

**LIETUVOS SVEIKATOS MOKSLŲ UNIVERSITETAS
VETERINARIJOS AKADEMIJA**

Veterinarijos fakultetas

Eglė Katkutė

**Elektromagnetinio poveikio tyrimas, naudojant pelės
biomodelį, organizmo funkcijoms ir sveikatingumui
vertinti**

**An investigation of electromagnetic effect using a mouse
biomodel for an evaluation of body functions and health**

Veterinarinės medicinos vientisųjų studijų
MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS

Darbo vadovė: prof., dr. Judita Žymantienė

Kaunas, 2019

DARBAS ATLIKTAS ANATOMIJOS IR FIZIOLOGIJOS KATEDROJE

PATVIRTINIMAS APIE ATLIKTO DARBO SAVARANKIŠKUMĄ

Patvirtinu, kad įteikiamas magistro baigiamasis darbas „**Elektromagnetinio poveikio tyrimas, naudojant pelės biomodelį, organizmo funkcijoms ir sveikatingumui vertinti**“.

1. yra atliktas mano pačios.
2. nebuvo naudotas kitame universitete Lietuvoje ir užsienyje.
3. nenaudojau šaltinių, kurie nėra nurodyti darbe, ir pateikiu visą naudotos literatūros sąrašą.

(data)

(autoriaus vardas, pavardė)

(parašas)

PATVIRTINIMAS APIE DARBO LIETUVIŲ KALBOS TAISYKLINGUMĄ

Patvirtinu, kad darbo lietuvių kalba taisyklinga.

(data)

(redaktoriaus vardas, pavardė)

(parašas)

MAGISTRO BAIGIAMOJO DARBO VADOVO IŠVADA DĖL DARBO GYNIMO

Patvirtinu, kad darbas atitinka reikalavimus ir yra parengtas gynimui

(data)

(darbo vadovo vardas, pavardė)

(parašas)

MAGISTRO BAIGIAMASIS DARBAS APROBUOTAS KATEDROJE (KLINIKOJE)

(aprobacijos data)

*(katedros (klinikos) vedėjo (-os)
vardas, pavardė)*

(parašas)

Magistro baigiamojo darbo recenzentas

(vardas, pavardė)

(parašas)

Magistro baigiamųjų darbų gynimo komisijos įvertinimas:

(data)

(gynimo komisijos sekretorės (-iaus) vardas, pavardė)

(parašas)

TURINYS

SANTRAUKA.....	4
SUMMARY	5
SANTRUMPOS	6
ĮVADAS.....	7
1. LITERATŪROS APŽVALGA.....	9
1.1. Elektromagnetinė spinduliuotė ir jos šaltiniai	9
1.1.1. Žmogaus sukurta elektromagnetinė spinduliuotė.....	10
1.1.2. Natūrali elektromagnetinė spinduliuotė.....	11
1.2. Radijo dažnio spinduliuotės pasekmės visuomenės sveikatai.....	12
1.3. Įtaka kraujui ir oksidaciniai procesai	13
1.4. Įtaka smegenims ir su tuo susiję sutrikimai	14
2. TYRIMO METODAI IR MEDŽIAGA	18
2.1. Tyrimo eiga	18
2.2. Eksperimentiniai gyvūnai ir jų priežiūra.....	18
2.3. Kraujo tyrimai	20
2.4. Elgsenos vertinimas	20
2.5. Smegenų histopatologinis tyrimas	21
2.6. Statistinė analizė.	21
3. TYRIMO REZULTATAI.....	22
3.1. Hematologinių rodiklių vertinimas.....	22
3.2. Elgsenos vertinimo rezultatai	23
3.2.1. Pelių etogramos rodiklių vertinimas valandomis	23
3.2.2. Pelių etogramų rodiklių vidurkių vertinimas	27
3.2.3. Kūno ir kailio valymo vertinimas	29
3.3. Histopatologinio smegenų tyrimo rezultatai	30
4. REZULTATŲ APTARIMAS.....	31
IŠVADOS.....	33
REKOMENDACIJOS	34
PADĖKA.....	35
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	36

ELEKTROMAGNETINIO POVEIKIO TYRIMAS, NAUDOJANT PELĖS BIOMODELĮ, ORGANIZMO FUNKCIJOMS IR SVEIKATINGUMUI VERTINTI

Eglė Katkutė

Magistro baigiamasis darbas

SANTRAUKA

Šiuolaikiniame pasaulyje vis daugėja žmogaus sukurtų prietaisų, skleidžiančių elektromagnetines bangas. Ypač išaugo mobiliųjų telefonų naudojimas. Didėjant elektromagnetinei taršai svarbu suprasti ir įvertinti jos galimą žalingą poveikį sveikatai.

Šio tyrimo tikslas - ištirti mobilaus telefono skleidžiamą elektromagnetinį poveikį pelės biomodeliui, gyvūnų hematologiniams rodikliams ir elgesiui. Tyrime naudota 30 BALB/c pelių. Dvi eksperimentinės grupės 72 val. buvo veikiamos radijo dažnio elektromagnetinėmis bangomis, sklindančiomis iš GSM mobiliojų telefonų. Buvo vertinama elgsena pagal 11 rodiklių ir kūno bei kailio valymo sekos grandinė po 6 val., 60 val. ir 72 val. Atliktas kraujo morfologinis tyrimas (eritrocitų, hemoglobino, hematokrito) bei smegenų histopatologinis įvertinimas.

Elgsenos stebėjimas atskleidė, kad remiantis kailio ir kūno valymo procedūromis 2 grupės gyvūnai buvo aktyvesni 3 kartus per visą bandymo laikotarpį lyginant su pirma ir kontroline grupe. Taip pat mobiliųjų telefonų skleidžiama radijo dažnio spinduliuotė itin suaktyvino šiuos elgsenos parametrus: vaikščiojimą ir judėjimą, priekinių kojų laižymą, užpakalinių kojų laižymą ir uostinėjimą narve abiejose eksperimentinės grupės lyginant su kontroline grupe.

Statistiškai reikšmingų skirtumų tarp pelių hematologinių parametrų nenustatyta. Smegenų histopatologinis tyrimas antroje grupėje parodė kai kurių piramidinių neuronų susitraukimą, silpną perivaskulinę ir perineurinę edemą bei kai kurių neuronų ir gliocitų vakuolizaciją didžiuosiuose pusrutuliuose.

Raktažodžiai: elektromagnetinės bangos, radijo dažnis, mobilieji telefonai, pelė, kraujas, elgsena, smegenys.

AN INVESTIGATION OF ELECTROMAGNETIC EFFECT USING A MOUSE BIOMODEL FOR AN EVALUATION OF BODY FUNCTIONS AND HEALTH

Eglè Katkutė

Master's Thesis

SUMMARY

In the modern world, man-made devices emitting electromagnetic waves are on the increase. The use of mobile phones, in particular, has increased. As electromagnetic pollution increases, it is important to understand and evaluate its potential adverse effects on health.

The purpose of this study is to investigate the electromagnetic effects of a mobile phone on a mouse biomodel, animal hematology, and behavior. 30 balb/c mice were used in the study. Two experimental groups for 72 h. were exposed to radiofrequency electromagnetic waves emanating from a gsm mobile phone. Behaviour was assessed by 11 indicators and body and coat cleaning sequence at 6 h, 60 h. And 72 hours from the start of the experiment. Also, blood morphological examination (erythrocytes, hemoglobin, hematocrit) and brain histopathology were performed.

Behavioral observation revealed that, based on the coat and body cleaning procedures, animals in group 2 were more active 3 times throughout the study period compared with the first and control groups. Also, the following behavioral parameters were significantly activated by the radiofrequency radiation emitted by mobile phones: walking and movement, forelimb licking, hindlimb licking and sniffing of the cage in both experimental groups as compared to the control group.

No statistically significant differences were found between the hematological parameters of the mice. Histopathological examination of the brain showed shrinkage of some pyramidal neurons, mild perivascular and perineural edema, and vacuolization of some neurons and gliocytes in the major hemispheres in the second experimental group.

Keywords: electromagnetic waves, radiofrequency, mobile phones, mouse, blood, behavior, brain.

SANTRUMPOS

RD – radijo dažnis

RDS – radijo dažnio spinduliuotė

EML – elektromagnetinis laukas

RD – EML – radijo dažnio elektromagnetinis laukas

EMS – elektromagnetinė spinduliuotė

GSM – globalus mobilių telefonų ryšio standartas

UMS – universali mobiliųjų telekomunikacijų sistema

RBC – eritrocitai

MCV – vidutinė eritrocitų apimtis

WBC – leukocitai

DNR – deoksiribonukleorūgštis

KSB – kraujo-smegenų barjeras

ROS – reaktyviosios deguonies formos

IVADAS

Iki 1990-ųjų gaunamas radijo dažnis daugiausia buvo iš kelių radijo ir televizijos siųstuvų, esančių atokiose vietose arba labai aukštose vietose. Nuo 1990 m. įdiegus bevielį ryšį, telefono tinklų diegimas labai padidino elektromagnetinę taršą miestuose ir kaimuose [1]. Žmonių populiacija yra vis labiau veikiamą mikrobangų / radijo dažnio (RD) spinduliuotės, kurią sukelia bevielio ryšio technologija, įskaitant mobiliuosius telefonus ir jų bazines stotis [2].

Mobilieji telefonai yra viena populiariausių ir sparčiausiai augančių technologinių pažangų. Tai tapo būtina priemone šiuolaikiniame mūsų gyvenime [3]. Mobilieji telefonai, kad galėtų komunikuoti, skleidžia ir priima radijo dažnio signalus. Iš mobiliųjų telefonų gaunami radijo dažnių signalai patenka į elektromagnetinio spektro mikrobangų dalį [4]. Šiandien, apie pusė pasaulio populiacijos naudoja mobiliuosius telefonus, kurie skleidžia mikrobangas [5]. Dėl tokio plataus mobiliųjų telefonų naudojimo, pastaraisiais metais kilo poreikis atlikti tyrimus, kuriais būtų nustatytas radijo dažnio spinduliuotės (RDS) poveikis gyvų organizmų biologinėms funkcijoms [1, 3]. Ypač visuomenę neramina elektromagnetinės spinduliuotės (EMS) poveikis smegenų vystymuisi ir funkcijai, kadangi dažniausiai mobilieji telefonai naudojami, kai radijo dažnio bangų poveikis yra nukreiptas tiesiogiai į galvą [6].

Khurana *et al.* (2010) atkreipia dėmesį, jog trūksta tyrimų, įvertinančių numanomą mobiliųjų telefonų bazinių stočių poveikį sveikatai, nes ieškodami šią problemą apimančius pirminius šaltinius, autoriai sugebėjo rasti tik 10 žmonių populiacijos tyrimų iš septynių šalių. Septyniuose iš šių tyrimų buvo tiriamas ryšys tarp bazinės stoties artumo ir poveikio neurologiniam elgesiui bei trijuose tirtas ryšys su vėžiu. Aštuoniuose iš 10 tyrimų buvo pastebėtas padidėjęs nepageidaujamų neurologinio elgesio simptomų ar vėžio paplitimas populiacijose, gyvenančiose <500 metrų atstumu nuo bazinių stočių. Nei viename tyrime nenustatyta, kad ekspozicija viršytų priimtas tarptautines rekomendacijas, o tai rodo, kad dabartinės gairės gali būti nepakankamos siekiant apsaugoti žmonių populiacijų sveikatą [2,7].

Vis dažniau naujosios kartos mobiliųjų įrenginių naudotojai, pradėdant jau nuo ankstyvaus amžiaus, praleidžia visą savo gyvenimą, veikiami mikrobangų, kurias skleidžia telefonai. Kyla klausimas: kokių mastų gyvieji organizmai yra paveikiami šių radijo dažnio laukų? [5]. Aplinkos sveikatos mokslininkams sprendžiant rimtus globalinius klausimus, tokius kaip klimato kaita ar cheminės medžiagos, pavojingos visuomenės sveikatai, būtina kuo skubiau atkreipti dėmesį ir į vadinamąjį elektrosmogą. Mokslininkų įrodymais pagrįstas požiūris į antropogeninių elektromagnetinių laukų rizikos vertinimą ir reguliavimą padės užtikrinti visuomenės sveikatą. Kai kurių šalių vyriausybės sveikatos priežiūros institucijos neseniai jau ėmėsi priemonių, kad sumažintų

radijo dažnio elektromagnetinės spinduliuotės (RD – EMS) poveikį visuomenei, reguliuodamos vaikų belaidžių prietaisų naudojimą ir apskritai rekomenduodamos laidinio ryšio prietaisų naudojimą, tačiau tai turėtų būti suderintos ir vieningos tarptautinės pastangos [8].

Tyrimai dėl biologinio ir radijo dažnių ekspozicijos poveikio reikalauja glaudaus biologų ir inžinierių, kurie turi žinių apie RD ekspozicijos vertinimą, bendradarbiavimo. Nepriklausomi tyrėjai turėtų sugebėti atkartoti ir patvirtinti pastebėjimus tomis pačiomis ar pagerintomis eksperimentinėmis sąlygomis. Tokie duomenys yra neįkainojami stiprinant mokslines žinias, būtinas tarptautiniam ir nacionaliniam radijo dažnių apšvitos rizikos vertinimui [9,10].

Šiame darbe teoriškai apžvelgiami pasaulyje atlikti moksliniai tyrimai apie galimą EMS įtaką žmonių ir gyvūnų sveikatai, kraujo parametrams ir smegenims bei su tuo susiję elgsenos pakitimai. Praktiškai įvertinami RDS iš mobiliojo telefono paveiktų pelių hematologiniai rodikliai, elgsenos pokyčiai bei smegenų histopatologija.

Darbo tikslas: ištirti skirtingo dažnio mobiliojo telefono skleidžiamą elektromagnetinį poveikį pelės biomodeliui.

