

ODOS TEMPERATŪROS VIRŠ DIRBANČIO RAUMENS KITIMO DĒSNINGUMAI

Povilas Algimantas Sirvydas¹, Albertas Skurvydas², Jūratė Nadzeikienė¹, Saulė Sipavičienė¹
Lietuvos žemės ūkio universitetas¹, Lietuvos kūno kultūros akademija², Kaunas, Lietuva

Povilas Algimantas Sirvydas. Profesorius biomedicinos mokslų daktaras, technologijos mokslų habilituotas daktaras. Lietuvos žemės ūkio universiteto Šilumos ir biotechnologijų inžinerijos katedros profesorius. Mokslinių tyrimų kryptis — bioenergetika.

SANTRAUKA

Visos energijos rūšys, tarp jų biologinė ir mechaninė, galiausiai virsta šiluma. Fizinio krūvio metu šiluma išsiskiria žmogaus organizme, veikdama energijos balansą, ir pasireiškia lokaliu temperatūros padidėjimu. Lokalus temperatūros padidėjimas dirbančiuose raumenyse paklūsta termodinamikos dėsniams.

Straipsnyje analizuojami odos virš dirbančio raumens temperatūros kitimo dėsningumai. Pagal raumens šilumos balansą nustatyta, kaip odos temperatūros kitimas priklauso nuo tarpusavyje susijusių vidinių ir išorinių veiksnių, sudaryta odos temperatūros pokyčio diferencinė lygtis. Atlikti odos temperatūros virš dirbančio raumens matavimai visiškai patvirtino teorinę prielaidą, kad dirbantis raumuo patiria iššilimo, nusistovėjusios temperatūros ir aušimo periodus. Odos lokali temperatūros virš dirbančio raumens ir šios temperatūros pokyčių tyrimai gali būti panaudoti sportininko parengtumui įvertinti ir norint išsiaiškinti, ar sportininkui (dirbančiajam) tinka aprangos konstrukcija.

Raktažodžiai: šilumos balansas, lokali temperatūra, raumuo.

ĮVADAS

Žmogus, kaip ir bet kuris gyvasis organizmas, yra atvira sistema, vykdanči medžiagų ir energijos apykaitą su aplinka. Žmogus iš aplinkos maisto, šilumos ir kitais pavidalais gauna tam tikrą energijos kiekį, reikalingą darbui atlikti, gyvybiniams procesams palaikyti. Bet kurios veiklos metu žmogaus organizme atliekamas trijų rūšių darbas (Bennett, 1984; Woledge, 1998; Febbraio, 2001; Иванов, 1990). Ergonominių klausimų sprendimui lemiamos reikšmės turi fiziologinio darbo rūšis, tiesiogiai susijusi su žmogaus veiklos aktyvumu, jo atliekamu mechaniniu darbu. Tik maža dalis žmogaus gaunamos energijos sueikvojama mechaniniam darbui atlikti.

Energija, nesunaudota mechaniniam darbui atlikti, virsta šiluma, kuri kaupiasi organizme didindama temperatūrą, arba ji atiduodama į aplinką kaip metabolitas. Kuo mažesnis mechaninio darbo naudingumo koeficientas, tuo daugiau išskiriama šilumos tam pačiam mechaniniam darbui atlikti. Daugelyje tyrimų minimas žmogaus mechaninio darbo naudingumo koeficientas η neviršija 10—25% ribų priklausomai nuo dirbančių raumenų masės ir darbo pobūdžio (Fanger, 1970; Čyras ir kt., 2003; Адамчук, 1999).

Yra žinoma, kad žmogaus išskiriamas šilumos kiekis ir jo pokytis, pasikeitus fizinės veiklos rūšiai ar išorinės aplinkos sąlygoms, tiesiogiai paro-

do žmogaus terminę būseną (Fanger, 1970; Patterson et al., 1998; Becker, 2003; Holmer, 2004). Normalų žmogaus organizmo funkcionavimą garantuoja stabili terminė būseną. Ši terminė būseną įvardijama kaip šiluminis komfortas, lemiantis žmogaus darbingumą, gerą savijautą ir sveikatą. Priklausomai nuo žmogaus energijos sąnaudų ramybės ir fizinio darbo metu skirtumo kinta žmogaus organizme susidarantis šilumos kiekis, kurį reikia pašalinti, kad organizmas neperkaistų, išliktų stabilios terminės būsenos.

Fizinio darbo pobūdis lemia skirtingų raumenų grupių darbą ir nevienodą išsiskiriančios šilumos kiekį dirbančiuose raumenyse. Didėjant dirbančio raumens temperatūrai, kartu didėja ir lokali odos temperatūra virš dirbančio raumens. Lokali odos paviršiaus temperatūra parodo ne tik vykstančių procesų (net ir patologinių) intensyvumą giluminiuose audiniuose, bet ir fizinės apkrovos įtaką, sprendžiant ergonominius klausimus (Gagge et al., 1968; Binkhorst et al., 1977; Mohr et al., 2004; Кандрор, 1984).

