

VILNIAUS UNIVERSITETAS

Gyvybės mokslų centras

Biomokslų institutas

Neurobiologijos studijų programos II kurso studentas

Ričardas Baliutis

Magistro baigiamas darbas

**Mirksnių parametrų ir protinio nuovargio ryšio tyrimas atliekant vaizdų
sukimo mintyse užduotį**

Darbo vadovė:

Doc. dr. Ramunė Grikšienė

Vilnius, 2020

TURINYS

ĮVADAS	4
1. LITERATŪROS APŽVALGA	6
1.1. Mirksnių tipai ir registravimo metodai.....	6
1.2. Akių mirksniai ir nuovargis.....	7
1.3. Mirksnių parametrai, jų sąsajos su nuovargiu	9
1.3.1 Mirksnių parametrai	9
1.3.2 Mirksnių parametrų vertinimo būdai ir sąsajos su nuovargiu	13
1.4. Mirksnių išskyrimas laike naudojant „BLINKER“	15
1.5. Kodėl pasirinkti “BLINKER” ?	21
1.6. Vaizdų sukimo mintyse užduotis	22
2. METODIKA.....	24
2.1. Tiriamieji	24
2.2. Tyrimo duomenys.....	24
2.3. Eksperimentinė užduotis ir stimulus.....	25
2.4. Mirksnių parametrai	26
2.5. Subjektyvaus nuovargio vertinimas	27
2.6. Mirksnių parametrų analizės metodai	27
2.7. Statistinė analizė.....	28
3. REZULTATAI	29
3.1. Mirksnių parametrų rezultatai	30
3.1.1 Mirksnių dažnis	30
3.1.2 Mirksnių amplitudės.....	31
3.1.3 Mirksnių trukmė	32
3.1.4 Mirksnių užsimerkimo, atsimerkimo amplitudes-greičio santykis	33
3.2. Subjektyvaus nuovargio vertinimas	34
3.3. Vaizdų pasukimo mintyse užduoties atlikimas	35
3.3.1 Reakcijos laikas	35
3.3.2 Užduoties atlikimo tikslumas	36
3.4. Ryšiai tarp mirksnių, subjektyvaus nuovargio ir užduoties atlikimo	37

4. REZULTATŲ APTARIMAS.....	42
4.1. Subjektyvaus nuovargio vertinimas	42
4.2. Mirksnių parametrai	42
4.3. Vaizdų pasukimo mintyse užduoties atlikimas	45
4.4. Ryšiai tarp mirksnių parametrų, subjektyvaus nuovargio ir užduoties atlikimo	45
4.5. Tyrimo privalumai ir ribotumai.....	46
IŠVADOS.....	47
SANTRAUKA.....	48
SUMMARY.....	49
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	50

ĮVADAS

Akių mirksnis – tai trumpas, reflekso kontroliuojamas akių vokų nuleidimas bei pakėlimas, kuris pasireiškia spontaniškai, valingai arba kaip atsakas į žalingą stimulą (M. W. Johns, 2003). Akių vokų judesių pokyčiai mieguistumo ir protinio nuovargio būsenoje turi aiškų fiziologinį pagrindą. Mirksniai suteikia galimybę tiesiogiai pažvelgti į centrinės nervų sistemos funkciją ir fiziologinius budrumo pokyčius per tiesioginį grįžtamąjį ryšį iš vidurinių smegenų tinklinio darinio (Kinomura, Larsson, Gulyas, & Roland, 1996). Didžiausią reikšmę mirksnių kontrolėje atlieka dviejų raumenų sąveika. Žiedinio akies raumens (lot. *Musculus orbicularis oculi*) susitraukimas lemia akių vokų nuleidimą, o viršutinio voko keliamojo raumens (lot. *Levator palpebrae superioris*) palaiko viršutinius akies vokus pakeltus budrumo būsenoje (Aramideh, Ongerboer de Visser, Devriese, Bour, & Speelman, 1994). Didėjant protiniam nuovargiui ir mieguistumui sumažėja viršutinio voko keliamojo raumens motoneurono aktyvumas užsiskleidžiant vokui (Anderson, Chang, Sullivan, Ronda, & Czeisler, 2013). Besikeičiant akies vokų judesių kontrolėje dalyvaujančių raumenų veikimui, keičiasi ir mirksnių parametrai: dažnis, amplitudė, trukmė.

Pastebima, kad spontaninių mirksnių parametrai, kaip dažnis ir trukmė, stipriai priklauso nuo psichologinės būsenos bei sveikatos būklės (A. A. Cruz, D. M. Garcia, C. T. Pinto, & S. P. Cechetti, 2011) be to, yra susiję su kognityvine veikla (Wascher, Heppner, Möckel, Kobald, & Getzmann, 2015). Akių bei akių vokų judesių tyrimai laikomi patikimu būdu kiekybiškai įvertinti mieguistumo ir nuovargio lygį, kuris atsispindi užduočių atlikimo kokybėje ir dėmesingumo sumažėjime (Cajochen, Foy, & Dijk, 1999; Lockley et al., 2004). Mieguistumas ir sumažėjęs dėmesingumas yra procesai, glaudžiai susiję su protiniu nuovargiu. Kai žmogus jaučia nuovargį dėl poilsio stokos ar ilgalaikio fizinio krūvio, pastebimas dėmesingumo mažėjimas (Haq & Hasan, 2016). Chroniškas nuovargis yra susijęs su mažu darbiniu produktyvumu bei gali tapti nelaimingų atsitikimų priežastimi (Horiuchi, Ogasawara, & Miki, 2017). Tyrimuose pastebėta, kad mažas dėmesingumas vairuojant yra 30-ies procentų visų auto įvykių priežastis (Haq & Hasan, 2016).

Literatūroje yra aprašyta kaip keičiasi mirksnių parametrai didėjant protiniam nuovargiui ir mieguistumui. Buvo nustatyta, kad padidėjęs mirksnių dažnis yra patikimas nuovargio indikatorius (J. A. Stern, Boyer, & Schroeder, 1994). Vėlesni tyrimai atskleidė, kad lengvas

nuovargis susijęs su padidėjusiu mirksnių dažniu, kai tuo tarpu stiprus nuovargis ir mieguistumas, su padidėjusiu mirksnių dažniu bei mirksnių trukme (Galley, Schleicher, & Galley, 2003). Taip pat pastebima, jog mieguistumo-nuovargio būsenoje mirksniai sulėtėja (M. W. Johns, 2003), o amplitudės-greičio santykiai nuleidžiant ir pakeliant akies vokus, padidėja (M. Johns, 2020). Tai suteikia pagrindą manyti, kad mirksnių parametrai gali būti objektyvus ir santykinai nesunkiai išmatuojamas didėjančio protinio nuovargio rodiklis.

Mirksnių parametrų pokyčiams reikšmės turi ir kognityvinė veikla – daug ar mažai resursų ji reikalauja. Vaizdų sukimo mintyse užduotis (angl. *mental rotation task*) (Shepard & Metzler, 1971) yra nemažai kognityvinių resursų, tokių, kaip dėmesio sutelkimas, suvokimas, reikalaujanti užduotis. Dažniausiai šiai užduočiai atlikti naudojama strategija yra figūros sukimas mintyse tol, kol jos atvaizdas sutampa su atmintyje išlaikytu pirminės figūros šablonu (Shepard & Metzler, 1971). Tyrimuose pastebėta, jog ilgalaikėse eksperimentų sesijose ši erdvinių figūrų sukimo mintyse užduotis, sukelia protinį nuovargį (Gonzalez, Best, Healy, Kole, & Bourne Jr, 2011; Pattyn, Neyt, Henderickx, & Soetens, 2008). Tačiau iki šiol, atliekant vaizdų pasukimo mintyse užduotį, buvo pasikliaujama tiriamųjų subjektyviu protinio nuovargio vertinimu.

Tyrimo tikslas – įvertinti mirksnių parametrų, išskirtų naudojant „BLINKER“ programinį paketą, sąsajas su subjektyviai vertinamu protiniu nuovargiu ir užduoties atlikimo parametrais.

Tyrimo tikslui pasiekti keliami tokie **uždaviniai**:

1. Įvertinti kaip subjektyviai vertinamas protinis nuovargis ir užduoties atlikimo parametrai kinta ilgą laiką atliekant vaizdų pasukimo mintyse užduotį.
2. Nustatyti kaip mirksnių parametrai (mirksnių dažnis, trukmė, amplitudė, užsimerkimo, atsimerkimo amplitudės-greičio santykis) kinta ilgą laiką atliekant vaizdų pasukimo užduotį.
3. Įvertinti koreliacinius ryšius tarp mirksnių parametrų (mirksnių dažnis, trukmė, amplitudė, užsimerkimo, atsimerkimo amplitudės-greičio santykis), subjektyvaus nuovargio ir užduoties atlikimo parametrų.
4. Įvertinti mirksnių parametrų, subjektyvus nuovargio ir užduoties atlikimo rezultatų, bei ryšių tarp jų, priklausomybę nuo lyties.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1 Mirksnių tipai ir registravimo metodai

Mirksnių tipai

Akių mirksnis – tai trumpas, refleksu kontroliuojamas akių vokų nuleidimas, kuris pasireiškia spontaniškai, valingai arba kaip atsakas į žalingą stimulą (M. W. Johns, 2003). Kiekvienas mirksnis prasideda viršutinio voko keliamojo raumens (lot. *Levator palpebrae superioris*) toninio susitraukimo slopinimu, kuris įprastai palaiko viršutinius akies vokus pakeltus budrumo būsenoje (Aramideh et al., 1994). Tuo pat metu žiedinis akies raumuo (lot. *Musculus orbicularis oculi*) susitraukia užskleisdamas akių vokus. Akių atmerkimas vyksta analogiškai – žiediniam akies raumeniui atsipalaidavus ir voko keliamajam raumeniui susitraukus.

Išskiriami trys pagrindiniai mirksnių tipai: refleksiniai, spontaniški ir valingi (A. A. Cruz et al., 2011). Pastarasis tipas priklauso tik nuo žmogaus valios, kai pirmieji du susiję su kitomis funkcijomis. Refleksiniai mirksniai pasirodo kaip atsakas į trišakio nervo, vizualinius ar akustinius stimulus. Tuo tarpu spontaniškas mirksėjimas yra nevalingas, nesąmoningas trumpas abiejų akių vokų užskleidimas įprastai pasireiškiantis simetriškai ir koordinuotai nepriklausomai nuo aplinkos stimulų (A. A. Cruz et al., 2011).

Žmogui esant budriam, spontaniškų mirksnių metu akių vokai pilnai užskleisti lieka tik keletą milisekundžių, kai tuo tarpu visas mirksnis trunka apie 100-300 milisekundžių (M. W. Johns, 2003). Pastebėta, jog apsnūdimo būsenoje, kai kurie mirksniai trunka ilgiau, apie 500 milisekundžių, nes akių vokai užskleisti lieka ilgiau, dėl to, kad galimai toninis voko keliamojo raumens susitraukimas yra slopinamas ilgiau nei įprastai. Be to, akių vokų atvėrimas ir užvėrimas yra lėtesnis, nes voko keliamojo raumens bei žiedinio akies raumens susitraukimo stiprumas yra mažesnis (M. W. Johns, 2003).

Spontaniniai mirksniai yra stipriai varijuojantys ir priklauso nuo psichologinės būsenos bei sveikatos būklės (A. A. Cruz et al., 2011). Mirksnių metu, akių vokų judesiai yra ypatingai svarbūs palaikyti skaidriam, ryškiam vaizdui, kadangi padeda paskirstyti ašarų plėvelės sluoksnį po akies paviršių ir taip palaikyti plėvelės stabilumą (A. A. Cruz et al., 2011). Spontaninių mirksnių dažnio pokyčiai taip pat yra susiję su žmogaus kognityviniais procesais – kinta priklausomai nuo kognityvinių pastangų, yra susiję su informacijos apdorojimu (Wascher et al., 2015).

Mirksnių registravimo metodai

Mirksniams registruoti gali būti pasitelkiamos skirtingos technikos. Metodo pasirinkimą dažnai lemia mirksnių matavimo tikslas ir technologijų „evoliucija“, kuri pasirodė kaip pažangos vaizdo registravime ir ją apdorojančios programinės įrangos pasekmė (A. A. Cruz et al., 2011).

Dažnai mirksnių matavimai buvo vykdomi rankiniu būdu, tiesiogiai stebint vaizdo medžiagą ir žymintis mirksnius (Schleicher, Galley, Briest, & Galley, 2008). Praeityje taip pat buvo naudojamos mechaninės sistemos skirtos viršutinių akių vokų judesiams matuoti, kai vokas buvo tiesiogiai sujungiamas su svirtele, prijungta prie mirksnius skaičiuojančio prietaiso (Ponder & Kennedy, 1927). Vėliau pradėti naudoti modernesni metodai, kaip elektrookulografas (EOG) arba elektromiografas (EMG), naudojamas mirksnių tyrimuose registruoti ryšį tarp žiedinio akies raumens ir viršutinio voko keliamojo raumens aktyvumo (A. A. Cruz et al., 2011).

Pastaruoju metu vis dažniau pasitelkiama specialūs prietaisai, kaip kontaktinių linzių sensoriai, kurie sėkmingai fiksuoja akių mirksnius ir kitą okuliarinį aktyvumą (Gisler, Ridi, Hennebert, Weinreb, & Mansouri, 2015). Be to, populiarėja programinės įrangos gebančios išskirti mirksnius iš kitų metodų registravimo rezultatų, pavyzdžiui, „MATLAB“ programos priedėlis „EYE-EEG“ (Dimigen, Sommer, Hohlfeld, Jacobs, & Kliegl, 2011) geba iš EEG signalo užfiksuoti ir analizuoti akių judesius. Programa „EALAB“ (Andreu-Perez, Solnais, & Sriskandarajah, 2016) skirta vyzdžių pokyčių matavimui, akių judesiams, sakadoms bei fiksacijoms matuoti.

Praeityje naudotos technikos, kaip mechaninis mirksnių registravimas stebint vaizdo medžiagą, yra vis dar naudojamos, tačiau dažnai tampa tik kaip priemonė naujų mirksnių registravimo metodų efektyvumui patikrinti. Kiekvienas metodas turi savo privalumus ir trūkumus, tinkamas pasirinkimas daugiausiai priklauso nuo matavimo paskirties ir tyrėjų poreikio.

1.2 Akių mirksniai ir nuovargis

Vyzdžio atsakas ir mirksnių rodikliai suteikia informacijos apie emocijas ir kitas tiriamųjų charakteristikas (Mathot & Van der Stigchel, 2015). Oftalmologai matuoja mirksnių dažnius ir kitus okuliarinius matus siekdami įvertinti ligas, pvz. glaukomą (A. A. Cruz et al., 2011; Doughty, 2014). Mirksniai taip pat atlieka svarbią rolę žmogaus informacijos apdorojime bei yra susiję su kognityvinės veiklos pokyčiais (Wascher et al., 2015). Manoma, kad dėl ilgalaikės

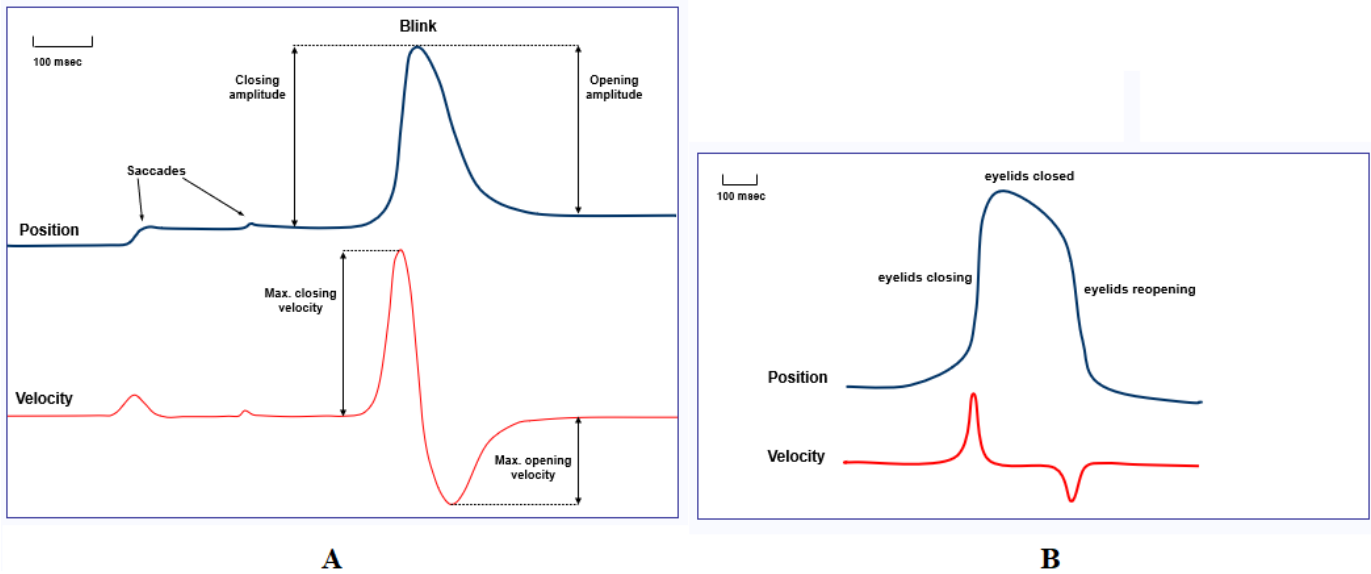
vizualinės įtampos sukkelto nuovargio (Kaneko & Sakamoto, 2001) gali būti sutrikdytas žiedinio akies raumens aktyvumo nuleidžiant voką bei viršutinio voko keliamojo raumens aktyvumo pakeliant voką koordinavimas centrinėje nervų sistemoje (Björk & Kugelberg, 1953; Esteban & Salinero, 1979).

Akių bei akių vokų judesių parametrų vertinimas laikomas patikimu būdu kiekybiškai įvertinti mieguistumo ir nuovargio lygį, kuris atsispindi užduočių atlikimo kokybėje ir dėmesingumo pablogėjime (Cajochen et al., 1999; Lockley et al., 2004). Mirksnių ypatumai stebimi žmogaus būsenoje prieš užmiegant, dažnai matomi ir miego trūkumą patiriantiems asmenims. Jie susiję su unikalia būseną atspindinčia miego – budrumo sąsajas centrinėje nervų sistemoje (John A Stern & Skelly, 1984). CNS poveikis mirksnių charakteristikoms yra realizuojamas per neuronų centrų, reguliuojančių akių judesius ir pailgųjų smegenų struktūrų, atsakingų už miego – budrumo procesą sąveiką (Morris & Miller, 1996; John A Stern & Skelly, 1984).

Mieguistumas ir sumažėjęs dėmesingumas yra glaudžiai su protiniu nuovargiu susiję procesai. Kai žmogus jaučia nuovargį dėl poilsio stokos ar ilgalaikio fizinio krūvio, pastebimas dėmesingumo mažėjimas (Haq & Hasan, 2016). Chroniškas nuovargis yra susijęs su mažu darbinio produktyvumu bei gali tapti pavojingų ar net mirtinų nelaimingų atsitikimų priežastimi (Horiuchi et al., 2017). Vairavimo tyrimuose mirksnių parametrai taip pat įrodė esantys patikimu mieguistumo ir subjektyviai vertinamo nuovargio prediktoriumi (Cori, Anderson, Shekari Soleimanloo, Jackson, & Howard, 2019). Tyrimuose pastebėta, kad mažas dėmesingumas vairuojant yra 30 procentų visų auto įvykių pasekmė (Haq & Hasan, 2016).

Nuovargis pasireiškiantis dirbant, gali sukelti pašalinius pojūčius, kaip neryškus vaizdas, mirksnių dažnio padidėjimas ir dažnesnių lėtų mirksnių padidėjimas. Taigi, fiziologiniai pokyčiai žmogui pereinant iš budrumo būsenos į mentalinį nuovargį ir mieguistumą atsispindi akių bei akių vokų judesių charakteristikose (Horiuchi et al., 2017). Tai leidžia tikėtis, kad akių mirksnių parametrus galima naudoti kaip indikatorių vertinant žmogaus nuovargį ir protinę apkrovą.