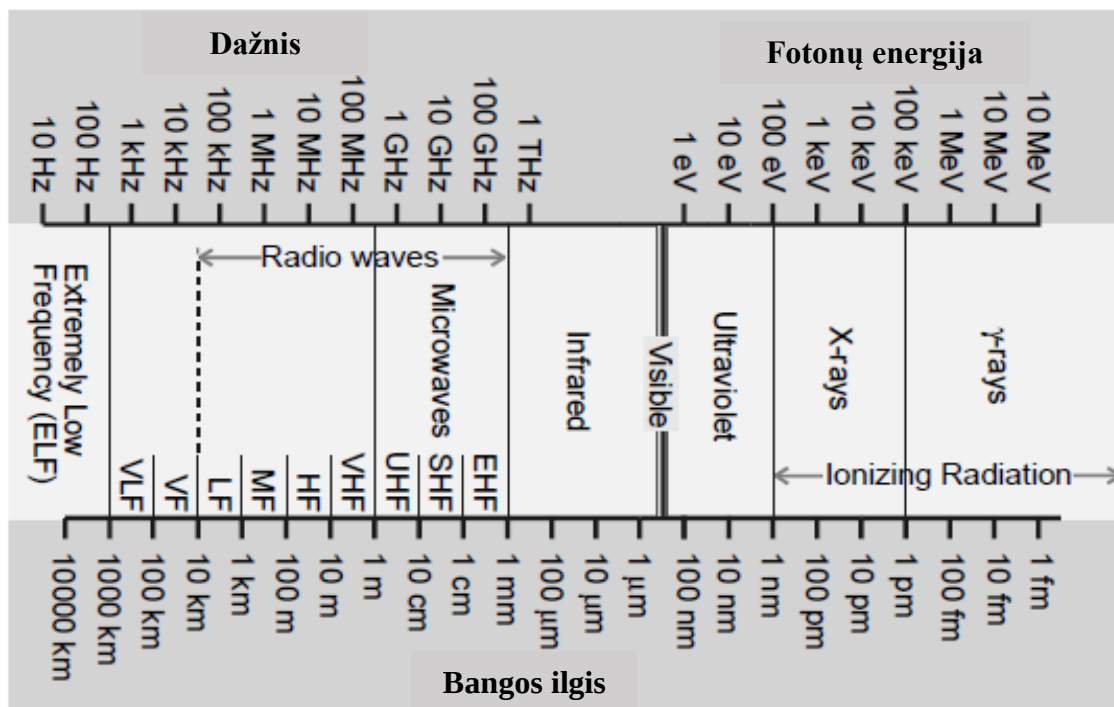
Darbo uždaviniai:

1. Ištirti biomodelio kraujo rodiklius, apibūdinančius organizmo sveikatingumą ir oksidacinių procesų intensyvumą, veikiant organizmą skirtingo dažnio mobiliais telefonais.
2. Sudaryti gyvūnų etogramas elektromagnetinių bangų poveikyje ir įvertinti gyvūnų elgesį.
3. Įvertinti elektromagnetinių bangų poveikį smegenims.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Elektromagnetinė spinduliuotė ir jos šaltiniai

Fizikoje elektromagnetinė spinduliuotė (EMS) reiškia elektromagnetinio lauko bangas, sklindančias erdvėje ir nešančias elektromagnetinę spinduliavimo energiją [11]. Priklausomai nuo bangos dažnio, EMS bangos skirstomos į radijo bangas, mikrobangas, infraraudonąją, regimąją šviesą, ultravioletinius, rentgeno ir gama spindulius (1 pav.) [12].



Paveikslėlyje parodytas dažnis, didėjantis iš kairės į dešinę, išreikštas hercais (Hz) ir kHz (kilo-), MHz (mega-), GHz (giga-) ir THz (tera-) (žymintys daugiklius 10^3 , 10^6 , 10^9 ir 10^{12}). Elektromagnetiniai laukai RD diapazone gali būti naudojami ryšių tikslais kaip radijo bangos. Mobilieji telefonai veikia žemų mikrobangų diapazone, maždaug 1 GHz. Sąvokos VLF, VF, LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF žymi labai žemą dažnį, balso dažnį, žemą dažnį, vidutinį dažnį, aukštą dažnį, labai aukštą dažnį, ultra aukštą dažnį, super aukštą dažnį ir ypač aukštą dažnį, atitinkamai.

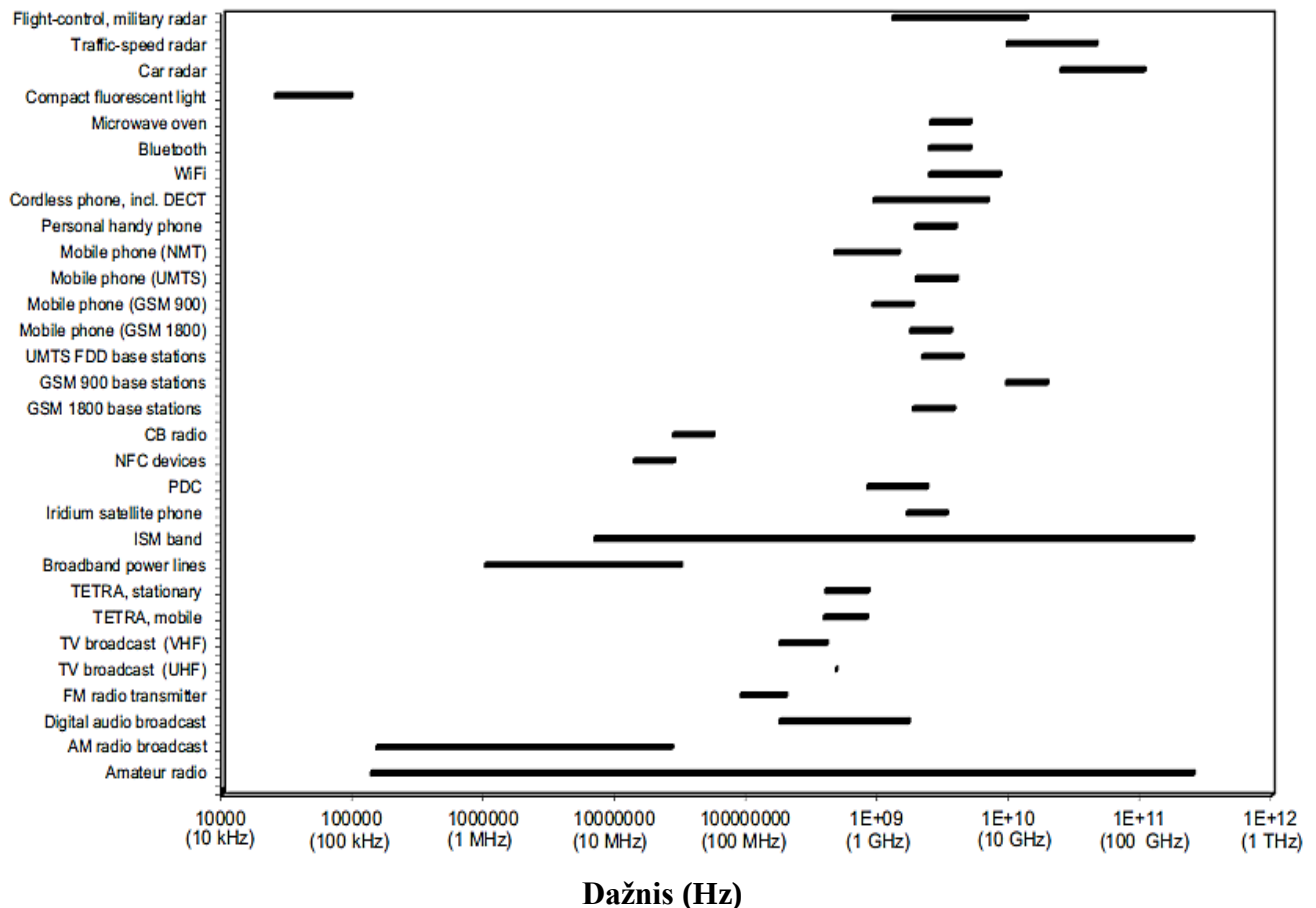
Už radijo bangų naudojamų dažnių ribų seka infraraudonųjų spindulių, regimosios šviesos, ultravioletinių, rentgeno ir gama spindulių spektro dalys. Nuo RD ir iki maždaug UV spindulių srities įprasta nurodyti spinduliavimo bangos ilgį (išreikštą metrais ir jo daugikliais), o ne dažnį. Paprastai didesnis nei radijo dažnis ir ultravioletinių spindulių sritis yra spinduliavimo bangos ilgis (išreikštas metrais ir jo daugikliais), o ne dažnis. Žemiau radijo dažnio spektro dalies yra elektromagnetiniai laukai, naudojami ne radijo ryšiui, o kitoms reikmėms. Fotono energija išreiškiama elektronvoltais (eV ir jo daugikliais).

1 pav. Elektromagnetinių bangų spektras [13].

Elektromagnetinius laukus sukuria tiek gamtos reiškiniai, kaip pavyzdžiui Žemės magnetinis laukas, tiek paties žmogaus veikla bei jos produktai [14]. Tad EMS galime skirstyti į sukurtą žmogaus ir natūralią, atsirandančią iš Žemės (antžemiški šaltiniai) ir kosmoso (nežemiški šaltiniai) [15].

1.1.1. Žmogaus sukurta elektromagnetinė spinduliuotė

Žmogaus sukurtų EMS šaltinių yra daugybė (2 pav.). Tiek medicinos srityje naudojami prietaisai, kaip rentgeno aparatas, tiek iš kiekvieno elektros lizdo išeinanti elektra yra susijusi su elektromagnetiniais laukais, kaip ir kiekvienam žmogui gerai žinomi mobilieji telefonai ir kompiuterių ekranai [14]. Žmogus kasdien susiduria su EML radijo dažnio spektro dalimi, kadangi būtent RD bangos yra plačiai naudojamos mūsų visuomenėje kiekvieną dieną [16].



AM, moduluota amplitudė; CB, piliečių juosta; DECT, skaitmeninės patobulintos belaidės telekomunikacijos; FDD, dažnio padalijimo dupleksas; FM, moduluotas dažnis; GSM, pasaulinė mobiliojo ryšio sistema; ISM, pramonės, mokslo ir medicinos; NFC, artimas lauko ryšys; NMT, Šiaurės šalių mobilioji telefonija; PDC, asmeninis skaitmeninis korinis; TETRA, antžeminis magistralinis radijas; Televizorius, televizorius; UHF, ypač aukštas dažnis; UMTS, universali mobiliųjų telekomunikacijų sistema; VHF, labai aukštas dažnis; „WiFi“, standartinė belaidžio vietinio tinklo (WLAN) technologija.

2 pav. Žmogaus sukurti radijo dažnio (nuo 30 kHz iki 300 GHz) spinduliuotės šaltiniai [13].

Žmogaus sukurtus RD šaltinius galime suskirstyti į keletą kategorijų:

1. Šaltiniai, veikiantys arti žmogaus kūno.

Daugelis šio tipo prietaisų yra mobilieji RD siųstuvai, tokie kaip mobilieji telefonai. Pasaulyje mobiliaisiais telefonais naudojasi daugiau nei 2,5 milijardo žmonių, o pastaraisiais metais jų skaičius nuolat auga. Europoje labiausiai paplitusios mobiliojo ryšio technologijos yra skaitmeninės technologijos GSM 900, GSM 1800 ir UMTS. Analoginės technologijos Europoje beveik

nebenaudojamos. Kai kurie apsaugos nuo vagystės prietaisai, paprastai naudojami prie parduotuvių išėjimų ar panašių teritorijų, veikia radijo dažnių diapazone.

2. Šaltiniai, veikiantys toli nuo žmogaus kūno.

Tokie šaltiniai paprastai yra stacionarūs RD siųstuvai, tokie kaip mobiliųjų telefonų bazinės stotys ir transliavimo siųstuvai.

3. Medicininiai įrenginiai:

Kelios medicinos programos naudoja elektromagnetinius laukus radijo dažnių diapazone. Terapinis pritaikymas apima minkštųjų audinių gydymo prietaisus, hipertermiją, gydant vėžį, ir diatermiją. Tai lemia paciento apšvietimą lauko jėgomis, kurios gerokai viršija rekomenduojamas ribines vertes, kad būtų pasiektas teigiamas numatomas biologinis poveikis, įskaitant audinių kaitinimą (analgetinis poveikis) arba ląstelių deginimą (siekiant sunaikinti vėžio ląsteles) [16].

1.1.2. Natūrali elektromagnetinė spinduliuotė

Šios spinduliuotės nežemiški šaltiniai (iš kosmoso) yra saulės ir kosminė radiacija bei elektros iškvos Žemės atmosferoje [13]. Vis dėl to, į Žemės paviršių patenkantis RD iš saulės bei kosminis mikrobangų fonas bus šiek tiek mažesnis, nes jonosferoje, esančioje nuo maždaug 60 km iki 600 km virš Žemės paviršiaus, yra įkrautų dalelių sluoksniai, kurie atspindi RD laukus iki maždaug 30 MHz dažnio. Tai rodo, kad Žemės atmosfera turi ryškų poveikį iš kosmoso atvykstantiems RD laukams ir Tarptautinės nejonizuojančiosios spinduliuotės apsaugos komisija (ICNIRP) nurodo, kad bendras gaunamas dangaus ir saulės energijos tankis Žemės paviršiuje yra $3 \mu\text{W} / \text{m}^2$ [15].

Prie natūralios elektromagnetinės spinduliuotės antžemiškų šaltinių priklauso pati Žemė, kuri išspinduliuoja kaip absoliučiai juodas kūnas su tipine apie 300 K paviršiaus temperatūra. Didžioji dauguma Žemės išmetamų teršalų užima vietą infraraudonųjų spindulių spektro dalyje ir tik 0,0006% spinduliuotės yra radijo dažnių srityje, o tai sudaro kelis mW/m^2 nuo Žemės paviršiaus. Tai yra maždaug tūkstantį kartų didesnis intensyvumas, nei gaunamas RD intensyvumas iš dangaus ir saulės [15]. Žmonės taip pat skleidžia spinduliuotę iš savo kūno paviršių (odos), kurios, darant prielaidą, kad paviršiaus temperatūra yra 37°C , intensyvumas žmogui RD diapazone būtų $2,5 \text{ mW}/\text{m}^2$. Tipiškas odos plotas yra $1,8 \text{ m}^2$, tad bendra spinduliuotė yra apie $4,5 \text{ Mw}$ [13].

Dar vienas antžemiško natūralios EMS šaltinio pavyzdys yra žaibas. Žaibas, turėdamas mažesnę dažnį nei 30 MHz, nėra veikiamas jonosferos, dėl ko tarp Žemės paviršiaus ir jonosferos susiformuojantis bangolaidis suteikia galimybę žaibo generuojamiems RD laukams skliti dideliais atstumais aplink Žemę. Žaibavimo metu sukuriama EML yra impulsyvūs ir skiriasi priklausomai nuo kiekvieno smūgio pobūdžio ir atstumo, iš kurio jie matuojami. Tipiška $4 \text{ V}/\text{m}$ impulsų amplitudė 200 km atstumu atitinka didžiausią $42 \text{ mW}/\text{m}^2$ intensyvumą, o bendras impulsų energijos tankis yra $2,5 \text{ mJ}/\text{m}^2$ [13].

1.2. Radijo dažnio spinduliuotės pasekmės visuomenės sveikatai

Žmonija yra vis labiau veikiamą radijo dažnio elektromagnetinės spinduliuotės, kurią skleidžia daugybė žmogaus sukurtų prietaisų, tarp jų ir mobilieji telefonai bei jų bazinės stotys. Nekeista, kad plintant bevielio ryšio technologijos atsirado poreikis ištirti galimą neigiamą RD - EMS poveikį asmens sveikatai [2,17,18]. Štai mobiliųjų telefonų bazinės stotys yra randamos visame pasaulyje ir dažnai sutinkamos šalia parduotuvių, namų, mokyklų, dienos centrų ir ligoninių arba ant jų. Nors šių bazinių stočių radijo dažnio elektromagnetinė spinduliuotė laikoma mažos galios, tačiau dėl jų nepertraukiamos produkcijos, kyla klausimas ar tikrai tai nekelia jokios rizikos žmonių sveikatai, kurie dirba ar gyvena šalia šių bazinių stočių [2,19].

