

環境温の違いが多段階ペース走時の鼓膜温に及ぼす影響

Effects of Differences in Environmental Temperature on Tympanic Temperature during Multi-Stage Running

吉塚 一典¹⁾, 山本 正嘉²⁾

¹⁾ 佐世保工業高等専門学校

²⁾ 鹿屋体育大学スポーツトレーニング教育研究センター

Kazunori Yoshizuka¹⁾, Masayoshi Yamamoto²⁾

¹⁾ Sasebo National College of Technology

²⁾ National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Abstract

The purpose of this study was to investigate increases in body temperature during multi-stage running at three different environmental temperatures with a focus on tympanic temperature. The results showed that changes in tympanic and rectal temperatures were not necessarily synchronized. In addition, two patterns were observed for changes in tympanic temperature, and these patterns were influenced by WBGT. Specifically, 1) tympanic temperature did not increase at increased running speed in an optimal environment with a low WBGT, 2) but it significantly increased at increased running speed in a hot environment with a high WBGT. In addition, we found that individuals performing high-intensity running in an environment similar to 2) were at risk of developing hyperthermia in clinical terms ($\leq 38.5^{\circ}\text{C}$). Therefore, in order to conduct safer long-distance running training in the summer, it is necessary for athletes and coaches to realize the phenomena mentioned above and to consider training at time periods with low WBGT such as early morning and evening.

Key words: running, heat stroke, hot environment, WBGT, tympanic temperature

キーワード：ランニング，熱中症，暑熱環境，WBGT，鼓膜温

I. 緒 言

夏季のスポーツ現場における体温管理は、パフォーマンス低下の防止や、熱中症の予防のために重要である。このため古くから、暑熱環境での運動時における体温上昇に関して多くの研究が行われてきたが、その際の体温の指標としては直腸温が用いられることが多かった。その理由は、直腸温は深部体温の中でも測定の際に外科的な手法が必要なく、比較的測定しやすいためである。これまでの研究によると、深部体温は相対的な運動強度 ($\% \dot{V}O_2\text{max}$) に比例して上昇すること^{1,20)}、また直腸温のレベルでは42℃程度までの上昇にも耐えうること¹¹⁾が報告さ

れている。

一方、同じ深部組織でも脳は熱に弱く、40.5℃を超えると不可逆的なダメージが生じるとされる^{4,16)}。しかし、脳の温度を指標として、実際のスポーツ活動中の体温上昇を調べた研究はほとんどない。その理由は、脳温の測定には外科的な手法が必要となるため^{9,12)}、運動中の測定は事実上不可能だからである。また、その代用値とされる鼓膜温についても、体温計を直接鼓膜に接触させる必要があることから³⁾、鼓膜への侵襲や穿孔の恐れがあって運動時の測定には不向きであった。

ところが近年、赤外線式の鼓膜体温計が開発され、

表 1. 多段階ペース走の設定タイム

レベル	800m走の タイム	(5000m走に 換算したタイム)
1	3'20"	(20'50")
2	3'12"	(20'00")
3	3'04"	(19'10")
4	2'56"	(18'20")
5	2'48"	(17'30")
6	2'40"	(16'40")
7	2'32"	(15'50")
8	2'24"	(15'00")

これを用いると鼓膜への接触の必要がなく、また瞬時に鼓膜温を測定することが可能になった¹⁸⁾。このことは言い換えると、暑熱に弱い脳の温度を、この体温計によって簡便に評価できる可能性が出てきたことを意味する。

そこで本研究では、3種類の異なる環境温度下で、8名の長距離走選手が多段階のペース走を行った際の体温上昇について、鼓膜体温計を用いて検討することを目的とした。また、一部の選手については鼓膜温とともに直腸温も測定し、両者の体温上昇の違いについても検討した。

II. 研究方法

1) 被験者

被験者はS高専の陸上競技部に所属し、中長距離走を専門とする男子部員8名とした。全ての被験者には、実験の内容についてその危険性を含めて十分な説明をし、参加への同意を得た。また測定時に体調に不安があった被験者は、その実験から除外した。

被験者の身体特性は、年齢が18.0 ± 1.4歳、身長が168.1 ± 2.4cm、体重が55.3 ± 5.9kgであり、5000m走のベストタイムは17'00" ± 51"であった。

