P3 elektrods.
17. Atkārti iepriekšējo soli, izņemot tagad kā atskaites elektrods tiek izmantots C4 un tiek izvietots P4 elektrods (Trans Cranial Technologies ldt. 2012).

Šīs metodes izmantošana ir laikietilpīga, tāpēc darba autors procesa optimizācijai „*Microsoft Visual Studio*” vidē izveidoja palīgprogrammu, kas izpilda visas 17 iepriekš minētās darbības (7. attēls).

7. attēls. Palīgprogramma EEG elektrodu pozīciju noteikšanai.

Figure 7. Auxiliary software for determination of EEG electrode positions.

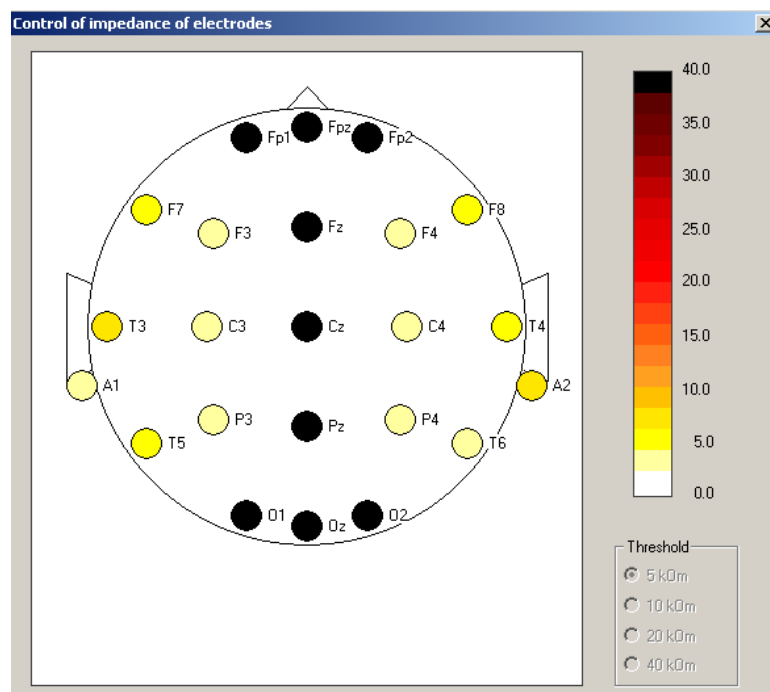
2.3.4. EEG ieraksta veikšana binaurālo pukstu stimula klātbūtnē un bez tā

Pirms EEG ieraksta sākšanas ir jāveic elektrodu impedances pārbaude ar programmu „WinEEG”.

Ja izmeklējamai personai ir plāni mati un āda, mati ir nesen mazgāti un āda nav taukaina, tad ir iespējams iegūt kvalitatīvus un labus impedances rādījumus (2.4. attēls).

Palielināta elektrodu impedance rada nekvalitatīvu pierakstu, var arī radīt artefaktus. Maksimālā pieļaujamā impedance ir $\sim 15 \text{ k}\Omega$ (oranžs indikators). Ja impedance ir augstāka par to (sarkans indikators) (8. attēls), tad ir jāveic pasākumi tās mazināšanai:

- jāaizvāc mati zem elektroda;
- jāpievelk cepures gumijas;
- elektroda filca pārklājā jāiepilina ūdeņraža peroksīds;
- jāpārbauda, vai references elektrodi ir uzlikti kārtīgi.



8. attēls. Elektrodu impedances kontrole programmā „WinEEG”.

Figure 8. Control of electrode impedance in „WinEEG” software.

Kad elektrodi ir izvietoti un to impedance ir normas robežās, var sākt EEG ierakstu.

Izmeklējamām personām ieraksta laikā acis ir jātur ciet, lai acu kustības neradītu liekus artefaktus.

No sākuma tiek veikts EEG ieraksts bez BP stimula. Tas ir nepieciešams, lai noteiktu izmeklējamās personas normālo smadzeņu aktivitāti miera apstākļos. Šis ieraksts ilgst piecas minūtes.

Pēc pirmā ieraksta veikšanas tiek sākts jauns ieraksts izmantojot vai nu intermitējošu α BP stimulāciju, vai arī placebo. Signāls tiek atskaņots no MP3 atskaņotāja ar stereofoniskajām ausiņām. Tā kā šis atskaņotājs darbojas ar 12 V līdzstrāvas akumulatora palīdzību, tā darbība nerada elektromagnētiskos traucējumus ierakstam. Ieraksts ar skaņu stimulu turpinās 10 minūtes. Pēc tam, atskaņotājs tiek izslēgts, EEG ieraksts pabeigts un izmeklējamā persona atbrīvota no visiem elektrodiem.