Dėl kylančio visuomenės susirūpinimo per pastaruosius du dešimtmečius buvo atlikta daugybė tyrimų, siekiant išsiaiškinti, kokį tiesioginį poveikį gyvoms sistemoms turi RD – EMS, įskaitant *in vivo* ir *in vitro* eksperimentus [20]. Tyrimai atliekami naudojant įvairius metodus: epidemiologinį, klinikinį, eksperimentinę laboratorinių gyvūnų ir ląstelių linijų ar net atskirų biomolekulių apšvitą [21]. Atliktų įvairių tyrimų metu atskleista, kad EMS radiacija gali sukelti grįžtamus ar negrįžtamus struktūrinius ir funkcinis pokyčius ląstelių lygmenyje, o žalos dydis priklauso nuo elektromagnetinių laukų dažnio, naudojamo elektrinio lauko, galios intensyvumo ir ekspozicijos trukmės [20, 22].

Kaip teigia E. A. Adebayo *et al.* (2018) mokslininkai užfiksavo įvairius ląstelių atsakus į RD - EMS diapazoną, susijusius su genų ekspresija, membraninių receptorių funkcionalumo moduliavimu, apoptoze, jonų homeostazės pokyčiais, proliferacija ir diferenciacija [23]. Teigiama, kad radijo dažnio elektromagnetinės spinduliuotės žalingas poveikis deoksiribonukleorūgščiai (DNR) gali būti nuvertinamas panašiai, kaip ilgą laiką buvo nuvertinamas UV spinduliuotės kenksmingumas [8]. Manoma, kad DNR pažeidžiamas dėl RD apšvitos sukeliama oksidacinio streso [24,25].

Priklausomai nuo EMS ekspozicijos laiko, iš mobiliųjų telefonų sklindanti EMS gali sukelti skirtingo žalos lygio kepenų, inkstų ir blužnies audinių pažeidimus, turėti neigiamą poveikį kraujo komponentams [26] bei pakeisti hormonų sekreciją [27]. EMS gali žymiai padidinti streso hormonų kortizolio, adrenalino ir noradrenalino sekreciją [28] bei lemti skydliaukės hormonų trijodtironino ir tiroksino sumažėjimą [29]. Pastebėta, kad vyrams ilgėjant EML ekspozicijos laikui testosterono lygis serume pamažu mažėja, o moterims - serumo prolaktino ir progesterono koncentracijos pokyčiai palaipsniui didėja [29].

EML veikia smegenų darbą keisdamas jų metabolizmą [30] bei elektrinį aktyvumą [31]. Neatmetamas poveikis ir sisteminiam imuniniui atsakui [32] bei galima vėžio rizika [33].

Toliau išsamiau apžvelgsime atliktus mokslinius tyrimus apie RD – EMS poveikį kraujo komponentams, smegenų veiklai ir dėl to susijusius elgsenos pakitimus.

1.3. Įtaka kraujui ir oksidaciniai procesai

Kraujas perneša deguonį ir maistines medžiagas į visas kūno vietas, o atliekas atgal į plaučius, inkstus ir kepenis, kur šios bus pašalinamos iš organizmo. Kraujas taip pat yra svarbus skysčių ir temperatūros pusiausvyros palaikyme, hormoninių pranešimų kelias bei svarbi imuninės sistemos dalis [34]. Žiūrint iš biologinės pusės, kraujas gali būti laikomas audiniu, apimančiu įvairaus tipo ląsteles (raudonuosius kraujo kūnelius, baltuosius kraujo kūnelius ir trombocitus) ir skystą tarpląstelinę medžiagą (plazmą) [4]. Vieni svarbiausių ir pirmiausiai atliekamų tyrimų, norint įvertinti sveikatos būklę, yra būtent kraujo tyrimai [35]. Kadangi kraujas atspindi organizmo sveikatos būklę, buvo atlikta nemažai tyrimų, norint įvertinti galimą EML žalą sveikatai, vertinant atrastus pakitimus kraujo tyrimų rezultatuose.

Abdolmaleki *et al.* (2012) [3] atlikto tyrimo su žmonėmis, kurie 48 val. per savaitę buvo apšviesti EML, rezultatai parodė, kad EML paveiktų žmonių eritrocitų (RBC), vidutinės eritrocitų apimties (MCV) ir trombocitų vertės statistiškai reikšmingai ($P < 0.05$) padidėjo. Priešingai nei hemoglobino, limfocitų procento ir leukocitų (WBC) vertės, kurios sumažėjo. O štai po metų atlikto Abu Bakr El-Bediwi *et al.* (2013) [4] tyrimo rezultatai parodė, kad mobiliųjų telefonų skleidžiamas EML sumažina ne tik WBC vertę, bet ir priešingai nei teigė Abdolmaleki *et al.* (2012) [3] tyrimo rezultatai, sumažėjo ir RBC bei trombocitų vertės. Taip pat EML pažeidžia hemoglobino molekulės struktūrą. Eksperimentų rezultatai rodo, kad šie reikšmingi kraujo komponentų ir jų klampumo pasikeitimai, gali turėti poveikį kraujo cirkuliacijai [4].

E. A. Adebayo *et al.* (2018) [23] atlikto tyrimo išvada apie EML paveiktų gyvūnų baltųjų kraujo ląstelių padidėjimą, lyginant su kontroline grupe, paneigia Abdolmaleki *et al.* (2012) [3] ir Abu Bakr El-Bediwi *et al.* (2013) [4] išvadas, o raudonųjų kraujo kūnelių skaičiaus tendencija šiame tyrime taip pat paneigia Abdolmaleki *et al.* (2012), bet pritaria Abu Bakr El-Bediwi *et al.* (2013) [4] išvadai dėl RBC sumažėjimo po EMS ekspozicijos. Rezultatus, kad WBC skaičius buvo žymiai didesnis ($P < 0,05$) pelėse, kurios buvo veikiamos radijo dažnio spinduliuotės iš GSM bazinių stočių, nei kontrolinėse pelėse gavo ir Otitoloju, A A. *et al.* (2010) [36], tačiau nebuvo rasta reikšmingos įtakos RBC skaičiui ar hemoglobino lygiui. Vis dėl to, Otitoloju, A A. *et al.* (2010) [36] nustatė, kad spinduliuotės veikiamų pelių RBC turi daugiau makrocitų, poikilocitų, polichromatinių ląstelių ir mažiau taikinių ląstelių nei kontrolinės pelės.

Reaguodama į pašalinius agentus organizmo gynybinė sistema padidina baltųjų kraujo kūnelių skaičių [23]. Toks WBC skaičiaus padidėjimas ir apsauginio mechanizmo įjungimas gali būti siejamas su radijo dažnio spinduliuote. Tai mums leidžia daryti išvadą, kad RD spinduliuotės poveikis gyvūnams sukelia stresą, dėl kurio ir susidaro neįprastai didelis WBC kiekis. Teigiama, kad padidėjęs leukocitų skaičius rodo infekciją, uždegimą, traumas, stresą, audinių sunaikinimą, pačių baltųjų

kraujo kūnelių ligas arba kaulų čiulpų ar kaulų čiulpų nepakankamumo ligas. Dėl to, didelis WBC padidėjimas yra aiškus su stresu susijusio poveikio požymis, EMS paveiktuose gyvūnuose [36].

Mariam & Nawal (2012) [37] atlikto tyrimo rezultatai pritaria E. A. Adebayo *et al.* (2018) [23] ir taip pat teigė, kad po EMS ekspozicijos pastebimai sumažėja hemoglobino bei hematokrito matavimo vertės. Pastebėtas ir reikšmingas WBC ir limfocitų skaičiaus padidėjimas. Padidėjęs limfocitų procentas, galimai susijęs su limfoleukemija ar limfinės liaukos uždegimu, atsirandančio dėl nuolatinio elektromagnetinių bangų poveikio [37]. Michelozzi *et al.* (2002) [38] teigė, kad būstas šalia relės tinklų lėmė susirgimą leukemija. Taip pat McKenzie *et al.* (1998) [39] įrodė ryšį tarp elektromagnetinių bangų, sklaidžiamų iš mobiliojo telefono ar iš stiprinančių tinklų virpesių, ir kraujo vėžio.

Fernie KJ *et al.* (2001) [40] nustatė, kad trumpalaikis EMS poveikis paukščiams sukelia imuninį atsaką, be to, dėl trumpalaikio ir galimai dėl ilgalaikio EML poveikio paukščiams padidėja oksidacinis stresas [40]. Apie EMS spinduliuotės sukiamą oksidacinį poveikį teigė ir Sani A. *et al.* (2018) [26]. Didesnis oksidacinio streso lygis yra pagrindinis senėjimo, neurodegeneracinių ligų, imuninės sistemos sutrikimų ir žinduolių vėžio veiksnys [40].

E. A. Adebayo *et al.* (2018) [23] atliktas tyrimas atskleidė, kad EMS turi poveikį ne tik kraujo morfologijai, bet ir biocheminei sudėčiai. Buvo nustatyta, kad EMS paveiktoje grupėje sumažėjo natrio, kalio, karbamido, šarminės fosfatazės, albumino, chlorido ir bendro baltymo kiekis, lyginant su kontroline grupe. EMS turėjo įtakos sumažindama gyvūnų kraujo biocheminių parametrų vertes ir Sani A. *et al.* (2018) [26] atliktame tyrime.

Atrasti kraujo pakitimai EMS paveiktuose organizmuose, galimai susiję su EMS spinduliuotės sukeltu stresu ir didesniu oksidacinio streso lygiu, turėtų paskatinti tolimesnius tyrimus dėl RD spinduliuotės imunologinio poveikio bei galimo ryšio tarp EMS ir oksidacinio streso [36,40].

1.4. Įtaka smegenims ir su tuo susiję sutrikimai

Atsižvelgiant į tai, kad kasdieniame gyvenime plačiai naudojamos belaidės technologijos, didžiausias rūpestis iškyla kaip RD-EMS poveikis veikia smegenų vystymąsi. Visuomenei labai svarbu suprasti ryšį tarp EMS ir sveikatos problemų, tokių kaip neurologiniai sutrikimai, kadangi ypatingai maži vaikai ir paaugliai naudojami belaidžiu internetu itin dažnai [41,42]. Naudojimasis mobiliuoju telefonu gali pasiekti net 24 valandas per parą, o tai reiškia nuolatinį, galimai kenksmingą, RDS poveikį [42]. Dar svarbiau, mobilieji telefonai laikomi labai arti galvos, netoli jos arba per metrą, jei naudojama laisvų rankų įranga [5]. Atlikti tyrimai ir jų rezultatai įrodo, kad mobiliųjų telefonų išspinduliuojamos RD bangos turi daug įtakos žinduolių smegenims, pvz.: kognityvinių funkcijų pasikeitimai [43,44], neuromediatorių lygių pokyčiai kaip cholinerginio

aktyvumo sumažėjimas [45], smegenėlių [46], smegenų žievės ir hipokampo [47], genų ekspresijos pokyčiai bei poveikis smegenų EEG aktyvumui [48].

Neurologiniai elgesio sutrikimai vis dažnesni vaikų tarpe, tačiau jų etiologija nėra gerai suprantama [42]. Smegenų vystymosi metu bet kokie aplinkos dirgikliai, darantys įtaką cholinerginei neurotransmisijai, gali sutrikdyti mokymąsi ir atminties procesą [41]. Tiesioginis RD spinduliuotės poveikis neurologiniam vystymuisi vis dar nežinomas, tačiau buvo pastebėtas ryšys tarp prenatalinio mobiliojo telefono naudojimo ir vaikų hiperaktyvumo. Aplinkoje sutinkama RDS vaisiaus vystymosi stadijoje gali sukelti nuolatinius neurologinius sutrikimus. Net nedidelės apšvitos dozės neurogenezės laikotarpiu turi ryškų poveikį lyginant su suaugusiais. Suaugusiems asmenims šios apšvitos pasekmės nėra tokios pačios kaip vaisiui, todėl nekeista, kad atliekant bandymus su suaugusiais gyvūnais nepavyksta rasti reikšmingų elgesio sutrikimų [42].

Divan *et al.* (2008) atlikto tyrimo išvados taip pat teigė, kad prenatalinė mobiliojo telefono RD spinduliuotė ir, mažesniu laipsniu, postnatalinė – buvo galimai susijusi su vaiko emocinėmis ir hiperaktyvumo problemomis [49]. Norėdami suprasti mechanizmus, kuriais grindžiami gimdoje RD spinduliais paveiktų gyvūnų atminties ir hiperaktyvumo pokyčiai, mokslininkai ištyrė, ar smegenų vietose, atsakingose už šį pažeistą elgesį, įvyko neuronų grandinės pokyčiai. Tiksliau, ar sinapsinio perdavimo pokyčiai CNS neuronuose lemia sutrikusią atmintį ir hiperaktyvumą spinduliuotės paveiktiems gyvūnams. Nustatyta, kad V sluoksnio piramidiniuose neuronuose sinapsinis glutamaterginio perdavimo efektyvumas sumažėja tiek presinapsinėse, tiek postsinapsinėse membranose. Tai įrodo, kad dėl RD spinduliuotės apšvietimo prenataliniu laikotarpiu sutrinka glutamaterginis perdavimas į prefrontalinės žievės piramidinius neuronus [42].

