

暑熱環境下での運動時における 輻射熱が生体に及ぼす影響

管原 正志¹⁾・田井村明博²⁾

1) 長崎大学教育学部保健体育講座

2) 長崎大学環境科学部自然環境保全講座

(2001年3月15日受理)

INFLUENCES OF RADIANT HEAT DURING EXERCISE IN A HOT ENVIRONMENT

Masashi SUGAWARA and Akihiro TAIMURA

1) Department of Exercise Physiology, Faculty of Education,

2) Natural Environmental Conservation, Faculty of Environmental Studies

Nagasaki University, Nagasaki 852-8521, JAPAN

(Received March 15, 2001)

Abstract

It is considered very important for evaluation of effective exercise and conditioning to analysis physiological responses, the control of body temperature in particular, during outdoor exercise in the hot environment. The purpose of this study was to investigate the influences of radiant heat during outdoor running. The environmental temperature and physiological responses in a healthy male adult who ran between 7.00a.m. and 10.00a.m. over a period of 17 days in the summer of 2000 were investigated.

The mean dry bulb temperature during the 17 days of running was 30.21°C, the mean wet bulb temperature was 26.05°C, the mean glove temperature was 38.11°C, and Wet Bulb Glove Temperature(WBGT) was 34.91°C. These temperatures indicate a high risk of heat exhaustion. The mean running time was 72.6 min, the mean weight loss ratio was 3.7%, the mean elevation of tympanic temperature was 0.54°C, and the mean heart rate was 129.1 beats/min. There was a correlation between the weight loss ratio and elevation of tympanic temperature(correlation coefficient, 0.749). The elevation of tympanic temperature was highly correlated with the environmental temperature. The correlation coefficient was 0.822 with the glove temperature, 0.815 with the effective radiant heat and 0.829 with WBGT. Human tympanic temperature reflects the temperature in the hypothalamus, and it was suggested that it is necessary to sufficiently consider a counterplan of heat disorders under a condition of high outdoor radiant heat.

I. 緒言

暑熱環境下での運動時における生理学的反応，特に体温調節反応の実態を把握することは，効果的練習やコンディショニングについて検討する資料としてきわめて高い価値があるものと思われる。暑熱環境下での運動時には，発汗作用による脱水や皮膚血流量，筋血流量増加に伴う循環血液量の減少が生じ，産熱量が放熱量を上回り体温が上昇し，運動能力を低下させるばかりでなく，高体温により熱中症を誘発する原因ともなる¹⁻⁶⁾。従って，水分補給は運動能力の低下や熱中症を防ぐためにも極めて重要であることは，いうまでもない。川原⁷⁻⁹⁾によると学校管理下でのスポーツ活動時における熱中症発生件数や死亡件数を運動種目別にみると，屋外運動種目で多く発生しているが，これには気温，湿度，気流，輻射熱等の気象条件が複雑に変化し影響していることが考えられる。そこでランニング運動中の輻射熱の生体への影響を明らかにすることを目的とした。

II. 被験者及び方法

A. 健康な成人男子1名を対象に，2000年7月下旬から8月下旬の17日間実施した。調査は，熱中症発生頻度の高い日中を避け，午前7時より10時の間に，約13kmより15kmを所要時間50分より95分のペースで実施した。

B. 環境温度は，ランニング中の乾球温度(NDB)，湿球温度(NWB)をAugust温度計，黒球温度(GT)を6インチ黒球温度計で地面より約1mの高さに設置し計測を行い，次式にてWBGT(Wet Bulb Globe Temperature；湿球黒球温度)を算出した¹⁰⁾。

