

Žmogaus raumens šaldymo ir šildymo įrenginys

R. Gudaitis, S. Tamulevičius

KTU Fizikinės elektronikos institutas,

Savanorių pr. 271, LT-50131 Kaunas, Lietuva, tel. +370 37 314423, el. p. sigitas.tamulevicius@ktu.lt

Įvadas

Šaldymo ir šildymo poveikis organizmui tyrinėjamas jau gana seniai. Kūno temperatūra yra vienas svarbiausių veiksnių, nuo kurių priklauso gyvūnų ir žmogaus organizmuose vykstantys fiziologiniai procesai. Krioterapija jau nuo seno naudojama gydyti uždegimams, vidaus organų, stuburo traumoms ir kitiems negalavimams [1]. Šildymo ir šaldymo poveikis plačiai naudojamas reabilitacijai. Įrodyta, kad gydymas šildymo priemonėmis padidina audinio tūsumą, elastingumą, sumažina sąnarių sustingimą, mažina skausmą, raumenų spazmus, pagreitina kraujo tekėjimą [2]. Pažymima išorinių ir giliųjų audinių hemodinamikos kaitos svarba ir patvirtinama, kad šalčio terapija sumažina skausmą, raumens spazmus. Tam naudojami įvairūs šalčio šaltiniai ir platus temperatūrų diapazonas [1, 3, 4].

Šiuolaikinei šalčio ir šilumos generatorių grupei priskiriami prietaisai, kurių naudojimas paremtas Peltjė (Peltier) elemento termoelektriniu efektu, – termoelektriniai moduliai (TEM). Elektros srovei tekant per N tipo ir B tipo bismuto telūrido sandūrą, pernešama šiluma. Keičiant srovės kryptį, keičiasi šilumos pernešimo kryptis. Naudojant šiuos prietaisus, galima pasiekti arba laikiną ir taškinį žemos temperatūros (iki -20°C) poveikį, arba ilgesnį palyginti žemos temperatūros (nuo $+4$ iki 0°C) poveikį [1].

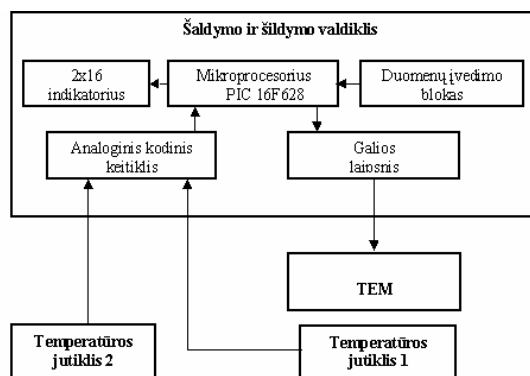
Vienas iš šaldymo ir šildymo įrenginio variantų jau buvo išbandytas KMU [5]. Šiame darbe pateikiamas konstruktyvus sprendimas, leidžiantis naudoti TEM žmogaus raumens šaldymo ir šildymo eksperimentams bei preliminarius skirtingų raumenų grupių šilumos sugėrimo vertinimus.

Įrenginio konstrukcija ir valdymas

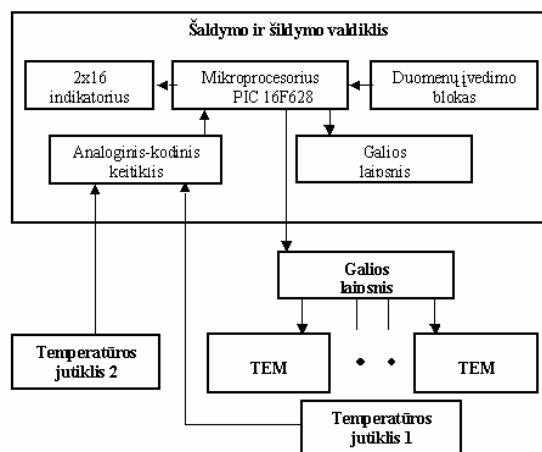
Šaldymo ir šildymo valdiklis gali tiesiogiai valdyti vieną TEM (1 pav.) arba, panaudojus papildomą galios laipsnį, du ir daugiau TEM (2 pav.).