Visa procedūra ilgst aptuveni 30 - 50 minūtes (atkarīgs no tā, cik ātri un kvalitatīvi tiek izvietoti elektrodi).

Tā kā atskaņot gan BP gan placebo ierakstu vienā un tajā pašā ieraksta seansā ir nekorekti un iegūtie rezultāti būtu nepareizi, katra izmeklējamā persona ierodas uz eksperimentu divas reizes (vienā atskaņo placebo, otrā BP stimulu).

2.3.5. Iegūto datu apstrāde un analīze

Kad EEG ieraksts ir iegūts, tam ir jāveic dažādas korekcijas.

Izvēlnē „*Analysis*” ir jāizvēlas funkcija „*Mark artifacts*”. Šī darbība EEG ierakstā atzīmē fragmentus, kuros ir anomālas jaudas viļņi (pārsvarā rodas no muskuļu kustībām un siekalu rīšanas). Šos artefaktus (ja tie ir nelieli) var izlabot ar iebūvēto funkciju „*Analysis*” sadaļā – „*Artifacts correction*”, vai arī (ja tie ir izteikti) tos var manuāli izdzēst no ieraksta. Pēc tam ir jāveic acu kustību jeb elektrookulogrammas (EOG) radītā efekta mazināšana. To var izdarīt ar funkciju „*Remove EOG*”.

Kad artefakti un EOG ir izlaboti, var sākt datu analīzi. Izvēlētajam datu fragmentam ir jāveic spektrālā analīze. Iegūtos analītiskos datus ir iespējams interpretēt dažādi, piemēram, tabulas, histogrammas, grafika, spektra attēlu veidos. Analītiskiem mērķiem vispiemērotākās ir datu tabulas. Pārējie veidi der reprezentatīviem mērķiem (Nova Tech EEG).

Lai ar spektrālās analīzes datiem būtu iespējams veikt nepieciešamās darbības, tai ir jāizvēlas pareizie parametri.

Programma „*WinEEG*” pirms datu apstrādes sadala EEG izvēlēto fragmentu vienādās daļās – epochās (epoch). Lai iegūtie dati būtu pēc iespējas precīzāki, jāņem pēc iespējas īsāks to garums. Līdz ar to jāizvēlas epochas garums viena sekunde.

Lai pati programma ar datiem būtu spējīga veikt statistiskos testus, sadaļā „*aditional processing*” ir jāizvēlas „*keep raw spectra*”. Citādā gadījumā statistisko testu funkcija ir atiespējota. Pārējās izvēlnes jāatstāj tādas, kādas programma tās izvēlas pēc noklusējuma (9. attēls).

Time interval

Selection

Fragment 14:05:40

Full EEG file

Average defined epoch number only Epoch number: 0

Channels: EEG only

Signals transformation

Use transformation matrix

Browse

Epoch length

1 second 16 seconds

2 seconds 32 seconds

4 seconds 64 seconds

8 seconds

Overlapping

50 %

None

Time window

Square

Bartlett

Hanning

Welch

Upper spectra frequency (Hz): 64

Artefacts elimination

Polynomial trends 2

Slow waves Power of signal: 200 Bandrange: 0.5 - 1.25

Bispectra

Additional processing

None

Coherence Coherence and phase spectra

Instantaneous coherence Lagged coherence

Dynamics of spectra

Keep raw spectra

Averaging 1 epoch (None)

9. attēls. Spektrālās analīzes parametri.

Figure 9. Parameters of spectral analysis.

Tomēr šajā eksperimentā galvenais ir nevis katra atsevišķa ieraksta parametru apskate, bet gan to salīdzināšana un statistiski būtisko atšķirību atrašana. Tam ir paredzēta funkcija „*Comparison of results*”. No šīs darbības iegūtos rezultātus „*Win EEG*” programma spēj attēlot datu tabulā, kurā jau ir iekļauti nepieciešamie statistikas lielumi (p vērtības).

