

**LIETUVOS SPORTO UNIVERSITETAS**

**Nerijus Eimantas**

**ĮGIMTAS IR ĮGYTAS ŽMONIŲ ATSAKAS  
Į AŠTRŲ ŠALČIO STIMULĄ**

Daktaro disertacijos santrauka

Biomedicinos mokslai, biologija (01B), fiziologija (B470)

Kaunas 2016

Disertacija rengta 2010–2015 metais Lietuvos sporto universitete (Lietuvos kūno kultūros akademijoje).  
2010–2013 metais darbą rėmė Lietuvos mokslo taryba.

### **Mokslinis vadovas**

Doc. dr. Marius BRAZAITIS

*Lietuvos sporto universitetas* (Biomedicinos mokslai, biologija – 01B)

### **Konsultantas**

Prof. dr. Vitas LINONIS

*Kauno technologijos universitetas*

### **Disertacija ginama Lietuvos sporto universiteto Biologijos mokslo krypties taryboje:**

### **Pirmininkas**

Prof. Dr. Arvydas STASIULIS

*Lietuvos sporto universitetas* (Biomedicinos mokslai, biologija – 01B)

### **Nariai**

Prof. dr. Mati PÄÄSUKKE

*Tartu universitetas* (Biomedicinos mokslai, biologija – 01B)

Doc. dr. Gediminas MAMKUS

*Lietuvos sporto universitetas* (Biomedicinos mokslai, biologija – 01B)

Doc. dr. Inga GRIŠKOVA-BULANOVA

*Vilniaus universitetas* (Biomedicinos mokslai, biofizika – 02B)

Doc. dr. Andrius PRANCKŪNAS

*Lietuvos sveikatos mokslų universitetas* (Biomedicinos mokslai, medicina – 06B)

Disertacija bus ginama viešame Biologijos mokslo krypties tarybos posėdyje 2016 m. balandžio 14 d. 14 val. Lietuvos sporto universitete centrinių rūmų 218 auditorijoje.

Adresas: Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas, Lietuva.

Disertacijos santrauka išsiuntinėta 2016 m. kovo 14 d.

Disertaciją galima peržiūrėti Lietuvos sporto universiteto bibliotekoje.

Adresas: Sporto g. 6, LT-44221 Kaunas, Lietuva.

**LITHUANIAN SPORTS UNIVERSITY**

**NERIJUS EIMANTAS**

**INNATE AND ADAPTIVE RESPONSES  
TO ACUTE COLD STRESS IN HUMANS**

Summary of the Doctoral Dissertation

Biomedical Sciences, Biology (01B), Physiology (B470)

Kaunas 2016

The doctoral dissertation was prepared in 2010–2015 at the Lithuanian Sports University (Lithuanian Academy of Physical Education). The research was supported by the Research Council of Lithuania in 2010–2013.

### **Scientific supervisor**

Assoc. Prof. Dr. Marius BRAZAITIS

*Lithuanian Sports University* (Biomedical Sciences, Biology – 01B)

### **Scientific consultant**

Prof. Dr. Vitas LINONIS

*Kaunas University of Technology*

### **Doctoral dissertation will be defended at the Biology Sciences Council of the Lithuanian Sports University:**

#### **Chairman**

Prof. Dr. Arvydas STASIULIS

*Lithuanian Sports University* (Biomedical Sciences, Biology – 01B)

#### **Members**

Prof. Dr. Mati PÄÄSUKE

*University of Tartu* (Biomedical Sciences, Biology – 01B)

Assoc. Prof. Dr. Gediminas MAMKUS

*Lithuanian Sports University* (Biomedical Sciences, Biology – 01B)

Assoc. Prof. Dr. Inga GRIŠKOVA-BULANOVA

*Vilnius University* (Biomedical Sciences, Biophysics – 02B)

Assoc. Prof. Dr. Andrius PRANCKŪNAS

*Lithuanian University of Health Sciences* (Biomedical Sciences, Medicine – 06B)

The doctoral dissertation will be defended in the open session of Biology Sciences Council of the Lithuanian Sports University. The defence will take place on April 14th 2016 at 14 a.m. in auditorium 218. The summary of the doctoral dissertation was sent out on March 14th 2016.

The dissertation is available at the library of the Lithuanian Sports University.

Address: Sporto str. 6, LT-44221 Kaunas, Lithuania.

# TURINYS

ĮVADAS.....	6
1. METODAI.....	9
1.1. Tiriamieji.....	9
1.2. Tyrimo metodai.....	9
2. EKSPERIMENTŲ ORGANIZAVIMAS.....	12
2.1. Pirmo eksperimento organizavimas.....	12
2.2. Antro eksperimento organizavimas.....	13
2.3. Trečio eksperimento organizavimas.....	14
3. REZULTATAI.....	15
3.1. Pirmo eksperimento rezultatai.....	15
3.1.1. Vėsinimo poveikis temperatūros rodikliams.....	15
3.1.2. Vėsinimo poveikis kognityviajai funkcijai.....	15
3.1.3. Vėsinimo poveikis motorinei funkcijai.....	16
3.1.4. Vėsinimo poveikis neuroendokriniam ir imuniniam atsakui.....	17
3.2. Antro eksperimento rezultatai.....	17
3.2.1. Šildymo poveikis temperatūros rodikliams.....	17
3.2.2. Šildymo poveikis kognityviajai funkcijai.....	17
3.2.3. Šildymo poveikis motorinei funkcijai.....	18
3.2.4. Šildymo poveikis neuroendokriniam ir imuniniam atsakui.....	18
3.3. Trečio eksperimento rezultatai.....	19
3.3.1. ŠA poveikis kūno temperatūros rodikliams ir vėsinimo trukmei.....	19
3.3.2. ŠA poveikis šalčio šoko rodikliams.....	21
3.3.3. ŠA poveikis ŠSI ir kraujo biologiniams žymenims.....	23
IŠVADOS.....	25
ABSTRACT.....	26
MOKSLINĖS PUBLIKACIJOS.....	31
INFORMACIJA APIE DISERTANTĄ.....	32

## IVADAS

Nuo pat žmonijos atsiradimo iki šių dienų žmonės susiduria su ekstremalių temperatūrų svyravimais ir geba išgyventi. Kūno atsakas į šalčio sukeltą stresą priklauso nuo individualių asmens savybių: amžiaus, lyties, kūno sandaros, treniruotumo, trumpalaikės ar ilgai trunkančios dietos, genotipo, kultivuojamos sporto šakos, sveikatos (Launay, Savorey, 2009; Lupien et al., 2009). Gerai žinoma, kad aštrus šalčio stimulus padidina cirkuliuojančių katecholaminų (Morsella et al., 2009; Shansky et al., 2013) ir kitų streso hormonų koncentraciją kraujyje (Palmieri-Smith et al., 2007; LaVoy et al., 2011; Shansky et al., 2013), pablogina budrumą, bendrą nuotaiką (Lieberman et al., 2009), motorinę ir kognityviąją funkcijas (Drinkwater, 2008; Duncko et al., 2009; Lieberman et al., 2009; Brazaitis et al., 2010; Racinais, Oksa, 2010; Brazaitis et al., 2012), darbinę atmintį (Roedinger et al., 2005; Duncko et al., 2009), padidina nugaros smegenų refleksų jautrumą (Dewhurst et al., 2005; Owen et al., 2005) ir užslopina (LaVoy et al., 2011; Schwabe et al., 2012) ar stimuliuoja (Brenner et al., 1999; Tikuisis et al., 1999; Deng et al., 2003; Joëls et al., 2006) imuninę sistemą. Šios fiziologinės savybės yra labai svarbios žmonių, kurie savo kasdienėje darbinėje ar laisvalaikio veikloje patenka į ekstremalaus šalčio sąlygas, išlikimui, sveikatai ir gerovei.

Pirmo eksperimento metu kėlėme klausimą, kodėl, patekę į aštraus šalčio sąlygas, panašių fiziologinių savybių žmonės nevienodai atsparūs šalčiui, jo sukeliams pažeidimams ir turi skirtingas galimybes išgyventi. Ankstesniais tyrimais (žr. skyrelį *Tiriamieji*), nustatėme, kad panašių fiziologinių savybių žmonės pagal įgimtą reakciją į aštrų šalčio stimulą gali būti skirstomi į dvi grupes: tuos, kurie patiria greitą vidinės kūno temperatūros ( $T_{re}$ ) kritimą (greitai šalantys, GŠ), ir tuos, kurie patiria lėtą  $T_{re}$  mažėjimą (lėtai šalantys, LŠ). Mes pateikėme hipotezę (1 hipotezė), kad, atliekant vienkartinį panardinimą į 14 °C vandenį iki pečių juostos (kol  $T_{re}$  sumažės iki 35,5 °C), GŠ patirs didesnę šalčio stresą (tai parodys didesnis šalčio streso indeksas (ŠSI), šaltis paveiks streso (kortizolio, epinefrino (EPI) ir norepinefrino (NE) koncentraciją) bei imuninės sistemos (neutrofilų, leukocitų, limfocitų, monocitų, interliukino 6 (IL-6) ir auglių nekrozės faktoriaus  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) koncentracija) žymenis labiau nei LŠ. Taip pat buvo tikėtasi, kad GŠ motorinė ir kognityvioji funkcijos dėl patirto didesnio šalčio streso bus paveiktos labiau nei LŠ.