Prietaiso pagrindas – mikroprocesorius 16F628. Jame įrašyta programa atlieka pagrindinę valdymo funkciją, pagal atitinkamus protokolus bendraudama su duomenų įvedimo bloku, 2x16 ženklų indikatoriumi, analoginiu kodiniu keitikliu. Po keletu matematinių skaičiavimų pagal PID (proportional, integral, derivative) funkciją duodamas TEM valdymo signalas. Vieno arba dviejų ir daugiau TEM

valdiklis yra tas pats. Tik antru atveju naudojamas išorinis galios laipsnis. Išorinį galios laipsnį sudaro TEM maitinimo šaltinis ir galingi lauko efekto tranzistoriai.



1 pav. Šaldymo ir šildymo valdiklio, valdančio vieną TEM, struktūrinė schema

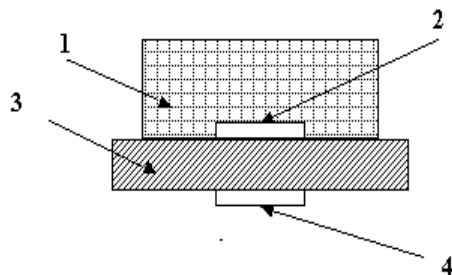


2 pav. Šaldymo ir šildymo valdiklio, valdančio du ir daugiau TEM, struktūrinė schema

Per duomenų įvedimo bloką įvedamas temperatūros, kurią reikia palaikyti, dydis ir laiko intervalas. Indikatorius rodo įvedamą temperatūrą ir laiką, o vėliau temperatūros palaikymo režimu – TEM ir papildomo temperatūros jutiklų temperatūras bei laiką. Analoginis kodinis keitiklis

keičia analoginius temperatūros jutiklių (PT100) signalus į skaitmeninius. Pirmas temperatūros jutiklis prijungtas prie TEM. Esant dviem ir daugiau TEM, tas pats jutiklis jungiamas prie bendros metalinės plokštės, jungiančios vienodas TEM plokštumas. Šio jutiklio pamatuota temperatūra rodoma indikatoriuje ir naudojama TEM valdymo signalui skaičiuoti. Antras jutiklis naudojamas vartotojo nuožiūra ir jo temperatūra taip pat rodoma indikatoriuje. Duomenų įvedimo blokas (rotary encoder) pasukimo apie savo ašį dydį verčia į impulsų skaičių, taip pat leidžia atpažinti sukimą prieš ir pagal laikrodžio rodyklę. Juo į mikroprocesorių įvedama temperatūra, kurią reikia palaikyti, ir laiko intervalas. 2x16 indikatorius yra procesorinis (HD44780) 32 ženklų informacijos išvedimo prietaisas. Galios laipsnyje panaudotas impulso pločio moduliatorius, kuriame TEM valdymo įtampa verčiama į kintamo pločio impulsus, kurie valdo galingą lauko tranzistorių.

3 pav. parodyta adapterio, kuriuo galima matuoti šilumos ir šalčio srautą, konstrukcija. Iš šilumos srauto dydžio galima spręsti apie raumens būseną. Toks srauto matavimo būdas, manoma, leistų apsieiti be temperatūros jutiklio, kuris paprastai yra įterpiamas į raumenį. Tokia procedūra yra skausminga ir kelia grėsmę sveikatai. Konstrukciškai prie apatinės TEM 1 dalies tiesiogiai montuojamas temperatūros jutiklis 2. Po juo eina šilumos izoliatorius 3, kurio žinomas šiluminio laidumo koeficientas. Po izoliatoriumi yra įmontuotas antras temperatūros jutiklis 4. Pirmasis jutiklis matuoja šildymo arba šaldymo temperatūrą, antrasis – odos temperatūrą poveikio zonoje. Izoliatorius 3 naudojamas energijos srautui matuoti.