Straipsnyje nagrinėjami temperatūros virš dirbančio raumens kitimo dėsningumai raumens iššilimo, pastovios temperatūros ir aušimo metu. Pateikiama lokalią temperatūrą formuojančių veiksnių analizė ir fizinio krūvio įtaka lokaliai žmogaus kūno paviršiaus temperatūrai bei organizmo išskiriamam šilumos kiekiui.

Tyrimo tikslas — atlikti odos virš dirbančio raumens temperatūros tyrimus, norint nustatyti jos kitimo dėsningumus ir lokali temperatūros pokyčių priklausomybę nuo fizinės apkrovos.

TYRIMO METODIKA

Buvo tiriami suaugę (20—23 metų) aktyviai nesportuojantys vyrai ($n = 10$).

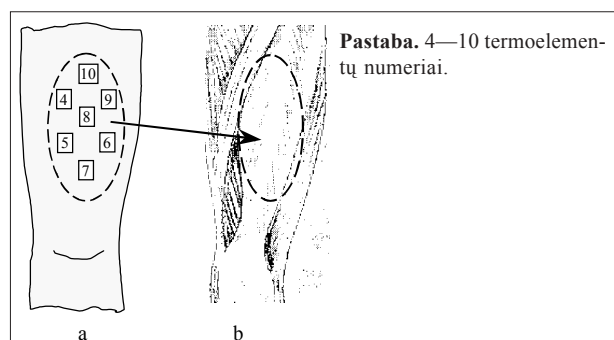
Lokali odos paviršiaus temperatūra matuota individualios gamybos Cu-CuNi termoelementais. Netinkamai pritvirtinus temperatūros jutiklį ar neįvertinus biologinių ir fizikinių matuojamos aplinkos savybių, gali atsirasti nesisteminių paklaidų. Jos galimos dėl to, kad temperatūra, kurią rodo jutiklis, yra šilumos mainų visumos su matuojamu objektu ir aplinka rezultatas. Norint išvengti nesisteminių temperatūros matavimo paklaidų, visi temperatūros jutikliai turi būti paklojami ir tvirtinami vienodai pagal izoterma 100 jutiklio skersmenų ilgiu. Vykdam šį reikalavimą, standartinių termoelementų dėl jų didelių matmenų panaudoti negalėjome. Todėl gaminome

termoelementus iš Cu-CuNi laidų, kurių skersmuo 0,07 mm. Norėdami išvengti aplinkos poveikio, juos tvirtinome odos paviršiuje 5 x 7 mm pleistro gabalėliais. Taip įvykdėme fiziologinių ir mikroklimatinių tyrimų reikalavimus, kurie keliami matuojant temperatūrą (ISO 7730, 1994; Hui-zenga et al., 2001; Кандрор, 1984; Преображенский, 1978; Сирвидас, Юшка, 1973). Po termoelementų taravimo laboratorinėmis sąlygomis įvertinome temperatūros matavimo metodiką ir nustatėme, kad termoelementų priklijavimas prie paviršiaus 100 jutiklio skersmenų ilgio pleistro gabalėliu garantuoja $\pm 0,021^{\circ}\text{C}$ matuojamos temperatūros neapibrėžties ribas, kai matavimų pasiklovimo tikimybė $P = 99\%$. Atliekant odos paviršiaus temperatūros lyginamąją analizę, visiškai tenkina $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ tikslumas. Taigi galima teigti, kad mūsų naudojama temperatūros matavimo metodika keliamus reikalavimus patenkina.

Lokali kūno paviršiaus temperatūra buvo matuojama virš dirbančio raumens. Tyrimui pasirinktas keturgalvis šlaunies raumuo. Zona virš dirbančio raumens buvo atvira, t. y. be izoliacinio sluoksnio. Tuo siekiama gauti kuo tikslesnius žmogaus kūno paviršiaus temperatūrinius pokyčius (keičiantis fizinei apkrovai), kurių neiškraipytų termoizoliacinės drabužių savybės, turinčios lemiamos įtakos žmogaus šilumos su aplinka mainams. Visų tyrimų metu temperatūra virš šlaunies keturgalvio raumens buvo registruojama ramybės, raumens darbo ir poilsio metu septyniuose taškuose. Temperatūros matavimo taškų išdėstymo virš raumens schema pateikta 1 paveiksle.

Lokali temperatūra buvo tiriama esant trijų rūšių apkrovoms:

- 1) trumpalaikio (1 min) 4 kg svorio kilnojimo — modeliuojant lengvą darbą.
- 2) 2 kg svorio kilnojimo 4 min — modeliuojant lengvą darbą.
- 3) minant veloergometrą 20 min — modeliuojant vidutinio sunkumo darbą.



1 pav. Termoelementų išdėstymo schema ant kairiosios šlaunies virš dirbančio raumens (a) ir keturgalvio raumens vaizdas (b)

Pirmo tyrimo metu raumens darbui modeliuoti pasirinkta trumpalaikė 4 kg apkrova, kurios metu atliktas 1 min mechaninis darbas A . Žmogus sėdėdamas koja svorį kilnojo 40 min^{-1} dažnumu į 0,5 m aukštį. Apskaičiavus darbo galią L , nustatyto žmogaus energijos sąnaudos M , kai svorio kėlimo naudingumo koeficientas $\eta = 0,09$.

