

# 輻射環境下、運動時の頭部保護に関する実験的研究

寄本 明・岡本 進・佐藤 尚武\*

## Experimental Studies on the Protection of Head against Radiant Heat during Exercise

Akira YORIMOTO, Susumu OKAMOTO and Shobu SATOH\*

(Sept. 17, 1983 受理)

### 1. 緒 言

暑熱環境下での身体活動では、代謝亢進による産熱量の増大と、暑熱環境による放熱量の抑制が起こり、体熱平衡に大きな影響を及ぼす。このような環境下では、輻射、伝導、対流による熱放散は抑えられ、むしろ逆に体内へ熱が移動することになる。そのうち、輻射は暑熱障害、特に日射病と密接に関連している環境因子である。

太陽からの輻射熱は、運動における行動限界を決定する要因となる<sup>1)</sup>と考えられ、体温調節上、放熱に大きな影響を及ぼす<sup>2)</sup>ことが示唆されている。そのため、輻射環境下での長時間暴露や身体活動時には、輻射熱から身体を保護する必要があり、体温調節中枢のある頭部の保護は最も重要であると考えられる。

そこで、本研究では、輻射熱が運動時の生体に及ぼす影響および輻射環境下での頭部保護の影響について検討を試みた。

### 2. 実験方法

被検者は、健康な成人男子4名で、被検者の身長および体重の平均値は、それぞれ、170.1±6.1cm, 64.7±10.0kgであった。

被検者は、気温30℃、相対湿度60%に設定された室内で30分間の安静状態におかれた後、20分間の運動が負荷された。運動は、自転車エルゴメーターによるペダリングで、450kpm/minの強度であった。

運動時には、0.7m/secの気流が前方から流され、頭部には、垂直上方の白熱灯から1.3cal/cm<sup>2</sup>/minの輻射熱が照射された。

実験は、①輻射暴露なし(N. N.)、②輻射暴露下、頭部保護なし(R. N.)、③輻射暴露下、頭部保護として白色野球帽着用(R. H.)の3条件について、それぞれ日を変えて実施した。

実験中の心拍数は、胸部誘導による心電図から求めた。

酸素摂取量は、ダグラスバッグ法にて採気し、呼気量を湿式ガスメーターで測定し、ショランダー微量ガス分析装置によるO<sub>2</sub>およびCO<sub>2</sub>濃度から求めた。

体重減少量は、2g精度の人体精密台ばかり(神戸衡機)で、実験前後の体重を測定し、その差から求めた。体重減少率は、体重減少量を実験前体重で除し、百分率で表わした。

局所発汗量は、カプセル濾紙法の変法を用い、背部から採汗し、求めた。

直腸温および皮膚温は、サーミスタ温度計(宝工業HD-111)で測定した。皮膚温測定部位は、頭頂部、前額部、胸部、大腿部および下腿部であり、平均皮膚温( $\bar{T}_s$ )は、次の式<sup>3)</sup>から算出した。

$$\bar{T}_s = 0.15 T_{\text{forehead}} + 0.34 T_{\text{chest}} + 0.33 T_{\text{thigh}} + 0.18 T_{\text{calf}}$$

### 3. 実験結果

安静、運動および回復過程の酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ )、心拍数(HR)、平均皮膚温( $\bar{T}_s$ )、直腸温( $T_r$ )の変化を被検者4名の平均値でFig. 1に示した。

酸素摂取量は、運動開始10分後に定常状態に達しており、その値は1.1~1.3l/minであった。酸素摂取量には、輻射条件および頭部保護の有無による差は認められなかった。

心拍数は、安静水準からの増加量で示してあり、45~50beats/minの増加で、運動終末値は約120beats/minであった。心拍数についても、各条件間に差は認められなかった。

平均皮膚温は、運動時に気流の影響を受けて、低下する傾向にあった。輻射下で頭部保護のない場合は、運動後半および回復期初期に、他の2条件よりやや高い温度を示したが、差は認められなかった。

直腸温は、運動開始10分後位から上昇を始め、運動終了時には0.3℃の上昇を示した。各条件間に差は、認められなかった。

Table 1には、運動20分間の局所発汗量(LSR)、

\*滋賀大学教育学部

体重減少量 ( $\Delta W$ , g), 体重減少率 ( $\Delta W$ , %), 直腸温の運動終末値 ( $T_r$ ), 直腸温上昇度 ( $\Delta T_r$ ), 平均皮膚温の運動終末値 ( $\bar{T}_s$ ), 平均皮膚温上昇度 ( $\Delta \bar{T}_s$ ), 頭頂部皮膚温の運動終末値 ( $T_{s-p}$ ), 頭頂部皮膚温上昇度 ( $\Delta T_{s-p}$ ) の平均値と標準偏差を示した。