屋外の場合； $WBGT=0.7NWB+0.2GT+0.1NDB$

また，実効輻射熱は，黒球温度より乾球温度を差し引いて求めた。

C. 飲水は，ランニング前に水を300ml給水したのみで，ランニング中は無飲水とした。

D. 脱水率は，50g精度のデジタル体重計(A&D,UC-300)を用いてランニング前後に汗を十分拭き取った状態のパンツ1枚で計測し，次式により算出した。

脱水率(%) = (ランニング前体重 - ランニング後体重) / ランニング前体重 × 100

E. 鼓膜温は，ランニング前後に赤外線鼓膜体温計(ジニアス)で3回計測し最高値を用いた。

F. ランニング中の心拍数をポラール・ハートレイト・モニター(AccurexPlus,Polar)で測定した。

III. 結果と考察

A. 環境温度

表1および図1に17日間のランニング中の平均環境温度を示した。ランニング時間帯は，午前7時より10時の間であったが，乾球温度 $30.21 \pm 2.17^{\circ}\text{C}$ ，湿球温度 $26.05 \pm 1.01^{\circ}\text{C}$ ，黒球温度 $38.11 \pm 6.35^{\circ}\text{C}$ ，WBGT $34.91 \pm 4.78^{\circ}\text{C}$ であった。暑熱障害発生についてMcArdle¹¹⁾は，屋外スポーツに対してWBGT 26.5°C 以上から予防措置の必要性を挙げ，Hughson¹²⁾は発生の危険の程度をWBGT 28°C 以上で「特に高い」と区分して注意を促している。

表1 ランニング時の環境温度の平均とSD

N = 17					
	乾球温度 ℃	湿球温度 ℃	黒球温度 ℃	WBGT ℃	実効輻射熱 ℃
mean	30.21	26.05	38.11	34.91	7.90
SD	2.17	1.01	6.35	4.78	4.55

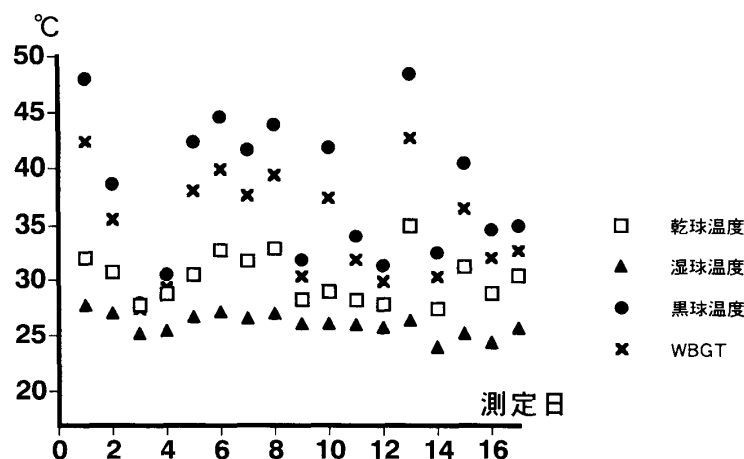


図1 環境温度

また、川原ら¹⁰⁾はWBGT21℃未満で「ほぼ安全」、22℃～25℃で「注意」、25℃～28℃で「警戒」、28℃～31℃で「嚴重注意（激しい運動は中止）」、31℃以上で「運動は原則中止」としているが、本調査の実施時間帯でも3日目を除いて熱中症に対する危険度の高い環境温度であった。

B. ランニング時の脱水率、鼓膜温、心拍数

表2にランニング時間、脱水率、鼓膜温、心拍数の17日間の平均値を示した。ランニングの平均時間は72.6±15.3分、脱水率3.7±0.9%、鼓膜温上昇0.54±0.27℃、心拍数129.1±4.8拍/分 (bpm) であった。暑熱環境下でのスポーツ時には水分を摂取することが、体温調節能および運動能力やコンディショニングの維持に重要であることは既に報告されている¹⁻³⁰⁾。本調査では、運動開始時間帯を熱中症発生の危険度の比較的低い午前10時以前に設定したこともあって、水分補給は運動開始前に300mlの水を給水したのみであったが、ランニング後の脱水率は3.7%となり、芳田ら^{5,6)}が報告する脱水率が2%を越えると持続的運動では運動能力の低下が起きるとする閾値を上回っていた。脱水により体温の上

表2 ランニング時間、体重減少、鼓温上昇、心拍数の平均とSD

N = 17					
	ランニング時間 min	体重減少量 △kg	脱水率 %	鼓膜温上昇 △℃	平均心拍数 beats/min
mean	72.6	2.13	3.7	0.54	129.1
SD	15.3	0.51	0.9	0.27	4.8

