

平成4年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

No.VIII 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—

財団法人 日本体育協会
スポーツ科学委員会

平成4年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

No.VIII スポーツ活動時における熱中症事故予防に関する研究

— 第2報 —

班長 川原 貴¹⁾

班員 朝山 正巳²⁾ 小松 裕¹⁾ 白木 啓三³⁾
中井 誠一⁴⁾ 森本 武利⁵⁾

担当研究員 伊藤 静夫⁶⁾

目 次

1. 高温環境下の運動時における飲水と発汗漸減現象との関係.....	2
2. 暑熱環境における運動時の体温調節と循環動態(青年女子).....	10
3. 暑熱応答に及ぼす運動強度の影響 —WBGTを指標として—.....	19
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.....	29
5. 運動時熱中症事故発生の実態と発生時の環境温度.....	34
6. 日本の環境温度と運動時の体温調節反応に関する実態調査.....	48

1) 東京大学 2) 中京女子大学 3) 産業医科大学 4) 京都女子大学

5) 京都府立医科大学 6) 日本体育協会スポーツ科学研究所

1. 高温高湿環境下の運動時における飲水と発汗漸減現象との関係

報告者 朝山 正己¹⁾

研究協力者 藤松 博²⁾ 宮側 敏明³⁾ 大西 範和⁴⁾ 小川 徳雄⁴⁾

多量発汗時には発汗が最大量に達した後、徐々に減少を示す発汗漸減現象 (hidromeiosis) が認められる^{1)~8)}。

昨年度は、「運動時の発汗漸減と体熱出納」と題して、報告を行った⁹⁾。

その概要は次のとくであった。

高温高湿環境下での運動時の体温や発汗量ならびに、その間の熱出納を安静時のそれと比較したところ、hidromeiosis の程度は運動時で大きく、高湿環境下ほどその傾向は大であった。発汗漸減下でも、有効発汗量はほとんど不変であり、発汗漸減は無効発汗量の減少によるもので、hidromeiosis は体熱平衡の均衡を乱す成因とならず、却って余分な体液の損失を防ぐことに寄与すると結論した。

今回は、昨年の報告と同じく高温高湿環境下において、運動時に発生する hidromeiosis と、飲水との関係について検討した結果について報告する。

実験方法

被検者は異なるものの、先回の報告⁹⁾と同様な方法で行った。以下にその実験方法と手順について述べる。

1) 実験条件

環境：室温 (Ta) 35°C、相対湿度 (rh) 85%、気流速度0.12m/sec の環境に設定された人工気候室にて実験を行った。

運動負荷：Monark 社製自転車エルゴメータによって運動を負荷した。時間は90分間で、負荷強度は 450kpm/min であった。ペダルの回転速度はメトロノームによって調整した。

飲水条件：実験は日を変えて、各被検者ごとに3回実施した。各3回の内容は、90分の高温高湿環

境下での運動時に、コントロールとして水分を摂取しない場合(無摂水群：C群)、水道水を摂取した場合(水道水群：W群)、およびスポーツドリンクを摂取した場合(スポーツドリンク群：S群)である。摂取の方法は、発汗により体重が150g減少するごとに、同量だけの水分を与えた。なお、水分の温度については直腸温と等しい温度に調整した。スポーツドリンクについては市販のポカリスエット(大塚製薬製)を用いた。

2) 被検者

19~24歳の健康な男子学生 7名を被検者とした。

3) 測定項目および方法

体温：直腸温 (Tre) 及び 4カ所の皮膚温(前胸、前腕屈側、前大腿、前下腿)をサーミスター温度計を用いて測定し、平均皮膚 (Ts) ならびに平均体温 (Tb) を求めた。Ts は Ramanathan の式¹⁰⁾、また Tb については、Hardy & Dubois の式¹¹⁾によって算出した。

発汗量：前報告と同様な方法によって連続的に記録した。すなわち、ベットバランス(Potter 社製)上に自転車エルゴメータ(Monark 社製)を固定し、その体重変動から全発汗量 (Msw) を求めた。一方、無効発汗量 (Mdr) は適下した汗を、流动パラフィンで満たされた受皿(縦25cm 横65cm、深さ3.5cm)に集め、その重量をロードセルスケール(守髓社製)で連続的に秤量した。

体重減少には発汗の他、呼吸による水分蒸発量及びエネルギー消費に伴う減少が加わるので、その補正を行った¹²⁾。有効発汗量 (Me) は Msw と Mdr の差より求めた。

体熱出納：安静時ならびに運動時の代謝量をダグラスバック法により求めた。O₂ならびに CO₂は労研式ガス分析機で分析を行った。

1) 中京女子大学 2) 中京大学 3) 大阪市立大学 4) 愛知医科大学

呼気は、安静時に5分間の採気を3回、また運動時には2分間の採気を5分間隔で計8回行った。

体熱平衡式 $M = E \pm R \pm C \pm W \pm \Delta S$ のうち、Wは自転車エルゴメータによる仕事量によって、またEは皮膚からの蒸発による熱放散量で、有効発汗量 (Me) に $0.58K$ を乗じて求めた。さらに、貯熱量 ΔS は $\frac{\Delta T_b}{\Delta t} \times 0.83$ 体重より求め、R ± Cについても体熱平衡式より算出した。

4) 実験手順

被検者は、ランニングパンツのみを着用した裸体状態で、人工気候室内で30分間の座位安静の後、90分間の自転車による運動を行った。水及びスポーツドリンクの摂取は先述したように、ベッド・バランスにより測定した体重の減少量が150gに達する毎に行つた。

実験結果

a. 体温と代謝

図1は、上から呼吸商 (R.Q.)、代謝量 (M)、直腸温 (Tre)、平均体温 (\bar{T}_b) 及び平均皮膚温 (\bar{T}_s) の経時変化を、実験条件別に示したものである。図中*印は5%の有意水準で各測定値の実験条件間に差が認められることを示している。

R.Q. はほぼ運動開始当初から、C群(無摂水)が低い傾向を示したが、ほぼ70分までは各群で差が認められなかった。しかし、その後、W群とC群でR.Q. が低下したのに対して、S群では低下が認められず、W群やC群との間に有意差を示した。

Mについては、C群が最も低く、 $180 \text{ kcal}/\text{m}^2/\text{hr}$ 前後であったのに対して、W群とS群では $200 \text{ kcal}/\text{m}^2/\text{hr}$ 前後で、むしろMは上昇傾向にあった。

運動開始時の Tre の平均値はC群で 37.3°C で、各群間の差は90分運動終了時まで平行して推移し、運動終了時の Tre の各群の平均値は、C群で 39.2°C 、W群で 39.5°C 及びS群で 39.2°C であった。

\bar{T}_s については運動開始時はC群の 35.4°C 、W群 35.4°C 及びS群 35.5°C であり、終了時ではC群 35.6°C 、W群 35.6°C 、S群 35.7°C で経時変動の群間差は運動終了時まで僅少であった。

b. 発汗

図2は無効発汗量 (Mdr)、有効発汗量 (Me)、及び $Me/Mdr \times 100$ (%) より求めた発汗効率 (Se)

の経時変動である。

MdrはC群で最も少なく、運動開始後30~35分の間でW群とS群の間には5%の有意差が認められた。発汗漸減の程度 (Sd) を、最大発汗発現後の汗の減少量を分時当たりの量 (g/min) として求めた。図中に示してあるようにC群で -0.0515 、W群で -0.0515 、S群で -0.0667 であった。

Meは運動開始後30分頃までは漸増し、それ以後はほぼ $4 \sim 5 \text{ g}/\text{m}^2/\text{min}$ と定常を示し、群間で有意な差は認められなかった。

SeはMdrの量を反映して、C群で最も効率が良く、S群で低い傾向を示したが、これは有意な差ではなかった。

表3はC群、W群およびS群のTre、 \bar{T}_s および \bar{T}_b の体温の増加量 (Δ) と、Ms、Mdr、Me、SeならびにSdを一括して表に示したものである。また図3は3群のMs、MdrおよびMeのトータル値を図示したものである。

c. 熱出納

図4は15分毎に算出した熱出納の変動を示したものである。すでに示した図表でも明らかになつたように、C群でMsは少なくW群やS群で多い傾向にあったが、それはMdrの差を反映したもので、Meについては僅差であった。従って、Esの時間経緯についても群差は明らかではなかった。また ΔS についても同様で、飲水による有意な影響は認められない。

考 察

発汗量が最大に達したのち、発汗が徐々に減少する hidromeiosis は、局所温浴や被覆などによつて生ずる皮膚の湿潤によって促進する^{1),4)}。

その機序としては、皮膚の角膜層、とくに汗腺の表皮内導管のケラチン環の膨張による汗口部の狭窄、ないしは閉塞と考えられている^{10),12)}。

昨年度の報告では室温が同一で、湿度や運動強度が異なる条件の下で、運動時の体温や発汗量ならびに体熱出納を観察した。運動時の発汗漸減の程度は安静時に比べて大きく、また高温な環境ほど漸減が著しいことを報告した。これは従来の発汗漸減の程度は多量発汗時ほど大きく、その大きさはさらに湿潤の程度に密接に関連するとの説^{2),7)}

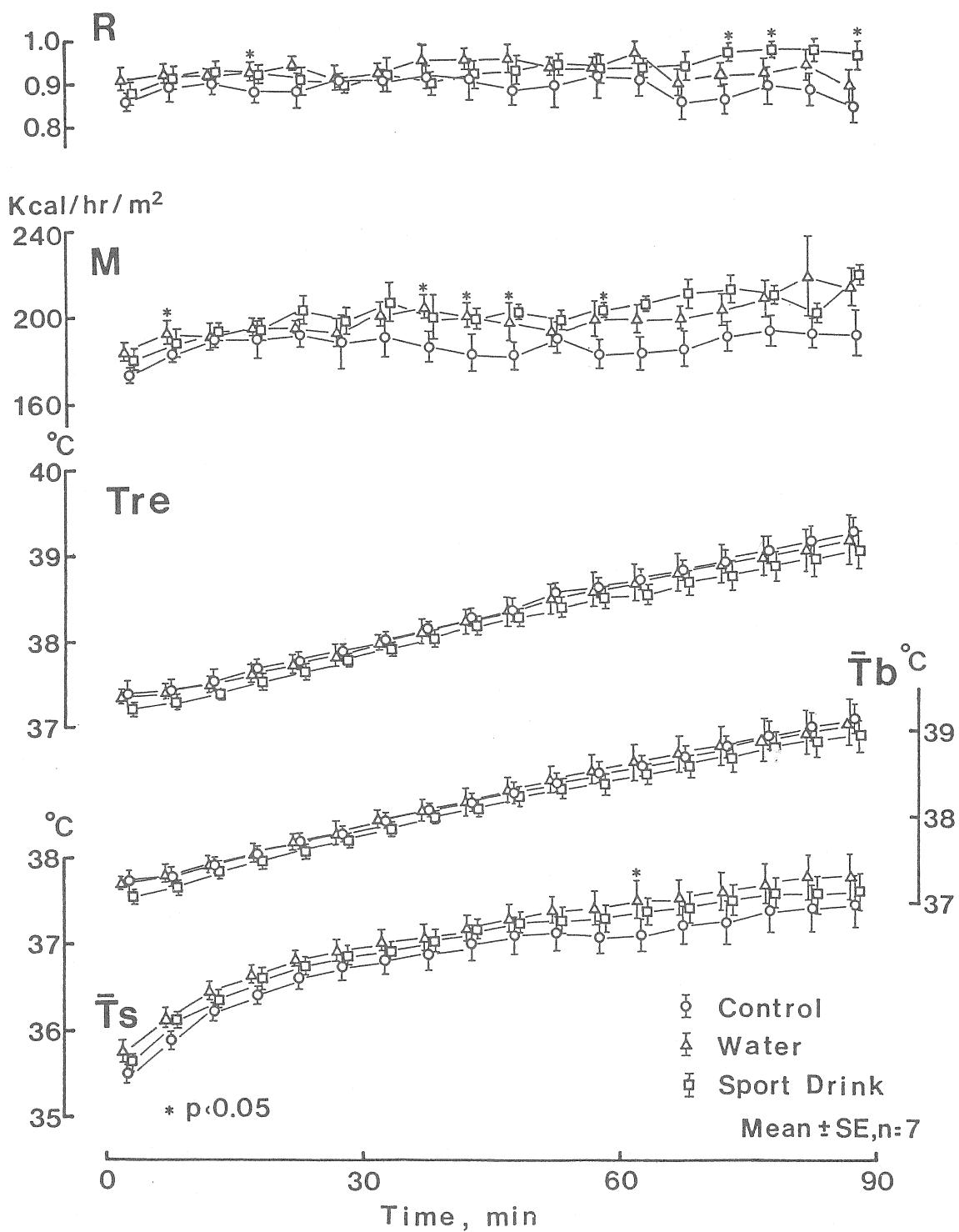


図1 呼吸商 (R), 代謝量 (M), 直腸温 (Tre), 平均体温 (\bar{T}_b) ならびに平均皮膚温 (\bar{T}_s) の経時変動

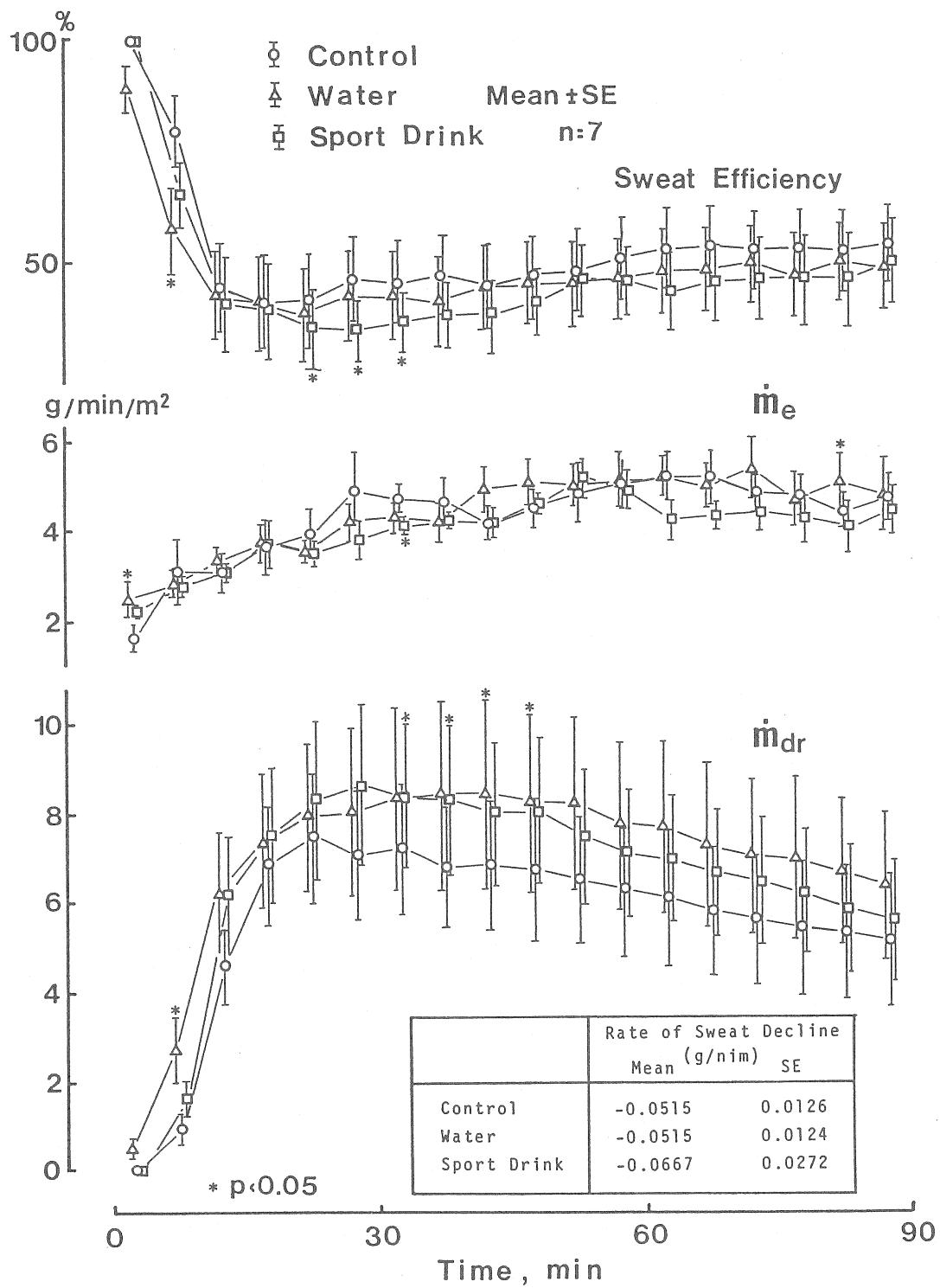


図2 発汗効率 (Se), 有効発汗量 (Me) および無効発汗量 (Mdr) の変動

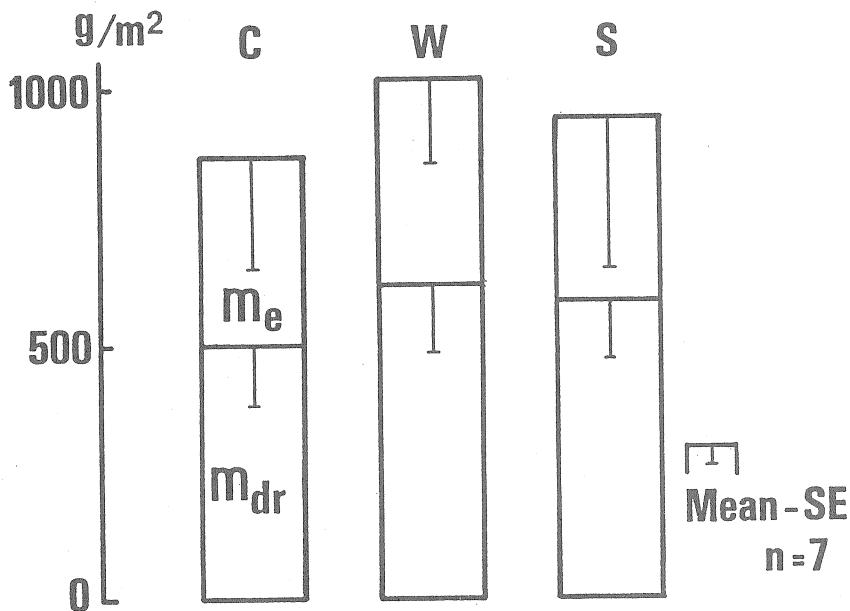


図3 全無効発汗量 (Mdr) と有効発汗量 (Me) の比較

表1 体温と発汗量の比較

	Control		Water		Sport Drink	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
ΔT_{re} (°C)	1.893	0.228	1.708	0.325	1.903	0.224
ΔT_s (°C)	1.886	0.215	2.065	0.200	1.818	0.238
ΔT_b (°C)	1.893	0.225	1.878	0.266	1.895	0.219
m_s (g/m ²)	866.13	127.50	1014.10	162.20	941.39	111.27
m_{dr} (g/m ²)	500.00	102.17	619.41	136.19	584.04	110.52
m_e (g/m ²)	386.13	32.63	394.69	32.52	357.31	18.47
Sweat Efficiency (%)	50.38	8.16	47.24	8.53	43.96	7.63
Rate of Sweat Decline (g/min)	-0.0515	0.0126	-0.0515	0.0124	-0.0667	0.0272

と同様な結果であった。

安静時の hidromeiosis の程度が、運動時において著しい理由について、体水分量の減少や血液浸透圧の上昇など、汗の原液となる循環血液の変動の影響が考えられる¹³⁾。

今回の実験では、室温35°C、湿度85%、運動強度は自転車エネゴメータで450 kpm/min に設定し、環境及び運動負荷が同一の条件下で、水分の摂取

条件のみを変えて体温、エネルギー代謝および熱平衡の比較を行った。

本実験では体液の変動は観察しなかったが、理論的にはC群では体液量の減少ならびに浸透圧の上昇、S群では体液量ならびに血液浸透圧の両者とも不变、そしてW群は血液量は不变で浸透圧の低下が生じていることになる。

全身発汗量 (M_s) に差異が認められた。すなわ

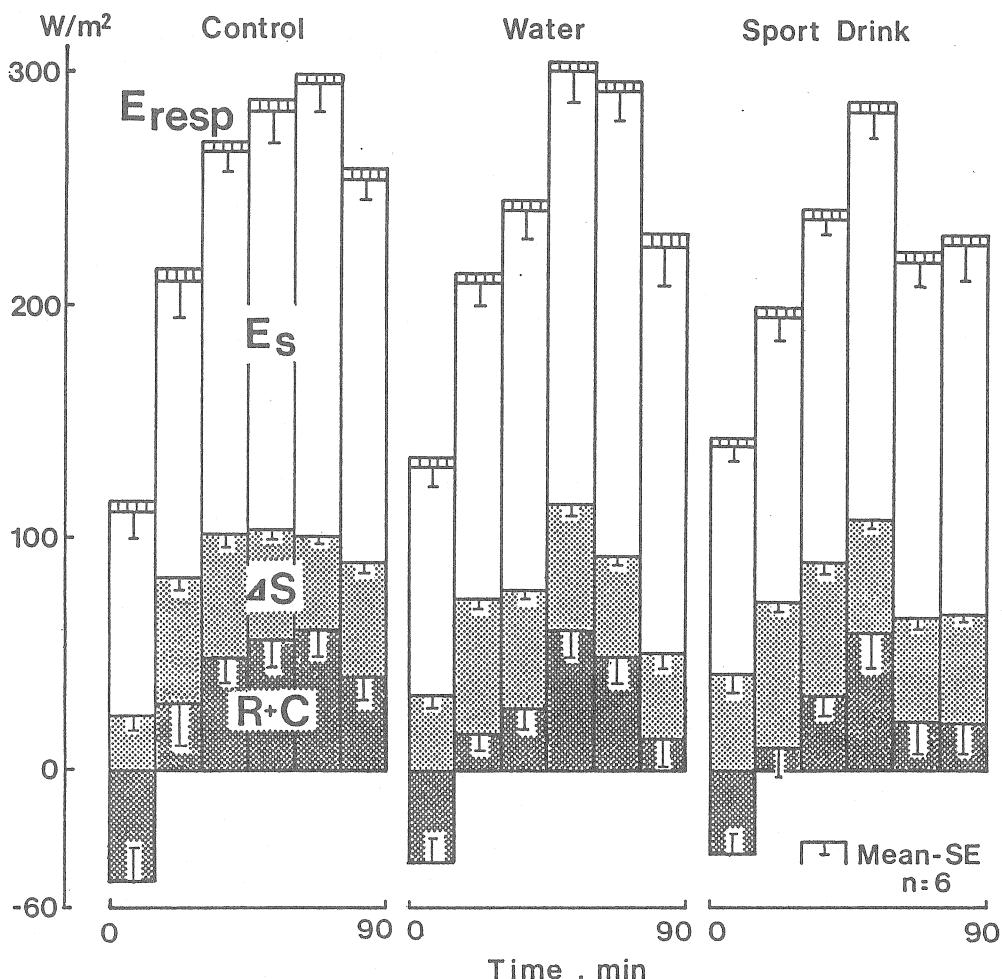


図4 熱出納の変動

ち, Ms は C 群で最も少なく S 群や W 群ではそれより高い値を示した。hidromeiosis の程度を、最大発汗量を示したのちの発汗漸減量 (g/min) で示すと、C 群 - 0.0515, W 群 - 0.0515, また S 群で - 0.0667 であり、S 群で最も高い傾向が認められた (N.S.)。このことは、発汗量の多い程、hidromeiosis による発汗漸減が大きいとする従来の報告^{2),7)}と一致する。