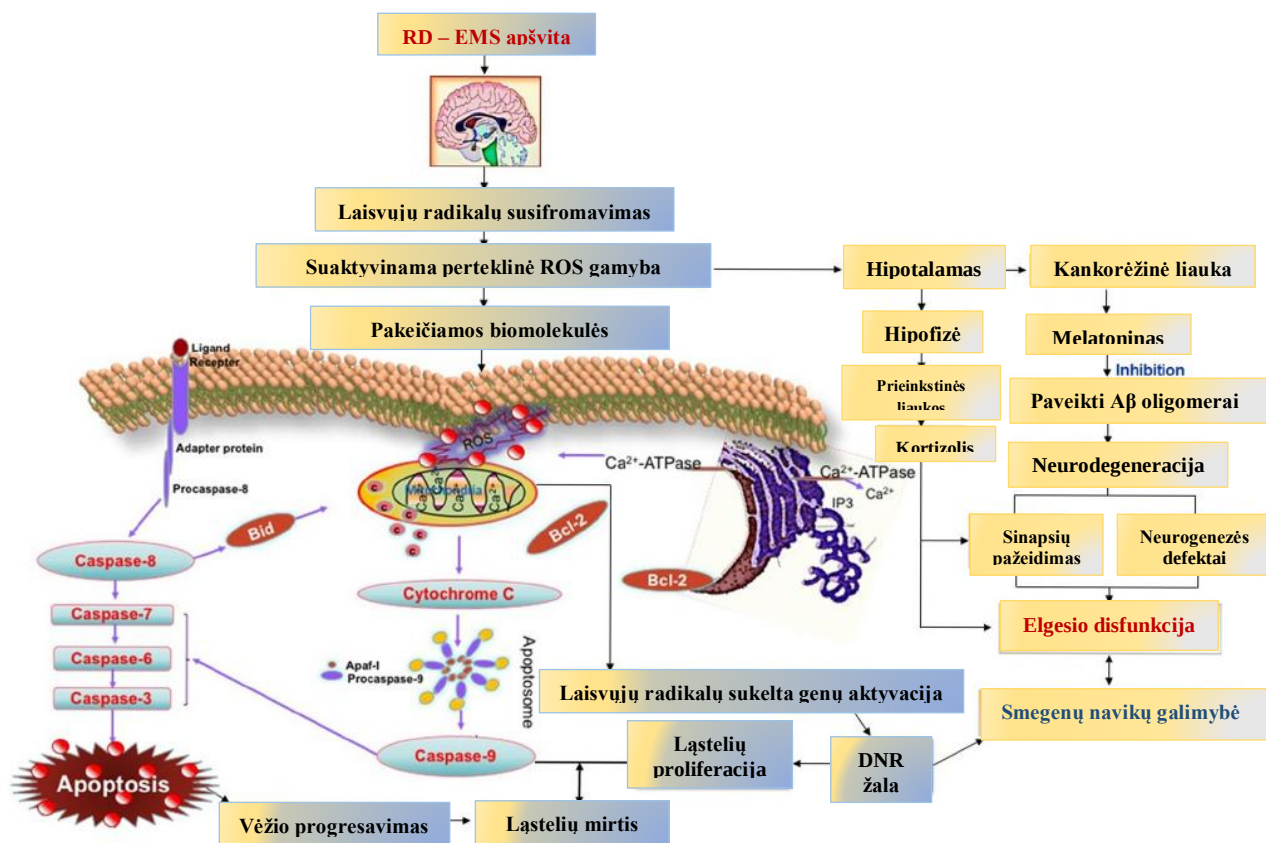
Kito tyrimo metu pastebėta, kad mobiliojo telefono skleidžiama RDS paveikė atpažinimo atmintį. Mokslininkai mano, kad dėl apšvitos pelėms atsiradęs sunkumas sėkmingai atlikti objektų atpažinimo užduotį, gali reikšti entorinalinės žievės sutrikimą [21]. Šis sutrikimas gali kilti dėl joninių kanalų, ypač Ca^{2+} , trikdžių, kuriuos anot Maskey D. *et al.* (2010) [50] sukelia EML poveikis kalcių jungiančiam baltymui. Padidėjęs Ca^{2+} nuotėkis didina foninį lygį ir sinapsės tampa itin jautrios, o tai daro žalingą poveikį normalioms hipokampo funkcijoms, susijusioms su neuronų jungiamumu ir integracija. Padaryti pažeidimai gali užtemdyti normalią psichinę veiklą, sukelti atsitiktines mintis ir sukelti koncentracijos praradimą [50,51]. Tai įrodo ir C. Wiholm *et al.* (2009) [52] atlikto tyrimo metu gautas statistškai reikšmingas ryšys tarp RD ekspozicijos ir erdvinės atminties efektyvumo. Klinikinio tyrimo metu po EML ekspozicijos savanoriams atsiradusi atminties stoka, parodė, kad RD turi tiesioginį poveikį nervinei sistemai, palaikančiai žmogaus navigaciją.

Elgesio tyrimuose ypatingas dėmesys buvo skiriamas RD-EML poveikiui mokymuisi, atminčiai, nerimui ir judėjimui [53]. Daniels *et al.* (2009) [6] atliktame tyrime EMS paveiktose žiurkėse pastebėtas pasikeitęs elgesys t.y. sumažėjęs lokomotorinis aktyvumas, padidėjęs kūno ir

kailio valymas ir didesnis nei įprasta sustingimo elgesys. Bosquillon de Jenlis, A *et al.* (2019) [54] pastebėjo, kad RD-EML veikiami gyvūnai sumažino energijos sąnaudas, ribodami greitų akių judesių miego fazę (REM) ir mažindami maisto suvartojimą.

Mobiliojo telefono RDS taip pat daro įtaką kraujo – smegenų barjero (KSB) pralaidumui. KSB yra hidrofobinis barjeras, kurį suformuoja smegenų kapiliarų kraujagyslių endotelinės ląstelės, kurių tvirtos ir sandarios tarpusavio jungtys riboja tarpląstelinį molekulių nutekėjimą, taip apsaugodamos žinduolių smegenis nuo galimai kenksmingų junginių kraujyje. Tačiau, kai šis barjeras yra pažeistas, paprastai pro barjerą nepraleidžiamos molekulės gali praeiti ir atnešti toksines molekules į smegenų audinį. To pasekmė gali būti smegenų edema, padidėjęs intrakranijinis slėgis ir negrįžtami smegenų pažeidimai [5]. RDS žiurkėse, kurios po apšvitos buvo iškart paaukotos ir paimti mėginiai, sukelia žymiai padidėjusį albumino nuotėkį per KSB, lyginant su kontroliniais gyvūnais. Mėginiuose rasti susitraukę ir tamsiai nusidažę pažeisti neuronai. Taip pat jie buvo praradę pastebimas vidines ląstelių struktūras, o kai kurie pažeisti neuronai citoplazmoje turėjo mikrovakuoles. Šių vakuolių buvimas rodo sunkią neuropatiją ir aktyvų pataloginį procesą [43,55].

RD - EML geba giliai skverbti smegenyse, o dėl spinduliuotės poveikio padidėjusi reaktyviųjų deguonies formų gamyba (ROS) sukelia žalą DNR. Į tai reaguodami signalo perdavimo procesai sukelia apoptozę [53]. Apibūdintas galimas mechanizmas pateiktas 3 paveiksle.



3 pav. Galimas RD – EML poveikio sukeltas mechanizmas, vedantis prie elgesio sutrikimų ir kitų biologinių efektų [53].

Iš 3 paveikslėlio matome, kad RD-EML paskatinta reaktyviųjų deguonies formų gamyba sukelia įvykių grandinę, galinčią nuvesti prie tokių pasekmių kaip neurogenezės defektų sukelti elgesio sutrikimai, smegenų ląstelių žūtis ir DNR pažeidimai bei padidėjusi smegenų auglių rizika.

Apibendrinant, Narayanan S.N. *et al.* (2019) [53] išskyrė, kad įvairius elgesio padarinius, apie kuriuos tyrėjai pranešė po RD-EML sąlyčio su gyvūnais, gali lemti bendras poveikis dėl įvairiuose smegenų regionuose sukeltų procesų kaip:

1. Laisvųjų radikalų gamyba, vėliau virstanti į ROS gamybą. ROS sukelia ląstelių membranų vientisumo pažeidimus.
2. ROS sukelia kalcio homeostazės pusiausvyros sutrikimus, kurie aktyvuoja genetinius faktorius, vedančius prie DNR pažeidimų ir apoptozės.
3. Ląstelių mirtis (nekrozė) dėl ROS sukulto uždegimo padidėjimo.
4. Glijos ląstelių pakitimai.
5. Neurotransmisijos pokyčiai įvairiose smegenų srityse.

Literatūros ir atliktų tyrimų analizė apie RD-EML poveikį smegenims ir su tuo susijusius elgesio pokyčius rodo sudėtingą vaizdą su kontraversiškais nuomonėmis. Vis dėl to, daugybė pranešimų rodo galimą RD-EML įtaką smegenų struktūrai ir elgesio sutrikimams [53].

2. TYRIMO METODAI IR MEDŽIAGA

2.1. Tyrimo eiga

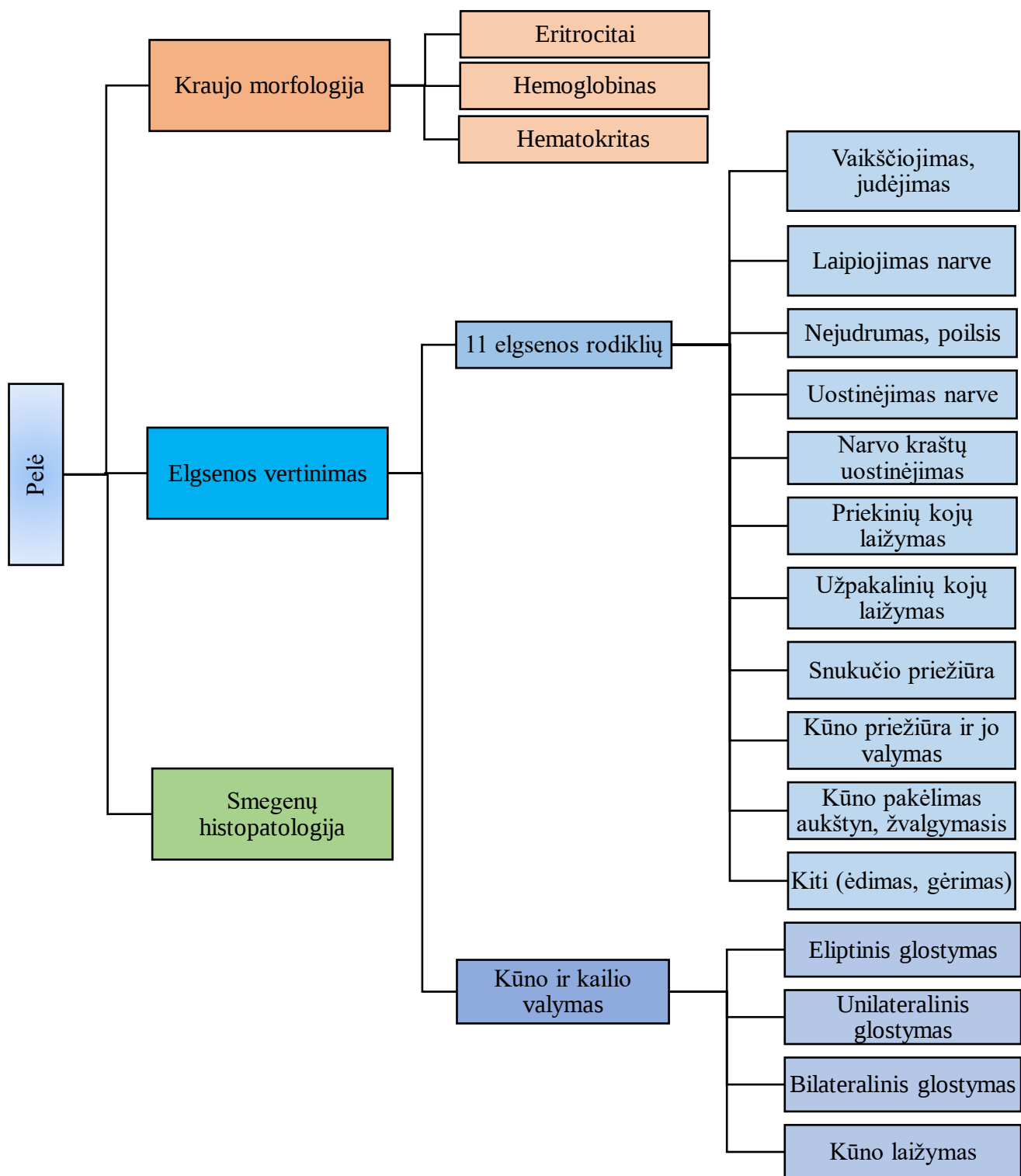
Tyrimas atliktas LSMU Veterinarijos akademijos vivariume 2017 m. gruodžio mėn. Tyrime naudotos BALB/c pelės. Tirta 30 pelių, 4 mėnesių amžiaus, kurios buvo suskirstytos į 3 grupes (2 eksperimentinės ir viena kontrolinė) ir laikomos po 10 gyvūnų grupėje. I-pirmos ir II-antros eksperimentinių grupių gyvūnai 72 val. buvo veikiami radijo bangomis iš GSM telefonų, kurie buvo 2 cm atstumu iki polikarbonato narvų. I-pirma grupė buvo veikama ± 1375 MHz elektromagnetinių bangų dažniu iš Nokia 23 mobiliojo telefono, o II-antra grupė veikama ± 1475 MHz elektromagnetinių bangų dažniu iš Samsung 19300 Galaxy S III mobiliojo telefono. III-trečia grupė naudojama kaip kontrolinė ir nebuvo veikama jokių mobiliųjų telefonų radijo bangų. Tyrimo eiga pateikta 5 paveiksle.

2.2. Eksperimentiniai gyvūnai ir jų priežiūra

Gyvūnai buvo laikomi skaidriuose polikarbonato narvuose su nerūdijančio plieno tinkleliu (4 pav.). Pašarų ir vandens gavo *ad libitum*. Laikymo patalpų temperatūra buvo $22\pm 2^{\circ}\text{C}$, santykinė drėgmė $55\pm 5\%$, cirkadinis šviesos/tamsos ritmas buvo 12:12 val. Bandymas atitiko direktyvoje 2010/63 ES keliamus reikalavimus.



4 pav. Pelės laikytos skaidriuose polikarbonato narvuose su pašarų ir vandens kiekiu *ad libitum*. (Autoriaus nuotrauka).



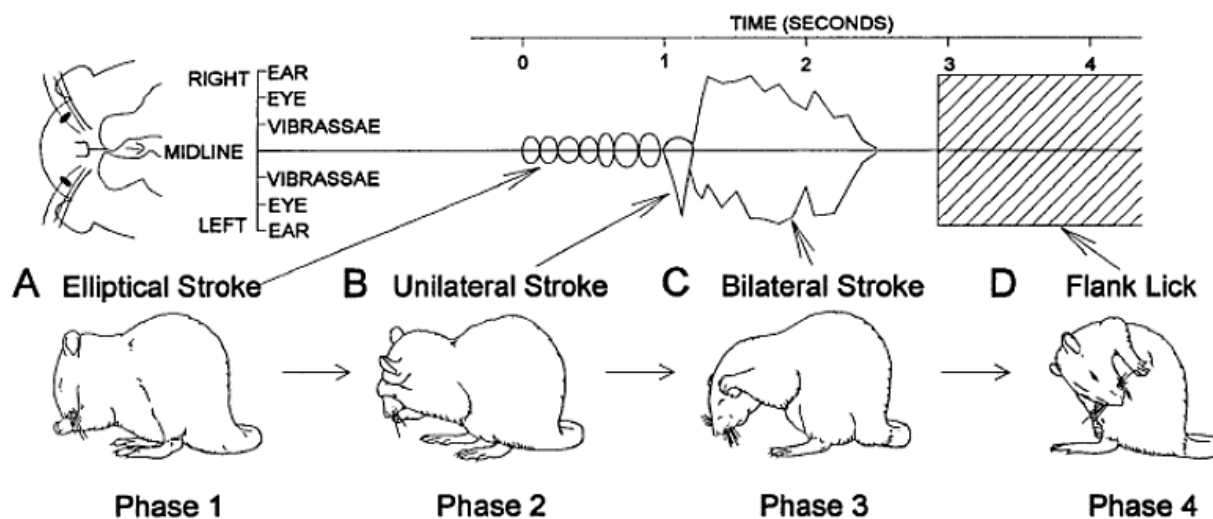
5 pav. Tyrimo eiga

2.3. Kraujo tyrimai

Iš karto po eutanazijos atliekant širdies punkciją buvo paimti kraujo mėginiai hematologinei analizei į plastikinius mėgintuvėlius su antikoaguliantu. Raudonųjų kraujo kūnelių ir hemoglobino kiekis bei hematokritas buvo tiriami naudojant QBC Autoread Plus sistemą (QBC Diagnostics Inc., JAV).