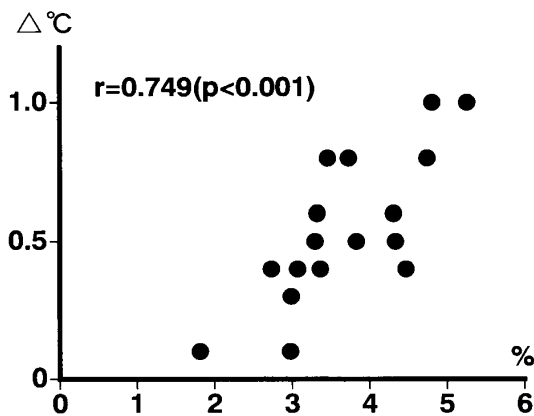


図2 脱水率と鼓膜温上昇の関係

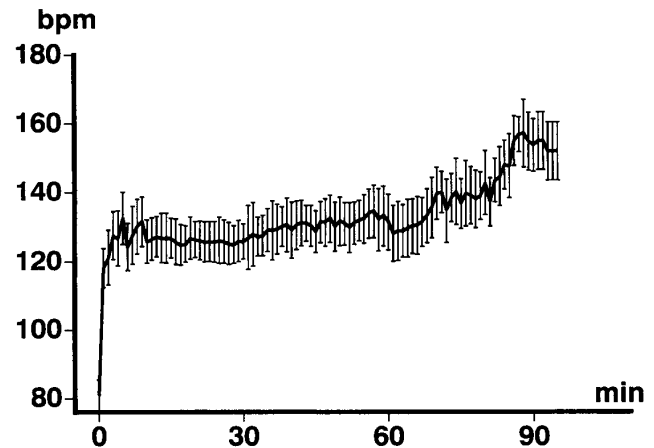


図3 17日間の平均ランニング時間の心拍数の推移

昇が起こることは、図2の脱水率と鼓膜温上昇との関係（相関係数0.749（ $p < 0.001$ ））より明らかである。そして体温は脱水率が2%を越えると、1%毎に 0.3°C 上昇するが⁵²⁾、本調査の脱水率3.7%で鼓膜温上昇は 0.54°C であり理論的にも一致していた。ランニング中の平均心拍数の推移を図3に示した。ランニング中のペース配分は、終始一定であったが、脱水と鼓膜温上昇によりランニング後半の心拍数は増加しており、運動能力低下をきたしていることが明らかに示唆される。

C. 環境温度と脱水率，鼓膜温上昇との相関

環境温度と脱水率，鼓膜温上昇との相関係数を表3に示した。環境温度と脱水率とは、中等度の相関であるのに対し、鼓膜温上昇とは高い相関を示し、特に黒球温度や実効輻射熱，黒球温度を加味した温度指標 WBGT との相関は高かった。ヒトの深部体温としての鼓膜温は、視床下部の温度を反映しており、また視床下部には体温調節中枢が存在することより鼓膜温はスポーツ活動時には、熱障害予防に有効な指標であると考えられる²²⁾。このことは夏期の日射のある屋外でのスポーツ活動は、強い輻射熱の中で実施され、熱中症予防の観点より水分補給や輻射熱等に対する十分な配慮が必要である。

表3 環境温度と脱水率，鼓膜温上昇との相関係数

N=17

	脱水率	鼓膜温上昇
乾球温度	-0.594**	0.695***
湿球温度	-0.696**	0.798***
黒球温度	-0.533*	0.822***
WBGT	-0.552*	0.829***
実効輻射熱	-0.460	0.815***

* ; $p < 0.05$, ** ; $p < 0.01$, *** ; $p < 0.001$

IV. ま と め

暑熱環境下での運動時における生理学的反応，特に体温調節反応の実態を把握することは，効果的練習やコンディショニングについて検討する資料としてきわめて高い価値がある。本研究では，屋外でのランニング中の輻射熱の生体への影響を調査することを目的とした。被験者は健康な成人男子1名を対象として，2000年夏期に17日間にわたり，ランニングを午前7時より10時の間に実施し，環境温度と生体反応について調査した。

17日間のランニング中の平均環境温度は，乾球温度30.21℃，湿球温度26.05℃，黒球温度38.11℃，WBGT(湿球黒球温度)34.91℃で熱中症に対する危険度の高い環境温度であった。ランニングの平均時間は72.6分，平均脱水率3.7%，平均鼓膜温上昇0.54℃，平均心拍数129.1bpmであった。脱水率と鼓膜温上昇との相関係数は，0.749と高い関係が見られた。心拍数より見たランニング中のペース配分は，終始一定であったが，脱水と鼓膜温上昇によりランニング後半の心拍数は増加し，脱水と体温上昇が運動能力低下をきたすことがより明らかとなった。また，環境温度と鼓膜温上昇との相関関係は高く，特に黒球温度0.822，実効輻射熱0.815そしてWBGT0.829との相関が高かった。ヒトの鼓膜温は，視床下部の温度を反映しており，強い輻射熱のある屋外では熱障害に対する十分な配慮が必要であることが示唆された。

