
起床時体温が低い幼児の組織酸素動態及び手掌発汗速度

小泉 佳右¹ 下永田 修二² 真鍋 求³ 大木 みわ¹

¹植草学園大学発達教育学部 ²千葉大学教育学部 ³東京外国語大学

Tissue oxygenation and sweat rate on a palm of infant with low body temperature at waking

Keisuke KOIZUMI¹ Shuji SHIMONAGATA² Motomu MANABE³ Miwa OHKI¹

¹ Faculty of Child Development and Education, Uekusa Gakuen University

² Faculty of Education, Chiba University

³ Tokyo University of Foreign Studies

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationships among local oxygenation, sweat rate and low body temperature of infant. Body temperatures of 170 kindergarten infants are taken immediately after waking. The low temperature group was defined and was composed of those with lower temperature than mean temperature by one standard deviation ($n = 11$). The same number infants ($n = 11$) were randomly selected in the other participants and were defined as the control group. Both groups were measured sweat rate of a palm, and tissue oxygenation index and tissue hemoglobin and myoglobin (Hb/Mb) index of flexor digitorum superficialis muscle at rest, and during a handgrip exercise and a tactile stimulation on a palm. No significant differences were found between two groups in the sweat rate and the tissue oxygenation index. The low temperature group was smaller tissue Hb/Mb index than the control group at rest and during exercise ($p < 0.05$). This result might have been expected that low temperature infants were few oxygen supplies in local muscles.

I. 緒言

子どもの基礎体温が低下しているという指摘は、1970年代頃からなされてきている。小林ら¹⁾は、1978～9年に小児の体温を計測し、測定条件がほぼ同等である1955年前後のデータ^{2,3,4)}と比較したところ、平均値でおよそ0.3～0.6℃低い傾向にあることを報告した。また木村ら⁵⁾は、1970年から1993年までの24年間の小学4年生の起床時及び就寝時の体温を計測したところ、就寝前の体温がほとんど同じ数値を示しているのに対し、

起床時の体温が1970年代の平均では $36.57 \pm 0.27^\circ\text{C}$ であるのに対し、1980年代では $36.46 \pm 0.28^\circ\text{C}$ 、1990年代では $36.36 \pm 0.31^\circ\text{C}$ を示し、低下傾向にあることを報告した。

一方で、従来の水銀体温計に代わり電子体温計が普及してきたことから、不統一あるいは不適切な測定方法による測定誤差の影響も危惧されている⁶⁾。子どもの基礎体温の低下を指摘した上述の報告についても、体温測定方法の不備によるものだとする報告も一部で見られる⁷⁾。このようなこ

とから、子どもの体温低下の真偽については、現在のところも結論には至っていない。

子どもの基礎体温の変化に関連する要因として、身体活動量の減少が関与する可能性が挙げられている。朝山⁸⁾は、小学5～6年生を対象に、35℃台を示す子どもと36℃台を示す子どもの1日の歩数を比較したところ、35℃台の子どものほうが少ないことを示した。また柴田ら⁹⁾も小学4年生を対象に調査し、基礎体温が低い児童は1日の身体活動量が少なかったことを示し、さらに心臓副交感神経活動が低値であることを示した。これらのことは、基礎体温が低下傾向にあるかどうかは別としても、基礎体温の低い子どもが何らかの特性を有していることを示すものである。

体温は熱の産生と放出により決定されるが、発汗のシステムは、熱の収支に大きく影響を与える機構である。したがって、自律神経系による制御がなされ、かつ体温調節に大きく関与する手掌発汗応答が、基礎体温の低値と関連性があるかどうかは、非常に興味深い。

また身体活動量が多いと、骨格筋における代謝環境が発達していることも考えられる。持久性トレーニングを継続して実施すると、毛細血管密度や骨格筋内のミトコンドリア濃度及びミオグロビン濃度が増大することはよく知られている^{10,11)}。反対に、身体活動量が少ないと毛細血管密度は低く骨格筋機能も発達せず、エネルギー代謝能が低く、体温も低い可能性が考えられる。したがって、体温が低い子どもの循環及び代謝環境を組織レベルで調査すべきである。