Žinodami, jog jauni sveiki vyrai į aštrų šalčio stimulą (panardinimas į 14 °C vandenį) gali reaguoti dvejopai (t. y., vieni vėsta greitai, o kiti lėtai), antru eksperimentu nusprendėme patikrinti, kaip pasyviai sukeltas karščio stresas ( $T_{re}$  padidėjimas iki 39,5 °C) paveiks GŠ ir LŠ motorinę ir kognityviają funkcijas, pogumburio-hipofizės-antinksčių (PHA), simpatinės antinksčių šerdies (SAŠ) ašis ir imuninės sistemos biologinius žymenis. Mes kėlėme hipotezę (2 hipotezė), kad sumažėjęs gebėjimas jausti šalčio stresą gali būti siejamas su sumažėjusiu atsaku į karščio stresą. Karštis, priešingai šalčiui, nereikalauja iš organizmo gaminti papildomos šilumos per drebėjimo ar nedrebėjimo mechanizmus, kad būtų palaikoma optimali vidinė kūno temperatūra (kūno izoliacijos mechanizmas). Karščio streso metu šilumos perteklius turi būti efektyviai pašalinamas, o karščio gamyba sumažinta. Taigi, jei atsparumo šalčiui ir karščiui mechanizmai yra antagonistiški (van Marken Lichtenbelt et al., 2009), būtų galima tikėtis, kad LŠ patirs didesnę karščio stresą nei GŠ. Tai parodys ir didesni LŠ biologinių streso (kortizolis, EPI, NE) ir imuniteto (neutrofilų, limfocitų, monocitų, leukocitų) žymenų koncentracijos pokyčiai nei GŠ. Taip pat tikėjomės, kad didesnis LŠ patirtas karščio stresas labiau paveiks motorinę (griaučių raumenys, spinaliniai, supraspinaliniai refleksai ir valingai susitraukimo jėga) bei kognityviają funkcijas. Kėlėme alternatyvią hipotezę, kad atsparumas karščiui ir šalčiui yra valdomi skirtingų, nepriklausomų, vienas kito neslopinančių mechanizmų. Pasitvirtinus šiai hipotezei, tikėjomės, kad GŠ ir LŠ atsakas į hipertermiją nesiskirs.

Manoma, kad sėkminga žmogaus viso kūno adaptacija prie šalčio gali būti išreikšta metabolinės, hipoterminės ar izoliacinės aklimacijos tipais (sukelta eksperimentiškai) ar aklimatizacija (sukelta natūraliomis sąlygomis) (Hammel, 1963; Young et al., 1986; Bittel, 1992; Vybiral et al., 2000; Taylor, 2006; Launay, Savourey, 2009; Mäkinen, 2009). Aptinkami aklimacijos subtipai: izoliacinis-hipoterminis (Scholander et al., 1958; Young et al., 1986; Launay, Savourey, 2009; Mäkinen, 2009) ir metabolinis-izoliacinis (Bittel, 1992; Mäkinen, 2009). Daugiau nei prieš keturiasdešimt metų S. Skreslet ir F. Aarefjord (1968) teigė, kad skirtingi aklimacijos šalčiui (ŠA) tipai nerodo išskirtinių fiziologinių būsenų atsiradimo, greičiau jie yra skirtingi sėkmingos galutinės adaptacijos prie šalčio lygiai. Taigi trečiame eksperimente kėlėme hipotezę (3 hipotezė), kad 20 dienų trunkančios ŠA programos metu įvyks persitvarkomas pokytis iš drebėjimo termogenezės į nedrebėjimo, iš metabolinės aklimacijos į hipoterminę, po jos – į izoliacinę ir iš periferinės-centrinės termoreguliacijos į centrinę. Tikimės, kad ilgalaikis

šalčio stresas labiau aktyvuos specifinę nei įgimtą imuninę sistemą. Didesnis baltojo riebalinio audinio kiekis (tai rodo kūno masės indeksas ir poodinių riebalų storis) reikš mažesnę (t. y., užslopintą) nedrebėjimo termogenezės po ŠA padidėjimą (van Marken Lichtenbelt et al., 2009; Ouellet et al., 2012).

### **Tyrimo tikslas**

Nustatyti žmogaus organizmo įgimtą ir įgytą atsaką į aštrų šalčio stimulą.

### **Tyrimų uždaviniai:**

1. Ištirti, kaip aštrus šalčio stimulus (intervalinis panardinimas iki pečių juostos į 14 °C vandenį) veikia žmonių, dvejopai reaguojančių į šalčio stimulą (GŠ ir LŠ), fiziologines ir psichologines savybes bei ryšius tarp jų.

2. Palyginti GŠ ir LŠ fiziologinius ir psichologinius atsakus į pasyviai sukeltą karščio stresą (panirus 43–44 °C vandenyje iki juosmens).

3. Ištirti, ar 17 panardinimų iki pečių juostos į 14 °C vandenį per 20 dienų pakanka visiškai išsivystyti ŠA.

### **Tyrimo originalumas, naujumas ir praktinė reikšmė**

Tai pirmas tyrimas, nagrinėjantis dviejų grupių fiziologiškai panašių jaunų sveikų vyrų, kurie skirtingai reagavo į patiriamą aštrų vienkartinį šalčio stresą (GŠ ir LŠ), motorinės ir kognityviosios funkcijų, streso ir imuninės sistemos biologinių žymenų skirtumus. Taip pat nežinoma, kaip šių grupių tiriamieji reaguoja į karščio stresą (panardinant iki juosmens į 43–44 °C vandenį, kol  $T_{re}$  padidės iki 39,5 °C). Nauja ir iki šiol nepublikuota tai, kad, nepaisant skirtingos įgimtos reakcijos į šalčio stresą (GŠ ir LŠ), patekę į karštą aplinką žmonės turi vienodą riziką perkaisti ir patirti šilumos smūgį.

Daugeliu ŠA nagrinėjančių eksperimentų tiriama tik prieš ŠA ir po jo atsirandančius simptomus. Dėl šios priežasties publikacijose pateikiami labai priešaringi duomenys. Trečio eksperimento 20 dienų ŠA programos metu mes kiekvieną dieną vertinome tris visuotinai priimtus fiziologinius žymenis –  $T_{oda}$ ,  $T_{re}$  ir MŠG. Tai leido ištirti ŠA programos metu kasdien vykstantį trijų pagrindinių fiziologinių atsakų į šalčio stimulą persitvarkomąjį pokytį vienas kito atžvilgiu, ir tai buvo atlikta pirmą kartą.

Išsamesnės žinios, kaip žmogaus organizmas įgimtai ar adaptatyviai



reaguoja į aštrų šalčio stimulą, yra labai svarbios siekiant užtikrinti dirbančių (kareiviai, statybininkai, šaldytuvų darbuotojai ir t. t.) ar sportuojančių, poilsiaujančių ekstremalių temperatūrų sąlygomis (slidinėjimas, nardymas, plaukiojimas atviruose vandenyse) žmonių sveikatą ir gerovę. Mūsų duomenys turėtų būti naudingi atnaujinant profesinės sveikatos priežiūros, darbo saugos aktus, sporto ir pramoginių renginių rengimo karščio ir šalčio sąlygomis rekomendacijas. Tikimės, kad gauti rezultatai padės geriau suprasti, kaip veikia įgimta ir adaptacinė termoreguliacija, ir pasitarnaus kaip pagrindas naujiems šios srities atradimams.

## 1. METODAI

### 1.1. Tiriamieji

Pirmam ir antram eksperimentams tiriamieji buvo atrenkami iš mūsų ankstesnių tyrimų (Brazaitis et al., 2014; Solianik et al., 2014a, b; 2015a, b, c; Berneckė et al., 2015; Paulauskas et al., 2015). Pagal jų toleranciją šalčio stresui sudarėme GŠ ir LŠ grupes. Abi tiriamųjų grupes sudarė po 20 tiriamųjų. Trečiam eksperimentui atrinkome 14 sveikų vyrų, nepatyrusių nušalimų ar karščio traumų. Tiriamųjų duomenys pateikti 1 lentelėje.

### 1.2. Tyrimo metodai

*Pradiniai matavimai.* Tiriamųjų duomenys pateikti 1 lentelėje. Buvo matuojamas svoris, kūno masės indeksas (KMI), kūno riebalinė ir neriebalinė masė (kūno kompozicijos analizatoriumi *Tanita*, TBF-300, Illinois, JAV), ūgis, apskaičiuojamas kūno paviršiaus plotas (Tikuisis et al., 2001).

*Kūno temperatūros matavimai.* Temperatūra ( $T_{re}$ ,  $T_{oda}$  ir  $T_{raum}$ ) buvo matuota specialiu chirurgijoje naudojamu termometru *Ellab* (DM852 Danija, tikslumas –  $\pm 0,01$  °C) su rektaliniu, odos ir raumens termodavikliais. Vėliau pagal vidutinės (Burton, 1935) ir rektalinės temperatūros rodiklius buvo apskaičiuotas šalčio streso ir fiziologinio streso indeksai (ŠSI ir FSI) (Moran et al., 1999).

*Subjektyvus pojūčių ir hidratacijos būklės vertinimas.* Tiriamųjų buvo prašoma subjektyviai įvertinti drebbėjimo / prakaitavimo pojūtį,

šiluminį terminį komfortą ir šiluminį terminį pojūtį (Ha et al., 1996; Brazaitis et al., 2010). Hidratacijos būklė buvo vertinama pasveriant tiriamuosius prieš pasyvaus šildymo procedūrą ir po jos praėjus 30 min. (Tanita, TBF-300, Illinois, JAV).