3 pav. Adapterio konstrukcija šilumos srautui matuoti

Žinant izoliatoriaus parametrus ir pasinaudojant Furjė formule, galima skaičiuoti šilumos sugėrimo per izoliatorių į raumenį spartą (arba kitaip – raumens energijos sugėrimo spartą):

$$D = kA \frac{\Delta T}{\Delta x}; \quad (1)$$

čia D – šilumos sugėrimo sparta (J/s), k – šiluminio laidumo koeficientas ($J/s/m^2C$), A – plotas, per kurį registruojamas šilumos sugėrimas (m^2), ΔT – šalto ir šilto paviršiaus temperatūrų skirtumas ($^{\circ}C$), Δx – dielektriko storis (m).

Šilumos sugėrimas nustatomas tik nusistovėjus šiluminiam procesui, t.y. kai matuojamos temperatūros nustoja keistis. TEM 1 matmenys $100 \times 55 \text{ mm}^2$,

izoliatoriaus 3 storis – 1 mm, o jo šiluminio laidumo koeficientas $0,3 J/s/m^{\circ}C$.

Ekspirimentų rezultatai

Aprašytas įrenginys buvo naudotas atliekant eksperimentus su trimis raumenimis:

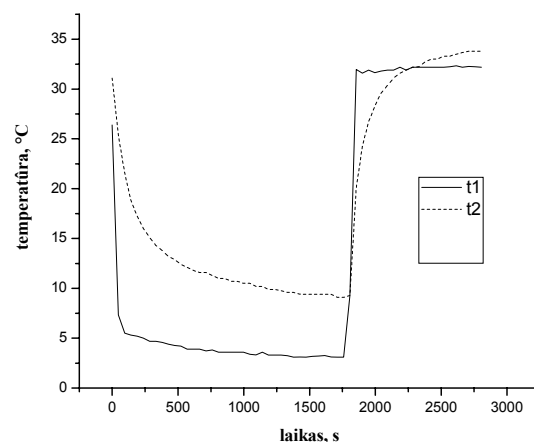
- šlaunies raumenu *biceps femoris*,
- blauzdos raumenu *gastrocnemius caput mediale*,
- rankos nykščio plokščiuoju raumenu *aductor pollicis*.

Šie raumenys yra skirtingo dydžio, todėl tikėtasi nustatyti skirtingus jų šiluminius parametrus. Eksperimentams naudotas 3 pav. parodytas adapteris. Jutikliais 2 ir 4 matuotos temperatūros paveiksluose pažymėtos atitinkamai t_1 ir t_2 . Naudoti keli šilumos ir šalčio poveikio būdai:

- 30 min šaldymas maksimalia galia + 15 min šildymas $32^{\circ}C$ temperatūroje,
- 30 min šildymas $45^{\circ}C$ temperatūroje + 15 min šaldymas $32^{\circ}C$ temperatūroje,
- ciklai: 100 s šaldymas maksimalia galia + 10 s šildymas maksimaliu srautu,
- ciklai: 100 s šildymas $45^{\circ}C$ temperatūroje + 10 s šaldymas maksimalia galia,
- ciklai: 200 s šildymas $45^{\circ}C$ temperatūroje + 200 s šaldymas maksimalia galia.

Ekspirimentų rezultatai, iliustruojantys įrenginio technines galimybes, pateikti grafiškai 4 – 8 pav.