2) 実験手順

実験は、平成16年4月から8月にかけて、計3回実施した(以下 a, b, c とする)。それぞれの実験環境は、WBGTでいうと a が15.9℃, b が20.5℃, c が31.9℃であった。これを日本体育協会が示している「熱中症予防のための運動指針」⁸⁾の基準にあてはめると、a と b が「ほぼ安全」、c が「原則運動中止」(以下、原則中止)に分類された。

各条件とも安静時の鼓膜温を測定した後、被験者にはごくゆっくりしたペースで10分間のウォーミングアップを行わせ、その後10分の休息をはさんでから実験を開始した。実験は400mトラックを使用し、表1のような方法で多段階のペース走を行った。

各段階の走行距離は800mとし、レベル1ではこれを3分20秒のペースで走り、以後1本ごとに8秒ずつペースを上げていき、レベル8(2分24秒)まで計8本走らせた。ペース走の間の休息時間は1分間とした。各レベルのペースを守らせるため、100mおきに補助員を配置して被験者にペースを指示した。また途中で設定ペースから遅れた被験者については、そのセットのデータを最終値とし、それ以降の測定は中止した。

図1は、このペース走を行った時に、生理的どの程度の負荷がかかるかを知るために、実験bを対象として、心拍数(HR)、血中乳酸濃度(La)、主観的運動強度(RPE)を1セット毎に測定したもので

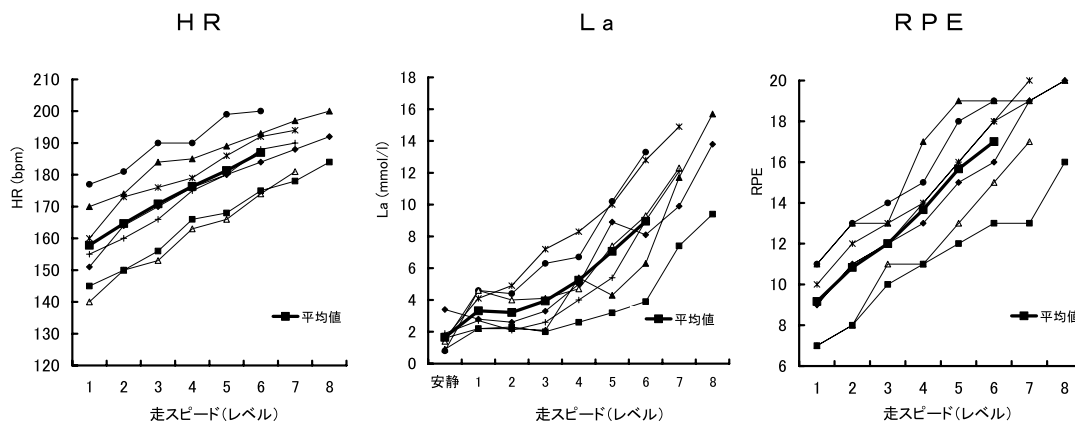


図 1. WBGTが20.5°C の環境で多段階ペース走を行った時の生理応答

ある。HRはスポーツ心拍計S610i (POLAR社製) を、Laはラクテートプロ (アークレイ社製) を用いて測定した。いずれの指標とも、走速度が速くなるほど上昇し、最終セット時のHRは 191.6 ± 7.3 bpm, Laは 13.1 ± 2.1 mmol/l, RPEは 18.7 ± 1.6 を示した。したがって、本研究で用いた多段階ペース走を最後まで遂行した場合には、身体には十分に大きな負荷がかかることが窺えた。

3種類の実験環境でのペース走時には、鼓膜温を1セットごとに測定した。また8名の被験者のうち1名については、鼓膜温とあわせて直腸温の測定も行った。鼓膜温の測定には、赤外線式鼓膜体温計ジニアス(日本シャーウッド社製),直腸温はロガーLT-8(グラム社製)を用いた。なお鼓膜温の測定にあたっては、測定に熟練した検者が2~3回行い、その最高値を採用した。

3) 統計処理

各変数の測定結果は、平均値±標準偏差で示した。

なお、各条件とも途中で設定ペースから遅れた被験者が出たため、統計処理上は設定ペースを守って走り終えた走レベルを最終セットとした。平均値の差の検定にはt検定と一元配置分散分析を用い、その後の検定にはtukeyを用いた。全ての統計処理にはSPSS 15.0Jを用い、有意水準は5%未満とした。

