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度の関係

石垣 享¹⁾ 藤城 仁音²⁾ 辻田 純三¹⁾ 圓 吉夫³⁾
大和 眞⁴⁾ 中野 昭一²⁾ 堀 清記¹⁾

RELATIONSHIP BETWEEN HELMET TEMPERATURE AND TYMPANIC TEMPERATURE DURING AMERICAN FOOTBALL PRACTICE

TOHRU ISHIGAKI, HITONE FUJISHIRO, JUNZO TSUJITA, YOSHIO EN,
MAKOTO YAMATO, SHOICHI NAKANO and SEIKI HORI

Abstract

Purpose : The purpose of this study was to examine the relationship among helmet surface temperature (Thl), head top temperature (Thd) and tympanic temperature (Tty) during American football practice in summer. **Methods :** The subjects were collegiate American football players. Temperatures were measured in August in 1993 and 1994. Thl, Thd and Tty were measured by infrared tympanic thermometers. Environmental temperatures that were measured were dry-bulb temperature (Td), wet-bulb temperature (Tw), globe temperature (GT) and wet-bulb globe temperature (WBGT). **Results :** Significant correlations were observed among all measured temperatures ($P < 0.0001$). High coefficients of correlation were observed among Thl, Thd and GT. The highest relationships were observed between Thl and Thd ($r = .727$), and between Tty and Td ($r = .766$). The coefficient of correlation between Tty and Thl was higher than that between Tty and Thd. Heat stress of the whole body (F1; heat stress factor: Tty, Td, Tw and WBGT, proportion = 71.4%) and head environment factor (F2; helmet factor: Thl, Thd and GT, proportion = 14.3%) were chosen in factor analysis. A close relationship was observed between both factors ($r = .773$). Both GT and Thl showed a high correlation with Thd, which suggests the influence of radiant heat through a helmet on the whole body. **Conclusion :** The temperature in a helmet is a micro environment temperature surrounding the head. Accordingly, the heat load is reduced by taking the helmet off frequently during football practice.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2001, 50: 333~338)

key word : American football, Tympanic temperature, Helmet temperature, Environmental temperature

I. 緒 言

アメリカンフットボール(以下フットボール)は、米国および日本において夏季練習中の熱中症による死亡事故が数多く発生したスポーツであった^{1,2)}。近年、米国においては NCAA³⁾、日本に

おいては日本体育協会⁴⁾ および中井⁵⁾ によって熱中症予防のガイドラインが示され、水分摂取等の奨めにもより死亡事故は減少傾向にある。中井⁵⁾ は、高温多湿となる日本の夏季フットボール活動において環境温度の指標以外に練習日程、着衣そして水分補給についての対処方法を提示してい

¹⁾ 兵庫医科大学 生理学 第一講座
〒663-8501 西宮市武庫川町1-1

²⁾ 日本体育大学 大学院 体育科学研究科
健康科学・スポーツ医科学系
〒158-8508 世田谷区深沢7-1-1

³⁾ 日本体育大学 体育研究所
〒158-8508 世田谷区深沢7-1-1

⁴⁾ 日本体育大学 運動生理学研究室
〒158-8508 世田谷区深沢7-1-1

Department of Physiology, Hyogo College of Medicine, 1-1,
Mukogawa-cho, Nishinomiya 663-8501

Research Institute of Physical Education, Nippon Sport Science
University, 7-1-1, Fukasawa, Setagaya-ku 158-8508

Department of Sports Physiology

Graduate school of health and sport science

る。本来フットボールは、暑熱環境下での練習を避けるべきであるが、日米共にリーグ戦の開始時期は9月の第1週前後であるため夏季の練習をキャンセルすることは困難であり、この時期に高強度の練習も当然ながら必要とされる。よってフットボールは、十分な暑熱対策をしても熱中症が発生する可能性が高いスポーツと考えられる。

フットボールは激しいコンタクトスポーツであり、この衝撃から身体を守るために防具を装着するのが特徴的である⁶⁾。この防具は、衝撃に対する物理的な強度が優先されるため、身体からの熱放散に関してはほとんど考慮されていない²⁾。さらにフットボールは、ユニフォームにより体表面の大部分を覆い隠すため熱放散の妨げも大きく、さらに防具の重量も生体に大きなストレスを及ぼすこととなる²⁾。フットボールのユニフォームは、1981年に熱放散を考慮して通気性のあるメッシュの素材を用いるようになった⁷⁾。それに対してヘルメットは、耐衝撃性が重要であり熱放散に関しては全く考慮されていないのが現状である。さらに主として比熱の低いプラスチック素材を用いているヘルメットは、外環境の影響を受け易いと考えられるため頭部の温熱負荷をより一層増大させる可能性がある。