参 考 文 献

- 1) Labell,W.S.S: The effects of water and salt intake upon the performance of men working in hot and humid environments.J.Physiol., 1955; 127, 11-46.
- 2) Morimoto,T.: Thermoregulation and body fluids: Role of blood volume and central venous pressure.Jpn.J. Physiol., 1990; 40, 165-179.
- 3) Yoshida,T., S.Nakai A.Yorimoto, and T.Morimoto: Effect of aerobic capacity on sweat rate and fluid intake during outdoor exercise in the heat, Eur.J.Appl.Physiol., 1995; 71(2-3), 235-239.
- 4) Yoshida,T., K.Nagashima, H.Nose, T.Kawabata, S.Nakai A.Yorimoto, and T.Morimoto: Relationship between aerobic power, blood volume, and thermoregulatory responses to exercise—heat stress,Med.Sci.Sports Exerc., 1997; 29(7), 867-873.
- 5) 芳田哲也，高西敏正，中井誠一，寄本明，森本武利：持久的運動能力を低下させる脱水量閾値の検討，体力科学，1998；47（6），879.
- 6) 芳田哲也，中井誠一，寄本明，森本武利：無氣的運動能力を低下させる脱水量閾値の検討，体力科学，1999；48（6），806.
- 7) 川原貴.4小学，中学，高校のスポーツ活動における熱射病死亡事故の実態.平成4年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告，No.Ⅶスポーツ活動における熱中症事故予防に関する研究—第2報—.1992；29-33.
- 8) 川原貴.2-6学校の管理下における熱中症死亡事故の実態（1991～1996年）.平成9年度，日本体育協会スポーツ医・科学研究報告，No.Ⅶジュニア期の夏期トレーニングに関する研究—第1報—.1997；50-54.
- 9) 川原貴.2-2学校管理下および少年団のスポーツ活動における熱中症死亡事故の実態調査.平成11年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告，No.Ⅶジュニア期の夏期トレーニングに関する研究—第3報—.1999；8-12.
- 10) 川原貴，朝山正己，白木啓三，中井誠一，森本武利：スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック.1994；

日本体育協会.

- 11) McArdle, M.D., Katch, F.I., Katch, V.L.: *Exercise Physiology - Energy, Nutrition, and Human Performance* - . Lea & Febiger, Philadelphia, 1981; 350.
- 12) Hughson, R.L., Staudt, L.A. and Mackie, J.M.: Monitoring road racing in the heat. *phys. Sportsmed.*, 1983; 11(5), 94-105.
- 13) Candas, V., Libert, J.P., Brandenberger, G., Sagot, J.C., Amoros, C. and Kahn, J.M.: Hydration exercise: Effects on thermal and cardiovascular adjustments. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1986; 55, 113-122.
- 14) Greenleaf, J.E. and Castel, B.L.: Exercise temperature regulation in man during hypohydration and hyperhydration. *J. Appl. Physiol.*, 1991; 30, 847-853.
- 15) 森本武利, 三木健寿, 能勢博, 山田誠二, 平川和文, 松原周伸: 発汗時の水分塩分摂取と体液組成の変化. *日本生気象学会雑誌*, 1981; 18, 31-39.
- 16) Nadel, E.R., Forty, S.M. and Wenger, C.B.: Effect of hydration state on circulatory and thermal regulation. *J. Appl. Physiol.*, 1980; 49, 715-721.
- 17) Pitts, G.C., Johnson, R.E. and Consolazio, F.C.: Work in the heat as affected by intake of water, salt and glucose. *Am. J. Physiol.*, 1944; 142, 253-259.
- 18) 丹羽健市, 中井誠一, 朝山正巳他: 運動時の環境温度と飲水量・発汗量及び体温に関する実態調査. *体力科学*, 1996; 45 (1), 151-158.
- 19) 山田誠二, 松原周信, 能勢博他: 発汗時補給水分の体温調節効果. *日本生気象学会雑誌*, 1982; 19 (1), 45-51.
- 20) 寄本明, 中井誠一, 芳田哲也, 森本武利: 屋外における暑熱下運動時の飲水行動と体温調節の関係, *体力科学*, 1995; 44 (3), 357-364.
- 21) Adolph, E.F. and Associates.: *Physiology of man in the desert*. Hafner Pub. Co., New York, 1947.
- 22) Benzinger, T.H.: Heat regulation: homeostasis of central temperature in man. *Physiol. Rev.*, 1969; 49, 671-759.