2.4. Elgsenos vertinimas

Pelių elgesio, motorinio aktyvumo rodikliai stebėti ir vertinti po 6 val., po 60 val. ir 72 val. ankstyryte po 1 val., bei lyginami su kontrolinės grupės analogiškais rodikliais. Vienos valandos laikotarpyje tirti šie rodikliai (min): vaikščiojimas, judėjimas (VJ); laipiojimas narve (LN); nejudrumas, poilsis (NP); uostinėjimas narve (UN); narvo kraštų uostinėjimas (NKU); priekinių kojų laižymas (PKL); užpakalinių kojų, kūno dalies laižymas (UKL); snukučio priežiūra, valymas, kasymasis (SPVK); kūno priežiūra ir jo valymas (KPV); kūno pakėlimas aukšty, žvalgymasis (KPA); kiti (KT) ėdimas, gėrimas. Pelių elgsenos vertinimui buvo sudaryti etogramų protokolai pagal 11 rodiklių vadovaujantis Hawkins *et al.* (2011) [56] metodikomis. Gyvūnų gerovės analizės protokolui kurti, pelių kūno ir kailio valymui vertinti (6 pav.) buvo pritaikyta laboratorinių gyvūnų elgsenos analizės protokolai sudarytas, vadovaujantis Cromwell *et al.* (1998) [57] vertinimo metodika (1 lent).



6 pav. Kūno ir kailio valymo sekos grandinė [58]

1 lentelė. *Kūno ir kailio valymo metodikos pritaikymas pagal Cromwell et al. (1998) [57].*

Lygis	Laikas	Vertinimas
I	Iki 1 s	5-8 eliptiniai sukimai apie nosies sritį.
II	1 – 2 s	Abipusis nosies srities valymas.
III	3 - 4 s	Didelės amplitudės abipusis nosies srities ir ausų valymas.
IV	Nuo 5 s	Sukimasis ir laižymas viso kūno kailio ventrolateraliai.

2.5. Smegenų histopatologinis tyrimas

Pelių smegenys buvo pašalintos iš kaukolės ir histopatologiniam tyrimui buvo paimti 4 smegenų mėginiai iš: 2 mėginiai iš smegenėlių (kairės ir dešinės pusės) ir 2 mėginiai iš pusrutulių (baltosios ir pilkosios medžiagos) ir fiksuoti 10% formalinu. Parafino blokai buvo pagaminti naudojant „Shandon Pathcentre“ (JK) ir „TES 99 Medite Medizintechnik“ (Vokietija) įrangą. Iš kiekvieno mėginio buvo paruošti serijiniai 4 µm pjūviai su „Sakura Accu-Cut SRM“ (Japonija) mikrotoma ir patiekiami įprastiniam H&E dažymui.

2.6. Statistinė analizė.

Statistinė analizė atlikta naudojant „Microsoft Exel 2013“ ir SPSS programas. Rezultatai apskaičiuoti kiekvienoje grupėje nustačius duomenų vidurkį ir paklaidą. Visų rodiklių skirtumas tarp grupių buvo vertinamas procentais ir grupės buvo palygintos tarpusavyje. Kai kurių rodiklių buvo nustatytas konfidencialumo indeksas (CI95%). Duomenys apdoroti naudojant Altman *et al.*, (2000) [59] bei Campbell (2007) [60] metodikas. Rezultatai laikyti patikimais, kai $p < 0,05$.

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1. Hematologinių rodiklių vertinimas

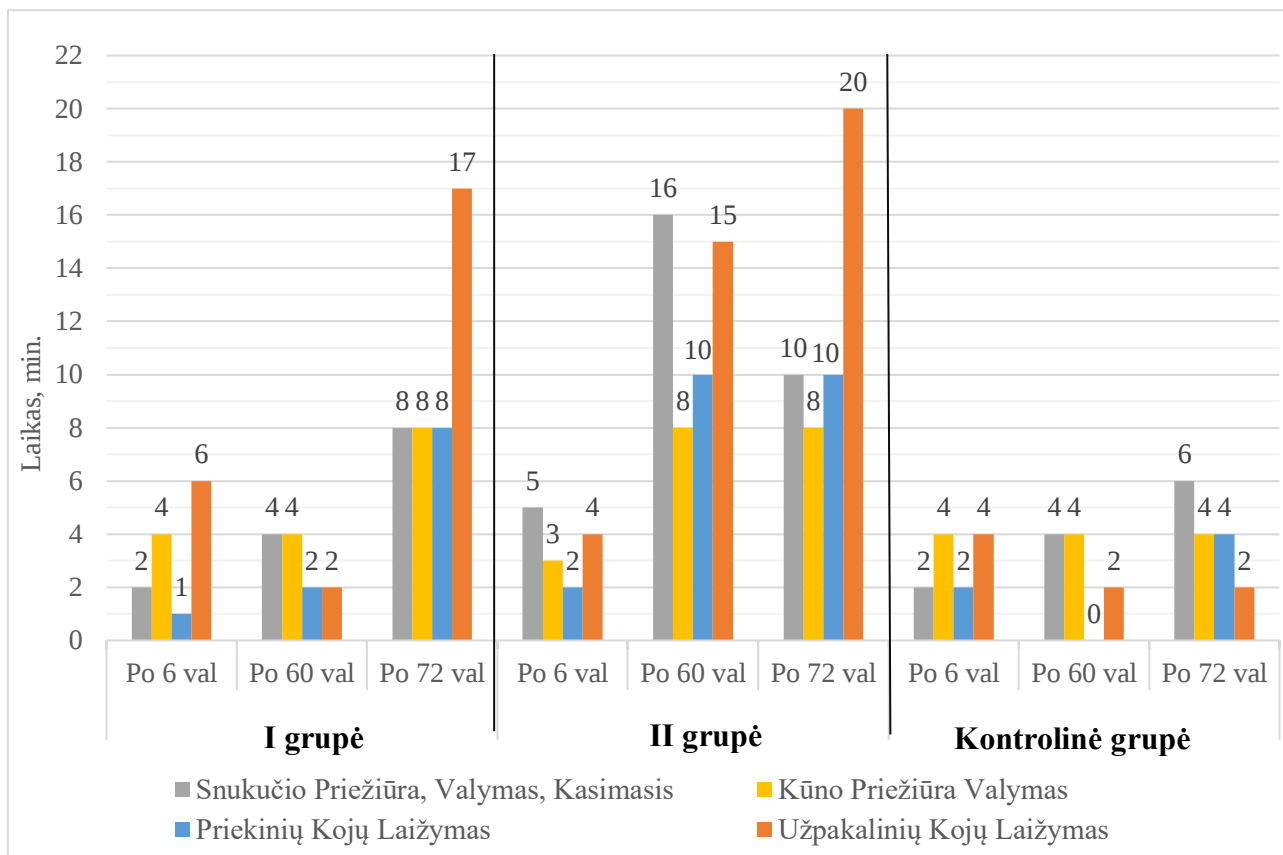
2 lentelė. Kraujo morfologinio tyrimo vidurkių rezultatai ($p>0,05$)

Grupės	Statistinis rodiklis	Hematokritas %	Hemoglobinas g/L	RBC $\times 10^{12}/L$
Kontrolinė grupė	M $\pm$ SD	42 $\pm$ 1	111 $\pm$ 0,9	9,2 $\pm$ 0,04
	CI 95 %	41,38-42,62	110,44-111,56	9,18-9,22
1 grupė	M $\pm$ SD	42,6 $\pm$ 0,8	109 $\pm$ 0,7	9,42 $\pm$ 0,07
	CI 95 %	42,10-43,10	108,57-109,43	9,38-9,46
2 grupė	M $\pm$ SD	42,6 $\pm$ 0,4	117 $\pm$ 0,4	9,63 $\pm$ 0,07
	CI 95 %	42,35-42,85	116,75-117,25	9,59-9,67
Norma pagal BSAVA	M $\pm$ SD	40,4 $\pm$ 3,8	131 $\pm$ 15	8,39 $\pm$ 1,2

Šiame tyrime statistiškai reikšmingų skirtumų tarp pelių hematologinių parametru nenustatyta. 2 lentelėje matome, kad lyginant, visų grupių gautas hematokrito vertes su literatūros šaltinyje [61] pateiktomis normomis, gauti rezultatai atitinka nurodytas normas. Kontrolinės ir 1 grupės hemoglobino kiekis buvo 4,3 proc. ir 6,03 proc. mažesnės lyginant su literatūroje pateikta mažiausia hemoglobino verte. 2 grupės hemoglobino kiekis atitiko normą. RBC kiekis 1 ir kontrolinėje grupėse atitiko literatūroje nurodytas normas, o 2 grupės RBC kiekis 0,42 proc. viršijo didžiausios RBC normos vertę, kuri pateikta literatūroje.

3.2. Elgsenos vertinimo rezultatai

3.2.1. Pelių etogramos rodiklių vertinimas valandomis



7 pav. SPVK, KPV, PKL ir UKL rodiklių vertinimas po 6 val., 60 val. ir 72 val.

Snukučio priežiūra, valymas ir kasimasis (8 pav.) po 72 val. 1 grupėje buvo 4 kartus, o 2 grupėje 2 kartus aktyvesnis nei po 6 val. nuo tyrimo pradžios. Lyginant su kontroline grupe po 72 val. SPVK 1 grupėje buvo 1,33 karto didesnis, o 2 grupėje 1,66 karto didesnis.

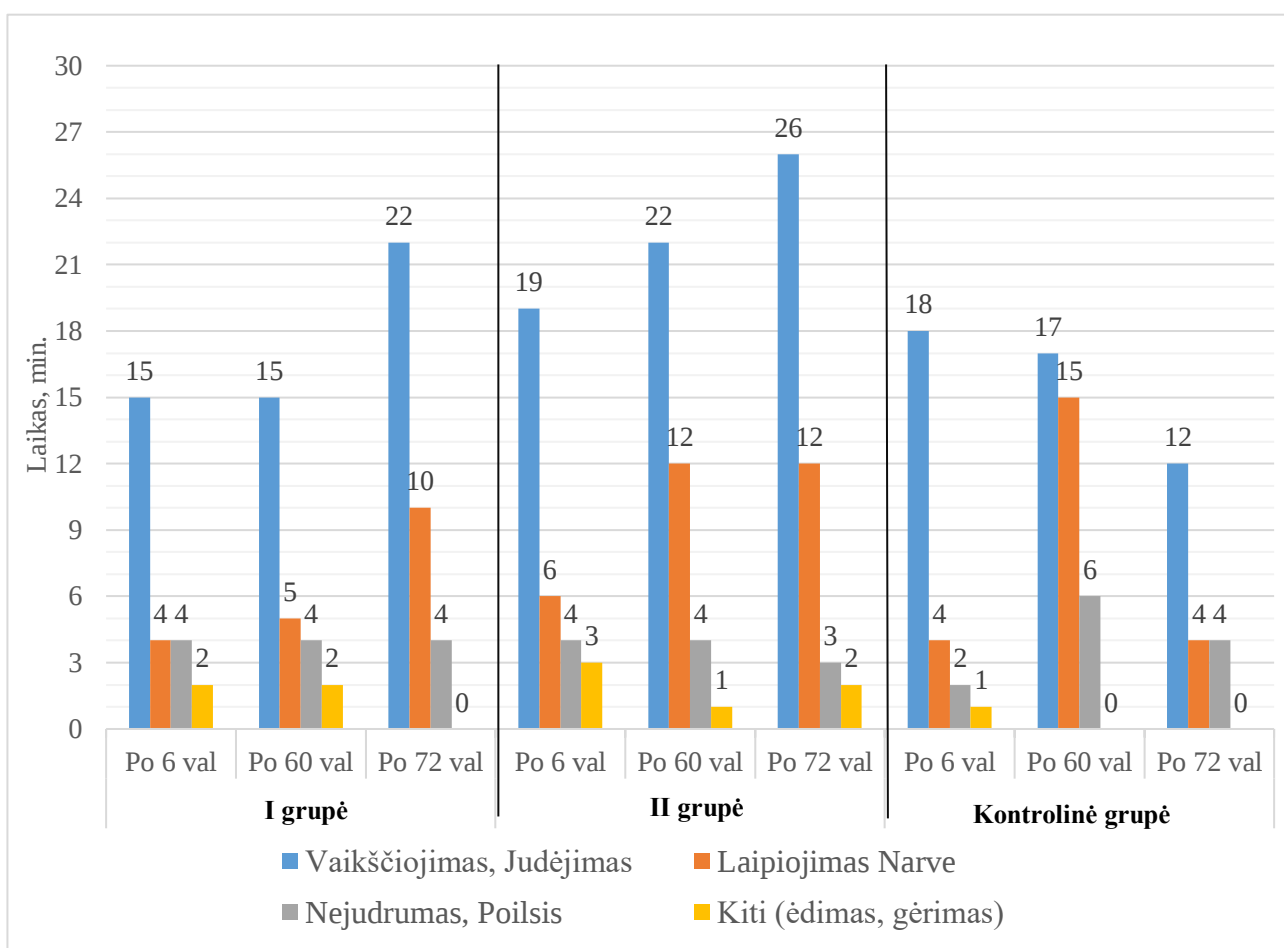
Priekinių kojų laižymas abiejose eksperimentinės grupėsė ilgėjant ekspozicijos laikui aktyvėjo ir po 72 val. 1 grupėje buvo 8 kartus, o 2 grupėje 5 kartus didesnis nei po 6 val. Lyginant su kontroline grupe po 72 val. PKL 1 grupėje buvo 2 kartus, o 2 grupėje 2,5 karto aktyvesnis.

Kūno priežiūra ir valymas 1 grupėje buvo 2 kartus, o 2 grupėje 2,67 karto aktyvesnis nei po 6 val. nuo tyrimo pradžios. Po 72 val. KPV 1 ir 2 grupėse buvo 2 kartus didesnis lyginant su kontroline grupe.