Antro tyrimo metu raumens darbas buvo modeliuojamas 2 kg apkrova. Žmogus sėdėdamas svorį kilnojo 4 minutes tuo pačiu 40 min^{-1} dažnumu į 0,5 m aukštį.

Tyrimo veloergometru apkrova buvo 100 W, apsisukimų dažnis — 50 min^{-1} , darbo trukmė — 20 min.

REZULTATAI

Odos temperatūros kitimo virš dirbančio raumens teorinės paieškos. Jei dirbančiame raumenyje išskirsime atskirą elementą, galime teigti, kad apskritai pagrindiniai šilumos šaltiniai yra kraujotakos sistema, gretimi organai ir darbo metu raumenyje išsiskirianti šiluma (2 pav.).

Kaip matyti dirbančio raumens šilumos mainų scheme (2 pav.), dalį gaunamos šilumos raumuo akumuliuoja, o perteklinė šiluma pašalinama kraujotakos sistemos ir raumens audinių šilumos laidumu į gretimus audinius, turinčius žemesnę temperatūrą nei dirbantis raumuo. Medicininėje literatūroje teigiama, kad konvekcinis šilumos transportavimo (kraujotakos) būdas yra pagrindinis, nes šilumos laidumas per audinius yra nedidelis (Байер, 1962; Кошечев, 1981). Čia pastebimas prieštaravimas, nes iš literatūroje (Кошечев, 1981; Золина, 1983) pateiktų duomenų — kraujotakos ir kvėravimo sistemose susidarantis šilumos kiekis ramybės ir darbo metu iš esmės nesikeičia. Vadinasi, šiluma į gretimus audinius perduodama laidumu. Mes nesiiimame bendro šilumos atidavimo į aplinką proceso kiekybinio konvekcijos ir



2 pav. Dirbančio raumens elementaraus tūrio šilumos mainų schema

laidumo būdų įvertinimo, tik norime nustatyti žmogaus kūno paviršiaus lokalsios temperatūros pokyčius, kuriuos lemia dirbančio raumens šilumos atidavimas laidumu, ir su lokalsios temperatūros pokyčiais susijusius žmogaus šilumos mainus su aplinka.

Remdamiesi šilumos mainų schema (2 pav.), galime užrašyti dirbančio raumens šilumos balanso lygtį apibendrintai:

$$Q_d \pm Q_k \pm Q_{lv} = Q_a \pm Q_{li} \quad (1)$$

Kiekvienas (1) lygties narys yra kintantis ir priklausomas nuo kitų šilumos balanso narių, nuo žmogaus veiklos rūšies ir raumeniui tenkančios fizinės apkrovos dydžio, todėl (1) lygtį tikslinga analizuoti perrašius ją diferencialine forma:

$$dQ_d \pm dQ_k \pm dQ_{lv} = dQ_a \pm dQ_{li} \quad (2)$$

Kaip matyti iš (2) lygties, žmogui keičiant veiklos rūšį pakinta ir išsiskiriantis šilumos kiekis. Žmogui atliekant fizinį darbą ir padidėjus raumenų apkrovai, dėl intensyvių raumenų susitraukimų išsiskiria papildomas šilumos kiekis dQ_d . Dėl to suaktyvėja termoreguliacinio mechanizmo veikla ir kraujotakos sistema nutekantis šilumos kiekis pakinta dydžiu dQ_k . Dirbančiame organizme papildomas šilumos kiekis susidaro ir vadinamame žmogaus branduolyje (vidaus organuose), kuris laidumu suteikia raumenims šilumos kiekį dQ_{lv} . Pastarasis pokytis nėra didelis ir neturėtų lemti šilumos mainų su aplinka. Kaip minėta, dalį šilumos raumuo akumuliuoja dQ_a , didėja jo temperatūra. Žmogaus termoreguliacinio mechanizmo galimybės ribotos, todėl dalis šilumos dQ_{li} iš raumens yra pašalinama laidumu į gretimus audinius, turinčius mažesnę temperatūrą negu dirbantis raumuo.

Per kraujotakos sistemą ramybės metu gaunamas, o darbo metu nutekantis šilumos kiekis dQ_k priklauso nuo individualių žmogaus kraujotakos sistemos ypatumų ir fizinės apkrovos dydžio, kuris lemia laidumu gaunamos raumens šilumos pokytį dQ_{lv} . Vis dėlto fizinė apkrova (arba žmogaus atliekamo darbo sunkumas) lemia raumenyje darbo metu išsiskiriančios šilumos pokytį dQ_d . Lygties (2) kairėje esančius narius, kurie neatsiejamai priklauso vienas nuo kito ir veikia kaip vieninga sistema, galima apibendrintai pavadinti fiziologinio darbo ir termoreguliacijos šilumos kiekiu, susidarantiu raumens tūrio elemente dV per laiko intervalą $d\tau$, ir išreikšti lygtimi:

$$dQ_d \pm dQ_k \pm dQ_{lv} = q_v dV d\tau, \quad (3)$$

čia q_v — fiziologinio darbo ir termoreguliacijos šilumos srauto tankis (W/m^2), priklausantis nuo žmogaus energijos E nagrinėjamos veiklos sąnaudų, $q_v = f(E)$.