さらに、これまでの研究は小学生を対象にして実施したものであり、幼児を対象とした研究はまだなされていない。幼児期は個人の生活嗜好を確立する上で重要な時期であるため、行動様式を変えて体温の低値を改善するうえでも効果の高い時期であると考えられる。そのために、幼児の基礎体温の現状を把握し、基礎体温低値にみられる生理学的背景を精査することが、この問題に対する改善策を示していくうえでも必要になってくる。そこで本研究は、起床時の体温が低い幼児に着目

し、組織血流動態及び手掌発汗機能に特徴がみられるか、対照群との比較により明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象

千葉県C市及びN市にある3園の幼稚園に通う年長児170名を対象とした。本調査に際して、対象者の保護者に、調査の趣旨、目的及び方法に関して書面で十分説明をし、署名を得ることによって、参加に同意するものとした。

2. 起床時体温低値児のスクリーニング調査

全ての対象者に対して、起床時体温測定を実施した。測定日は、起床時体温が前日の活動及び行動の影響を受ける可能性があることから、月曜日が祝休日でない週を選択し、その週の火曜日から金曜日までの連続4日間とした。測定日より前に、対象者の家庭に赤外線方式非接触型鼓膜温測定器(MC-510、オムロン、東京)、記録用紙及び操作方法を示す説明書を配布した。測定日は、各家庭において起床直後の鼓膜温を測定し、記録用紙に記入した。また、対象者にせき、たん、鼻水及びのどの痛みが認められる場合には、その症状を1日ごとに記入した。測定期間終了後に、測定器と記録用紙を回収した。

鼓膜温測定器には外耳に挿入する突出部があり、その先端に赤外線発光部及び受光部がある。この突出部を外耳道に挿入し、赤外線が対象物に反射する際に生じる波長の変化から、対象物の温度を算出した。鼓膜は外耳道内で最も高い温度を有するため、測定期間中の最高温度が測定器に表示されるようにし、測定器の突出部を左右に2～3回動かして測定中に赤外線が鼓膜に照射されるようにした。

回収された測定結果は、対象者ごとに4日間の平均値を算出して測定値とした。その際、4日間測定できなかった対象者と、期間中にせき、たん、鼻水、鼻づまり及びのどの痛みが認められかつ体温が上昇していた対象者は、本調査に使用するデータとしては不適格と判定し、スクリーニング調

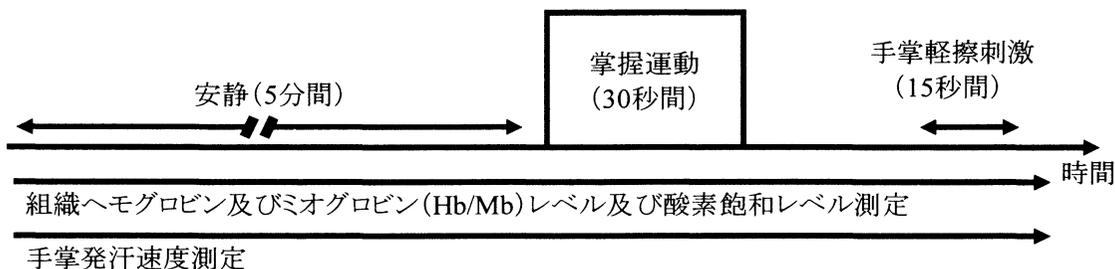


Fig. 1. 実験プロトコル

査の対象から除外した。

スクリーニング調査に用いた全対象者の平均値から標準偏差分を減じた値を求め、その数値よりも低い測定値を示した対象者群を「体温低値群」とした。また、体温低値群でない対象者から無作為に同人数抽出し「比較対照群」とした。