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

Eksperimentā piedalījās 10 personas. Viens ieraksta fails tika atzīts par nederīgu, jo tajā bija liels daudzums artefaktu, kuri radās izmeklējamās personas nemierīgās uzvedības dēļ. Ierakstos netika novēroti nekādi elektromagnētiskie traucējumi no apkārt esošajiem sadales tīkliem un ierīcēm.

Ar programmā „WinEEG” iebūvētās funkcijas „Spectral Analysis” palīdzību tika veikta EEG ieraksta fragmentu spektrālā analīze. Iegūtie spektrālās analīzes dati tika savstarpēji salīdzināti ar funkciju „Comparison of Results”. Izveidojot gala ziņojumu par izmeklējamā personu, programma pati izveido datu tabulu, kurā ir iekļauti visi novadījumi, to jaudas izmaiņas procentos un attiecīgās p vērtības (1. tabula).

1. tabula

Divu EEG ierakstu (kontroles pieraksta un binaurāli disonējošās stimulācijas) pamatviļņu spektrālās jaudas starpība procentos (Persona 10).

Table 1

Percental difference between brainwave power spectra of two EEG recordings (control and binaurally dissonant stimulation) (Persona 10).

Novadījumi	Smadzeņu pamatviļņu diapazonu apzīmējumi					
	<i>Delta</i>	<i>Theta</i>	<i>Alpha</i>	<i>Beta1</i>	<i>Beta2</i>	<i>Gamma</i>
F7	5.11 p<0.204	-1.53 p<0.203	6.36 p<0.076	-2.20 p<0.000	-3.68 p<0.000	-3.33 p<0.000
F3	3.50 p<0.155	-1.95 p<0.026	6.70 p<0.019	-1.27 p<0.012	-2.91 p<0.000	-3.34 p<0.000
F4	-8.99 p<0.002	-3.36 p<0.029	9.61 p<0.000	2.46 p<0.005	0.57 p<0.622	-0.17 p<0.039
F8	-0.13 p<0.679	-2.86 p<0.011	3.69 p<0.282	-0.46 p<0.108	0.00 p<0.263	-0.27 p<0.003
T3	2.78 p<0.800	-0.76 p<0.413	1.55 p<0.725	-0.34 p<0.468	-1.93 p<0.000	-1.06 p<0.000
C3	0.04 p<0.843	-2.25 p<0.038	9.88 p<0.000	-1.90 p<0.005	-2.87 p<0.000	-2.30 p<0.000
C4	-3.75 p<0.012	-3.70 p<0.004	7.65 p<0.013	0.49 p<0.899	-0.01 p<0.229	-0.49 p<0.000
T4	-0.73 p<0.363	-2.61 p<0.021	5.28 p<0.085	-1.26 p<0.012	-0.12 p<0.295	-0.43 p<0.000
T5	1.83 p<0.840	0.59 p<0.679	0.36 p<0.706	0.64 p<0.943	-1.85 p<0.000	-1.25 p<0.000
P3	-1.02 p<0.566	-0.64 p<0.736	2.92 p<0.505	-0.22 p<0.795	-0.45 p<0.172	-0.40 p<0.002
P4	-1.92 p<0.352	-2.52 p<0.024	6.60 p<0.017	-0.86 p<0.043	-0.73 p<0.015	-0.39 p<0.000
T6	-1.52 p<0.172	-3.21 p<0.001	7.47 p<0.014	-1.26 p<0.008	-0.92 p<0.030	-0.41 p<0.000

Izejas datu tabulas piemēra pirmajā rindā ir attēloti smadzeņu viļņu veidi, pirmajā kolonnā – visi eksperimentā izmantotie elektrodu novadījumi. Ar dzelteni krāsu ir iekrāsoti statistiski būtiskie novadījumu jaudas pieaugumi procentos, ar pelēko – statistiski būtiskie kritumi (p<0,05).

Ar šiem izejas datiem tika veikta tālāka analīze. No katras šīs datu tabulas tika apskatīta *alfa* viļņu kolonna. Tajā tika atlasīti četri novadījumi, kuros jaudas izmaiņas ir bijušas vislielākās (2. tabula). *Alfa* viļņi tiek izmantoti tāpēc, ka tie cilvēkam nomodā ir visjaudīgākie un visbiežāk pārstāvētie. Līdz ar to ir iespējams vieglāk novērot notikušās izmaiņas (Cacioppo et al. 2007).