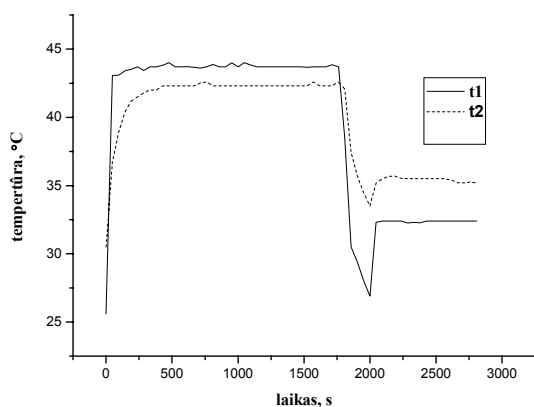
1. Tirtas kairės blauzdos raumuo *gastrocnemius caput mediale* (4 pav.). Raumuo 30 min šaldomas maksimalia galia, paskui 15 min šildomas $32^{\circ}C$ temperatūroje. Artėjant prie šaldymo pabaigos, temperatūros t_1 , t_2 nusistovi ir jų skirtumas yra $6^{\circ}C$. Tuo metu skaičiuota šilumos sugėrimo sparta $9,9 J/s$. Artėjant prie šildymo pabaigos, temperatūrų skirtumas yra $1,6^{\circ}C$, proceso pabaigoje šiluminis srautas pakeičia kryptį. Skaičiuota šilumos sugėrimo sparta $2,6 J/s$.



4 pav. Kairės blauzdos raumens 30 min maksimalus šaldymas, po to 15 min šildymas $32^{\circ}C$ temperatūroje

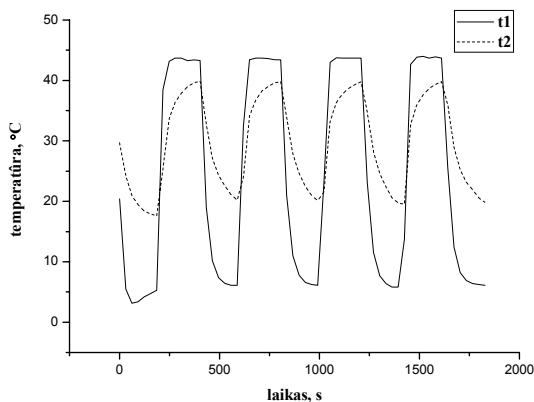
2. Tirtas dešinės šlaunies raumuo *biceps femoris* (5 pav.). Raumuo 30 min šildomas $45^{\circ}C$ temperatūroje, paskui 15 min šaldomas $32^{\circ}C$ temperatūroje. Artėjant prie

šildymo pabaigos, temperatūrų skirtumas yra 1,4 °C. Tuo metu skaičiuota šilumos sugėrimo sparta 2,3 J/s. Artėjant prie šaldymo pabaigos, temperatūrų skirtumas 2,8 °C. Tuo metu skaičiuota šilumos sugėrimo sparta 4,6 J/s.



5 pav. Dešinės šlaunies raumens 30 min šildymas 45 °C temperatūroje, paskui 15 min šaldymas 32 °C temperatūroje

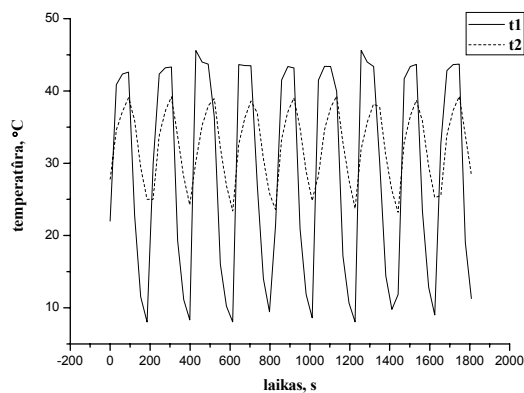
3. Tirtas rankos nykščio plokščiasis raumuo *aductor pollicis* (6 pav.). Raumuo cikliškai 200 s šaldomas maksimaliu srautu, paskui 200 s šildomas 45 °C temperatūroje. Iš viso atliekama 5 ciklai. Temperatūra nesistabilizuoja.