環境条件が同一であるので、発汗量の差異は代謝量、体液量、さらには飲水による神経性反射¹⁴⁾による影響などが考えられる。

代謝量が高ければ、体温の変動を同じレベルに保つためには、皮膚血流量や発汗を促進して熱放

散を増す必要がある。代謝量 (M) と呼吸商 (R.Q.) については C 群が最も低く、S 群が高い傾向を示したことは、スポーツドリンク中に含まれる糖分が、運動時のエネルギーとして利用されたためと推定される。従って、S 群で発汗量が多いのは代謝量が高いためであると考えられる。実験終了後、被検者の摂水に対する感想を求めるとき、全被検者が「苦痛であった」と答えており、代謝量が高かった原因に別の要因が加わったとも考えられる。

発汗によって血液中の水分は減少するが、失われた水分（脱水）は体液の浸透圧の変化によって調節される。実際には口渴感を惹起し、飲水や食

事などによって水分が補給される。

摂取された水分は、溶液の組成によって消化管での吸収速度が異なるといわれる¹⁵⁾。すなわち高張性の食塩とグルコースの混合液が血液への吸収速度が最も高く、消化器での水分の吸収にはナトリウムとグルコースの存在がプラスに傾くという。そして摂取された水分は、数分後には吸収され、血液量を増加すると考えられる。体液量の増加は皮膚血流量や発汗量の増加に寄与するが、果たして今回の実験のように、水負債が体重の2%程度で、水分摂取が有効に働くかどうかは定かではない。F.Sargent ら¹⁶⁾は、発汗量は脱水によって減少するが、脱水の程度とは必ずしも量的な関係は認められないと述べている。

S群とW群の飲水群で発汗量が高い要因として考えられるもう1つの要因として、飲水による神経性反射の発汗量に及ぼす影響である。Barnerjee ら¹⁴⁾は胃ゾンデによる注入では深部温が変動を示すまでは発汗量は変化しないことから、胃粘膜には有効な温度受容器は存在せず、温・冷水による発汗への影響は頬、咽頭粘膜の温度受容器からの反射であろうとしている。本実験では、体温と同温度の水分を飲ませたので、水分の温・冷刺激による反射は考えられない。

要 約

高温高湿環境下において、運動した際に水分を補給することで、全身発汗量は増加した。発汗量が多い分、発汗漸減現象も著しい傾向が認められたが、それは無効発汗量の増加であって、体熱平衡や体温のバランスには影響が認められなかった。

水分摂取群で発汗量が多かったのは、代謝量に起因していると考えられるが、代謝量が多い原因については定かではない。

水分摂取が体熱平衡に影響を及ぼさなかったのは、脱水の程度が体重の2%程度であったことが原因しているのかも知れない。

文 献

- 1) Brown, W.K. and Sargent, F.(1965) : Hidromeiosis. Arch. Environ. Health, 11, 422-453.
- 2) Candas, V., Libert, J.P. and Vogt, J.J.(1980) : Effect of hidromeiosis on sweat drippage during acclimation to humid heat. Eur. J. Appl. Physiol., 44, 123-133.
- 3) Candas, V.Libert, J.P. and Vogt, J.J.(1983) : Sweating and sweat decline of resting men in hot humid Environments. Eur. J. Appl. Physiol., 50, 223-234.
- 4) Collins, K.J. and Weiner, J.S.(1962) : Observations on ARM-BAG suppression of sweating and its relationship to thermal sweat-gland "fatigue". J. Physiol., 161, 538-556.
- 5) Ogawa, T. Asayama, M. Sugeno, J., Fujimatsu, H., Miyagawa, T. and Terai, Y.(1984) : Temperature regulation in hot humid environments, with special reference to the significance of hidromeiosis. J. Thermal Biol., 9, 121-125.
- 6) Remanathan, N.L.(1964) : A new weight system for mean surface temperature of the human body. J. Appl. Physiol., 19, 3, 531-533.
- 7) Randell, W.C. and Peiss, C.N.(1957) : The relationship between skin hydration and the suppression of sweating. J. Invest. Dermatol., 28, 435-441.
- 8) Winslow, C.E.A., Gagge, A.P. : Influence of physical work on physiological reaction to the thermal environment. Am. J. Physiol., 134, 664-681, 1941.
- 9) 朝山正己(1992) : 運動時の発汗漸減と体熱出納。平成3年度日本体育協会スポーツ医・科学報告, No.VIII. スポーツ活動における熱中症事故予防に関する研究-第1報-, 5-13.
- 10) Robinson, S. and Gerking, S.D.(1947) : Thermal balance of men working in severe heat. Am. J. Physiol., 149, 476-488.
- 11) Hardy, J.D. and DuBois, E.F.(1938) : The technic of measuring radiation and convection. J. Nutr., 15, 461-475.
- 12) Brebner, D.F. and Kerslake, D.M.(1968) : The effect of soaking the skin in water at various temperatures on the subsequentability to sweat. J. Physiol., 194, 1-11.
- 13) Fortney, S.M., Nadel, E.R., Wenger, C.B. & Bore, J.R.(1981) : Effect of blood volume on sweating rate and body fluids in exercising humans. J. Appl. Physiol., 51, 1594-1600.

- 14) Banerjee, M.R. (1970) : Transient changes in sweating activity of man following ingestion of water at different temperatures. Int. J. Biometeorol., 14, 381-390.
- 15) 森田雅弘, 能勢博, 森本武利(1988) : 経口補水液投与による循環血液量の変化. 医学のあゆみ, 145, 773-774.
- 16) Sargent, F., Johnson, R.E., Huntley, R.A., Kosmala, R., and Hanley, H.H. (1956): Experimental production of anhidrosis and hypohidrosis by diet and dehydration, J. Lab. Clin. Med., 29, 938-939.

2. 暑熱環境における間欠運動時の体温調節と循環動態（青年女子）

報 告 者 白木 啓三¹⁾

研究協力者 佐川寿栄子¹⁾ 森川 寿人¹⁾

緒 論

暑熱環境下での運動によって起こる重要な生体の反応は言うまでもなく、循環系の障害（循環不全）と、中枢神経系の障害（脳神経機能の不全）とが起こる事である。生命活動が正常に行われるには、我々の体温、特に中枢神経系を含む内部体温（中核部温）がある範囲内に保持されなければならない。熱そのものが細胞レベルから全身の臓器に及ぶ広範囲な変成を速やかに進行させる事が知られている。一方では、運動により血液の循環動態の変化が起こり、循環不全を起こし易い状態を速やかに生じる事も知られている。循環状態が正常でないと中核部温はさらに上昇し、生命の危険を惹起するような悪循環が発生することが知られている。何故循環機能が、体温の上昇に大きく関与するかというと、運動によって筋肉内で発生した大量の熱（代謝性産熱）は身体の表面（皮膚）から放散されなければならない。この熱を身体の中核部から体表面に運搬するのが血液の流れである（対流性熱放散という）。この血液の流れ（血流）が阻害されれば中核部の体温は急速に危険な域値に達する。この一方では運動を継続するには、筋肉組織に酸素と栄養素を運搬し同時に代謝産物の除去が行なわなければならない。この役目を果たすのは言うまでもなく、やはり血液の流れである。

以上で理解されるように暑熱環境での運動時には二つの問題が提起されるであろう。

その第一は体温を調節するための皮膚への血液循環と、運動継続のための筋肉組織への血液循環との競合作用（血流の奪い合い）が起こることである。すなわち皮膚及び筋肉組織での血液循環の

必要量が、心臓が送り出すことのできる血液量（心拍出量）を上回ってしまうことである。

その第二は皮膚での血管拡張が起こる結果、大量の血液が皮膚領域に貯留されてしまい、心臓への血液の還流（中心静脈還流）が低下しその結果、心臓の収縮によって送り出す血液量（一回心拍出量）が減少することである。

運動中の筋肉組織に必要なだけの血液が持続的に供給がなされないときに運動は中断される事になる。同様に皮膚への適当な血液の供給がなされなくなつたときに、高体温、或いは我々が最も恐れなければならない熱中症が起こるわけである。

以上のように夏期のスポーツ活動の実施中には、体温調節機能あるいは循環機能への負荷が増加し、生体にとっては必ずしも好ましい状態にあるとはいえない。しかしながら、スポーツ選手の鍛練においても、あるいは学校教育においても夏期のスポーツ活動は避けられないものとなっている。従って現在一般的に取り入れられている体育教育のプロトコールに従った方式での運動が循環機能、体温調節機能にどのような影響を与えるかを検査し評価を与えなければならない。

この研究では人工的に作成した快適温度（22°C）および高温度環境（32°C）で一定に運動負荷を加え環境温度が循環機能および、体温調節機能にどのような影響を与えるかを測定しこの運動を実施し安全性を検討するのに必要な基本資料を得ることを目的とした。

方 法

1. 被験者

7名の女子学生を被験者とした。総て運動部にて活発なクラブ活動を行なっている選手である。

1) 産業医科大学

総ての被験者は実験の内容を理解した後に、検査に伴うリスクを説明し、任意に参加することに同意した。心電図を含め医学検査を行ない、健康であることを確かめた。月経周期と体温調節とは密接な関係があると言われている(Tankersley et al, 1992)。この実験では実験中の性周期を統一するために月経終了日から、2週間以内の増殖期に実験を行なった。実験とは別の日に最大酸素摂取量を測定した。室温25°Cの部屋にて被験者は自転車エルゴメーターを使って運動を行なった。被験者はdead-spaceのすくないマスクを装着した。酸素消費量はbreath-by-breathで測定した。最大運動の負荷は、最初1分間は300kpmの負荷を与え、次に30秒毎に150kpmづつ負荷を増加して、all outになるまで、運動を続けた。最大運動負荷を行なってから少なくとも1週間の間隔をおいてから、以下のような2つ温度条件での運動負荷を行なった。

2. 温度条件

(1) 実験1：室温22°Cでの運動負荷

被験者はショートパンツとTシャツを着用し、22°C、rh60%に温湿度を制御した人工気候室で心電図用電極、心拍出用アルミ電極、レザードップラーピ膚血流用プローブ、連続血圧測定用センサーを装着した。皮膚温および食道温を連続測定した。皮膚温度は銅-コンスタンタン熱電対を皮膚の4点に装着し、平均皮膚温度はRamanathonの方式で推定した。食道温は直径0.5mmの銅-コンスタンタン熱電対を嚥下させて心臓の高さで測定した(Shiraki et al, 1988)。総てのデーターは15秒間隔でコンピュータ(EWS-4800, NEC三栄)に収録し、on-line分析を行なった。

心拍出量はMinnesota Impedance Cardiographにより測定し、皮膚血流量は血流センサーを右前腕橈骨筋上に装着(TSI-Laser-Doppler Flowmeter)連続測定した。

運動は室温で十分な安静をとらせてから、自転車エルゴメーター(モナーク)にのり、サドルの上で、15分間、安静時の測定を行なった(安静時)。次に15分間各人の最大酸素消費量の50%の運動量で15分間運動を行ない(Exercise-1)、5分間サドルの上で運動を停止し(Interval-1)運動負荷量は変えずに第2(Exercise-2)、第3(Exercise-3)、お

よび第4回(Exercise-4)の運動を行ない、それぞれの運動の間に、5分間の運動休止期をおいた(Interval-2, Interval-3)。第4回の運動後に20分間の回復期をサドルの上で行ない、総ての期間を通じてデータの連続収録を行なった。この実験に要した時間は110分であった。

(2) 実験2：室温32°Cでの運動負荷

22°Cでの運動負荷から、少なくとも3日の間隔をおいて32°Cでの実験を行なった。測定項目および実験測定法式は、22°Cにおけるものと全く同様であった。実験1と実験2との順序は全くat randomであった。

(3) 酸素消費量の測定および運動負荷の決定。

被験者は軽くしかもdead-spaceの非常に少ないマスク(New Rudolph Mouth/Face Mask, Model 7923)を実験期間中常に装着して呼気量は、ニューモタコメーターで測定し、呼気中のO₂およびCO₂濃度はマスクから直接導かれた小量の呼気サンプルを質量分析器(Westron)に導き分析し、各呼吸毎の酸素消費量は、コンピューター(NEC-9800 RA)と連結してオンラインでただちに表示された。この結果を参照して、運動量を常に一定に保つように、自転車エルゴメーターの負荷量が調節された。運動負荷強度は上述の様に連続酸素消費量を連続測定しながら、最大酸素消費量の丁度50%になるように調整した。

結 果

表1には今回の被験者の身体的特徴と最大酸素消費量を示した。今回の実験には、総て大学の運動部で活躍する現役の選手を使ったために、身体のサイズ、最大酸素消費量および、最大脈拍量は平均的な日本人女性よりも高値である。

1. 循環機能

(1) 脈拍：図1(上段)に示すように運動期の脈拍は、運動回数が増しExercise-4にちかづくにつれて、徐々に増加する。また22°Cでは32°Cでの運動期よりも高く、その差は、運動回数が増すほど大きくなる。各運動期後の脈拍は休止時間5分では完全に回復しないことがはっきりした。また運動回数が増すにつれて、安静期との差も大きくなる。

なる。この傾向は、室温が高いほど顕著である。回復期の脈拍は22°C環境温度では、20分後にはほぼ安静期の脈拍に回復するが32°C高温環境では20分以内には完全な回復が見られない。

(2) 血圧：図1（下段）には実験中の平均血圧

を示した。興味あることに平均血圧は、環境温度そのものによって大きな影響を受けないことが認められた。Exercise-1では一時的な血圧の上昇が見られたが、exercise-2以降には、大きな上昇は認められなかった。各運動後に血圧は速やかに低下し

表1 身体的特徴および最大酸素消費量

年 令	体 重	身 長	最大酸素消費量	最大脈拍
(歳)	(kg)	(cm)	(ml/min/kg)	(beats/min)
18-19	60+/-2.4	166+/-1.6	44+/-2.9	190+/-2.9

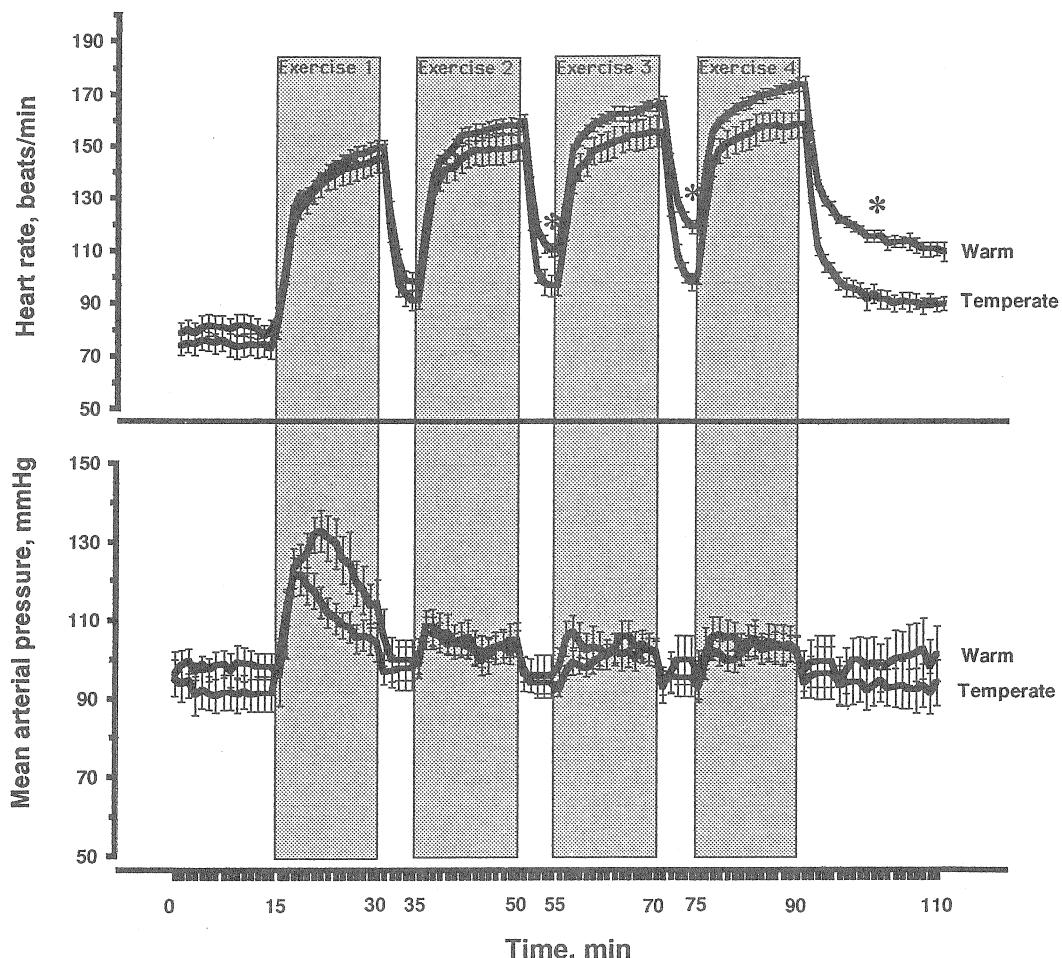


図1 運動中の脈拍（上段）および平均血圧（下段）の変動（時間経過）

5分間の休憩によって運動前値に回復した。血圧は運動後に脈拍よりも早く回復することが判明した。

(3)心拍出量：図2（下段）に示すように心拍出量には環境温度による差は見られなかった。運動回数が増加するに従って、次第に心拍出量は増加する傾向にあった（推計学的には有意差なし）。心拍出量は運動後に直ちに低下するが、5分間では完全に安静時レベルには回復しなかった。

ここに図示しなかったが、一回心拍出量(stroke volume)は環境温度による差はなく、しかも運動によっても有意な増加は見られなかった。従って運動によって増加する心拍出量は総て脈拍の増加によることがわかった。

(4)皮膚血流量：図2（上段）に示すように、Laser-Doppler法によって測定した皮膚血流量は、安静期間および運動期間を通じて環境温度が高いと明らかに上昇する。運動開始と同時に急速に増加するが、この増加の割合は環境温度が高いほど急峻であった。また運動回数が増すと、皮膚血流量も増加する傾向にあった。運動終了と同時に低下し、22°Cでは20分以内に安静期のレベルに回復するのに対し、高温環境では、20分では完全に回復しなかった。以上の皮膚血流の結果より、同じ運動負荷量によって高温環境ではより多くに血液が皮膚に流入することが判明した。

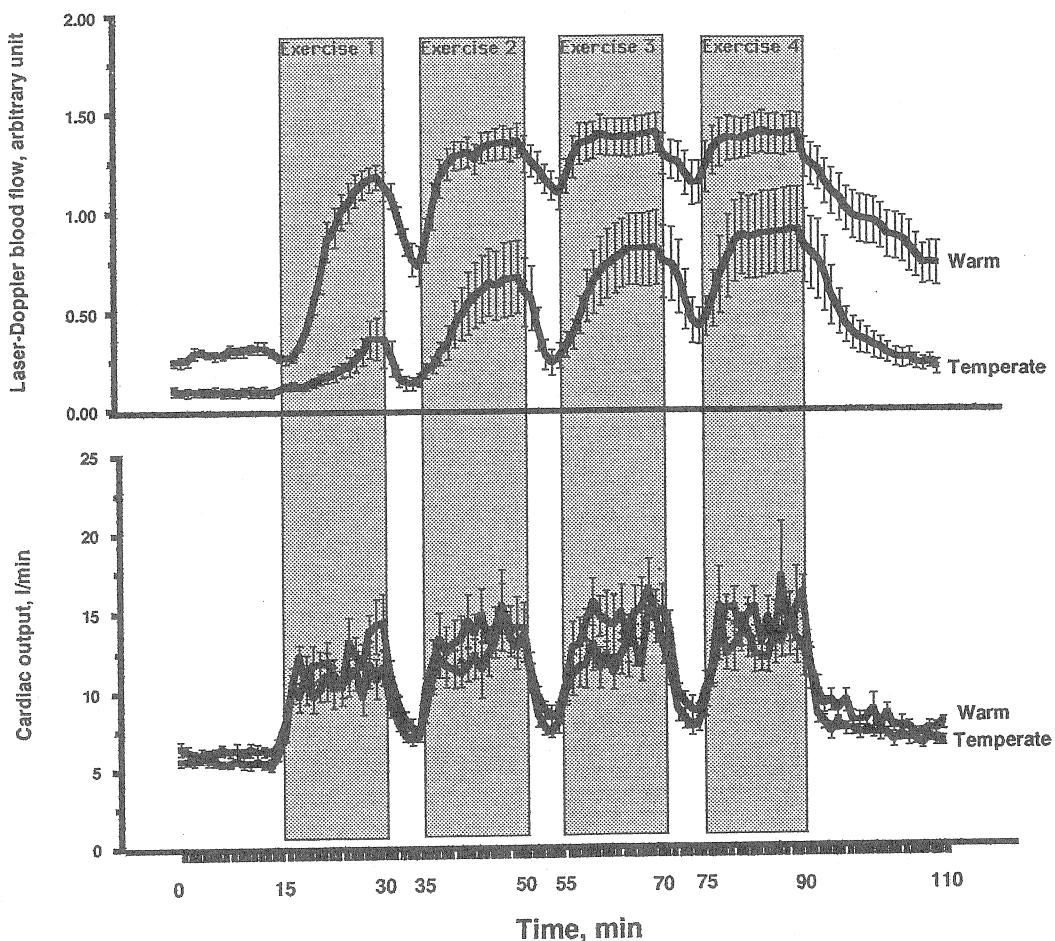


図2 運動中の皮膚血流量（上段）および心拍出量（下段）の変化（時間経過）

2. 呼吸機能

呼吸回数および、換気流量には環境温度による影響は全く受けなかった(図3)。呼吸回数は自転車エルゴメーターによる運動の場合には、定められたエルゴメーターの回転数に同調する傾向にあるため、当然であろう。換気流量も運動負荷量が規制されているために差がないのも当然かも知れない。従って今回実施したような運動負荷方法では体熱の損失のうち、呼吸器からの熱損失量は環境温度によって差がないことがわかる。