2. tabula

Veiktā pētījuma kopsavilkums

Table 2

Summary of the research

NPK	Jutīgākie novadījumi	+ / - / n	B/L/K	p,<0,05	Vai sajuta efektu?	Komentāri
1	F8, T5, F4, T6	-	L	Jā	Jā	Sūdzējās par sāpēm no elektrodu mices
2	F3, F8, C3, C4	n	B	Nē	Nē	Liela impedance
3	P4, T6, F8, T3	-	L	Jā	Jā	Perfekta impedance
4	T6, F7, C4, T5	+	L	Jā	Jā	Muzikālā dzirde, momentā atšķīra stimulus
5	T5, T6, P3, P4	-	B	Jā	Jā	N
6	T6, T5, C4, P4	+	L	Jā	Jā	N
7	F7, T5, T6, P4	n	B	Jā	Nē	Nemierīgs, no tā daudz artefaktu
8	P4, T6, F3, P3	-	B	Jā	Jā	N
9	F4, F8, T4, T5	+	L	Jā	Jā	Muzikālā dzirde, momentā atšķīra stimulus
10	F4, C3, C4, T6	+	L	Jā	Jā	N

Kopsavilkuma tabulas pirmajā kolonnā attēloti izmeklējamo personu kārtas numuri. Jutīgāko novadījumu kolonnā ir uzskaitīti katra cilvēka to četru novadījumu apzīmējumi, kuru jaudas izmaiņas bija vislielākās. Nākamā kolonna parāda to, kādu efektu izraisīja BP stimulācija - **+** pieaugums, **-** samazinājums, **n** nenosakāms. Ceturtajā kolonnā ir informācija par to, vai BP izsuktā atbildes reakcija izpaužas kreisajā (K), labajā (L) vai abās (B) smadzeņu puslodēs. Piektā kolonna ir izmeklējamo personu subjektīvais vērtējums, kurš tika iegūts tos aptaujājot pēc eksperimenta veikšanas. Tika uzdots jautājums, vai viņi ir sajutuši kādas izmaiņas, kādu efektu no stimulācijas. Pēdējā kolonnā atrodas darba autora komentāri par katru no eksperimentiem.

Apkopojot un izanalizējot šos rezultātus, visi rezultāti tika sadalīti trīs grupās. Pirmajā grupā atrodas tās izmeklējamās personas, kuru ieraksts bija nederīgs jau pēc sākotnējās apskates, kā arī tās, kuru ierakstā nebija notikušas statistiski būtiskas izmaiņas. Lai arī šīs grupas rezultāti tika izanalizēti, tie netika ņemti vērā tālākā datu analīzē. Šajā grupā ietilpst izmeklējamās personas ar kārtas numuriem

„2” un „7”. Ierakstu, kurā nebija notikušas statistiski būtiskas izmaiņas varētu skaidrot ar to, ka šai izmeklējamai personai, izvietojot elektrodus, bija liela impedance. Šajā gadījumā neko nevarēja mainīt, jo visi elektrodi atradās vai nu uz kailas galvas ādas vai arī vietās, kur matu praktiski nebija. Pieļauju, ka šai izmeklējamai personai bija sausa vai bieza āda, kas samazina tās elektrovadītspēju. To, iespējams, varētu labot apstrādājot to ar abrazīvu gelu.

Otrs variants kāpēc dažām no izmeklējamām personām netika identificētas statistiski būtiskas izmaiņas smadzeņu bioelektriskajā aktivitātē varētu būt tāds, ka viņi vienkārši ir nejūtīgi pret šādu stimulu. Kā arī redzams kopsavilkuma tabulā (2. tabula) tieši tās izmeklējamās personas, kuras atrodas pirmajā grupā, nav sajutušas nekādu efektu no šīs stimulācijas. Iemesli kāpēc tā varētu būt ir dažādi, piemēram, paaugstināts dzimumhormonu līmenis asinīs. Tam par piemēru kalpo fakts, ka sievietes menstruāciju laikā bieži vien nav spējīgas uztvert BP, toties ovulācijas laikā tieši pretēji – uztver tos daudz spēcīgāk (Oster 1973).

Otrajā grupā ietilpst tās izmeklējamās personas, kurām binaurāli disonējošā stimulācija izraisīja statistiski būtisku α viļņu jaudas pieaugumu ($p < 0,05$). Tās būtu „4”, „6”, „9” un „10”.

Trešajā grupā atrodas tie, kuriem stimulācija izraisīja statistiski būtisku α viļņu jaudas samazinājumu. Attiecīgi kārtas numuri – „1”, „3”, „5” un „8”.