3. 組織酸素動態及び手掌発汗速度

体温低値群及び比較対照群の対象者に対して、安静時、掌握運動時及び手掌軽擦時の組織酸素飽和レベル、組織ミオグロビン及びヘモグロビン (Hb/Mb) レベル及び発汗速度測定を実施した。実験プロトコルをFig. 1に示した。測定はすべて仰臥位にて実施した。まず5分間安静を保持した後、掌握運動を30秒間行なった。野球ボール程度の大きさのスポンジボールを負荷として、1秒間に1回の頻度で合計30回握るよう、検者が口頭でリズムを取りながら行なった。その後、組織Hb/Mbレベル、組織酸素飽和レベル及び発汗速度が安静時値まで回復するのを待ち、手掌軽擦を実施した。左手掌部を刷毛で15秒間軽擦した。

測定前に、近赤外線分光装置 (PSA-IIIN、バイオメディカルサイエンス、金沢) のプローブを右浅指屈筋筋腹上方の皮膚に、発汗量測定器 (SKD-1000、スキノス、名古屋) のカプセル型プローブを左手掌に、それぞれ貼付した。組織Hb/Mbレベル及び組織酸素飽和レベルの測定¹²⁾は、近赤外線分光装置のプローブ上にある発光部から波長の異なる3種類の近赤外光 (700、750及び830 nm) を照射し、

Hb/Mbの酸素化及び脱酸素化状態における各波長の吸光特性の違いを利用して測定した。また、発光部から11及び26 mm離れた2箇所の受光部で受光し、その差から深部組織の測定指標値を算出した。

手掌発汗速度は、発汗量測定器のプローブ内に蒸発した汗の量を測定し、単位時間当たりの量として算出した。

各測定指標の安静時値及び掌握運動中の値及び手掌軽擦刺激中の値を示すとともに、掌握運動中及び手掌軽擦中の値に関しては安静時の値を減じて差分も算出し、それぞれ Δ 組織Hb/Mbレベル、 Δ 組織酸素化レベル及び Δ 手掌発汗速度として示した。

4. 統計処理

どのデータも群ごとに集計して平均 \pm 標準偏差で示し、両群間の平均の差を検定するために対応のない t 検定を用いた。いずれも有意水準は 5% 未満とした。

III. 結果

1. スクリーニング調査

スクリーニング調査は、データが不適格と判定された49名分を除外した121名分の測定値により実施した。これら対象者の起床時体温の分布をFig. 2に示した。全被験者の体温の平均値と標準偏差は、 $36.25 \pm 0.26^\circ\text{C}$ であった。この平均値から標準偏差を減じた数値である 35.99°C よりも低い体温を示した11名を体温低値群とした。また、不適格と判

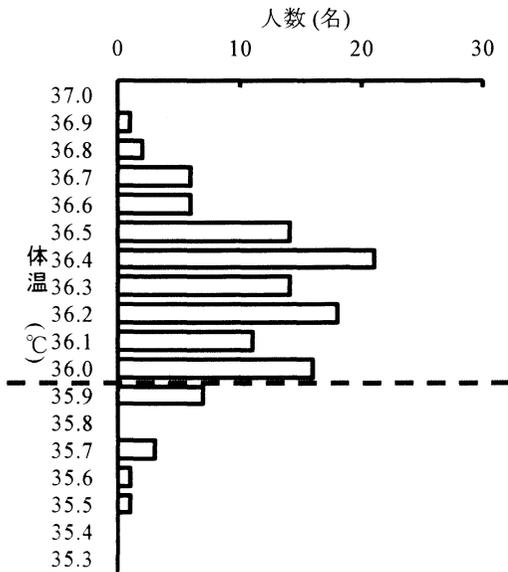


Fig. 2. スクリーニング調査における起床時体温の分布

定されない体温低値群以外の対象者の中から、比較対照群11名を無作為に抽出した。各群の年齢、身長、体重、Body Mass Index (BMI) 及び起床時体温は、体温低値群で順に 6.07 ± 0.376 歳、 113 ± 4.25 cm、 19.9 ± 2.15 kg、 15.4 ± 0.944 及び $35.78 \pm 0.15^\circ\text{C}$ 、比較対象群で順に 6.16 ± 0.213 歳、 112 ± 4.88 cm及び 18.6 ± 1.63 kg、 14.8 ± 0.901 及び $36.39 \pm 0.12^\circ\text{C}$ であった。年齢、身長及び体重には両群間で有意な差はみられず、起床時体温には有意差が認められた ($p < 0.001$)。