3. 体温

(1) 食道温(図4上段)：運動開始前15分間の安

静期には、食道温は環境温度による差は見られなかった。運動による食道温の変化を見ると両温度環境に共通した興味深い所見が見られた。すなわち運動開始と同時に明らかな食道温の低下が起きた。これは“初期低下”と言われる現象と同じと考えられ運動開始により、冷たい皮膚の血液が、急速に中枢(心臓)に還流したものと解釈される。その後食道温は急速に上昇し、運動中止によって直ちに低下するが、5分以内には安静期レベルにまでには回復せず、次の運動開始と共に、再びに上昇する。運動終了後20分以内には、安静期レベルまでは回復しない。

運動中の食道温の経時変化を比較する。安静期の食道温には環境温による変化がないにも関わらず、“初期低下”的度に環境温によって差が見ら

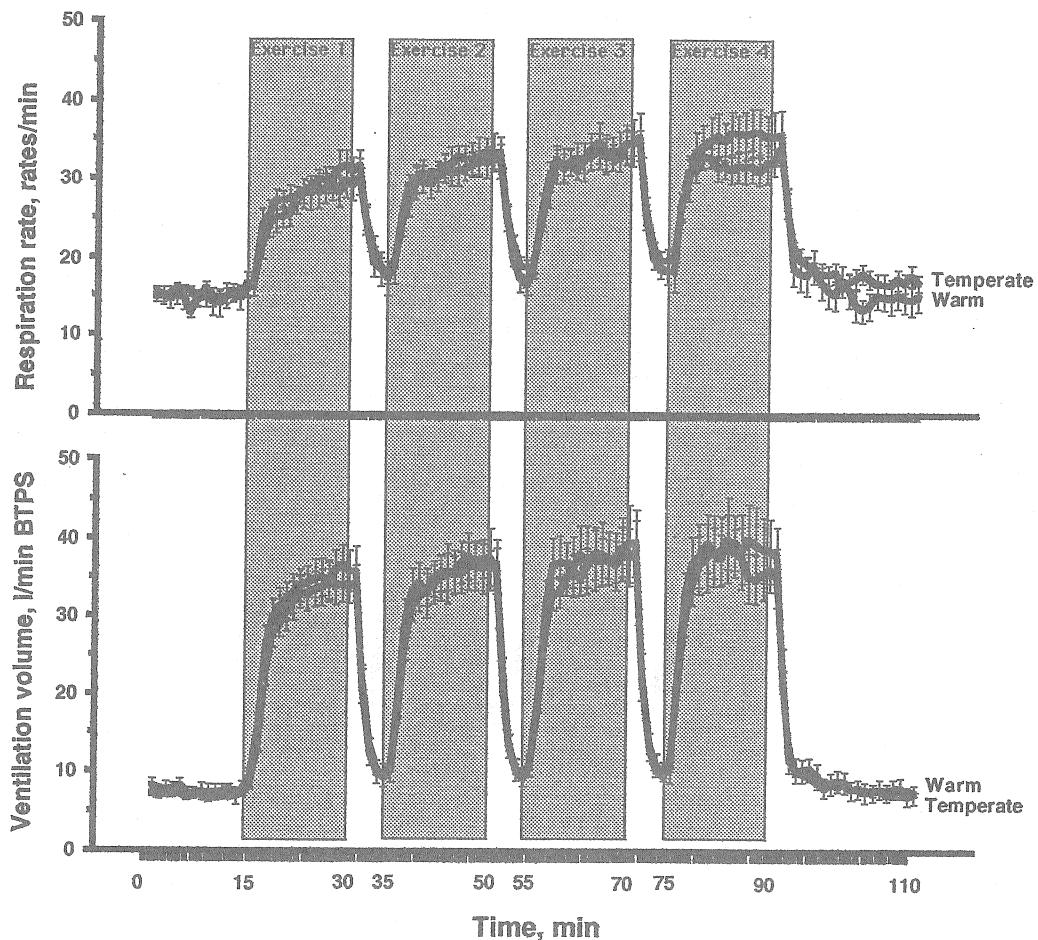


図3 運動中の呼吸回数(上段)と換気流量(下段)の変化(時間経過)

れる。即ち環境温が低いほどこの“初期低下”の程度が大である。食道温は運動回数が増すにつれて高くなる、しかも環境温が高いほどその上昇程度は大である。運動回数が2回までは(Exercise-1およびExercise-2)環境温度による差は見られなかつたが、3回以降の運動期では(Exercise-3およびExercise-4), 32°Cでの食道温は22°Cに較べて有意($P < 0.05$)に上昇している。

(2) 皮膚温(図4下段)：当然のことながら総ての期間を通じて皮膚温は32°C環境温で高値である。運動中は皮膚温も上昇するが、運動開始と同時に上昇するのではなく、一時的な温度の下降が見られる。これは運動開始と同時に運動筋に多量の血

液が必要なために皮膚血管の収縮が起り皮膚の血流が一時的に減少するためであると解釈されている(血流の再配分)。この程度は22°C環境の方が顕著である。

考 案

運動中は身体内部の体温(中核温度)は環境温度があまり高くなくても運動強度(熱量発生度合)に応じて上昇する。

高い環境温度は更に中核温度の上昇速度を早めることに寄与する。何故ならば高温環境では皮膚表面の温度は当然高く保たれ、この様な皮膚温の上昇によって身体の中核部と皮膚表面との温度差(温

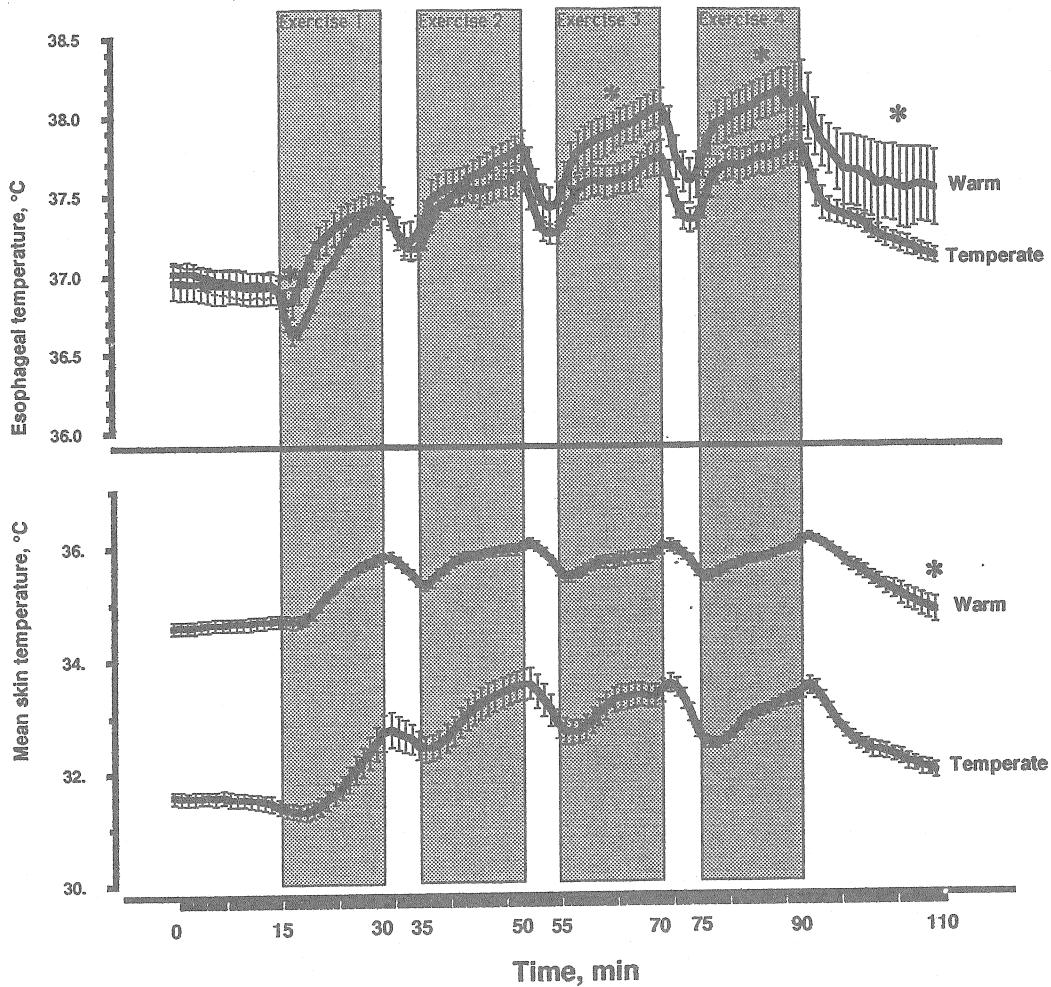


図4 運動中の中枢温(食道温)(上段)と平均皮膚温(下段)の変化(時間経過)

度勾配)は少なくなるからである。

我々は運動中は常に二つの相反する問題を抱えているのである。すなわち、高温環境での運動時には第一に皮膚、筋肉組織、及びその他の生命維持のために重要な内臓器官への血流の確保をしなければならないという事と、第二に体温を低下させるのに役立つ発汗機能が発揮されるに必要な皮膚への血液量を確保しなければならないということである。

1. 運動中の循環系の変化

運動がある程度以上の長期になると、中心静脈圧(右心房圧に相当する)、一回心拍出量、血圧、心臓への血液還流の低下がみられる。しかしながら脈拍の上昇により、単位時間あたりの心臓から排出される血液量即ち心拍出量(一回心拍出量×脈拍)はほぼ一定に保たれる。このような心臓循環系に起こる一連の変化はどのように理解されるのであろうか?

何故循環系の変化がおこるのか? 運動時に特に心臓の機能が低下するわけではないから、答は末梢循環の変化にあるように思える。従って皮膚領域での血液の循環に問題が絞られのではなかろうか。

(1)皮膚循環

運動中の循環系の変化のうち主なものに皮膚への血流の変化がある。今回の実験によても観察されたように、運動に対する皮膚血管の反応は、初期には血管収縮である(Bevegard and Shepherd, 1966)。中核温度が上昇するにつれて血管収縮の程度は少なくなり、次第に積極的な血管拡張反応にとってかかる。運動中は中核温度がある程度上昇するまでは、皮膚血流量を低下させる。これは安静時とは異なる現象である。この減少は運動中の血液の流れを理解する上で非常に重要である。

皮膚血流量の運動時の増加が、高温環境では明らかに高いということは、中枢への血液の流れを考えるうえで大切である。

Johnson らは(Johnson et al., 1974)皮膚温を一定に保持(38°C)するために一定の温度の水を循環させたスーツを着用させて運動を行ない食道温

と皮膚血流量の変化を測定した。その結果同じ中核温度で比較すると運動時の皮膚血流量は、安静時よりも低いということを報告している。このことの生理学的な意義は次のように解釈される。中核温度の上昇に比して皮膚血流の上昇が少ない事は、運動中には中心への血液の還流が低下する事を防ぎ、1回心拍出量及び血圧が大きく低下しないようにする事に役立つ。即ち運動継続のために都合のよい生体反応である。したがって今回の実験で観察されたような高温環境での皮膚血流量の明らかな増加は体温調節のために皮膚への血流の増加が優先されるために重要な臓器への血流が犠牲になっている可能性を考えなければならない。

(2)高温環境における運動負荷による循環系の調節

外気温が5-30°Cであれば中等度の運動では中核温度の上昇は外気温にあまり影響されないと言わわれている(Nielsen, 1970)。今回の32°C実験のようにこの温度幅よりも外気温が高くなると、中核部と皮膚表面との温度勾配が少なくなり、発汗の増加と、皮膚血流量の増加を促して体温の放散を増加させる。運動強度が増加すれば、当然体温の上昇につながる熱産生量が増加するわけであるから中核温度を一定に保つには環境温度の最高の許容範囲を低く設定しなければならない。この許容温度を越えるような環境設定では、中核温度は急速に上昇し、しかも皮膚領域への血流量の要求量も急速に増加し、次第に皮膚温度と中核温度とが接近して生体は運動に耐え難い状態になる。今回の実験では中核(心臓血液)の最高温度は38.3±0.2°Cであり(図4上段参照)平均皮膚温の最高温度は36.0±0.1°C(図4下段参照)であったので、両者の温度勾配は平均2.3°Cあり危険な状態には達していなかったと考えられる。

2. 皮膚温と中核温度が急速に変化するときの血流動態と体温調節機序

運動と高環境温度とが組合わさったときには今まで述べてきた事から理解されるように、運動を継続すれば生体は危険な状態に近づく事が予想される。この時点で運動継続のために重要な生理反応の代償機能が喪失してしまう事になる。したが

ってこの機序を考えてみることが異常な高体温(熱中症)の発生機序の解明につながることになり、我々にとっては非常に重要である。

(1) 中心循環動態

暑くない環境では一回の筋肉の収縮が皮膚静脈の血液を空にし皮膚から中心への血液の還流を助けている。これを筋ポンプと言う。ここで空になった皮膚の静脈はゆっくりと再充満される。ところが筋肉運動が高温環境でなされた場合には、筋肉ポンプは働くには働くが余り有効ではない。すなわち暑熱環境でも筋肉の一回毎の収縮によって静脈の血液は空になるはずであるが血流が非常に速いためにこの空になった静脈は非常に早く再充満される。従って平均静脈圧や静脈容量が低下する暇がなくこれらは高いままである。その結果中心への血液の還流は停滞する事になる。皮膚血流量が増加するにつれて静脈での容量は増加し運動中の心充満圧及び心拍出量の確保が困難になり、循環不全(温度虚脱)の原因となりうる。

(2) 末梢血液循环動態

Rowell(1969)は皮膚温が中心循環動態にどうのような影響を与えるかを見るために一定温度の水を循環させたスーツを着用して中等度の自転車エルゴメーターによる運動(酸素消費量1l/分)を負荷した。その結果皮膚温を急速に上昇させると1回心拍出量、中心血流量、大動脈及び右心房圧の減少が起こることが明らかになった。また皮膚を冷却するとこれらの変化が急速に改善された。皮膚の冷却を続けている間は運動による中心循環系の低下が阻止されることを見いだした。今回の実験のような条件では皮膚温と中枢温との間にかなり差があり運動を継続しても熱中症になる危険は少いと考えられる。

ま と め

生命維持のためには血圧の維持も、体温を一定に維持する事も両方重要である。心拍出量と皮膚血流量とを同時に増加させなければならない条件とは、環境温が高くて積極的に皮膚血流を増加させて放熱を増やさねばならないような状況に限ら

れている。心臓循環機能にはよく調節された上限があるのは周知の事実である。運動負荷と他のストレスとが同時に加わり心臓のポンプ機能が限界に達したときには血圧を維持するような生体調節機能が優先する。よく考えてみれば皮膚への循環血液量の調節は体温を調節するという働きがあるのと同時に一方では血圧をコントロールするための反射機能のひとつの現れと考えてよいわけである。つまり循環調節反応の選択肢の一つである。

高温環境では体温の調節が必要であるにもかかわらず、運動継続のためには代謝活動は高く保たれ熱産生量は増加し体温は上昇しようとする。この様に特別な状況では血圧調節と代謝活動の維持(筋肉活動の維持)が先行するらしい。従ってこの時には皮膚への血流は必ずしも十分に保たれるとは限らないため筋肉で発生した熱量が体表面に運搬されずに、中核部温は急速に上昇する。これは重症な高体温を招来する。皮膚への血液供給が十分でなくなると、発汗機能も十分に発揮されなくなり皮膚表面の温度は低下しない。致命的な熱中症はこのような状況で発生すると理解される。

本実験で得られた結論として、今回のようなプロトコールで実験するかぎり32°Cの環境温度であってもほぼ安全に運動鍛練が行なえることが判明した。即ち15分間の運動期間中に上昇した体温は、5分間の運動休止期間である程度低下し、循環機能も回復する。最大運動量の50%と言う運動量は60分間継続するにはかなり高い運動強度である。今回はよく鍛練された運動選手を対象として実験を行なったが、最大運動量の50%の運動量を負荷したことにより、体力の個人差は調整できている。従ってこのようなプロトコールによる運動鍛練を一般に夏季に行なっても大きな危険を伴わないと考えられる。

文 献

- Bevegard, B. S., and J. T. Shepherd (1966). Reaction in man of resistance and capacity vessels in forearm and hand to leg exercise. *J. Appl. Physiol.* 21, 123-132.
Ekelund,L.-G. (1967). Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise. *Acta*

- Physiol. Scand. 70 (Suppl. 292), 1-38.
- Johnson, J. M., and L. B. Rowell (1975). Forearm skin and muscle vascular responses to prolonged leg exercise in man. *J. Appl. Physiol.* 39, 920-924.
- Johnson, J. M., L. B. Rowell, and G. L. Brengelmann (1974). Modification of the skin blood flow-body temperature relationship by upright exercise. *J. Appl. Physiol.* 37, 880-886.
- Nielsen, M. (1970). Heat production and body temperature during rest and work. In *Physiological and Behavioral Temperature Regulation* (J. D. Hardy, A. P. Gagge, and J. A. J. Stolwijk, eds.), chapt. 14, pp. 205-214, Charles C. Thomas, Springfield, IL.
- Rowell, L. B. (1983). Cardiovascular adjustments to thermal stress. In *Hand-book of Physiology. The Cardiovascular System Peripheral Circulation and Organ Blood Flow* (J. T. Shephard and F. M. Abboud, eds.) sect. 2, vol. III, part 1, chapt. 27, pp. 967-1023. American Physiological Society, Bethesda, MD.
- Rowell, L. B., J. A. Murray, G. L. Brengelmann, and K. K. Kraning II (1969). Human cardiovascular adjustments to rapid changes in skin temperature during exercise. *Circulation Res.* 24, 711-724.
- Shiraki, K., N. Konda, and S. Sagawa (1986). Esophageal and tympanic temperature responses to core blood temperature changes during hyperthermia. *J. Appl. Physiol.* 61, 98-102.
- Tankersley C. G., W.C. Nicholas, D. R. Deaver, D. Mikita, and W. L. Kenney (1992). Estrogen replacement in middle-aged women: thermoregulatory responses to exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.* 73, 1238-1245.
- Wenger, C. B., and M. F. Roberts (1980). Control of forearm venous volume during exercise and body heating. *J. Appl. Physiol.* 48, 114-119.

3. 暑熱応答に及ぼす運動強度の影響 －WBGT を指標として－

報 告 者 森本 武利¹⁾

研究協力者 寄本 明¹⁾ 中井 誠一¹⁾ 芳田 哲也¹⁾

はじめに

暑熱環境下での運動時には、外的な温熱ストレスに加え代謝性熱産生の増加による内的な熱負荷が同時に加わり、暑熱障害発生の危険性が増加する。事実、夏季には運動時の暑熱障害の発生が多く報告されている^{10,18,19)}。

暑熱障害予防の対策として、環境温度に対応した予防措置が提案されている。しかし、予防措置に用いられる温度指標は統一されておらず、従来より様々な温度指標が環境と人の生理機能との関係から用いられてきた。有効温度 (ET)⁷⁾、修正有効温度 (CET)⁴⁾、新有効温度 (ET *)⁶⁾、予知 4 時間発汗量 (P4SR)¹³⁾、熱ストレス指数 (HSI)⁵⁾、湿球黒球温度 (WBGT: Wet Bulb Globe Temperature)²⁸⁾などがその代表的なものである。複雑な環境因子の組合せをひとつの指標に集約することは、実用的に有用であり、なかでも WBGT は気温、湿度、輻射、気流の因子を無理なく組み合わせたもの²⁶⁾であり、温熱環境の広い範囲をカバーしている¹¹⁾と評価されている。近年になって、WBGT が ISO 基準⁹⁾に採用され、日本産業衛生学会²³⁾も高温許容基準を示す温熱指標として用いている。スポーツの分野においては、アメリカカススポーツ医学会 (ACSM)^{1,2)}が長距離走時 (16 km以上)について WBGT を基準とした暑熱障害発生の予防措置を発表している。また、中井ら²⁰⁾は多くの報告に示されている暑熱障害予防のための温熱指標を WBGT に換算し、日本のスポーツ分野での予防措置として提案した。また本研究会においてもその第 1 報に詳しく論じたところである。

このように WBGT は暑熱環境下での熱ストレス評価として国際的に統一された基準となり、運動時にも応用されているが、WBGT と運動時の生体応答、ことに運動強度との関係については詳細な解析はなく、WBGT を基準とした暑熱障害予防措置は従来の温度指標との比較や障害発生時の推定温度からの検討であった。そこで、日本の夏季に体験する数種類の WBGT 条件下で、安静時およびスポーツ活動として比較的よく行われる運動強度 2 種類について、その運動時の生体応答を観察し、WBGT を基準とした運動時暑熱障害予防について運動強度の影響について検討した。

方 法

被験者は健康な成人男子 (23~35歳) 6名で、その身体的特徴を表 1 に平均値と標準誤差で示した。実験はこれらの被験者について対照実験として安静条件のほか、運動 2 条件、WBGT 4 条件、合計 12 条件で行った。実験の大半は 7 月下旬から 9 月上旬に実施した。なお、同一被験者に関して、各実験条件の実施順は無作為にそれぞれ日を変えて行い、実施時刻は同一時刻になるようにした。

実験条件：実験条件の設定は夏季におけるスポーツ活動現場の実態を考慮して決定した。すなわち、運動強度としては歩行や平地でのサイクリングに相当する代謝量 150W/m² の強度 (RMR で約 2.5) よび屋外での球技種目の練習を想定した代謝量 250W/m² の強度 (RMR で約 5.0) の 2 種類を負荷した。なお、運動は自転車エルゴメーター (Monark 社) によるペダリング運動を 20 分間ず

1) 京都府立医科大学

表1. 被験者の身体特性

人数	6
年齢 (歳)	28.8 ± 1.7
身長 (cm)	173.7 ± 2.8
体重 (kg)	67.3 ± 2.0
体表面積 (m ²)	1.76 ± 0.04
VO _{2max} (l/min)	3.61 ± 0.16

つ、5分間の休憩をはさみ間欠的に計3回行った。

WBGT条件は日本の夏季におけるWBGTの観測値²⁰⁾から、その実態に基づき22, 26, 30および32.5°Cの4種類とした。

WBGTは自然気流に暴露した湿球温度(NWB), 乾球温度(NDB), 黒球温度(GT)から

$$\text{屋外: } \text{WBGT} = 0.7\text{NWB} + 0.2\text{GT} \\ + 0.1\text{NDB}$$

屋内: $\text{WBGT} = 0.7\text{NWB} + 0.3\text{GT}$
の式²⁸⁾で算出した。実験に用いた4種類のWBGTは日本の夏季に観測されたWBGTをシミュレートし、次のような温度条件を人工気象室(タバイエスペック)において設定した。

$$\text{WBGT}22.0^\circ\text{C}: \text{NWB } 21.5^\circ\text{C}, \\ \text{GT(NDB) } 23.1^\circ\text{C}$$

$$\text{WBGT}26.0^\circ\text{C}: \text{NWB } 24.9^\circ\text{C}, \\ \text{GT(NDB) } 28.5^\circ\text{C}$$

$$\text{WBGT}30.0^\circ\text{C}: \text{NWB } 28.3^\circ\text{C}, \\ \text{GT(NDB) } 33.9^\circ\text{C}$$

$$\text{WBGT}32.5^\circ\text{C}: \text{NWB } 30.0^\circ\text{C}, \\ \text{GT(NDB) } 38.4^\circ\text{C}$$