III. 結果

1) 3種類の環境温下での鼓膜温と直腸温の上昇

図2は、鼓膜温と直腸温を同時に測定した1名(Y. K.)について、多段階ペース走時の体温上昇の状況を示したものである。直腸温はいずれの環境下においても、ランニング速度の増加に伴い上昇した。これに対して鼓膜温は、「ほぼ安全」環境のaとbでは上昇しなかったが、「原則中止」環境のcでは上昇した。

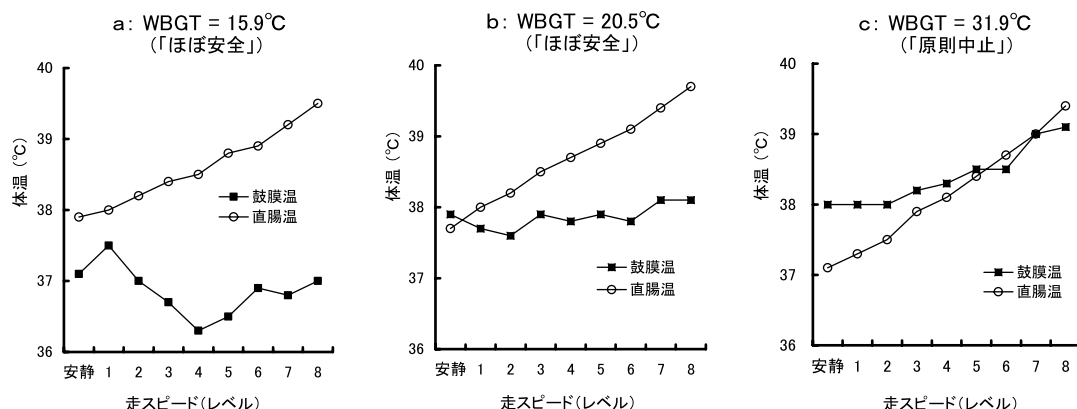


図2. 3種類の環境で多段階ペース走を行った時の鼓膜温と直腸温の変化 (被験者Y.K.の例)

