

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：57103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01582

研究課題名(和文) 暑熱障害防止のための無線鼓膜温測定装置の実用化に関する研究

研究課題名(英文) Research on practical use of wireless tympanic temperature measuring device for preventing heat stroke

研究代表者

濱田 臣二 (SHINJI, HAMADA)

北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・教授

研究者番号：10228538

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、高温環境下での運動時における無線通信による鼓膜温測定装置の開発を行った。本研究で開発した装置によって、運動中の鼓膜温の複数データのリアルタイムモニタリングとデータの保存が可能となった。

この装置は、これまでに例のないもので、運動中に複数の被験者の鼓膜温をリアルタイムに観察できることから、実際の指導現場やコーチングに大変有効である。特に暑熱障害防止やパフォーマンス向上の観点から、さらなる改良が必要である。

研究成果の概要(英文)：This research has been conducted with the intent to develop a wireless device capable of measuring the internal temperature of the tympanic membrane which, when completed, can be introduced to be highly effective in hot climates and environments. The prototype of this device has been manufactured with the ability to monitor several data sources as well as store said data within its saved memory system.

The device is unprecedented and ultimately unique, proving to be a valuable asset in coaching others. In particular, from the perspective of reducing the potential dangers of heat stroke and the overall improvement of physical performance, further assistance and support into improving this device is required.

研究分野：運動生理学

キーワード：鼓膜温 無線測定 運動中

### 1. 研究開始当初の背景

近年、高温環境下における運動時の体温調節に関する研究は、暑熱障害の防止およびパフォーマンス向上の観点において重要な課題である。これまでの先行研究において、運動時の体温調節に関する研究は数多くみられるものの、それらの実験における体温測定については、人工気象室内で主に鼓膜温、食道温、直腸温が測定され、その動向について考察されている。本研究においては、実際の運動場面における鼓膜温を測定するための測定装置を開発、実用化し、様々な条件下での鼓膜温測定を可能にするものである。

### 2. 研究の目的

本研究は、高温環境下における運動時の暑熱障害防止およびパフォーマンス向上の観点から、室内外での実際の運動時の鼓膜温を測定するための無線通信による鼓膜温測定装置の開発および実用化を目的とする。

### 3. 研究の方法

先行の共同研究を活用しながら、測定装置の開発を行い、まずは、振動の少ない自転車運動やウォーキングでの測定から着手し、試作装置の測定精度を検証し、その精度を確立させる。その後、ランニング等実際の活動時の測定に発展させる。実際の運動中のリアルタイム測定であるため、可能な限り被験者の運動の妨げにならないよう非侵襲、無線化、小型化に配慮して実用的な測定装置を開発する。

### 4. 研究成果

(1) 本研究で開発した無線鼓膜温測定装置のシステム構成を図1に示した。通信方法は、BLE (Bluetooth Low Energy) を用いて無線通信を行った。制御と BLE 通信はマイコン (MDBT40) と BLE チップ (nRF51822) が搭載された BLE Nano (18.5mm x 21.0mm) を使用した。BLE Nano を搭載した基盤とセンサ部との間は有線で繋ぎ、I2C 通信によって測定データを取得した。そして、BLE Nano と基地局のモバイル端末間の BLE 通信により、取得した測定データを端末画面に表示させた。これにより、約 50 メートル離れた実際の運動時のリアルタイムモニタリングを可能とした。

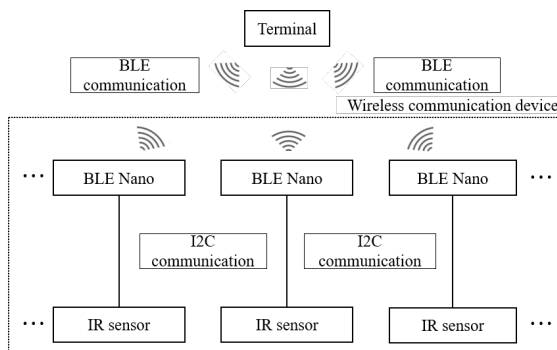
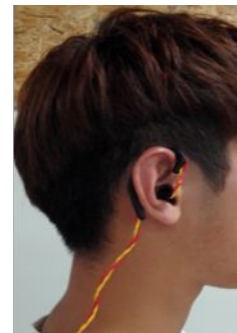


図1. 装置のシステム構成

開発当初、装置の装着方法は、測定部の耳に近く、被験者の活動の妨げにならないことを考慮し、測定装置を上腕部に固定した。しかしながら、ランニングの腕振り動作時に、重量等を感じやすく、違和感を与えていた。さらに、装着バンドで脇が擦れるなどの問題も生じた。

そこで、改良を進め、運動時のセンサ部の振動抑制に市販のイヤホンクッションとイヤホン用耳掛けフックを用いた。その固定具は図2(a)に示した。基盤装置の装着部位としては、運動時に支障のない腰部に固定した。センサの装着方法は、図2(b)に示すとおりである。