実験はWBGT-meter(日本カノマックス)により、乾球温、湿球温、黒球温、WBGTをモニターし、設定温度を維持した。なお、風速は0.5m/sで一定とした。

被験者は短パンツのみを着用し、体重測定を行った後、設定された温度条件下の人工気象室に入室した。入室後、食道温測定用カテーテルを鼻孔より挿入、皮膚温用熱電対、心電図モニター電極および血圧測定用マンシェットを装着した。その後、椅子で30分間の安静をとり、自転車エルゴ

メーターによる20分間のペダリング運動を5分間の休憩をはさみ計3回実施した。運動終了後は直ちに体重測定を行った。

測定項目および測定方法: 食道温および皮膚温は銅一コンスタンタン熱電対により毎分測定した。なお、0接点には多端子ゼロコン(小松エレクトロニクス、ZC-114/ZA-10)を用いた。皮膚温の測定部位は、前額部、胸部、腹部、上腕部、前腕部、大腿部、下腿部の7箇所とし、平均皮膚温¹⁷⁾を算出した。呼気量は安静時および各運動期最後の5分間にについて呼吸流量計(ミナト医科学、RF-2)を用いて測定し、呼気ガスはO₂/CO₂分析計(堀場製作所)を用いて連続的に分析し、代謝量を求めた。血圧は運動負荷用血圧監視装置(日本コーリン、STBP-780)を用いて毎分測定記録した。また、体重減少量については、1g感度の体重計(長計量製作所)により実験前後に体重を測定し算出した。

統計処理: 統計量は平均値±標準誤差で示し、各群間の平均値の有意差検定にはStudentのpaired t-testを用い、5%水準をもって有意とした。

結果

心拍数の経時変動を被験者の平均値として運動強度別に図1に示した。150W/m²の運動では、WBGT 22および26°Cの運動中の心拍数は各運動時にはほぼ定常状態に達しているが、30および32.5°Cでは各20分間の運動中わずかに上昇を示した。運動終了時の心拍数はWBGT 22°Cに比べ26, 30および32.5°Cでそれぞれ1.5, 10.5および19.2bpmの高値を示した。250W/m²の運動でも、WBGT 22および26°Cの運動中の心拍数は各運動時にはほぼ定常状態に達しているが、30, 32.5°Cでは各運動期間中上昇を認めた。運動終了時の心拍数はWBGT 22°Cに比べ26°Cでは2.0bpm低いが、30および32.5°Cではそれぞれ20.7, 28.5bpmの高値を示した。安静時および運動終了時の心拍数と酸素摂取量をTable 2に示した。安静時の心拍数はWBGT 22°Cに比べ32.5°Cで有意に高かった(p<0.01)が、他の2条件には差がみられなかった。運動終了時の心拍数は150W/m²の運動ではWBGT 22°Cに比べ26°Cで差は認められなかつたが、30および32.5°C

では有意に高値を示し($p<0.01$ および $p<0.001$), 心拍数の上昇が認められた。同様に, $250\text{W}/\text{m}^2$ の運動終了時の心拍数も WBGT 22°C と 26°C で差は認められなかつたが, 30 および 32.5°C で有意な上昇が認められた($p<0.01$ および $p<0.001$)。一方, 酸素摂取量は安静時, $150\text{W}/\text{m}^2$ および $250\text{W}/\text{m}^2$ の運動時, いずれの場合にも WBGT 条件間に差は認められず, 温度の影響を受けなかつた。各運動負荷レベルでの相対的な運動強度(% $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{max}}$)を各被験者について求め, その平均値および標準誤

差で示すと, $150\text{W}/\text{m}^2$ の運動では $28\pm1\%$ $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{max}}$, $250\text{W}/\text{m}^2$ の運動では $44\pm2\%$ $\dot{\text{V}}\text{O}_{2\text{max}}$ であった。なお, 相対的運動強度にも WBGT 条件間に差は認められなかつた。

図 2 には WBGT と各条件下での酸素脈を示した。安静時の酸素脈は, 平均値で $4.8\sim5.3\text{ml}/\text{beat}$ であり WBGT 条件の違いによる影響は見られなかつた。運動終了時の酸素脈は, $150\text{W}/\text{m}^2$ では WBGT 22°C と 26°C でほぼ同値であるが, 30°C で低下を示し, 32.5°C では 22°C より $1.7\text{ml}/\text{beat}$ 有意に

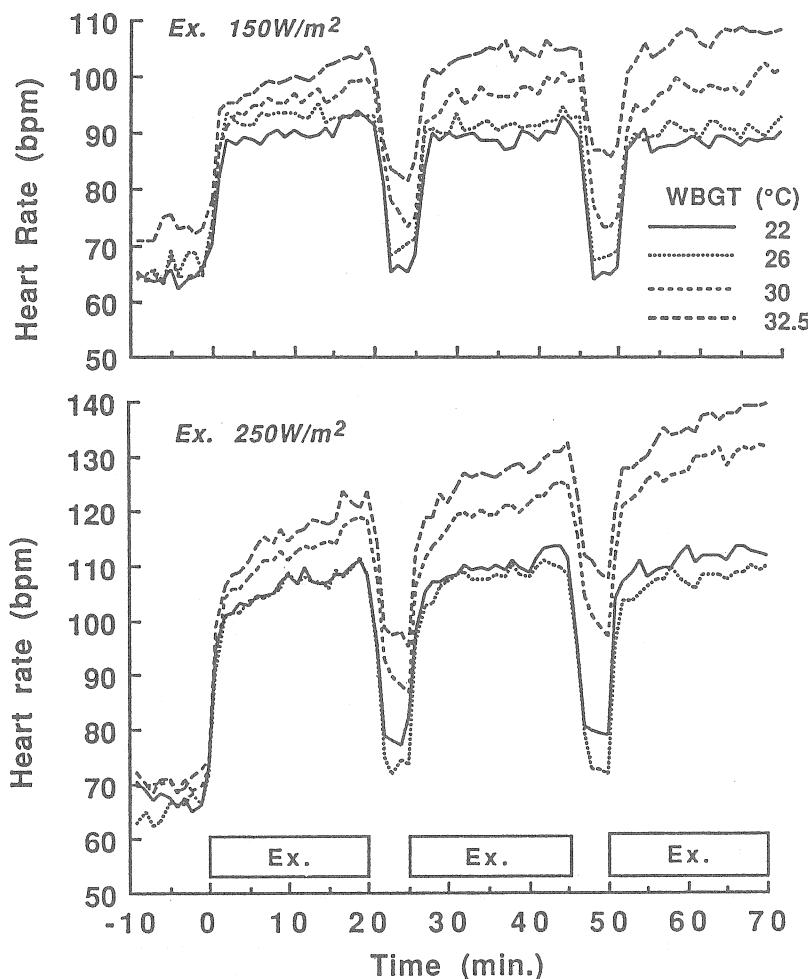


図 1. 4種の WBGT 条件下における運動時の心拍応答

上段： $150\text{W}/\text{m}^2$ の運動強度における運動時

下段： $250\text{W}/\text{m}^2$ の運動強度における運動時

いずれも 6 例の平均値で示す。

表2 運動負荷終了時的心拍数および酸素摂取量

	WBGT (°C)	心拍数 (beats/min)	酸素摂取量 (l/min)
Rest	22.0	64.1 ± 1.9	0.309 ± 0.014
	26.0	64.2 ± 1.9	0.337 ± 0.013
	30.0	66.3 ± 1.7	0.330 ± 0.011
	32.5	70.1 ± 1.4**	0.337 ± 0.017
Exercise (150 W/m ²)	22.0	90.0 ± 3.4	1.013 ± 0.103
	26.0	91.5 ± 3.6	1.046 ± 0.055
	30.0	100.8 ± 1.9**	1.013 ± 0.093
	32.5	109.2 ± 5.8***	1.038 ± 0.117
Exercise (250 W/m ²)	22.0	111.3 ± 5.9	1.661 ± 0.113
	26.0	109.2 ± 4.9	1.497 ± 0.125
	30.0	132.0 ± 7.3**	1.570 ± 0.100
	32.5	139.8 ± 7.3***	1.575 ± 0.148

*印は22°Cの値からの有意差: **: p < 0.01, ***: p < 0.001

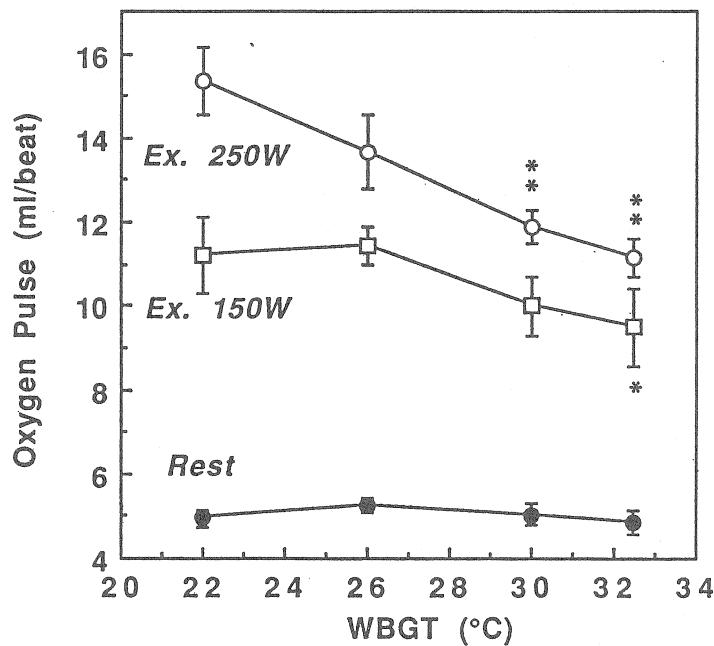


図2 運動時のWBGTと運動終了時酸素脈の関係

図中*はそれぞれの運動強度における22°Cからの有意差を示す。

*: p < 0.05, **: p < 0.01.

低下した($P < 0.05$)。250W/m²の運動ではWBGTの上昇に伴って酸素脈は低下し、WBGT 22°Cに比べ30および32.5°Cでそれぞれ3.4, 4.1ml/beatの有意な低下を示した($p < 0.01$)。

実験前後の体重測定から求めた体重減少量および体重減少率をTable 3に示した。150W/m²および250W/m²の両運動条件において体重減少量はWBGTが高くなるに伴い増加し、150W/m²では

32.5°Cで、250W/m²では30°Cでそれぞれその平均値が1kgを超える、250W/m²の運動の32.5°Cでは1.6kgに達した。体重減少量は両運動強度ともにWBGT 26, 30および32.5°CでWBGT 22°Cよりも有意に高く($p < 0.01$)、WBGTの上昇による水分喪失量の増大が認められた。体重減少率、すなわち体重減少量の初期体重に対する割合は体重減少量と同様150, 250W/m²の運動時にWBGT

表3. 運動負荷による体重減少量および減少率

	WBGT (°C)	体重減少量 (g)	体重減少率 (%)
Exercise (150 W/m ²)	22.0	337 ± 54	0.49 ± 0.07
	26.0	495 ± 87**	0.71 ± 0.11**
	30.0	792 ± 132**	1.15 ± 0.16***
	32.5	1137 ± 211**	1.65 ± 0.26**
Exercise (250 W/m ²)	22.0	588 ± 110	0.85 ± 0.13
	26.0	814 ± 150**	1.18 ± 0.18**
	30.0	1235 ± 259**	1.79 ± 0.32**
	32.5	1602 ± 347**	2.31 ± 0.43**

*印は22°Cの値からの有意差：**： $p < 0.01$, ***： $p < 0.001$

表4. 運動負荷による食道温および平均皮膚温の変化

	WBGT (°C)	食道温 (°C)	平均皮膚温 (°C)
Exercise (150 W/m ²)	22.0	37.3 ± 0.1	33.5 ± 0.2
	26.0	37.3 ± 0.1	34.9 ± 0.2***
	30.0	37.5 ± 0.2	36.5 ± 0.1***
	32.5	38.0 ± 0.2**	37.5 ± 0.1***
Exercise (250 W/m ²)	22.0	37.7 ± 0.1	33.9 ± 0.3
	26.0	37.8 ± 0.1	35.3 ± 0.1***
	30.0	38.5 ± 0.1**	37.0 ± 0.2***
	32.5	39.1 ± 0.1***	38.1 ± 0.1***

*印は22°Cの値からの有意差：**： $p < 0.01$, ***： $p < 0.001$

26, 30および32.5°Cにおいていずれも22°Cより有意に高値を示した。また、標準誤差が示すように体重減少量は個人差が大きく、特に被験者の一人ではその体重減少量および体重減少率は WBGT 32.5°Cでの150W/m²の運動により2.1kg, 2.9%, 250W/m²の運動時に3.3kg, 4.4%の減少を示し、各 WBGT での平均値の約2倍を示した。

食道温および平均皮膚温の安静時、運動終了時の値とそれらの運動終了時における安静時からの上昇度 ($\Delta T_{es} - \Delta T_s$) をそれぞれ Table 4 に示した。運動終了時の食道温は150W/m²の運動では WBGT 22°Cに比べ32.5°Cで有意に高く (P<0.01), 250W/m²の運動では30および32.5°Cで有意に高値を示した(P<0.01およびP<0.001)。また、 ΔT_{es} と WBGT との関係を Fig. 3 に示したが150 W/m²の運動では WBGT 32.5°Cにおいて0.7°Cの有意な上昇を示し (P<0.01), 250W/m²の運動では WBGT 30および32.5°Cで1.2および1.7°C有意に上昇した(P<0.05およびP<0.001)。すなわち、食道温は絶対値および上昇値いずれにおいても150

W/m²では WBGT 32.5°Cにおいて、250W/m²では WBGT 30, 32.5°Cにて WBGT 22°Cでの値に比べて有意に上昇した。平均皮膚温は安静時、運動時ともに WBGT の上昇に伴って上昇し、WBGT 26, 30, 32.5°Cでは22°Cに比べ有意な差が認められ(いずれも P<0.001), 環境温の影響を大きく受けている。 ΔT_s は150W/m²の運動では WBGT 30 および32.5°Cで22°Cより有意に上昇し (p<0.05), 250W/m²の運動では WBGT 30および32.5°Cで22°Cでの値に比べそれぞれ有意な上昇を示した(p<0.05および p<0.01)。

Fig. 4 には収縮期血圧と心拍数の積である RPP (Rate Pressure Product) の安静時および運動終了時の値と WBGT との関係を示した。RPP は150 W/m²の運動では22°Cと26°Cで変わらず、30°Cからやや上昇を始め、32.5°Cで有意に高くなった(P<0.01)。250W/m²の運動では WBGT 22°Cと26°Cとでは変わらないが、30°Cでの上昇は大きく、30および32.5°Cで22°Cでの値に比べて有意な上昇が認められた (p<0.05および p<0.01)。なお安静時に

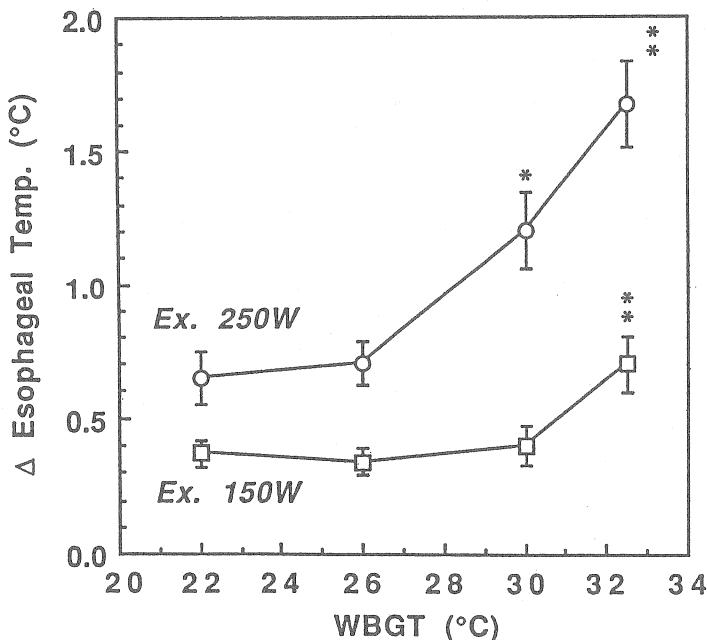


図3. 運動時の WBGT と運動終了時の食道温上昇度との関係

図中*はそれぞれの運動強度における22°Cからの有意差を示す。

* : p < 0.05, ** : p < 0.01.

については WBGT 32.5°C で 22°C に比べて有意に高値を示した ($p < 0.05$)。

考 察

スポーツ活動時の暑熱障害予防のため、WBGT を温熱指標として温熱環境許容基準および予防措置を示したものには次のようなものがある。アメリカスポーツ医学会 (ACSM)^{1,2)}は長距離走者の暑熱障害予防のため、WBGT が 28.0°C を超えるときはレースを実施してはいけないとし、McArdle et al.¹⁴⁾はテニス、サッカー、ホッケー、陸上競技は WBGT 26.5°C 以上から予防措置が必要であり、WBGT 31.2°C 以上では運動を中止するとしている。さらに、Haghson et al.⁸⁾は暑熱障害発生の危険の程度を WBGT 18°C 以下で低い (Low), 18~22°C で中等度 (Moderate), 23~28°C で高い (High), 28°C 以上で特に高い (Extremely high) と区分して注意を促している。後に、ACSM²⁾もこの危険の程度をカラーフラッグを用いて走者に知らせるこ

とを提案している。

近年、この様に WBGT によるガイドラインが公表されているが、生理的応答との関連を示したもののは少ない。本報告では暑熱障害発生の危険度の比較的低いレベル (WBGT 22°C) から危険度の高いレベル (WBGT 32.5°C) までの温熱環境下で、多くの人々が体験する歩行やサイクリングの運動強度および屋外球技スポーツの練習程度の運動強度を負荷し、生体応答から WBGT による暑熱障害予防について検討を加えた。

酸素摂取量には安静時、運動時ともに WBGT 条件の違いによる差はみられず、産熱量はこの範囲の環境温度には左右されることなく、運動強度を反映していた。運動終了時の心拍数は 150W/m² の運動では WBGT 22°C に比べ 30 および 32.5°C で有意に高く、250W/m² の運動でも同様に 30 および 32.5°C で有意な上昇が認められ、高温環境温下ではこの様に著しく心拍数が増加する。一般に、心拍数は高温環境下における身体活動の許容範囲を決定す

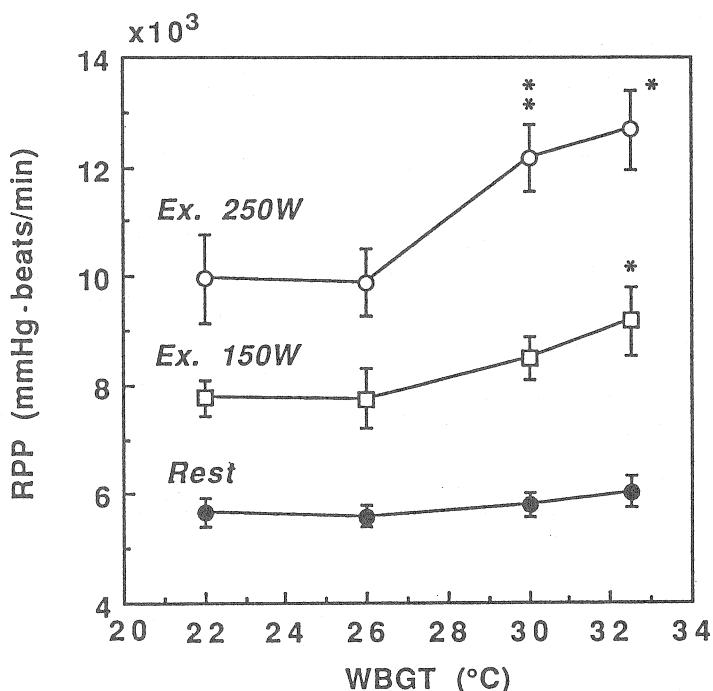


図 4. 運動時の WBGT と運動終了時の心拍数血圧積の関係
図中 * はそれぞれの運動強度における 22°C からの有意差を示す。
* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$.