Mirksnių parametrų matavimas siekiant įvertinti nuovargį bei mieguistumą turi daug privalumų. Vienas jų – šis metodas gali būti naudojamas kaip patikimas didėjančio nuovargio prediktorius skirtinguose tyrimų tipuose: vairuojant transporto priemonės, medicininėse procedūrose (Martins & Carvalho, 2015). Taip pat, tai yra saugus, neinvazinis metodas, kuriam galima pritaikyti įvairius registravimo metodus bei panaudoti praktinėse gyvenimo situacijose.



1.1 Pav. Akių ir akių vokų judesiai (juoda linija) ir jų judesio greitis (raudona linija) mirksnio metu budrumo (A) ir nuovargio-mieguistumo (B) būsenoje (Tucker & Johns, 2005)

1.1 Pav. pažymėta kaip skiriasi akių vokų judesiai tarp budrumo ir mieguistumo-nuovargio būsenoje. Matoma, jog mieguistumo-nuovargio būsenose mirksniai pakeičia savo formą – laikas, kai užmerktos akys ilgėja, greitis užsimerkiant ir atsimerkiant sumažėja.

1.3 Mirksnių parametrai, jų sąsajos su nuovargiu

1.3.1 Mirksnių parametrai

Mirksnių parametrai – mirksnių dažnis ir trukmė, reikšmingai skyrėsi juos vertinant tarp aktyvumo bei nuovargio-mieguistumo būsenų. (Cori et al., 2019; M. Johns, Tucker, Chapman, Michael, & Beale, 2006). Tyrinėjant mirksnių parametrus, dažniausiai pasirenkami matai: mirksnių dažnis, mirksnių trukmė bei mirksnių amplitudės-greičio santykis. Mirksnių dažnis ir mirksnių trukmė literatūroje pažymimi kaip geriausiai ištyrinėti okulomotoriniai indikatoriai budrumo būsenai nustatyti (Lal & Craig, 2001; Papadelis et al., 2007; Van Orden, Jung, & Makeig, 2000).

Mirksnių dažnis

Didelio masto tyrimo rezultatai, gauti išanalizavus duomenis iš apytiksliai 590 valandų EEG įrašų, ir apytiksliai 675,000 mirksnių, parodė, kad vidutiniškai mirksnių dažnis varijuoja intervale nuo 19,6 iki 22,6 mirksnių per minutę (Kleifges, Bigdely-Shamlo, Kerick, & Robbins, 2017). Kitame tyrime, matuojant spontaniškus mirksnius rasta, kad vidutiniškai suaugusieji

mirksi nuo 10 iki 20 mirksnių per minutę (A. A. V. Cruz, D. M. Garcia, C. T. Pinto, & S. P. Cechetti, 2011). Kituose šaltiniuose ramybės būsenoje vidutinis mirksėjimo dažnis nurodomas kaip 17 mirksnių per minutę, tačiau skaičius gali varijuoti nuo 4 iki 26 per min (Haq & Hasan, 2016).

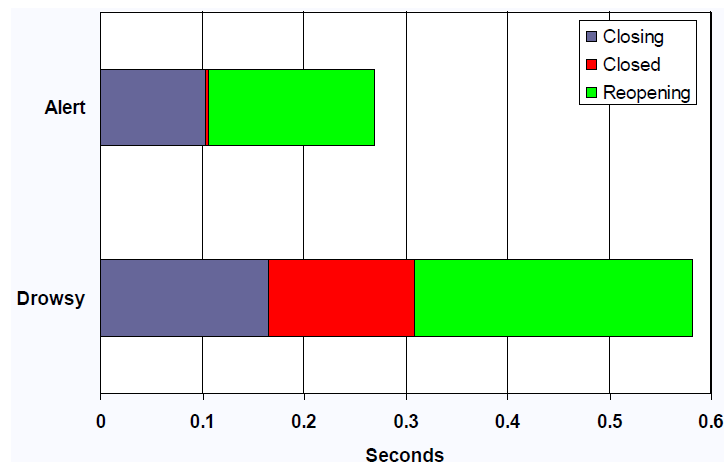
J. A. Stern (1994) su kolegomis teigia, jog padidėjusį mirksnių dažnį galima laikyti nuovargio indikatoriumi (J. A. Stern et al., 1994). Tyrime buvo rasta, kad lengvas nuovargis susijęs su padidėjusiu mirksnių dažniu, kai tuo tarpu stiprus nuovargis ir mieguistumas – su padidėjusiu mirksnių dažniu bei ilgesne mirksnių trukme (Galley et al., 2003). Apžvalginiame straipsnyje teigiama, kad dauguma tyrimų patvirtina mirksėjimo dažnį, kaip galimą žmogaus nuovargio arba mentalinės apkrovos indikatorių (Martins & Carvalho, 2015). Taip pat pastebimas mirksėjimo dažnio variabilumas tarp tiriamųjų ir atvirkščias ryšys tarp užduoties sudėtingumo ir mirksėjimo dažnio (Martins & Carvalho, 2015). Taigi, galbūt šis parametras gali būti naudojamas kaip pakankamai tikslus bei lengvai išmatuojamas parametras įvairaus tipo studijose, pavyzdžiui matuoti nuovargio būsenos padidėjimą atliekant sudėtingas užduotis.

Ryšį tarp mirksnių dažnio ir mentalinių užduočių atlikimo apibūdinti gana sudėtinga. Atliekant kognityvines užduotis padidėjęs mentalinis krūvis didina mirksnių dažnį, tačiau intensyvus vizualinis krūvis jį slopina (Recarte, Perez, Conchillo, & Nunes, 2008). Pagal Fogarty ir Stern (1989), sumažėjęs mirksnių dažnis rodo padidėjusį vizualinių resursų poreikį užduočiai atlikti (Fogarty & Stern, 1989). Šis mechanizmas atlieka paprastą funkciją – sumažinti tikimybę praleisti aktualią informaciją. Tikėtina, kad mirksnių dažnis padidėja nuo vidutinės bazinės reikšmės atliekant kognityvines užduotis, kai nėra didelės vizualinės įtampos ir tai yra susiję su padidėjusia protine apkrova. Jei užduotis reikalauja vizualinių pastangų, kaip ieškojimas ir aptikimas vaizdo ekrane, mirksnių dažnis bus mažesnis palyginus su vidutine bazine reikšme (Recarte et al., 2008). Taigi, atliekant vizualinę kognityvinę užduotį du skirtingi efektai prieštaringai veikia tą patį procesą. Tą patį patvirtina ir kiti autoriai aiškindami, jog padidėjusį mirksnių dažnį galima prognozuoti didėjant nuovargiui arba kognityvinėms pastangoms (Recarte et al., 2008). Iš to galima daryti prielaidą, jog įtaka mirksnių dažniui bus dvipusė – didinama ir mažinama tuo pačiu metu. Siveraag ir Stern (2000) pastebi, kad mirksnių dažnio slopinimo efektas pasireiškia daugiau kognityvinių resursų reikalaujančiose užduotyse, ypač vizualinėse užduotyse (Siveraag & Stern, 2000). Verta pastebėti, jog kitų autorių apžvalginiame straipsnyje mirksnių dažnis buvo mažiausiai patikimas rodiklis vertinti operacinį mieguistumą ir nuovargį.

Kai dauguma parametrų vertės didėjo didėjant ir nuovargiui, kai kuriuose tyrimuose šis rodiklis visai nepakito ar netgi rodė nedidelį sumažėjimą (Cori et al., 2019).

Mirksnių trukmė

Mirksnių trukmė – dar vienas, literatūroje dažnai sutinkamas mirksnių parametras, kuris rodo reikšmingus skirtumus tarp budrios ir mieguistumo-nuovargio būsenos. Nustatyta, kad ilgėjanti mirksnių trukmė koreliuoja su mažėjančiu budrumu (Horiuchi et al., 2017). Mirksnių trukmė buvo geras vairavimo pablogėjimo prediktorius vairavimo tyrimuose, taip pat plačiai įvertintas laboratorinėmis bei praktinėmis sąlygomis (Cori et al., 2019).



1.2 Pav. Vidutinės mirksnių trukmės komponentų vertės tarp budrių ir nuovargio-mieguistumo būsenos tiriamųjų (Tucker & Johns, 2005)

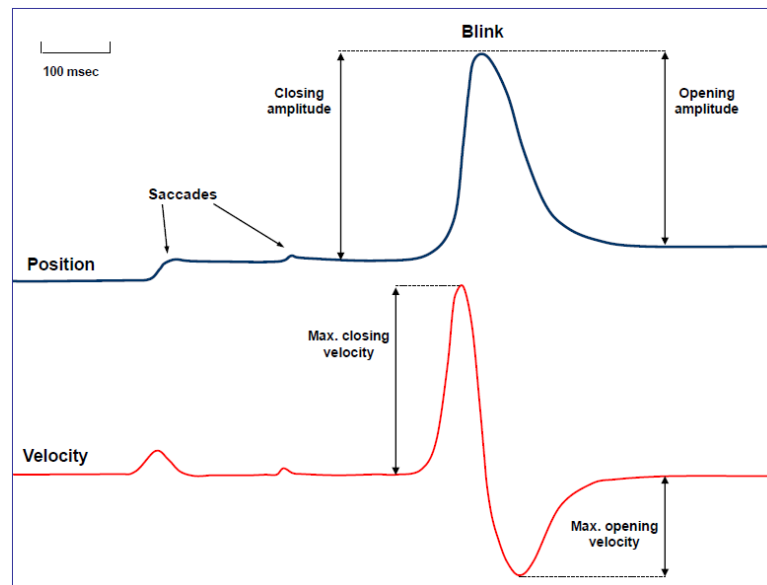
Tucker ir Johns (2005) tyrime gauti rezultatai atskleidžia, jog budrioje būsenoje esantys tiriamieji pasižymėjo reikšmingai mažesne mirksnių trukme nei mieguistumo-nuovargio būsenoje (1.2 Pav). Bendra mirksnių trukmė nuo ~2,7 sekundės budrumo būsenoje padidėjo iki ~5,8 sekundės mieguistumo-nuovargio būsenoje. Taip pat galima pastebėti, jog padidėjo visų mirksnių komponentų: užsimerkimo, atsimerkimo trukmės bei užmerktų akių trukmė mirksnio metu vertės.

Mirksnių amplitudės-greičio santykis

Amplitudės-greičio santykis apibrėžiamas, kaip maksimalios mirksnio amplitudės vertė padalinta iš maksimalaus greičio (Kleifges et al., 2017). Maksimali amplitudė – tai vertė, kuri pasiekama nuo mirksnio pradžios iki maksimalaus piko, kuris pasiekiamas pilnai užmerkus akį. Nustatyta, jog budrumo būsenoje akių vokų nuleidimo greitis stipriai koreliuoja su mirksnio

amplitudė (M. W. Johns, 2003). Ne visi mirksniai yra vienodi ir kuo didesnė mirksnio amplitudė, tuo didesnis jo greitis (M. W. Johns, 2003).

Maksimalus akies mirksnio greitis visuomet pasiekiamas užsimerkimo fazės metu, kurio metu viršutinio voko keliamasis raumuo atsipalaiduoja ir stipriai susitraukia žiedinis akies raumuo užmerkdamas viršutinį akies voką. Atsimerkimo fazė yra lėtesnė ir joje dalyvaujantis viršutinio voko keliamojo raumens susitraukimas nėra toks stiprus (A. A. V. Cruz et al., 2011).



1.3 Pav. Akių ir akių vokų judesiai (juoda linija) ir jų judesio greitis (raudona linija) mirksnio metu budrumo būsenoje (Tucker & Johns, 2005)

1.3 Pav. Pavaizduota kaip keičiasi akių vokų judesio greitis mirksnio metu. Matoma, jog maksimalus greitis pasiekiamas akies voko nuleidimo metu.

Amplitudės-greičio santykis yra santykinis akies voko judesių greičio matavimo parametras, kuriam nėra reikalinga kalibracija (M. Johns, 2020). Užsimerkimo, atsimerkimo greitis matuojamas pokyčio greičiu, pavyzdžiui milimetrais per sekundę (M. W. Johns, 2003). Johns (2003) tyrime nustatė, jog mirksnio amplitudės ir užmerkimo greičio, santykis yra mieguistumo ir nuovargio matas (M. W. Johns, 2003). Autorius išskyrė du greičio matus, kaip potencialius nuovargio indikatorius: pozityvų amplitudės-greičio santykį (voko nuleidimas, užsimerkimas) ir negatyvų amplitudės-greičio santykį (voko pakėlimas, atsimerkimas) (M. W. Johns, 2003). Mieguistumo-nuovargio būsenoje amplitudės-greičio santykiai akies voko

nuleidimui ir pakėlimui padidėja (kai tuo tarpu santykiniai greičiai sumažėja) (M. Johns, 2020). Dėl mažesnių greičių, akių vokų judesio trukmė didėja kartu su nuovargio-mieguistumo būseną.

Mieguistumo būsenoje, mirksniai tampa lėtesni, nors jų amplitudė nepakinta (M. W. Johns, 2003). Tyrimo rezultatai atskleidžia, jog amplitudės-greičio santykis padidėjo po 19 valandų budrumo, kai padidėjusį nuovargį patvirtino papildomi testai. Taigi, protinis nuovargis ir mieguistumas sukelia įprastai tvirto akių vokų judesio kontrolės mechanizmo atsipalaidavimą, tačiau dažnu atveju tai varijuoja laike bei tarp tiriamųjų.

Tačiau autoriai pastebi, jog nors tyrimuose matomi reikšmingi parametro skirtumai tarp budrios ir nuovargio-mieguistumo būsenos, negalima pasikliauti vien tik šiais parametrais charakterizuoti nuovargio būseną, ar nuspėti užduoties atlikimo kokybės klaidas (M. Johns, 2020).

1.3.2 Mirksnių parametrų vertinimo būdai ir sąsajos su nuovargiu

Literatūroje nėra aprašyta daug tyrimų, skirtų studijuoti akių mirksnių aktyvumą panaudojus EEG (Kleifges et al., 2017). Tai lėmė programinės įrangos, skirtos akių mirksnių matavimui ir analizei, trūkumą. Buvo atliktas tyrimas, kuriame tyrinėta kaip skirtingų tipų akių sukeltų artefaktų atrodo EEG signale (Plöchl, Ossandón, & König, 2012). Autoriai sukūrė „MATLAB“ priedėlį „EYE-EEG“ (Dimigen et al., 2011) skirtą analizuoti akių judesiams kartu su EEG signalu.

Įprastai, įvykiai, kaip kūno, veido raumenų aktyvumas, akių sakados ar mirksniai yra laikomi elektroencefalogramos (EEG) artefaktais, kuriems šalinti pasitelkiamos įvairios technikos (Delorme, Sejnowski, & Makeig, 2007; Jung et al., 2000; Mognon, Jovicich, Bruzzone, & Buiatti, 2011; Nolan, Whelan, & Reilly, 2010; Winkler, Haufe, & Tangermann, 2011). Tuo tarpu, žvelgiant iš kitos perspektyvos, pasireiškiantys akių ypatumų rodikliai gali reprezentuoti žmogaus gebėjimus atlikti tam tikras užduotis ir charakterizuoja nuovargį bei kitus būsenos pokyčius (Benedetto et al., 2011; Marquart, Cabrall, & de Winter, 2015; L. K. McIntire, R. A. McKinley, C. Goodyear, & J. P. McIntire, 2014; Recarte et al., 2008; Schuri & von Cramon, 1981; Wilkinson et al., 2013). Akių judesiai taip pat tiesiogiai susiję su suvokimu ir dėmesiu (Kleifges et al., 2017). Nors tiesioginis akių aktyvumo matavimo būdas yra parankiausias metodas tyrinėti įvairius akių parametrus, tačiau įmanoma išskirti keletą akių rodiklių tipų tiesiogiai iš EEG signalo, be papildomo signalo įrašymo ir apdorojimo. Iš EEG signalo galima

išskirti akių rodiklius, kaip: mirksnių dažnis (angl. *blink rate*), mirksnių trukmė (angl. *blink duration*), pozityvus amplitudės-greičio santykis (angl. *positive amplitude velocity ratio*), negatyvus amplitudės-greičio santykis (angl. *negative amplitude velocity ratio*), santykinė užmerktų akių trukmė (angl. *percent time closed*), taip pat šių matavimų dažnis, standartinė paklaida bei pokyčių dažnis (Kleifges et al., 2017).

Mirksnių trukmė įprastai matuojama sekundėmis arba milisekundėmis, kai tipiškas intervalas prasideda nuo 0,1 sekundės iki 0,5 sekundės, bet gali pasiekti 2 – 3 sekundžių trukmę prieš užmiegant (Kleifges et al., 2017). Tyrime atskleista, jog mirksnių trukmė pradeda drastiškai didėti po to, kai tiriamieji praleidžia budrumo būsenoje 18 valandų, pasiekia piką esant budrumo būsenoje 28 valandas ir vėl pradeda mažėti iki minimalios reikšmės po 34 valandų nuolatinėje budrumo būsenoje. Taip pat rasta, kad mirksnių trukmė pasižymi stipriu ryšiu su cirkadiniu ritmu – mirksnių trukmė sparčiai ilgėjo, kai tiriamojo kūno temperatūra pasiekė fiksuotą minimalią reikšmę (Ftouni et al., 2013). Verta pastebėti, kad nepaisant tiriamųjų cirkadinės fazės ar laiko praleisto budrumo būsenoje kintamųjų įtakos, mirksnių trukmė pasižymi dideliu variabilumu tarp tiriamųjų (Ftouni et al., 2013). Kito tyrimo rezultatai atkleidė, jog pastebimi reikšmingi skirtumai tarp tiriamųjų matuojant bazines mirksnių trukmės reikšmes vairavimo simuliacijos eksperimente (Ingre, Akerstedt, Peters, Anund, & Kecklund, 2006), taip pat kintamojo variabilumas buvo fiksuojamas ir realaus vairavimo metu (Sandberg et al., 2011).

Mirksnių dažnis priklauso nuo daugelio faktorių susijusių su bendra regėjimo funkcija, akių fiziologija, veido judesiais, pažinimo funkcija ir sužadavimo lygiu (Karson, 1988). Tai leidžia manyti, jog mirksnių dažnis taip pat gali pasižymėti variabilumu tarp tiriamųjų asmenų.

Tyrimuose pastebėta, jog mirksnių dažnis ir trukmė didėjo, kai užduočių atlikimo kokybė mažėjo (Lindsey K. McIntire, R. Andy McKinley, Chuck Goodyear, & John P. McIntire, 2014). Taip pat nustatyta, kad dešinės žievės kraujotakos greitis sumažėjo, kai užduoties atlikimo kokybė mažėjo. Tai reiškia, jog akių mirksnių rodikliai, gali būti panaudoti kaip sužadavimo lygio indikatoriai (Lindsey K. McIntire et al., 2014). Nustatyta neigiama koreliacija tarp mirksnių dažnio ir dėmesio mirksėjimo efekto (angl. *attentional blink effect*), kuris nusako negebėjimą pastebėti antro regimojo stimulo pasirodančio 100-500 milisekundžių po pirmo stimulo (Colzato, Slagter, Spapé, & Hommel, 2008). O didesnis dėmesio mirksėjimo efektas susijęs su mažesne darbinės atminties trukme (Colzato, Spapé, Pannebakker, & Hommel, 2007).

Amplitudės-greičio santykis (angl. *amplitude velocity ratio*) yra tiesiogiai susijęs su mieguistumu (M. W. Johns, 2003). Pozityvus amplitudės-greičio santykis (PAGS) yra mirksnio maksimalios signalo amplitudės maksimaliam akies užmerkimo greičiui santykis, o negatyvus amplitudės-greičio santykis (NAGS) yra maksimalios signalo amplitudės maksimaliam akies atmerkimo signalo greičiui santykis (Kleifges et al., 2017). Abu santykiai yra laiko vienetai, nepriklausomi nuo amplitudės vienetų. Įprastai literatūroje sutinkama, kad laikas skaičiavimams konvertuojamas į centisekundes, kurios atitinka vieną šimtąją sekundės dalį (0,01 s). Literatūroje rasta, kad vidutinis PAGS trunka apytiksliai 4 centisekundes sužadintiems tiriamiesiems ir nuo 2,5 iki 5,7 centisekundžių tiriamiesiems normalioje būsenoje (M. W. Johns, 2003). Taip pat rasta, jog tiriamiesiems su miego trūkumas vidutinis PAGS pakilo iki apie 7 centisekundžių. Anot tyrimo autorių, pokyčiai matomi, nes mieguistumas yra susijęs su centriniu neuroniniu regos slopinimu (M. W. Johns, 2003).