2. 組織酸素動態及び手掌発汗速度

組織酸素飽和レベル (Fig. 3) は、安静時において、体温低値群が 75.3 ± 1.56 、比較対照群が 74.6 ± 1.28 であり、有意な差はみられなかった。掌握運動中では体温低値群が 75.2 ± 1.87 、比較対照群が 75.0 ± 1.64 であり、また手掌軽擦刺激中では体温低値群が 74.7 ± 1.07 、比較対照群が 74.1 ± 0.878 であり、ともに有意な差ではなかった。また、 Δ 組織酸素化レベルは、掌握運動中では体温低値群が -0.0674 ± 1.29 、比較対照群が 0.390 ± 1.02 であり、また手掌軽擦刺激中では体温低値群が 0.653 ± 1.32 、比較対照群が $0.917 \pm 0.$

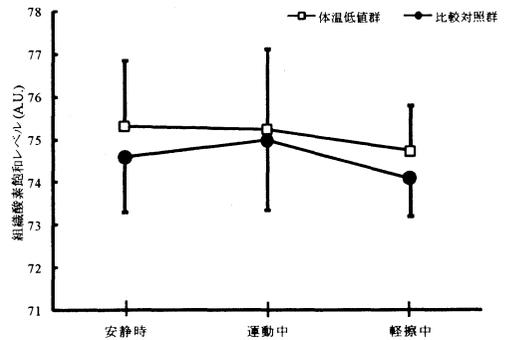


Fig. 3. 安静時、運動中及び軽擦中における組織酸素飽和レベル

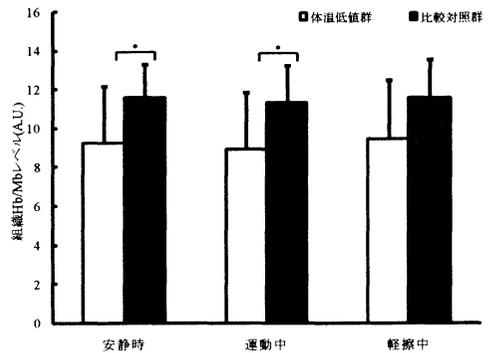


Fig. 4. 安静時、運動中及び軽擦中における組織Hb/Mbレベル (*, p < 0.05)

779であり、ともに有意な差ではなかった。

組織Hb/Mbレベル (Fig. 4) は、安静時において、体温低値群が 9.27 ± 2.90 、比較対照群が 11.6 ± 1.71 であり、低値体温群で有意に低かった ($p < 0.05$)。また掌握運動中でも、体温低値群が 8.95 ± 2.88 、比較対照群が 11.3 ± 1.93 であり、低値体温群で有意に低かった ($p < 0.05$)。手掌軽擦刺激中では体温低値群が 9.46 ± 3.04 、比較対照群が 11.6 ± 1.99 であり、有意な差ではなかった。また、 Δ 組織Hb/Mbレベルは、掌握運動中では体温低値群が -13.4 ± 16.7 、比較対照群が -11.5 ± 28.1 であり、また手掌軽擦刺激中では体温低値群が 18.6 ± 23.6 、比較対照群が 13.3 ± 23.2 であり、ともに有意な差ではなかった。

手掌発汗速度 (Fig. 5) は、安静時において、体温低値群が 0.262 ± 0.184 mg / min、比較対照群が 0.297 ± 0.159 mg / minであり、低値体温群で低い平均値を示したが、統計的に有意ではなかつ