るためのよい指標となる²⁷⁾とされている。高温下での皮膚血管拡張による皮膚血流量の増加、発汗による脱水、体内の血液分布変化¹⁵⁾、WBGT 上昇に伴う酸素脈の低下等が認められる。すなわち、150 W/m²における運動終了時の酸素脈は WBGT 30°Cで低下の傾向を示し、32.5°Cでは22°Cより有意に低下を示した。250W/m²の運動では26°Cで低下を示し、30および32.5°Cでそれぞれ有意な低下となった。酸素脈の低下は、循環血液量の減少に起因した stroke volume の低下を示唆しており、心拍数の増加はこれを代償するための反応と考えられる。また、心臓への負担を示す指標である RPP は、150W/m²では WBGT 30°Cで上昇の傾向を示し、32.5°Cでは22°Cより有意に上昇した。250W/m²の運動では26°C以上で上昇を示し、30および32.5°Cでそれぞれ有意な上昇となり、この温度範囲以上では循環系へのストレスが増大していることが推察される。いずれも150W/m²の運動では WBGT 30~32.5°C以上で、250W/m²の運動では WBGT 26~30°C以上で心臓および循環系への熱ストレスの影響が顕著となり、この状態がつづくと循環系はそれに対応できず、循環障害を起こし熱虚脱(heat collapse)や熱疲憊(heat exhaustion)にいたると考えられる。

体重減少量および体重減少率は 2 種類の運動条件のいずれにおいても WBGT の上昇に伴い増加し、WBGT 26, 30, 32.5°Cでは22°Cより有意に大きく、発汗量の増加を示している。暑熱下運動時の熱放散はその大半を汗の蒸発に依存し、体熱平衡を維持しているが、150W/m²の運動では WBGT 32.5°Cで、250W/m²の運動では WBGT 30および32.5°Cで発汗量の増加にも関わらず体内温が有意に上昇している。これは運動による産熱量および体外からの熱の流入量が、発汗による熱放散量以上になるためである。その結果として体温の上昇と発汗による脱水を来し、循環血液量の減少となり循環系へのストレスを増大させる¹⁶⁾。

運動終了時の食道温およびその上昇度 (ΔT_{es}) は、150W/m²の運動では WBGT 32.5°Cで、250W/m²の運動では WBGT 30および32.5°Cで22°Cよりそれぞれ有意に高く、体内温の上昇が認められた。運動時の体内温（直腸温）の上昇は気温 5~30°C

の範囲内で環境温に左右されず運動強度に比例する²²⁾とされているが、環境温度がある範囲を超れば運動強度だけでなく環境温の影響を受けると考えられる。Lind¹²⁾は環境温 (ET) と作業強度との関係を直腸温の急激な上昇に基づき、作業強度別に許容基準を提案している。さらに、ISO⁹⁾では労作時の高温許容基準として直腸温が38°Cを超えないことを条件とし、Richards & Richards²⁵⁾は直腸温が38°C以上で熱疲憊発生の危険性を示唆している。この体内温の急激な上昇と体内温が38°Cを超えるレベルは、今回実施した150W/m²の運動では WBGT 30~32.5°Cの範囲以上で、250W/m²の運動では26~30°Cの範囲以上でみられ、運動による産熱量が熱放散能力以上になり、蓄熱が起こり始める事を示している。従って、暑熱障害予防および許容基準としは、代謝量150W/m²の歩行や平地でのサイクリング運動の場合、WBGT 30~32.5°C以上で暑熱障害発生の危険性があると考えられる。また、代謝量250W/m²の屋外球技種目の練習等の場合、WBGT 26°C以上では暑熱障害の危険性があり、身体状態のモニターが不可欠であろう。また、WBGT 30°C以上では身体条件によっては暑熱障害の発生することが実験的にも示唆された。暑熱順化していない人については、ISO⁹⁾の労働時における WBGT 許容基準の扱いのように1~2°C低い温度からその危険性を考える必要があり、高齢者や子供についても同様に考えられる。特に子供では持続的に高温環境下におかれた場合、体温調節機能が未発達のため容易にその破綻をきたし暑熱障害を起こしやすい³⁾。一方、暑熱障害発生時の WBGT を測定した報告は少ないが、中井ら²¹⁾によるアメリカンフットボールの練習時の報告では WBGT 27.6~33.3°Cで、野澤ら²⁴⁾の自衛隊での訓練では WBGT 26.8~30.9°Cでそれぞれ暑熱障害が発生しており、いずれも今回の結果から、十分その発生が考えられる。

要 約

健康な成人男子 6 名 (29±2歳) を対象に、WBGT 22, 26, 30および32.5°Cの 4 条件下で、代謝量150W/m²および250W/m²の 2 種類の強度の自転車エルゴメーターによるペダリング運動を20分

間ずつ、5分間の休憩をはさみ間欠的に計3回行った。この際の生体応答とWBGTとの関係を検討し、以下の結果を得た。

1. 心拍数およびRPPは150W/m²の運動ではWBGT 32.5°Cにおいて、250W/m²の運動ではWBGT 30および32.5°Cにおいて22°Cより有意に高値を示し、酸素脈は150W/m²の運動ではWBGT 32.5°Cで、250W/m²の運動ではWBGT 30および32.5°Cにおいて22°Cより有意に低下した。

2. 運動終了時の食道温およびその上昇度は、150 W/m²の運動ではWBGT 32.5°Cで、250W/m²の運動ではWBGT 30および32.5°Cにおいて22°Cにおける値よりそれぞれ有意に高く、体内温の上昇が認められた。

3. 体重減少量および体重減少率は2種類の運動条件ともWBGTの上昇に伴い増加し、WBGT 26, 30, 32.5°Cでは22°Cより有意に高値を示した。150W/m²の運動ではWBGT 32.5°Cで、250W/m²の運動ではWBGT 30および32.5°Cで発汗量の増加にも関わらず体内温が有意に上昇した。

4. 以上の結果から、150W/m²の運動ではWBGT 30~32.5°Cの範囲以上で、250W/m²の運動では26~30°Cの範囲以上で暑熱障害発生の危険性が増加するものと推察される。

文 献

- 1) American College of Sports Medicine (1975) Prevention of heat injuries during distance running. Med.Sci. Sports, 7(1), vii-viii.
- 2) American College of Sports Medicine (1984) Prevention of thermal injuries during distance running. Med.Sci.Sports Exerc., 16, ix-xiv.
- 3) 荒田弘道(1979)暑熱障害症。からだの科学, 88, 105-109.
- 4) Bedford,T. (1946) Environmental warmth and its measurement. Med.Res. Council, War. Mem., No.17.
- 5) Belding, H.S. and Hatch,T.F. (1955) Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strains. Heat. Piping Air Cond., 27, 129-136.
- 6) Gagge, A.P., Stolwijk, J.A.J. and Nishi,Y. (1971) An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. ASHRAE Trans., 77, 247-262.
- 7) Houghten,F.C. and Yaglou,C.P. (1923) Determining lines of equal comfort. ASH&VE Trans., 29, 163-176, 361-384.
- 8) Hughson,R.L., Staudt,L.A. and Mackie,J.M. (1983) Monitoring road racing in the heat. Phys.Sportsmed, 11(5), 94-105.
- 9) International Organization for Standardization (1982) Hot environments -Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index. ISO Ref., No.7243, 1-8.
- 10) 川原 貴(1984)ランニングと熱中症, 臨床スポーツ医学, 1(4), 364-367.
- 11) Kielblock,A.J. (1987) A critical review of parameters of heat tolerance with specific reference to indices of heat stress. Heat Stress, Excerpta Medica, Amsterdam, 469-478.
- 12) Lind,A.R. (1963) A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everyday work. J.Appl.Physiol., 18, 51-56.
- 13) McArdle, B., Dunham, W., Holling, H.E., Ladell, W.S.S., Scott, J.W., Thomson, M.L., and Weiner, J:S. (1947) The prediction of the physiological effects of warm and hot environments. Med.Res.Council, RNP Rept., 47/391.
- 14) McArdle, W.D., Katch, F.I. and Katch, V.L. (1981) Exercise Physiology -Energy, Nutrition, and Human Performance-. Lea & Febiger, Philadelphia, 350.
- 15) Morimoto, T. (1990) Thermoregulation and body fluids: Role of blood volume and central venous pressure. Jpn.J.Physiol., 40, 165-179.
- 16) 森本武利, 能勢博(1991)運動と暑熱障害。カレントテラピー, 9, 1310-1313.
- 17) Nadel, E.R., Mitchell, J.W. and Stolwijk, J.A.J. (1973) Differential thermal sensitivity in the human skin. Pflugers Arch., 340, 71-76.
- 18) 中井誠一, 高野清江, 伊藤 孝(1981)運動中の暑熱障害発生と気象条件, 保健の科学, 23(3), 205-208.
- 19) 中井誠一(1983)夏季運動時の温熱環境と温熱ストレス, 日本体育大学紀要, 12, 85-91.
- 20) 中井誠一, 寄本 明, 森本武利(1990)夏季運動時の温熱環境の実態と温熱指標の比較, 体力科学,

- 39(2), 120-125.
- 21) 中井誠一, 寄本 明, 岡本直輝, 森本武利(1991)運動時の暑熱障害発生と温熱環境の関係—グラウンドの環境温度の観察から—. 臨床スポーツ医学, 8(1), 41-45.
- 22) Nielsen, M. (1938) Die Regulation der Korper temperatur bei Muskelarbeit. Skand. Arch. Physiol., 79, 193-230.
- 23) 日本産業衛生学会(1984)許容濃度等の勧告. 産業医学, 26(4), 348-350.
- 24) 野澤福己, 仲本昌一, 岡田芳明(1988)暑熱障害について, 救急医学, 12, 569-576.
- 25) Richards, C.R.B. and Richards, D.A.B. (1987) Medical management of fun-runs. Heat stress, Excerpta Medica, Amsterdam, 513-525.
- 26) 佐々木隆(訳)(1980)暑さ寒さと人間, 初版, 暑さとヒト. 朝倉書店, 東京, 29-30. (Edholm, O. G. (1978) Man - hot and cold, Edward Arnold, London.)
- 27) 渡辺巖一(1977)基礎環境衛生学—増補版—, 10版, 温熱環境. 朝倉書店, 東京, 43-46.
- 28) Yaglou, C.P. and Minard, C.D. (1957) Control of heat casualties at military training centers. Am. Med. Ass. Archs. Ind. Health, 16, 302-316.

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

報 告 者 川原 貴¹⁾

1. はじめに

熱中症は熱けいれん、熱疲労、熱射病などの病型に分けられるが、熱射病は体温調節機構の破綻から異常な高体温となり、脳、心、肺、腎、肝などの全身臓器障害を引き起こし、死亡率も高い。スポーツ活動による熱中症は無知や無理から起こるものであり、適切な予防措置を講ずれば防げるものである。スポーツ活動における熱射病死亡事故は毎年のように新聞に報道されているが、その実態や発生状況は必ずしも明かではない。また、スポーツ活動による熱射病死亡事故の症例報告もみられるが、まとまった事故例の分析はない。

熱中症一般の予防原則はすでに確立されたものであるが、現実には毎年死亡事故が発生しており、具体的な予防指針が必要とされている。このような熱中症予防の具体的指針作りのためには、事故の実態を調査し、事故の要因を明らかにする必要がある。

日本体育・学校健康センターの資料によると、1960年から1989年までの30年間に小学、中学、高

校で熱射病死亡事故は108件が報告されている(表1)。5年ごとの件数の推移をみてみると、1975年頃から急激に増加しており、特に1983年、84年にはそれぞれ年間12件、13件もの死亡事故が発生している。1985年以降は増加してはいないが、依然高い水準にある。これらの死亡事故はほとんどがスポーツ活動によるものである。1975年からの増加は若年者のスポーツが盛んになってきたことを反映していると考えられるが、スポーツ現場での熱中症予防に対する配慮が必ずしも十分ではないことを示している。

本研究では、熱射病死亡事故の実態を明らかにするために、死亡例についての分析を行なった。

2. 調査方法と対象

1975年から1990年の16年間に小学、中学、高校において学校管理下で発生した熱射病死亡事故90例について日本体育・学校健康センターの資料をもとに、分析を行なった。

表1 学校管理下における熱射病死亡事故の件数 (日本体育・学校健康センター)
1960—1989年

	小学校	中学校	高校・高等専門学校	計
1960—64年	2	3	3	8
1965—69年	0	0	9	9
1970—74年	0	3	5	8
1975—79年	1	2	17	20
1980—84年	2	6	32	40
1985—89年	1	8	16	23
計	6	20	82	108

1) 東京大学

3. 結果および考察

1) 热射病死亡事故例の性、年齢

热射病死亡90例のほとんどはスポーツ活動によるものであり、男性82例、女性8例とほとんどが男性であった。これは暑熱耐性の性差というより、男性のほうが激しいスポーツ活動を行うためと考えられる。

小学生は3例と少なく、中学生は20例、高校生は66例で、73%が高校生（表2）であったが、高校ではスポーツ活動が本格化してくるため事故が多くなるものと考えられる。学年別でみてみると、高校1年が37例で最も多く、高校2年が23例でこれに次ぐが、高校3年は6例で1、2年に比べると少ない。中学生でも3年に比べ1、2年が多かった。低学年に多いのは、技術、体力が未熟であるため、負荷が大きくなるためであろう。

表2 热射病死亡事故例の性、学年（1975—1990年）

学年	総数	男	女
小学3年	1	(1)	
5年	2	(2)	
小計	3	(3)	
中学1年	9	(9)	
2年	8	(5)	(3)
3年	3	(2)	(1)
小計	20	(16)	(4)
高校1年	37	(35)	(2)
2年	23	(22)	(1)
3年	6	(5)	(1)
小計	66	(62)	(4)
高専5年	1	(1)	
合計	90	(82)	(8)

2) 热射病死亡の発生地域

热射病死亡の発生地域をみてみると、関東が32例と最も多く、近畿、中部、東北の順であった（表3）。北海道では死亡事故の発生ではなく、四国は1例であった。北海道で発生していないのは、気候条件によるものであろうが、その他の地域の差は人口が関係していると考えられる。東北地方は人口比率からいくと発生率が多いと思われる。

表3 热射病死亡事故の発生地域

地域	例数
北海道	0
東北	12
甲信越	4
関東	32
中部	14
近畿	16
中国	5
四国	1
九州	6
計	90

3) スポーツ種目

死亡事故90例は1例を除きスポーツ活動によるものであった。スポーツ部活動によるものが78例と大部分を占め、その他は学校行事との登山、長距離歩行、持久走などであった。スポーツ部活動の種目としては、野球が19例と最も多く、ラグビー、サッカー、山岳、剣道、陸上、ハンドボールの順番であった（表4）。スポーツ部活動ではあらゆる種目で発生しているが、練習内容としては、持久走によって発生したものが30例、38%にみられ、ダッシュの繰り返しによる13例を含めると43例、55%と半数以上が継続するランニングによつて発生していた。

表4 热射病死亡事故例のスポーツ種目

種目	総数(女)	合宿	試合
部活動 野球	19	(4)	
ラグビー	8	(3)	
サッカー	7	(4)	
山岳	6	(1)	(1)
剣道	5	(1)	
陸上	5(1)	(3)	
ハンドボール	4	(1)	(1)
卓球	3		
バレー ボール	3		
アメリカン フットボール	2		
ソフトボール	2(1)	(1)	
テニス	2	(1)	
バスケットボール	2(2)		
レスリング	1		
ボート	1(1)		
相撲	1		
不明	1		
小計	78(5)	(22)	(2)
校内行事 登山	7(2)		
徒歩	3(1)		
持久走	1		
農園実習	1		
小計	12(3)		
総計	90(8)		

4) 発生時期

発生時期は8月が52例と最も多く、7月が32例でこの2カ月で84例、93%を占めている(表5)。特に、7月下旬から8月上旬に多く発生しており、暑くなり始めの暑熱馴化が不十分な時期に発生しやすいと考えられる。4月、5月に各1例、6月に2例の死亡事故は発生しているが、これらはいずれも持久走あるいはそれに類する運動であった。

5) 発生時刻

発生時刻が判明している88例では午後に多く発生しているが、2時間ごとにみてみると午前10時から12時の間が最も多いのが注目される(表6)。午後4時以降に18例も発生しているが、これらは

表5 热射病死亡事故の発生時期

発生時期	例数
4月	1(校内マラソン)
5月	1(校内行事30km徒歩)
6月	2(陸上持久性、山岳部登山)
7月	32 上旬 1 中旬 6 下旬 25
8月	52 上旬 23 中旬 14 下旬 15
9月	2
計	90

表6 热射病事故の発生時刻

発生時期	例数	練習開始時刻
午前10時以降	5	
10-12時	24	
午後 0- 2時	22	
2- 4時	19	
4- 6時	16	午前から (4) 午後 0- 2時 (3)
		2- 4時 (5)
		不明 (4)
6時以降	2	午後 2- 4時 (2)
不明	2	
計	90	

いずれも運動開始は午後4時以前であった。午前10時から午後4時までは事故の危険が高いといえる。また、午前10時以前にも5例発生していることも注目される。これらのことより、暑い時期には午前10時以前、午後4時以降にも十分に注意する必要がある。

表7 热射病発症までの運動時間

運動時間	例数
1時間以内	12
1~2時間	18
2~3時間	19
3~4時間	16
4~5時間	1
5時間以上	4
不明	20
計	90

6) 热射病発症までの運動時間

热射病発症までの運動時間は1時間以内が12例、1~2時間が18例、2~3時間が19例、3~4時間が16例、4~5時間が1例、5時間以上が4例であった(表7)。1時間以内に発症した12例のうち8例は持久走によるものであり、持久走では比較的短時間に熱射病に進展する危険があるといえる。5時間以上の例はいずれも登山によるものであった。4時間以内では、運動時間による発生頻度の差は明かではない。

7) 热射病発生時の気温

調査し得た26例について、热射病発生時の最寄りの気象台の気温、湿度、湿球温を表8に示して

表8 热射病発生時の気温、湿度

症例	学年	種目	乾球温 (°C)	湿度 (%)	湿球温 (°C)
1	高1	M 野球部合宿	25.5	90	24.7
2	高2	M ラグビーパーク	25.6	70	21.8
3	高2	M ラグビーパーク合宿	27.8	69	24.1
4	中3	M ハンドボール試合	27.8	75	25.1
5	高1	M 陸上部合宿	28.0	79	26.1
6	高1	M 野球部軟式	28.7	62	23.6
7	高1	M 野球部	28.9	84	28.2
8	高2	M 行事登山	29.2	72	26.1
9	高1	M 山岳部合宿	29.7	48	21.6
10	高2	M 剣道部	29.8	67	25.7
11	専5	M ラグビーパーク合宿	30.2	62	25.1
12	中2	M ハンドボール	30.7	57	24.4
13	高1	M 野球部	30.7	72	27.8
14	高1	M 野球部合宿	30.8	66	26.6
15	高1	M ラグビーパーク合宿	30.8	67	26.8
16	高2	M 野球部	30.9	60	25.3
17	高1	M 山岳部	31.3	65	26.8
18	高1	M 山岳部	31.3	65	26.8
19	高1	M 山岳部	31.6		
20	中1	M 部活	32.8	60	27.1
21	高1	M 野球部	33.5	54	26.2
22	高2	M 野球部	34.3	51	26.1
23	高1	M 卓球部	34.4	51	26.2
24	高3	M 柔道部	34.4	44	24.2
25	高3	M アメフト部	34.7	50	26.1
26	高2	M サッカーパーク合宿	35.0	48	25.8

ある。死亡事故は気温25度以上、湿球温20度以上で発生している。気温30度以上が16例、そのうち33度以上が6例であったが、30度以下の気温で発生した例も10例あったことが注目される。25度台で2例が死亡しているが、症例1の気温は25.5度とそれほど高くないが、湿度が90%と非常に高い中でのランニング中に起きたもので、症例2は7月14日に発生したものである。症例3では合宿中に午前8時に練習を開始し、9時45分ころに発症しており、体調に問題があったのではないかと推測されるが、今回の資料からは詳細は分からなかった。症例4は試合中、症例5、6、7はいずれもランニング中に発生している。比較的気温が高くなかった状況で発生する熱射病では、湿度が異常に高い、真夏以外、体調不良、ランニングなどの他の付加要因があるものと考えられる。

表9 热射病の発生から死亡までの時間

死亡までの時間	例数
3時間以内	9
3-6時間	15
6-12時間	17
12-24時間	23
2-3日	10
3-10日	5
10-20日	9
20日以上	2(28日, 48日)
計	90

8) 热射病の発生から死亡までの時間

热射病発生から3時間以内に死亡したのは9例、3-6時間が15例、6-12時間が17例、12-24時間が23例で、24時間以内の死亡は64例、71%であった(表9)。一方10日以降に死亡したものも11例あった。発症から早期の死亡は脳障害など高体温により直接死亡したもので、晩期の死亡は合併症によるものと考えられる。

4. まとめ

1975年から1990年までの16年間に学校管理下で発生した熱射病死亡事故90例について分析した。1例を除きスポーツ活動によるもので、78例はスポーツ部活動によるものであった。ほとんどが男性であり、高校生が73%を占め、学年では1、2年生が多かった。スポーツ種目では野球が最も多かったが、運動内容としては半数以上がランニングによるものであった。発生時期は、ほとんどが7月、8月であったが、特に7月下旬、8月上旬に発生が多かった。また、少數ながら4-6月にも発生していた。発生時刻は午前10時から午後4時の間が多かった。ランニングでは運動開始から1時間以内に熱射病となる例も少なくなかった。熱射病死亡事故は気温25度以上、湿球温20度以上で発生しており、このような条件では予防措置が必要になる。

5. 運動時熱中症事故発生の実態と発生時の環境温度

報告者 中井 誠¹⁾

1. はじめに

三浦によれば^{10,11)}、わが国における日射病についての最初の論文は明治22年（1889年）に発表されたとある。また日本陸海軍では明治11年（1887年）に日射病の発生が報告され、明治42年（1909年）には352人（19人死亡）、大正3年（1914年）の夏には506人（13人死亡）の患者が発生し、その後も陸海軍においては毎年日射病が発生したとしている⁹⁾。

さらに高温環境下での労働場面において熱中症、暑熱障害は切実な問題であったことが、三浦の著書「夏と暑さと健康」¹¹⁾から伺える。労働場面では江戸時代からも問題であり、さらに明治、大正、昭和になっても熱中症の発生は多く見られたようである。三浦¹¹⁾は業務上疾病調査資料から、産業現場での熱中症発生件数を1963年から1978年について示している。1974年までは熱中症の減少が著しいがこれは炭坑や鉱山の廃止によるものであり1974年以降建設業の発生件数は増加傾向にある。しかし残念なことに1979年からは熱射病、日射病は業務上疾病的統計では異常温度条件による疾病とされているので個別の発生件数は不明である。

一方、こうした産業現場での減少とは対照的に最近では運動場面での熱中症が注目されている。すなわち健康の維持と増進を目的としての運動に関心が高まり、日常生活に運動を取り入れることが盛んになったことに関連して運動による障害が増加し、運動時熱中症も跡を絶たないのが現状である^{3,4,13,14,16,21)}。

わが国における熱中症死亡に関して人口動態統計では死因の分類で「熱の作用」、「熱及び光の作用」として死亡数が統計処理されている。しかし、これは運動場面に限定されたものではなく日本国内における運動時の熱中症の実態を把握すること

は困難である。

運動時の事故について関心が持たれている昨今、新聞記事に熱中症など暑熱による障害事故が報道されることも多く、これらの記事内容からはある程度の運動時熱中症の発生状況を観察することは可能であると考えられる。

また新聞記事では発生状況についても把握することができるので、発生に関する要因分析も可能と考えられる。

運動時熱中症の発生因子として環境因子（環境温度条件）と人体側因子（運動の強度と時間、着衣条件、適応条件、水分・塩分補給、健康状態など）が考えられるが、環境因子の改善または環境因子に対応した人体側での対策を十分に行うことにより運動時熱中症は予防できるものと考えられる。こうした観点から熱中症予防措置についての提案が行われている^{1,12)}が、日本国内における体育スポーツ場面に適応したものは見当らない。

このような問題を解決する手段の1つとして国内における熱中症の発生実態を把握することを目的として、人口動態統計に基づいて検討した。また新聞記事から運動時の熱中症事故発生の実態、発生時の環境温度条件等について検討を加えた。

2. 死因としての熱中症

1970年から1990年までの熱中症死亡統計を人口動態統計から調査した。

熱中症死亡数として1970年から1978年までは「熱作用」（国際基本分類番号 N992）と1979年から1990年までは「熱及び光の作用（国際基本分類番号 992）を年次別、年齢別に件数を調査した。

N992は疾病、傷害及び死因統計分類の体系では NXVII 不慮の事故・中毒および暴力（傷害の性質）その他の損傷の中で、その他の有害作用に分類さ

1) 京都女子大学

れるものである。

また、1979年から1990年までに用いた国際基本分類番号992は XVII 損傷・中毒の中でその他の外因の作用に分類されるものである。その分類番号992の詳細な分類は表1に示した内容であり、それぞれの死亡数は示されていないが、この表に示されるように熱中症による死亡件数と見られるので年次別発生件数について検討した。