Nors daugumoje tyrimų buvo nustatytas ryšys tarp mirksnių rodiklių ir psichologinių būsenų, kaip mieguistumas, nuovargis, dėmesingumas ir sužadinimas, daugumoje studijų pasirinkta imtis pakankamai maža. Taip pat pastebimas variabilumas tarp tiriamųjų ir netgi tarp skirtingose jų būsenose.

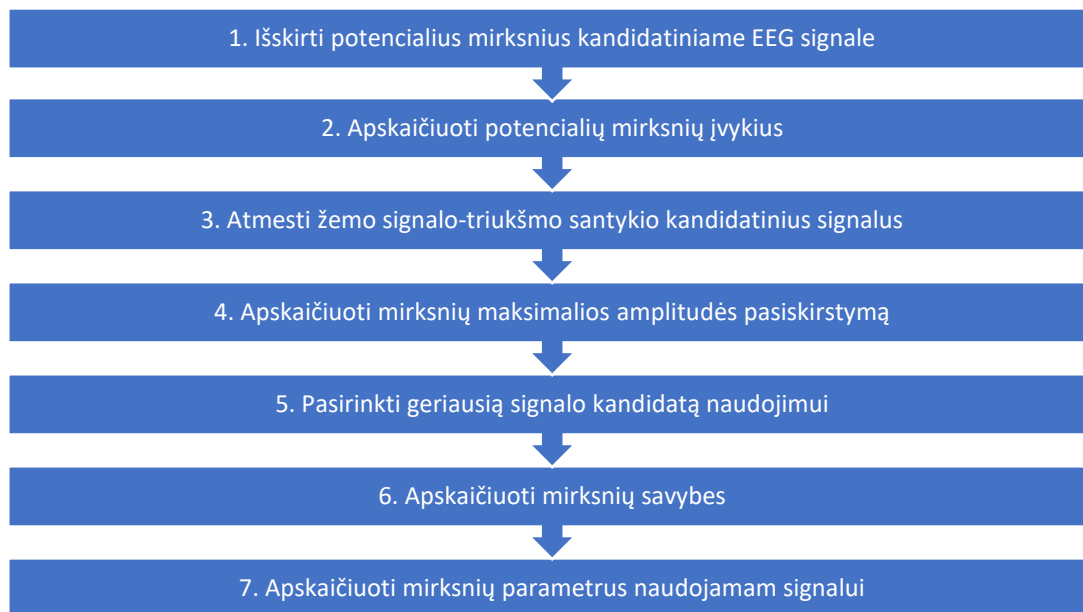
1.4 Mirksnių išskyrimas laike naudojant „BLINKER“

Nors populiariausias būdas tyrinėti mirksnių ypatumus yra pasitelkus akies aktyvumo matavimo įrangą, tačiau yra būdų mirksnius registruoti ir analizuoti kitokiais metodais. Mirksnių rodiklius galima apskaičiuoti tiesiogiai iš EEG signalo išskiriant akių mirksnius. Šiam tikslui pasiekti Kleifges et al (2017) sukūrė automatizuotą programinės įrangos metodiką, kuri geba tiesiogiai iš EEG signalo išskirti įvairius mirksnių rodiklius. Sukurta metodika veikia kaip programos „MATLAB“ priedėlis pavadinimu „BLINKER“ (Kleifges et al., 2017).

Švariose duomenų įrašuose mirksnius geriausiai gali reprezentuoti priekiniai EEG kanalai, viršutiniai vertikalūs EOG kanalai arba į kaktinę skiltį orientuota nepriklausomų komponentų aktyvacija (Kleifges et al., 2017). EEG yra vienas populiariausių smegenų aktyvumo matavimo metodų, kuris geba fiksuoti veido raumenų tarp jų ir akių mirksnių, aktyvumą. Įprastai matuojant EEG pasitelkiami EOG konkrečiai akių mirksniams matuoti, kad vėliau galėtų būti pašalinti iš EEG įrašo kaip artefaktai. Tačiau pasirinkus jau įrašytų duomenų rinkinį kai kurių signalų gali trūkti arba gali būti nekokybiški, triukšmingi, netinkami apdorojimui ir analizei. Dėl šios priežasties verta ieškoti alternatyvų, kurios leistų tyrėjams

efektyviau panaudoti tyrimų duomenis. Automatizuotas procesas gali suteikti galimybę naudoti alternatyvius variantus išskirti mirksnius iš įvairių šaltinių

Akių ir akių vokų judesiai pasižymi dideliu kintamumu ir įvairove priklausomai nuo tiriamųjų, todėl tai kelia iššūkį tinkamai užfiksuoti visus įvykusius mirksnius naudojant automatizuotą procesą. „BLINKER“ naudoja keletą duomenų įrašo apdorojimo etapų ir indikuoja kada programos algoritmas geba išskirti vykčius mirksnius ir praneša kada rezultatai nevisiškai tikslūs (Kleifges et al., 2017). Grafike pateikiami programinės įrangos „BLINKER“ etapai išskirti mirksnių rodikliams iš signalo reguliarių matavimų.



1.4 Pav. „BLINKER“ etapai išskirti mirksnių rodikliams iš signalo reguliarių matavimų (Kleifges et al., 2017).

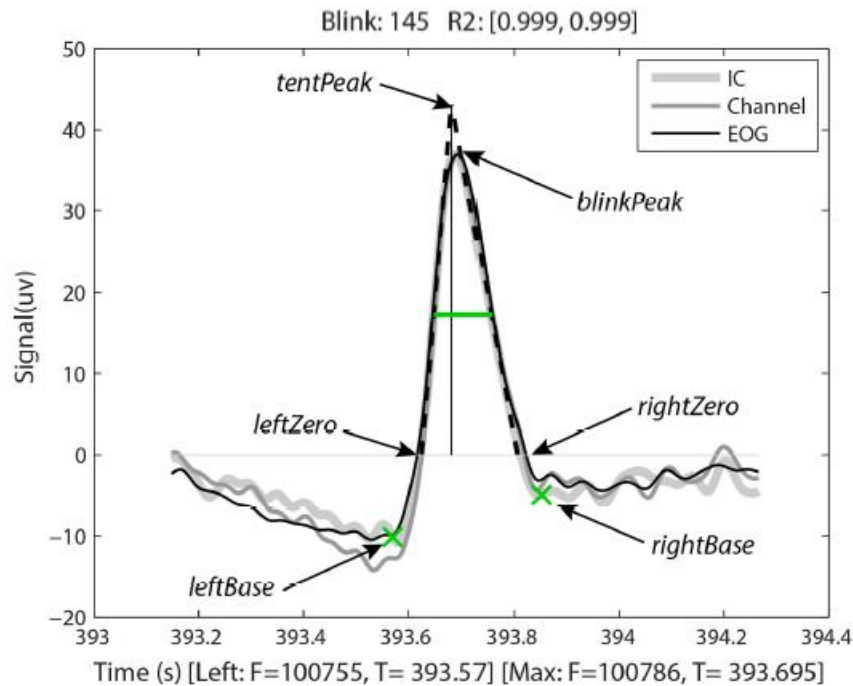
1. Išskirti potencialius mirksnius kandidatiniame EEG signale

Pirmame etape mirksnių išskyrimo algoritmas iš visų pateiktų elektrodų užregistruoto aktyvumo signalų pasirenka duomenų masyvą, kuris yra geriausias kandidatas mirksniams atpažinti (Kleifges et al., 2017).

2. Apskaičiuoti potencialių mirksnių įvykius

Identifikavus potencialius mirksnius, „BLINKER“ pritaiko atitikimo procesą rasti specifinius požymius kiekvienam mirksniui ir išsaugo informaciją apie kiekvieną potencialų mirksnį visoje struktūroje. Paveikslėlyje atvaizduojama programos „BLINKER“ mirksnio grafiko

persidengimo funkcija, iliustruoja mirksnio atitikimo procesą mirksnio prototipui. Pavyzdyje „BLINKER“ atvaizduoja signalus atitinkančius nepriklausomų komponentų (angl. *Independent components*), EEG kanalo, ir EOG kanalo kreives tam pačiam mirksniui (Kleifges et al., 2017). Grafiko atitikimo funkcija priima elementų matricą įvesties signalams ir panaudoja pirmą signalą apskaičiuoti ir atvaizduoti mirksnių požymius (mirksnio reprezentaciją).



1.5 Pav. „BLINKER“ programinės įrangos išvestis rodanti įvairius mirksnio požymius (Kleifges et al., 2017).

Figūroje persidengia trys skirtingi matavimo tipai: nepriklausomų komponentų, EEG kanalo bei viršutinio vertikalaus EOG kanalo signalai, užfiksuoti mirksnio įvykio metu. Žalia spalva pažymėti „X“ žymi kairę (angl. *left base*) ir dešinę (angl. *right base*) bazinę vertę. Žalia horizontali linija žymi laiko tarpą tarp pakilimo ir nusileidimo amplitudžių vidurio (angl. *half-zero*) trukmę. Punktyrinė linija reprezentuoja geriausią linijinį atitikmenį mirksnio pakilimui (angl. *upstroke*) ir nuosmukiui (angl. *downstroke*).

Pavyzdyje maksimali reikšmė pasirodė 393,695 sekundės nuo duomenų įrašo pradžios. Po to, kai apskaičiuojamas maksimalus įvertis, „BLINKER“ apskaičiuoja kitus mirksnių požymius. Kairiojo nulio (angl. *left zero*) vertė yra paskutinis nulio reikšmę kertantis laiko momentas prieš maksimalią reikšmę. Jei signalas nekerta nulio reikšmės tarp šio mirksnio ir prieš tai buvusio mirksnio, kairys-nulis yra laiko momentas mažiausios amplitudės tarp mirksnių. Dešiniojo nulio

(angl. *right zero*) vertė turi atitinkamą definiciją – apibrėžia pirmą laiko momentą, kai kertama nulio reikšmė po maksimalios reikšmės. Pakilimas apibrėžiamas intervalu tarp kairio-nulio ir maksimalios reikšmės, atitinkamai nuosmukis yra intervalas nuo maksimalios reikšmės iki dešinio nulio. Kairė bazinė reikšmė yra pirma, lokali minimali reikšmė prieš pasiekiant maksimalų greitį pakilime, apibūdina mirksnio pradžią. Dešinė bazinė reikšmė yra pirma, lokali minimali reikšmė po maksimalaus greičio nuosmukyje, indikuoja mirksnio pabaigą (Kleifges et al., 2017).

Stereotipiški mirksniai turi trikampio figūros formą. „BLINKER“ naudoja trikampio atitikimo šabloną charakterizuojantį mirksnio formą duomenų įrašė. Signale, kiekvienam potencialiam mirksniui „BLINKER“ apskaičiuoja geriausią amplitudės kreivės atitikimą mirksnio pakilimui ir nuosmukiui. Kokybiškesnis šių linijų atitikimo laipsnis – koreliacija su realia mirksnio trajektorija ir matavimo būdas patikrinti kiek potencialus mirksnis atitinka stereotipinį mirksnį (Kleifges et al., 2017).

3. Atmesti žemo signalo-triukšmo santykio kandidatinius signalu

Po to, kai nustatomi potencialaus mirksnio požymiai signale, „BLINKER“ apskaičiuoja mirksnio amplitudės santykį. Mirksnio amplitudės santykis yra vidutinė signalo amplitudė tarp mirksnio kairiojo nulio ir dešiniojo nulio padalinta iš vidutinės teigiamos amplitudės už mirksnio ribų. Amplitudė už mirksnio ribų skaičiuojama: iki mirksnio intervale nuo praėjusio mirksnio dešiniojo nulio (praeito mirksnio pabaigos) iki šio mirksnio kairiojo nulio (šio mirksnio pradžios), už mirksnio analogiškai, nuo šio mirksnio dešiniojo nulio (pabaigos) iki sekančio mirksnio kairiojo nulio (pradžios) (Kleifges et al., 2017). „BLINKER“ nustatytas automatiškai atmesti amplitudės pakilimus ir nelaikyti jų mirksniais, kai jie nepatenka į santykio intervalą [3:50], kadangi tyrimuose nustatyta, jog mirksniai įprastai gerai užfiksuojami mirksnio amplitudės santykiui esant intervale [5:20] (Kleifges et al., 2017). Mirksnio amplitudės santykis atitinka signalo-triukšmo santykį matuojant mirksnius iš fono signale (Kleifges et al., 2017).

4. Apskaičiuoti mirksnių maksimalios amplitudės pasiskirstymą

Iš signalo išskyrus amplitudės pikus juos galima laikyti potencialiais mirksniais, tačiau svarbu juos atskirti nuo kitų akių judesių. „BLINKER“ naudojamas procesas matuoti slenksčiui ir panaikinti pašaliniam amplitudės pokyčiams, kuris padės programai pasirinkti tinkamiausią signalą. Pavyzdžiui, programa galės pati pasirinkti, kuris iš visų EEG kanalų yra tinkamiausias

užfiksuoti mirksnius. Mirksniai turi „trikampės palapinės“ formą ir lyginant su foniniu aktyvumu turi santykinai didelę amplitudę. Tačiau net ir smulkūs akių judesiai ar sakados ar stiprūs veido raumenų susitraukimo sukelti amplitudės šuoliai gali sutrikdyti mirksnių aptikimą.

„BLINKER“ išskiriami mirksniai pagal atitikimą „teorinio“ mirksnio modeliui rūšiuojami į tris pogrupius: „gerus“, „geresnius“ ir geriausius mirksnius. „Gerais“ mirksniais laikomi tie, kurių mirksnio pakilimo ir nuosmukio kreivės ir mirksnio modelio atitikimas žymimas – R^2 yra apskaičiuotas 0,90 ir didesne reikšme, „geresni“, kai R^2 reikšmės yra 0,95 ir daugiau, „geriausi“, kai R^2 reikšmės yra 0,98 ir daugiau.

Atsižvelgiant į šiuos matavimus „BLINKER“ atskiria mirksnius nuo kitų amplitudės šuolių. Tyrime nustatyta, kad akių judesiai dažniausiai pasižymi mažesnėmis amplitudėmis nei „geri“ mirksniai, o dideli artefaktų šuoliai pasižymi didesnėmis amplitudėmis, nei „geriausi“ mirksniai (Kleifges et al., 2017).

„BLINKER“ naudoja tuos mirksnius, kurių pakilimo ir nuosmukio R^2 reikšmės yra bent 0,90, tenkina maksimalios amplitudės pasiskirstymo ir PAGES kriterijų. Šie pastebėjimai padeda programai atskirti su mirksniais nesusijusius akių judesius. Maksimalus amplitudės pasiskirstymo kriterijus padeda atrinkti visus mirksnius remiantis normaliojo skirstinio principu. Šis kriterijus pašalina mirksnius, kurių R^2 yra žemas ir kurių amplitudės yra nutolusios nuo tipinio mirksnio amplitudės medianos. Tuo tarpu, PAGES kriterijus fiksuoja pokytį tarp staigaus krašto pakilimo būdingo sakadoms ir labiau išlenkto normalių mirksnių pakilimo. Empiriškai nustatyta, kad mirksnių kandidatai su PAGES mažesniu arba lygiu 3 neatitinka normalių mirksnių, bet yra labiau būdingi staigiems, trumpiems, sakadiniams akių judesiams (Kleifges et al., 2017).

5. Geriausio signalo pasirinkimas.

„BLINKER“ reikalauja pateikti įvairių signalų, kaip EEG, EOG ar IC kandidatus iš kurių programa geba automatiškai pasirinkti labiausiai tinkantį signalą, iš kurio aiškiausiai galima nustatyti ir išskirti mirksnius. Kaktinės skilties EEG kanalai ir vertikalūs viršutiniai EOG kanalai, įprastai užfiksuoja geriausius signalus mirksniams matuoti (Kleifges et al., 2017). Tačiau signalo „užterštumas“ artefaktais kai kuriais atvejais padaro šiuos signalus nenaudojamais. Įprastai programai suteikiama keletas EEG frontaliųjų kanalų ir leidžiama algoritmui pasirinkti, kuris signalas bus tinkamiausias. Šis būdas suteikia galimybę algoritmui kompensuoti triukšmingus kanalus ar netinkamą elektrodų kontaktą. Programai pateikus EOG kanalus įprastai yra

pasirenkamas viršutinis vertikalus kanalas. Jei programos naudotojas nespacificuoja, kuriuos kanalus pasirinkti, „BLINKER“ testuoja visus kanalus ir pasirenka algoritmui geriausiai tinkantį (Kleifges et al., 2017). Pasirinkti geriausią signalą, „BLINKER“ visų pirma testuoja ar bet kuris iš signalų kandidatų pasirinkimui turi bent 70 procentų mirksnių, nutolusių nedaugiau kaip du standartiniai nuokrypiai nuo „geriausių“ mirksnių medianos. Tai „gerų“ – „geriausių“ mirksnių atitikimo kriterijus mirksnių kiekybės ir kokybės santykiui – atmeta signalų kandidatus, kuriuose algoritmui nepavyksta atpažinti pakankamai daug ir kokybiškų mirksnių signale. Antrame etape, iš kandidatinių signalų atitinkančių šį kriterijų, atrenkami tie, kurie turi daugiausia „gerų“ mirksnių. Šis kriterijus veikia tiek EEG, tiek EOG kanalams, tačiau programos autoriai pastebi, jog didesnę procentą „gerų“ mirksnių užfiksuoja viršutiniai vertikalūs EOG kanalai, nei EEG kanalai (Kleifges et al., 2017). Tai nėra stebėtina, kadangi EEG elektrodai yra labiau nutolę nuo akių, ir tai nėra šio metodo pagrindinė funkcija.

6. Mirksnių rodiklių apskaičiavimas.

„BLINKER“ gali apskaičiuoti tokius mirksnių parametrus, kaip mirksnių dažnis, mirksnių trukmė ir mirksnių amplitudės-greičio santykis. „BLINKER“ taip pat gali apskaičiuoti šių rezultatų kintamumo statistiką.

- **Mirksnių dažnis.** Mirksnių dažniu apibūdinamas matas, skaičiuojantis mirksnių skaičių per minutę. Mirksnių aptikimo algoritmas visada priskiria maksimalią reikšmę kiekvienam mirksniui. Apskaičiuojamas vidutinis mirksnių dažnis visam duomenų rinkiniui kaip mirksnių sumos ir duomenų rinkinio trukmės santykis. Taip pat mirksnius galima apskaičiuoti „rankiniu būdu“, kadangi „BLINKER“ pateikia visus užfiksuotus mirksnius ir kuriame duomenų rinkinio laiko momente jie įvyko (Kleifges et al., 2017). Literatūroje nurodoma, kad momentinius mirksnių dažnius galima apskaičiuoti vidurkį laiko intervaluose bent nuo trijų iki penkių minučių (Zaman & Doughty, 1997).
- **Mirksnių trukmė.** Įprastai mokslinėje literatūroje mirksniu laikoma akies voko judesiai, kai uždengiama bent pusė akies vyzdžio. „BLINKER“ naudoja keletą metodų mirksnio trukmei apskaičiuoti. Pusašio nuo nulinės reikšmės (angl. *Half-zero*) trukmė apibūdinama mirksnio pločiu sekundėmis, nuo momento, kai mirksnio pakilimo metu kreivė pasiekia pusę visos mirksnio amplitudės iki momento, kai mirksnio nuosmukio metu pasiekiamą pusę amplitudės (1.5 Pav. žalia horizontali linija). Pagal programos autorius, pusašio nuo nulinės reikšmės trukmė pasižymi pakankamai nedideliu standartiniu nuokrypiu, todėl parametras nėra toks

jautrus kompleksinių mirksnių efektui bei akių judesiams (Kleifges et al., 2017). Pusašio nuo bazinės reikšmės (angl. *half-base*) trukmė yra plotis matuojamas nuo mirksnio pradžios bazinės reikšmės iki momento, kai pasiekiamas amplitudės vidurio reikšmė. Pusašio nuo bazinės reikšmės reikšmė yra šiek tiek ilgesnė (0,12 – 0,16 centisekundžių) nei pusašio nuo nulinės reikšmės trukmė (0,11 – 0,14 centisekundžių), tačiau abeji parametrai pasižymi aukšta koreliacija (Kleifges et al., 2017). Bazinė trukmė matuojama, nuo dešinės bazės iki kairės bazės, o nulio trukmė nuo dešinio nulio iki kairio nulio. Pastarieji parametrai stipriai varijuoja esant kompleksiniams mirksniams arba kitiems akių judesiams signale (Kleifges et al., 2017).