Kaip matyti iš lygties (3), narys q_v tiesiogiai priklauso nuo žmogaus atliekamo darbo sunkumo, jo metu organizmui reikalingos energijos sąnaudų ir fizinio darbo metu atsirandančių fiziologinių termoreguliacijos mechanizmo ypatumų. Ramybės metu narys q_v yra mažesnis dydžiu dQ_d .

Raumens akumuliuojama šiluma dQ_a yra su-naudojama raumens vidinei energijai didinti. Ši šiluma gali būti išreikšta lygtimi:

$$dQ_a = c_r \rho_r \frac{\partial t_r}{\partial \tau} dV d\tau, \quad (4)$$

čia: t_r — raumens temperatūra, °C;

c_r — raumens savitoji masės šiluma, J/(kg·K);

ρ_r — raumens tankis, kg/m³.

Iš raumens tūrio elemento dV laidumu perduodamas šilumos kiekis gali būti išreiškiamas tokia lygtimi:

$$dQ_{li} = -\lambda_r \left(\frac{\partial^2 t_r}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_r}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_r}{\partial z^2} \right) dV d\tau, \quad (5)$$

čia λ_r — raumens šilumos laidumo koeficientas, W/(m·K);

$\frac{\partial^2 t_r}{\partial x^2}, \frac{\partial^2 t_r}{\partial y^2}, \frac{\partial^2 t_r}{\partial z^2}$ — raumens temperatūros

kitimo pagreičiai x, y, z kryptimis tūrio elemente dV .

I (2) lygtį įrašydami (3), (4) ir (5) išraiškas, gauname fiziologinio darbo ir termoreguliacijos šilumos srauto tankio išraišką:

$$q_v = c_r \rho_r \frac{\partial t_r}{\partial \tau} - \lambda_r \left(\frac{\partial^2 t_r}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_r}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_r}{\partial z^2} \right) = c_r \rho_r \frac{\partial t_r}{\partial \tau} \pm \lambda_r \nabla^2 t, \quad (6)$$

čia: $\nabla^2 t_r$ — Laplaso operatorius.

Remdamiesi lygtimi (6) galime įvertinti, kaip per tam tikrą laikotarpį kinta raumens temperatūra:

$$\frac{\partial t_r}{\partial \tau} = \pm \frac{\lambda_r}{c_r \rho_r} \left(\frac{\partial^2 t_r}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t_r}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t_r}{\partial z^2} \right) + \frac{1}{c_r \rho_r} q_v \quad (7)$$

Šilumos nutekėjimui iš dirbančio raumens į aplinką įtakos turi riebalinio audinio, dermos ir epidermio šilumos laidumo koeficientai (atitinkamai $\lambda_{rb}, \lambda_d, \lambda_e$), kiekvieno šių sluoksnių savitosios masių šilumos c_{rb}, c_d, c_e ir tankiai $\rho_{rb}, \rho_d, \rho_e$. Taip pat įtakos turi fizinio darbo metu išgarinama šiluma, priklausanti nuo išgarinamo prakaito masės

kiekio m_{pr} ir entalpijos i , žmogaus odos paviršiaus suminis šilumos atidavimo koeficientas α ir aplinkos temperatūra t_{apl} . Įvertinę paminėtus parametrus, lygtį (6) galime papildyti ir užrašyti šitaip:

$$q_v = c_r \rho_r \frac{\partial t_r}{\partial \tau} + c_{rb} \rho_{rb} \frac{\partial t_{rb}}{\partial \tau} + c_d \rho_d \frac{\partial t_d}{\partial \tau} + c_e \rho_e \frac{\partial t_e}{\partial \tau} - \lambda_r \nabla^2 t_r - \lambda_{rb} \nabla^2 t_{rb} - \lambda_d \nabla^2 t_d - \lambda_e \nabla^2 t_e + m_{pr} \frac{di}{d\tau} + \alpha \frac{dt_{apl}}{d\tau} \quad (8)$$

Lygtis (8) įvertina, kaip per tam tikrą laikotarpį kinta temperatūra žmogaus kūno paviršiuje, t. y. t_e . Iš (9) lygties epidermio (arba žmogaus kūno paviršiaus) temperatūros pokytis per laiką išreiškiamas lygtimi:

$$\frac{\partial t_e}{\partial \tau} = \frac{1}{c_e \rho_e} \left[\sum_{j=1}^n \lambda_j \nabla^2 t_j + q_v - \sum_{j=1}^{n-1} c_j \rho_j \frac{\partial t_j}{\partial \tau} - m_{pr} \frac{di}{d\tau} - \alpha \frac{dt_{apl}}{d\tau} \right] \quad (9)$$