Tiek 1, tiek 2 grupėje matome, kad po 72 val. užpakalinių kojų laižymas (8 pav.) ženkliai suaktyvėjo. 1 grupėje UKL buvo 2,83 karto, o 2 grupėje net 5 kartus aktyvesnis lyginant su gautais rezultatais, 6 val. nuo RD ekspozicijos pradžios. Lyginant su kontroline grupe, praėjus 72 val. UKL 1 grupėje buvo 8,5 karto didesnis, o 2 grupėje net 10 kartų didesnis.



8 pav. Snukučio priežiūra (žalia rodyklė) ir užpakalinių kojų laižymas (raudona rodyklė) (Autoriaus nuotrauka)



9 pav. VJ, LP, NP, KT rodiklių vertinimas po 6 val., 60 val. ir 72 val.

Kaip matome 9 paveiksle, praėjus 72 val. 1 grupėje vaikščiojimas ir judėjimas buvo 1,47 karto aktyvesnis lyginant su 6 val. po tyrimo pradžios, kai 2 grupėje VJ buvo 1,37 karto aktyvesnis. Ilgėjant ekspozicijos laikui VJ abiejose eksperimentinėse grupėse didėjo ir lyginant su kontroline grupe po 72 val. 1 grupės buvo 1,83 karto, o 2 grupės 2,17 karto didesnis.

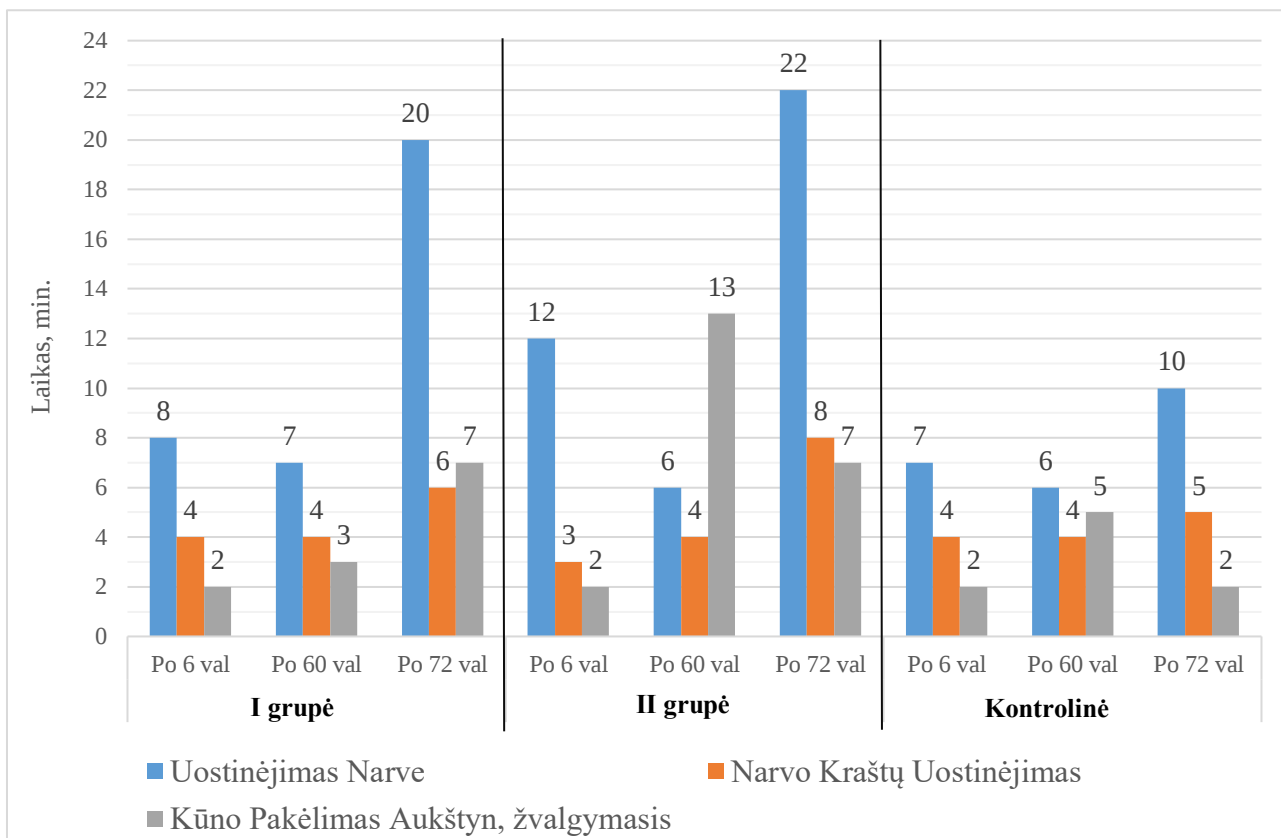
Eksperimentinėse grupėse laipiojimas narve taip pat ilgėjant ekspozicijos laikui aktyvėjo (10 pav.). 1 grupėje buvo 2,5 karto, o 2 grupėje 2 kartus aktyvesnis praėjus 72 val. lyginant su 6 val. nuo tyrimo pradžios. Lyginant su kontroline grupe po 72 val. LP 1 grupėje buvo 2,5 karto, o 2 grupėje 3 kartus aktyvesnis.

Visose trijose grupėse nejudrumui ir poilsiui skiriamas laikas buvo panašus. 1 grupės NP ilgėjant ekspozicijos laikui išliko vienodas. 2 grupės NP po 72 val. sumažėjo 25 proc. Lyginant su kontroline grupe NP buvo vienodas 1 grupėje, o 2 grupėje 25 proc. mažesnis.

Kitos veiklos (ėdimas, gėrimas) aktyvumas einant laikui mažėjo ir po 72 val. 1 grupėje buvo 2 kartus, o 2 grupėje 1,5 karto mažesnis nei praėjus 6 val. po tyrimo pradžios. Lyginant su kontrole vis dėl to po 72 val. KT 2 grupėje buvo 2 kartus aktyvesnis.



10 pav. Pelių laipiojimo narve suaktyvėjimas (Autoriaus nuotrauka)



11 pav. UN, NKU ir KPA rodiklių vertinimas po 6 val., 60 val. ir 72 val.

Kaip matome 11 paveiksle narvo kraštų uostinėjimas (12 pav.) ilgėjant ekspozicijos laikui taip pat ilgėjo. Po 72 val. 1 grupėje buvo 1,5 karto, o 2 grupėje 2,67 karto didesnis nei po 6 val. nuo RD ekspozicijos pradžios. Lyginant su kontroline grupe po 72 val. NKU 1 grupėje buvo tik 1,2 karto, o 2 grupėje 1,6 karto aktyvesnis.



12 pav. Narvo kraštų uostinėjimas (Autoriaus nuotrauka)

Uostinėjimas narve ženkliai suaktyvėjo ir po 72 val. 1 grupėje buvo 2,5 karto, o 2 grupėje 1,83 karto aktyvesnis nei po 6 val. nuo tyrimo pradžios. Lyginant su kontroline grupe po 72 val. UN 1 grupėje buvo 2 kartus, o 2 grupėje 2,2 karto aktyvesnis.

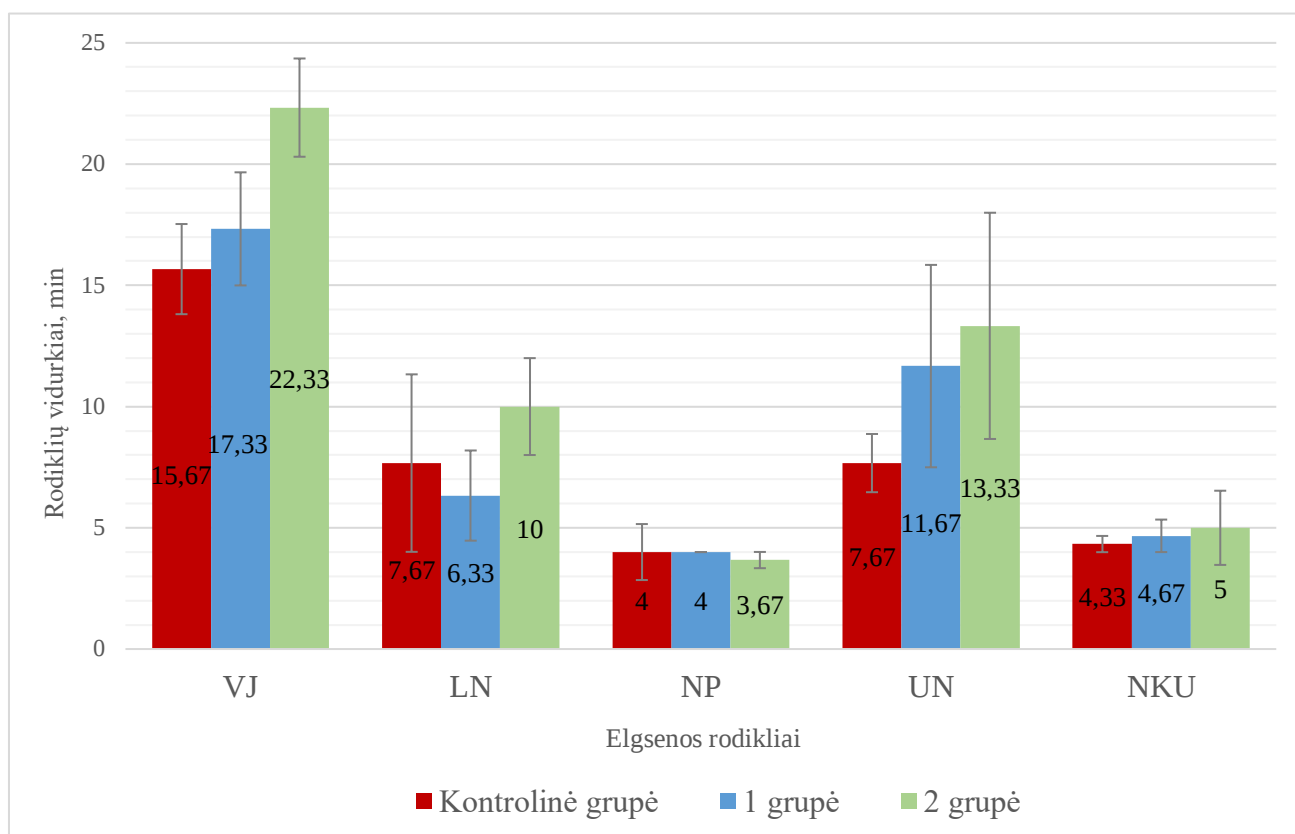
Kūno pakėlimas aukštyn ir žvalgymasis abiejose eksperimentinėse grupėse buvo 3,5 karto aktyvesnis nei praėjus 6 val. nuo tyrimo pradžios. Po 72 val. 1 ir 2 grupėse KPA buvo 3,5 karto didesnis, nei kontrolinėje grupėje.

3.2.2. Pelių etogramų rodiklių vidurkių vertinimas

3 lentelė. Pelių etogramų rodiklių VJ, LN, NP, UN, NKU analizė

Rodiklis, min	1 grupė M±SD	2 grupė M±SD	Kontrolinė grupė M±SD
VJ	17,33±2,332	22,33±2,026	15,67±1,859
95 CI%	7,36-27,31	13,66-31,00	7,73-23,60
LN	6,33±1,859	10,00±1,998	7,67±3,66
95 CI%	-1,60-14,27	1,45-18,55	-8,01-23,34
NP	4,00±0,000	3,67±0,335	4,00±1,155
95 CI%	4,00-4,00	2,24-5,09	-0,94-8,94
UN	11,67±4,174	13,33±4,665	7,67±1,201
95 CI%	-6,19-29,52	-6,62-33,29	2,53-12,81
NKU	4,67±0,67	5,00±1,53	4,33±0,335
95 CI%	1,82-7,52	-1,53-11,53	2,91-5,76

1 grupėje VJ buvo 10,59 proc., o antroje 42,50 proc. aktyvesnis nei kontrolinėje grupėje ($p<0,05$). LN 2 grupėje buvo didesnis 30,37 proc. ($p<0,001$), bet 1 grupėje 17,48 proc. mažesnis ($p<0,05$) lyginant su kontrole. NP 1 grupėje buvo lygus su kontroline grupe, o 2 grupėje 8,25 proc. didesnis lyginant su kontrole. NKU 1 grupėje buvo 7,85 proc., o UN 52,15 proc., kai antroje grupėje NKU 15,47 proc., o UN 73,79 proc. didesnis nei kontrolinėje grupėje (3 lentelė). Grafinis šių rodiklių vidurkių ir standartinio nuokrypio vaizdas matomas 13 paveiksle.

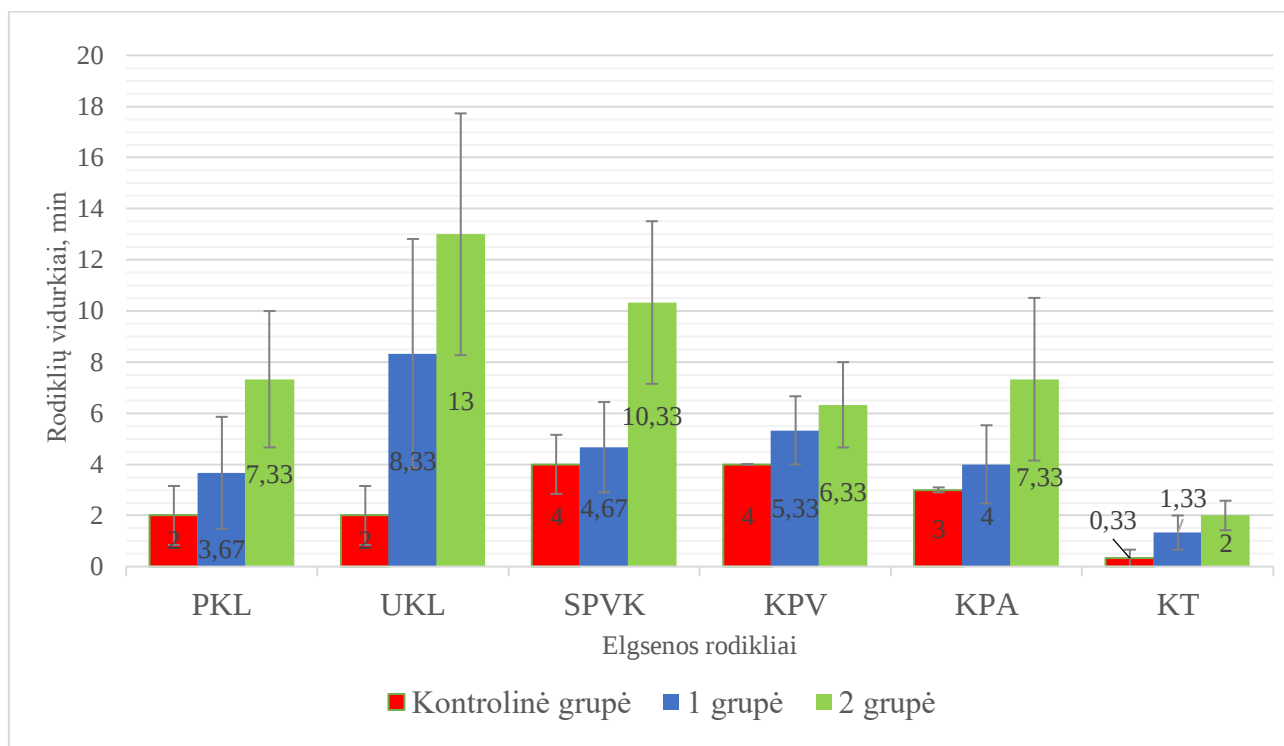


13 pav. VJ, LN, NP, UN, NKU rodiklių vidurkiai ($M \pm SD$)