- **Užsimerkimo, atsimerkimo greitis.** Išskiriami du greičio matavimo parametrai, kaip potencialūs nuovargio indikatoriai – pozityvus amplitudės-greičio santykis (PAGS) ir negatyvus amplitudės-greičio santykis (NAGS) (M. W. Johns, 2003). PAGS yra maksimalios mirksnio amplitudės ir maksimalaus greičio mirksnio pakilime santykis. Analogiškai PAGS yra maksimalios mirksnio amplitudės ir maksimalaus mirksnio nuosmukio greičio santykis.

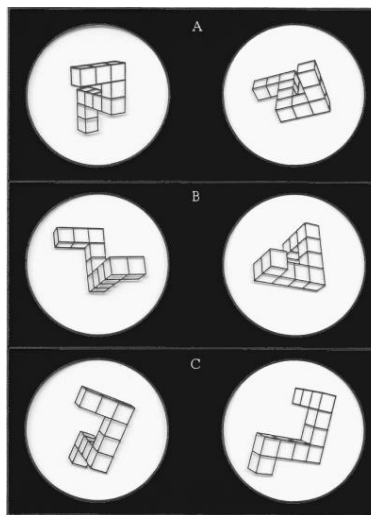
1.5 Kodėl pasirinkti „BLINKER“ ?

Vienas didžiausių programos „BLINKER“ privalumų yra tame, kad didelė dalis informacijos apie mirksnius ir akies judesius gali būti tiesiogiai prieinami iš EEG signalo be jokios papildomos įrangos. Pasak autorių, „BLINKER“ vis dar yra vienintelis žinomas standartizuotas įrankis automatiškai išskirti mirksnių parametrus iš EEG įrašo (Kleifges et al., 2017). „BLINKER“ suteikia galimybę iš EEG signalo išskirti informaciją ir priskirti ją žinomiems mirksnių parametrams. Taip pat apdoroti surinktą informaciją ir atlikti statistinius skaičiavimus apie mirksnių kintamumą laiko eigoje įvairaus dydžio tiriamųjų grupėms (Kleifges et al., 2017).

Įrašytos vaizdo medžiagos stebėjimas lyginant su programos rezultatais patvirtino, kad „BLINKER“ algoritmai yra efektyvūs užfiksuoti didžiąją dalį mirksnių (Kleifges et al., 2017). Tačiau tiriamieji stipriai varijuoja savo elgesio įpročiais, kurie gali „užteršti“ EEG signalą įvairiais būdais. Akių dirglumas, vokų kasymasis, trynimasis ypač greitas mirksėjimas atsispindi netipišku EEG aktyvumu. Akių sakadas pakankamai sudėtinga identifikuoti, todėl užduotys, kurios reikalauja ieškojimo vizualiniame lauke gali sukelti problemų „BLINKER“. Tačiau autoriai pastebi, kad ilguose EEG įrašuose sakadų efektas neturėti daryti didelės įtakos (Kleifges et al., 2017).

1.6 Vaizdų sukimo mentyse užduotis

Vaizdų sukimo mentyse užduotis (angl. *mental rotation task*) (Shepard & Metzler, 1971) yra kognityvinių resursų, kaip dėmesio sutelkimas, suvokimas reikalaujanti vizualinė užduotis. Vaizdų sukimo mentyse užduotis kognityvinėje neuropsichologijoje yra plačiai naudojamas įrankis atliekant ilgalaikius tyrimus (Hirschfeld, Thielsch, & Zernikow, 2013). Tyrimuose pastebėta, jog ilgalaikėse eksperimentų sesijose ši regimųjų ir erdvinių figūrų sukimo mentyse užduotis, sukelia protinį nuovargį (Gonzalez et al., 2011; Pattyn et al., 2008). Shepard ir Metzler (1971) tiriamiesiems pateikė abstrakčių trimačių figūrų atvaizdus. Užduotyje buvo pateikiamos figūrų poros, kai viena iš trimačių figūrų buvo pateikiama įprastoje vertikalioje padėtyje, o kita figūra pasukta trimatėje erdvėje nuo 0 iki 180 laipsnių kitos figūros atžvilgiu (1.6 pav) (Shepard & Metzler, 1971). Pasuktoji figūra buvo arba tokia pati kaip įprastoje vertikalioje padėtyje pateikta figūra, arba veidrodinis jos atspindys. Tiriamųjų užduotis buvo palyginti dviejuose atvaizduose pateiktas trimates figūras ir nuspręsti, ar jos tokios pačios, ar skirtingos.



1.6 Pav. Vaizdų sukimo mentyse stimulų pavyzdžiai, (A) ir (B) atvejais pavaizduotos vienodos figūros, (C) – skirtingos.

Dažniausiai šiai užduočiai atlikti naudojama strategija yra figūros pasukimas – rotacija. Vaizdų sukimu mentyse vadinamas procesas, kai žmogus, mėgindamas atpažinti figūras, suka atvaizdą mentyse, kol jis sutampa su atmintyje esančiu pirminiu šablonu (Shepard & Metzler, 1971); o tam būtinas tikslus erdvinis objekto formos išlaikymas, esant skirtingiems stebėjimo taškams.

Vaizdų sukimas mintyse dažniausiai vertinamas naudojant du pagrindinius parametrus – atpažinimo tikslumą ir reakcijos laiką. Dauguma tyrimų rezultatų atskleidžia, jog stebimas ilgesnis reakcijos laikas, esant didesniai pasukimo kampui (Cooper & Shepard, 1973; Metzler & Shepard, 1974; Shepard & Metzler, 1971) t.y. kuo didesniu kampui pasukamas objektas tuo daugiau reikia laiko vaizdo sukimui mintyse atlikti. Tyrime nustatytas išmokimo efektas, kai atliekant užduotį laiko eigoje, atlikimo tikslumas didėja, o reakcijos laikas mažėja (D. Voyer, 1995), taip pat bendras reakcijos laikas mažėja esant daugkartinėms treniruotėms (Tarr & Pinker, 1989).

Literatūroje pastebimi vaizdų sukimo mintyse užduoties skirtumai tarp lyčių. Rasta, kad vidutiniškai, vyrai pasižymi didesniu tikslumu ir mažesniu reakcijos laiku nei moterys atliekant trijų dimensijų vaizdų sukimo mintyse užduotį (Linn & Petersen, 1985; Miller & Halpern, 2014; Daniel Voyer, Voyer, & Bryden, 1995).

2. METODIKA

2.1 Tiriamieji

Tyrimė analizuojami duomenys surinkti dr. Donato Noreikos podoktorantūros studijų tyrimo „Protinis nuovargis: veiksniai, įvertinimo metodai ir būsenų diferenciacija“ metu. Iš darbo autoriaus buvo gautas leidimas naudoti duomenis. Dalis duomenų publikuota straipsnyje „Progesterone and mental rotation task: is there any effect?“ (Noreika, Griškova-Bulanova, Alaburda, Baranauskas, & Griškienė, 2014).

Šio magistrinio darbo tyrimo metu buvo analizuota 25 tiriamųjų EEG, užduoties atlikimo, subjektyvaus nuovargio vertinimo ir demografiniai duomenys. Keturių tiriamųjų duomenys nebuvo naudojami galutinėje mirksnių parametrų analizėje dėl šių priežasčių: vieno tiriamojo EEG signalas buvo per daug triukšmingas, todėl algoritmas negalėjo atpažinti mirksnių, dviejų tiriamųjų EEG signalai buvo nepilni – trūko vieno bloko įrašo, 1 tiriamojo mirksnių vertės pašalintos kaip išskirtys dėl per didelio nukrypimo nuo normaliojo skirstinio (vertės nepateko į vidurkis $\pm 2,5$ SD intervalą). Galutiniuose skaičiavimuose panaudoti 21 tiriamojo duomenys (9 vyrų ir 12 moterų), kurių amžius nuo 20 iki 22 metų (vid. $21 \pm 0,5$). Visi dalyviai buvo su normaliu arba pataisytu į normaliu regėjimą.

Visi dalyviai pildė klausimyną, kurio tikslas buvo identifikuoti ir neįtraukti į tyrimą asmenų su chronišku nuovargio sindromu, piktnaudžiavimu priklausomybę keliančiomis medžiagomis, chronišku miego trūkumu, endokrininėmis ligomis, regos ar klausos sutrikimais, bendromis sveikatos problemomis.

Tyrimui atlikti buvo gautas Lietuvos Bioetikos Komisijos leidimas. Visi dalyviai pasirašė raštišką sutikimą dalyvauti tyrimė. Visi tyrimo dalyviai kalbėjo lietuvių kalba, todėl visos instrukcijos buvo pateiktos lietuviškai.

2.2 Tyrimo duomenys

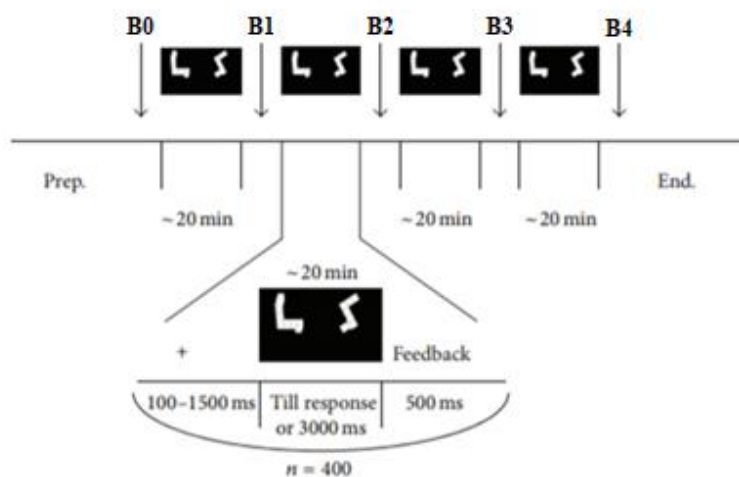
Tyrimė analizuojami EEG duomenys registruoti atliekant kognityvinę užduotį (Noreika et al., 2014). Iš eilės buvo atliekami keturi užduočių blokai po 400 figūrų porų apytiksliai po 20 min. trukmės. Užduočių atlikimo metu buvo registruojama EEG. Bendra EEG įrašo trukmė apytiksliai 120 min. kiekvienam tiriamajam.

- Mirksniai apskaičiuojami iš EEG įrašo naudojant „BLINKER“ programinį paketą (Kleifges et al., 2017);
- Nuovargio vertės gautos iš subjektyvaus nuovargio vertinimo;
- Užduoties atlikimo įverčiai – reakcijos laikas ir atlikimo tikslumas.

2.3 Eksperimentinė užduotis ir stimulus

Mentaliniam nuovargiui sukelti, tyrime buvo panaudota Vaizdų pasukimo mintyse užduotis (angl. *Mental Rotation Task*) (Shepard & Metzler, 1971). Tiriamajam porose po 2 buvo pateikiamos figūros pasuktos 90, 135, arba 180 laipsnių kampų viena kitos atžvilgiu. Pusės visų porų figūrų formos buvo identiškios, tačiau pasuktos viena kitos atžvilgiu. Kitoje pusėje visų pateiktų porų vienos figūros forma buvo kitos veidrodinis atspindys, taip pat pasuktas viena kitos atžvilgiu.

Stimulai buvo sudaryti iš baltų kubelių juodame fone, imti iš „*Library of Shepard and Metzler Type Mental Rotation Stimuli*“ elektroninės bibliotekos (Peters & Battista, 2008). Tiriamieji instrukuoti paspausti vieną iš dviejų mygtukų, indikuojantį pasirinkimą ar figūros yra identiškios ar skirtingos. Tiriamieji atliko 4 užduočių blokus, kai kiekvieną bloką sudarė 400 figūrų porų ir truko apie 20 minučių. Figūrų poros buvo pateikiamos atsitiktine tvarka, tačiau figūrų poros visuose blokuose buvo tokios pat. Kiekvienas bandymas prasidėjo fiksacijos tašku – kryželiu trunkančiu nuo 100 iki 1500 ms atsitiktinai. Po to pasirodydavo atsitiktinė figūrų pora trunkanti iki 3 s arba tol kol buvo sulaukiama atsako. Po kiekvieno pasirinkimo suteikiama grįžtamojo ryšio žinutė: “Teisingai!”, “Neteisingai”, “Pasirinkimo laikas baigėsi” (Noreika et al., 2014). Skaičiuojant reakcijos laiką ir užduoties atlikimo tikslumą panaudoti visų figūrų pasukimo kampų (90, 135, arba 180 laipsnių) bei pasukimo tipo (pagal vertikalią ar horizontalią ašį) rezultatų vidurkiai.



2.1 Pav. Eksperimento schema modifikuota pagal (Noreika et al., 2014). „B0 - 4“ reprezentuoja subjektyvų nuovargio vertinimą.

2.4 Mirksnių parametrai

Mirksnių amplitudė. Amplitudė – mirksnio bangos dydis, t.y. įtampos pokytis atsimerkiant ir užsimerkiant nuo nulio iki piko. Matuojama milivoltais, mV.

Pozityvus, negatyvus amplitudės greičio santykis. Amplitudės ir maksimalaus užsimerkimo/atsimerkimo greičio santykis. Dėl patogumo tyrime pozityvų amplitudės-greičio santykį vadinsime užsimerkimo amplitudės-greičio santykiu, o negatyvų amplitudės-greičio santykį – atsimerkimo amplitudės-greičio santykiu, nes pozityvus žymi akių užmerkimo greitį, negatyvus žymi akių atmerkimo greitį. Matuojama centisekundėmis, cs.

Mirksnių trukmė. Pasak Johns (2003) yra sudėtinga nustatyti, kada mirksnis pasibaigia ir akių vokai yra pilnai atmerkami, todėl mirksnių trukmei vertinti rekomenduojama matuoti trukmę nuo atsimerkimo iki grįžimo iki pusės buvusios amplitudės (kai akies vokas yra pusiau užmerktas) (M. W. Johns, 2003). Toks, matmuo, t.y. trukmė iki pusinio grįžimo (angl. *half-zero duration*) (nuo amplitudės vidurio reikšmės užsimerkiant iki amplitudės vidurio reikšmės atsimerkiant), buvo skaičiuotas ir mūsų tyrime.

Mirksnių dažnis. Reikšmė gauta viename užduoties atlikimo bloke (20 min.) užregistruotų mirksnių skaičių padalinus iš bloko trukmės minutėmis. Apskaičiuota kiekvienam blokui. Matuojama mirksniais per minutę.

2.5 Subjektyvaus nuovargio vertinimas

Prieš atliekant užduotį, taip pat tarp užduoties atlikimo blokų tiriamųjų buvo prašoma įvertinti kaip tuo metu jaučia nuovargį klausimu „Kaip šiuo metu esate pavargęs?“. Subjektyviam nuovargiui matuoti naudota VAS skalė (angl. *visual analog scale*). Tai 10 cm linija su minimaliomis ir maksimaliomis vertėmis skalių galuose. Tiriamieji turėjo pažymėti vertikalų žymeklį horizontalioje linijoje žyminčioje minimalų ir maksimalų nuovargį su pažymėjimais kiekviename kontinuumo galuose – „Jokio nuovargio“ ir „Maksimalus nuovargis“. Tiriamieji žymėjo vertikalų brūkšnelį ranka, jų būseną atitinkančioje vietoje. VAS skalių rezultatų vertinimas – pažymėto brūkšnelio vieta buvo išmatuota liniuote, visa skalė prilyginta 100 proc., o 1 mm atitiko 1 proc.

Skalės iš viso pateiktos 5 kartus (2.1 pav.): (1) prieš pirmą vaizdų sukimo užduoties bloką – B0, (2) prieš antrą bloką – B1, (3) prieš trečią bloką – B2, (4) prieš ketvirtą bloką – B3, (5) po ketvirto bloko – B4.

2.6 Mirksnių parametrų analizės metodai

Iš EEG įrašo mirksniai buvo identifikuojami, nustatoma jų pozicija ir atliekami mirksnių rodiklių apskaičiavimai panaudojus „BLINKER“. „BLINKER“ yra MATLAB aplinkoje, EEG-LAB priedėlio pagrindu veikianti programa, kuri gali būti prieinama nemokamai iš tinklalapio: <https://github.com/VisLab/EEG-Blinks> (Kleifges et al., 2017).

Prieš naudojant „BLINKER“, nėra reikalingas joks išankstinis signalo apdorojimas (Kleifges et al., 2017). Tačiau prieš skaičiuojant mirksnius su „BLINKER“, EEG duomenys buvo perskaičiuoti atskaita pasirenkant palyginamąjį visų elektrodų vidurkį (angl. *average reference*) ir pritaikomas 1 – 20 Hz dažnio juostinis filtras (angl. *band pass filter*) aplinkos trukdžiams pašalinti.

„BLINKER“ įprastai renkasi vertikalų EOG kanalą, jei yra tokia galimybė, jei ne, pasirenkamas vienas iš frontaliųjų kanalų. „BLINKER“ pagal numatymą renkasi visus frontaliuosius kanalus: fp1, f1, fp2, fz, fpz, f3, f4, f2, tačiau iš pasirinktų kanalų analizuojamas tik vieno kanalo signalas, kuriame algoritmas geriausiai atpažįsta mirksnius.

Mirksėjimo rodikliai kaip mirksnių trukmė, pozityvus amplitudės-greičio santykis bei negatyvus amplitudės-greičio santykis skaičiuojami tik nuo programos identifikuotų „gerų“ mirksnių.

„BLINKER“ atliktų skaičiavimų rezultatai matomi MATLAB lange. Taip pat papildomi skaičiavimai: visi identifikuoti mirksniai, jų pasirodymo laikas nuo įrašo pradžios, amplitudė pateikiami atskirai sukurtame dokumente.

Pozityvus, negatyvus amplitudės-greičio santykis apskaičiuotas su „BLINKER“. Mirksnių dažnis, trukmė, amplitudė apskaičiuotas naudojant „BLINKER“ ir Microsoft Excel pagalba.

Prieš atlikdami statistinę analizę, tam, kad įsitikintume „BLINKER“ skaičiavimų tikslumu analizuojant mūsų duomenis, palyginome mirksnių identifikavimą „BLINKER“ algoritmu ir rankiniu būdu. Atsitiktinai pasirinkome 10 EEG įrašų. Juose „rankiniu būdu“ ir „BLINKER“ algoritmu suskaičiavome mirksnius 5 minučių atkarpoje. Mirksnių suma gauta abiem būdais pateikiama 2.2 lentelėje. Palyginus mirksnių kiekį skaičiuojant rankiniu būdu iš EEG įrašo ir „BLINKER“ algoritmu, nebuvo gautas statistiškai reikšmingas skirtumas ($t = 0,104$, $p = 0,918$).

2.2 lentelė. Mirksnių skaičiaus palyginimas skaičiuojant juos ranka ir „BLINKER“ algoritmu.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Vid.
Ranka	53	21	33	54	85	127	63	28	52	67	58,3
„BLINKER“	54	22	31	53	76	123	62	30	47	71	56,9

2.7 Statistinė analizė

Satitistinė analizė atlikta naudojant STATISTICA 12.0 programinę įrangą. Skaičiavimams atlikti naudojami parametriniai statistiniai kriterijai. Išmatuoti mirksnių parametrų, nuovargio, užduoties atlikimo priklausomų kintamųjų rezultatus laiko eigoje, jų pokytį, naudota pakartotinių matavimų ANOVA (angl. RM-ANOVA) analizė. Post Hoc analizei buvo naudojamas Fisher LSD testas. Ryšiai tarp mirksnių, subjektyvaus nuovargio ir užduoties atlikimo įverčių apskaičiuoti panaudojus Pearson koreliaciją.

3. REZULTATAI

Rezultatai pristatomi poskyriuose:

1. Mirksnių parametrai (mirksnių dažnis, amplitudė, trukmė pozityvus (užsimerkimo) bei negatyvus (atsimerkimo) amplitudės-greičio santykis).
2. Subjektyvus nuovargio vertinimas.
3. Užduoties atlikimo (reakcijos laiko, atlikimo tikslumo) rezultatai.
4. Ryšiai tarp mirksnių parametru, subjektyvaus nuovargio ir užduoties atlikimo.

Poskyriuose pristatomos kiekviename bloke gautos vertės. Blokai žymimi atitinkamai: B1 – pirmas blokas, B2 – antras blokas, B3 – trečias blokas, B4 – ketvirtas blokas. Nuovargio rezultatuose taip pat pažymimas B0 – kintamojo rezultatas gautas prieš pat atliekant užduotį. Kiekviename poskyryje taip pat pristatomi rezultatai priklausomi nuo lyties faktoriaus.