*Izometrinės jėgos vertinimas.* Dinamometru (System 4; Biodex Medical Systems, Shirley, NY, JAV) buvo nustatomi tiriamųjų pėdos lenkiamųjų raumenų jėgos momentai, kai tiriamojo kūnas fiksuojamas dinamometro kėdėje (lenkiant šlaunį 90° kampu, blauzdą – 100° ir tiesiant pėdą 90° kampu). Tiesiogiai blauzdos raumenį stimuliuojant elektra aukštos įtampos elektrostimuliatoriumi (MG440, Medicor, Vengrija), įvertinama nevalinga blauzdos raumenų jėga (raumuo stimuliuojamas 1, 20, 100 ir TT-100 Hz dažniu). Pagal TT-100 impulsu sukkelto nevalingo raumens susitraukimo rodiklius buvo vertinama raumens susitraukimo ir atsipalaidavimo iki pusės jėgos trukmė. Matuojant nevalingą jėgą, tiriamųjų buvo prašomo atpalaiduoti tiriamos kojos raumenis. Vertinant valingą jėgą, tiriamieji buvo raginami pasiekti maksimaliąją pėdos lenkiamųjų raumenų jėgą ir ją išlaikyti 3–4 sek. (vienkartinis MVJ) bei 1 min. (MVJ – 1 min.). Vertinant valingą jėgą, papildomai buvo stimuliuojama TT-100 Hz dažniu (3 sekundę, esant vienkartinėi MVJ, ir 15, 30, 45 ir 60 sekundę, esant MVJ – 1 min.) – taip įvertintas centrinės aktyvacijos koeficientas (Duchateau, Enoka, 2002). Tarp elektrostimuliacijų ir MVJ matavimų buvo ilsimasi 1 min.

*Refleksų vertinimas.* Stimuliuojant blauzdos nervą pakinklio duobėje, kai elektrodas dedamas ant ramybės būsenos plekšninio raumens, buvo vertinamas H-refleksas, rodantis motoneuronų jautrumą nugaros smegenyse (Racinais, Cresswell, 2013), ir M-banga, rodanti sarkolemų jautrumą (Racinais et al., 2008). Trijų vienkartinių MVJ metu išmatuota V-banga – taip įvertintas supraspinalinis jautrumas (Aagaard et al., 2002).

*Spirometrijos vertinimas.* Nešiojamuoju dujų analizatoriumi (Oxycon Mobile, Jaeger/VIASYS Healthcare, Vokietija) buvo registruojama tiriamųjų kiekvieno kvėpavimo ciklo dujų apykaitos rodikliai VO<sub>2</sub> ir VCO<sub>2</sub>. Vėliau iš apskaičiuotų kvėpavimo rodiklių reikšmių buvo apskaičiuota MŠG (Peronnet, Massicotte, 1991) ir drebėjimo intensyvumas (M<sub>direct</sub>) (Haman, 2010).

*Kognityviosios funkcijos vertinimas.* Tiriamieji, naudodami kognityviųjų testų programinę įrangą, atliko 2 atminties ir 1 dėmesio užduotis. Trumpalaikė atmintis buvo vertinama skaičių sekos kartojimo testu. Jo metu tiriamieji turėjo per 3 min. įsiminti septynių skaitmenų skaičių. Jei skaičius buvo atsimenamas teisingai, kitą kartą ekrane

pasirodydavo vienu skaitmeniu didesnis skaičius, jeigu ne – vienu mažesnis (Miller, 1956; Diamond, 2013). Darbinė atmintis vertinta vizualaus atpažinimo testu (jo metu tiriamieji turėjo atpažinti įsimintas figūras) (Roediger, 2005). Kognityvinis lankstumas įvertintas testu *lyginis / nelyginis* (Morsella et al., 2009; Diamond, 2013).

*Kraujo mėginių paėmimas ir analizė.* Kraujo mėginiai buvo imami prieš procedūrą ir po jos. Naudojant automatinį kraujo analizatorių (XE-5000, Sysmex Corp., Kobe, Japonija) buvo matuojama neutrofilų, leukocitų, limfocitų ir monacitų koncentracija kraujyje. Epinefrino ir norepinefrino koncentracija kraujo plazmoje buvo matuojama naudojant ELISA rinkinį (Gemini analizatorius, Stratec Biomedical GmbH, Birkenfeld, Vokietija). Kortizolio, kortikosterono ir citokinų (IL-6 ir TNF- $\alpha$ ) koncentracija kraujo serume buvo matuojama automatiniais imunologiniais analizatoriais *AIA-2000* (Tosoh Corp., Tokijas, Japonija).

*Statistinė analizė.* Normaliam pasiskirstymui tarp pirmo ir antro tyrimų duomenų nustatyti buvo naudojamas Kolmogorovo ir Smirnovo testas. Apibendrinamasis tiesinis modelis (angl. *general linear model*) buvo taikomas analizuojant kartotinius GŠ ir LŠ grupinių faktorių ir laiko matavimus, taip pat kiekvienos grupės atskirai. Antropometriniai tiriamųjų duomenys (1 lentelė), ŠSI ir  $M_{\text{dreb}}$  pokyčiai buvo analizuojami taikant vieno veiksnio dispersinę analizę.

Trečio eksperimento metu dėl ŠA atsiradę kūno temperatūros, vėsimo laiko, kvėpavimo dujų apykaitos, ŠSI, MŠG, ŠSD ir kraujo biologinių žymenų pokyčiai buvo vertinti naudojant vieno veiksnio dispersinę analizę.

Pirsono koreliacijos koeficientas buvo taikomas visų trijų eksperimentų metu, analizuojant asociacinius ryšius tarp kintamųjų. GŠ ir LŠ bei ŠA procedūrų subjektyviems pojūčiams vertinti (terminiam ir drebėjimo pojūčiams) buvo naudojamas neparametrinis *Wilcoxon signed-rank* testas. Pagal gautus duomenis buvo apskaičiuojama kriterijaus galia (angl. *observed power*), pirmo ( $n = 20$ ), antro ( $n = 20$ ), trečio ( $n = 14$ ) eksperimento imties dydis, aritmetiniai vidurkiai ir standartiniai nuokrypiai (SD). Trečio tyrimo metu vietoj SD buvo skaičiuojama aritmetinio vidurkio reprezentacijos paklaida (SEM). Skirtumas laikytas reikšmingu, jei  $p < 0,05$ . Statistinė analizė atlikta *IBM SPSS Statistics 22* programa (IBM Corporation, Armonk, NY).

## 2. EKSPERIMENTŲ ORGANIZAVIMAS

*Bendroji dalis.* Kiekvieną eksperimentą sudarė supažindinamoji (apmokomoji) ir eksperimentinė dalys. Likus mažiausiai 4 dienoms iki eksperimentinio tyrimo, tiriamieji buvo supažindinami su eksperimento eiga, taikomais metodais, mokomi, kaip taisyklingai atlikti kognityvinius ir neuropaumeninius testus. Eksperimentinį tyrimą sudarė kontrolinė ir pasyvaus kūno vėsinimo arba šildymo (priklausomai nuo to koks buvo eksperimentas) dalys. Eksperimentai visuomet buvo pradedami 7:00 val. ryte 22 °C (kambario) temperatūroje, esant 60 proc. drėgnumui.

### 2.1. Pirmo eksperimento organizavimas

Pirmas eksperimentas (dvi panardinimo į 14 °C vandenį organizmo atsako strategijos: ar yra skirtumas tarp motorinės, kognityviosios, imuninės ir streso sistemų žymenų?) buvo atliktas siekiant patikrinti pirmą hipotezę.

*Kontrolinė eksperimento dalis.* Atvykusių į laboratoriją tiriamųjų buvo prašoma 10 min. pagulėti ant kušetės (aprasa: marškinėliai, maudymosi kelnaitės ir kojinės). Kitas 20 min. pusiau gulimoje padėtyje buvo matuojami kvėpavimo dujų apykaitos rodikliai ramybės būsenoje. Po matavimo praėjus 1 min. buvo fiksuojamos  $T_{re}$ ,  $T_{oda}$ ,  $T_{raum}$  temperatūrų kontrolinės reikšmės ir paimami kraujo mėginiai. Tada tiriamieji atliko kognityvinius testus, po kurių sekė neuropaumeninis testavimas. Tiriamieji buvo sodinami į dinamometro kėdę (stimuliacijos elektra elektrodai buvo tvirtinami blauzdinio nervo srityje, elektromiografijos (EMG) elektrodai – ant plekšninio ir priekinio blauzdos raumens). Taip buvo įvertintas H-refleksas, M- ir V-bangos. Po 5 min. pertraukos, elektrostimuliacijos elektrodus perkėlus ant užpakalinių blauzdos raumenų, nevalinga jėga buvo įvertinta stimuliuojant raumenį kas 3 sek. vienas paskui kitą einančiais skirtingo dažnio elektros impulsais: 1, 20, 100 ir TT-100 Hz. Po 1 min. pertraukos kas minutę buvo prašoma atlikti du 3–4 sek. trukmės pėdos lenkimo MVJ susitraukimus.

*Pasyvaus kūno vėsinimo eksperimento dalis.* Po neuropaumeninio testavimo tiriamieji pradėdavo intervalinį vėsinimą 14 °C vandenyje (kūną panardinant iki pečių juostos) (1 pav.). Manoma, kad toks viso kūno vėsinimo būdas yra efektyvesnis nei ištinis (Cheuvront et al.,

2003). Vėsinimo procedūros metu kas 20 min. tiriamųjų buvo prašoma išlipti iš vonios ir 10 min. ilsėtis aplinkos temperatūroje. Ši „įlipimo ir išlipimo“ procedūra buvo kartojama tol, kol tiriamųjų  $T_{re}$  pasiekdavo 35,5 °C arba baigdavosi maksimalus 170 min. laikas (maksimalus panardinimo į šaltą vandenį laikas – 120 min.). Visos procedūros metu kas 5 min. buvo registruojama  $T_{re}$  ir subjektyvūs pojūčiai. Kiekvieno panardinimo metu buvo registruojami ankščiau minėti kvėpavimo ciklo dujų apykaitos rodikliai. Iš karto po pasyvios vėsinimo procedūros buvo paimami kraujo mėginiai ir pamatuota  $T_{re}$ ,  $T_{oda}$ ,  $T_{raum}$ . Tada tiriamieji atliko kognityviosios funkcijos testus, po kurių buvo įvertintos motorinės funkcijos (žr. skyrelį „Kontrolinė eksperimento dalis“).