そこで本研究は、夏季フットボール練習中の鼓膜温とヘルメット表面温および環境温度との関連から、ヘルメットの温度が深部体温上昇に関わる要因となるのかについて検討した。

II. 方 法

A. 被験者、調査場所および期間

被験者は、関東大学アメリカンフットボール連盟1部リーグに所属する日本体育大学アメリカンフットボール部の選手とした。調査場所は、長野県にある軽井沢総合運動場であり、調査期間は1993年が8月11～21日、1994年が8月2～9日であった。

B. 身体各部位の温度測定

ヘルメット表面温(Thl)、頭頂部温(Thd)および鼓膜温(Tty)の測定には、赤外線温度計

(FirstTemp, Intelligent Medical System, CA, USA) 2台を用いた。ThlおよびThdの測定には1台のファーストテンプを表面温度測定モードに固定し、Ttyの測定にはもう1台を鼓膜温測定モードに固定しそれぞれ実施した。なお、赤外線鼓膜温度計による測定は、測定者の手技により測定値の変動が大きいため⁸⁾、熟練した2名の者が行った。Ttyの測定は、プローブで耳管が完全に塞がれる状態までプローブを挿入した。ThlおよびThdは、測定プローブを被検部に直接接触させて測定した。温度測定は、各練習セッション終了後直ちに被験者のヘルメットを脱がせThd(両側の耳管を垂直に延長した頂点)およびTtyを同時に測定し、Thd測定終了後にThlを測定した。なお温度測定は、測定機器および被験者への日射の影響を考慮して遮光した条件で行った。

C. 環境温度の測定

調査場所の環境温度測定は、身体各部位の温度測定の15分以前から実施した。環境温度は、アスマン通風乾湿計と6インチ型の黒球温度計および黒球湿球温度計(WBGT-101, 京都電子工業, 京都)を用いて、乾球温度(Td)、湿球温度(Tw)、黒球温度(GT)およびWBGTを計測した。

D. 統計処理

統計処理は、マッキントッシュ用統計ソフト「Statview-5.0」を用いた。実験期間中に観測された全温度間の相関関係を算出した。生体への温熱負荷に関わる因子の抽出には、主成分分析を用いた。主成分分析では、因子間の固有値との差が相対的に高値を示す因子を採用し、因子軸の回転はバリマックス法で行った。全統計処理における有意差判定は、危険率が5%以下をもって有意とした。

III. 結 果

A. 実験期間中に観察された各温度

観察された各温度の平均および標準偏差を表1に示した。観測された環境温の中でもTd、TwおよびWBGTは、非常に狭い範囲の変動であった

Table 1. Observed temperature (°C) during experiment.

	Mean	SD	Range	Median
Thl	33.58	4.27	21.5—42.2	37.5
Thd	37.16	1.11	34.2—39.8	38.0
Tty	37.92	0.72	35.9—40.0	37.5
Td	28.16	5.01	17.8—36.8	27.8
Tw	23.21	3.00	17.4—31.8	22.4
GT	36.56	6.71	19.5—46.5	42.5
WBGT	26.38	3.42	18.1—31.7	21.5

Thl : Helmet surface temperature, Thd : Head top temperature, Tty : Tympanic temperature, Td : Dry-bulb temperature, Tw : Wet-bulb temperature, GT : Globe temperature, WBGT : Wet-bulb globe temperature.

が、GT の変動幅は非常に大きいものであった。

観察された Thl は環境温度と同様に大きな変動を示したが、Thd および Tty は、変動幅が約 5℃ 以内の非常に狭い範囲であった。

B. 観察された各温度間の相関関係

観察された各温度間の相関マトリックスを表 2 に示した。観察された度数は 196 であり、全ての温度間において危険率 0.01% 以下の有意な相関関係が認められた。Thl および Thd の相関関係は GT とが最も高く、Tw とのそれが最も低かった。Thl と Thd 間には、相関係数 .727 の高い相関関係が得られた。Tty は、Td との相関係数が最も高く、GT とのそれが最も低かった。Tty は、Thd よりも Thl と高い相関関係にあった。

C. 生体への温熱負荷に関与する因子

観察された温度の主成分分析の結果を表 3 に示した。ここで抽出された因子は 2 つであり、F1 の固有値が 4.995、F2 の固有値が 0.999 であった。F1 因子による寄与率は 71.4% であり、F2 を加えた両因子の寄与率は 85.7% と高い割合であった。F1 は、Tty、Td、Tw および WBGT が高い因子負荷量であるため生体全体の温熱負荷に関わる因子と考えられ、F2 は Thl、Thd および GT が高い因子負荷量であるため輻射熱を介した頭部の温熱負荷を示していると考えられる。両因子間の相関係数は、.773 と高値であるため両者間に密接な関係が認められた。

Table 2. Correlation matrix among observed temperature.