3.1 Lentelėje pateikiamos mirksnių parametru, subjektyvaus nuovargio bei užduoties atlikimo vertės po kiekvieno užduoties bloko. Nuovargio subjektyvus vertinimas prieš užduotį žymimas „B0“.

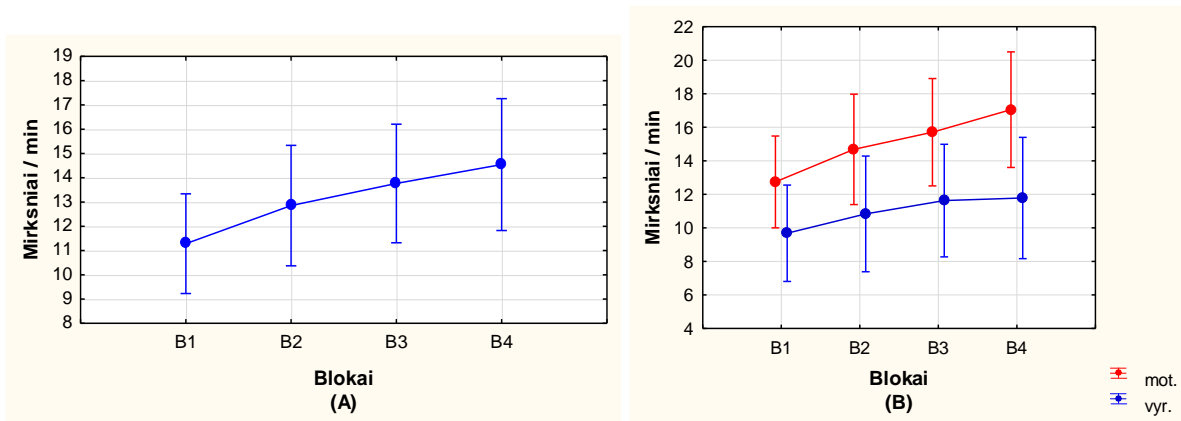
3.1 Lentelė. Mirksnių parametru, subjektyvaus nuovargio bei užduoties atlikimo vertės kiekviename bloke.

	B0	B1	B2	B3	B4
Dažnis	-	11,28±0,99 /min	12,85±1,19 /min	13,77±1,17 /min	14,54±1,3 /min
Amplitudė	-	145±15,4 mV	136,8±14,4 mV	131,5±13,3 mV	129,5±12 mV
Trukmė	-	313±6 ms	317±9 ms	321±8 ms	315±10 ms
UAGS	-	4,372±0,245 cs	4,531±0,138 cs	4,599± 0,137 cs	4,525±0,160 cs
AAGS	-	8,204±0,187 cs	8,491±0,281 cs	8,650±0,234 cs	8,422±0,275 cs
Nuovargis	21,5±4,4 %	30,1±4,2 %	39,9±5 %	45,8±5,5 %	50,4±5,7 %
RL	-	1880±53 ms	1713±51 ms	1549±54 ms	1478±60 ms
Tikslumas	-	65,3±1,6 %	67,7±2,2 %	69,4±2,2 %	69,6±2,2 %

RL – reakcijos laikas; **UAGS** – užsimerkimo amplitudės-greičio santykis; **AAGS** – atsimerkimo amplitudės-greičio santykis.

3. 1 Mirksnių parametų rezultatai

3.1.1 Mirksnių Dažnis

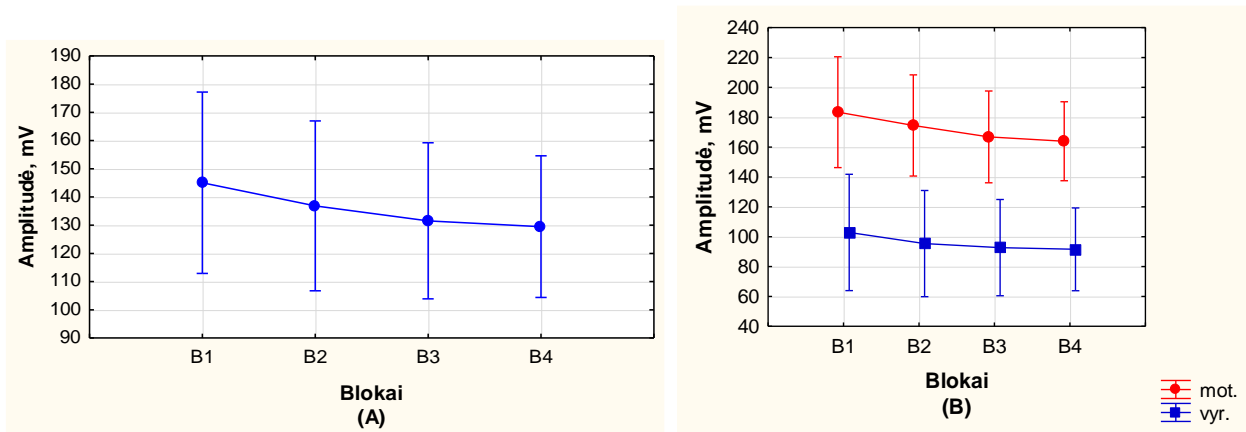


3.1 Pav. Mirksnių dažnio vertės kiekviename užduoties bloke (A) bei vertės tarp lyčių (B). Vertikalūs brūkšniai žymi standartinę paklaidą (SE).

Atlikus pakartotinių matavimų ANOVA mirksnių parametrą gavome, kad užduoties eiga turėjo reikšmingą įtaką mirksnių dažniui – mirksnių dažnio skirtumas laiko eigoje statistiškai reikšmingai didėjo nuo pirmo iki ketvirto bloko ($F(3, 60)=8,116, p<0,001$). Analizuojant Post Hoc, matome, jog skirtumas tarp pirmo ir antro ($p=0,028$), trečio ($p<0,001$), ketvirto ($p<0,001$) bloko yra statistiškai reikšmingas. Padidėjimas tarp antro ir trečio nėra statistiškai reikšmingas ($p=0,194$) tačiau tarp antro ir ketvirto ($p=0,018$) bloko rezultatų yra reikšmingas. Tarp trečio ir ketvirto padidėjimas taip pat nebuvo reikšmingas ($p=0,267$).

Lyginant mirksnių dažnį tarp lyčių, pastebima, kad moterys mirksėjo dažniau (moterų dažnis $15,04\pm 1,4$ mirksniai/min), vyrų dažnis $10,98\pm 1,46$ mirksniai/min), tačiau šis skirtumas nebuvo statistiškai reikšmingas ($F(1, 19)=4,01, p=0,06$).

3.1.2 Mirksnių amplitudės

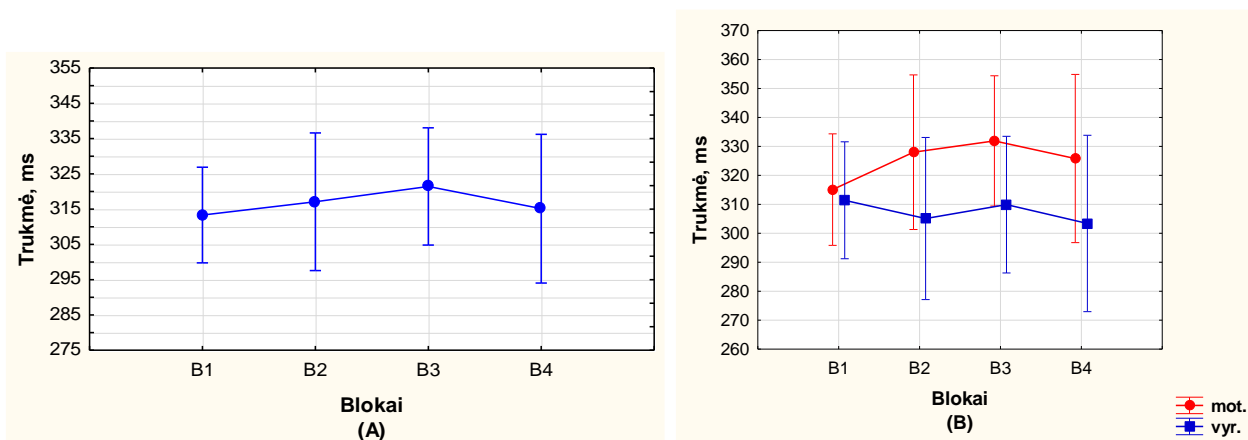


3.2 Pav. Mirksnių amplitudės vertės kiekviename užduoties bloke (A) bei vertės tarp lyčių (B). Vertikalūs brūkšniai žymi standartinę paklaidą (SE).

Mirksnių amplitudės statistiškai reikšmingai mažėjo nuo pirmo iki ketvirto bloko ($F(3, 60) = 5,497, p = 0,002$). Analizuojant Post Hoc, matome, jog mirksnių amplitudės skirtumas tarp pirmo ir antro blokų nebuvo statistiškai reikšmingas ($p = 0,054$), tačiau skirtumas buvo reikšmingas tarp pirmo ir trečio ($p = 0,002$) ir ketvirto ($p < 0,001$). Skirtumas nebuvo reikšmingas tarp antro ir trečio ($p = 0,211$) ir ketvirto ($p = 0,083$). Taip pat nebuvo reikšmingas tarp trečio ir ketvirto blokų ($p = 0,622$).

Analizuojant skirtumus tarp lyčių, matome, jog moterys ($172,17 \pm 15$ mV) pasižymėjo statistiškai reikšmingai didesne mirksnių amplitude negu vyrai ($95,62 \pm 15,73$ mV) ($F(1, 19) = 12,4, p = 0,002$).

3.1.3 Mirksnių trukmė

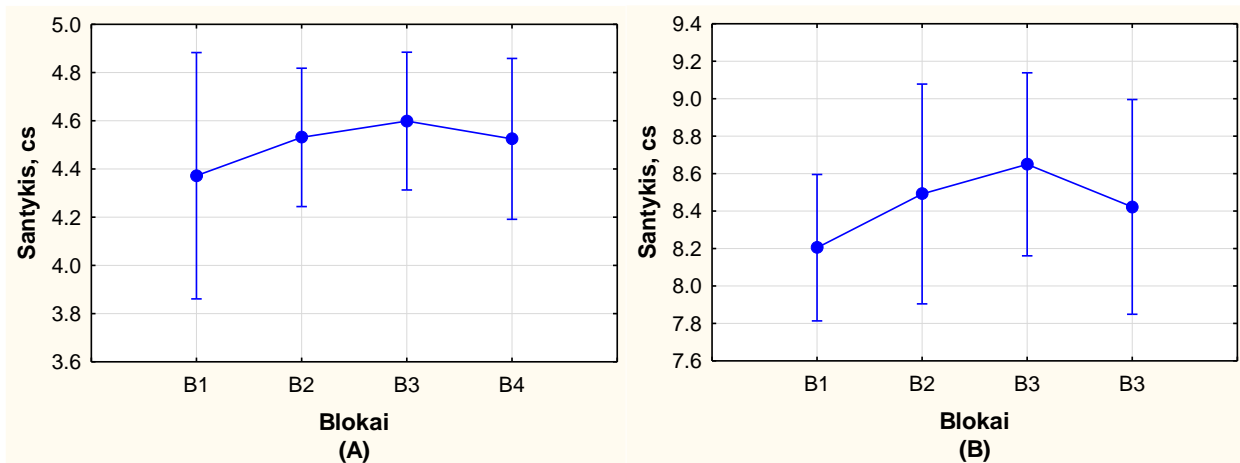


3.3 Pav. Mirksnių trukmės vertės kiekviename užduoties bloke (A) bei vertės tarp lyčių (B). Vertikalūs brūkšniai žymi standartinę paklaidą (SE).

Mirksnių trukmė nuo pirmo iki trečio bloko nežymiai didėjo, po ketvirto bloko mirksnių trukmė sumažėjo, tačiau mirksnių trukmės skirtumas laiko eigoje nėra statistiškai reikšmingas ($F(3, 60) = 1,614, p = 0,195$).

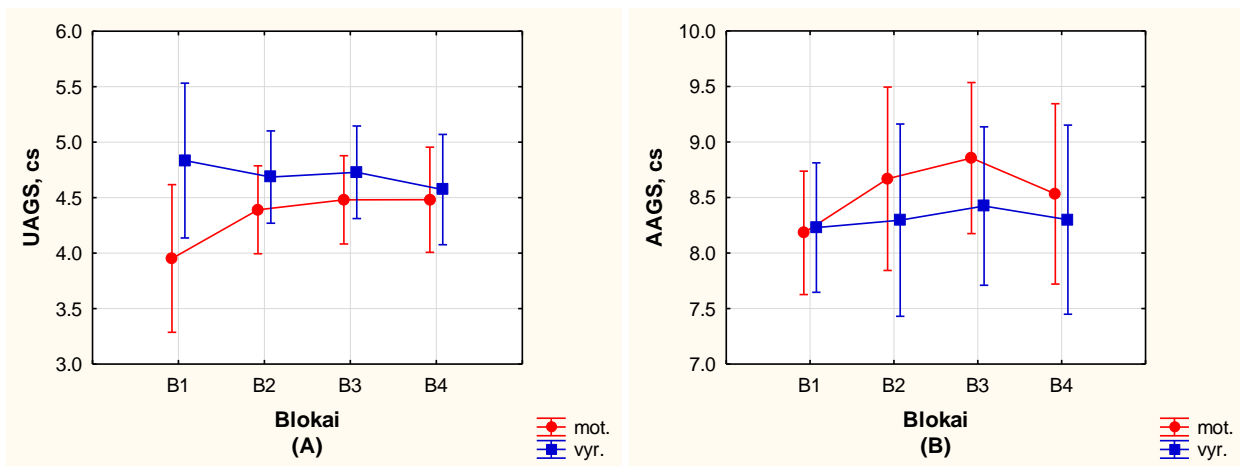
Analizuojant skirtumus tarp lyčių, matome nežymius skirtumus (moterų mirksnių trukmė – $325 \pm 11,4$ ms, vyrų – $307 \pm 11,9$ ms). Pirmame bloke tiek vyrų, tiek moterų mirksnių trukmės vertės yra beveik vienodos, bet bėgant laikui moterų mirksnių trukmė didėjo, tuo tarpu vyrų – mažėjo. Tačiau skirtumas nėra statistiškai reikšmingas ($F(1, 19) = 1,162, p = 0,294$), be to standartinės paklaidos reikšmės gana didelės.

3.1.4 Atsimerkimo ir užsimerkimo amplitudės – greičio santykis



3.4 Pav. Užsimerkimo (A) bei atsimerkimo (B) amplitudės-greičio santykio vertės kiekviename užduoties bloke .

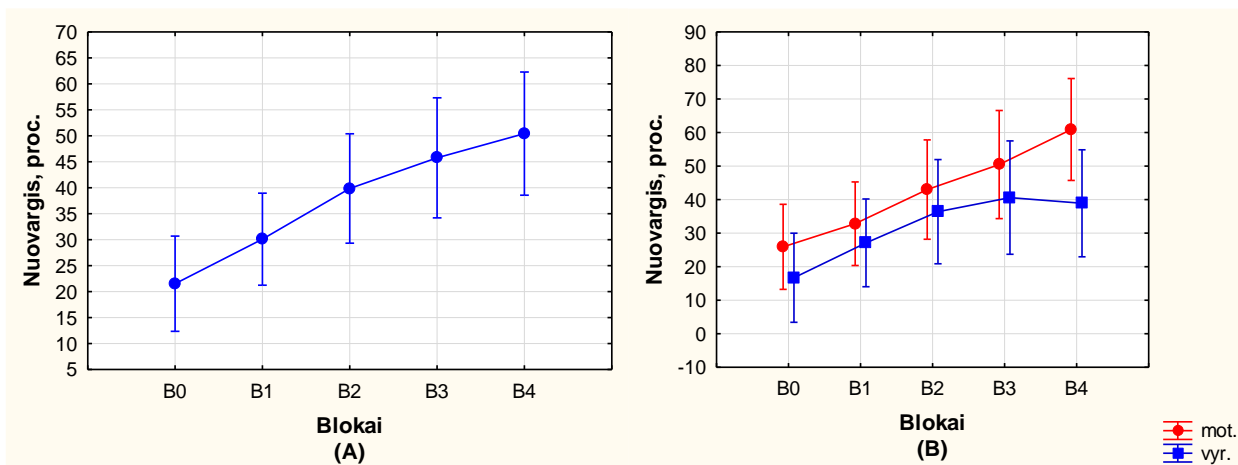
Atlikus mirksnių parametų pakartotinių matavimų ANOVA analizę gavome, kad užduoties eiga (blokai nuo pirmo iki ketvirto) turėjo reikšmingą įtaką atsimerkimo amplitudės-greičio santykiui (B) ($F(3, 60)=5,052, p=0,003$), bet ne užsimerkimo amplitudės-greičio santykiui (A) ($F(3, 60)= 0,945, p=0,425$). UAGS 1-3 bloke stabiliai didėjo, 4 bloke matomas sumažėjimas. AAGS Post Hoc analizė parodė statistiškai reikšmingą padidėjimą tarp pirmo ir antro ($p=0,016$), pirmo ir trečio ($p<0,001$) blokų, tačiau reikšmingo skirtumo tarp pirmo ir ketvirto blokų nėra ($p=0,066$). Reikšmingo skirtumo taip pat nebuvo tarp antro ir trečio ($p=0,179$), antro ir ketvirto ($p=0,554$), trečio ir ketvirto ($p=0,055$) blokų (3.4 Pav.).



3.5 Pav. Užsimerkimo (A) bei atsimerkimo (B) amplitudės-greičio santykio vertės tarp lyčių kiekviename užduoties bloke .

Tuo tarpu lytis, neturėjo reikšmingos įtakos užsimerkimo ($F(1, 19)=1,568, p=0,226$) ir atsimerkimo ($F(1, 19)=0,262, p=0,614$) amplitudės-greičio santykiui.

3.2 Subjektyvaus nuovargio vertinimas



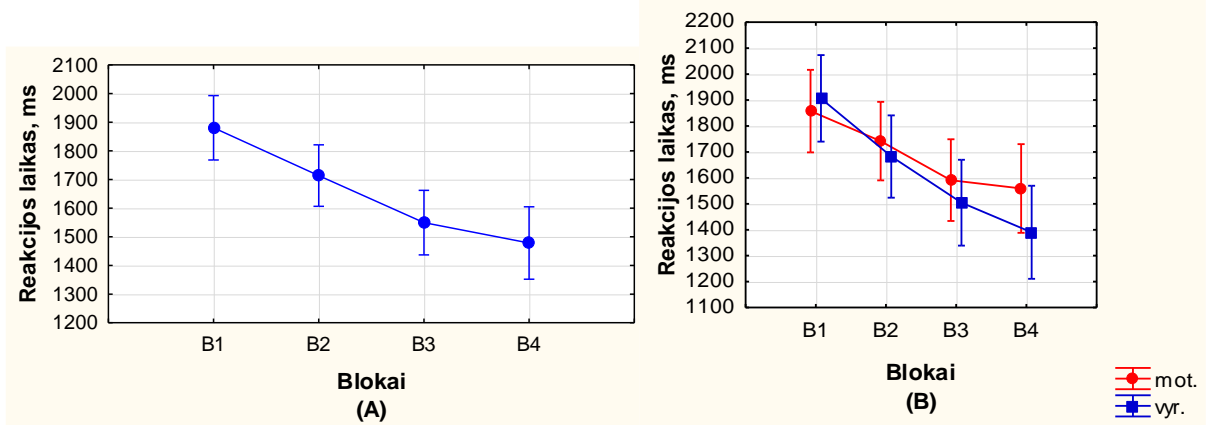
3.6 Pav. Subjektyvaus nuovargio vertinimo vertės prieš užduoties atlikimą ir kiekviename užduoties bloke (A) bei vertės tarp lyčių (B).