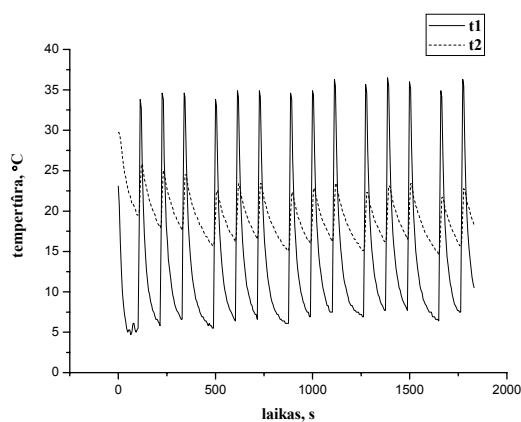
6 pav. Rankos nykščio plokščio raumens cikliškas 200 s maksimalus šaldymas, po to 200 s šildymas 45 °C temperatūroje

4. Tirtas dešinės blauzdos raumuo *gastrocnemius caput mediale* (7 pav.). Raumuo cikliškai 100 s šildomas 45 °C temperatūroje, po to 100 s šaldomas maksimalia galia. Iš viso atliekami 5 ciklai. Temperatūra nesistabilizuoja.

5. Tirtas kairės blauzdos raumuo *gastrocnemius caput mediale* (8 pav.). Raumuo cikliškai 100 s šaldomas maksimalia galia, paskui 10 s šildomas maksimalia galia. Iš viso atliekama 15 ciklų. Temperatūra nesistabilizuoja.

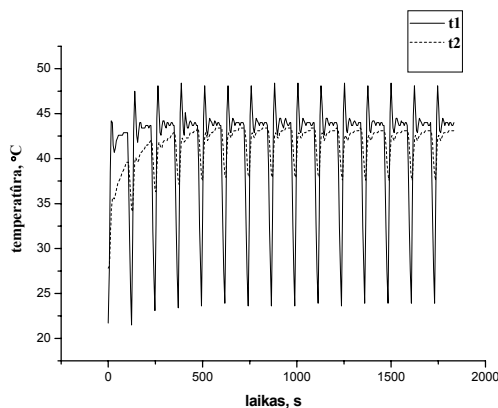


7 pav. Dešinės blauzdos raumens cikliškas 100 s šildymas 45 °C temperatūroje, po to 100 s maksimalus šaldymas



8 pav. Kairės blauzdos raumens cikliškas 100 s maksimalus šaldymas, po to 10 s maksimalus šildymas

6. Tirtas kairės blauzdos raumuo *gastrocnemius caput mediale* (9 pav.). Raumuo cikliškai 100 s šildomas 45 °C temperatūroje, paskui 10 s šaldomas maksimalia galia. Iš viso atliekama 15 ciklų. Įpusėjus ciklams, baigiantis šildymo periodui, temperatūra stabilizuoja. Tada temperatūrų skirtumas yra 0,8 °C. Tuo metu skaičiuota šilumos sugėrimo sparta 1,3 J/s.



9 pav. Kairės blauzdos raumens cikliškas 100 s šildymas 45 °C temperatūroje, po to 10 s maksimalus šaldymas

Išvados

1. Eksperimentiškai cikliniu ir ilgalaikiu šildymu ir šaldymu ištirti skirtingi raumenys, nustatyta šilumos sugėrimo sparta. Taip buvo nustatytas matavimo metodo efektyvumas ir tarp atskirų raumenų reakcijos į šilumą ir šaltį skirtumas.

2. Visų tirtų raumenų grupių temperatūriniai režimai, o kartu ir šiluminiai srautai stabilizuojasi po 200–300 s šildant ir po 30 min šaldant. Trumpalaikis impulsinis šaldymas (impulso trukmė 10 s) nėra efektyvus. Nustatyti kiekybiški skirtingų raumenų grupių reakcijų į šildymo ir šaldymo procesus skirtumai.

3. Raumens reakcija priklauso nuo raumens būsenos prieš bandymą, t.y. ar prieš eksperimentą jis buvo šildomas, ar šaldomas (raumeniui būdingas „atminties“ efektas, kuris gali trukti iki valandos).

4. Parodyta, kad, taikant šilumos sugėrimo spartos matavimo metodą, galima kiekybiškai įvertinti šilumos (šalčio) šaltinio ir gyvo raumens sąveiką. Toks metodas leidžia tyrimams nenaudoti adatose įmontuotų miniatiūrinių temperatūros jutiklių, kurie įterpiami į raumenį, o bandymų metu žmogui skiriamas antibiotikų

kursas. Nuodugnesnę analizę galima atlikti tik įvertinus fiziologinius procesus tirtuose raumenyse.