*1 pav. Pirmo eksperimento protokolas. Kraujo mėginių paėmimas (KĖ), raumens temperatūra ( $T_{raum}$ ), kognityviosios funkcijos testavimas (KF), neuroraumeninės funkcijos vertinimas (NR)*

## 2.2. Antro eksperimento organizavimas

Antras eksperimentas (dvi strategijos reaguojant į aštrų šalčio stimulą, bet bendra strategija reaguojant į karščio stimulą) buvo atliktas siekiant patikrinti antrą hipotezę.

*Kontrolinė eksperimento dalis.* Tokia pati, kaip ir pirmo tyrimo (žr. *Pirmo eksperimento organizavimas, kontrolinė eksperimento dalis*).

*Pasyvaus kūno šildymo eksperimento dalis.* Po kognityviosios funkcijos testavimo ir motorinės funkcijos vertinimo tiriamieji pradėdavo pasyvaus šildymo procedūrą (2 pav.). Tiriamieji buvo sodinami į vonią, pripildytą 43–44 °C temperatūros vandens, iki juosmens. Procedūra buvo tęsiama, kol  $T_{re}$  pasiekdavo 39,5 °C. Visos procedūros metu buvo registruojami jau minėti kvėpavimo ciklo dujų apykaitos rodikliai, kas 5 min. buvo registruojama  $T_{re}$  ir subjektyvūs pojūčiai. Iš karto po pasyvaus šildymo procedūros tiriamieji buvo sausai nušluostomi, paimami kraujo mėginiai ir pamatuota  $T_{re}$ ,  $T_{oda}$ ,  $T_{raum}$ . Tada tiriamieji atliko kognityviosios funkcijos testus, po kurių buvo įvertinamos motorinės funkcijos (žr. *Pirmo tyrimo organizavimas, kontrolinė eksperimento dalis*).



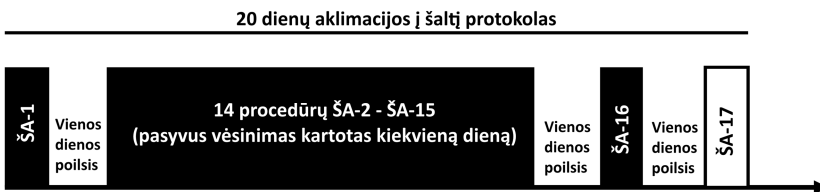
**2 pav.** Antro eksperimento protokolas. Kraujo mėginių paėmimas (KĖ), raumens temperatūra ( $T_{raum}$ ), kognityviosios funkcijos testavimas (KF), neuromaeninginės funkcijos vertinimas (NR)

### 2.3. Trečio eksperimento organizavimas

Trečias eksperimentas (žmonių psichologinio ir fiziologinio atsako kinetika atliekant 20 dienų aštraus šalčio aklimacijos programą) atliktas siekiant patikrinti trečią hipotezę. Eksperimento metu buvo sukelta viso kūno ŠA ir ištirta, kaip kiekvieną dieną kito fiziologinių ir psichologinių žymenų kinetika. Ją sudarė 17 kontroliuojamų panardinimų iki pečių juostos į  $14^{\circ}\text{C}$  vandenį per 20 dienų (ŠA-1 iki ŠA-17 imtinai žymi konkrečią ŠA programos dieną (t. y., kol  $T_{re}$  pasiekdavo  $35,5^{\circ}\text{C}$  ar kol baigdavosi 170 min. procedūros laikas; ŠA-17 procedūros metu tiriamieji buvo nardinami į vandenį tokiam pat laikui, kokį išbuvo pirmos ŠA-1 procedūros metu). Tyrimo protokolas pateiktas 3 pav.

*Kontrolinė eksperimento dalis.* Procedūrų metu buvo taikyta ŠA-1, ŠA-16 ir ŠA-17 (žr. *Pirmo tyrimo organizavimas, kontrolinė eksperimento dalis*) (nebuvo taikomi kognityviosios ir motorinės funkcijų testavimai). Tarp ŠA-1, ŠA-16 ir ŠA-17 procedūrų buvo daroma vienos dienos pertrauka.

*Pasyvaus kūno vėsinimo eksperimento dalis.* Buvo taikyta visų 17 atėjimų metu (ŠA-1 – ŠA-17) (žr. *Pirmo tyrimo organizavimas, pasyvaus kūno vėsinimo eksperimento dalis*).



**3 pav.** Trečio eksperimento protokolas. 20 dienų aklimacijos šalčiui (ŠA) protokolas – 17 panardinimų iki pečių juostos į šaltą vandenį (ŠA-1 iki ŠA-17)

### 3. REZULTATAI

Skirtingų grupių vyrų amžius, ūgis, svoris, kūno masės indeksas (KMI), kūno paviršiaus plotas ir poodinis riebalų kiekis reikšmingai nesiskyrė ( $p < 0,05$ ) (1 lentelė).

1 lentelė. Tiriamųjų charakteristika

	I ir II		III
	eksperimentas		eksperimentas
Imtis, n	GŠ 20	LŠ 20	14
Amžius, m.	21,2 ± 1,1	22,3 ± 1,7	21,6 ± 0,5
Ūgis, cm	184,0 ± 5,1	183,3 ± 5,8	181,9 ± 1,7
Kūno masė, kg	77,5 ± 5,9	79,1 ± 8,3	79,3 ± 1,9
Kūno paviršiaus plotas, m <sup>2</sup>	2,02 ± 0,03	2,00 ± 0,01	2,0 ± 0,03
Poodinis riebalų kiekis, mm	10,4 ± 2,9	11,8 ± 4,1	9,0 ± 0,6
Kūno riebalų kiekis, %	22,8 ± 3,1	21,6 ± 3,9	19,2 ± 1,5
KMI	14,6 ± 4,2	16,9 ± 5,5	20,7 ± 1,3

Pastaba. GŠ – greitai šalančiųjų grupė; LŠ – lėtai šalančiųjų grupė.  
Vidurkių standartinė paklaida ± SD.

#### 3.1. Pirmo eksperimento rezultatai

##### 3.1.1. Vėsinimo poveikis temperatūros rodikliams

Po viso kūno vėsinimo reikšmingai sumažėjo ( $p < 0,05$ ) tiek GŠ, tiek LŠ tiriamųjų  $T_{re}$ ,  $T_{oda}$  ir  $T_{raum}$ , lyginant su pradinėmis pasyvaus kūno vėsinimo eksperimento reikšmėmis. GŠ laikas, kol kūnas atvėso nuo  $T_{re}$   $37,0 \pm 0,3$  °C prieš vėsinimą iki  $35,5$  °C ( $p < 0,001$ ), buvo  $96,3 \pm 37,7$  min., o LŠ laikas, kol kūnas atvėso nuo  $T_{re}$   $37,1 \pm 0,2$  °C prieš vėsinimą iki  $36,2$  °C ( $p < 0,001$ ) – 170 min.

##### 3.1.2. Vėsinimo poveikis kognityviajai funkcijai

Po viso kūno vėsinimo testą *lyginis / nelyginis* reikšmingai ilgiau ( $p < 0,001$ ) atliko ir GŠ, ir LŠ (2 lentelė), tačiau reikšmingo skirtumo tarp grupių nebuvo. Viso kūno vėsinimas nepaveikė nė vienos grupės tiriamųjų skaičių sekos kartojimo ir vizualaus atpažinimo testų rezultatų.

**2 lentelė. Kognityvioji funkcija prieš viso kūno vėsinimą ir po jo**

	GŠ		LŠ	
	Prieš	Po	Prieš	Po
L/N, sek.	0,564 ± 0,047	0,662 ± 0,093*	0,586 ± 0,075	0,656 ± 0,091*
SSKT, vnt.	6,58 ± 0,073	6,31 ± 0,71	6,41 ± 0,52	6,07 ± 0,47
VAT, vnt.	7,5 ± 0,9	6,9 ± 1,3	7,6 ± 1,1	7,3 ± 0,9

*Pastaba.* \* –  $p < 0,05$ , palyginti su pradiniais rodikliais. GŠ – greitai šalančiųjų grupė; LŠ – lėtai šalančiųjų grupė; L/N – testas *lyginis / nelyginis*; SSKT – skaičių sekos kartojimo testas; VAT – vizualaus atpažinimo testas. Vidurkių standartinė paklaida ± SD.

### 3.1.3. Vėsinimo poveikis motorinei funkcijai

Stimuliavimo elektra sukelta jėga, MVJ, CAK ir PAL tarp GŠ ir LŠ reikšmingai nesiskyrė. Vėsinimas reikšmingai paveikė P100 ( $p < 0,001$ ), P1/P100 ( $p < 0,001$ ) ir PAL ( $p < 0,001$ ), tačiau reikšmingo šių kintamųjų pokyčio tarp GŠ ir LŠ rodiklių nebuvo nustatyta (3 lentelė).