Panaudojus pakartotinių matavimų ANOVA, galima pastebėti, jog subjektyvaus nuovargio vertinimas prieš atliekant užduotį buvo B0 ($21,5 \pm 4,4$) ir po kiekvieno užduoties bloko tendencingai didėjo. Nuovargio skirtumas laiko eigoje buvo statistiškai reikšmingas ($F(4, 80)=20,447, p<0,001$). Analizuojant Post Hoc matoma, kad nuovargis tarp B0 ir B1 ($p=0,022$), B2 ($p<0,001$), B3 ($p<0,001$), B4 ($p<0,001$) blokų didėjo statistiškai reikšmingai. Nuovargis tarp B1 ir B2 ($p=0,009$), B3 ($p<0,001$), B4 ($p<0,001$) didėjo statistiškai reikšmingai. Tarp B2 ir B3 statistiškai reikšmingai nesiskyrė ($p=0,112$), tačiau skyrėsi tarp B2 ir B4 ($p=0,005$). Tarp B3 ir B4 blokų statistiškai reikšmingai nesiskyrė ($p=0,207$).

Nuovargio skirtumas tarp lyčių nebuvo statistiškai reikšmingas ($F(1, 19)=1,472, p=0,240$). Tačiau matome tendenciją, kad tiek prieš užduotį, tiek visos užduoties metu moterys ($42,6 \pm 6$ %) vertino savo nuovargį kaip didesnę negu vyrai ($31,9 \pm 6$ %). Tiek vyrams, tiems moterims buvo būdingas subjektyviai vertinamo nuovargio didėjimas atliekant užduotį. Užduoties pabaigoje moterys ($60,9 \pm 7$ %) pasižymėjo ryškiai didesniu nuovargiu negu vyrai ($38,9 \pm 7$ %). Šis skirtumas ketvirtame bloke buvo statistiškai reikšmingas ($p=0,034$).

3.3 Vaizdų pasukimo mintyse užduoties atlikimas

3.3.1 Reakcijos laikas

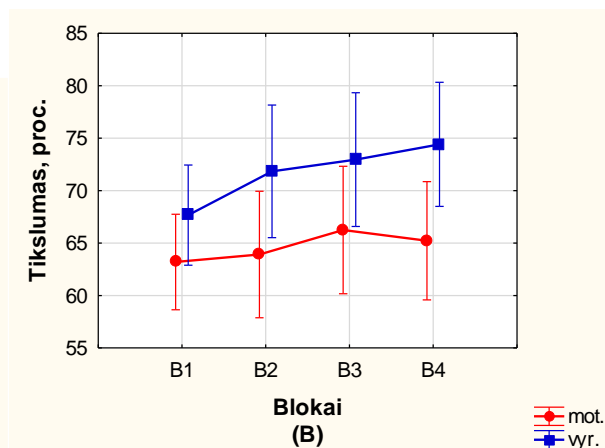
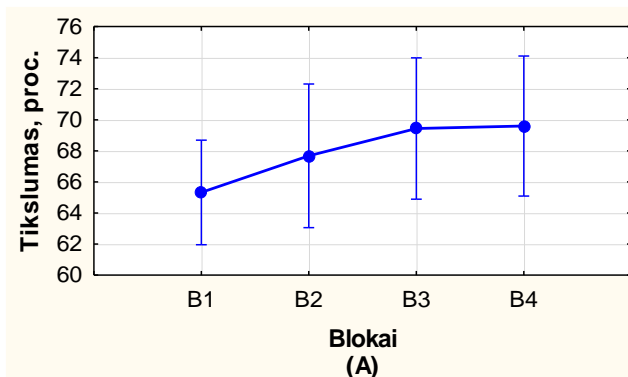


3.7 Pav. Reakcijos laiko vertinimo vertės kiekviename užduoties bloke (A) bei vertės tarp lyčių (B).

Pakartotinių matavimų ANOVA atskleidė, jog reakcijos laikas nuo pirmo iki ketvirto bloko mažėjo statistiškai reikšmingai ($F(3, 60) = 45,661, p < 0,001$). Post Hoc analizė atskleidžia, jog reakcijos laikas B1 yra statistiškai reikšmingai didesnis, nei B2 ($p < 0,001$), B3 ($p < 0,001$), B4 ($p < 0,001$) blokuose. Taip pat, B2 bloke reakcijos laikas reikšmingai didesnis, nei B3 ($p < 0,001$), B4 ($p < 0,001$) blokuose. Skirtumas tarp B3 ir B4 bloko nebuvo statistiškai reikšmingas ($p = 0,063$).

Analizuojant reakcijos laiko skirtumus tarp lyčių, matome jog po pirmo užduoties bloko – B1 vyrų reakcijos laiko vertė (1906 ± 79 ms) buvo didesnė nei moterų (1857 ± 75 ms), tačiau vyrų reakcijos laiko vertės mažėjo sparčiau, todėl užduoties pabaigoje – B4 vyrų reakcijos laiko vertė (1389 ± 85 ms) buvo mažesnė nei moterų (1559 ± 81 ms). Tačiau skirtumas tarp lyčių nėra statistiškai reikšmingas ($F(1, 19) = 0,429, p = 0,519$).

3.3.2 Užduoties atlikimo tikslumas



3.8 Pav. Užduoties atlikimo tikslumo vertinimo vertės kiekviename užduoties bloke (A) bei vertės tarp lyčių (B).

Rezultatai atskleidžia, jog užduoties atlikimo tikslumas nuo pirmo iki ketvirto bloko didėjo statistiškai reikšmingai ($F(3, 60) = 3,12, p = 0,033$). Grafike matoma, kad atlikimo tikslumas didėjo nuo pirmo (65,3 %) iki trečio bloko (69,4 %), o iki ketvirto bloko (69,6 %) padidėjo tik nežymiai. Post Hoc analizė atskleidžia, kad užduoties atlikimo tikslumo padidėjimas nėra statistiškai reikšmingas tarp B1 ir B2 ($p = 0,144$) blokų, tačiau padidėjimas yra reikšmingas tarp B1 ir B3 ($p = 0,012$) ir B4 ($p = 0,009$) blokų. Tikslumo padidėjimas nebuvo reikšmingas tarp B2 ir B3 ($p = 0,274$), B4 ($p = 0,234$) bei B3 ir B4 užduoties blokų ($p = 0,922$).

Analizuojant užduoties atlikimo tikslumo rezultatus tarp lyčių matome, jog vyrai pasižymėjo statistiškai reikšmingai didesniu užduoties atlikimo tikslumu nei moterys ($F(1, 19) = 4,466, p = 0,048$). Analizuojant Post Hoc, statistiškai reikšmingas skirtumas tarp vyrų ir moterų nerastas tarp B1 ($p = 0,258$) ir B3 ($p = 0,093$) rezultatų, tačiau rastas B2 ($p = 0,049$) ir B4 ($p = 0,024$) blokuose.

3.4 Ryšiai tarp mirksnių, subjektyvaus nuovargio ir užduoties atlikimo

Ryšys tarp mirksnių, atlikimo ir subjektyvaus nuovargio parametų buvo vertintas atskirai kiekviename bloke. Pažymėtos „*“ koreliacijos yra statistiškai reikšmingos ($p < 0,05$). Paryškintos bent silpną koreliaciją rodančios vertės. .

3.2 lentelė. Ryšys tarp mirksnių parametų, nuovargio, užduoties atlikimo pirmajame bloke.

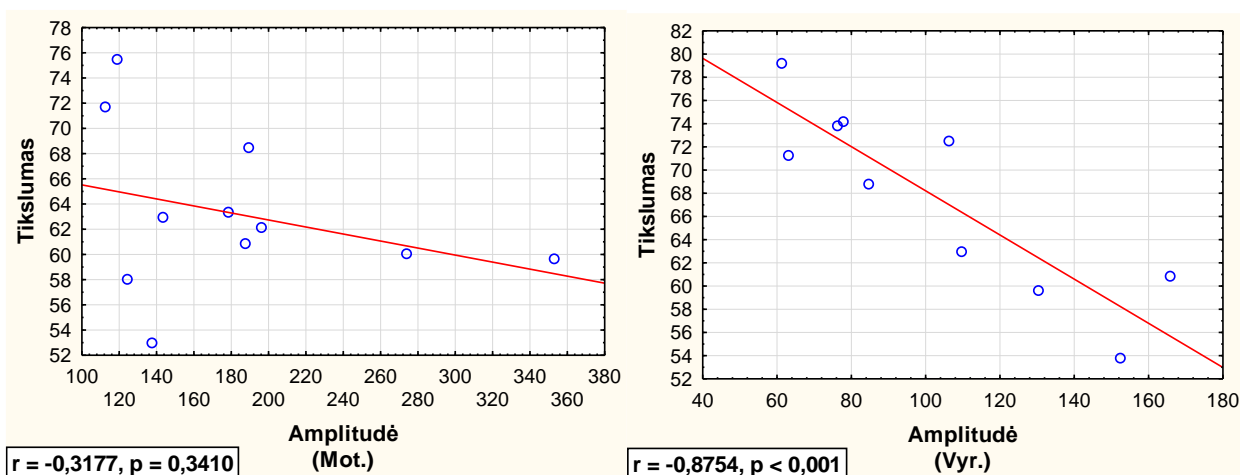
	UAGS	AAGS	Trukmė	Dažnis	Amplitudė	Nuovargis	RL
AAGS	0,09						
Trukmė	0,19	0,76*					
Dažnis	-0,37	-0,10	0,08				
Amplitudė	-0,22	0,25	0,56*	0,20			
Nuovargis	-0,19	0,02	0,17	-0,18	0,07		
RL	-0,04	-0,13	-0,28	-0,36	-0,24	-0,14	
Tikslumas	0,24	-0,41	-0,38	-0,01	-0,55*	-0,12	-0,12

RL – reakcijos laikas; **UAGS** – Užsimerkimo amplitudės-greičio santykis; **AAGS** – Atsimerkimo amplitudės-greičio santykis.

* - $p < 0,05$.

Pirmame bloke rasta statistiškai reikšminga: stipri teigiama koreliacija tarp atsimerkimo amplitudės-greičio santykio ir mirksnių trukmės ($r=0,76$); vidutinė teigiama koreliacija tarp mirksnių amplitudės ir mirksnių trukmės ($r=0,56$); vidutinė neigiama koreliacija tarp mirksnių amplitudės ir užduoties atlikimo tikslumo ($r=-0,55$).

Taip pat rasta: silpna neigiama koreliacija tarp užsimerkimo amplitudės-greičio santykio ir mirksnių dažnio ($r=-0,37$); silpna neigiama koreliacija tarp AAGS ir užduoties atlikimo tikslumo ($r=-0,41$); silpna neigiama koreliacija tarp trukmės ir tikslumo ($r=-0,38$); silpna neigiama koreliacija tarp mirksnių dažnio ir reakcijos laiko ($r=-0,36$).



3.9 Pav. Mirksnių amplitudės ir užduoties atlikimo tikslumo koreliacijos moterų ir vyrų grupėse pirmame bloke.

Įvertinus mirksnių amplitudės ir užduoties atlikimo tikslumo koreliacijas atskirai vyrų ir moterų grupėse, pirmame bloke, matome, jog vyrai pasižymėjo didesne neigiama statistiškai reikšminga koreliacija ($r = -0,8754$, $p < 0,001$), bet ne moterys ($r = -0,3177$).

3.3 lentelė. Ryšys tarp mirksnių parametrų, nuovargio, užduoties atlikimo antrame bloke.

	UAGS	AAGS	Trukmė	Dažnis	Amplitudė	Nuovargis	RL
AAGS	0,07						
Trukmė	0,33	0,86*					
Dažnis	-0,17	0,07	0,15				
Amplitudė	-0,02	0,41	0,59*	0,24			
Nuovargis	0,07	0,24	0,25	0,05	0,08		
RL	-0,29	0,11	-0,16	-0,07	-0,20	0,23	
Tikslumas	0,18	-0,06	0,01	-0,19	-0,36	-0,31	-0,25

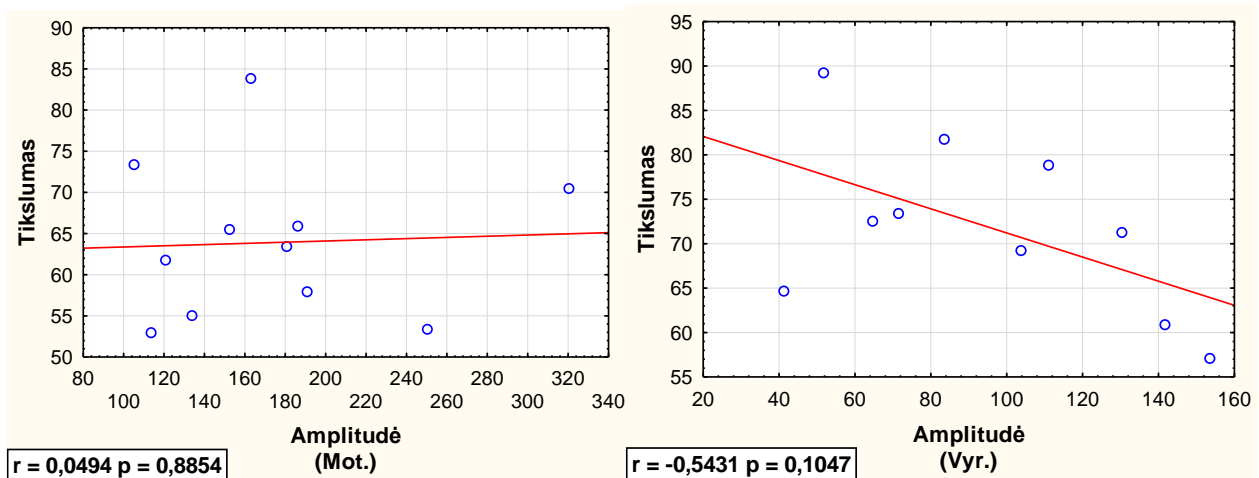
RL – reakcijos laikas; UAGS – Užsimerkimo amplitudės-greičio santykis; AAGS – Atsimerkimo amplitudės-greičio santykis;

* - $p < 0,05$.

Antrame bloke rasta statistiškai reikšminga: stipri teigiama koreliacija tarp AAGS ir mirksnių trukmės ($r = 0,86$); vidutinio stiprumo teigiama koreliacija tarp mirksnių amplitudės ir trukmės ($r = 0,59$).

Taip pat rasta: silpna teigiama koreliacija tarp UAGS ir mirksnių trukmės ($r = 0,33$); silpna teigiama koreliacija tarp AAGS ir mirksnių amplitudės ($r = 0,41$); silpna neigiama koreliacija tarp

mirksnių amplitudės ir užduoties atlikimo tikslumo ($r=-0,36$); silpna neigiama koreliacija tarp nuovargio ir tikslumo ($r=-0,31$)



3.10 Pav. Mirksnių amplitudės ir užduoties atlikimo tikslumo koreliacijos moterų ir vyrų grupėse antrame bloke.

Tuo tarpu antrame bloke mirksnių amplitudės ir atlikimo tikslumo rasta vidutinio stiprumo neigiama koreliacija vyrų imtyje ($r=-0,5431$), kai tuo tarpu moterų imtyje ($r=0,0494$) koreliacijos nebuvo. Verta pastebėti, jog nei vyrų ($p=0,1047$), nei moterų ($p=0,8854$) imtyje koreliacija nėra statistiškai reikšminga.

3.4 lentelė. Ryšys tarp mirksnių parametrų, nuovargio, užduoties atlikimo trečiame bloke.

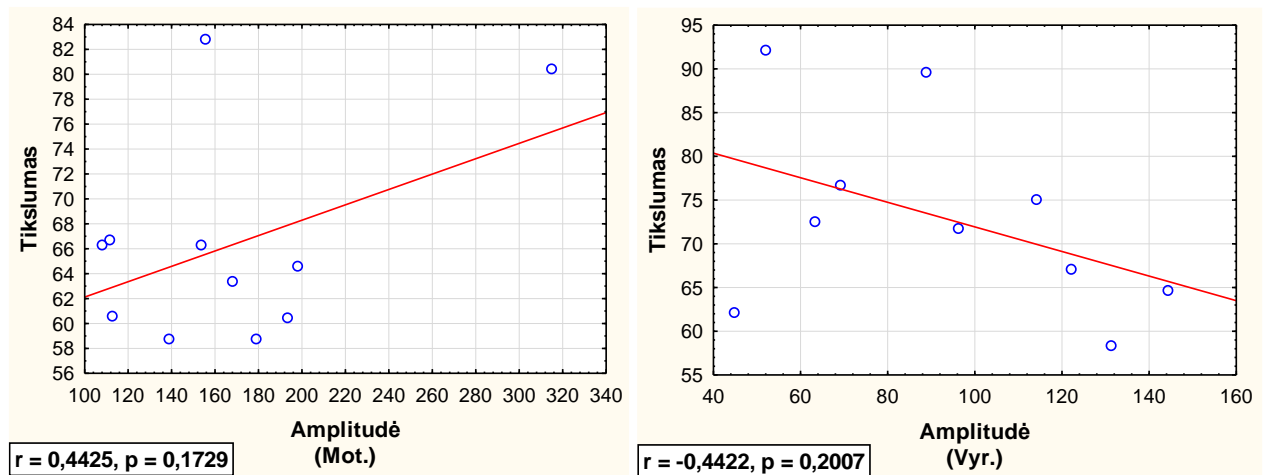
	UAGS	AAGS	Trukmė	Dažnis	Amplitudė	Nuovargis	RL
AAGS	0,00						
Trukmė	0,31	0,81*					
Dažnis	-0,08	-0,03	0,15				
Amplitudė	-0,12	0,42	0,60*	0,19			
Nuovargis	0,12	0,40	0,31	-0,04	0,08		
RL	-0,29	0,02	-0,14	-0,03	-0,05	0,07	
Tikslumas	0,24	-0,08	0,07	0,00	-0,17	-0,34	-0,08

RL – reakcijos laikas; UAGS – Užsimerkimo amplitudės-greičio santykis; AAGS – Atsimerkimo amplitudės-greičio santykis;

* - $p < 0,05$.

Trečiame bloke rasta statistiškai reikšminga: stipri teigiama koreliacija tarp AAGS ir mirksnių trukmės ($r=0,81$); vidutinio stiprumo teigiama koreliacija tarp mirksnių trukmės ir amplitudės ($r=0,60$).

Taip pat rasta silpna teigiama koreliacija tarp: UAGS ir mirksnių trukmės ($r=0,31$); AAGS ir amplitudės ($r=0,42$); AAGS ir nuovargio ($r=0,40$); mirksnių trukmės ir nuovargio ($r=0,31$). Silpna neigiama koreliacija tarp nuovargio ir užduoties atlikimo tikslumo ($r=-0,34$).



3.11 Pav. Mirksnių amplitudės ir užduoties atlikimo tikslumo koreliacijos tarp moterų ir vyrų trečiame bloke.

Palyginus mirksnių amplitudės ir užduoties atlikimo tikslumo koreliacijas tarp lyties trečiame bloke, matome, jog vyrai ($r=-0,4422$) pasižymėjo neigiama koreliacija, kai moterys ($r=0,4425$) teigiama koreliacija. Tačiau šios koreliacijos nebuvo statistiškai reikšmingos, be to moterų imtyje matoma ryški vieno taško (išskirtinai didelės amplitudės) įtaka.

3.5 lentelė. Ryšys tarp mirksnių parametų, nuovargio, užduoties atlikimo ketvirtame bloke.

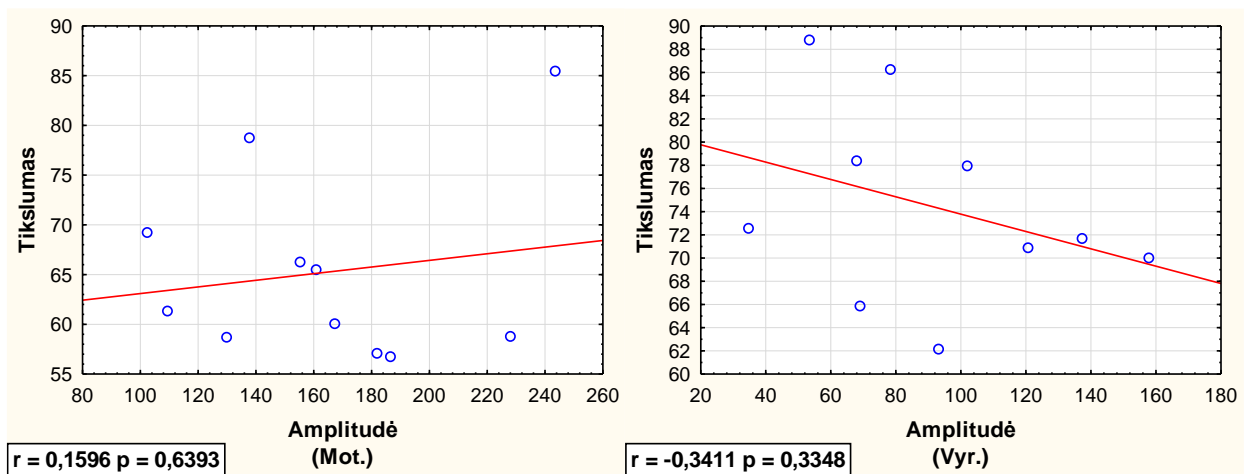
	UAGS	AAGS	Trukmė	Dažnis	Amplitudė	Nuovargis	RL
AAGS	0,27						
Trukmė	0,57*	0,84*					
Dažnis	-0,14	-0,09	-0,06				
Amplitudė	0,21	0,32	0,56*	0,14			
Nuovargis	0,02	0,33	0,32	0,11	0,30		
RL	-0,50*	0,19	-0,02	0,19	0,06	0,37	
Tikslumas	0,11	-0,05	0,03	-0,24	-0,35	-0,47*	-0,17

RL – reakcijos laikas; UAGS – Užsimerkimo amplitudės-greičio santykis; AAGS – Atsimerkimo amplitudės-greičio santykis;

* - $p < 0,05$.