	Thd	Tty	Td	Tw	GT	WBGT
Thl	.727	.625	.691	.480	.767	.696
Thd		.533	.514	.326	.613	.516
Tty			.766	.698	.502	.732
Td				.876	.713	.964
Tw					.431	.911
GT						.762

n = 196. All correlation were $p < 0.0001$.

Thl : Helmet surface temperature, Thd : Head top temperature, Tty : Tympanic temperature, Td : Dry-bulb temperature, Tw : Wet-bulb temperature, GT : Globe temperature, WBGT : Wet-bulb globe temperature.

Table 3. Results of factor analysis.

Variables	Factors		
	F 1	F 2	SMC
Thl	.385	.842	.733
Thd	.165	.883	.558
Tty	.723	.421	.648
Td	.873	.435	.997
Tw	.964	.121	1.000
GT	.398	.783	1.000
WBGT	.876	.445	1.000
Eigenvalue	4.995	0.999	
Proportion (%)	71.4	14.3	
Cumulative proportion (%)	71.4	85.7	

Thl : Helmet surface temperature, Thd : Head top temperature, Tty : Tympanic temperature, Td : Dry-bulb temperature, Tw : Wet-bulb temperature, GT : Globe temperature, WBGT : Wet-bulb globe temperature, SMC : Squared multiple correlation.

IV. 考 察

A. 赤外線鼓膜温度計による体温測定

鼓膜温は、脳内の体温調節中枢とされている視床下部の温度を反映するとしており、体温調節を考える際に脳温の指標として促えられている⁹⁾。この際の鼓膜温は、鼓膜の下部前方 1/4 の場所にセンサーを接触させ、外耳道を密栓することで耳管内に空気の入りが無い状態で測定された温度を示す¹⁰⁾。本来なら本研究においても正確な接触型サーミスターを用いて鼓膜温を測定すべきであるが、運動現場での接触型鼓膜温度計による体温測定は危険と判断されたために実施しなかった。スポーツにおける深部体温は、熱射病等の緊急時には直腸温であることが一般的である¹¹⁾が、緊急を要さなければ体温測定方法としては一般的とは思えない。それに対して赤外線鼓膜温度計は、短時間に多人数の測定が非侵襲的に可能となることから、本研究の体温測定には赤外線鼓膜温度計を用いた。

運動現場における赤外線鼓膜温度計による体温測定は、環境温度¹²⁾または皮膚温¹³⁾の影響を受けるために深部体温としての信頼性に欠けるとの報告がある一方で、高体温の判定には有用であるとする報告もある^{14,15)}。Yeo & Scarbough¹⁶⁾に

よると、実験室内で運動前中後の体温を赤外線鼓膜温度計によって測定した値は、同時に測定した水銀直腸温度計の値より常に低値を示し、体温上昇を捉えることが不可能であった。また Roth たち¹⁷⁾は、マラソン競技でメディカルケアを受けたランナーの直腸温と赤外線鼓膜温度計による測定値との間に有意な相関関係は認められるものの、鼓膜温による高体温判定には問題があるとしている。このように運動現場での赤外線鼓膜温度計による体温測定を疑問視する報告も認められる一方で、WBGT 36.5℃の暑熱環境下における運動では、赤外線鼓膜温度計による測定値はサーミスターで測定されたそれと高い相関関係にあり、運動中の体温測定には有用であるとの報告もなされている¹⁸⁾。赤外線鼓膜温度計のほとんどが屋外で使用するために開発されたものでは無いため、スポーツ現場では本来の使用目的とは異なった使用状況となる。現在、赤外線鼓膜温度計には多くの機種が存在することから、測定値の評価は機種の特性によっても異なるものと考えられる。このような背景からも、赤外線鼓膜温度計の測定値を深部体温とするには疑問が残るが、本研究の視点は、屋内の実験室では無く、屋外の運動現場で実際に測定可能である深部体温の指標として赤外線鼓膜温度計による鼓膜温を採用した。