(a) (b)  
図2. 耳部の固定具と装着方法

(2) 本装置でのセンシングは、図3に示すように、センサ部を外耳道に挿入して行った。鼓膜温を測定するセンサには、非接触式の赤外線温度センサ MLX90165SSG-DAG を使用した。赤外線式のセンサを使用することで非侵襲かつ短時間での測定が可能となった。そのため、運動時の測定に適している。深部体温の指標として鼓膜温を使用する理由は、鼓膜が脳に近く、脳温を最も反映すると考えられるからである。また、鼓膜温は温度の変動が早いので観察に適しており、食道や直腸等の測定部位と比較しても容易に測定可能である。実際の測定は、センサ部を外耳道に挿入するため大きさの異なる2つの赤外線温度センサを使用することで被験者の耳穴の個人差に対応することが可能となる。

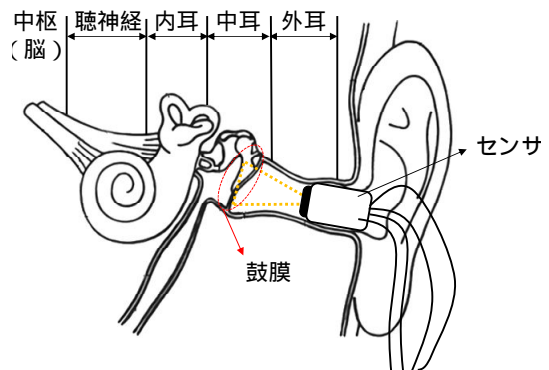


図3. 耳への測定センサ挿入

(3) これまでにリアルタイムモニタリングを行うためにアプリケーションを開発した。実際の運動時の暑熱障害防止には、リアルタイムの鼓膜温の動向を調査する必要があるため、測定値を記録する機能も備えたアプリケーションが必要とされる。しかしながら、開発当初は1台の端末で数人の同時計測が不可能であった。そのため、数人の同時測定となると、被験者の人数以上の測定者が常に必要となるという問題点があった。そこで、BLEデバイスとの通信に対応しているオープンソースアプリケーション nRF Connect for Mobile を用いて同時計測ができるように改良し(図4)、測定データも端末内に保存できるようにすることで、被験者と測定者の両者が常に確認できるようにした。

本装置とアプリケーションを使用することで、1つの端末で複数データのリアルタイムモニタリング機能と測定データ保存機能の両方を活用して、運動時の鼓膜温の動向を調査することが可能となった。



図4 . 複数データ表示の端末

(4) 図5にGenius(既製品、測定の際に運動を中断する必要あり)と試作装置の測定結果を示した。実験は陸上用400mトラックを使用し、周回ごと計10回(計4000m)の測定を行った。測定時の運動中断による休息は60秒であった。被験者は、佐世保高専陸上部の学生2名であった。

被験者Aでは、運動を開始して6分までの間、鼓膜温の上昇は見られなかった。これは、間欠的運動で運動強度が被験者にとって70~80%であったため鼓膜温の上昇にはつながらなかったものと考えられる。試作装置で測定される鼓膜温はGeniusと比較して上昇の動向がほぼ同等であり、平均測定値差0.1℃と各測定点で近い値を示した。鼓膜温は2分間で約0.4℃ずつ上昇していき、最大となったのは、運動開始から26分後Genius: 38.5℃、試作装置: 38.6℃であった。

被験者Bでは、平均測定値差0.5℃と各測定点での差は大きかった。運動開始から6分までの間、Geniusと試作装置の測定値に差

が生じたが、その原因として、センサ部が被験者Bの耳穴に適していなかったことが考えられ、次の実験の課題となった。耳穴の大きさや形は人それぞれで異なるため、被験者Bにとっては、完全に固定できるものではなかった。5分後からセンサ部がずれていることに気づき、再度適切な位置に装着した。また、その後は測定時にセンサ部を適切な位置に挿入した状態で行った。そのため、6分あたりからGeniusと近い鼓膜温を示した。鼓膜温が最大となったのは、運動開始から22分後Genius: 38.4℃、試作装置: 38.6℃であった。