Literatūra

1. **Современные** технологии восстановительной медицины (modern technology of rehabilitation medicine) / Под ред. Труханова А.И.- М.: Медика, 2004. – 288 с.
2. **Enwemeka CS, Allen C, Avila P, Bina J, Konrade J, Munns S.** Soft tissue thermodynamics before, during, and after cold pack therapy // *Med Sci Sports Exerc* 2002, Jan. – V. 4(1). – P.45-50.
3. **Janský L, The Vávra V, Janský P, Kunc P, Knížková I, Jandová D, Slováček K.** Skin temperature changes in humans induced by local peripheral cooling // *Journal of Thermal Biology*.- 2003 Jul. – V. 28(5). – P.429-437.
4. **Chesterton LS, Foster NE, Ross L.** Skin temperature response to cryotherapy // *Arch Phys Med Rehabil* 2002 Apr. – V. 83(4). – P. 543–549.
5. **Sedekerskienė V., Gudaitis R., Tamulevičius S., Vainoras A., Zaveckas V., Vitartaitė A., Berškienė K.** Lokalaus šildymo šaldymo poveikis hemodinamikos rodikliams // *Medicina*. – KMU (pateikta spaudai)

Pateikta spaudai 2005 02 15

R. Gudaitis, S. Tamulevičius. Žmogaus raumens šaldymo ir šildymo įrenginys // Elektronika ir elektrotechnika. – Kaunas: Technologija, 2005. – Nr. 6(62). – P. 22–25.

Įrenginys suprojektuotas mikroprocesoriaus ir Peltje efekto termoelektrinio modulio pagrindu. Aprašytas veikimo principas. Įrenginys gali veikti cikliška, atskirai nustatant šaldymo ir šildymo laiko trukmę, arba tik šaldymo, arba tik šildymo režimu. Pateiktas šilumos srauto į raumenį matavimo metodas, paremtas Furjė šilumos laidumo dėsniumi. Atlikti eksperimentai, šaldant ir šildant žmogaus skirtingų dydžių raumenis – *gastrocnemius caput mediale*, *aductor pollicis*, *biceps femoris*. Rezultatai pateikti grafikuose ir apskaičiuota skirtingų raumenų grupių šilumos sugėrimo sparta. Il. 9, bibl. 5 (lietuvių kalba; santraukos lietuvių, anglų ir rusų k.).

R. Gudaitis, S. Tamulevičius. Cooling-Heating Unit for Human Muscles // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, 2005. – No. 6(62). – P. 22–25.

The unit is made on base of microprocessor and Peltier effect thermoelectric module. There is presented the principle of operation of unit. The unit is designed to work in continuous hot or cold, or cycle with predetermined time for cold and hot. In this paper the method of determining of heat flux into the muscle by law of Fourier is presented. The experiments had been performed on muscles of different size – *gastrocnemius caput mediale*, *aductor pollicis*, *biceps femoris*. The results are presented in graphic form. There are presented calculation of heat flux into the muscle. Ill.9, bibl. 5 (in Lithuanian; summaries in Lithuanian, English and Russian).

Р. Гудайтис, С. Тамулявичюс. Устройство для охлаждения-согревания мышц человека // Электроника и электротехника.– Каунас: Технология, 2005. – № 6(62). – С. 22–25.

Устройство сделано на базе микропроцессора и термоэлектрического Пелтье модуля. Описан принцип работы устройства. Устройство может работать в двух режимах: непрерывном нагревании или охлаждении или циклическом нагревании-охлаждении с установкой времени для охлаждения и нагревания. Представлен метод для определения термопотока на основе закона Фурье. Сделаны эксперименты при охлаждении мышц разной величины – *gastrocnemius caput mediale*, *aductor pollicis*, *biceps femoris*. Результаты представлены в виде графиков, оценены термо потоки к мышцам. Ил. 9, библи. 5 (на литовском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).

DOI: 10.5755/j02.eie.10457