4 lentelė. Pelių etogramų rodiklių PKL, UKL, SPVK, KPV, KPA, KT analizė

Rodiklis, min	1 grupė M±SD	2 grupė M±SD	Kontrolinė grupė M±SD
PKL	3,67±2,188	7,33±2,667	2,00±1,155
95 CI%	-5,68-13,01	-4,07-18,73	-2,94-6,94
UKL	8,33±4,486	13,00±4,728	2,00±1,155
95 CI%	-10,84-27,51	-7,2-33,20	-2,94-6,94
SPVK	4,67±1,767	10,33±3,181	4,00±1,155
95 CI%	-2,87-12,21	-3,26-23,93	-0,94-8,94
KPV	5,33±1,334	6,33±1,669	4,00±0,00
95 CI%	-0,37-11,03	-0,79-13,46	4,00-4,00
KPA	4,00±1,53	7,33±3,181	3,00±0,099
95 CI%	-2,53-10,53	-6,23-20,93	-1,28-7,28
KT	1,33±0,67	2,00±0,577	0,33±0,335
95 CI%	-1,52-4,18	-0,47-4,47	-1,09-1,76

PKL 1 grupėje buvo 2 kartus, o antroje grupėje didesnis daugiau nei 3 kartus lyginant su kontrole ($p < 0,01$). UKL abiejose tiriamose grupėse buvo 4-6 kartų didesnis nei kontrolinėje grupėje ($p < 0,01$). SPVK 1 grupėje mažai skyrėsi nuo kontrolinės grupės, tačiau 2 grupėje buvo 2 kartus didesnis lyginant su kontrole ($p < 0,05$). KPV rodiklis tiriamose grupėse buvo nuo 33,25 iki 58,25 proc. didesnis nei kontrolinėje grupėje, o KPA 1 grupėje buvo 33,33 proc., bet 2 grupėje daugiau kaip 2 kartus didesnis nei kontrolinės grupės pelių ($p < 0,05$) (4 lentelė). Grafinis šių rodiklių vidurkių ir standartinio nuokrypio vaizdas matomas 14 paveiksle.



14 pav. PKL, UKL, SPVK, KPV, KPA, KT rodiklių vidurkių ($M \pm SD$) vertinimas

3.2.3. Kūno ir kailio valymo vertinimas

Iš pelių elgesio pagal I-IV lygius, nustatėme, kad remiantis kailio ir kūno valymo procedūromis 2 grupės gyvūnai buvo aktyvesni 3 kartus per visą bandymo laikotarpį lyginant su pirma ir kontroline grupe.

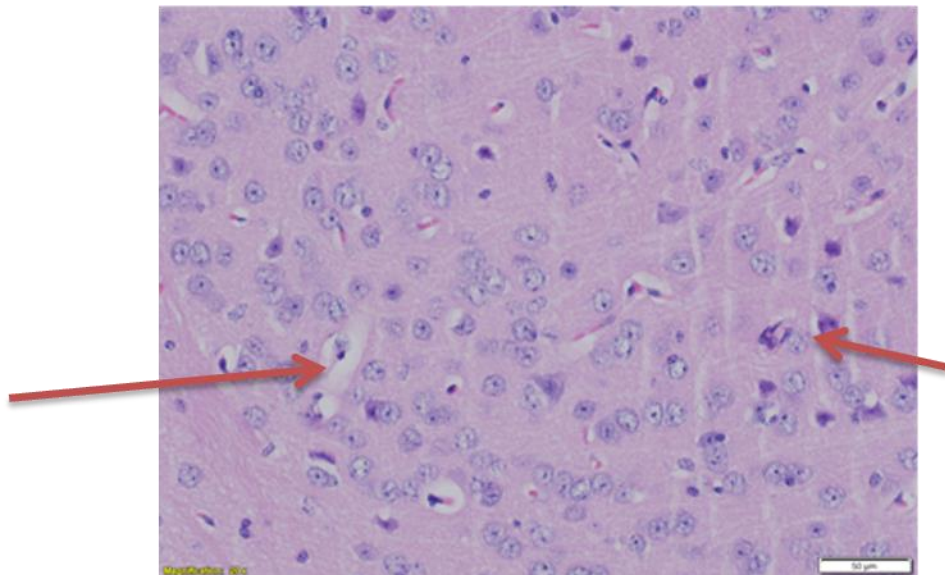
Elipsinis glostymas padidėjo tiek pirmoje ($p < 0,05$), tiek antroje ($p < 0,001$) eksperimentinėse grupėse, palyginti su kontroline grupe, visais eksperimento laikotarpiais. Mažas unilateralinis glostymas buvo didžiausias II grupėje, palyginti su I grupe, ir 2 kartus didesnis, palyginti su kontroline grupe ($p < 0,05$). Mes nepastebėjome didelio bilateralinio glostymo skirtumo tarp I ir II grupių, tačiau šis parametras buvo didesnis, palyginti su kontroline grupe ($p < 0,001$). Kūno laižymas I grupėje buvo 3 kartus didesnis ($p < 0,001$), o II grupėje - 4 kartus didesnis ($p < 0,001$), palyginti su kontroline grupe per visus eksperimentinius laikotarpius.

3.3. Histopatologinio smegenų tyrimo rezultatai



15 pav. *Kaukolės dangtelio atvėrimas (kairėje) ir galvos smegenų sritys (dešinėje) (Nuotraukos Juditos Žymantienės, Eglės Katkutės)*

Histopatologinio eksperimentinių grupių smegenų tyrimo metu (15 pav.) reikšmingų pokyčių nerasta. Tyrimo metu įvertinome kai kuriuos II grupės smegenų histopatologinius pokyčius. Pastebėtas kai kurių piramidinių neuronų susitraukimas (16 pav.). Taip pat matoma silpna perivaskulinė ir perineurinė edema, kai kurių neuronų ir gliocitų vakuolizacija didžiuosiuose pusrutuliuose.



16 pav. *Susitraukę piramidiniai neuronai ir gliocitų vakuolizacija (Nuotrauka, LSMU Patologijos centras)*

4. REZULTATŲ APITARIMAS

Šiuo tyrimu siekta geriau suprasti ir įvertinti galimą elektromagnetinių bangų poveikį sveikatai, naudojant pelės biodelį. Geresnis EML poveikio ir ryšių su sveikatos sutrikimais suvokimas padės įvertinti galimą žalą ir kurti prevencines priemones siekiant apsaugoti nuo elektromagnetinės taršos.

Atlikto tyrimo hematologinių rezultatų įvertinimas atskleidė, kad nors 2 grupėje raudonųjų kraujo kūnelių skaičius 0,42 proc. viršijo didžiausios RBC normos vertę, kuri pateikta literatūroje, tačiau reikšmingo ($P > 0,05$) skirtumo tarp RBC skaičiaus, hematokrito ir hemoglobino eksperimentinėse ir kontrolinėse pelėse nebuvo. Tokie rezultatai pritaria Otitoloju, A. A. *et al.* (2010) [36] gautiems rezultatams, kur RD spinduliuotė taip pat neturėjo reikšmingo RBC ir hemoglobino skirtumo tarp grupių. Sani A. *et al.* (2018) [26] gauti rezultatai parodė, kad eksperimentiniams gyvūnams, kurie buvo veikiami žemo dažnio EMR, ekspozicijos laikotarpiu RBC, MCV, HGB ir LYM vertės svyravo, o gyvūnams, kurie buvo veikiami aukšto dažnio EMR, šios vertės per visą ekspozicijos laikotarpį mažėjo. Mūsų tyrimo pastebėjimai pritaria Singh *et al.* (2013) [62], kad tik nuolatinis labai žemo dažnio elektromagnetinio lauko poveikis gali paveikti pelių kraujo parametrus arba kaip teigė Alghamdi ir El-Ghazaly [20] atlikto tyrimo išvados, norint įvertinti reikšmingą sumažėjimą tokių kraujo rodiklių, kaip eritrocitai, hemoglobinas ir hematokritas, reikia ilginti ekspozicijos trukmę.

Kim, J. H. *et al.* (2017) [63] teigė, kad dėl RD-EMS poveikio gali atsirasti hiperaktyvumas. Įvertinus tyrimo metu gautas etogramas pastebėta, kad mobiliųjų telefonų bangos itin padidino tokių pelių aktyvumą, kaip užpakalinių kojų laižymas bei uostinėjimas narve, lyginant su tyrimo pradžia. Taip pat po 72 val. priekinių kojų laižymas, laipiojimas narve ir kūno pakėlimas bei žvalgymasis eksperimentinėse grupėse buvo dažnesnis, nei tyrimo pradžioje.

Viso tyrimo metu gauti etogramų rodikliai vidurkiai parodė, kad uostinėjimas narve suaktyvėjo net 52,15 proc. pirmoje, o antroje grupėje net 73,79 proc. nei kontrolinėje grupėje. Taip pat vaikščiojimas ir judėjimas pirmoje grupėje buvo 10,59 proc., o antroje net 42,50 proc. aktyvesnis nei kontrolinėje grupėje, o štai laipiojimas narve viso tyrimo metu buvo aktyvesnis tik 2 grupėje 30,37 proc. lyginant su kontrole.

Tokio pakitusio graužikų elgesio, po RD-EMR poveikio, priežastys gali būti tiek struktūriniai pokyčiai, atsirandantys įvairiuose smegenų regionuose (kraujo-smegenų barjeras, hipokampus, smegenų žievė, smegenėlės, migdolas), tiek RD-EMR poveikis glijos ląstelėms arba moduliacinis RD-EMR poveikis įvairiems neurotransmiteriams skirtinguose smegenų regionuose [53].

Daniels *et al.* (2009) [6] teigė, kad EML paveiktose žiurkėse sumažina lokomotorinį aktyvumą, bet padidina kūno ir kailio valymą. Abiejose eksperimentinėse grupėse pastebėjome suaktyvėjimą visose keturiose kūno ir kailio valymo sekos grandinės fazėse lyginant su kontroline grupe. Elipsinis glostymas (I fazė) buvo padidėjęs eksperimentinėse grupėse, palyginti su kontroline grupe, viso

tyrimo laikotarpiu. Didžiausias skirtumas tarp eksperimentinių ir kontrolinės grupės pastebėtas IV fazėje (kūno laižymas) ir I grupėje buvo 3 kartus didesnis, o II grupėje – net 4 kartus didesnis, palyginti su kontroline grupe per visus eksperimentinius laikotarpius. Toks padidėjęs kūno ir kailio valymas yra susijęs su save raminančiu elgesiu stresą patiriančiuose gyvūnuose [6,64]. Tiek padidėjęs pelių lokomotorinis aktyvumas, tiek kūno bei kailio valymas, mūsų tyrime rodo, kad EML ekspozicija gali sukelti elgesio anomalijas.

Smegenų histopatologinio tyrimo metu 2 eksperimentinėje grupėje buvo pastebėti tokie pakitimai, kaip piramidinių neuronų susitraukimas ir silpna edema bei kai kurių neuronų ir gliocitų vakuolizacija didžiuosiuose pusrutuliuose. Panašius pastebėjimus atrado ir H. Nittby, et al. (2008) [43], kurio tyrime rasti susitraukę ir tamsiai nusidažę pažeisti neuronai, o kai kurie pažeisti neuronai citoplazmoje turėjo mikrovakuoles. Tokia neuronų ir gliocitų vakuolizacija rasta ir mūsų tyrime rodo aktyviai vykstantį pataloginį procesą. Šie rasti pakitimai reiškia, kad mobiliojo telefono RDS gali daryti įtaką kraujo – smegenų barjero pralaidumui. Dėl padidėjusio KSB pralaidumo matoma smegenų edema ir negrįžtami smegenų pažeidimai [5], ką pastebėjome ir mūsų tyrimo metu. Pasireiškę neuronų pažeidimai galėjo įtakoti mūsų tyrime stebėtą hiperaktyvų elgesį [63].

IŠVADOS

1. Mobilųjų telefonų skleidžiama radijo dažnio spinduliuotės abiejose eksperimentinėse grupėse itin suaktyvino šiuos elgsenos parametrus: vaikščiojimą ir judėjimą, priekinių kojų laižymą, užpakalinių kojų laižymą ir uostinėjimą narve.
2. 2 grupėje taip pat suaktyvino snukučio priežiūrą, valymą ir kasymąsi bei kūno pakėlimą aukštyr ir žvalgymąsi. Minėti rodikliai buvo 2 kartus didesni lyginant su kontrole. Kūno ir kailio valymas 2 grupėje buvo aktyvesnis 3 kartus lyginant su 1 ir kontroline grupėmis.
3. Vertinant eritrocitų kiekį, hemoglobino koncentraciją ir hematokritą statistiškai reikšmingų skirtumų pelių grupėse nenustatyta.
4. Mobiliojo telefono skleidžiama radijo dažnio spinduliuotė, laikant įrenginį arti kūno, gali sukelti smegenų histopatologinius pakitimus, piramidinių neuronų susitraukimus, silpną edemą bei kai kurių neuronų ir gliocitų vakuolizaciją.

REKOMENDACIJOS

Siekiant nesukelti organizmo hiperaktyvacijos, nepažeisti neuronų veiklos suderinamumo rekomenduojama įrenginius, kurie skleidžia elektromagnetines bangas laikyti kuo didesniu atstumu nuo galvos smegenų.