表2および図1に1970年から1990年までの熱中症死亡数を示した。21年間の総死亡数は1,450例で、男性866例、女性477例であり男性の発生数が約2倍である。年次別死亡数では1987年、1983年、1984年、1990年に高値がみられ、それぞれの年の死亡数は155、144、105、152例である。さらに表2と図1に新聞記事と示したのは新聞記事にみられた運動時熱中症事故（死亡と障害）件数を示したもので、熱中症死亡の変動と一致した傾向が見られる。

労働現場においては減少傾向であるとされているが人口動態統計による死亡数は減少しているとは言い難く、150件を越える熱中症死亡の発生がみられる年もあり、まだまだ熱中症が身近に発生していることを示すものである。また、男性に多いことも特徴である。

これらの内訳について運動時に關しての発生件数は推定できないが表2に新聞記事として採り上

げられた運動時熱中症事故件数の割合を示した。その変動は年次的な傾向はみられないが1.3%から19.2%と変動幅が大きく、平均値で8.2%が新聞記事として取り上げられていることが示された。

3. 新聞記事による運動時熱中症事故¹⁸⁾

前述の如く死亡統計として運動時熱中症を調査することは困難であるので新聞記事として発表された事故から発生要因を分析することとした。

ここで取り扱う運動時熱中症事故は新聞記事に発表されたもので、その記事の表現が日射病、熱射病、熱疲労のほか、暑さによるため発生した、暑さによる心不全、高温によるなどの記述があるので身体運動を実施しての場合とした。調査対象期間は1970年から1990年までとした。

資料の抽出には月間きり抜き体育・スポーツ・アイ・オー・エム社発行」の1970年1月から1990年12月までの新聞記事収録期間を資料として用了。新聞記事の例を図2に示した。

調査項目は運動時熱中症の発生日時、発生場所、性別、年齢、運動種目、障害人数である。

新聞記事から抽出した運動時熱中症事故の年次別発生件数を図3に示した。既に表2において人口動態統計による熱中症死亡件数の比較について年次別の発生件数を示したが、ここでは死亡数（上

表1 热及び光の作用の分類

その他及び詳細不明の外因の作用 (990-995)

992 热及び光の作用

- 992.0 热射病及び日射病
- 992.1 热虚脱
- 992.2 热痉挛
- 992.3 热疲はい(憲)、脱水性
- 992.4 塩分喪失による热疲はい(憲)
- 992.5 热疲はい(憲)、詳細不明
- 992.6 热疲劳、一過性
- 992.7 热性浮腫
- 992.8 その他の热作用
- 992.9 詳細不明

表2 人口動態統計による熱中症死亡件数と新聞記事にみられる熱中症事故件数

年	人口動態統計の死亡数			新聞記事		新聞記事 の割合 %
	総 数	男	女	件 数	死亡数	
1970	67	43	24	2	2	3.0
1971	62	34	28	1	1	1.6
1972	42	25	17	2	2	4.8
1973	78	51	27	1	0	1.3
1974	41	22	19	1	0	2.4
1975	59	37	22	3	3	5.1
1976	31	22	9	3	2	9.7
1977	39	22	17	6	3	15.4
1978	155	99	56	22	21	14.2
1979	73	53	20	7	6	9.6
1980	27	18	9	5	1	18.5
1981	60	36	24	8	9	13.3
1982	26	15	11	5	4	19.2
1983	144	95	49	9	9	6.3
1984	105	79	26	8	8	7.6
1985	64	47	17	3	2	4.7
1986	42	31	11	6	6	14.3
1987	78	55	23	9	5	11.5
1988	50	38	12	2	2	4.0
1989	55	44	11	2	2	3.6
1990	152	107	45	3	3	2.0
総 数	1450	973	477	108	91	
平均	69.0	46.3	22.7	5.1	4.3	8.2

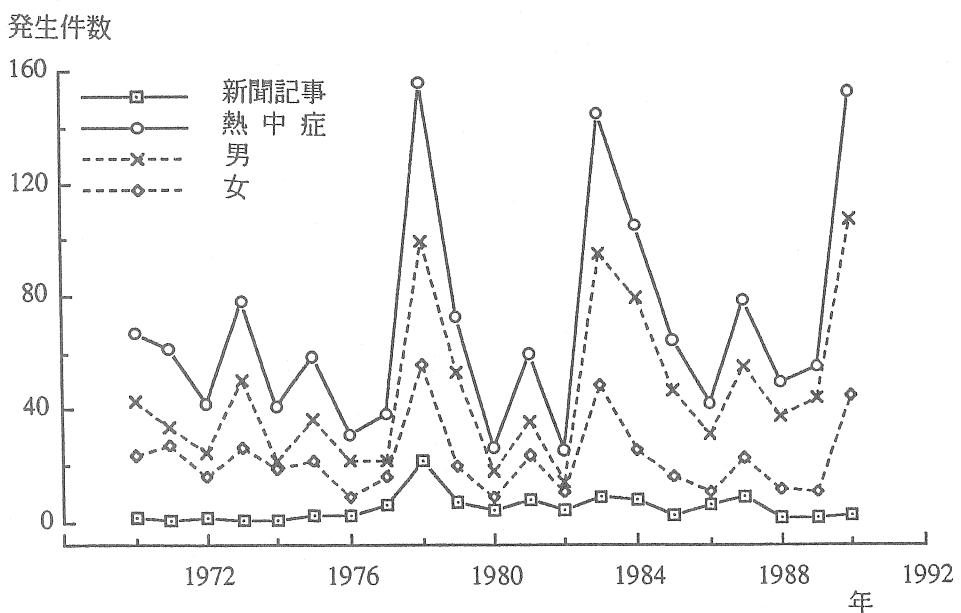


図1 人口動態統計と新聞記事にみられる熱中症事故件数の変動

熱射病で高2死亡

福岡の高校 阿蘇町で夏季訓練中

高校の夏季訓練に参加した生徒が熱射病のため六日朝死亡するという事故が起き、関係者に衝撃を与えていた。

死したのは福岡県筑紫野市原田、会社員平山謙さんの長男で、同県立武蔵台高校二年の兼池深谷から徒歩で阿蘇郡

年の達也君(一)。学校関係者らの話によるところ、達也君は五日から泊一日の日程で阿蘇で開かれた同校二年生の夏季訓練に参加。五日午後三時半頃、菊池郡

阿蘇町赤水の阿蘇白雲山荘に向かっている途中同ホテル近くの済生会病院に運ばれ手当を受けたが、六日午前七時二十五分、熱射病で死した。

この訓練では一年生約四百人があり、達也君を手当した済生会本病院の医師は「長陽村

人が参加し、五日午前八時半ごろ学校を出発。正午ごろ菊池渓谷をスタートした。五十六人でチームを組み、八十チームが同ホテルまでの約二キロを走つたり歩いたりして

タイムを競う形で行われた。たので達也君の様子は分からぬかった。事前検査で心臓疾患や、けがをしている生徒は除外していたのだが……と話していた。

熊本日日 8・7

炎天ゲートボール

77歳死亡 マラソン中死亡 寒河江市地区運動会

二十五日午後二時十分ごろ、上高井郡小布施町中松

の臍大神社境内でゲートボールをして近づく無

職、矢島元文さん(七〇)が、

プレー待ちしている際に突

然倒れ込み、救急車で町内

の病院に運ばれる途中、急

性心不全のため死亡した。

須坂署の調べだと、矢島

さんは以前から血圧が高い

うえ、二、三日前から風邪

小布施

をひいていた。この日午後

一時ごろから仲間八人で練

習をしていたが、病院関係

者は、「この夏一番の猛暑

に厚着をしてプレーしてい

たのも一因とみてている。

信濃毎日 6・26

一四年前十時十分ごろ、寒河江市島の最上川左岸河川敷で行わっていた「寒河江市南部地区運動会」で、「フランク競技(男選四・六名、女選三名)」に出場した同市高層設計士今井充良(みつよし)さん(五〇)が、

スターティングで間もなく倒れ、寒河市立病院に運ばれたが、急性心不全のため、約一時間後に死した。このため、運動会は途中で中止になった。

大会委員長の佐竹及弥(ともじや)さん(五〇)は「レクリエーションを兼ねた地域の親睦ぐく会の大会なものだから、事前の健康チェックはしなかった。まさか井さんは、男女合わせて二十五人ほどが参加した同競技で、先頭から十四番目ぐらいを走っていたらしい。今井さんは中学時代、陸上部の長距離選手で、何度もこの競技に参加したことが

朝日・山形版 7・3

図2 運動時熱中症事故の新聞記事

月間・きり抜き「体育・スポーツ」(IOM 社刊)より

段A)と障害を受けた人数(下段B)を示した。

総発生件数は108件でそのうち死亡数は91例であり障害者数は477例になる。死亡数の年次的変動では1978年には21例の死亡が見られ、その後も毎年死亡事故が発生している。

障害者数は1975年から1980年までの期間に多数の発生がみられ、1978年には195例の発生がみられた。社会的な関心からこうした事故についての報道が取り上げられたとも考えられるが、運動時に多数の熱中症事故が発生していることも事実であ

る。

表3に運動種目別の発生件数を示した。この表では発生件数の多い種目から順に示してある。ランニングが19件であり、登山18件、マラソン大会14件、野球13件などが件数の多いものである。障害例数が発生件数に比較して多いのは1件の事故で複数の障害例があるためである。例えば開会式では一度に120人や25人が障害を受けたりマラソン大会では1件で50例、また10例などの障害が発生しているためである。

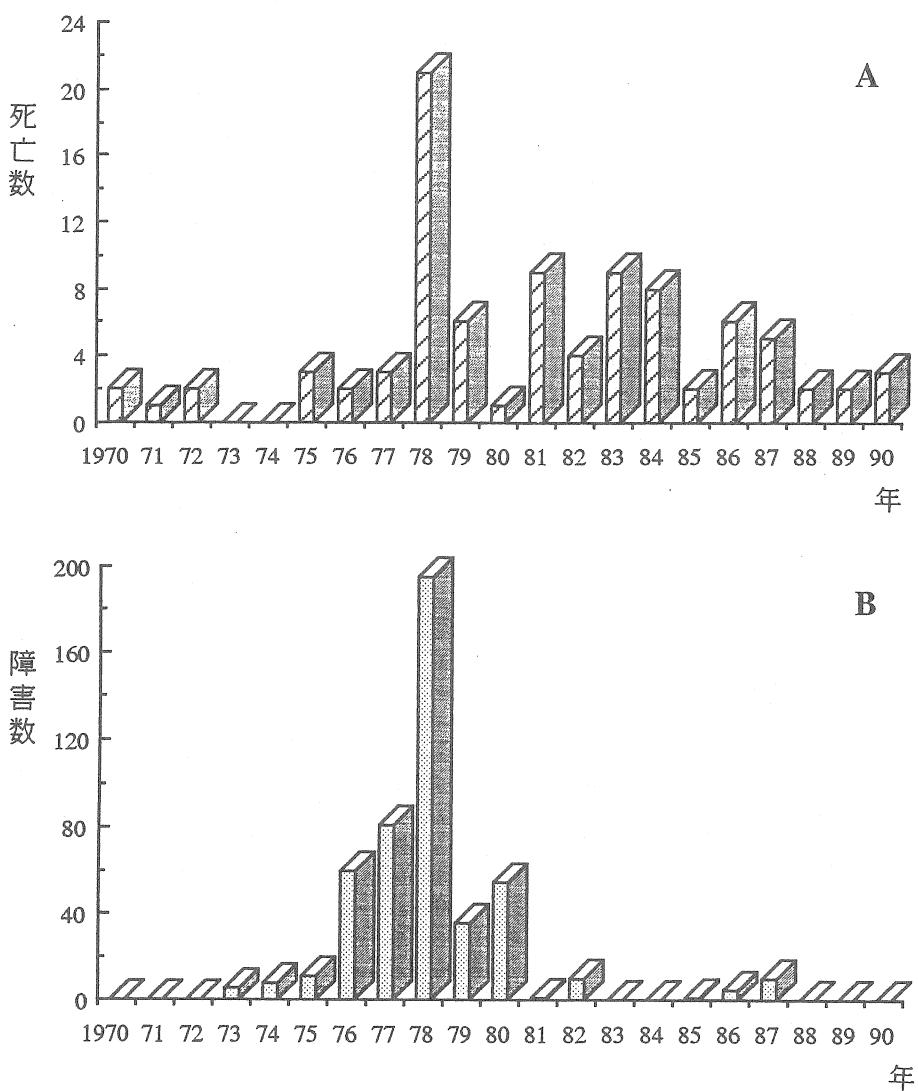


図3 新聞記事による運動熱中症事故件数の変動（上段は死亡数の変動、下段は障害者数の変動）

運動種目として分類した場合にランニングは不適当と思われるが各種運動種目（例えば、野球、テニス）のトレーニングとしてランニングが実施されていた場合に発生したと記述があれば、ランニングとして分類した。従って、ランニングは各種運動種目のトレーニングとして実施されている場合が多いので発生件数の第1位を示したものである。

都道府県別発生件数を示したのが表4である。東京が圧倒的に多く17件であり、次いで大阪、兵庫となるが、長野、山形で多いのも特徴的である。この長野、山形で多いのは登山による発生であり記事としての特性も考えられる。また、夏は比較的涼しいと考えられる北海道や青森でも発生がみ

表3 新聞記事にみられる運動時熱中症事故
種目別発生件数（1970年より1990年）

種 目	件 数	死 亡 数	障 害 数
ランニング	1 9	1 7	1 3
登山	1 8	1 7	1
マラソン大会	1 4	8	1 6 7
野 球	1 3	1 2	1
ラグビー	6	6	0
開会式	6	0	2 3 8
サッカー	4	4	7
テニス	4	3	1
徒歩（訓練）	3	3	1 1
柔 道	3	3	1
フットボール	2	3	2
剣 道	2	2	0
ゴルフ	2	2	0
ハンドボール	2	2	0
ソフトボール	2	2	0
その他の	8	6	3 5
計	1 0 8	9 1	4 7 7

表4 新聞記事にみられる運動時熱中症事故
都道府県別発生件数（1970年より1990年）

都道府県名	発 生 件 数
東京	17件
大阪、兵庫	7件
長野	6件
山形	5件
福島、群馬、千葉、静岡	4件
北海道、埼玉、神奈川、大分	3件
青森、茨城、栃木、新潟、石川、愛知、滋賀、鳥取、長崎、熊本	2件
岩手、山梨、富山、島根、山口、愛媛、福岡、佐賀、沖縄	1件

られ全国的であることも見逃せない。

性別と年齢が明らかであった91例のうち男性が82例で、その平均年齢は19.0才であった。50歳以上は82例中4例で、最高は65才であった。女性9例の平均年齢は23.3才であり、最高年齢は77才(1例)であった。年齢が明記されていない場合でも高校生、中学生及び大学生などの記述があり若年層が大半を占めている。

中野ら¹³⁾は我が国における熱射病、運動後の横紋筋融解症について運動の種類と発生年齢を示し、夏季高温多湿環境下での激しい長時間の持続的な運動、即ち長距離走や長時間連続歩行などによる発症が最も多いとしている。また発症年齢は12歳から62歳まで広範であり男性に多いとしている。今回の結果でも若年男性が多いのは中野ら¹³⁾の報告と同様であるが、中学生から大学生までの学生はスポーツ活動に関与する機会が多いので発生の危険度も高いのは当然である。しかし高齢者マラソンやゲートボールなどにおける発生があることも見逃せない。

4. 運動時熱中症事故発生時の環境温度¹⁸⁾

熱中症予防のための環境温度許容基準について
は WBGT (Wet-bulb Globe Temperature Index)
を用いていくつかの提案があるが、日本国内にお
ける体育スポーツ場面に適用したものは見当らな
い¹⁵⁾

WBGTと温熱生理学的反応の関係については寄本²³⁾によって検討されている。しかし夏季の運動場においては環境温度だけでなく複雑な要因を含んでいるので現場での実態を把握することも必要と考えられる。

熱中症発生時の環境温度についての報告はいくつか見られるが^{5,6,8,14-16,19-22}、これらは症例報告などで運動の種目が限られているものが多い。また、運動現場で環境温度が測定されているのは Minard ら⁸、中井ら¹⁶、野沢ら¹⁹、Yaglou ら²²の報告に止まり、その他は気象台の観測温度を用いたものであり、WBGT を示したものは極めて少ない。

そこで前述の新聞記事にみられる熱中症事故発生の際の環境温度について調査した。特に環境温度指数については最近予防措置に採用されている

WBGT を用いて、熱中症発生との関係について検討した。

a 事故例での環境温度の調査方法

環境温度の資料として、熱中症事故発生場所の最寄りの気象台または測候所の地上気象日原簿を気象庁において閲覧した。項目は気温および相対湿度である。地上気象日原簿では気温(乾球温度:Td) および相対湿度(rh) は示されているが湿球温度(Tw) の記述はない。そこで湿球温度(Tw) は以下に示す式(お天気相談所資料)によって算出した。

$$D.I. = 0.72 (T_d + T_w) + 40.6 \quad \dots \dots \dots (2)$$

なお D.I.は不快指数である。

また、WBGT (=0.7NWB+0.2GT+0.1NDB) を算出するには黒球温度 (GT) が必要であるが気象台資料からは得られない。そこでグラウンドでの WBGT の実態調査から得られた Assmann 通風 温度計の乾球温度 (Td) および湿球温度 (Tw) と WBGT の相関回帰直線式¹⁸⁾ WBGT=1.925+1.298(0.7Tw+0.1Td) から WBGT を推定した。

b. 運動強度と発生時の環境温度

新聞記事から抽出した熱中症事故108件のうち99例について発生時の環境温度を調べることができた。図4にそれら99例について発生時の環境温度を示した。その際、発生時の運動種目のエネルギー代謝率(RMR)別に記号を変えて示した。運動種目の運動強度(RMR)は山岡誠一、沼尻幸吉著、スポーツ・労働の栄養学(医歯薬出版、1968年)を参照した。図4の上段Aは乾球温度と相対湿度について、中段Bは乾球温度と湿球温度について、さらに下段CはWBGTと相対湿度の関係について示した。図4から発生時の乾球温度は25.5℃以上の範囲であることが示される。湿球温度は図中の*1, *2を除けば20℃以上である。また、WBGTでは21℃で1例(*1), 23℃でも3例(*2~*4)の発生がみられるが、これらの4例を除けば24℃以上の範囲で発生している相対湿度については図Aにみられるごとく概ね40%以上の範囲で発

生し、発生時の相対湿度と乾球温度とには負の相関関係が認められた。

運動強度と発生時の温度については、図4-CのWBGTと相対湿度の関係よりRMR5から7の白丸印は主として28°C以上に分布する。24°Cから27°Cの範囲には×印のRMR2から4の分布もみられる。即ち運動強度による事故発生時環境温度の変化は認められない。しかしRMR別のWBGT(平均値)はRMR2-4が28.4°C, RMR5-7が28.6°C, RMR10-12が28.4°C, RMR15以上が25.8°Cとなり、RMR15以上ではそれ以下の強度と比べて有意に低いといえる。

以上のように、乾球温度25.5°C以上、湿球温度20°C以上、相対湿度40%以上、WBGTでは24°C以上で発生していることになる。これらの温熱指標はそれぞれ独立の条件で示したものであるが、Fox²⁾は乾球温度と相対湿度の相関図を用いてFootballの安全基準を提案している。すなわち、図4-Aに示した29°Cと90%を結ぶ範囲以下をZone1(安全)とし、32°Cと100%を結ぶ範囲以上をZone3(極めて危険)、1と3の中間をZone2(危険)としている。今回の結果でZone1に入るのはわずか3例であり、18例はZone2で、その他はZone3の極めて危険の範囲である。

気象台の測定値を基にした運動時の熱中症発生温度の報告をみると、Hartら⁵⁾は31.6°C, 80%, Hughsonら⁶⁾は24.3°C, 49%と31.8°C, 61%さらに高橋ら²⁰⁾は31.2°C, 51%としている。これらは総てマラソン大会で発生した熱中症事故について気象台の資料を基に報告されたものである。高橋ら²⁰⁾の報告は1978年福島市で発生した例で本稿の99例の中に含まれている。Hughsonら⁶⁾の報告で気温の低い24.3°Cで発生した例について、今回用いた方法で湿球温度とWBGTを推定すると湿球温度17.5°C, WBGT21.0°Cになり、気温とWBGTは今回の報告より低値であるが湿球温度はほとんど変わらない。また、マラソン大会で発生したこと共通性がある。

運動の強度別に事故発生時のWBGTの平均値を求めるRMR12以下では28°C台になり、WBGT28°C以上ではマラソン大会は中止したほうがよいとするアメリカスポーツ医学会¹¹⁾やHughson⁷⁾

の報告と一致し、この値が許容限界と考えられる。

c 死亡例、非死亡例と環境温度の関係

運動強度別に熱中症の発生時の環境温度について検討してきたがこれらには死亡した例と死亡しなかった例(非死亡例)が含まれている。そこで運動強度別の発生時の環境温度を示した尺度と同じ要領で図5には死亡例と非死亡例で記号を変えて示した。

99例のうち死亡例は73例で非死亡例は26例である。それぞれの環境温度の平均を算出すると、死亡例の乾球温度30.7°C、湿球温度25.0°C、相対湿度61.0%，WBGT28.7°Cである。また非死亡例については乾球温度29.3°C、湿球温度23.3°C、相対湿度59.2%，WBGT26.9°Cであり、2群間を比較すると死亡例のほうがぞれぞれ高値であるが、図5にみられるように死亡例と非死亡例を明確に区別することは困難である。例えば図5下段のCにおいてWBGT24°Cでは6例の発生がみられるが、死亡例3例、非死亡例3例であり区別できない。

d 事故前の環境温度の変化

事故発生時の環境温度においてWBGT23°C以下で発生した例を図4及び5では*のマーク(4例)を付して示したが、このように比較的低温で発生した例について発生の要因について探ることにした。WBGT25.9°C以下で発生した20例について運動種目と環境温度を表5に示した。最低温度(WBGT)は21.6°Cで5月に発生した例である。温度別の発生件数は23°C台で3例、24°C台では4例、25°C台では12例と著増している。24度以下の8例のうちマラソン大会が4例、競歩大会が1例である。またこれらについて発生時の温度(WBGT)と前日の温度との差が1.0°C以上の値を示したのは20例のうち14例もあった。

図6に発生の月別件数を示した。108件のうち100件までが6月、7月、8月に集中しており8月が最高であるが、4月、5月にも発生しており、4月1件、5月3件、9月3件、さらに11月に1件の発生がある。