**3 lentelė. Motorinė funkcija prieš viso kūno šaldymą ir po jo**

	GŠ		LŠ	
	Prieš	Po	Prieš	Po
MVJ, Nm	148,8 ± 34,2	135,6 ± 33,1	168,8 ± 43,8	161,6 ± 34,1
CAK, %	99,4 ± 1,6	99,9 ± 0,5	99,6 ± 1,6	99,5 ± 1,2
P1, Nm	16,5 ± 5,8	17,1 ± 6,1	20,1 ± 5,8	19,5 ± 4,8
P20, Nm	86,4 ± 25,4	81,4 ± 22,2	96,1 ± 23,3	90,4 ± 19,5
P100, Nm	97,8 ± 27,1	79,8 ± 24,6*	106,5 ± 28,2	87,7 ± 21,4*
P1/P100, %	16,7 ± 2,4	21,4 ± 3,2*	19,1 ± 3,1	23,5 ± 3,4*
PAL, ms	97,2 ± 14,4	123,3 ± 20,2*	96,1 ± 18,4	135,1 ± 40,2*

*Pastaba.* \* –  $p < 0,05$ , palyginti su pradiniais rodikliais. GŠ – greitai šalančiųjų grupė; LŠ – lėtai šalančiųjų grupė; MVJ – maksimalioji valinga jėga; CAR – centrinės aktyvacijos koeficientas; P1, P20, P100 – 1, 20, 100 Hz elektros stimulai; P1/P100 – 1/100 Hz santykis; PAL – pusės atsipalaidavimo laikas. Vidurkių standartinė paklaida ± SD.



### 3.1.4. Vėsinimo poveikis neuroendokriniam ir imuniniam atsakui

Po vėsinimo leukocitų, neutrofilų, limfocitų ir monocitų koncentracijos pokyčiai buvo reikšmingi tik LŠ grupėje ( $p < 0,001$ ) (4 lentelė). Kortizolio, kortikosterono, epinefrino ir norepinefrino koncentracija po vėsinimo procedūros reikšmingai padidėjo, tačiau reikšmingo šių biologinių žymenų pokyčio tarp GŠ ir LŠ rodiklių nebuvo nustatyta ( $p < 0,05$ ). IL-6 ir TNF- $\alpha$  koncentracija po vėsinimo nė vienoje iš grupių nepakito.

4 lentelė. Kraujo biologinių žymenų pokytis prieš vėsinimą ir po jo

	GŠ		LŠ	
	Prieš	Po	Prieš	Po
Leukocitai, $\times 10^9/L$	6,4 $\pm$ 1,1	7,9 $\pm$ 1,1	6,5 $\pm$ 0,96	11,9 $\pm$ 2,3*
Neutrofilai, %	50,0 $\pm$ 9,2	57,6 $\pm$ 8,3 <sup>#</sup>	47,8 $\pm$ 9,3	73,9 $\pm$ 5,6*
Limfocitai, %	35,8 $\pm$ 7,2	28,9 $\pm$ 6,3 <sup>#</sup>	39,7 $\pm$ 8,9	19,9 $\pm$ 7,6*
Monocitai, %	9,7 $\pm$ 3,1	10,2 $\pm$ 2,1 <sup>#</sup>	10,1 $\pm$ 1,8	6,9 $\pm$ 1,7*

Pastaba. \* –  $p < 0,05$ , palyginti su pradiniais rodikliais; <sup>#</sup> –  $p < 0,05$  tarp GŠ ir LŠ rodiklių. Vidurkių standartinė paklaida  $\pm$  SD.

## 3.2. Antro eksperimento rezultatai

### 3.2.1. Šildymo poveikis temperatūros rodikliams

Pasyvaus šildymo procedūros metu GŠ laikas, kol kūno temperatūra padidėjo nuo pradinės  $T_{re}$  37,1  $\pm$  0,2  $^{\circ}C$  iki 39,5  $^{\circ}C$  šildymo procedūros pabaigoje, truko 63,7  $\pm$  22,4 min., o LŠ nuo  $T_{re}$  37,1  $\pm$  0,3  $^{\circ}C$  prieš šildymą iki 39,5  $^{\circ}C$  po jo – 67,2  $\pm$  13,8 min. ( $p > 0,05$  tarp grupių). GŠ  $T_{raum}$  padidėjo 3,5  $\pm$  0,75  $^{\circ}C$  nuo 36,8  $\pm$  0,54  $^{\circ}C$  ( $p < 0,001$ ). LŠ  $T_{raum}$  padidėjo 3,8  $\pm$  0,75  $^{\circ}C$  nuo 36,4  $\pm$  0,64  $^{\circ}C$  ( $p < 0,001$ ;  $p > 0,05$  tarp grupių). GŠ  $T_{oda}$  šildymo metu padidėjo 4,4  $\pm$  1,2  $^{\circ}C$  nuo 31,9  $\pm$  0,66  $^{\circ}C$  ( $p < 0,001$ ). LŠ  $T_{oda}$  padidėjo 4,1  $\pm$  1,3  $^{\circ}C$  nuo 32,2  $\pm$  1,1  $^{\circ}C$  ( $p < 0,001$ ;  $p > 0,05$  tarp grupių).

### 3.2.2. Šildymo poveikis kognityviajai funkcijai

Kūno šildymas nepaveikė nė vienos grupės tiriamųjų kognityviosios funkcijos ( $p > 0,05$ ) (5 lentelė).

**5 lentelė. Kognityvioji funkcija prieš viso kūno šildymą ir po jo**

	GŠ		LŠ	
	Prieš	Po	Prieš	Po
L/N, sek.	0,564 ± 0,047	0,554 ± 0,053	0,586 ± 0,075	0,593 ± 0,075
SSKT, vnt.	6,58 ± 0,073	6,55 ± 0,77	6,41 ± 0,52	6,4 ± 0,59
VAT, vnt.	7,5 ± 0,9	7,7 ± 1,3	7,6 ± 1,1	7,1 ± 1,9

*Pastaba.* \* –  $p < 0,05$ , palyginti su pradiniais rodikliais. GŠ – greitai šalančiųjų grupė; LŠ – lėtai šalančiųjų grupė; L/N – testas *lyginis / nelyginis*; SSKT – skaičių sekos kartojimo testas; VAT – vizualaus atpažinimo testas. Vidurkių standartinė paklaida ± SD.

**3.2.3. Šildymo poveikis motorinei funkcijai**

Stimuliavimo elektra sukelta jėga, MVJ, CAK, P1, P20, P100, P1/P100 ir PAL tarp GŠ ir LŠ grupių reikšmingai nesiskyrė.

**3.2.4. Šildymo poveikis neuroendokrininiam ir imuniniam atsakui**

Kortizolio, kortikosterono, epinefrino ir norepinefrino koncentracija po šildymo procedūros padidėjo reikšmingai ( $p < 0,05$ ), tačiau reikšmingo šių kintamųjų pokyčio tarp GŠ ir LŠ nebuvo nustatyta (6 lentelė). Neutrofilų, limfocitų, monocitų IL-6 ir TNF- $\alpha$  koncentracija po šildymo reikšmingai nepakito nė vienoje grupėje.

**6 lentelė. Kraujo biologinių žymenų pokytis prieš vėsinimą ir po jo**

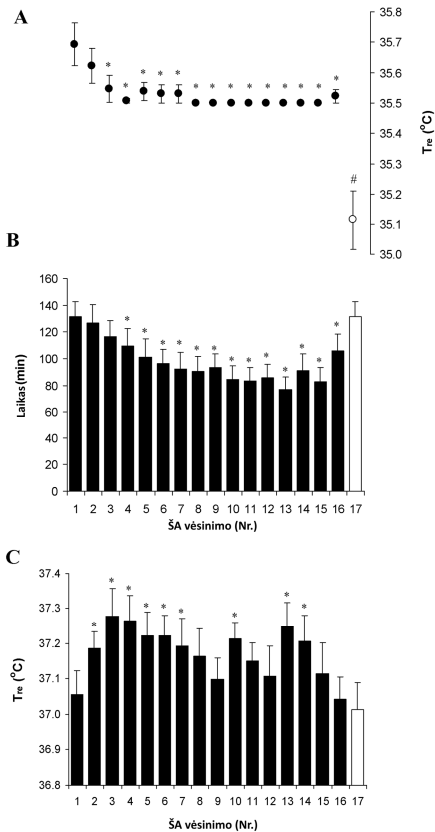
	GŠ		LŠ	
	Prieš	Po	Prieš	Po
COR, nmol/l	467,9 ± 85,3	672,3 ± 100,7*	476,9 ± 82,3	679,8 ± 87,4*
CORT, nmol/l	47,9 ± 40,2	84,1 ± 50,2*	47,8 ± 21,7	69,5 ± 27,9*
EPI, ng/ml	2,28 ± 1,6	4,4 ± 6,1*	1,85 ± 1,25	4,7 ± 4,6*
NE, ng/ml	6,73 ± 3,54	17,1 ± 8,2*	5,78 ± 2,88	15,9 ± 7,7*

*Pastaba.* \* –  $p < 0,05$ , palyginti su pradiniais rodikliais. GŠ – greitai šalančiųjų grupė; LŠ – lėtai šalančiųjų grupė; COR – kortizolis; CORT – kortikosteronas; EPI – epinefrinas; NE – norepinefrinas. Vidurkių standartinė paklaida ± SD.

### 3.3. Trečio eksperimento rezultatai

#### 3.3.1. ŠA poveikis kūno temperatūros rodikliams ir vėsimui trukmei

Eksperimento metu naudotas ŠA protokolais reikšmingai sumažino visų tiriamųjų  $T_{re}$ ,  $T_{oda}$  ir  $T_{raum}$  ( $p < 0,001$ , palyginti su rodikliais prieš vėsinimą ir po jo) (7 lentelė). Ribinę temperatūrą  $T_{re}$  35,5 °C, iki kurios buvo tęsiama vėsinimo procedūra, visi tiriamieji pasiekė jau ŠA-4 vėsinimo metu ( $p < 0,001$ , lyginant ŠA-1 ir ŠA-4), vėliau, iki pat ŠA protokolo pabaigos, ši reikšmė nesikeitė ( $p > 0,05$ ; lyginant ŠA-4 su ŠA-5 ir ŠA-17). Vėsimas laikas, kol  $T_{re}$  pasiekdavo 35,5 °C, sutrumpėjo reikšmingai, lyginant ŠA-4 iki ŠA-16 su pirmuoju panardinimu į šaltą vandenį ŠA-1 ( $p < 0,001$ ; 4 pav.).