Tas, kādas izmaiņas (pieaugumu vai pazeminājumu) izraisīs BP stimulācija nevar pateikt. Līdz šim apskatītajos pētījumos šāda informācija nav minēta.

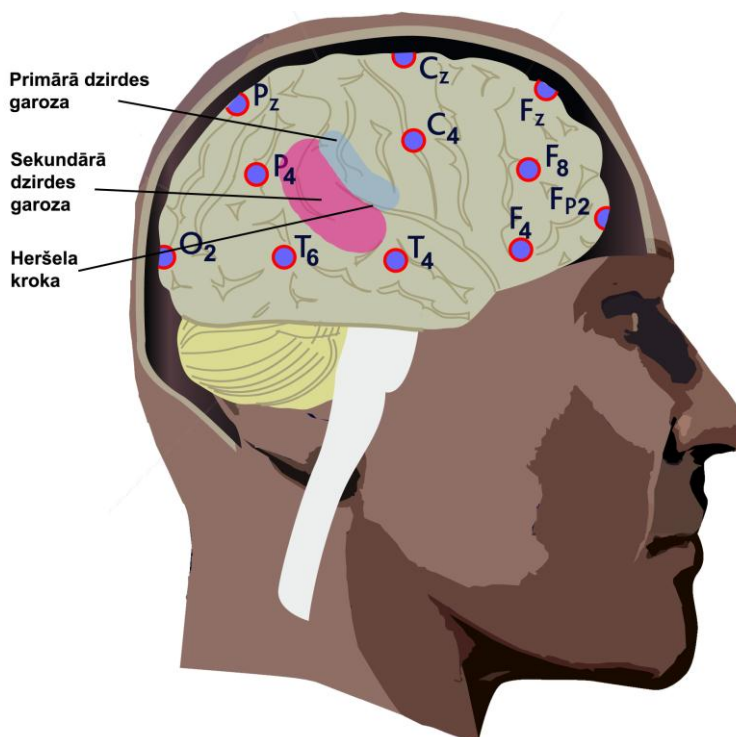
Iegūtie rezultāti atbilst autora prognozēm par to, ka ar izvēlēto ekspozīcijas protokolu un metodi būs iespējams iegūt tāds EEG lasījumus, kuros ir notikušas statistiski būtiskas izmaiņas pēc BP stimulācijas. Šie rezultāti arī sakrīt ar to pētnieku daļu, kuri ir ieguvuši apstiprinājumu tam, ka BP stimulācijai ir statistiski būtiska ietekme uz smadzeņu bioelektrisko aktivitāti (Pratt et al. 2009, Lips et al. 2011, Goodin et al. 2012).

Pētījuma gaitā noskaidrojās, ka pretrunā ar literatūras apskata daļā minēto ārkārtīgi zemu jutību pret skaņām, kuru frekvence ir zemāka par 16 – 20 Hz, divas no mūsu pētījumā iekļautām izmeklējamām personām („4” un „9”) saklausīja katras auss tonālos stimulus (to frekvences atšķīrās par 10 Hz) kā patstāvīgas skaņas. To pamanīja izmeklējamās personas, kuras ir ar absolūto muzikālo dzirdi un papildus muzikālo izglītību. Tādējādi šīs izmeklējamās personas bija spējīgas noteikt to, kādu skaņu failu tās klausās – BP stimulāciju vai placebo. Šī iemesla dēļ nācās papildus izpētīt to, cik liels ir diferenciālais sliekšnis skaņas frekvencei. Izrādās, ka skaņām, kuru frekvences nepārsniedz 500 Hz, šīs

sliexsnis ir aptuveni 3 Hz (Kollmeier et al. 2008). Teorētiski disonansi pamanīt vajadzēja visiem, bet, acīm redzot, bez papildu muzikālā treniņa un/vai absolūtās muzikālās dzirdes tas nav iespējams.

Tā kā šīm izmeklējamām personām rezultāti bija korekti un atbilstoši sagaidāmajam, fakts, ka tie atklāja kādam skaņu failam tiek eksponēti, neatstāja redzamu efektu uz gala rezultātiem.