Ketvirtame bloke rasta statistiškai reikšminga: teigiama vidutinio stiprumo koreliacija tarp UAGS ir mirksnių trukmės ($r=0,57$); neigiama vidutinio stiprumo koreliacija tarp UAGS ir reakcijos laiko ($r=-0,50$); stipri teigiama koreliacija tarp AAGS ir mirksnių trukmės ($r=0,84$); vidutinio stiprumo teigiama koreliacija tarp mirksnių trukmės ir amplitudės ($r=0,56$); silpna neigiama koreliacija tarp nuovargio ir užduoties atlikimo tikslumo ($r=-0,47$).

Taip pat rasta silpna teigiama koreliacija tarp: AAGS ir mirksnių amplitudės ($r=0,32$); AAGS ir nuovargio ($r=0,33$); mirksnių trukmės ir nuovargio ($r=0,32$); mirksnių amplitudės ir nuovargio ($r=0,30$); reakcijos laiko ir nuovargio ($r=0,37$). Silpna neigiama koreliacija tarp amplitudės ir užduočių atlikimo tikslumo ($r=-0,35$).



3.12 Pav. Mirksnių amplitudės ir užduoties atlikimo tikslumo koreliacijos tarp moterų ir vyrų ketvirtame bloke.

Nagrinėjant ketvirto bloko mirksnių amplitudės ir užduoties atlikimo tikslumo koreliacijas tarp lyčių, matome, jog vyrai ($r=-0,3411$) pasižymėjo silpna neigiama koreliacija, kai moterys ($r=0,1596$) pasižymėjo labai silpna teigiama koreliacija. Koreliacijos nebuvo statistiškai reikšmingos.

4. REZULTATŲ APTARIMAS

Šiame tyrime buvo siekta įvertinti mirksnių parametrų, išskirtų naudojant „BLINKER“ programinį paketą, sąsajas su subjektyviai vertinamu protiniu nuovargiu ir užduoties atlikimo parametrais bei palyginti gautus rezultatus tarp lyčių. Gauti rezultatai atskleidžia, jog mirksnių parametrai: dažnis, amplitudė, atsimerkimo amplitudės-greičio santykis, subjektyvus nuovargio vertinimas bei užduoties atlikimo tikslumas ir reakcijos laikas skyrėsi statistiškai reikšmingai laiko eigoje, nuo pirmo iki ketvirto bloko, atliekant vaizdų sukimo mintyse užduotį. Užsimerkimo amplitudės-greičio santykio bei mirksnių trukmės parametrų skirtumas nebuvo statistiškai reikšmingas.

Vyrų imtyje rasta statistiškai reikšminga mirksnių amplitudės ir užduoties atlikimo tikslumo neigiama koreliacija mažėjanti nuo pirmo iki ketvirto bloko. Aiškaus koreliacinio ryšio tarp mirksnių parametrų ir subjektyvaus nuovargio vertinimo nėra, tačiau išvelgiama tendencija, jog didėjant nuovargiui stiprėja ir koreliacija tarp mirksnių parametrų ir nuovargio.

4.1 Subjektyvus nuovargio vertinimas

Atliekant vaizdų sukimo mintyse užduotį subjektyviai vertinamas nuovargis stabiliai, statistiškai reikšmingai didėjo. Vertės išaugo 28,9 proc., nuo 21,5 %, prieš atliekant užduotį, iki 50,4 % po užduoties atlikimo. Nors nuovargis tendencingai didėjo, tačiau net užduoties pabaigoje, apytiksliai 120 min. nuo užduoties pradžios subjektyvus nuovargio vertinimas nebuvo didelis t.y. užduotis nesukėlė stipraus protinio nuovargio. Kaip ir mūsų tyrime, literatūroje taip pat pastebima, jog subjektyviai vertinant nuovargį po protinį nuovargį keliančių užduočių, reikšmingų skirtumų tarp vyrų ir moterų nepastebima (Ahsberg, Gamberale, & Gustafsson, 2000).

4.2 Mirksnių parametrai

Užsimerkimo (UAGS) ir atsimerkimo (AAGS) amplitudės-greičio santykis. Analizuojant užsimerkimo amplitudės-greičio santykį (UAGS) rezultatai atskleidžia jog pirmuose trijuose blokuose santykio vertės didėjo, vėliau pastebimas sumažėjimas. Lyginant su literatūra, mūsų tyrime gautos vertės patenka į UAGS normalumo intervalą (2,5 – 5,7 cs) (M. W. Johns, 2003). Statistinė analizė neatskleidė reikšmingo užsimerkimo amplitudės-greičio santykio pokyčio tyrimo eigoje.

Atsimerkimo amplitudės-greičio santykio pokytis užduoties eigoje buvo statistiškai reikšmingas. Kaip ir užsimerkimo amplitudės-greičio santykio rezultatuose pirmuose trijuose blokuose santykio vertės didėjo, o ketvirtame bloke statistiškai reikšmingai sumažėjo. Verta paminėti, kad AAGS gautos reikšmės didesnės nei UAGS. Tai aiškinama tuo, jog žiedinio akies raumens susitraukimas yra stipresnis nei viršutinio voko keliamojo raumens. Taip pat, pažymima, kad mieguistumo ir nuovargio būsenoje užsimerkimo ir atsimerkimo amplitudės-greičio santykio vertės padidėja dėl sumažėjančio užsimerkimo ir atsimerkimo greičio (M. Johns, 2020).

UAGS ir AAGS padidėjimas didėjant nuovargiui atitinka literatūroje pateiktą informaciją. Rasta, jog UAGS ir AAGS statistiškai reikšmingai padidėjo aktyvioje būsenoje palyginus su mieguistumo ir nuovargio apimtais tiriamaisiais (Anderson, Chang, Sullivan Jason, Ronda Joseph, & Czeisler Charles; M. Johns, 2020; M. W. Johns, 2003). Pasak autorių, nuovargis ir mieguistumas sukelia raumenų, atsakingų už akies vokų judesius, atpalaidavimą, todėl skirtingas mechanizmo atpalaidavimo laipsnis varijuoja laike ir tarp skirtingų tiriamųjų (M. Johns, 2020).

Mirksnių trukmė. Mirksnių trukmės rezultatai pasižymi panašia tendencija kaip ir užsimerkimo, atsimerkimo amplitudės-greičio santykio vertės. Pirmuose trijuose blokuose matomas stabilus mirksnių trukmės didėjimas, ketvirtame bloke – nežymus sumažėjimas. Tačiau verta pastebėti, jog verčių didėjimas laiko eigoje nebuvo statistiškai reikšmingas.

Gauti rezultatai atitinka aprašytus literatūroje. Mirksnių trukmė ilgėja ir tampa labiau kintama didėjant mieguistumui ir nuovargiui (Anderson et al.; Lal & Craig, 2001; Tucker & Johns, 2005). Pagal Johns (2003) aktyvios būsenos žmonėms viso mirksnio trukmė yra 100-300 ms (M. W. Johns, 2003). Gautos vertės B1 (313 ms) apytiksliai 20 min nuo užduoties pradžios rodo padidėjusią mirksnių trukmę nuo normalios, literatūroje įvardijamos, mirksnių trukmės. Deja, mūsų tyrime mirksnių parametrai prieš atliekant užduotį nebuvo vertinami. Taip pat galima išvelgti tendencingą mirksnių trukmės didėjimą laiko eigoje (nuo 313 ms pirmajame bloke iki 321 ms trečiajame, kuomet buvo pasiektas trukmės pikas, tačiau padidėjimas nebuvo statistiškai reikšmingas).

Mirksnių dažnis. Mirksnių dažnis stabiliai augo nuo 11,28 (B1 bloke) iki 14,54 (B4 bloke) mirksnių per minutę. Šios vertės atitinka literatūroje rastą informaciją, kurioje teigiama, kad vidutiniškai suaugusieji mirksi nuo 10 iki 20 mirksnių per minutę (A. A. V. Cruz et al., 2011), kituose šaltiniuose 19,6 iki 22,6 mirksnių per min. (Kleifges et al., 2017).

Gauti rezultatai atskleidžia, jog mirksėjimo dažnis statistiškai reikšmingai didėjo laiko eigoje, nuo pirmo iki ketvirto bloko. Dažnio didėjimas didėjant nuovargiui sutampa su kituose tyrimuose gautais rezultatais. Apžvalginiam straipsnyje teigiama, jog daugumoje tyrimų didėjantis mirksėjimo dažnis yra galimas žmogaus nuovargio arba protinės apkrovos indikatorius (Galley et al., 2003; Martins & Carvalho, 2015).

Reikia pažymėti, kad mūsų tyrime gautos dažnio vertės yra mažesnės, nei kai kuriuose kituose tyrimuose (A. A. Cruz et al., 2011; Kleifges et al., 2017). Tai galima paaiškinti kelių, lygiagrečiai veikiančių veiksnių įtaka mirksnių dažniui. Kai dėl kognityvinių užduočių padidėjęs mentalinis krūvis padidina mirksėjimo dažnį, vizualinė įtampa jį sumažina (Recarte et al., 2008). Anot Fogarty and Stern (1989), sumažėjęs mirksnių dažnis rodo padidėjusį vizualinių resursų poreikį užduočiai atlikti (Fogarty & Stern, 1989). Šis fenomenas aiškinamas kaip atliekantis paprastą funkciją – sumažinti tikimybę praleisti aktualią informaciją. Taigi atliekant vizualinę kognityvinę užduotį du skirtingi efektai prieštaringai veikia tą patį procesą. Tą patį patvirtina ir kiti autoriai aiškindami, jog padidėjusį mirksnių dažnį galima prognozuoti didėjant nuovargiui arba pasitelkiant papildomas kognityvines pastangas (Recarte et al., 2008).

Mirksnių amplitudė. Didėjant subjektyvaus nuovargio vertėms mirksnių amplitudė statistiškai reikšmingai mažėjo. Šie rezultatai nevisiškai atitinka literatūroje pateiktą informaciją, kurioje teigiama, jog didėjant nuovargiui ir mieguistumui mirksniai turėtų tapti lėtesni, tačiau jų amplitudė turėtų likti pakankamai pastovi (M. W. Johns, 2003). K. Kaneko & K. Sakamoto (2011) aprašė tyrimą, kuriame buvo ieškoma vizualinio nuovargio įtakos spontanių mirksnių parametrų atliekant vaizdo ekrano stebėjimo užduotį (angl. *Visual Display Terminals*) ir vertinant bendrą tiriamųjų nuovargį (Kaneko & Sakamoto, 2001). Nustatyta, kad akių nuovargis linijiškai didėjo visas 6 tyrimo valandas, o vidutinė mirksnių amplitudė mažėjo viso tyrimo eigoje stebint ekraną, kas atitinka šio tyrimo rezultatus. Taip pat pastebėtas mirksnių dažnio padidėjimas, kuris taip pat atitinka mūsų tyrime gautus rezultatus. Autoriai pastebi, kad rezultatams didžiausią įtaką turėjo labai ilga užduoties atlikimo trukmė (Kaneko & Sakamoto, 2001).

Rezultatus taip pat galima paaiškinti iš fiziologinės perspektyvos. Manoma, kad žiedinio akies raumens aktyvumo koordinavimas voko nuleidime ir raumens voko keliamojo raumens voko pakėlime (Björk & Kugelberg, 1953; Esteban & Salinero, 1979) yra sutrikdomas centrinės nervų sistemos nuovargio ir ilgalaikės vizualinės įtampos (Kaneko & Sakamoto, 2001).

4.3 Vaizdų pasukimo mintyse užduoties atlikimas

Reakcijos laikas statistiškai reikšmingas mažėjo laiko eigoje, užduoties atlikimo tikslumas statistiškai reikšmingas didėjo laiko eigoje. Tai galėjo lemti tiriamųjų apsimokymas atlikti užduotį eigos metu. Rezultatai atitinka literatūroje aprašytus rezultatus (D. Voyer, 1995).

Skirtumai tarp lyčių taip pat atitinka literatūrą. Vidutiniškai, vyrai pasižymi didesniu tikslumu ir mažesniu reakcijos laiku nei moterys atliekant trijų dimensijų vaizdų sukimo mintyse užduotį (Linn & Petersen, 1985; Miller & Halpern, 2014; Daniel Voyer, Voyer, & Bryden, 1995). Tačiau verta pastebėti, kad mūsų tyrime statistiškai reikšmingai tarp lyčių skyrėsi tik užduoties tikslumo rezultatai.

4.4 Ryšiai tarp mirksnių parametrų, subjektyvaus nuovargio ir užduoties atlikimo

Atliktos korelacių analizės atskleidžia, jog rasta neigiama koreliacija tarp mirksnių amplitudės ir užduoties atlikimo tikslumo. B1 bloke, kai tikslumas buvo mažiausias, o amplitudė – didžiausia, matomas vidutinio stiprumo, neigiama, statistiškai reikšminga koreliacija. Koreliacija silpnėjanti, tačiau sistemingai išlieka viso tyrimo eigoje.

Palyginus mirksnių amplitudės ir užduoties atlikimo tikslumo rezultatus tarp lyčių, matome, jog vyrų imtyje koreliacija mažėjo nuo stiprios neigiamos koreliacijos B1 iki silpnos neigiamos koreliacijos B4. Taigi, didėjant atlikimo tikslumui laiko eigoje, mažėjo tikslumo ir amplitudės ryšio stiprumas. Tuo tarpu moterų imtyje rastas silpnas, neigiamas ryšys tik B1.

Sisteminio ryšio tarp mirksnių parametrų ir subjektyvaus nuovargio mūsų tyrimo rezultatai neparodė – tiek B1, tiek B2 bloke nei vienas iš mirksnių parametrų nepasižymėjo statistiškai reikšminga koreliacija su subjektyviu nuovargiu. Tačiau matoma tendencija B3, bei B4 blokuose, kai subjektyvaus nuovargio vertės perkopia 40 % ribą. Matome, jog B3 bloke AAGS ir mirksnių trukmė pasižymi silpna koreliacija su nuovargiu, o B4 bloke AAGS, mirksnių trukmė ir amplitudė pasižymi silpna koreliacija su nuovargiu. Taigi, vėlesniuose užduoties atlikimo etapuose matoma tendencija didėjant nuovargiui, labiau išryškėti ryšiu tarp šių parametrų. Gauti rezultatai, neatitinka literatūroje rastos informacijos. Literatūroje teigiama, jog akių mirksnių parametrai turėtų vidutiniškai arba stipriai koreliuoti su mieguistumu ir nuovargiu atliekant mentalines užduotis (Cori et al., 2019). Verta pastebėti, jog maksimali subjektyvaus nuovargio vertė pasiekė tik 50,4 %. Galbūt labiau varginanti užduotis ar ilgesnė jos trukmė lemtų

didesnes subjektyvaus nuovargio vertes ir išryškėtų koreliacijos su kitais mirksnių parametrais, bei stipresniu ryšiu tarp kintamųjų.

Pastebima tendencingai didėjantis, nuovargio ir užduoties atlikimo tikslumo neigiamas ryšys. Ryšys matomas visuose užduoties atlikimo blokuose, o labiausiai išryškėja B4, kai tikslumas yra geriausias, o nuovargis didžiausias. Tuo tarpu reakcijos laiko ir nuovargio silpnas, teigiamas koreliacinis ryšys pastebimas tik ketvirtame bloke, tačiau nėra statistiškai reikšmingas. Literatūra patvirtina tokius rezultatus – yra žinoma, kad didesnis nuovargis susijęs su prastesniu mentalinių užduočių atlikimu (Tucker & Johns, 2005).

4.5 Tyrimo privalumai ir ribotumai

Privalumai:

- Tyrimo naujumas. Literatūroje daugiausiai pateikiama akių mirksnių parametrų sąsajos su mieguistumu, ne nuovargiu. Naujumas, nes naudojama konkreti užduotis protiniam nuovargiui ir mieguistumui sukelti.
- Daugiausia tyrimų atlikta vairavimo eksperimentuose, įdomu patikrinti kokie rezultatai gausis atliekant kitokio pobūdžio užduotis, ypač tas, kurios reikalauja daugiau mentalinių pastangų.
- Tyrimo laikas – 120 min. pakankamai ilgas tarpas sukelti nuovargį ir pastebėti mirksnių rodiklių pokyčių tendencijas.

Trūkumai:

- Erdvinių figūrų užduotyje, gali būti daug sakadų, kurios gali trukdyti atpažinti mirksnius, tačiau, anot autorių, ilguose EEG įrašuose sakadų efektas turėtų būti minimalus (Kleifges et al., 2017).
- Mirksėjimas atliekant vizualinę užduotį gali būti kitokio pobūdžio nei spontaninis, žmogui ramiai sėdint ar atliekant žemo intensyvumo, pastangų nereikalaujančias užduotis. Tai apsunkina rezultatų interpretaciją ir lyginimą su kitų tyrimų rezultatais.
- Nedidelė tiriamųjų imtis. Ypač imties ribotumas išryškėjo išskaidžius tiriamuosius į vyrų ir moterų grupes. Todėl rezultatų interpretacija atskirai vyrų ir moterų grupėse turėtų būti atsargi.

IŠVADOS

1. Ilgą laiką atliekant vaizdų sukimo mintyse užduotį, jos atlikimas gerėjo (tikslumas didėjo, reakcijos laikas mažėjo) nepaisant reikšmingai didėjančio, subjektyviai vertinto protinio nuovargio.
2. Atliekant vaizdų sukimo mintyse užduotį, mirksnių dažnis ir atsimerkimo amplitudės-greičio santykis statistiškai reikšmingai didėjo, o mirksnių amplitudė mažėjo.
3. Moterų mirksnių amplitudė statistiškai reikšmingai didesnė nei vyrų. Be to, stebima tendencija, kad moterų mirksėjimo dažnis išlieka didesnis nei vyrų viso tyrimo eigoje.
4. Vyrų imtyje stebimas atlikimo tikslumo didėjimas, mažėjant mirksnių amplitudei: priklausomybė buvo didesnė ir statistiškai reikšminga pirmame bloke, tačiau mažėjo užduoties eigoje. Moterims tokia priklausomybė nepastebėta.
5. Sistemingos priklausomybės tarp kitų mirksnių parametrų ir subjektyvaus nuovargio verčių negauta, tačiau įžvelgiama tendencija: didėjant nuovargiui, atsimerkimo amplitudės-greičio santykio ir mirksnių trukmės koreliacija su nuovargiu stiprėjo.

VILNIAUS UNIVERSITETAS
GYVYBĖS MOKSLŲ CENTRAS
BIOMOKSLŲ INSTITUTAS

Ričardas Baliutis

Magistro baigiamasis darbas

**Mirksnių parametrų ir protinio nuovargio ryšio tyrimas atliekant vaizdų sukimo mintyse
užduotį**

SANTRAUKA

Akių mirksnis – tai trumpas, reflekso kontroliuojamas akių vokų nuleidimas bei pakėlimas, kurio pokyčiai mieguistumo ir protinio nuovargio būsenoje turi aiškų fiziologinį pagrindą - didėjantis protinis nuovargis ir mieguistumas sumažina viršutinio voko keliamojo raumens motoneurono aktyvumą. Mirksnių parametrai, kaip mirksnių dažnis ir trukmė, yra susiję su kognityvinės veiklos pokyčiais ir kinta protinio nuovargio būsenoje.