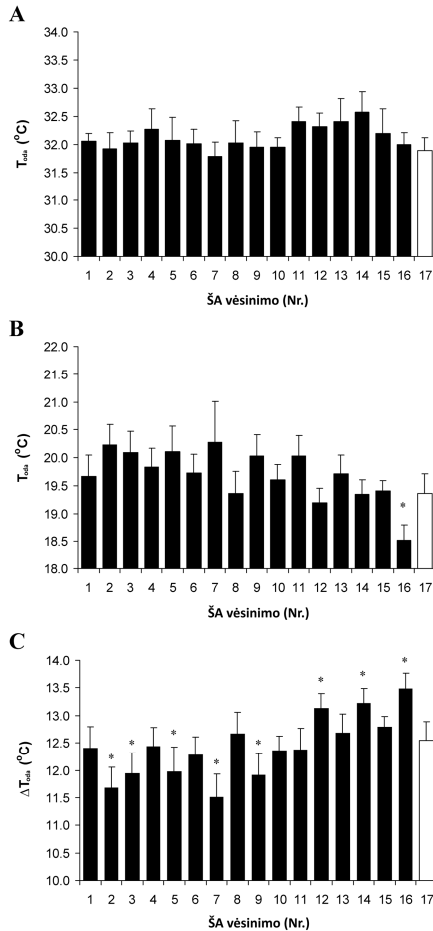
*Pastaba.* \* –  $p < 0,05$ , palyginti su ŠA-1.

Aritmetinio vidurkio reprezentacijos paklaida  $\pm$  SEM.

4 pav. Vėsimas laikas (B) ir  $T_{re}$  pokytis prieš ŠA (C) ir po jo (A)

Iki ŠA-13  $T_{re}$  kritimo koeficientas didėjo nuosekliai ( $p < 0,001$ ;  $0,014 \pm 0,003 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  ir  $0,027 \pm 0,003 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  tarp ŠA-1 ir ŠA-13), vėliau sumažėjo, bet nepasiekė priešaklimacinio lygio ( $p < 0,05$ , lyginant ŠA-1 su ŠA-16 ir ŠA-17) (4 pav.).

Po vėsinimo procedūros reikšmingai didesnis  $T_{odos}$  sumažėjimas buvo stebimas tik ŠA-16 vėsinimo metu ( $p < 0,05$ ;  $19,0 \pm 0,4$  ir  $18,3 \pm 0,3$  tarp ŠA-1 ir ŠA-16) (5 pav., 7 lentelė).



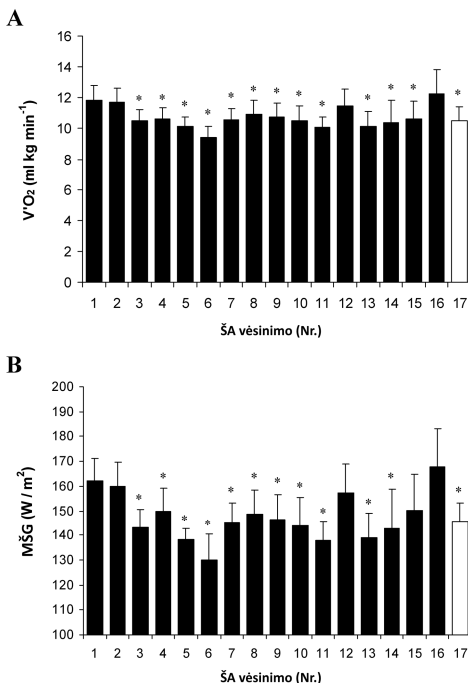
*Pastaba.* \* –  $p < 0,05$ , palyginti su ŠA-1.  
Aritmetinio vidurkio reprezentacijos paklaida  $\pm$  SEM.

**5 pav.** Odos temperatūra po vėsinimo (ŠA metu)

$T_{\text{raum}}$  pokyčiai prieš vėsinimo procedūrą ir po jos buvo reikšmingai didesni ŠA-17 nei ŠA-1 ir ŠA-16 metu ( $p < 0,05$ ) (7 lentelė).

### 3.3.2. ŠA poveikis šalčio šoko rodikliams

Viso ŠA protokolo metu  $VO_2$  bei MŠG reikšmingai sumažėjo pirmų šešių vėsinimų metu ir žemiausias reikšmes pasiekė ŠA-6 vėsinimo metu ( $p < 0,05$ , palyginti su ŠA-1) (6 pav.). Iškart po to minėti rodikliai reikšmingai padidėjo ( $p < 0,05$ , lyginant ŠA-6 su ŠA-7 iki ŠA-17).  $VO_2$  ir MŠG grįžo į pradines priešaklimacines reikšmes ( $p < 0,05$ , lyginant ŠA-1 su ŠA-16). Panardinus tiriamuosius tokiam pat laikui, koks buvo ŠA-1 vėsinimo metu, sumažėjo  $VO_2$ , MŠG ir šalčio šokas ( $p < 0,05$ , lyginant ŠA-1 su ŠA-17).



*Pastaba.* \* –  $p < 0,05$ , palyginti su ŠA-1.

Aritmetinio vidurkio reprezentacijos paklaida  $\pm$  SEM.

**6 pav.**  $VO_2$  (A) ir metabolinė šilumos gamyba (MŠG) (B) ŠA metu

7 lentelė. Kūno temperatūra, širdies susitraukimų dažnis, metabolinė šilumos gamyba, deguonies suvartojimas ir šaltčio streso indeksas prieš ŠA-1, ŠA-16 ir ŠA-17 vėsinimus ir po jų

	ŠA-1 vėsinimas			ŠA-16 vėsinimas			ŠA-17 vėsinimas		
	Prieš	Po	Δ	Prieš	Po	Δ	Prieš	Po	Δ
T <sub>re</sub> (°C)	36,6 ± 0,1	30,6 ± 0,7*	-5,9 ± 0,8	36,4 ± 0,1	30,6 ± 0,4*	-5,8 ± 0,4	36,3 ± 0,1	29,9 ± 0,5*†	-6,4 ± 0,5†
T <sub>re</sub> (°C)	37,0 ± 0,1	35,7 ± 0,1*	-1,4 ± 0,1	37,0 ± 0,1	35,52 ± 0,02*#	-1,5 ± 0,1	37,0 ± 0,1	35,1 ± 0,1*#†	-1,9 ± 0,1†
T <sub>eda</sub> (°C)	32,1 ± 0,2	19,0 ± 0,4*	-13,1 ± 0,5	32,1 ± 0,1	18,3 ± 0,3*#	-13,8 ± 0,3	32,0 ± 0,1	19,5 ± 0,4*†	-12,5 ± 0,5
ŠSD (karta/min <sup>-1</sup> )	65,1 ± 2,4	84,1 ± 5,1*	18,9 ± 3,9	63,8 ± 2,9	81,0 ± 3,0*	17,2 ± 3,2	62,8 ± 2,3	78,0 ± 2,7*	15,2 ± 2,4#
MŠG (Wm <sup>2</sup> )	38,7 ± 3,6	162,2 ± 8,9*	123,5 ± 10,2	52,3 ± 1,3#	167,8 ± 15,3*	115,5 ± 15,1	49,1 ± 3,0#	145,5 ± 7,7*†	96,4 ± 7,7†
VO <sub>2</sub> (ml/kg/min <sup>-1</sup> )	2,6 ± 0,3	11,9 ± 0,9*	9,0 ± 1,0	3,5 ± 0,2#	12,3 ± 1,5*	8,5 ± 1,4	3,4 ± 0,2#	10,5 ± 0,9*†	6,9 ± 0,8#†
ŠSI		5,9 ± 0,4			7,0 ± 0,4#			7,9 ± 0,5#†	

Pastaba. \* – p < 0,05, palyginti su rodikliais prieš vėsinimą; # – p < 0,05, palyginti su ŠA-1; † – p < 0,05, palyginti su ŠA-16. Aritmetinio vidurkio reprezentacijos paklaida ± SEM.

### 3.3.3. ŠA poveikis ŠSI ir kraujo biologiniams žymenims

ŠSI ŠA-1, ŠA-16 ir ŠA-17 vėsinimų metu buvo atitinkamai  $5,9 \pm 0,4$ ;  $7,0 \pm 0,4$  ir  $7,9 \pm 0,5$  ( $p < 0,05$ , lyginant rodiklius tarp vėsinimų) (8 lentelė). Panardinimas į šaltą vandenį ŠA-1 vėsinimo metu reikšmingai paveikė visus kraujo biologinius žymenis ( $p < 0,05$ , lyginant reikšmes prieš vėsinimą su reikšmėmis po vėsinimo) (8 lentelė). ŠA-16 ir ŠA-17 vėsinimų metu (matuojant prieš vėsinimą ir po jo) kortizolio ir epinefrino koncentracija, leukocitų, neutrofilų, limfocitų ir monocitų kiekis reikšmingai nesiskyrė ( $p > 0,05$ ). Reikšmingai didesnis norepinefrino lygis plazmoje po vėsinimo procedūros buvo ŠA-1, palyginti su ŠA-16 ar ŠA-17 ( $p < 0,05$ ).