輻射暴露有無の条件間には, 局所発汗量 ( $P < 0.05$ ), 体重減少量 ( $P < 0.005$ ), 体重減少率 ( $P < 0.01$ ), 頭頂部皮膚温 ( $P < 0.005$ ), 頭頂部皮膚温上昇度 ( $P$

$< 0.005$ ) に有意な差異が認められた。

輻射暴露下, 頭部保護有無の条件間には, 体重減少量 ( $P < 0.05$ ), 頭頂部皮膚温 ( $P < 0.01$ ), 頭頂部皮膚温上昇度 ( $P < 0.005$ ) に有意な差異が認められた。

また, 輻射暴露なしと輻射暴露下, 頭頂部保護との間にも, 頭頂部皮膚温 ( $P < 0.005$ ), 頭頂部皮膚温上昇度 ( $P < 0.05$ ) に有意な差異が認められた。

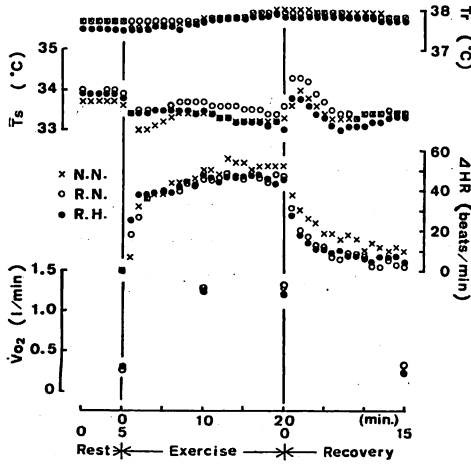


Fig. 1. Changes of oxygen intake ( $\dot{V}_{O_2}$ ), rise in heart rate ( $\Delta HR$ ), mean skin temperature ( $\bar{T}_s$ ) and rectal temperature ( $T_r$ )

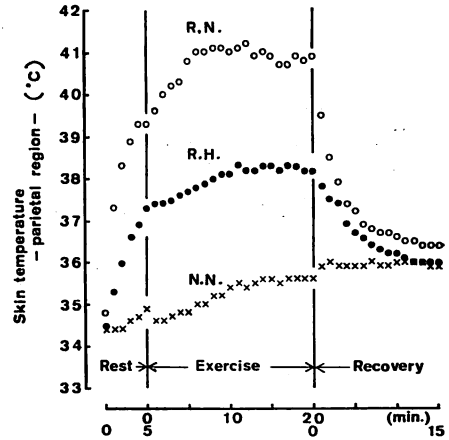


Fig. 2. Changes of skin temperature of parietal region

Table 1. Mean values of local sweat rate, body weight loss, rectal temperature, mean skin temperature and skin temperature of parietal region.

		LSR (mg)	$\Delta W$ (g)	$\Delta W$ (%)	$T_r$ (°C)	$\Delta T_r$ (°C)	$\bar{T}_s$ (°C)	$\Delta \bar{T}_s$ (°C)	$T_{s-p}$ (°C)	$\Delta T_{s-p}$ (°C)
N.N.	Mean	12.75	265	0.411	38.0	0.3	33.1	-0.9	35.6	1.0
	SD	3.37	52	0.025	0.3	0.2	0.8	0.3	0.6	0.7
	R.N.	*	***	**					***	***
	R.H.								***	*
R.N.	Mean	17.43	333	0.518	37.9	0.3	33.6	-0.4	40.9	6.1
	SD	3.32	47	0.040	0.4	0.2	0.9	0.7	0.9	0.9
	R.H.		*						**	***
	R.H.								**	***
R.H.	Mean	16.01	285	0.436	37.8	0.3	33.0	-0.9	38.2	3.6
	SD	3.51	65	0.035	0.3	0.1	0.8	0.9	0.7	1.2

- N.N. : No Exposure radiant heat and no headgear
- R.N. : Exposure radiant heat and no headgear
- R.H. : Exposure radiant heat and putting on the headgear
- LSR : Local sweat rate
- $\Delta W$  : Body weight loss
- $T_r$  : Rectal temperature
- $\Delta T_r$  : Rise in rectal temperature
- $\bar{T}_s$  : Mean skin temperature
- $\Delta \bar{T}_s$  : Rise in mean skin temperature
- $T_{s-p}$  : Skin temperature of parietal region
- $\Delta T_{s-p}$  : Rise in skin temperature of parietal region
- \* at 5% level    \*\* at 1% level    \*\*\* at 0.5% level