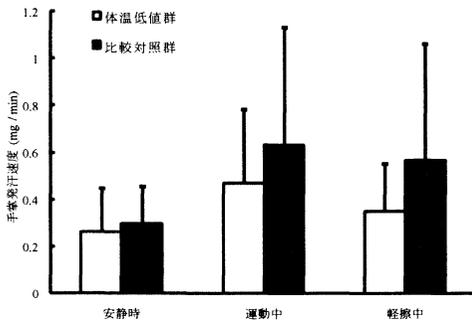


Fig. 5. 安静時、運動中及び軽擦中における手掌発汗速度

った。掌握運動中では体温低値群が 0.469 ± 0.317 mg / min、比較対照群が 0.631 ± 0.500 mg / minであり、また手掌軽擦刺激中では体温低値群が 0.351 ± 0.202 mg / min、比較対照群が 0.565 ± 0.498 mg / minであり、ともに有意な差ではなかった。また、 Δ 手掌発汗速度は、掌握運動中では体温低値群が 0.0846 ± 0.131 mg / min、比較対照群が 0.197 ± 0.361 mg / minであり、また手掌軽擦刺激中では体温低値群が 0.0896 ± 0.115 mg / min、比較対照群が 0.267 ± 0.398 mg / minであり、ともに有意な差ではなかった。

IV. 考察

本研究では、近年子どもにおいて報告がみられる基礎体温の低下傾向について、幼児を対象として実施し、組織酸素動態や手掌発汗速度を指標として調査することを目的とした。

体温は視床下部で制御されており、視床下部の温度が最も高い体温とされている。しかし、視床下部の温度を測定することは通常では不可能であるため、一般に深部体温というと肺動脈温のことを指す¹³⁾。また、食道温、膀胱温及び鼻咽頭温は、肺動脈温に近似 ($0.1 \sim 0.2^\circ\text{C}$ 以内の誤差) する¹⁴⁾ことから、臨床医学分野で用いられている。一方で鼓膜温は、鼓膜に動脈血が直接的に供給される部位であることから、深部温を示す指標の一つとされている¹⁵⁾。

いわゆる「低体温児」というと、 35°C 台を示す子どものことをいう⁵⁾。今回、鼓膜温を用いて深

部温測定を実施したところ、 35°C 台を示す子どもは対象者全体の9.09%であった。先行研究で子どもの体温を調査した報告ではすべて腋窩温測定を採用しているが、木村ら⁵⁾の1990年から93年までの報告では全体の9.3%が、朝山⁸⁾の1995年のデータでは全体の6%が、 35°C 台を示している。測定方法に違いはあるものの、本研究で対象となった幼児においても、 35°C 台を示すものが同等かそれ以上の割合でいることが確認された。

近赤外線分光装置による組織酸素動態計測では、皮下脂肪厚等の個人差によって、測定値が変化するとされている¹⁶⁾。動脈阻血等を実施して被験者間の個人差を補正する場合があるが、この阻血手技には痛みを伴うなど、被験者にかかる負担が大きい。本実験においては幼児が被験者であるため、阻血手技による補正は出来なかったが、両群の体重及びBMIに有意差は認められなかったことから、両群の体組成に大きな差はなかったものと考えられる。

組織酸素飽和レベルを、安静時、運動中及び手掌軽擦中に測定したが、どの測定期においても、両群間に差はみられなかった。酸素飽和度は運動によって低下することが知られている¹⁷⁾が、本研究の掌握運動の際に用いた運動負荷はスポンジボールであり非常に低負荷であったために、酸素飽和レベルに及ぼす影響が小さかったものと考えられる。

組織Hb/Mbレベルは、安静時及び掌握運動中において、体温低値群のほうが比較対照群よりも有意に少なかった。一方で、 Δ 組織Hb/Mbレベルをみると、どの測定期においても有意な差はみられなかった。したがって、組織Hb/Mbレベルの運動中にみられた有意差は、運動に影響されたものではなく、安静時値の差による影響を受けたものであると考えられる。言い換えると、安静状態において体温が低いほど組織におけるHb/Mb濃度も低かったといえる。