Abām grupām, kurām tika novērotas α viļņu jaudas izmaiņas, tās tika arī lokalizētas. Sešiem no astoņiem cilvēkiem smadzeņu atbildes reakcija novērojama unilaterāli – labajā smadzeņu puslodē. Relatīvās spektrālās jaudas izmaiņa BP stimulu ietekmē visspilgtāk (statistiski ticami) izpaudās T6 un P4 novadījumos. Šo abu elektrodu atrašanās vietas daļēji atbilst labās puslodes sekundārajam dzirdes garozai (augšējās deniņu (Heršela) krokas apgabals), un apakšējai paura daiviņai (lobulus parietalis inferior) (10. Attēls).



10. attēls. EEG elektrodu novietojums attiecībā pret dzirdes garozu atrašanās vietām (CNSforum 2003).

Figure 10. EEG electrode placement in relation with location of auditory cortices (CNSforum 2003).

Ir pētījumi, kuros ir apstiprinājies, ka tieši labās puslodes garozas apakšējā paura daiviņa ir atbildīga par telpiskās informācijas analīzi un indivīda spēju orientēties telpā (Karnath 2001). Izmantojot funkcionālo magnētiskās rezonanses attēlveidošanu (fMRI), noskaidrots arī, ka labajā

apakšējā paura daiviņā notiek binaurāli vienlaikus uztverto toņu fāzu nobīdes percepcija (Branucci et al. 2011). Šie pētījumi atbalsta iegūtos rezultātus – atbildes reakcija uz BP stimulāciju spēcīgāk izpaužas labajā puslodē.

Iepriekš apskatītos faktus arī atbalsta izmeklējamo personu aprakstītās sajūtas pēc stimulācijas. Viņi raksturoja sajūtas kā nedaudz apreibinošas, apdullinošas. Tā kā tiek stimulēta smadzeņu daļa, kura ir atbildīga par orientāciju telpā tas ir tikai loģiski, jo šai stimulācijai ir kustību simulējošs efekts. Varētu teikt, ka tādējādi tiek radīts konflikts starp maņām – dzirdes sensorā sistēma sūta smadzenēm informāciju par to, ka notiek kustība, bet visas pārējās maņas to noliedz. To varētu salīdzināt ar jūras slimību, kad redzes sensorā sistēma sūta informāciju par to ka organisms stāv uz vietas, bet, kuģa šūpošanās dēļ, tiek mainīta ķermeņa pozīcija attiecībā pret zemi, par ko informāciju uz smadzenēm sūta vestibulārais aparāts. BP stimulācija tādējādi izraisa līdzīgas sajūtas kā viegla jūras slimība. Arī darba autors pēc savas pieredzes šādi ekspozīcijai apstiprina šādu efektu.

No iepriekš minētā efekta, iespējams, arī varētu būt cēlies apgalvojums, ka BP stimulācijai ir psihotropajām narkotikām līdzīgs efekts (Singel 2010). Katrā ziņā šis apgalvojums ir pārspīlēts, jo jau pēc aptuveni piecām minūtēm izmeklējamās personas vairs nesajuta vairs nekādu efektu, un ne darba autora, ne citu zinātnieku pētījumos iesaistītās izmeklējamās personas nav piedzīvojušas paliekošus fizioloģiskus defektus. Atbildes reakcija uz BP stimulācija ir akūta.

Tā kā pētījumā izmantotā paraugkopa ir maza, nākamajiem eksperimentiem to vajadzētu palielināt vismaz divas reizes. Mazās paraugkopas galvenais trūkums ir tāds, ka grūti novērot datu tendences un izdarīt secinājumus par tiem. Kā arī būtu nepieciešams variēt BP frekvenci. Šajā pētījumā tika izmantota 10 Hz frekvence, kas atbilst *alfa* viļņu diapazonam. Pieļauju, ka iegūtajiem rezultātiem vajadzētu atšķirties, izmantojot citu viļņu diapazona BP.

Ja turpmākie pētījumi tiktu veikti izmantojot šajā bakalaura darbā izmantoto dzirdes stimulācijas protokolu, iespējams, vajadzētu izvietot elektrodus nevis pēc 10-20 sistēmas, bet gan pēc 10-10 sistēmas. Tādējādi, izejot no jau zināmā, varētu elektrodus izklāt blīvāk uz sekundārās dzirdes garozas un apakšējās pakauša daiviņas. Tādā veidā varētu mēģināt noskaidrot vai šajā garozas apgabalā ir kādi reģioni, kas uz BP stimulāciju reaģē spēcīgāk.