Šio tyrimo tikslas – įvertinti mirksnių parametrų, išskirtų naudojant „BLINKER“ programinį paketą, sąsajas su subjektyviai vertinamu protiniu nuovargiu ir užduoties atlikimo rezultatais.

Analizuota 21 tiriamojo (9 vyrai ir 12 moterų) duomenys, amžiaus vidurkis $21 \pm 0,5$ metai. Panaudojus „BLINKER“ programinį paketą iš EEG įrašo išskirti mirksnių parametrai: mirksnių dažnis, amplitudė, trukmė, užsimerkimo, atsimerkimo amplitudės-greičio santykis. Taip pat analizuoti vaizdų pasukimo mintyse užduoties atlikimo rezultatai (reakcijos laikas, tikslumas) ir subjektyviai įvertintas protinis nuovargis. Apskaičiuota, kaip skyrėsi mirksnių parametrų, subjektyviai vertinto nuovargio ir užduoties atlikimo rezultatai laiko eigoje, koreliaciniai ryšiai tarp kintamųjų bei įvertinti skirtumai tarp lyčių.

Nustatyta, kad: i) ilgą laiką, atliekant vaizdų sukimo mintyse užduotį, jos atlikimas gerėjo (tikslumas didėjo, reakcijos laikas mažėjo) nepaisant reikšmingai didėjančio, subjektyviai vertinto protinio nuovargio; ii) atliekant vaizdų sukimo mintyse užduotį, mirksnių dažnis ir atsimerkimo amplitudės-greičio santykis statistiškai reikšmingai didėjo, o mirksnių amplitudė mažėjo; iii) moterų mirksnių amplitudė statistiškai reikšmingai didesnė nei vyrų. Be to, stebima tendencija, kad moterų mirksėjimo dažnis išlieka didesnis nei vyrų viso tyrimo eigoje iv) vyrų imtyje stebimas atlikimo tikslumo didėjimas, mažėjant mirksnių amplitudei: priklausomybė buvo didesnė ir statistiškai reikšminga pirmame bloke, tačiau mažėjo užduoties eigoje. Moterims tokia priklausomybė nepastebėta; v) sistemingos priklausomybės tarp kitų mirksnių parametrų ir subjektyvaus nuovargio verčių negauta, tačiau išvelgiama tendencija: didėjant nuovargiui, atsimerkimo amplitudės-greičio santykio ir mirksnių trukmės koreliacija su nuovargiu stiprėjo.

VILNIAUS UNIVERSITETAS
GYVYBĖS MOKSLŲ CENTRAS
BIOMOKSLŲ INSTITUTAS

Ričardas Baliutis

Master thesis

**An investigation of blink parameters as a measure of mental fatigue
during mental rotation task**

SUMMARY

Eye blink – is a short, reflex controlled eye lid closure and opening action. Changes of the lid movement during drowsiness and fatigue has a clear physiological basis which represented by increasing mental fatigue and drowsiness, which affects eyelid motoneuron activity. Eyeblink parameters such as blink frequency and duration are related to changes of the cognitive activity in mental fatigue state.

The purpose of this study is to evaluate blink parameters using “BLINKER” toolbox, to investigate relationships between blink parameters and subjective fatigue, performance results of the mental rotation task.

We analyzed data of 21 (9 males and 12 females) participants, age – $21 \pm 0,5$ years. We used “BLINKER” toolbox to extract blink parameters: blink frequency, amplitude, duration, eyelid closing and opening amplitude-velocity ratio from the EEG data. We also evaluated performance on mental rotation task (reaction time, accuracy) and subjective fatigue values. It has been calculated how blink parameters, subjective fatigue and performance results change with a time, investigated relationship between these variables and sex differences.

It has been found that: i) in a long term, performance of the mental rotation task increased (accuracy increased, reaction time decreased) despite significantly increased subjective fatigue evaluation ratings; ii) blink frequency and eye lid opening amplitude-velocity ratio significantly increased and blink amplitude significantly decreased while performing mental rotation task; iii) blink amplitude was significantly larger in women than in men iv) in men sample it was noticed an increase in performance accuracy, while blink amplitude decreases: larger, significant relationship observed in the first task block, however it decreased in the course of the task. This relationship did not occur in women sample; v) there was no systematic relationship between other blink parameters and subjective fatigue ratings, however a trend can be noticed: with the increasing mental fatigue, eye lid opening amplitude-velocity ratio and blink duration correlation with fatigue strengthened.

LITERATŪROS SARAŠAS

1. Ahsberg, E., Gamberale, F., & Gustafsson, K. (2000). Perceived fatigue after mental work: an experimental evaluation of a fatigue inventory. *Ergonomics*, *43*(2), 252-268. doi:10.1080/001401300184594
2. Anderson, C., Chang, A.-M., Sullivan Jason, P., Ronda Joseph, M., & Czeisler Charles, A. Assessment of Drowsiness Based on Ocular Parameters Detected by Infrared Reflectance Oculography. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, *09*(09), 907-920. doi:10.5664/jcsm.2992
3. Anderson, C., Chang, A.-M., Sullivan, J. P., Ronda, J. M., & Czeisler, C. A. (2013). Assessment of drowsiness based on ocular parameters detected by infrared reflectance oculography. *J Clin Sleep Med*, *9*(9), 907-920B. doi:10.5664/jcsm.2992
4. Andreu-Perez, J., Solnais, C., & Sriskandarajah, K. (2016). EALab (Eye Activity Lab): a MATLAB Toolbox for Variable Extraction, Multivariate Analysis and Classification of Eye-Movement Data. *Neuroinformatics*, *14*(1), 51-67. doi:10.1007/s12021-015-9275-4
5. Aramideh, M., Ongerboer de Visser, B. W., Devriese, P. P., Bour, L. J., & Speelman, J. D. (1994). Electromyographic features of levator palpebrae superioris and orbicularis oculi muscles in blepharospasm. *Brain*, *117* (Pt 1), 27-38. doi:10.1093/brain/117.1.27
6. Benedetto, S., Pedrotti, M., Minin, L., Baccino, T., Re, A., & Montanari, R. (2011). Driver workload and eye blink duration. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, *14*(3), 199-208. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trf.2010.12.001>
7. Björk, A., & Kugelberg, E. (1953). The electrical activity of the muscles of the eye and eyelids in various positions and during movement. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, *5*(4), 595-602.
8. Cajochen, C., Foy, R., & Dijk, D.-J. (1999). Frontal predominance of a relative increase in sleep delta and theta EEG activity after sleep loss in humans. *Sleep Res Online*, *2*(3), 65-69.
9. Colzato, L. S., Slagter, H. A., Spapé, M. M. A., & Hommel, B. (2008). Blinks of the eye predict blinks of the mind. *Neuropsychologia*, *46*(13), 3179-3183. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.07.006>
10. Colzato, L. S., Spapé, M. M. A., Pannebakker, M. M., & Hommel, B. (2007). Working memory and the attentional blink: Blink size is predicted by individual differences in operation span. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(6), 1051-1057. doi:10.3758/BF03193090
11. Cooper, L. A., & Shepard, R. N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images *Visual information processing* (pp. 75-176): Elsevier.
12. Cori, J. M., Anderson, C., Shekari Soleimanloo, S., Jackson, M. L., & Howard, M. E. (2019). Narrative review: Do spontaneous eye blink parameters provide a useful assessment of state drowsiness? *Sleep Medicine Reviews*, *45*, 95-104. doi:<https://doi.org/10.1016/j.smrv.2019.03.004>
13. Cruz, A. A., Garcia, D. M., Pinto, C. T., & Cechetti, S. P. (2011). Spontaneous eyeblink activity. *Ocul Surf*, *9*(1), 29-41. doi:10.1016/s1542-0124(11)70007-6
14. Cruz, A. A. V., Garcia, D. M., Pinto, C. T., & Cechetti, S. P. (2011). Spontaneous Eyeblink Activity. *The Ocular Surface*, *9*(1), 29-41. doi:[https://doi.org/10.1016/S1542-0124\(11\)70007-6](https://doi.org/10.1016/S1542-0124(11)70007-6)

15. Delorme, A., Sejnowski, T., & Makeig, S. (2007). Enhanced detection of artifacts in EEG data using higher-order statistics and independent component analysis. *NeuroImage*, 34(4), 1443-1449. doi:<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.11.004>
16. Dimigen, O., Sommer, W., Hohlfeld, A., Jacobs, A. M., & Kliegl, R. (2011). Coregistration of eye movements and EEG in natural reading: analyses and review. *J Exp Psychol Gen*, 140(4), 552-572. doi:10.1037/a0023885
17. Doughty, M. J. (2014). Spontaneous eyeblink activity under different conditions of gaze (eye position) and visual glare. *Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 252(7), 1147-1153. doi:10.1007/s00417-014-2673-8
18. Esteban, A., & Salinero, E. (1979). Reciprocal Reflex Activity in Ocular Muscles: Implications in Spontaneous Blinking and Bell's Phenomenon. *European Neurology*, 18(3), 157-165. doi:10.1159/000115072
19. Fogarty, C., & Stern, J. A. (1989). Eye movements and blinks: Their relationship to higher cognitive processes. *International Journal of Psychophysiology*, 8(1), 35-42. doi:10.1016/0167-8760(89)90017-2
20. Ftouni, S., Rahman, S. A., Crowley, K. E., Anderson, C., Rajaratnam, S. M., & Lockley, S. W. (2013). Temporal dynamics of ocular indicators of sleepiness across sleep restriction. *J Biol Rhythms*, 28(6), 412-424. doi:10.1177/0748730413512257
21. Galley, N., Schleicher, R., & Galley, L. (2003). Blink Parameter as Indicators of Driver's Sleepiness - Possibilities and Limitations. *Vision in vehicles X*.
22. Gisler, C., Ridi, A., Hennebert, J., Weinreb, R. N., & Mansouri, K. (2015). Automated Detection and Quantification of Circadian Eye Blinks Using a Contact Lens Sensor. *Translational Vision Science & Technology*, 4(1), 4-4. doi:10.1167/tvst.4.1.4
23. Gonzalez, C., Best, B., Healy, A. F., Kole, J. A., & Bourne Jr, L. E. (2011). A cognitive modeling account of simultaneous learning and fatigue effects. *Cognitive Systems Research*, 12(1), 19-32.
24. Haq, Z. A., & Hasan, Z. (2016, 12-14 Aug. 2016). *Eye-blink rate detection for fatigue determination*. Paper presented at the 2016 1st India International Conference on Information Processing (IICIP).
25. Hirschfeld, G., Thielsch, M. T., & Zernikow, B. (2013). Reliabilities of Mental Rotation Tasks: Limits to the Assessment of Individual Differences. *BioMed research international*, 2013, 340568. doi:10.1155/2013/340568
26. Horiuchi, R., Ogasawara, T., & Miki, N. (2017). Fatigue Evaluation by Detecting Blink Behavior using Eyeglass-shaped Optical Sensor System. *Micro & Nano Letters*, 12. doi:10.1049/mnl.2017.0136
27. Ingre, M., Akerstedt, T., Peters, B., Anund, A., & Kecklund, G. (2006). Subjective sleepiness, simulated driving performance and blink duration: examining individual differences. *J Sleep Res*, 15(1), 47-53. doi:10.1111/j.1365-2869.2006.00504.x
28. Johns, M. (2020). The Amplitude-Velocity Ratios for Eyelid Movements During Blinks: Changes with Drowsiness.
29. Johns, M., Tucker, A., Chapman, R., Michael, N., & Beale, C. A. (2006). A new scale of drowsiness based on multiple characteristics of blinks: The Johns Drowsiness Scale. 29, A365.
30. Johns, M. W. (2003). The amplitude-velocity ratio of blinks: a new method for monitoring drowsiness. *Sleep*, 26(A51-A52).
31. Jung, T.-P., Makeig, S., Humphries, C., Lee, T.-W., McKeown, M. J., Iragui, V., & Sejnowski, T. J. (2000). Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation. *Psychophysiology*, 37(2), 163-178. doi:10.1111/1469-8986.3720163

32. Kaneko, K., & Sakamoto, K. (2001). Spontaneous blinks as a criterion of visual fatigue during prolonged work on visual display terminals. *Percept Mot Skills*, 92(1), 234-250. doi:10.2466/pms.2001.92.1.234
33. Karson, C. N. (1988). Physiology of normal and abnormal blinking. *Adv Neurol*, 49, 25-37.
34. Kinomura, S., Larsson, J., Gulyas, B., & Roland, P. E. (1996). Activation by attention of the human reticular formation and thalamic intralaminar nuclei. *Science*, 271(5248), 512-515. doi:10.1126/science.271.5248.512
35. Kleifges, K., Bigdely-Shamlo, N., Kerick, S. E., & Robbins, K. A. (2017). BLINKER: Automated Extraction of Ocular Indices from EEG Enabling Large-Scale Analysis. *Front Neurosci*, 11, 12. doi:10.3389/fnins.2017.00012
36. Lal, S. K., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biol Psychol*, 55(3), 173-194. doi:10.1016/s0301-0511(00)00085-5
37. Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child development*, 1479-1498.
38. Lockley, S. W., Cronin, J. W., Evans, E. E., Cade, B. E., Lee, C. J., Landrigan, C. P., . . . Stone, P. H. (2004). Effect of reducing interns' weekly work hours on sleep and attentional failures. *New England Journal of Medicine*, 351(18), 1829-1837.
39. Marquart, G., Cabrall, C., & de Winter, J. (2015). Review of Eye-related Measures of Drivers' Mental Workload. *Procedia Manufacturing*, 3, 2854-2861. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.783>
40. Martins, R., & Carvalho, J. (2015). *Eye blinking as an indicator of fatigue and mental load – a systematic review*.
41. Mathot, S., & Van der Stigchel, S. (2015). New Light on the Mind's Eye: The Pupillary Light Response as Active Vision. *Curr Dir Psychol Sci*, 24(5), 374-378. doi:10.1177/0963721415593725
42. McIntire, L. K., McKinley, R. A., Goodyear, C., & McIntire, J. P. (2014). Detection of vigilance performance using eye blinks. *Appl Ergon*, 45(2, Part B), 354-362. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.04.020>
43. McIntire, L. K., McKinley, R. A., Goodyear, C., & McIntire, J. P. (2014). Detection of vigilance performance using eye blinks. *Appl Ergon*, 45(2), 354-362. doi:10.1016/j.apergo.2013.04.020
44. Metzler, J., & Shepard, R. N. (1974). Transformational studies of the internal representation of three-dimensional objects.
45. Miller, D. I., & Halpern, D. F. (2014). The new science of cognitive sex differences. *Trends in cognitive sciences*, 18(1), 37-45.
46. Mognon, A., Jovicich, J., Bruzzone, L., & Buiatti, M. (2011). ADJUST: An automatic EEG artifact detector based on the joint use of spatial and temporal features. *Psychophysiology*, 48(2), 229-240. doi:10.1111/j.1469-8986.2010.01061.x
47. Morris, T., & Miller, J. C. (1996). Electrooculographic and performance indices of fatigue during simulated flight. *Biol Psychol*, 42(3), 343-360.
48. Nolan, H., Whelan, R., & Reilly, R. B. (2010). FASTER: Fully Automated Statistical Thresholding for EEG artifact Rejection. *J Neurosci Methods*, 192(1), 152-162. doi:10.1016/j.jneumeth.2010.07.015
49. Noreika, D., Griškova-Bulanova, I., Alaburda, A., Baranauskas, M., & Griškiienė, R. (2014). Progesterone and mental rotation task: is there any effect? *BioMed research international*, 2014, 741758-741758. doi:10.1155/2014/741758

50. Papadelis, C., Chen, Z., Kourtidou-Papadeli, C., Bamidis, P. D., Chouvarda, I., Bekiaris, E., & Maglaveras, N. (2007). Monitoring sleepiness with on-board electrophysiological recordings for preventing sleep-deprived traffic accidents. *Clin Neurophysiol*, *118*(9), 1906-1922. doi:10.1016/j.clinph.2007.04.031
51. Pattyn, N., Neyt, X., Henderickx, D., & Soetens, E. (2008). Psychophysiological investigation of vigilance decrement: boredom or cognitive fatigue? *Physiology & behavior*, *93*(1-2), 369-378.
52. Peters, M., & Battista, C. (2008). Applications of mental rotation figures of the Shepard and Metzler type and description of a mental rotation stimulus library. *Brain Cogn*, *66*(3), 260-264. doi:10.1016/j.bandc.2007.09.003
53. Plöchl, M., Ossandón, J., & König, P. (2012). Combining EEG and eye tracking: identification, characterization, and correction of eye movement artifacts in electroencephalographic data. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*(278). doi:10.3389/fnhum.2012.00278
54. Ponder, E., & Kennedy, W. P. (1927). On the act of blinking. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, *18*, 89-110. doi:10.1113/expphysiol.1927.sp000433
55. Recarte, M. A., Perez, E., Conchillo, A., & Nunes, L. M. (2008). Mental workload and visual impairment: differences between pupil, blink, and subjective rating. *Span J Psychol*, *11*(2), 374-385.
56. Sandberg, D., Anund, A., Fors, C., Kecklund, G., Karlsson, J. G., Wahde, M., & Akerstedt, T. (2011). The characteristics of sleepiness during real driving at night--a study of driving performance, physiology and subjective experience. *Sleep*, *34*(10), 1317-1325. doi:10.5665/sleep.1270
57. Schleicher, R., Galley, N., Briest, S., & Galley, L. (2008). Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: looking tired? *Ergonomics*, *51*(7), 982-1010. doi:10.1080/00140130701817062
58. Schuri, U., & von Cramon, D. (1981). Heart rate and blink rate responses during mental arithmetic with and without continuous verbalization of results. *Psychophysiology*, *18*(6), 650-653. doi:10.1111/j.1469-8986.1981.tb01839.x
59. Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental Rotation of Three-Dimensional Objects. *Science*, *171*(3972), 701. doi:10.1126/science.171.3972.701
60. Sirevaag, E. J., & Stern, J. A. (2000). Ocular measures of fatigue and cognitive factors. *Engineering psychophysiology: Issues and applications*, 269-287.
61. Stern, J. A., Boyer, D., & Schroeder, D. (1994). Blink rate: a possible measure of fatigue. *Hum Factors*, *36*(2), 285-297. doi:10.1177/001872089403600209
62. Stern, J. A., & Skelly, J. J. (1984). *The eye blink and workload considerations*. Paper presented at the Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting.
63. Tarr, M. J., & Pinker, S. (1989). Mental rotation and orientation-dependence in shape recognition. *Cognitive Psychology*, *21*(2), 233-282. doi:10.1016/0010-0285(89)90009-1
64. Tucker, A., & Johns, M. (2005). The duration of eyelid movements during blinks: Changes with drowsiness. *Sleep*, *28*, A122.
65. Van Orden, K. F., Jung, T. P., & Makeig, S. (2000). Combined eye activity measures accurately estimate changes in sustained visual task performance. *Biol Psychol*, *52*(3), 221-240. doi:10.1016/s0301-0511(99)00043-5
66. Voyer, D. (1995). Effect of Practice on Laterality in a Mental Rotation Task. *Brain Cogn*, *29*(3), 326-335. doi:<https://doi.org/10.1006/brcg.1995.1285>

67. Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: a meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological bulletin*, *117*(2), 250.
68. Wascher, E., Heppner, H., Möckel, T., Kobald, S. O., & Getzmann, S. (2015). Eye-blinks in choice response tasks uncover hidden aspects of information processing. *EXCLI journal*, *14*, 1207-1218. doi:10.17179/excli2015-696
69. Wilkinson, V. E., Jackson, M. L., Westlake, J., Stevens, B., Barnes, M., Swann, P., . . . Howard, M. E. (2013). The accuracy of eyelid movement parameters for drowsiness detection. *J Clin Sleep Med*, *9*(12), 1315-1324. doi:10.5664/jcsm.3278
70. Winkler, I., Haufe, S., & Tangermann, M. (2011). Automatic classification of artifactual ICA-components for artifact removal in EEG signals. *Behav Brain Funct*, *7*, 30. doi:10.1186/1744-9081-7-30
71. Zaman, M. L., & Doughty, M. J. (1997). Some methodological issues in the assessment of the spontaneous eyeblink frequency in man. *Ophthalmic and Physiological Optics*, *17*(5), 421-432. doi:10.1046/j.1475-1313.1997.97000252.x