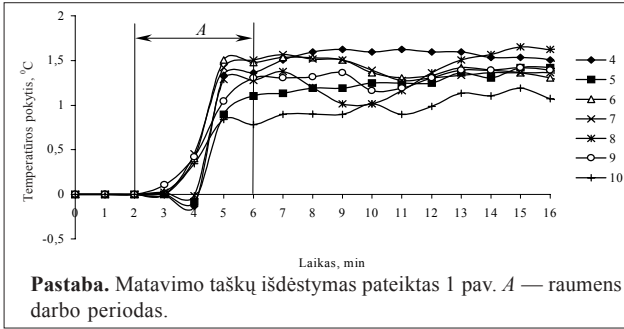
Kaip matyti iš (9) lygties, žmogaus kūno paviršiaus temperatūrą lemia daugelis tarpusavyje susijusių vidinių ir išorinių veiksnių. Teorinis šios temperatūros apskaičiavimas yra galimas, tačiau komplikotas dėl to, kad neišspręsta žmogaus fiziologinių veiksnių tarpusavio ryšių problema ir trūksta žinių apie atskiras žmogaus kūno audinių fizikinių dydžių konstantas. Lokalios temperatūros pokyčiai, žmogui pereinant iš ramybės į darbinę būseną ir atliekant tam tikro sunkumo darbą, gali būti tiriami eksperimentiškai.

Odos temperatūros kitimo virš dirbančio raumens eksperimentiniai duomenys. Odos temperatūros kitimas virš dirbančio raumens, kilnojant 2 kg svorį 4 minutes tuo pačiu 40 min⁻¹ dažnumu į 0,5 m aukštį, pateiktas 3 paveiksle. Akivaizdūs odos temperatūros pokyčiai po 1 minutės darbo.

Pastebimas skirtingas temperatūros kitimo pobūdis virš dirbančio raumens. Vidinėje raumens pusėje visais stebėtais atvejais antrą minutę nuo krūvio pradžios pastebimas nedidelis (iki 0,16°C) temperatūros sumažėjimas, po kurio seka staigus temperatūros augimas. Temperatūra, esant minėtai apkrovai, pakyla (0,9—1,6°C) ir pasiekia sąlygiškai stabilią šilumos mainų būseną po 4 darbo minučių. Nutraukus darbą, pastovi temperatūra sąlygiškai laikosi dar 10 min.

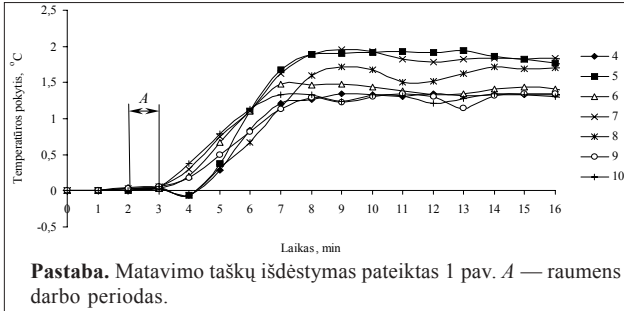
Analogiškas temperatūros kitimas pastebimas kilnojant 4 kg svorį 1 minutę 40 min⁻¹ dažnumu į 0,5 m aukštį (4 pav.).

Lyginant duomenis, pateiktus 3 ir 4 paveiksle, matyti, kad raumeniui dirbant visiškai skirtingais krūviais, odos temperatūros kitimo dėsningumas virš dirbančio raumens išlieka analogiškas. Tem-



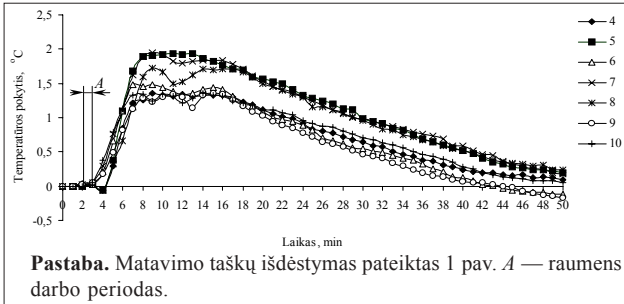
Pastaba. Matavimo taškų išdėstymas pateiktas 1 pav. A — raumens darbo periodas.

3 pav. Odos temperatūros kitimas virš dirbančio raumens 2 kg (4 min) apkrovos metu



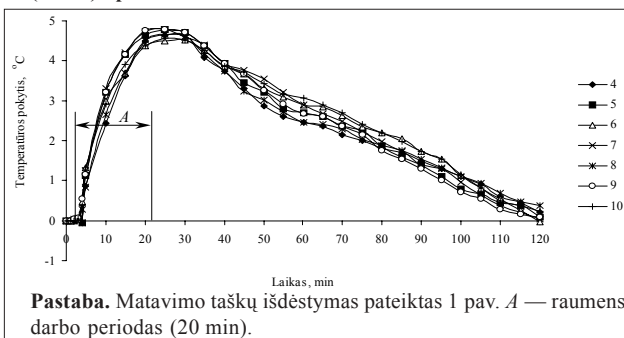
Pastaba. Matavimo taškų išdėstymas pateiktas 1 pav. A — raumens darbo periodas.