朝山⁸⁾や柴田ら⁹⁾は、体温の低い幼児は身体活動量が少ないことを示している。一方で、トレーニングなどの継続的に実施する運動によってミオ

グロビン濃度^{18,19)}及び毛細血管密度¹⁸⁾は変化することが知られている。これらの先行研究の結果を踏まえて本研究で得られた結果を考えると、体温の低い子どもは身体活動量が少なく、そのため組織における Hb/Mb 濃度も少ない、と推測することができる。

本研究において手掌発汗速度を測定したところ、両群間の間に有意な差は認められなかった。手掌などの無毛部位の発汗機能は、自律性の汗腺神経の支配を受けているため、自律神経系機能評価に用いられている。一方で、心理的、情動的要因が反映する²⁰⁾ことが知られており、先行研究においても有毛部位の発汗速度よりも標準誤差の幅が大きく、個体間でばらつきが出ている^{21,22)}。今後、対象者数を増やしさらにデータを積み重ねて、個体差の影響がより少なくなるよう工夫することが必要であろう。特に掌握運動及び手掌軽擦刺激による△手掌発汗速度においては、有意差はないものの体温低値群で比較対照群よりも平均値が低かった。この結果が生理学的に意味を持つものであるかどうか、慎重に検討していく必要がある。

体温が低いことが子どもの健康や体力にどのような影響を及ぼすかどうかは、非常に興味深いところである。本研究で認められた組織Hb/Mbレベルの差から、組織への酸素供給能力の低さが疑われる。また、柴田ら⁹⁾の報告による心臓副交感神経系レベルの低値化は、運動直後の心拍数減少を抑制し、高い心拍数を維持し続けることにもつながる。これらのことは、全身持久力や間欠的運動能力に反映することが考えられ、体力低下の問題にもつながりうる、現代の子どもにおいて憂慮すべき問題の一つであるといえる。また、体温が低いということは発生する熱量が少ないことを意味しており、エネルギー消費量の減少、ひいては肥満を促進させる可能性も考えられる。さらに、不登校児を対象として1日の体温変動周期を調査した報告をみると、正常では午前3時前後に訪れる最低体温が午前6時前後に移動している被験者が多く、この体温周期の変化が午前中の活動状態に影響を与えている可能性を指摘している²³⁾。今後は、体温

が低い子どもたちに対して、その状況を改善するための実践プログラムを示していくためにも、体温低下を引き起こしている直接的な原因を究明していく必要がある。

V. 結論

本研究は、基礎体温が低い幼児に着目し、組織酸素動態や発汗速度に特徴があるか、対照群との比較により明らかにすることを目的とした。幼稚園年長児170名を対象として起床時体温を測定した。その上で、対象者全体の平均値から標準偏差の値を減じた値よりも低い体温データの対象者を抽出(11名)し、体温低値群とした。また、それ以外の対象者から同人数をランダムに抽出し、比較対照群とした。両群の、安静時、掌握運動中及び手掌軽擦刺激中の心拍数、浅指屈筋の組織酸素飽和レベル、組織Hb/Mbレベル及び手掌発汗速度を測定した。その結果、組織酸素飽和レベル及び発汗速度に有意な差は認められなかった。一方で、組織Hb/Mbレベルは体温低値群のほうで有意に低い値を示した。このことから、基礎体温の低い幼児は組織レベルでの酸素供給能力が低い可能性が考えられた。