4. SECINĀJUMI

- Elektroencefalogrāfiski ir iespējams identificēt binaurāli disonantas stimulācijas (tonālo skaņu frekvenču atšķirība starp kreiso un labo ausi ir 10 Hz) specifisko ietekmi paura apakšējās daiviņas garozā, kas izpaužas kā spektrālās jaudas statistiski ticama izmaiņa (palielināšanās vai samazināšanās) α viļņu diapazonā.
- Izteiktākās izmaiņas elektroencefalogrammā novērojamas P4 un T6 novadījumos.
- Binaurāli disonantās stimulācijas izsuktā un elektroencefalogrāfiski identificējamā smadzeņu atbildes reakcija ir unilaterāla.

5. PATEICĪBAS

Izsaku pateicību par sniegtajiem padomiem, konsultācijām un palīdzību mana bakalaura darba izstrādei:

darba vadītājam – profesoram Jurim Imantam Aivaram;

darba konsultantam – docenta p.i. Zbignevam Marcinkevičam;

darba recenzentam – Dr. biol. Igoram Sviķim.

6. LITERATŪRAS SARAKSTS

- Boutros N., Galderisi S., Pogarell O. 2011. Standard Electroencephalography in Clinical Psychiatry: A Practical Handbook, Chichester: John Wiley & sons LTD, 198 pp.
- Brady B., Stevens L. 2011. Binaural-Beat Induced Theta EEG Activity and Hypnotic Susceptibility – American Journal of Clinical Hypnosis, 43 (1): 53-69.
- Branucci A., Franciotti R., D’Anselmo A., Penna S. D., Tommasi L. 2011. The Sound of Consciousness: Neural Underpinnings of Auditory Perception – The Journal of Neuroscience, 31(46): 16611-16618.
- Brown T. 2012. “Binaural Beat” cryptic code found in Bach’s compositions, World News Tomorrow.
- Cacioppo J. T., Tassinary L. G., Brentson G. G. 2007. Handbook of Psychophysiology, Cambridge: Cambridge University press, 898 pp.
- Cole K. A. 2012. The Relationship Between Theta Binaural Beats and Well-Being, Minneapolis: Capella University, 49 pp.
- Eglīte K., 2010. Anatomija 2. daļa, Rīga: LU akadēmiskais apgāds, 244 lpp.
- Foley K. M., Kourides I. A., Inturrisi C. E., Kaiko R. F., Zaroulis C. G., Posner J. B., Houde R. W., Li C. H. 1979. β -Endorphin: Analgesic and hormonal effects in humans, Neurobiology, 76 (10): 5377-5381.
- Goodin P., Ciorciari J., Baker K., Carrey A.-M., Harper M., Kaufman J. 2012. A High-Density EEG Investigation into Steady State Binaural Beat Stimulation – PLoS ONE, 7: 4.
- Haas L. F. 2003. Hans Berger (1873-1941), Richard Caton (1842-1926) and electroencephalography – Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry, 74: 9.
- Karnath H. O. 2001, New insights into the functions of the superior temporal cortex – Nature Reviews Neuroscience, 2: 586-576.
- Kennel S., Taylor A. G., Lyon D. 2010. Pilot Feasibility Study of Binaural Auditory Beats for Reducing Symptoms of Inattention in Children and Adolescents with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder – Journal of Pediatric Nursing, 25 (1): 3-11.
- Kollmeier B., Brand T., Meyer B. 2008. Springer Handbook of Speech Processing, Berlin: Springer-Verlag, 1175 pp.