これら4月と5月に発生した4例は表5にも見られるがWBGTでは23°Cおよび24°C台であり涼し

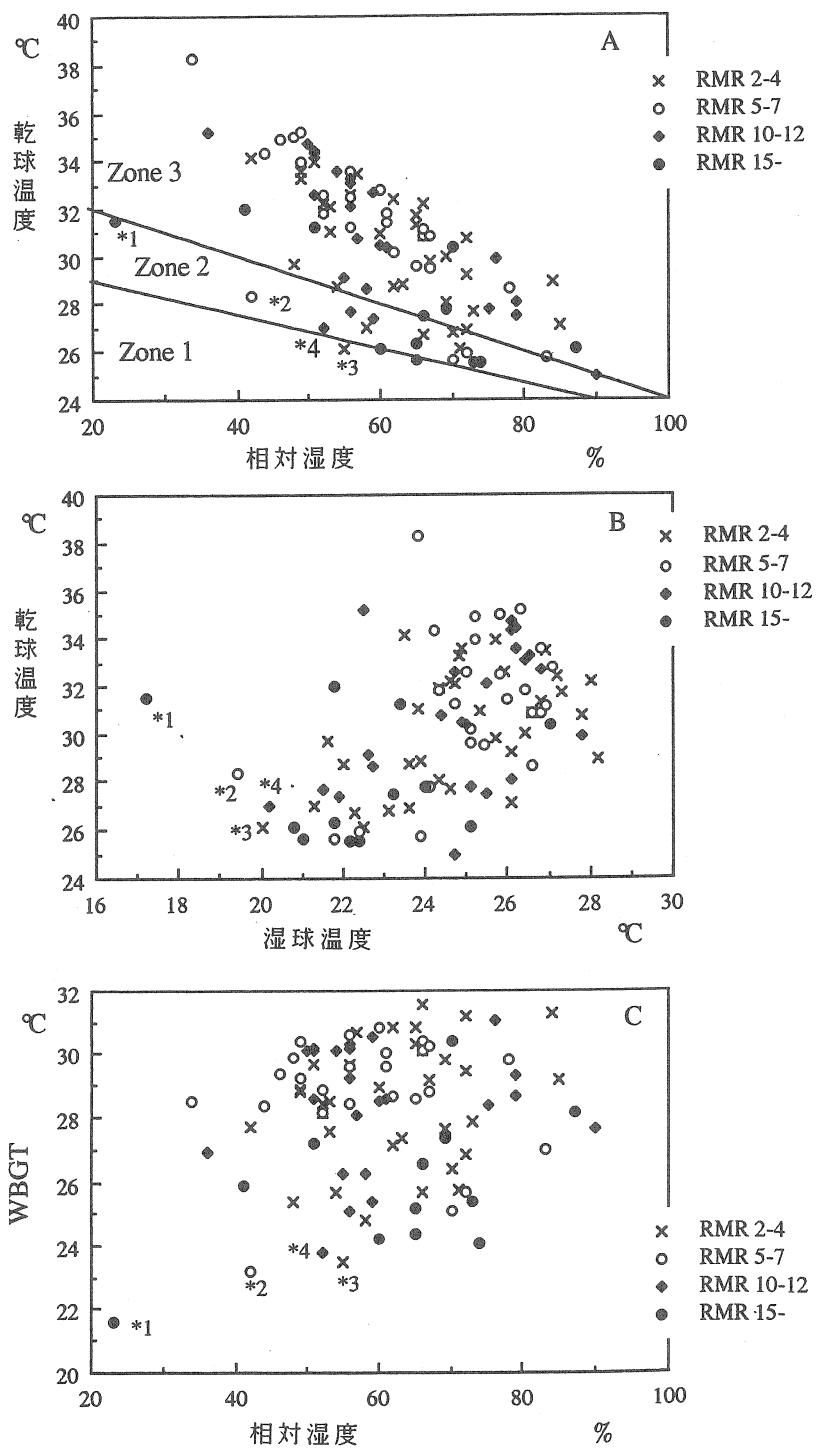


図4 運動強度別熱中症発生時の環境温度の分布

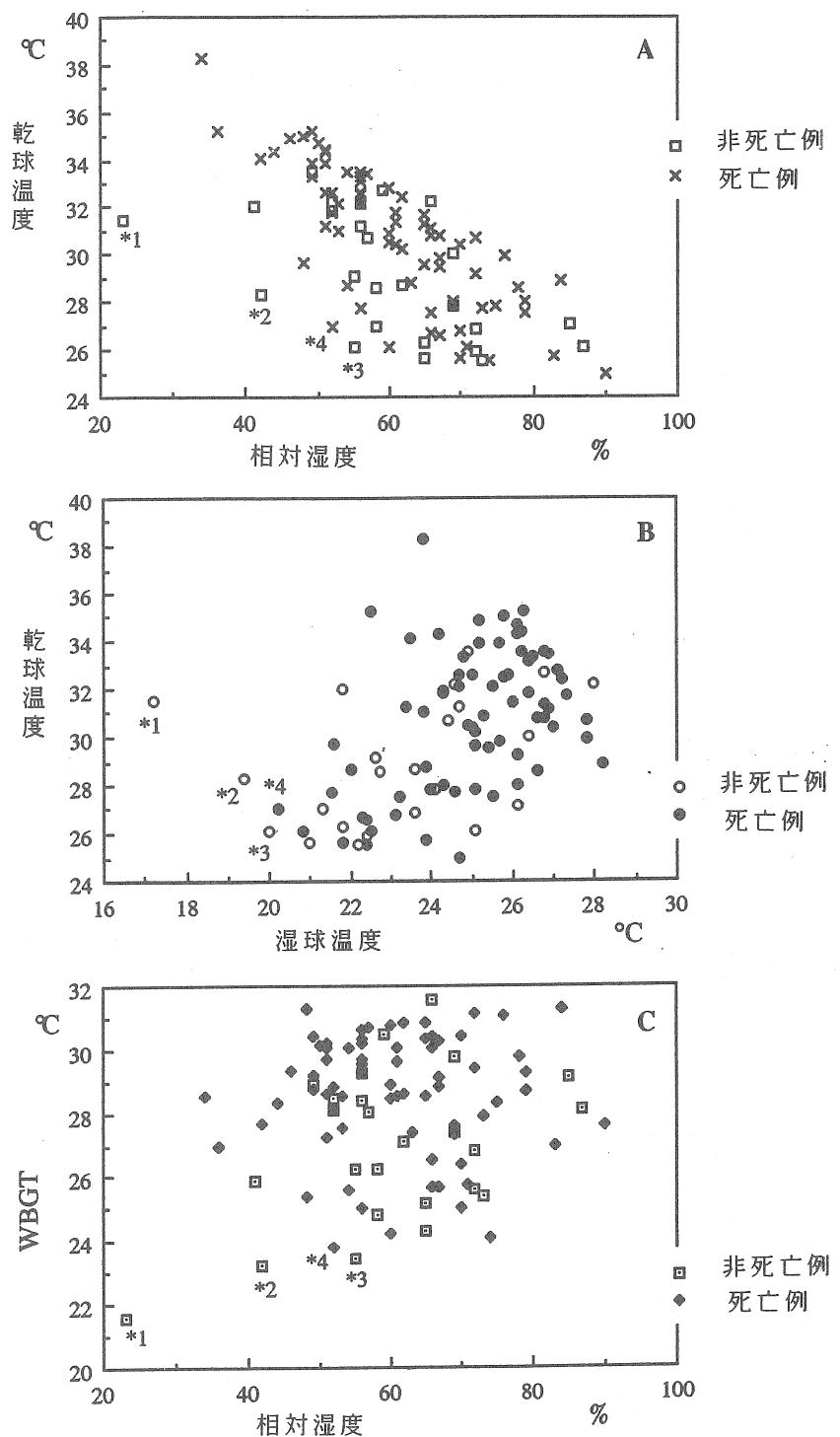


図5 死亡例と非死亡例の熱中症発生時の環境温度分布

表5 WBGT25度以下における熱中症発生時の環境温度と運動種目

症例番号	月	WBGT °C	乾球温度 °C	湿度 %	湿球温度 °C	運動種目	R M R	場所
1	5	21.6	31.5	23	17.2	全校マラソン大会	15.6	小松
2	5	23.2	28.3	42	19.4	全校競歩大会	7.3	川越
3	9	23.5	26.1	55	20.0	開会式(高校生)	3.0	千葉
4	8	23.8	27.0	52	20.2	体育ランニング	12.0	北見
5	4	24.1	25.5	74	22.4	全校マラソン大会	15.6	出雲
6	8	24.2	26.1	60	20.8	高齢者マラソン大会	15.6	旭川
7	5	24.4	25.6	65	21.0	湾岸マラソン大会	15.6	東京
8	6	24.8	27.0	58	21.3	開会式(高校生)	3.0	大分
9	6	25.1	26.3	65	21.8	多摩川マラソン大会	15.6	東京
10	6	25.1	27.7	56	21.5	ランニング	12.0	明石
11	7	25.1	25.6	70	21.8	ラグビー練習	5.2	新潟
12	7	25.4	29.7	48	21.6	登山	4.8	福島
13	9	25.4	25.5	73	22.2	高齢者マラソン大会	15.6	静岡
14	6	25.7	28.7	54	22.0	ゲートボール	2.0	小布施
15	8	25.7	25.9	72	22.4	サッカー練習	5.3	諏訪
16	6	25.7	26.7	66	22.3	ワンダーフォーゲル	4.8	丹沢
17	8	25.7	26.6	67	22.4	ランニング	12.0	沼津
18	6	25.8	26.1	71	22.5	ソフトボール審判	2.0	宇都宮
19	6	25.9	32.0	41	21.8	皇居マラソン大会	15.6	東京
20	6	25.9	32.0	41	21.8	チアガール	5.0	東京

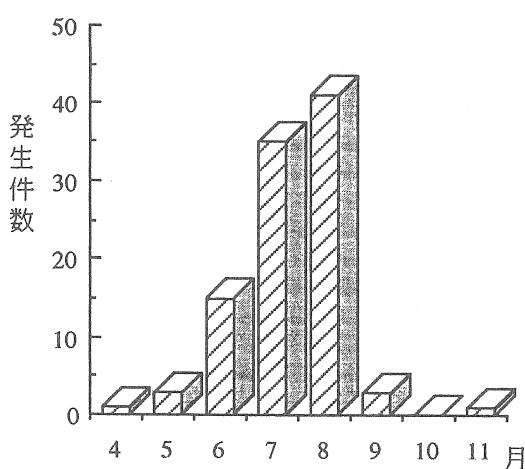


図6 新聞記事による熱中症の月別発生件数

い環境で発生していると言える。そこでこれらの例について発生前1週間の環境温度の変化について調査した。

図7は4月(A), 5月(B, C, D)に発生した例について発生日前1週間の環境温度の変化を示したものである。Dの1982年5月30日に発生した例を除けば発生当日まで徐々にWBGTが上昇している。発生当日21.6°Cであった例(図7ではB, 表5の症例1)では前日は19.1°C発生前日までの7日間の平均値18は15.6°Cであり、発生当日急に上昇している。発生日の温度が前日より低値を示した図7中Dの例(1982年5月30日発生, 表5の症例7)は前日と前々日は25.2°C, 24.7°Cと発生当日より高値を示すが、3日前は23.3°Cであり、それ以前の5日間の平均は21.4°Cで発生当日との差は3.0°Cであった。

このように4月, 5月に発生した例について事

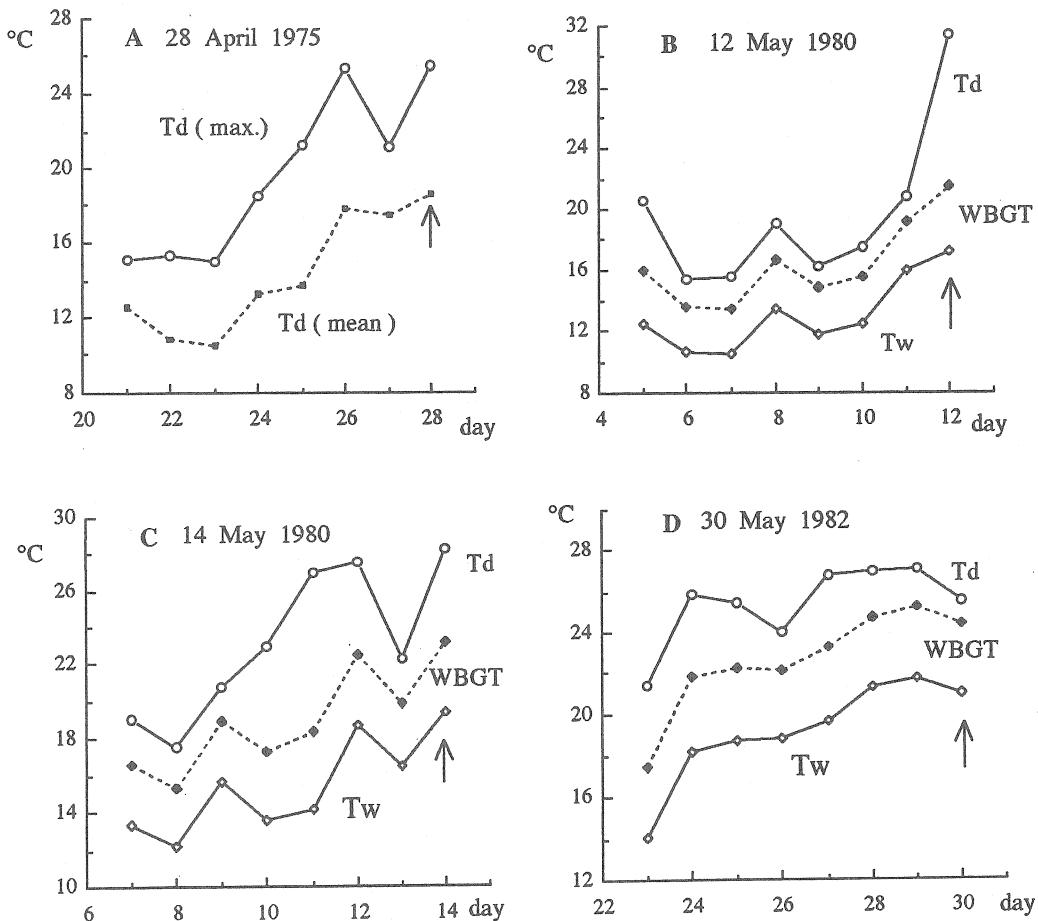


図7 運動時熱中症発生前7日間の環境温度の変動
(↑印は熱中症発生当日を示す)

故発生前1週間の温度変化を見ると、発生当日までに温度が徐々に上昇している。また表3に示したWBGT25.9°C以下の発生例についても、発生時の温度(WBGT)と前日の温度との差が1.0°C以上を示す例が多いなどから発生前の環境温度の変動が関係し、暑熱順化が影響していると考えられる。

著者等¹⁶⁾はグラウンド温度の観察からアメリカンフットボールの練習時に遭遇した熱中症発生が、低温が続いた後温度が急に上昇した場合に認められることを報告した。またこれらの例がすべて大学1年生であることも暑熱適応に関係することを示唆した。野沢ら¹⁹⁾は自衛隊訓練時のグラウンド温度を観察し、暑熱障害発症者総てが新入隊員で、暑熱順化と関連することを報告している。

運動時熱中症発生についての身体因子として体力水準や運動量についても検討を要するが、今回の資料ではこの点に関する検討は出来ない。しかしながら発生の要因として暑熱適応が影響していることを示唆する結果が得られ、特に比較的涼しい4月から6月及び11月でも注意を要することを示している。

本稿で用いた環境温度は気象台の観測値であり、運動が実施されているグラウンド温度と差があることも注意しなければならない。

グラウンド温度と気象台観測値の関係について著者ら¹⁷⁾の観察では、グラウンド温度と気象台温度の差は黒球温度、すなわち輻射熱の影響を大きく受けている。特に晴天の場合は輻射熱の値が大き

くなるので生体への影響についても十分考慮する必要がある。今回の事故発生時温度の最低値 (WBGT) 21.6°C の場合は乾球温度31.5°C、相対湿度23%で晴天の状態であり、前述の著者¹⁷⁾の結果から推察するとグラウンドにおいては輻射熱がさらに上昇していたと考えられる。

しかし、気象台観測値で事故発生時の環境温度を示しておくことは、天気予報の温度を基にして熱中症予防措置を考える上で有意義と考えられる。

5. まとめ

我が国における運動時熱中症発生の実態と発生時の環境条件について検討した。

人口動態統計において熱中症の発生は必ずしも減少しているとは言い難い現状である。

新聞記事から運動時熱中症発生件数について検討すると毎年発生している。

発生時の運動種目はランニング、登山、マラソン大会、野球が多く、若年男性が多いのが特徴である。

発生月は6月から9月までが大半であるが4月、5月、11月にも発生していた。

発生時の環境温度をWBGTで示すと、RNR12以下の運動強度では28°C台であり、RMR15以上では25.8°Cであった。

25.9°C以下で発生した例と4月、5月と11月に発生した例について、1週前からの温度変動を見ると、発生当日に温度が急に上昇したことから暑熱順化が大きく影響していることが示唆された。

また、死亡例と非死亡例については環境温度条件では特に差は認められなかった。

運動時の熱中症発生時の環境条件について検討してきたが、運動時以外においても熱中症事故が発生している。例えば、乳幼児が自動車内に放置されて熱中症、脱水症で死亡する事故が報じられるが、こうした不注意による発生も見逃せない事実である。

謝 詞

本報告作成に当たり滋賀県立短期大学寄木明助教授の協力を得ました。また、森本武利教授（京都府立医科大学第一生理学）には指導と校閲の労を

賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

文 献

- 1) American College of Sports Medicine (1984) : Prevention of thermal injuries during distance running. Med. Sci. Sports Exerc. 16(5), IX-XIV.
- 2) Fox, E. D. (1983) : Sports Physiology, 2nd Ed. Saunders, New York, 328.
- 3) 橋本治雄(1985) : スポーツ活動中の事故、熱射病の生化学的研究、慶應大学体育研究所紀要, 25, 47-54.
- 4) 橋本治雄(1986) : スポーツ活動中の事故、重症熱射病の症例について、慶應大学体育研究所紀要, 26, 57-66.
- 5) Hart, L.E., Egier, B.P., Shimizu, A. G., Tandan, P.J., & Sutton, J.R. (1980) : Exertional heat stroke : the runner's nemesis. Canadian Med. Assoc. J., 124, 1144-1150.
- 6) Hughson, R.L., Green, H.J., Houston, M.E., Thomson, J.A., MacLean, D.R., & Sutton, J.R. (1980) : Heat injuries in Canadian mass participation runs. Canadian Med. Assoc. J., 122, 1141-1144, 1980.
- 7) Hughson, R.L., Staudt, L.A. & Mackie, J.M. (1983) : Monitoring road racing in the heat. Physician and Sports Med., 11(5), 94-105.
- 8) Minard, C.D., Belding, H.S., & Kinston, J.R. (1957) : Prevention of heat casualties. JAMA., 165, 1813-1957.
- 9) 三浦豊彦 (1967) : 暑さと生活、労働科学, 22(6), 4-9.
- 10) 三浦豊彦 (1978) : 湿度と人間、労働科学, 54(4), 165-177.
- 11) 三浦豊彦 (1985) : 夏と暑さと健康、労働科学研究所出版部、東京。
- 12) Murphy, R.J., & Ashe, W.F. (1965) : Prevention of heat illness in football players. JAMA., 194, 650-654.
- 13) 中野徹、高橋芳洋、落合恒明 (1989) : 热中症、臨床スポーツ医学, 6 (臨時増刊号), 80-83.
- 14) 中井誠一、高野清江、伊藤孝(1981) : 運動中の暑熱障害発生と気象条件、保健の科学, 23, 205-208.
- 15) 中井誠一、寄木明、森本武利 (1990) : 夏季運動時の温熱環境の実態と温熱指標の比較、体力科

- 学, 39, 120-125.
- 16) 中井誠一, 寄本 明, 岡本直輝, 森本武利 (1991) : 運動時の暑熱障害発生と温熱環境の関係—グラウンドの環境温度の観察からー, 臨床スポーツ医学, 8, 41-45.
- 17) 中井誠一(1992) : 運動時熱中症予防のための環境温度の測定方法の検討, 平成3年度日本体育協会スポーツ医・科学的研究報告, №VIIIスポーツ活動における熱中症事故予防に関する研究—第1報ー, 35-47.
- 18) 中井誠一, 寄本 明, 森本武利, (1992) : 環境温度と運動時熱中症事故発生との関係, 体力科学, 41(5), 540-547.
- 19) 野澤福己, 仲本昌一, 岡田芳明 (1988) : 暑熱障害について, 救急医学, 12, 569-576.
- 20) 高橋 潔, 岡 邦行, 佐藤 正, 藤 勝博, 佐々木寿子(1978) : マラソンと熱射病についてー2割検例の検討ー, 医学のあゆみ, 106, 782-784.
- 21) 德留省悟 (1986) : スポーツ中突然死の実態ー種目・死因をめぐってー, 医学のあゆみ, 137, 442-444.
- 22) Yaglou, C.P. & Minard, C.D. (1957) : Control of heat casualties at military training. Am. Med. Ass. Archs. Ind. Health., 16, 304-314.
- 23) 寄本 明 (1992) : WBGT を指標とした暑熱下運動時の生体応答と熱ストレスの評価, 体力科学 41(4), 477-484.