B. ヘルメット表面温および鼓膜温に影響を及ぼす外的要因

深部体温の指標となる T_{ty} は, T_d , T_w および WBGT との間に高い相関関係が認められおり, 主成分分析においてもこれらは同一因子として抽出された. この因子は, 全身の温熱負担を表していると考えられ, 暑熱ストレス全体の約70%の寄与率であった. 従って輻射熱に関係なく環境温度の上昇は, 深部体温を上昇させる大きな要因であることが理解される. これに対して, 本研究で観察された T_{hl} に強く影響を与えていたのは, ヘルメットに直接接している T_{hd} と輻射熱の指標となる GT の両者であった. 主成分分析による結果からも T_{hl} , T_{hd} および GT は, 頭部表面の温熱環境の因子であると考えられる. そこで夏季フットボールには, 頭部のマイクロ環境が存在することとなる. 頭表部とヘルメットの間は, ほとんどが空間部であるが一部パッドを介して接しているため, 両者間に伝導および放射による熱交換が行われている事は十分に考えられる. 頭表部とヘルメット間の温度勾配は, 体温と輻射熱によって変動するものと考えられることから, 日射量の多い時ではヘルメットが常に頭部表面を暖める状態になり, 生体に及ぼす温熱負荷量を増加させることとなる. 従って環境温度の中の輻射熱は, 直接深部体温を上昇させる因子ではなく, ヘルメットを介して頭部を暖めるものと考えられる. 本研究の結果から, T_{hl} および T_{hd} の頭部の温度は, T_{ty} に直接大きな影響を与えることはないと思われるが, 生体への暑熱ストレスを避けるためには考慮すべき外環境となる.

ヘルメット自体の温度では無くヘルメットの着用が, 高体温を引き起こす要因ともなる. 高体温時の T_{ty} の変動には, 他の深部体温(直腸温または食道温)とは異なる体温調節機構である選択的脳冷却機構(SBC)が存在する¹⁹⁾. 体幹部と異なり脳においてこのような機構が存在する意義は, 脳が熱に最も弱い器官であり, 長時間にわたる異常高体温(熱射病)は神経系の障害を引き起こすことから理解される²⁰⁾. SBCの機能は, 頭表面からの汗の蒸発または鼻腔および上気道からの熱

放散の増加に依存する²¹⁾. ヒトに温熱負荷をした際の鼓膜温および前額部からの発汗量は, 十分な水分補給をした状態と脱水状態では変化が認められなかったが, 背中からの発汗は脱水状態で大きく低下した報告がなされている²²⁾. この報告からも, 脳を冷却するための頭部からの発汗は体幹からのそれに比べて非常に重要であり, ここでの有効発汗の低下は脳温上昇を招くと解される. SBCは, 冷却された頭表面の血液が頭頂導出静脈を経由し直接脳を冷却するため, 頭表面の冷却は脳温を低く保つためには重要なことである²¹⁾. 頭部の覆いの有無と運動強度が鼓膜温に及ぼす影響を検討した Rasch & Cabanac²³⁾の報告によると, 運動強度の増加につれ帽子を被らない被験者の鼓膜温は食道温よりも有意に低値であるのに対し, 帽子を着用した場合にはこれら両者間に有意な差が認められず, SBCが減弱する事が示されている. この報告からも, 頭頂部を覆うことは必要以上に T_{ty} を上昇させる要因となりうる. 従ってフットボール中のヘルメット着用は, 熱放散も大きく抑制される上に, 頭部からの発汗のほとんどが無効発汗になることは十分にありえる. さらに永坂たち²⁴⁾の報告によると, ヒトに暑熱負荷した際の導出静脈の血流を抑制することによって鼓膜温が上昇することから, ヘルメット内部のパッドによる頭部圧迫により導出静脈の血流が阻害されることで T_{ty} が上昇する可能性が示唆されている. ただし本研究では, 頭頂導出静脈の温度および血流量または血流方向を測定しているわけではなく, あくまで推察である. この様な生理学的な検討によってもフットボールにおけるヘルメットは, 体温を上昇させる要因であることには間違いない. フットボールにおいて脳温または体温の上昇を防ぐには, ヘルメットは邪魔な存在となる. そこで, 暑熱環境下でのフットボールは, 休息中にヘルメットを脱ぎ, 肌の露出を多くすることが薦められている²⁾が, 本研究の結果からもヘルメットを脱ぐ機会は多く作るべきである事が理解される.