4 pav. Odos temperatūros kitimas virš dirbančio raumens 4 kg (1 min) apkrovos metu



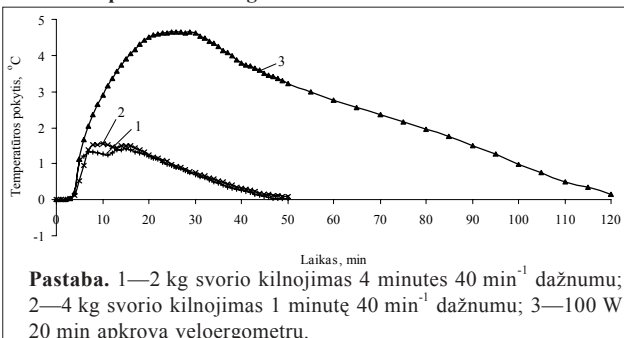
Pastaba. Matavimo taškų išdėstymas pateiktas 1 pav. A — raumens darbo periodas.

5 pav. Odos temperatūros kitimas virš dirbančio raumens 4 kg (1 min) apkrovos metu



Pastaba. Matavimo taškų išdėstymas pateiktas 1 pav. A — raumens darbo periodas (20 min).

6 pav. Odos temperatūros kitimas virš dirbančio raumens esant 100 W apkrovai велоergometru



Pastaba. 1—2 kg svorio kilnojimas 4 minutes 40 min⁻¹ dažnumu; 2—4 kg svorio kilnojimas 1 minutę 40 min⁻¹ dažnumu; 3—100 W 20 min apkrova велоergometru.

7 pav. Vidutinės odos temperatūros kitimo virš dirbančio raumens priklausomybė nuo apkrovos

peratūra kyla lėčiau (4 pav.) dėl trumpo apkrovimo periodo, kuris nutraukiamas po 1 min pastebėjus pirmuosius temperatūros pokyčius odos paviršiuje virš dirbančio raumens. Pasibaigus sąlygiškai nusistovėjusios temperatūros periodui, prasideda temperatūros kritimo periodas (5 pav.).

Trumpalaikės 4 kg 1 min apkrovos metu odos temperatūra kyla nedaug (5 pav.). Baigus darbą, temperatūra per 4 min padidėja iki 1,25—2°C ir išlieka sąlygiškai pastovi 8—16 min. Šiuo laiko intervalu kai kuriuose matavimo taškuose pastebimas nedidelis temperatūros kritimas (apie 0,2°C). Raumens aušimas ir temperatūros kritimas iki pradinės reikšmės trunka 30—34 min.

Tyrimo велоergometru metu buvo atliekamas ilgalaikis vidutinio sunkumo darbas. Kaip matyti 6 paveiksle, pradiniu apkrovos momentu temperatūra išlieka artima ramybės būsenos temperatūrai. Per penkių minučių darbo laikotarpį pastebimas staigus temperatūros padidėjimas iki 1,3°C, 5—10 min temperatūros pokytis siekia 2,5—3,3°C, 15—20 min — temperatūra pakyla iki 4,4—4,8°C, o baigus darbą apie 10 min išlieka stabili. Pradinė ramybės būsenos temperatūra nusistovi per 90 min nutraukus darbą.

Lyginant tarpusavyje visų trijų apkrovų metu gautus vidutinius temperatūros kitimo dėsningumus ir temperatūros pokyčius (6 pav.) matyti, kad jie tiesiogiai susiję su apkrovos dydžiu. Aptartų tyrimų metu raumens išilimo temperatūros kitimo kreivių kilimo kampas yra vienodas, trumpalaikės apkrovos metu temperatūros kilimas daugiau inertiškas, nes po minutės pertraukos raumuo jau nebedirba. Raumens aušimo procesas visų trijų apkrovų metu yra vienodo pobūdžio. Tai rodo savo dydžiu artimi kreivių nusileidimo kampai (7 pav.).

REZULTATŲ APTARIMAS

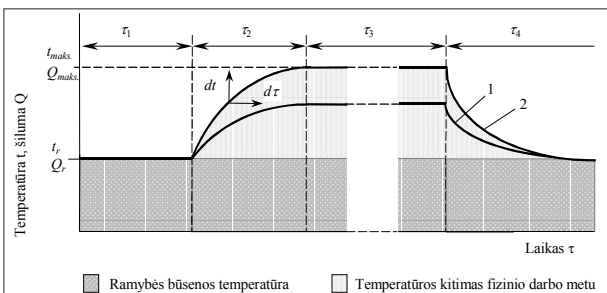
Raumens temperatūros kitimo dėsningumai. Ramybės būsenoje organizmas atlieka tik fiziologinį darbą, būtina gyvybinėms funkcijoms palaikyti. Visa gaunama ir fiziologiniam darbui išiekvota energija paverčiama šiluma, kurios dalis pašalinama į aplinką per kūno išorinius paviršius. Esant ramybės būsenai, žmogaus odos lokali temperatūra yra pastovi.

Fizinio darbo metu į bendrą organizmo veiklą įsitraukia atskiros raumenų grupės. Priklausomai nuo fizinės veiklos pobūdžio tam tikros raumenų grupės gauna apkrovą, susitraukinėja griaučių raumenys, išsiskiria šiluma. Raumens išilimą ir

šilumos atidavimą iš raumens į aplinką rodo palaipsniui kylanti, paskui pastovi žmogaus kūno paviršiaus temperatūra. Tikėtinas temperatūros kitimo pobūdis virš dirbančio raumens pavaizduotas 8 paveiksle.