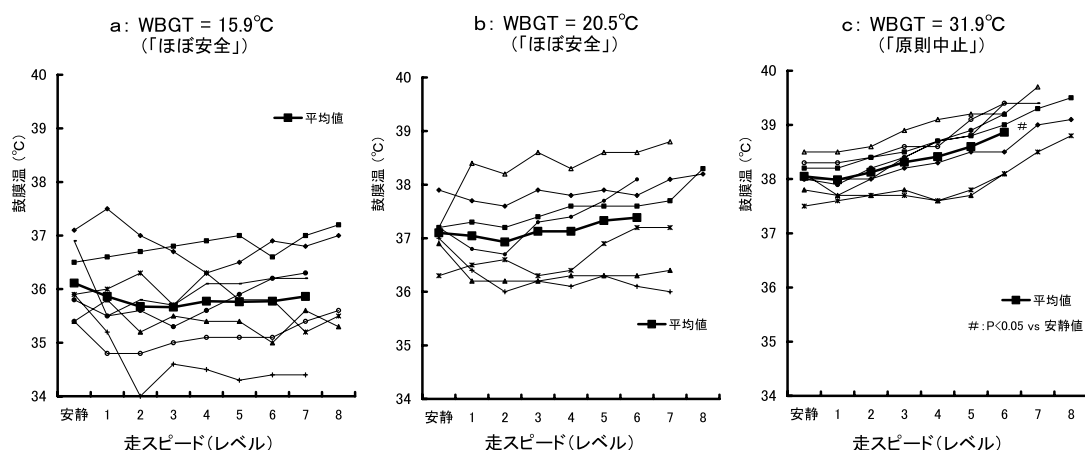


図3. 多段階ペース走時におけるスピードの上昇に伴う鼓膜温の変化

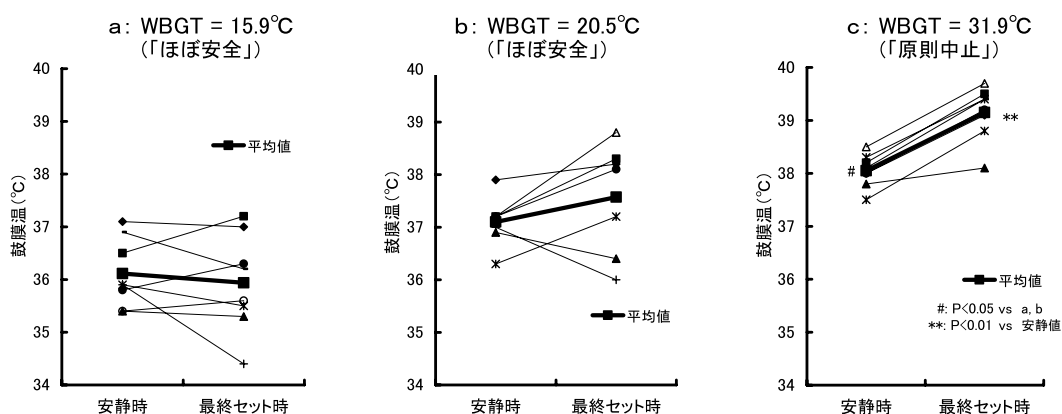


図4. 多段階ペース走時における安静時と最終セット時の鼓膜温

2) 3種類の環境温下での鼓膜温の上昇

図3は、3種類の環境温下で実施した多段階ペース走時の鼓膜温の変動を示したものである。aとbにおいては安静時の鼓膜温のレベルは低かった(36~37°C)。また、安静時の値に対して、全員の平均値が得られた最終のセット(aでは7本目、bでは6本目)の鼓膜温にも有意差は見られなかった。これに対してcでは、安静時の鼓膜温のレベルそのものが高く(38°C)、また安静時の値に比べて、全員の平均値が得られた最終のセット(6本目)の鼓膜温は有意に上昇していた($P < 0.05$)。

図4は、各被験者における安静時の値と最終セット時の値とを示したものである。aとbでは、安静時と最終セットの間に有意な上昇は認められなかった。一方cにおける最終セットでは平均で39.2°Cまで上昇し、安静時の平均38.1°Cに比べ有意な上昇が見られた($P < 0.05$)。また、3環境での安静値を比較したところ、a:36.1°C、b:37.1°C、c:38.1°Cと、環境温が上がるにつれて高い値を示し、a、bとcとの間には有意差が認められた。

IV. 考 察

1) 3種類の環境温下での鼓膜温と直腸温の上昇

本研究では1名のみではあるが、3種類の環境温下で多段階ペース走を行い、直腸温と鼓膜温の変化を同時に記録した(図2)。その結果、両者は必ずしも同期した変化を示さなかった。すなわち、直腸温についてはどの環境でも走速度が増加するにつれて上昇した。一方鼓膜温については、「ほぼ安全」

の環境で行った場合には走速度が増加しても上昇しなかったが(a, b), 「原則中止」の高温環境下で行った場合には上昇する傾向を示した(c)。

直腸温と鼓膜温との関係を見た先行研究を見ると、ある1種類の環境条件下で被験者の鼓膜温と直腸温を比べたものがほとんどである。そして、その測定条件も様々であるために、鼓膜温と直腸温の相関が高いとする報告^{19,21)}と、逆に相関が低いとする報告^{2,13)}が混在している。また本研究のように、運動条件が変化した時の両者の変化について検討した研究は見られない。

このように、直腸温と鼓膜温との関係については、今後もさらに検討を重ねる必要があるが、鼓膜温は脳温の指標となる可能性があること^{3,14)}、また直腸温のレベルでは42°C くらいまで耐えられるのに対して¹¹⁾、脳温は40.5°C 付近で危険な状況に陥るとされること^{4,16)}を考えると、暑熱環境下での運動時に、脳を熱中症から守るために、鼓膜温を測定することの意義は大きいと言えよう。

2) 3種類の環境温下での鼓膜温の上昇

本研究では1)の結果を受けて、3種類の環境温下で運動を行った時に、鼓膜温がどのような変化をするかについて、8名の被験者を対象に検討した。

その結果、図3に示したように、適温環境下(a, b)では走速度が増加しても鼓膜温はほとんど上昇しないが、高温環境下(c)では走速度に伴い上昇するという、2つの異なる変動パターンが観察された。また、各被験者の安静時と最終セット時の鼓膜温を示した図4を見ても、a, bでは有意な上昇が