- Lane J. D., Kasian S. J., Owens J. E., Marsh G.R. 1998. Binaural Auditory Beats Affect Vigilance Performance and Mood – *Physiology & Behaviour*, 62 (2): 249-252.
- “Mitsar” Co.Ltd. 2002. Electroencephalographic PC-controlled Monitoring System “Mitsar – EEG” Operation Manual, Saint Petersburg: “Mitsar” Co.Ltd., 17 pp.
- Oster G. 1973. Auditory Beats in the Brain. – *Scientific American*, 229: 94-102.
- Padmanabhan R., Hildreth A. J., Laws D. 2005. A prospective, randomized, controlled study examining binaural beat audio and pre-operative anxiety in patients undergoing general anaesthesia for day case surgery – *Anaesthesia*, 60 (9): 874-877.
- Poepel D., Overath T., Popper A. N., Fay R. R. 2012. *The human auditory cortex*, London: Springer Science + Business Media LLC, 403 pp.
- Peniston E. G., Kulkosky P. J. 1989. α - θ Brainwave Training and β -Endorphin Levels in Alcoholics – *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 13 (2): 271-279.
- Peterson J. 1916. The nature and probable origin of binaural beats – *Psychological review*, 23(5): 333-351.
- Pratt H., Starr A., Michalewski H. J., Dimitrijevic A., Bleich N., Mittelman N. 2009. Cortical evoked potentials to an auditory illusion: Binaural beats – *Clinical Neurophysiology*, 120: 1514-1524.
- Saxby E., Peniston E. G. 1995. Alpha-theta brainwave neurofeedback training: An effective treatment for male and female alcoholics with depressive symptoms – *Journal of Clinical Psychology*, 13 (2): 685-693.
- Schnupp J., Nelken I., King A. 2011. *Auditory Neuroscience Making Sense of Sound*, Massachusetts: The MIT Press, 367 pp.
- Smith C. U. M., 2000. *Biology of sensory systems*, Chichester: John Wiley & sons LTD, 534 pp.
- Spitzer M. W., Semple M. N. 1998, Transformation of Binaural Response Properties in the Ascending Auditory Pathway: Influence of Time-Varying Interaural Phase Disparity – *Journal of Neurophysiology*, 40: 3062-3076.
- Stevens L., Haga Z., Queen B., Brady B., Adams D., Gilbert J., Vaughan E., Leach C., Nockels P., McManus P. 2011. Binaural Beat Induced Theta EEG Activity and Hypnotic Susceptibility: Contradictory Results and Technical Considerations – *American Journal of Clinical Hypnosis*, 45 (4): 295-309.

- Vernon D., Peryer G., Louch J., Shaw M., 2012. Tracking EEG changes in response to alpha and *beta* binaural beats – International Journal of Psychophysiology (in press).
- Wahbeh H., Calabrese C., Zwickey H. 2007. Binaural Beat Technology in Humans: A Pilot Study to Assess Psychologic and Physiologic Effects – The Journal of Alternative and Complementary Medicine, 13 (1): 25-32.
- Watson C. G., Herder J., Passini F.T. 1978. Alpha biofeedback therapy in alcoholics: An 18-month follow-up – Journal of Clinical Psychology, 34 (3): 785-769.

7. INTERNETA VIETŅU SARAKSTS

- CNSforum 2003, The "10–20 system" of electrode placement. http://www.cnsforum.com/educationalresources/imagebank/other_eeg/placement_eeg_leads (accessed 25.05.2014.)
- FreeBinauralBeats.org 2012, Latest Binaural Beat: Inner Journey – *Delta* Brainwave – Download free 1 doser mp3 now! <http://www.freebinauralbeats.org/2012/08/02/we-have-more-free-binaural-beats-than-anywhere-else-online/> (accessed 02.06.2013.)
- Gray L, Chapter 12: Auditory System: Structure and Function, <http://neuroscience.uth.tmc.edu/s2/chapter12.html> (accessed: 27.05.2013.) B
- Latvijas Zinātnes padome 2008. Zinātnieka ētikas kodekss. http://www.lzp.gov.lv/index.php?option=com_content&task=view&id=75&Itemid=54 (skatīts: 30.05.2013.)
- Nave R. 2013. Sensitivity of Human Ear. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/sound/earsens.html> (accessed: 27.05.2013.).
- Nova Tech EEG, WinEEG. <http://www.novatecheeg.com/wineeg.html> , (accessed 30.05.2013.)
- Richards G 2001., Ph.D., CCC-SLP, Auditory & Language Processing Disorders: Identifying Problems and Intervention Strategies, employed at Eastern Illinois University and Linguistics, Inc. <http://www.wcsla.com/images/auditory-processing.jpg> (accessed 21.05.2014.).
- Singel R. 2010. Report: Teens Using Digital Drugs to Get High, <http://www.wired.com/threatlevel/2010/07/digital-drugs/> , (accessed 05.06.2013.)
- Sourceforge, Gnaural An opensource binaural-beat generator, <http://gnaural.sourceforge.net/> (accessed 02.06.2013.)
- Spielberger C., Gorsuch R. L., Lushene R. E. 1983. State-Trait Anxiety Inventory for Adults. www.mindgarden.com/products/staisad.htm (accessed 06.06.2013.)
- Steen F. F. 2005. EEG and the brain's state. <http://cogweb.ucla.edu/CogSci/EEG.html> (accessed 03.06.2013.)
- Trans Cranial Technologies ldt. 2012, 10/20 system positioning manual.