各条件間の差異の大きかった頭頂部皮膚温の経時変動を被検者4名の平均値で Fig. 2 に示した。

頭頂部皮膚温は、いずれの条件下でも、運動時に上昇傾向を示したが、その差異は、運動初期から大きかった。

図には、示していないが、頭部保護としての帽子着用時の帽子内気温、帽子内面温、帽子表面温は、頭頂部皮膚温よりそれぞれ1.0℃、2.5℃、4.6℃ 高い値を運動中に示した。

背部の局所発汗量の経時変動を被検者4名の平均値で Fig. 3 に示した。

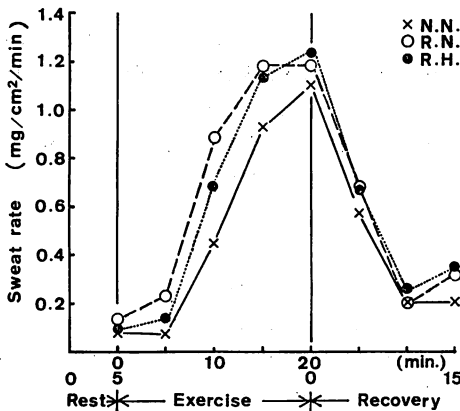


Fig. 3. Changes of sweat rate

運動開始5分以後に発汗が始まり、その後、上昇を続けた。運動10分では、輻射暴露下が暴露なしの約2倍に相当し、有意な差が認められた ( $P < 0.05$ )。頭部保護の条件下では、両者の中間値を示していた。

#### 4. 考 察

日射病の発生機構<sup>4)</sup>は、次のように考えられている。暑熱環境のもとで、体内の熱産生量が熱放散量を上回ると、体内温は上昇し、そのうちに視床下部の体温調節中枢に極度の熱負荷が加わり、その結果、熱放散機能が障害され、発汗停止、末梢循環機能不全、体温の異常上昇がみられるようになる。体温が異常に高くなると生体内の化学反応が促進され、体熱の産生が増加して、うつ熱を起し、諸臓器のはたらきが低下する。中枢神経系は、この高熱にきわめて弱いので、まず中枢神経系が障害され、重篤な症状をあらわす。

この日射病を引き起こす大きな要因である輻射熱が運動時の生体へ及ぼす影響は、局所発汗量、体重減少量および頭頂部皮膚温に顕著に表われた。しかし、酸素摂取量、心拍数および直腸温には、その影響はみられなかった。

Furuya ら<sup>2)</sup>は、輻射熱を0, 1.3, 2.6 cal/cm<sup>2</sup>

/mim の3条件で、運動時の生体反応を調べたところ、酸素摂取量と直腸温は影響を受けず、体重減少量と汗中 Na 量は、輻射熱条件と直線関係にあったことを報告しており、本報と一致している。

輻射環境下での頭頂部皮膚温の上昇は、輻射熱が頭部へ直接作用しているものであり、このことは、頭部皮膚静脈血温の上昇および熱の深達作用により、体温調節中枢のある視床下部に熱負荷が加わっていると考えられる。

輻射暴露下での発汗量の増加は、dry heat loss が抑制され、wet heat loss の増大を意味している。しかし、今回の実験においては、dry heat loss である対流も同時に作用していることが、平均皮膚温の低下から推察される。

一方、輻射暴露下で、頭部保護としての帽子着用は、着用しない場合に比べ、酸素摂取量、平均皮膚温、直腸温に差はなかったが、体重減少量および頭頂部皮膚温は、有意に小さかった。このような同一の暑熱環境下で、産熱量、体表面温、体内温に差がない場合、蒸発による熱放散に使用される有効発汗量は等しいと考えられる。したがって、輻射熱からの頭部保護のない場合に体重減少量が多いことは、放熱に関与していない発汗量が多いことになり、熱放散の効率が悪いことを示している。このことは、頭部保護を行わない時には、体温調節のうえで、余分な発汗が多くなることを示唆している。