見られなかったのに対して、cでは有意な上昇を示した。

運動強度が増加しても a, b で鼓膜温の上昇が見られなかった理由として、選択的脳冷却機構 (SBC) の働きが考えられる。SBCは激しい運動や暑熱暴露で体温が著しく上昇した場合に、熱に最も弱い器官である脳を守るために働く機構とされている^{4,15)}。そして a, b では、この機構が有効に働いたために、脳温を反映する鼓膜温の上昇も抑えられたが、cでは高温環境で高強度の運動が行われたために、SBC機構による補償ができなかったと説明できるかもしれない。ただし、人間におけるSBCの存在については現在のところ賛否が分かれており^{4,7,15)}、今後更に検討を要する課題である。

図3および図4からは、以下のようなこともわかる。実験前の安静値をみると、aでは36.1℃、bでは37.1℃、cでは38.1℃と、環境温が上昇するにつれて高い鼓膜温を示し、a、bとcとの間には有意差も認められた。このような現象があることについては、先行研究でも報告されている^{6,17)}。これは、環境温が運動時の鼓膜温の上昇に関与するばかりでなく、安静レベルの上昇にも関与していることを示唆するものである。

以上をまとめると、環境温が低い場合には運動強度が上がっても鼓膜温は上昇しないが、環境温が高い場合には鼓膜温はすでに安静時から高値を示す上、走速度の増加に伴ってさらに大きく上昇してしまうため、結果的に非常に高い温度に達するといえる。鼓膜温は脳温を反映するという報告があり^{3,14)}、また脳が熱に弱いという研究があること¹⁵⁾を考えると、高温環境下での高強度のランニングは脳にとって危険性が高く、その実施には十分な配慮が必要だといえよう。

3) 高温環境下での運動時の鼓膜温について

上述のように、高温環境下でのランニングは脳温が上昇し熱中症を招く危険性が高い。そこで、最も上昇が顕著であったc環境での鼓膜温について検討を行った。

一般に臨床では38.5℃以上が高体温とされているが、図3をみると、cではレベル5のスピードから

鼓膜温の平均値が38.5℃を超え、最終セットでは39.2℃まで上昇し、被験者によっては39.7℃を示した者もいた。脳温は40.5℃を超えると不可逆的なダメージをうけるとされている^{4,16)}。今回の結果では、この温度を超えた被験者は見られなかったが、サッカーでは36.4~38.4℃¹⁷⁾、アメリカンフットボールでは37.9℃(35.9~40.0℃)⁵⁾、バドミントンでは38.6℃(37.9~39.9℃)¹⁴⁾など、他の種目で報告されている鼓膜温に比べて高い値であった。

次に、高体温に陥り始めたレベル5の運動強度について検討してみる。レベル5のペースは、被験者の5000m平均タイムのペースよりも30秒ほど遅い。また、本研究の被験者たちが普段、cのような高温環境下で行っているトレーニングと比べても遅いペースである。それにもかかわらず、被験者の多くがすでに高体温状態に陥っていたことは興味深い。臨床の分野で高体温とされる38.5℃が、アスリートにとってただちに危険な状態といえるかは今後の検討課題であるが、cのような環境で運動を行えば、予想以上に低い運動強度でも、ほぼ全員が高体温になる可能性がある、ということは認識しておく必要があるだろう。

またbの環境下でも、1名ではあるが鼓膜温が38.5℃以上となった被験者がいたことも注目される。図3に見られるように、鼓膜温の上昇には個人差があり、同じ環境でも上昇の程度に差が見られる。一般的には体力が低い者ほど暑熱耐性が低い⁸⁾とされているが、このような選手では「ほぼ安全」とされる環境下でも注意が必要だといえる。

V. まとめ

本研究では、3種類の環境温度で多段階のペース走を行った際の体温上昇について、脳温を反映するとされる鼓膜温を指標として検討した。その結果、鼓膜温と直腸温との変化は必ずしも同期しないことが明らかとなった。また、鼓膜温の上昇には2つの変動パターンがあり、その変動パターンにはWBGTが影響していることが示唆された。すなわち、①WBGTが低い適温環境下では走速度が増加しても鼓膜温は上昇しないが、②WBGTが高い高温環境下で