8 lentelė. Kraujo kintamieji prieš ŠA-1, ŠA-16 ir ŠA-17 vėsinimo procedūras ir po jų

	ŠA-1 vėsinimas			ŠA-16 vėsinimas			ŠA-17 vėsinimas		
	Prieš	Po	Δ	Prieš	Po	Δ	Prieš	Po	Δ
NE, ng/ml	6,7 ± 1,4	41,1 ± 7,9*	34,3 ± 8,8	9,3 ± 0,9 <sup>#</sup>	36,0 ± 6,7*	26,7 ± 6,0 <sup>#</sup>	9,2 ± 0,7 <sup>#</sup>	31,0 ± 6,7*	21,8 ± 6,2 <sup>#</sup>
EPI, ng/ml	1,6 ± 0,4	4,6 ± 1,1*	3,0 ± 1,2	2,9 ± 1,0	2,9 ± 1,1	-0,1 ± 1,7 <sup>#</sup>	2,8 ± 1,0	2,4 ± 0,7	-0,5 ± 1,6 <sup>#</sup>
Kortizolis, nmol/l	587,2 ± 27,4	622,3 ± 22,3*	34,3 ± 14,5	546,6 ± 29,3 <sup>#</sup>	525,2 ± 25,1 <sup>#</sup>	-21,3 ± 15,5 <sup>#</sup>	539,2 ± 29,3 <sup>#</sup>	543,4 ± 33,4 <sup>#</sup>	4,2 ± 2,3 <sup>#</sup>
Leukocitai, ×10 <sup>9</sup> /L	6,2 ± 0,5	11,1 ± 1,6*	4,8 ± 1,4	6,4 ± 0,6	7,5 ± 0,9	1,1 ± 0,3 <sup>#</sup>	6,3 ± 0,4	8,0 ± 1,3	1,7 ± 1,4 <sup>#</sup>
Neutrofilai, %	50,8 ± 4,6	72,0 ± 5,3*	21,1 ± 1,7	52,1 ± 4,3	61,9 ± 3,5	9,8 ± 1,9 <sup>#</sup>	51,6 ± 4,4	62,1 ± 4,7	10,6 ± 1,5 <sup>#</sup>
Limfocitai, %	36,9 ± 4,5	19,8 ± 4,5*	-17,1 ± 1,6	35,4 ± 4,3	28,1 ± 3,1	-7,3 ± 2,0 <sup>#</sup>	36,1 ± 4,4	27,4 ± 3,5	-8,7 ± 1,2 <sup>#</sup>
Monocitai, %	9,1 ± 0,5	7,2 ± 1,1*	-1,9 ± 1,0	9,7 ± 0,6	8,6 ± 0,6	-1,1 ± 0,3 <sup>#</sup>	9,5 ± 0,6	8,7 ± 1,0	-0,8 ± 0,2 <sup>#</sup>

Pastaba. \* –  $p < 0,05$ , palyginti su rodikliais prieš vėsinimą; # –  $p < 0,05$ , palyginti su ŠA-1. EPI – epinefrinas; NE – norepinefrinas. Aritmetinio vidurkio reprezentacijos paklaida ± SEM.



# IŠVADOS

1. Tiriamieji pagal įgimtą reakciją į šalčio stresą pasidalijo į dvi grupes – greitai šalančiųjų ir lėtai šalančiųjų. Greitai šalančiųjų grupės tiriamieji, palyginti su lėtai šalančiųjų grupės tiriamaisiais, patyrė labiau hipotermiņ-izoliaciniį, o lėtai šalančiųjų grupės tiriamieji, palyginti su greitai šalančiųjų grupės tiriamaisiais, patyrė labiau metaboliņ-izoliaciniį atsaką į šalčio stimulą. Nors greitai šalančiųjų grupės tiriamieji patyrė didesnį šalčio stresą, grupių neuroendokrininio atsako rodikliai nesiskyrė. Svarbu, kad grupės, kurios šalčio streso indeksas mažesnis, tiriamieji patyrė įgimos imuninės sistemos stimuliaciją ir specifinės imuninės sistemos slopinimą. Greitai ir lėtai šalančiųjų grupių tiriamųjų motorinės ir kognityviosios funkcijų atsakas į šalčio stresą nesiskyrė.

2. Greitai šalančiųjų grupės tiriamieji patyrė didesnį aštraus šalčio stimulo sukeltą stresą po pasyvaus viso kūno šildymo (iki rektalinė temperatūra pasiekė 39,5°C) nei lėtai šalančiųjų grupės tiriamieji. Greitai ir lėtai šalančiųjų grupių tiriamųjų simpatinės antinksčių šerdies ir pogumburio-hipofizės-antinksčių žievės ašių biologinių žymenų koncentracija nesiskyrė. Tai rodo, kad abi grupės patyrė panašų neuroendokrininį stresą. Karštis nepaveikė įgimos ir specifinės imuninių sistemų, motorinės ir kognityviosios funkcijų, tačiau centrinis nuovargis po šildymo per 1 min. maksimaliosios valingos jėgos testą padidėjo abejose grupėse.

3. Tiriamieji aklimacijos šalčiui programos metu patyrė perėjimą iš periferinės-centrinės termoreguliacijos į centrinę ir iš drebėjimo termogenezės į nedrebėjimo. Priešingai mūsų lūkesčiams, atliekant aklimacijos šalčiui programą, pirmų šešių procedūrų metu pasireiškė hipotermiņis aklimacijos tipas. Vėliau jį (nuo 7-tos aklimacijos šalčiui programos dienos iki 16-tos dienos) pakeitė hipotermiņ-izoliaciniņis tipas. Įdomu tai, kad 17-tą aklimacijos šalčiui programos dieną tiriamuosius panardinus į vandenį tokiam pat laikui, kaip ir 1-mą aklimacijos šalčiui programos dieną, pasireiškė hipotermiņis aklimacijos šalčiui tipas. Metaboliniņis termogenezės tipas buvo stebimas tik termoneutraliomis sąlygomis. Nors šalčio streso indeksas po aklimacijos šalčiui programos padidėjo, sumažėjo streso žymenų koncentracija. Aklimuotieji jautė mažesnį diskomfortą ir šalčio pojūtį. Sumažėjo įgimto imuniteto aktyvumas ir mažesniu laipsniu užslopintas specifinis imunitetas.

## ABSTRACT

From beginning of mankind, humans have been confronted to extreme temperature fluctuations and yet they have managed to survive. Several individual factors, such as age, sex, body composition, exercise, acute and chronic diet, genotype, fitness level, and health may modify the body's responses to cold (Launay, Savourey, 2009; Lupien et al., 2009). It is well known that exposure to an acute cold stress increases the levels of catecholamine (Shansky, Lipps, 2013; Morsella et al., 2009) and other stress hormones (Palmieri-Smith et al., 2007; LaVoy et al., 2011; Shansky, Lipps, 2013); impairs vigilance, overall mood (Lieberman et al., 2009), motor and cognitive performance (Roedinger et al., 2005; Drinkwater, 2008; Duncko et al., 2009; Lieberman et al., 2009; Brazaitis et al., 2010; Racinais, Oksa, 2010; Brazaitis et al., 2012); increases spinal reflex excitability (Dewhurst et al., 2005; Owen et al., 2005); and suppresses (LaVoy et al., 2011; Schwabe et al., 2012) or stimulates (Brenner et al., 1999; Tikuisis et al., 1999; Deng et al., 2003; Joëls et al., 2006) the immune system. These are physiological characteristics that are of critical importance for the survival, health, and well-being of humans who are exposed to occupational and/or recreational extreme-cold conditions.

In our first experiment we address the question of why some people have a greater chance of surviving and/or better resistance to cold related-injuries in prolonged exposure to acute cold environments than do others, despite similar physical characteristics. From our earlier experiments, we recognized that originally the humans with similar physical characteristics can response to cold differently: those whose rectal temperature ( $T_{re}$ ) decreased to the set point of  $35.5^{\circ}\text{C}$  before the end of the 170-min cooling time (fast cooling (FC)) and those who's  $T_{re}$  did not decrease to the set point of  $35.5^{\circ}\text{C}$  before the end of the 170-min cooling time (slow cooling (SC)). We reasoned (1 hypothesis) that during single  $14^{\circ}\text{C}$  CWI the FC group would therefore perceive greater cold stress, which would be reflected in larger increases in the cold strain index (CSI) and would have greater effects than SC on stress markers (cortisol, corticosterone, epinephrine (EPI) and norepinephrine (NE) concentrations), and in markers of immune function (neutrophils, leucocytes, lymphocytes, monocytes, interleukin 6 (IL-6) and tumour necrosis factor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) concentrations). We also expected that major cold stress induced by FC would have greater effects than SC on motor

(spinal reflexes, supraspinal reflexes and voluntary and electrically induced skeletal muscle contraction force) and cognitive (unpredictable task switching (executive function), the forward digit-span task (short term memory), and the forced-choice recognition memory test (short term spatial recognition) performance.

Also no one has explored the effects of heat stress (39.5°C increase in  $T_{re}$ ) on motor and cognitive performance, immune variables, and the HPA-axis and autonomic nervous system in young men who react differently (SC vs FC) in physiological mechanism response to cold stress. Here we hypothesized (2 hypothesis) that the reduced ability to perceive cold stress might be related to a deficiency in the response to heat stress. Heat stress contrasts with cold stress because heat stress does not require the body to produce heat through shivering and non-shivering mechanisms to maintain  $T_c$  (body insulation mechanisms). Instead, during heat stress, the excess heat must be removed effectively and heat production reduced. If the resistance mechanisms to cold and heat are antagonistic (van Marken Lichtenbelt et al., 2009), then one might expect that the SC group would perceive greater heat stress, as indicated by the physiological stress index (PSI), than the FC group and that heat stress would have greater effects on stress indicators, such as cortisol, EPI, and NE levels, and immunity in the SC group. We also expected that greater induced heat stress would have greater effects in the SC group than in the FC group on motor (skeletal muscle, spinal reflexes, supraspinal reflexes, and voluntary contraction force) and cognitive performance. Alternatively, we hypothesized that resistance to cold and resistance to heat are controlled by different and independent mechanisms, which do not suppress one another. If so, we would expect to find no difference in the response to hyperthermia between the FC and SC groups.