PADĖKA

Nuoširdžiai dėkoju magistro baigiamojo darbo vadovei prof., dr. Juditai Žymantienei už skirtą brangų laiką, pagalbą renkant tyrimo duomenis, profesionalius patarimus bei pastabas ir kantrybę, ruošiant šį baigiamąjį darbą.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. E. A. Adebayo, A. O. Adeeyo, A. A. Ayandele, I. O. Omomowo. Effect of Radiofrequency Radiation from Telecommunication Base Stations on Microbial Diversity and Antibiotic Resistance. *J. Appl. Sci. Environ. Manage.* 2014; Vol.18 (4): 669-674.
2. Khurana, Vini & Hardell, Lennart & Everaert, Joris & Bortkiewicz, Alicja & Carlberg, Michael & Ahonen, Mikko. Epidemiological Evidence for a Health Risk from Mobile Phone Base Stations. *International journal of occupational and environmental health.* 2010; Vol.16: 263-267. DOI:10.1179/107735210799160192
3. Abdolmaleki A, Sanginabadi F, Rajabi A, Saberi R. The effect of electromagnetic waves exposure on blood parameters. *IJHOSCR.* 2012; Vol 6: 13-16.
4. Abu Bakr El-Bediwi, Mohamed Saad, Attall F. El-kott, Eman Eid. Influence of Electromagnetic Radiation Produced by Mobile Phone on Some Biophysical Blood Properties in Rats. *Cell Biochem Biophys.* 2013; 65:297–300.
5. H. Nittby, *et al.* Increased blood–brain barrier permeability in mammalian brain 7 days after exposure to the radiation from a GSM-900 mobile phone. *Pathophysiology.* 2009; doi:10.1016/j.pathophys.2009.01.001
6. Daniels, Willie & Pitout, Ianthe & Afullo, Thomas & Mabandla, Musa. The effect of electromagnetic radiation in the mobile phone range on the behaviour of the rat. *Metabolic brain disease.* 2009; Vol.24:629-641. DOI:10.1007/s11011-009-9164-3
7. Caligiuri LM, Vasile M, Lamonaca F, Nastro A. NONIONIZING ELECTROMAGNETIC RADIATION (EMF) AND THEIR INFLUENCE ON THE HEALTH OF LIVING ORGANISMS. *Annals of Academy of Romanian Scientists Series on Biological Sciences.* 2015; Vol.3: 5-18.
8. Priyanka Bandara, David O Carpenter. Planetary electromagnetic pollution: it is time to assess its impact. *The Lancet Planetary Health.* 2018, Vol 2: 512-514.
9. Vijayalaxmi, Biological and health effects of radiofrequency fields: Good study design and quality publications, *Mutat. Res. Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.* 2016; Vol. 810: 11.
10. Caligiuri LM, Vasile M, Lamonaca F, Nastro A. NONIONIZING ELECTROMAGNETIC RADIATION (EMF) AND THEIR INFLUENCE ON THE HEALTH OF LIVING ORGANISMS. *Annals of Academy of Romanian Scientists Series on Biological Sciences.* 2015; Vol.3: 5-18.
11. Purcell and Morin, Harvard University. (2013). *Electricity and Magnetism*, 820p (3rd ed.). Cambridge University Press, New York. ISBN 978-1-107-01402-2. p 430

12. Browne, Michael (2013). *Physics for Engineering and Science*, p427 (2nd ed.). McGraw Hill/Schaum, New York. ISBN 978-0-07-161399-6;
13. IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic. Non-ionizing radiation part 2: radiofrequency electromagnetic fields. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum.* 2013; 102(Pt 2): 1–460.
14. The Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). *Health Effects of exposure to Electromagnetic Fields (EMF)*. 2009.
15. ICNIRP; International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (2009a). *Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health consequences (100 kHz to 300 GHz)*. la Vecchia P, Matthes R, Ziegelberger G et al., editors. pp. 1–392. Available at: <http://www.icnirp.de/>
16. SCENIHR (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks). *Potential health effects of exposure to electromagnetic fields (EMF)*, 2015.
17. Agarwal A, Singh A, Hamada A, Kesari K. Cell phones and male infertility. a review of recent innovations in technology and consequences. *Int Braz J Urol.* 2011; Vol. 37: 432-454.
18. Al Glaib B, Al Dardfi M, Al Tuhanni A, Elgenaidi A, Dkhil M. A technical report on the effect of electromagnetic radiations from a mobile phone on mice organs. *Libyan Journal Medicine.* 2007; Vol. 1: 8-9.
19. Khurana VG, Teo C, Kundi M, Hardell L, Carlberg M. Cell phones and brain tumors: A review including the long-term epidemiologic data. *Surg Neurol.* 2009; Vol.72: 205-214.
20. Alghamdi MS, El-Ghazaly NA. Effects of exposure to electromagnetic field on some hematological parameters in mice. *Open Journal of Medicinal Chemistry.* 2012; Vol.2: 30-42.
21. Ntzouni MP, Stamatakis A, Stylianopoulou F, Margaritis LH. Short-term memory in mice is affected by mobile phone radiation. *Pathophysiology.* 2011; Vol. 18: 193–199
22. Challis IJ. Mechanisms for interaction between rf fields and biological tissue. *Bioelectromagnetics.* 2005; Vol. 7: 598-5106.
23. E. A. Adebayo, A. O. Adeeyo, M. A. Ogundiran et al., Bio-physical effects of radiofrequency electromagnetic radiation (RF-EMR) on blood parameters, spermatozoa, liver, kidney and heart of albino rats. *Journal of King Saud University – Science.* 2018; <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.11.007>
24. Bandara P, Weller S. Biological effects of low-intensity radiofrequency electromagnetic radiation—time for a paradigm shift in regulation of public exposure. *Radiat Protect Australas* 2017; 34: 2–6.
25. Zothansiam, Zosangzuali M, Lalramdinpuii M, Jagetia GC. Impact of radiofrequency radiation on DNA damage and antioxidants in peripheral blood lymphocytes of humans

- residing in the vicinity of mobile phone base stations. *Electromagn Biol Med* 2017; Vol.36: 295–305.
26. Sani A, Labaran MM, Dayyabu B. Effects of Electromagnetic Radiation of Mobile Phones on Hematological and Biochemical Parameters in Male Albino Rats. *Eur Exp Biol*. 2018; Vol. 8 No. 2:11.
 27. Dart, Paul. Biological and health effects of microwave radio frequency transmissions a review of the research literature. 2013;
 28. Vangelova K, Israel M, Velkova D, Ivanova M. Changes in excretion rates of stress hormones in medical staff exposed to electromagnetic radiation. *Environmentalist*. 2007; 27(4):551-555.
 29. Eskander EF, Estefan SF, Abd-Rabou AA. How does long term exposure to base stations and mobile phones affect human hormone profiles? *Clin Biochem* .2012; 45(1-2):157-161.
 30. Volkow ND, Tomasi D, Wang GJ, *et al*. Effects of cell phone radiofrequency signal exposure on brain glucose metabolism. *JAMA*. 2011; 305: 808–13.
 31. Schmid MR, Loughran SP, Regel SJ, *et al*. Sleep EEG alterations: effects of different pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields. *J Sleep Res* 2012; 21: 50–58.
 32. Kimata H. Microwave radiation from cellular phones increases allergen-specific IgE production. *Allergy* 2005; 60: 838–39
 33. Carlberg M, Hardell L. Evaluation of mobile phone and cordless phone use and glioma risk using the bradford hill viewpoints from 1965 on association or causation. *Biomed Res Int* 2017; 2017: 9218486.
 34. G. Varshney, V. K. Katiyar and K. Sushil, “Effect of Magnetic Field on the Blood Flow in Artery Having Mul-tiple Stenosis: A Numerical Study,” *International Journal of Engineering, Science and Technology*. 2012; Vol. 2, No. 2, pp. 67-82.
 35. R. Soud. Human and the Environment (Education Study of the Environment) Dar Al-Hamed for Publication and Distribution. *Journal of Environmental Studies*. 2004; Vol. 1, pp. 23-31.
 36. Otitoloju, A A; Osunkalu, V O; Obe, I A; Adewale, O A; Akinde, O R. Level of Radiofrequency (RF) Radiations from GSM Base Stations and its Biological Effects on Albino Mice, *Mus musculus*. *J. Appl. Sci. Environ. Manage*. 2010; Vol. 14 (3): 87 – 93.
 37. Mariam S. Alghamdi, Nawal A. El-Ghazaly. Effects of Exposure to Electromagnetic Field on Some Hematological Parameters in Mice. *Open Journal of Medicinal Chemistry*. 2012; 2: 30-42
 38. P. Michelozzi, A. Capon, U. Kirchmayer, *et al*. Adult and Childhood Leukemia near a High—Power Radio Sta-tion in Rome, Italy. *American Journal of Epidemidoly*. 2002; Vol. 155, No. 12, pp. 1096-1103. [doi:10.1093/aje/155.12.1096](https://doi.org/10.1093/aje/155.12.1096)

39. D. R. McKenzie, Y. Yin and S. Morels. Childhood Incidence of Acute Lymphoblastic Leukemia and Exposure to Broadcast Radiation in Sydney—A Second Look. Australian and New Zealand Journal of Public Health. 1998; Vol. 22, No. 3, pp. 360-367. [doi:10.1111/j.1467-842X.1998.tb01392.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-842X.1998.tb01392.x))
40. Fernie KJ, Bird DM. Evidence of oxidative stress in American kestrels exposed to electromagnetic fields. Environ Res. 2001; A86:198–207
41. Obajuluwa AO, Akinyemi AJ, Afolabi OB, Adekoya K, Sanya JO, Ishola AO. Exposure to radio-frequency electromagnetic waves alters acetylcholinesterase gene expression, exploratory and motor coordination-linked behaviour in male rats. Toxicology Reports. 2017; Vol.:4: 530-534
42. Aldad, T.S., Gan, G., Gao, X. & Taylor, H.S. Fetal Radiofrequency Radiation Exposure From 800-1900 Mhz-Rated Cellular Telephones Affects Neurodevelopment and Behavior in Mice. 2012, Sci. Rep. 2, 312; [DOI:10.1038/srep00312](https://doi.org/10.1038/srep00312)
43. H. Nittby, G. Grafström, D.Tian, A. Brun, B.R.R. Persson, L.G. Salford, J. Eberhardt, Cognitive impairment in rats after long-term exposure to GSM-900 mobile phones, Bioelectromagnetics. 2008; Vol.29:219– 232.
44. V.Keetly, A.W.Wood, J. Spong, C. Stough. Neuropsychological sequelae of digital mobile phone exposure in humans, Neuropsychologia. 2006; Vol.44:1843–1848.
45. H. Lai, M.A. Carino, A. Horita, A.W. Guy. Opioid receptor subtypes that mediate a micro-wave induced decrease in central cholinergic activity in the rat, Bioelectromagnetics. 1992; Vol.13:237–246.
46. I.Y. Belyaev, C. Bauréus Koch, O. Terenius, K. Roxström-Lindquist, L.O.G. Malmgren, W.H. Sommer *et al.* Exposure of rat brain to 915MHz GSM microwaves induces changes in gene expression but not double stranded DNA breaks or effects on chromatin conformation. Bioelectromagnetics. 2006; Vol.27:295–306.
47. H. Nittby, B. Widegren, M. Krogh, G. Grafström, G. Rehn, H. Berlin *et al.* Exposure to radiation from global system for mobile communications at 1800MHz significantly changes gene expression in rat hippocampus and cortex. Environmentalist. 2008;
48. F. Vecchio, C. Babilono, F. Ferreri, G. Curcio, R. Fini, C. Del Percio, Maria Rossini F P., Mobile phone emission modulated interhemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms, Eur. J. Neurosci. 2007; Vol.25:1908–1913.
49. Divan, H. Kheifets, L. Obel, C. & Olsen, J. Prenatal and postnatal exposure to cell phone use and behavioral problems in children. Epidemiology. 2008; Vol.19:523–529.
50. Maskey D, Kim M, Aryal B, Pradhan J, Choi IY, Park KS *et al.* Effect of 835 MHz radiofrequency radiation exposure on calcium binding proteins in the hippocampus of the

- mouse brain. *Brain Research*. 2010; Vol. 1313: 232-241
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.11.079>)
51. Goldsworthy, A., The cell phone and the cell-the role of calcium. 2008;
http://www.mobilfunk-debatte.de/pdf/studien/04Goldsworthy_Thesaloniki.pdf (Žiūrėta 2019.10.28)
 52. C.Wiholm, A. Lowd, N. Kuster, L. Hillert, Mobile phone exposure and spatial memory, *Bioelectromagnetics*. 2009; Vol.30: 59–65.
 53. Narayanan S.N., Jetty R., Kesari K.K. et al. Radiofrequency electromagnetic radiation-induced behavioral changes and their possible basis. *Environ Sci Pollut Res*. 2019; Vol. 26: 30693 - 30710. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06278-5>
 54. Bosquillon de Jenlis, A et al., Effects of co-exposure to 900 MHz radiofrequency electromagnetic fields and high-level noise on sleep, weight, and food intake parameters in juvenile rats, *Environmental Pollution*. 2019; <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113461>
 55. L.G. Salford, H. Nittby, A. Brun, G. Grafström, L. Malmgren, M. Sommarin, J. Eberhardt, B. Widegren, B.R.R. Persson, The mammalian brain in the electromagnetic fields designed by man—with special reference to blood–brain barrier function, neuronal damage and possible physical mechanisms, *Prog. Theoret. Phys. Suppl*. 2008; Vol.174: 283–309.
 56. Hawkins P., Morton D.B., Burman O., Dennison N., Honess P., Jennings M., Lane S., Middleton V., Roughan J.V., Wells S., Westwood K. A guide to defining and implementing protocols for the welfare assessment of laboratory animals: eleventh report of the BVAAWF/FRAME/RSPCA/UFAW Joint Working Group on Refinement. *Laboratory animals*. 2011; Vol. 45: 1-13.
 57. Cromwell H. C., Berridge K. C., Drago J., Levine M. S.: Action sequencing is impaired in D1A-deficient mutant mice. *Europ. J. Neurosc*. 1998; Vol.10: 2426-2432.
 58. J. Wayne Aldridge, Kent C. Berridge. Coding of Serial Order by Neostriatal Neurons: A “Natural Action” Approach to Movement Sequence. *The Journal of Neuroscience*. 1998; 18(7):2777–2787
 59. Altman D.G., Machin D., Bryant T. N., Gardner M. J. *Statistics with confidence*, BMJ. 2000. 49 p.
 60. Campell I. Chi-squared and Fisher-Irwin tests of two-by-two tables with small sample recommendations. *Statistics in medicine*. 2007. Vol. 26. 3661–3675.
 61. *The BSAVA Manual of Exotic Pets* (4th ed). Edited by Anna Meredith and Sharon Redrobe. Published January 2002 by the British Small Animal Veterinary Association (BSAVA).

62. Singh S., Brocker C., Koppaka V., Chen Y., Jackson B. C., Matsumoto A., Thompson D. C., Vasiliou V.: Aldehyde dehydrogenases in cellular responses to oxidative/electrophilic stress. *Free Radical Biol. Med.* 2013; 56, 89-101.
63. Kim, J. H. et al. Long-term exposure to 835 MHz RF-EMF induces hyperactivity, autophagy and demyelination in the cortical neurons of mice. *Sci. Rep.* 2017; 7, 41129; [doi: 10.1038/srep41129](https://doi.org/10.1038/srep41129).
64. D. Sokolovic, B. Djordjevic, G. Kocic, P. Babovic, G. Ristic, Z. Stanojkovic et al. The effect of melatonin on body mass and behaviour of rats during an exposure to microwave radiation from mobile phone. *Bratislava Medical Journal.* 2012; Vol.113, No.5, p.265-269.