Esant ramybės būsenai (τ_1 periodas), raumens terminė pusiausvyra yra nusistovėjusi, t. y. išskiriamas šilumos kiekis ir temperatūra ($Q_r = const$, $t_r = const$) nekinta. Žmogui pradėjus dirbti (τ_2 periodas) raumens terminė pusiausvyra pažeidžiama, išsiskiria papildomas šilumos kiekis. Dirbant toliau yra išnaudojamos termoreguliacinio mechanizmo galimybės, vyksta tolimesnis raumens iššilimo procesas, kurio sparta proporcinga fizinio krūvio dydžiui (1, 2 kreivės, 8 pav.). Raumens temperatūros kitimo greitį $dt/d\tau$ lemia žmogaus fizinės veiklos krūvis. Pasiekus tam tikrą ribą (τ_3 periodas), nusistovi raumens šiluminė pusiausvyra, lemianti pastovią dirbančio raumens temperatūrą $t_{maks.}$ ($dt/d\tau = 0$). Baigus darbą (τ_4 periodas), prasideda raumens atsigavimo procesas, kurį lydi temperatūros kritimas raumenyje. Temperatūrų skirtumas $t_{maks.} - t_r$ leidžia įvertinti šilumos išsiskyrimo padidėjimą fizinio darbo metu.

Netiesioginis organizmo šilumos produkcijos ir išskyrimo į aplinką kiekybinio įvertinimo matas yra lokali žmogaus kūno paviršiaus temperatūra. Jos dydį lemia vidiniai ir išoriniai šilumos apykaitos procesai, vykstantys žmogaus organizme. Vidinių šilumos mainų atveju žmogaus „branduolyje“ susidariusi šiluma kraujotakos ir audinių laidumu atiduodama žmogaus „apvalkalui“. Toliau vyksta šilumos mainai tarp žmogaus kūno paviršiaus ir aplinkos. Fizinis krūvis pagreitina šilumos susidarymą raumenyse, kuris tiesiogiai veikia žmogaus kūno paviršiaus temperatūrą virš dirbančio raumens. Dirbančio raumens šilumos mainų mechanizmo analizė leidžia aprašyti vykstančių procesų priklausomybę.



Pastaba. 1, 2 — temperatūros kitimas esant skirtingoms apkrovoms; τ_1 , τ_2 , τ_3 , τ_4 — atitinkamai ramybės, dirbančio raumens iššilimo, darbo metu nusistovėjusios temperatūros ir raumens aušimo po darbo periodai (paaiškinimai tekste).

8 pav. Lokalios temperatūros virš dirbančio raumens kitimo schema

Odos temperatūros kitimo virš dirbančio raumens aptarimas. Esant ramybės būsenai, temperatūra virš stebimo raumens nevienoda, tačiau stabili. Tiriama raumens atskiri audiniai nevienodai kontaktuoja su kitais audiniais (aplinkiniais raumenimis, oda ir kt.), todėl atskiruose dirbančio raumens audiniuose susidaro nevienodos šilumos mainų sąlygos. Tai lemia skirtingą lokalią temperatūrą pačiame raumenyje, kartu ir nevienodą lokalią temperatūrą virš dirbančio raumens. Todėl šio tyrimo duomenys pateikiami ne absoliučiais dydžiais, bet lyginant temperatūros pokytį su ramybės būsenos temperatūra. Tačiau įdomu tai, kad skirtinguose matavimo taškuose gauti temperatūros kitimo rezultatai tarpusavyje koreliuoja. Jų koreliacijos koeficientai yra 0,94—0,97. Tai rodo stiprų matavimo rezultatų tarpusavio koreliacinį ryšį ir patvirtina, kad šilumos perdavimo per audinius procesai vyksta pagal tuos pačius dėsnin-gumus nepriklausomai nuo temperatūros matavimo taško virš raumens.

Raumeniui pradėjus dirbti, išsiskiria šiluma, didėja jo temperatūra. Visais atvejais pastebimas pavėluotas temperatūros kitimas odos paviršiuje virš dirbančio raumens. Odos temperatūros kitimo inertiškumą paaiškina šilumos plitimo dėsnin-gumai ir audinių virš dirbančio raumens termoizoliacinės savybės.

IŠVADOS

1. Odos temperatūros virš dirbančio raumens teoriškai modeliuoti negalime dėl to, kad trūksta žmogaus fiziologinių ir jo audinių termofizikinių duomenų.
2. Teorinės prielaidos ir odos virš dirbančio raumens temperatūros matavimai rodo, kad dirbantis raumuo patiria iššilimo, nusistovėjusios temperatūros ir aušimo periodus.
3. Odos temperatūros pokyčiai virš dirbančio raumens tiesiogiai susiję su dirbančio raumens apkrova, kuriai didėjant didėja ir lokali temperatūra.
4. To paties žmogaus raumens šilimo ir aušimo procesai yra tokie pat ir nepriklauso nuo fizinės apkrovos pobūdžio.
5. Lokalios odos temperatūros matavimas ir pokyčiai virš dirbančio raumens gali būti panaudoti sportininko parengtumui įvertinti ir norint išsiaiškinti, ar sportininkui (dirbančiajam) tinka aprangos konstrukcija.