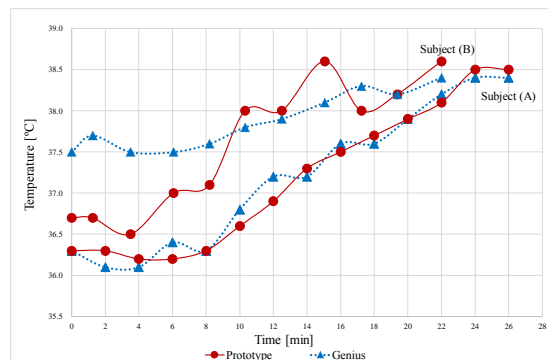


図5 . Geniusと試作品データの比較

図5の実験における課題をもとに、さらに測定装置の改良を行い、同時に数人を測定可能な装置を開発し、測定実験を行った。その結果については図6に示した。

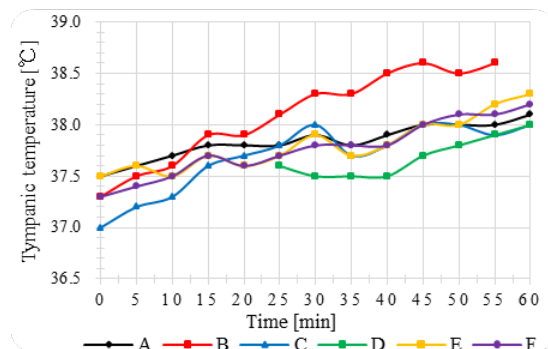


図6 . 運動時の鼓膜温の変化

(5) 本装置とアプリケーションで適切な鼓膜温が測定可能であるか、また実際の運動時に使用可能であることを確認するために測定実験を行った。被験者は、佐世保高専陸上部の学生6名であった。実験は陸上用400mトラックを使用し、6名の学生に60分間のランニングを行わせ、複数の測定データを同時計測し、その測定データを図6に示した。

被験者Aは耳穴が小さく、最初の実験で使用した従来の温度センサが合わなかったため、直径の小さい温度センサに変更した。それ以外の被験者には、従来使用していた直径のセンサを装着させて測定を行った。この実験結果として、被験者6名ともに運動時間の

経過に伴った鼓膜温の上昇が測定できた。測定中、被験者 B は、実験開始 25 分後から鼓膜温の顕著な上昇が見られたため、他の被験者よりも早く運動を中止させた。

被験者 A・C・D・E・F の 5 人は、実験開始前の鼓膜温 37.0 近傍から運動継続に伴って漸次上昇し、運動終了後に 38 近傍まで上昇した。この測定結果から、これまでの先行研究で使用してきた測定装置 (Genius) と同等のデータが測定可能となったと考えられる。しかしながら、この研究期間においては、豊富なデータ数の検定が不十分であったため、正確な測定精度の確立は今後の課題となった。

この実験において、被験者から指摘された問題点は、装置の装着部位であった。腰部に装置を取り付けることで運動に支障はないものの、コードが長くなることで重量を感じやすくなり、違和感を与えていた。そのため、今後のさらなる検討が必要とされる。

(6) このように本研究によって、実際の運動時にリアルタイムで数人の鼓膜温を測定し、その動向を観察し、運動中の体調等を検討できる装置を開発した。さらに、モニタリングの際に複数のデータを同時に表示することも可能となったため、実際の指導現場において大変有効である。本来、研究当初に想定していた陸上競技の長距離種目等において、競技中の競技者の鼓膜温測定が可能となり、今後も他の競技種目での活用も視野に入れて研究を推進したい。

この測定装置の開発によって、スポーツの場面においては、競技者が自分の体温を把握しながら運動できることによって、運動時の安全性が確立される。また、教育現場における指導の際に競技者だけでなく、指導者およびコーチも競技者の体温から疲労の状態等を把握できるようになり、競技者の体調を十分考慮した効果的な指導が可能となる。

さらに、この装置はスポーツ分野での活用だけでなく、屋外での労働作業や地下等の密閉した空間等における作業時の労働者の体調管理にも活用できる。そのため、幅広い用途が予想され、広く産業界にも貢献すると考えられ、大変有用である。すでに著者らは、本研究の最終年度において、生命の危険に晒されるほど過酷な労働環境で職務を遂行する消防士に対する実験も行っており、継続してさらなる研究推進に努めたい。

#### 引用・参考文献

Mariak, Z., J. Lewko, J. Luczaj, B. Polocki, and M. D. White. "The relationship between directly measured human cerebral and tympanic temperatures during changes in brain temperatures", *Eur J Appl Physiol*, 69, pp. 545-549, 1994.

芝崎学、"ヒトの深部体温の測定法に関する研究"、神戸大学博士論文、1998

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

瀧田臣二、久保諭敏、滝本隆、吉塚一典、運動時における無線鼓膜温測定装置の初歩的開発北九州工業高等専門学校研究報告、第50号、2017、pp.113-119

〔学会発表〕(計1件)

久保諭敏、瀧田臣二、滝本隆、吉塚一典、運動時における無線鼓膜温測定装置の開発、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

瀧田 臣二 (HAMADA, Shinji)

北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・教授

研究者番号：10228538

##### (2) 研究分担者

久池井 茂 (KUCHII, Shigeru)

北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・教授

研究者番号：50300653

研究分担者

滝本 隆 (TAKIMOTO, Takashi)

北九州工業高等専門学校・生産デザイン工学科・准教授

研究者番号：60581220

研究分担者

吉塚 一典 (YOSHIZUKA, Kazunori)

佐世保工業高等専門学校・一般科目・教授

研究者番号：10220691