Whole-body adaptation to cold in humans can be expressed differently, as indicated by the development of the metabolic, hypothermic or insulative type of acclimation (induced experimentally) or acclimatization (induced naturally) (Hammel, 1962; Young et al., 1986; Bittel, 1992; Vybiral et al., 2000; Taylor, 2006; Launay, Savourey, 2009; Makinen, 2009). The existence of insulative-hypothermic (Scholander et al., 1958; Young et al., 1986; Launay, Savourey, 2009; Makinen, 2009) or metabolic-insulative (Bittel, 1992; Makinen, 2009) subtypes is sometimes evident as well. More than four decades ago, S. Skreslet, F. Aarefjord (1968) suggested that the different types of cold acclimation (CA) do not represent mutually exclusive

physiological states; rather, they are different successive stages of the development of complete cold adaptation. We hypothesized (3 hypothesis), that the day-to-day time course of physiological responses during CA (17 controlled head-out water immersions at a temperature of 14 °C over 20 days) is expressed as a transitional shift from shivering thermogenesis (ST) to non-shivering thermogenesis (NST), from the development of metabolic to hypothermic to insulative pattern of acclimation and from peripheral-to-central to central temperature input thermoregulation. We also expect that chronic cold stress will yield a greater activation of the specific, rather than the innate, immune system (Dhabhar et al., 1995, 2009; Leon, Helwig, 2010). Moreover, a greater amount of white adipose tissue (as indicated by body mass index (BMI) and subcutaneous fat thickness) in the subjects after acclimation will show a lesser (i.e., more blunted) increase in NST (van Marken Lichtenbelt et al., 2009; Ouellet et al., 2012) after CA.

### **The aim of the research**

The aim of the research was to determine innate and adaptive response to cold stress on physiological and psychological characteristics in humans.

### **Research objectives:**

1. To investigate the effect of acute cold stress (intermittent 14 °C CWI) on physiological and psychological characteristics and their possible complex-interaction in two cold tolerance groups FC vs SC.
2. To compare the physiological and psychological responses to heat stress (immersed to the waistline to 43–44 °C water bath), between people who exhibited fast or slow cooling responses to 14 °C CWI.
3. To determine whether 17 head-out acute CWI over 20 days is sufficient to develop CA by remodelling proportional changes in the development of metabolic versus hypothermic versus insulative patterns of physiological response.

### **Originality, novelty and practical significance of the research**

This is the first experiment that indicate a difference in responses of motor and cognitive performance, markers of stress, and immune system between physically similar subjects who innately exhibited two different (innate) response strategies to single acute cold stress (i.e., 14 °C CWI). Also no one has explored the effects of heat stress (i.e., 43–44 °C HWI), on those two groups (FC vs SC). In general we have found,

that humans have similar chances of risk to get heat exhaustion, heat stroke and to be overheated in hot environment, despite of their different reaction to cold stress.

In most studies, the researchers explore only the pre- and post-effects of CA. Because of this it is possible to find many research publications with contradictory results. In our third experiment, we used a day-to-day evaluation of three generally accepted physiological markers (i.e.,  $T_{sk}$ ,  $T_{re}$  and MHP) throughout whole-body CA. This allowed us to explore a day-to-day transitional change of three general patterns of the CA, which we believe was studied here for the first time.

Better understanding how humans innately and adaptively reacting to the acute cold stress is of critical importance for the survival, health and well-being of humans who are exposed to occupational (military, industry, clinic and sports) or recreational (swimming, skiing, diving) extreme temperature conditions. Also it should help updating, occupational health care and safety guidance for work, sporting and recreational events in hot and cold conditions. The information may also be utilized for developing monitoring systems predicting accidental hypothermia and hyperthermia hazards. We hope that our findings will help to make a deeper understanding about the human innate and adaptive thermoregulation and will serve as the foundation for new discoveries.

### **Conclusions:**

1. First experiment reports that humans according to the innate reaction to acute cold stimulus could be divided in to two groups (fast-cooling and slow-cooling) despite their similar physical characteristics. The response of the fast-cooling group to cooling vs the slow-cooling group response was more likely an insulative–hypothermic response and that the slow-cooling vs the fast-cooling group displayed a metabolic-insulative response. Despite the larger cold strain index in the fast-cooling group the changes in stress markers did not differ between groups. The most important finding is that subjects with a lower cold strain index showed stimulation of some markers of innate immunity and suppression of markers of specific immunity. However, contrary to our expectation, motor and cognitive performance response to cold stress did not differed between the fast-cooling and slow-cooling groups.

2. Second experiment reports that despite the greater cold strain index after acute cold exposure in subjects in the fast-cooling than in the

slow-cooling group, the changes in stress markers after passive body heating to a rectal temperature of 39.5 °C did not differ between the fast-cooling and slow-cooling groups. Heat stress did not change markers of innate and specific immunity. An interesting finding was that heat stress did not affect motor and cognitive function in either group, although central fatigue during 1-min maximal voluntary contraction increased after heat stress in both groups, but did not differ between groups.

3. As expected, the data obtained in third experiment, suggest that the subjects exhibited a thermoregulatory shift from peripheral-to-central input thermoregulation, as well as from shivering to non-shivering thermogenesis. Contrary to our expectation, in the first six, acclimation to cold sessions, a hypothermic type of acclimation was found; further acclimation to cold sessions (from seventh acclimation to cold session to sixteenth) led to a transitional shift to a hypothermic–insulative type of acclimation. Interestingly, during the seventeenth acclimation to cold session when the subjects were immersed in water for the same time as that used in the first session, the acclimation to cold led to a hypothermic type of acclimation. Finally, the presence of a metabolic type of thermogenesis was evident only under thermo neutral conditions. Despite the fact that cold strain index was increased significantly after acclimation, cold-water immersion decreased the concentration of cold-stress markers, reduced the activity of the innate immune system, suppressed specific immunity to a lesser degree and yielded less discomfort and cold sensation.

## MOKSLINĖS PUBLIKACIJOS

### Mokslinės informacijos instituto duomenų bazės *ISI WEB of Science* leidiniuose, turinčiuose citavimo indeksą:

1. Brazaitis, Marius; Eimantas, Nerijus; Daniusevičiūtė, Laura; Barauskienė, Neringa; Skrodenienė, Erika; Skurvydas, Albertas (2014). Time Course of Physiological and Psychological Responses in Humans during a 20-Day Severe-Cold-Acclimation Programme. *PLoS One* 9 (4): e94698. doi: 10.1371/journal.pone.0094698. eCollection 2014.
2. Brazaitis, Marius; Eimantas, Nerijus; Daniusevičiūtė, Laura; Mickevičienė, Dalia; Steponavičiūtė, Rasa; Skurvydas, Albertas (2014). Two strategies for response to 14 °C cold-water immersion: is there a difference in the response of motor, cognitive, immune and stress markers? *PLoS One*. 2; 9 (9): e109020. doi: 10.1371/journal.pone.0109020. eCollection 2014.
3. Brazaitis, Marius; Eimantas, Nerijus; Daniusevičiūtė, Laura; Vitkauskienė, Astra; Paulauskas, Henrikas; Skurvydas, Albertas (2015). Two strategies for the acute response to cold exposure but one strategy for the response to heat stress. *International Journal of Hyperthermia*. 2015 Feb 24: 1–11.

### Kitos publikacijos

1. Eimantas, Nerijus; Brazaitis, Marius; Skurvydas, Albertas. Effect of cold acclimation on the neuromuscular function // *Current Issues and New Ideas in Sport Science* [elektroninis išteklius]: 5th Baltic Sport Science Conference: Abstracts, Kaunas, 18–19 April 2012. Kaunas: Lietuvos kūno kultūros akademija, 2012, ISBN 9786098040708. p. 60–61.
2. Eimantas, Nerijus; Brazaitis, Marius; Skurvydas, Albertas; Paulauskas, Henrikas; Barauskienė, Neringa; Valonytė, Laura. Two strategies for response to cold exposure in humans // *Acta Kinesiologiae Universitatis Tartuensis* = 7th Conference of Baltic Society of Sport Sciences: Abstracts, May 7–9, 2014, Tartu, Estonia. Tartu: University of Tartu. ISSN 1406-9822. 2014, vol. 20 (Supplement), p. 28.
3. Eimantas, Nerijus; Brazaitis, Marius; Skurvydas, Albertas; Mickevičienė, Dalia; Paulauskas, Henrikas; Barauskienė, Neringa;

Verbickas, Vaidas; Černych, Margarita [Cernych, Margarita]. The effect of acute heat stress on immune system and stress biomarkers, measured between two groups of subjects who originally exhibited two different response strategies to 14°C cold-water immersion // 8th Conference of Baltic Society of Sport Sciences “Sport Science for Sports Practice and Teacher’s Training”: Abstracts, April 22–24, 2015, Vilnius, Lithuania. Vilnius: Lietuvos edukologijos universitetas, 2015, ISBN 9789955209881. p. 29–30.

## **INFORMACIJA APIE DISERTANTĄ**

### **Išsilavinimas**

- |           |  |
|-----------|--|
| 1998–2002 | Taikomosios fizinės veiklos specialistas,<br>Lietuvos kūno kultūros institutas |
| 2002–2004 | Biologijos magistras (fiziologija),<br>Lietuvos kūno kultūros akademija        |
| 2010–2015 | Biologijos doktorantūra (fiziologija),<br>Lietuvos sporto universitetas        |

### **Darbo patirtis**

- |           |  |
|-----------|--|
| 2012–2013 | Laborantas, Lietuvos kūno kultūros akademija,<br>Fundamentaliųjų judesių ir klinikinių tyrimų<br>centras |
| nuo 2013  | Jaunesnysis mokslo darbuotojas, Lietuvos sporto<br>universitetas, Sporto mokslo ir inovacijų institutas  |