LITERATŪRA

- Becker, S., Potchter, O., Yaakov, Y. (2003). Calculated and observed human thermal sensation in an extremely hot and dry climate. *Building and Environment*, 35, 749—756.
- Bennett, A. F. (1984). Thermal dependence of muscle function. *American Journal of Physiology*, 247 (Regulator Integrative Comp. Physiol. 16), R 217—229.
- Binkhorst, R. A., Hoofd, L., Vissers, A. C. (1977). Temperature and force-velocity relationship of human muscles. *Journal of Applied Physiology (Respirat. Environ. Exercise Physiol.)*, 42 (4), 471—475.
- Čyras, P., Grinius, V., Kaminskas, A. ir kt. (2003). Profesinė sauga ir sveikata. *Ergonomikos principai*. Vilnius: Technika.
- Fanger, P. O. (1970). *Thermal Comfort*. Copenhagen: Danich Technical Press.
- Febbraio, M. A. (2001). Alterations in energy metabolism during exercise and heat stress. *Sports Medicine*, 31 (1), 47—59.
- Gagge, A. P., Saltin, B., Stolwijk, J. A. J. (1968). Muscle temperature during submaximal exercise in man. *Journal of Applied Physiology*, 25 (6), 679—688.
- Holmer, I. (2004). Cold but comfortable? Application of comfort criteria to cold environments. *Indoor Air*, 14 (Suppl. 7), 27—31.
- Huizenga, C., Hui, Z., Arens, E. (2001). A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environment. *Building and Environment*, 36, 691—699.
- ISO 7730. (1994). Moderate thermal environments — determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Geneva: ISO.
- Mohr, M., Krustup, P., Nybo, L., Nielsen, J. J., Bangsbo, J. (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches — beneficial of re-warm-up at half-time. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 14, 156—162.
- Patterson, M. J., Cotter, J. D., Taylor, N. A. S. (1998). Human somomotor responses to heating and cooling upper-body skin surfaces: Cutaneous thermal sensitivity. *Acta Physiologica Scandinavica*, 163, 289—296.
- Wolledge, R. C. (1998). Possible effects on fatigue on muscle efficiency. *Acta Physiologica Scandinavica*, 162, 267—273.
- Адамчук, В. В., Варн, Т. П., Воротникова, В. В. и др. (1999). *Эргономика*. Под ред. проф. В. В. Адамчука. Москва: ЮНИТИ — ДАНА.
- Байер, В. (1962). *Биофизика*. Пер. с немецкого. Москва: Изд. инностр. лит.
- Золина, З. М., Измерова, Н. Ф. (1983). *Руководство по физиологии труда*. Москва: Медицина.
- Иванов, К. П. (1990). Основы энергетики организма. Теоретические и практические аспекты. Том 1: *Общая энергетика, теплообмен и терморегуляция*. Ленинград: Наука.
- Кандрор, И. С. (1984). Мышечная работа — источник дополнительного теплообразования. В кн. *Физиология терморегуляции*. Ленинград: Наука. С. 139—180.
- Кощеев, В. С. (1981). *Физиология и гигиена индивидуальной защиты человека от холода*. Москва: Медицина.
- Преображенский, В. П. (1978). Теплотехнические измерения и приборы. Москва: Энергия.
- Сирвидас, А., Юшка, В. (1973). *Измерение температуры растений в микро-климатических и физиологических исследованиях*. Каунас.

REGULARITIES OF SKIN TEMPERATURE CHANGES OVER WORKING MUSCLE

Povilas Algimantas Sirvydas¹, Albertas Skurvydas, Jūratė Nadzeikienė¹, Saulė Sipavičienė,
Lithuanian University of Agriculture¹, Lithuanian Academy of Physical Education, Kaunas, Lithuania

ABSTRACT

All sorts of energy, including biological and mechanical energy, finally deteriorate into heat. The heat exudes during physical strain impacting human energy balance and displaying in local temperature increase. The local temperature increase in working muscles conforms to the low level of thermodynamics.

There are analyzed changes of skin temperature over working muscle in the article. On the basis of heat balance skin temperature change alteration dependence on interdependent internal and external factors substantiated, skin temperature change in time-span differential equation was deduced. Accomplished measurements of skin temperature over working muscle sustained the theoretic postulate that working muscle sustains heating, steady temperature and cooling periods. Investigations of skin temperature over working muscle and changes of that temperature can be applied for the assessment of a sportsman's preparedness and substantiation of a sportsman's (worker's) clothing construction.

Keywords: heat balance, local temperature, muscle.

Gauta 2004 m. lapkričio 2 d.
Received on November 2, 2004

Priimta 2005 m. vasario 2 d.
Accepted on February 2, 2005

Povilas Algimantas Sirvydas
Lietuvos žemės ūkio universitetas
(Lithuanian University of Agriculture)
Universiteto g. 15, Akademija, Kauno r. LT-53356
Lietuva (Lithuania)
Tel +370 37 752317
E-mail sirvydas@tech.lzuu.lt