は走速度が上がると鼓膜温も有意に上昇することがわかった。さらに、②のような環境下で高強度のランニングを行えば、ほとんどの被験者が臨床でいう高体温 (38.5℃ 以上) に陥る可能性があることも明らかとなった。したがって夏季における長距離走のトレーニングをより安全に行うためには、上記のような現象があることを選手やコーチに啓蒙するとともに、トレーニングを早朝や夕刻など、WBGTの低い時間帯に実施するといった配慮が必要であると考えられた。

引用文献

- 1) Astrand, I.: Aerobic work capacity in men and women with special reference to age, *Acta Physiol. Scand, Suppl.*: 169, 1960.
- 2) Briner, W.W. : Tympanic membrane vs rectal temperature measurement in marathon runners, *JAMA.*, 276: 194, 1996.
- 3) Brinell, H., M. Cabanac: Tympanic temperature is a core temperature, *J. Thermal. Biol.*, 14: 47-53, 1989.
- 4) Cabanac, M.: Selective brain cooling in humans, *FASEB. J.*, 7: 1143-1147, 1998.
- 5) 石垣亨, 藤城仁音, 辻田純三, 圓吉夫, 大和眞, 中野昭一, 堀清記: アメリカンフットボール練習時のヘルメット温度と鼓膜温の関係, *体力科学*, 50: 333-338, 2001.
- 6) 石垣亨, 小山勝弘, 武村政徳, 賀屋光晴, 辻田純三, 堀清記, 山下陽一郎, 大和眞, 藤城仁音: 夏季運動現場での鼓膜温と環境温との関係, *関西臨床スポーツ医・科学研究会誌*, 7: 53-55, 1997.
- 7) Jessen, C. , G. Kuhnen: No evidence for brain stem cooling during face fanning in humans, *J. Appl. Physiol.*, 72: 664-669, 1992.
- 8) 川原貴, 朝山正己, 白木啓三, 中井誠一, 森本武利: 熱中症予防ガイドブック, 日本体育協会, 1999.
- 9) Mariak, Z., Z. Bondyra, M. Pielarska: The temperature within the circle of willis vs tympanic temperature in humans, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 66: 518-520, 1993.
- 10) Mariak, Z., J. Lewko, J. Luczaj, B. Polocki, M. D. White: The relationship between measured human cerebral and tympanic temperatures during changes in brain temperatures, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 69: 545-549, 1994.
- 11) Maron, M. B., J. A. Wagner, S. M. Horvath: Thermoregulatory responses during competitive marathon running, *J. Appl. Physiol.*, 42: 909-914, 1997.
- 12) Møllergaard, P.: Changes in human intracerebral temperature in response to different methods of brain cooling, *Neurosurgery*, 31: 671-677, 1992.
- 13) Montoya, C. M., G. P. Escalante, A. E. Flores: Comparative study of tympanic and mercury thermometry in children, *Gac. Med. Mex.*, 134: 9-14, 1998.
- 14) 村尾浩, 島田恭光, 山口淳, 加藤洋, 阿部宗昭: 夏期バドミントン競技練習中の発汗量, *関西臨床スポーツ医・科学研究会誌*, 9: 25-27, 1999.
- 15) 永坂鉄夫: ヒトの選択的脳冷却とその医学・スポーツ領野への応用, *日生氣誌*, 37: 3-13, 2000.
- 16) 永坂鉄夫: 暑熱と運動, *体力科学*, 41: 17-19, 1992.
- 17) 野井真吾: 健康青少年における暑熱環境下運動とその生体応答とに関する検討, *Jpn. J. School Health*, 42: 59-70, 2000.
- 18) 野井真吾, 野田耕, 高田由香里, 原嶋友子, 安部茂明, 正木健雄: 学校現場における健康青少年の体温測定値; 腋窩温と鼓膜温とに注目して, *臨床環境医学*, 7: 87-92, 1998.
- 19) Postma, C. T., J. Wahjudi, J. A. Kamps, T. Boo, J. W. Meer: Measurement of the body temperature of adults by rectal digital thermometer and the infrared tympanic thermometer: equally good results in the department of internal medicine, *Ned. Tijdschr. Geneesk.*, 141: 942-946, 1997.
- 20) Saltin, B., L. Hermansen: Esophageal, rectal and muscle temperature during exercise, *J. Appl. Physiol.*,

21: 1757–1762, 1966.

- 21) Talo, H., M. L. Macknin, S. V. Medendorp:
Tympanic membrane temperatures compared rectal to
and oral temperatures, Clin. Pediatr., 30: 30–35,
1991.