そこで、運動終了時の頭頂部皮膚温と体重減少率の関係を Fig. 4 に示した。

両者の間には、0.1%水準で有意な相関関係が認められた。すなわち、頭頂部皮膚温の上昇は、体温調節中枢に過大な温度刺激が与えられ、発汗量が増加する

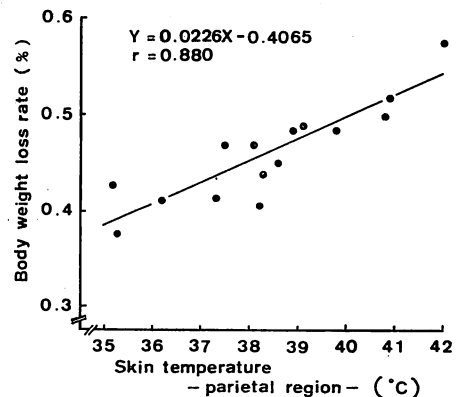


Fig. 4. Correlation between skin temperature of parietal region and body weight loss rate

ことになる。したがって、帽子着用による放射熱からの頭部保護は、頭頂部皮膚温の上昇を抑制するだけでなく、暑熱負荷による余分な水分喪失を防ぎ、水分代謝にとって重要となる。

放射環境下では、放射熱の遮へいとして、帽子による頭部保護が必要である。ところが、従来の帽子は、太陽放射の遮へいに役立つとしても、頭部皮膚面からの発汗による蒸れを調節する働きに欠けている。

著者らの実験<sup>5)</sup>によれば、運動時の帽子着用は、帽子内の水蒸気圧を約10mmHg増加させた。

しかしながら、ヘルメット帽のような二重構造の帽子では、蒸れや蓄熱を抑制し、高い防暑効果が得られる<sup>6)</sup>ことが報告されている。この点を考慮し、帽子自体に換気能力をもたせた防暑帽<sup>7)</sup>が考案されており、これらの帽子着用は、より有効な頭部保護になると考えられる。

#### 5. 要 約

放射環境下で、健康な成人男子4名に、450kpm/minの負荷強度の自転車エルゴメーターのペダリング運動を20分間行わせた。その時の生体に放射熱が与える影響および放射環境下での頭部保護の影響について検討した。得られた結果を要約すると次のとおりである。

- 1) 運動時の心拍数、酸素摂取量および直腸温は、放射熱の影響を受けなかった。
- 2) 体重減少量および頭頂部皮膚温は、放射熱の影響を受けて、増大した。しかし、放射環境下で、頭部の保護を行うと、それらの増大は抑制された。
- 3) 頭頂部皮膚温と体重減少率との間に、高い相関関係が認められた。

本研究は、昭和58年度滋賀県立短期大学特別研究費および一部、デサントスポーツ科学振興財団助成金によるものである。

#### 文 献

- 1) Pugh, L. G. C. E., J. L. Corbett, and R. H. Johnson: Rectal temperatures, weight losses, and sweat rates in marathon running, *J. Appl. Physiol.*, 23 (1967), 347—352.
- 2) Furuya, T. and T. Kubota: Physiological

reaction of men under exercise to radiant heat, *Bull. Tokyo Med. Dent. Univ.*, 22 (1975), 79—92.

- 3) Teichner, W. H.: Assessment of mean body surface temperature, *J. Appl. Physiol.*, 12 (1958), 169—176.
- 4) 井関敏之: スポーツと日射病, からだの科学, 89 (1979), 102—107.
- 5) 寄本 明, 岡本 進, 玄田公子, 佐藤尚武: 運動時の着帽効果に関する実験的研究(続)—改良型防暑帽の効果について—, デサントスポーツ科学, 4 (1983), 280—287.
- 6) Winslow, C. E. A. and L. P. Herrington: "Temperature and human life". Princeton University Press, London, 1949.
- 7) 肝付邦憲: 日射に対する防暑通気帽の効果について, 労働科学, 54 (1978), 19—33.

#### Summary

In order to investigate the effect of the protection of head against radiant heat during exercise, experiment was carried out. Four healthy men were loaded by a bicycle ergometer at 450 kpm/min for 20 minutes under the vertical heat radiation of 1.3 cal/cm<sup>2</sup>/min in a room of 30°C with 60% relative humidity and 0.7 m/sec air flow.

The results are outlined as follows;

- 1) In average, the values of body weight loss and skin temperature of parietal region in case of no exposure radiant heat during exercise were significantly smaller than those of exposure radiant heat.
- 2) In average, the values of body weight loss and skin temperature of parietal region in case of the protection of head were significantly smaller than those of no protection of head.
- 3) High correlation was recognized between skin temperature of parietal region and rate of body weight loss.