フットボールにおけるヘルメットの温度は, 日射による輻射熱を頭部に伝えていることが判明し

た。従って、フットボールの練習中に頻繁にヘルメットを脱ぐことは、頭部への温熱負荷(輻射熱)を低減させる効果と SBC を十分に働かせる効果を併せ持つと考えられる。

謝 辞

本研究に対して献身的に協力して頂いた日本体育大学アメリカンフットボール部 ゴールデンベアーズの選手の皆さんに心より感謝の意を表します。

(受理日 平成13年2月19日)

引 用 文 献

- 1) 川原 貴. アメリカンフットボールにおける重大事故の統計的観察, 臨床スポーツ医学, (1995), **12**, 1-4.
- 2) McArdle, M. D., K. L. Katch, and V. L. Katch. Exercise physiology-Energy, Nutrition, and Human Performance-. Lea & Febiger, Philadelphia, (1991), 547-579.
- 3) National Collegiate Athletic Association. Prevention of heat illness. In Earle, M. V. (Eds.), NCAA Sports Medicine Guidelines, 11th Ed., (1998), 18-20.
- 4) 日本体育協会. スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック. 日本体育協会, (1999), 2-47.
- 5) 中井誠一. 高温環境とスポーツ 種目別の暑さ対策: アメリカンフットボールの暑さ対策, 臨床スポーツ医学, (1997), **14**, 763-768.
- 6) 石垣 享, アメリカンフットボール, トレーニングの科学「エンデュランストレーニング」, 朝倉書店, 東京, (1994), 97-102.
- 7) Cain, T. E., B. Donzis, and J. Meins, Use of the air-inflated jacket in football. Am. J. Sports. Med., (1981), **9**, 240-243.
- 8) 坂田義行, 渡辺達生, 中村知毅. 耳式体温計による鼓膜温測定手技の検討. 新薬と臨床, (1994), **43**, 2011-2018.
- 9) 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., (1994), **69**, 545-549.
- 10) Brinnel, H., and M. Cabanac, Tympanic temperature is a core temperature. J. Thermal. Biol., (1989), **14**, 47-53.
- 11) American College of Sports Medicine. Heat and cold illnesses during distance running, position stand. Med. Sci. Sports Exerc., (1996), **28**, i-x.
- 12) Doyle, F., W. J. Zehner, and T. E. Terndrup. The effect of ambient temperature extremes on tympanic and oral temperatures. Am. J. Emerg. Med., (1992), **10**, 285-289.
- 13) Roberts, W. O. Assessing core temperature in collapsed athletes. Phys. Sports Med., (1992), **22**, 49-55.
- 14) 東澤知輝. スポーツ環境における体温・環境温の測定と体温管理のポイント. 臨床スポーツ医学, (1999), **16**, 1478-1483.
- 15) 石垣 享, 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・科学研会誌, (1998), **7**, 53-55.
- 16) Yeo, S., and M. Scarbough. Exercise-induced hyperthermia may prevent accurate core temperature measurement by tympanic membrane thermometer. J. Nurs. Meas., (1996), **4**, 143-151.
- 17) Roth, R. N., V. P. Verdile, L. J. Grollman, and D. A. Stone. Agreement between rectal and tympanic membrane temperatures in marathon runners. Ann. Emerg. Med., (1996), **28**, 414-417.
- 18) Bricknell, M. C. An evaluation of infra-red tympanic thermometry for thermal physiology research. J. R. Army Med. Corps., (1997), **143**, 149-152.
- 19) Cabanac, M. Selective brain cooling in humans: "fancy" or fact?. FASEB J. (1993), **7**, 1143-1147.
- 20) Siminia, P., J. Haveman, and B. W. Ongerboer De-Visser. What is a safe heat dose which can be applied to normal brain tissue? Int. J. Hyperther. (1989), **5**, 115-116.
- 21) Cabanac, M., and H. Brinnel, Blood flow in the emissary veins of the human head during hyperthermia. Eur. J. Appl. Physiol. (1985), **54**, 172-176.
- 22) Caputa, M., and M. Cabanac, Precedence of head homoeothermia in dehydrated men. Eur. J. Appl. Physiol., (1988), **57**, 611-615.
- 23) Rasch, W., and M. Cabanac, Selective brain cooling is affected by wearing headgear during exercise. J. Appl. Physiol., (1993), **74**, 1229-1233.
- 24) Nagasaka, T., M. Hirashita, M. Tanabe, S. Sakurada, and H. Brinnel, Role of the veins of the face in brain cooling during body warming in human subjects. Jpn. J. Biometeor., (1990), **27**, 113-120.