VI. 参考文献

- 1) 小林臻, 平山宗宏, 南部春生, 千葉良, 前田和一, 松田博, 安次嶺馨, 巷野悟郎: 小児の体温に関する研究 第1編: 現在における小児の正常体温, 小児保健研究, 41, 419-427, 1982.
- 2) 村上勝美, 守川昇: 学童の体温に就いて, 小児保健研究, 15, 50-51, 1956.
- 3) 広瀬震一, 藤沢栄子, 萩昌人: 微熱用体温計による学童体温の測定成績, 小児保健研究, 15, 51, 1956.
- 4) 田中博隆: 熊本地方学童の在在校時体温の季節変動について, 体質医学研究所報告, 3, 71-77, 1952.
- 5) 木村慶子, 南里清一郎, 米山浩志, 井手義

- 頭, 玄葉道子, 齊藤郁夫, 中川真弥, 松尾宣武 : 児童の体温に関する研究 - 24年間の比較 -, 慶應保健研究, 15, 81-88, 1997.
- 6) 山中龍宏: 体温計測の問題点, 小児保健研究, 51, 138-140, 1992.
- 7) 梁茂雄: 小児の低体温化, 小児科, 39: 61-69, 1998.
- 8) 朝山正己: 子どもの体温について - いわゆる「低体温児」の実態 -, 臨床体温, 17, 3-9, 1999.
- 9) 柴田真志, 鶴木秀夫, 土肥隆, 松村浩貴, 神吉賢一: 起床時体温低値男児児童の身体活動、心臓自律神経活動動態および体温概日リズム特性., 体育学研究, 49, 295-303, 2004.
- 10) Holloszy, J. O.: Muscle metabolism during exercise, Arch. Phys. Med. Rehabil., 63, 231-234, 1982.
- 11) Harms, S. J. and Hickson, R. C.: Skeletal muscle mitochondria and myoglobin, endurance, and intensity of training, J. Appl. Physiol., 54, 798-802, 1983.
- 12) 酒井秋男, 斎藤建夫: 近赤外分光法を用いた組織酸素消費量の無侵襲連続測定, Therapeutic Research, 16, 247-250, 1995.
- 13) Lorin, M. I.: Measurement of body temperature, Semin. Pediatr. Infect. Dis., 4, 4-8, 1993.
- 14) Webb, G. E.: Comparison of oesophageal and tympanic membrane monitoring during cardiopulmonary bypass, Analg. Anesth., 52, 729-733, 1973.
- 15) El-Radhi, A. S. and Barry, W.: Thermometry in paediatric practice, Arch. Dis. Child., 91, 351-356, 2006.
- 16) 山本克之, 庭山雅嗣, 工藤信樹, 川初清典 : 近赤外光組織酸素モニタによる筋代謝の測定, 計測と制御, 39, 283-286, 2000.
- 17) 小泉佳右, 都地大基, 藤田幸雄, 森本耕次, 村松成司: 足関節底屈運動におけるActive recovery部位の相違が筋酸素動態に与える影響, 千葉体育学研究, 28, 21-30, 2003.
- 18) Holloszy, J. O.: Muscle metabolism during exercise, Arch. Phys. Med. Rehabil., 63, 231-234, 1982.
- 19) Harms, S. J. and Hickson R. C.: Skeletal muscle mitochondria and myoglobin, endurance, and intensity of training, J. Appl. Physiol., 54, 798-802, 1983.
- 20) Ogawa, T.: Thermal influence on palmer sweating and mental influence on generalized sweating in man, Jpn. J. Physiol., 25, 525-536, 1975.
- 21) Saad, A. D., Stephens, D. P., Bennett, L. A. T., Charkoudian, N., Kosiba, W. A. and Johnson, J. M.: Influence of isometric exercise on blood flow and sweating in glabrous and nonglabrous human skin, J. Appl. Physiol. 91, 2487-2492, 2001.
- 22) Aoki, K., Kondo, N., Shimomura, Y., Yokoi, M., Iwanaga, K., Harada, H. and Katsura, T.: Sweating response during activation of the muscle metaboreflex in human is altered by time of day, Acta Physiol. Scand., 180, 63-70, 2004.
- 23) 友田明美, 三池輝久, 上園慶子, 川崎晃一 : 不登校児における深部体温の概日リズム障害, 臨床体温, 14, 85-89, 1994.