6. 日本の環境温度と運動時の飲水量・発汗量に関する実態調査

報 告 者 中井 誠一¹⁾ 朝山 正巳²⁾ 平田 耕造³⁾ 花輪 啓一⁴⁾
丹羽 健市⁵⁾ 井川 正治⁶⁾ 平下 政美⁷⁾ 菅原 正志⁸⁾
協 力 者 宮村 茂紀³⁾ 芳田 哲也⁹⁾

1. はじめに

運動中の事故は外傷性と非外傷性に大別され後者に代表的なものとして突然死と熱射病があるが予防の観点からはとくに熱射病が重要と考えられる⁷⁾。

運動時の熱中症の発生には温度、湿度あるいは気流などの環境因子に加えて、運動の強度やその時間、着衣条件、暑熱適応の状態、水分や塩分の補給、健康状態など種々な要因の関与が考えられるが、環境因子の改善または環境因子の変化に対する処置を十分行うことにより運動時の熱中症の発生は予防できるもと考えられる。今までにも、熱中症予防に関する提言がなされているが^{1,8)}、本邦においては、実際の体育やスポーツ活動時における熱中症予防に関する具体的な提言は少ない。

具体的に予防措置を検討する場合、我が国における運動時の環境条件や体温反応を正確把握しておくことが必要と考えられる。

そこで運動時の熱中症予防のための基礎資料を得るために、日本における運動場の環境温度の実態および環境温度と発汗量や飲水量などの関係について、全国調査を実施して実態を明らかにしたので、その結果について報告する。

2 運動場の環境温度の実態

運動時の熱中症による事故の発生についてまとめた中井ら¹⁰⁾の報告によると、その発生は北海道から九州に至るまで全国各地に及んでる。このことから、日本全地域で熱中症の発生要因の把握を行うことが必要と考えられる。全国の環境温度は気

象台等によって詳細に観測されているが、運動場においてはとりわけ輻射熱の影響が大きいこと^{9,11)}を考慮すると直接グラウンドなどの運動する現場で、気温、湿度などに加えて気流や輻射熱などを測定した総合温熱指数の資料を得ることが重要である。

のことから本調査では全国 8ヶ所における運動場での環境測定を実施した。

a 調査地域と期間

調査は全国 8 地域において実施した。表 1 はその場所及び調査担当者である。

調査は運動が実施されることが多い時間帯を考慮したこと、あるいは気象台での観測が 3 時間間隔で行われることなどを考慮して、9 時、12 時、15 時、18 時の 1 日 4 回についての定時観測を行った。

調査は春季と夏季の 2 回行った。春季は 3 月 20 日以降 4 月の間に、夏季調査は 7 月 20 日以降 8 月下旬の間に、それぞれ原則として連続の 10 日間にわたって実施した。なお、調査を実施した日は地域により異なっている。

b 調査内容と方法

調査内容は乾球温度(NDB)、湿球温度(NWB)、黒球温度(GT)の実測及び天候である。これらの測定値から相対湿度と WBGT を算出した。

乾球温度と湿球温度は August 温度計を用いた。乾球温度は輻射熱を遮るためにアルミホイルによるカバーを取りつけた。黒球温度は 6 インチの黒球温度計を用いた。これらの測定器具はグラウンドに 1 m から 1.2 m の高さで設置した。

1) 京都女子大学 2) 中京女子大学 3) 神戸女子大学
7) 金沢経済大学 8) 長崎大学 9) 京都工芸繊維大学

4) 小樽商科大学 5) 山形大学 6) 日本体育大学

なお、以上の運動場における環境温度の測定方法については、中井の報告書¹¹⁾を参照した。

また WBGT の算出は次式によった。

$$WBGT = 0.7 \times NWB + 0.2 \times GT + 0.1 \times NDB$$

図 1 及び図 2 は測定風景を示したものである。

図 1 に見られるよう August 温度計と黒球温度計による測定に加えて、一部の地域では WBGT 計(京都電子工業株式会社)による環境測定も併せて行った。

表 1 調査の地域と場所

地 域		場 所	担当者
北海道	小樽市	小樽商科大学山上グラウンド	花 輪
東北	山形市	山形大学野球場	丹 羽
関東	世田谷区	日本体育大学深沢グラウンド	井 川
中部	大府市	中京女子大学横根グラウンド	朝 山
北陸	金沢市	星稜高校グラウンド	平 下
関西 I	京都市	京都工芸繊維大学 グラウンド	中 井
関西 II	神戸市	神戸女子大学グラウンド	平 田
九州	長崎市	長崎大学グラウンド	菅 原

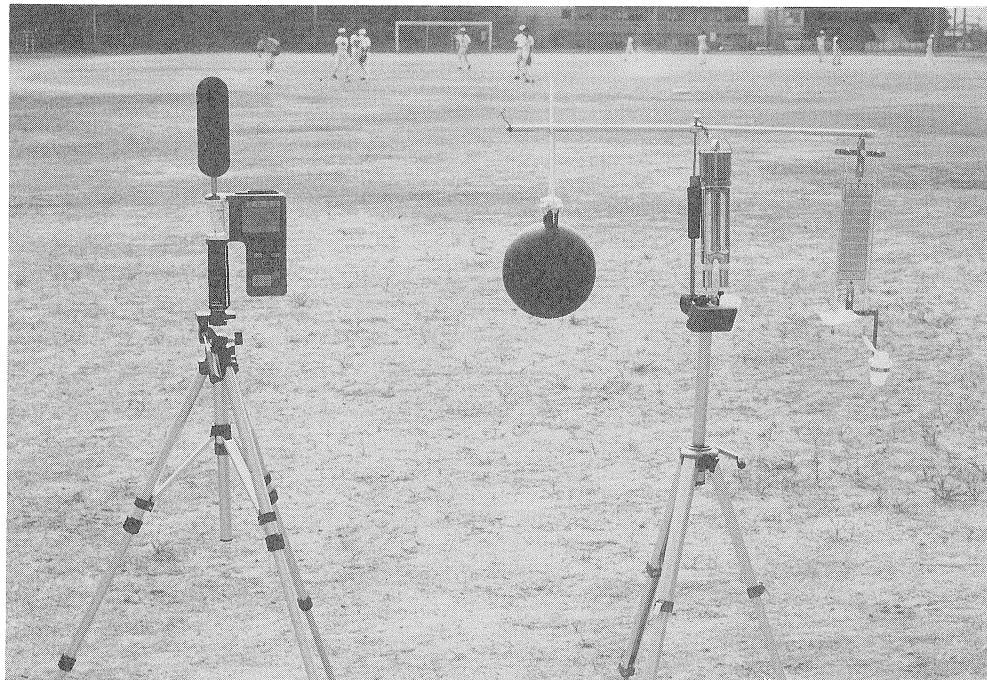


図 1 グラウンドにおける環境温度の測定 1

c 調査結果

全国8地域において春季は延べ98日、夏季は延べ90日の環境測定が行われた。表2から表9までは春季、表10から17までは夏季の結果で、北海道（小樽市）から九州（長崎市）の全国8地域におけるNDB、NWB、GTおよびWBGTである。

今回の調査は実態把握のための基礎調査であるので、表の数が多いが敢えて測定された結果についてその全てを示すことにした。ただし、表中のNWBに関する空欄は異常に高温(29°C以上)が記録されていた場合で、水切れのため湿球のガーゼが乾燥したものと考えられるので欠測値として取り扱ったことを示してある。

春季調査では熱中症が発生するほどの高温はみられないので、この報告では夏季調査の温度分布についてのみ図示した。

図3と図4は全国8地域で10日間に測定されたWBGTを測定時間ごとに示したものである。この図からWBGT値は12時または15時に高値が認められるが、地域により最高値が示される時間は異なっていた。運動強度が大きい場合には、WBGT26°C以上は危険と考えられている^{8,9,14)}ので、26°C以上の分布について観察すると、北海道（小樽）を除き

すべての地域で既に午前9時から26°C以上の温度の出現が認められ、30°Cを越える高温もしばしば観測された。

今回測定された313例についての度数分布を図5に示した。最高値は32.5°C（金沢、8月6日9時）であり、同じく山形でも32°C台が観測された。313例中30°C以上は33例あり、28°C以上になると101例にも及んだ。WBGT28°C以上では長距離走の大会は中止したほうが良いとする提案¹⁾もあるが、今回の調査結果から、夏季においては全国全ての地域のグラウンドにおいて、しかも午前中から前述した危険な環境温度域を越える状態がしばしば出現していることが明らかとなった。

3. 運動時の体温調節反応の実態

高温環境下での運動時にはしばしば多量な発汗によって脱水が生じる。その際の水分補給は熱中症予防のみならず、運動能力の低下を防ぐためにも極めて重要である^{1~6,13)}。熱中症の発生は環境温度との関係を無視することはできない^{1,7,9,10)}が、その因子として温度、湿度だけでなく輻射熱が大きく影響する^{9,11)}ので、輻射熱を考慮した温熱環境と生体反応の関係を明らかにすることが必要である。



図2 グラウンドにおける環境温度の測定 2

表2 小樽市におけるグラウンドの環境温度（3月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
March	20	9:00	0.0	-0.5	15.5	90	3.1	Snow
		12:00	-1.0	0.5	10.5	90	1.5	Clear
		15:00	-2.0	0.5	10.0	70	0.7	"
		18:00	-4.5	-3.5	0.0	80	-3.5	Cloudy
	21	9:00	0.0	-0.5	7.5	90	1.5	Cloudy
		12:00	0.0	3.5	19.0	31	4.2	Clear
		15:00	-3.0	-0.5	6.5	50	-0.9	Cloudy
		18:00	-3.5	-3.0	0.0	90	-2.8	"
	22	9:00	-0.5	0.0	11.5	90	2.0	Snow
		12:00	0.0	1.5	21.0	73	4.4	Clear
		15:00	-1.0	-1.0	5.5	90	0.3	"
		18:00	-2.0	-3.5	0.0	90	-1.8	Snow
	23	9:00	1.0	4.5	21.0	46	5.4	Clear
		12:00	3.0	7.0	28.0	43	8.4	"
		15:00	5.5	6.0	22.0	92	8.9	"
		18:00	-1.5	-1.0	0.0	90	-1.2	"
	24	9:00	2.5	4.5	21.5	68	6.5	Clear
		12:00	4.5	8.5	28.5	48	9.7	"
		15:00	3.0	8.5	28.0	30	8.6	"
		18:00	-1.0	0.5	0.0	71	-0.7	"
	25	9:00	2.0	2.5	8.5	91	3.4	Cloudy
		12:00	2.0	2.0	9.5	91	3.5	Rainy
		15:00	2.0	2.0	5.5	91	2.7	"
		18:00	1.0	1.5	1.5	90	1.2	"
	26	9:00	4.0	6.5	19.5	64	7.4	Clear
		12:00	5.0	8.5	28.0	54	10.0	"
		15:00	4.5	7.5	20.0	59	7.9	"
		18:00	2.5	3.5	2.0	83	2.5	"
	27	9:00	5.0	8.0	22.0	59	8.7	Clear
		12:00	6.0	10.0	24.5	50	10.1	"
		15:00	5.5	10.5	21.0	40	9.1	"
		18:00	2.5	5.0	5.5	61	3.4	"
	28	9:00	5.5	10.0	30.5	44	11.0	Clear
		12:00	7.0	12.0	30.5	43	12.2	"
		15:00	5.5	10.5	20.5	40	9.0	"
		18:00	2.0	2.0	1.5	91	1.9	"
	29	9:00	4.0	5.5	23.5	77	8.1	Clear
		12:00	5.5	7.0	22.0	78	9.0	"
		15:00	7.0	10.0	20.5	62	10.0	"
		18:00	2.5	4.0	4.0	75	3.0	"
	30	9:00	2.5	3.5	5.5	84	3.2	Cloudy
		12:00	4.5	5.0	9.5	92	5.6	Rainy
		16:48	5.0	5.5	10.5	92	6.2	Cloudy
		12:00	2.5	2.5	2.5	90	2.5	"

表3-1 山形市におけるグラウンドの環境温度（3月、4月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
March	20	9:00	3.5	5.0	10.0	76	5.0	Cloudy
		12:00	4.0	8.0	14.0	46	6.4	"
		15:00	5.2	10.5	18.0	39	8.3	Clear
		18:00	1.7	4.5	3.0	52	2.2	"
	21	9:00	0.5	-1.3	3.5		0.9	Snow
		12:00	0.0	0.0	2.0		0.4	"
		15:00	0.0	0.0	3.0		0.6	"
		18:00	0.0	-0.5	0.0		-0.1	"
	22	9:00	1.7	3.5	11.5	68	3.8	Cloudy
		12:00	1.5	3.5	14.7	65	4.3	"
		15:00	1.5	4.5	14.5	52	4.4	Clear
		18:00	0.0	0.3	0.5	0	0.1	Cloudy
	23	9:00	1.8	3.0	11.0	80	3.8	Cloudy
		12:00	4.2	7.8	27.5	52	9.2	Clear
		15:00	3.5	6.5	13.2	56	5.7	Cloudy
		18:00	1.0	3.2	3.0	65	1.6	"
	24	9:00	1.5	2.0	8.0	91	2.9	Cloudy
		12:00	4.5	6.8	30.0	71	9.8	Clear
		15:00	5.2	7.5	13.5	71	7.1	Cloudy
		18:00	3.2	4.5	4.0	84	3.5	"
	25	9:00	3.5	4.5	6.2	83	4.1	Cloudy
		12:00	5.0	6.5	10.0	90	6.2	"
		15:00	5.4	7.0	7.5	78	6.0	"
		18:00	5.5	7.5	7.0	72	6.0	"
	26	9:00	6.0	7.8	11.0	86	7.2	Clear
		12:00	8.2	12.0	20.5	53	11.0	"
		15:00	6.5	11.8	15.5	43	8.8	Cloudy
		18:00	5.0	7.5	6.2	85	5.5	Clear
	27	9:00	5.2	7.5	18.8	72	8.2	Clear
		12:00	6.3	10.6	20.2	51	9.5	"
		15:00	6.7	12.0	22.8	43	10.5	"
		18:00	4.8	8.5	7.5	47	5.7	Cloudy
	28	9:00	6.2	9.5	11.2	58	7.5	Clear
		12:00	7.8	14.8	27.5	30	12.4	"
		15:00	8.0	15.0	24.5	30	12.0	"
		18:00	4.7	9.5	9.0	41	6.0	Cloudy
	29	9:00	7.5	12.0	21.2	48	10.7	Clear
		12:00	9.5	14.5	20.5	47	12.2	Cloudy
		15:00	10.0	14.0	18.2	57	12.0	"
		18:00	8.5	11.0	11.0	69	9.3	"
	30	9:00	7.8	8.3	10.0	93	8.3	Rainy
		12:00	9.2	10.0	11.5	89	9.7	"
		16:48	9.5	10.5	10.5	87	9.8	"
		12:00	9.0	9.5	9.6	93	9.2	Cloudy

表3-2 山形市におけるグラウンドの環境温度（3月、4月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
March	31	9:00	8.6	11.6	12.0	64	9.6	Cloudy
		12:00	8.5	11.5	14.7	64	10.0	"
		16:48	11.2	15.5	27.5	54	14.9	"
		12:00	7.5	9.5	8.9	73	8.0	"
April	1	9:00	8.0	9.5	20.5	80	10.7	Cloudy
		12:00	10.0	13.4	21.7	61	12.7	"
		15:00	10.5	13.0	15.0	71	11.7	Rainy
		18:00	10.0	11.2	10.5	88	10.2	"
2		9:00	10.0	10.5	12.5	93	10.6	Cloudy
		12:00	12.3	15.6	22.0	68	14.6	Clear
		15:00	11.0	14.5	18.5	62	12.8	Cloudy
		18:00	8.2	11.2	10.5	63	9.0	"
3		9:00	10.0	13.2	21.3	64	12.6	Clear
		12:00	11.5	17.7	32.5	43	16.3	"
		15:00	11.0	19.0	31.2	32	15.8	"
		18:00	9.0	14.0	13.5	46	10.4	"
4		9:00	10.0	16.2	31.0	41	14.8	Clear
		12:00	12.0	20.0	27.6	32	15.9	"
		15:00	11.0	17.4	21.5	47	13.7	"
		18:00	10.0	15.5	13.0	44	11.2	Cloudy
5		9:00	9.8	10.5	12.0	93	10.3	Rainy
		12:00	10.2	10.7	12.0	94	10.6	"
		15:00	10.5	11.0	11.5	94	10.8	"
		18:00	9.5	10.0	10.0	93	9.7	"
6		9:00	12.0	14.5	25.5	62	15.0	Cloudy
		12:00	12.2	15.5	24.8	66	15.1	"
		15:00	12.5	18.0	24.5	49	15.5	"
		18:00	9.2	11.8	12.0	70	10.0	"
7		9:00	6.5	7.5	13.0	85	7.9	Rainy
		12:00	7.5	9.5	12.5	74	8.7	"
		15:00	5.0	6.0	5.5	85	5.2	"
		18:00	3.8	5.5	5.5	75	4.3	Cloudy
8		9:00	7.0	10.5	22.4	57	10.4	Clear
		12:00	10.2	15.5	32.2	56	15.1	"
		15:00	11.5	18.5	27.5	35	15.4	"
		18:00	9.6	13.1	12.7	60	10.6	"
9		9:00	10.5	12.5	13.5	76	11.3	Cloudy
		12:00	11.0	13.8	16.5	67	12.4	"
		15:00	11.0	15.0	16.5	58	12.5	"
		18:00	6.5	12.0	11.0	37	8.0	"
10		9:00	6.0	8.0	13.5	72	7.7	Cloudy
		12:00	6.5	11.5	20.2	42	9.7	"
		15:00	6.5	8.5	8.0	72	7.0	Rainy
		18:00	6.0	7.0	5.0	85	5.9	"

表4 東京世田谷におけるグラウンドの環境温度（3月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
March	20	9:00	7.4	10.9		56		
		12:00	9.3	16.1		33		
		15:00	10.5	14.7		55		
		18:00	11.9	12.6		93		
	21	9:00	4.0	4.2		91		
		12:00	2.2	2.4		90		
		15:00	1.6	1.7		90		
		18:00	1.4	1.6		90		
	22	9:00	9.7	8.7				
		12:00	12.0	11.9				
		15:00	12.6	13.2		94		
		18:00	2.2	7.1		33		
	23	9:00	0.9	4.0		51		
		12:00	1.8	4.7		53		
		15:00	1.0	1.1		90		
		18:00	0.7	0.8		90		
	24	9:00	5.5	7.0		77		
		12:00	11.2	16.9		43		
		15:00	9.3	13.0		57		
		18:00	9.3	11.9		68		
	25	9:00	7.8	10.1		70		
		12:00	9.5	12.9		59		
		15:00	10.3	13.8		59		
		18:00	10.0	12.3		72		
	26	9:00	9.5	11.9		69		
		12:00	10.2	12.3		74		
		15:00	9.8	11.5		90		
		18:00	9.4	10.3		86		
	27	9:00	7.2	10.4		59		
		12:00	7.1	10.6		56		
		15:00	6.5	10.1		56		
		18:00	5.7	9.2		54		
	28	9:00	7.6	11.5		52		
		12:00	8.1	12.9		44		
		15:00	7.9	12.8		44		
		18:00	8.2	11.8		57		
	29	9:00	8.4	8.6		92		
		12:00	9.3	10.1		86		
		15:00	9.9	10.6		87		
		18:00	9.4	9.6		93		
	30	9:00	12.7	14.2		82		
		12:00	16.0	23.5		40		
		15:00	14.8	18.1		66		
		18:00	10.1	13.4		61		

表 5-1 愛知県大府市におけるグラウンドの環境温度（3月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
March	25	9:00	14.0	16.0	20.0	79	15.4	Clear
		12:00	12.5	16.0	19.0	64	14.2	Cloudy
		15:00	11.5	15.0	16.5	63	12.9	"
		18:00	10.0	12.0	15.5	76	11.3	"
	26	9:00	11.5	14.0	15.5	62	12.6	Cloudy
		12:00	11.5	15.0	16.0	63	12.8	Rainy
		15:00	11.5	15.0	15.5	63	12.7	"
		18:00	10.0	12.0	14.0	76	11.0	"
	27	9:00	10.5	13.5	14.0	67	11.5	Cloudy
		12:00	9.0	13.5	14.5	51	10.6	"
		15:00	11.5	12.0	13.0	94	11.8	Rainy
		18:00	11.0	9.0	11.5	81	10.9	"
	28	9:00	11.0	12.0	15.0	88	11.9	Rainy
		12:00	12.0	15.0	16.0	68	13.1	Cloudy
		15:00	11.0	13.5	15.5	78	12.2	"
		18:00	9.0	11.0	12.0	81	9.8	"
	29	9:00	10.0	11.5	11.5	82	10.5	Rainy
		12:00	10.5	11.0	13.0	94	11.1	"
		15:00	11.0	11.0	12.5		11.3	"
		18:00	8.5	9.0	11.0	93	9.1	"
	30	9:00	12.0	16.0	19.0	64	13.8	
		12:00	14.5	16.0	19.0	84	15.6	
		15:00	16.5	18.0	19.0	85	17.2	
		18:00	11.5	14.5	16.0	68	12.7	
	31	9:00	13.0	17.0	15.0	61	13.8	
		12:00	13.5	17.5	16.0	62	14.4	
		15:00	15.0	18.0	15.5	71	15.4	
		18:00	11.0	12.0	14.5	88	11.8	

表5-2 愛知県大府市におけるグラウンドの環境温度（4月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
April	1	9:00	8.5	10.0	9.5	81	8.9	Rainy
		12:00	9.0	11.0	10.0	75	9.4	"
		15:00	11.0	11.0	10.5		10.9	"
		18:00	9.0	10.0	9.0	87	9.1	"
	2	9:00	13.0	15.0	13.0	78	13.2	
		12:00	15.0	18.0	17.0	71	15.7	
		15:00	14.5	18.5	21.5	59	16.3	
		18:00	11.0	12.0	14.0	88	11.7	
	3	9:00						
		12:00						
		15:00						
		18:00						
	4	9:00	10.0	13.5	14.5	62	11.3	Cloudy
		12:00	10.0	13.5	14.5	62	11.3	"
		16:48	11.0	14.0	13.5	67	11.8	"
		12:00	8.5	9.0	10.0	80	8.9	"
	5	9:00	10.0	11.5	10.5	82	10.3	Rainy
		12:00	10.0	11.0	9.5	87	10.0	"
		15:00	11.0	11.0	9.0		10.6	"
		18:00	9.0	10.0	10.0	87	9.3	"
	6	9:00	12.0	13.0	17.0	88	13.1	Clear
		12:00	13.0	15.0	21.0	78	14.8	"
		15:00	15.5	21.5	30.0	50	19.0	"
		18:00	12.0	16.5	14.5	61	13.0	"
	7	9:00	13.0	15.0	17.0	78	14.0	Clear
		12:00	14.0	15.0	18.0	89	14.9	"
		16:48	14.0	17.0	25.0	62	16.5	"
		12:00	10.5	14.0	16.0	62	12.0	"

表6 金沢市におけるグラウンドの環境温度（3月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
March	20	9:00	7.0	9.0	11.0	73	8.0	Clear
		12:00	9.0	13.0	22.5	60	12.1	"
		15:00	7.0	9.0	12.0	73	8.2	"
		18:00	5.5	7.0	6.5	78	5.9	"
	21	9:00	2.5	2.0	3.0		2.6	Snow
		12:00	2.5	2.5	5.5		3.1	"
		15:00	5.0	5.5	11.7	92	6.4	Rainy
		18:00	3.5	4.0	4.0	92	3.7	Cloudy
	22	9:00	4.0	8.0	26.0	46	8.8	Clear
		12:00	4.5	8.5	26.0	47	9.2	"
		15:00	4.0	7.0	19.0	57	7.3	"
		18:00	2.0	4.5	4.5	60	2.8	"
	23	9:00	1.5	4.0	6.5	59	2.8	Cloudy
		12:00	3.5	6.0	8.5	62	4.8	"
		15:00	4.5	6.5	6.5	70	5.1	Rainy
		18:00	4.0	4.5	4.5	92	4.2	"
	24	9:00	7.0	7.5	9.0	93	7.5	Cloudy
		12:00	9.0	10.0	12.0	87	9.7	"
		15:00	8.0	9.0	10.0	86	8.5	"
		18:00	7.5	8.0	8.0	93	7.7	"
	25	9:00	8.0	9.0	10.5	86	8.6	Cloudy
		12:00	9.0	10.0	10.5	87	9.4	"
		15:00	11.0	13.0	22.5	77	13.5	Clear
		18:00	9.0	10.5	11.0	81	9.6	Cloudy
	26	9:00	7.5	9.5	11.5	73	8.5	Cloudy
		12:00	8.5	10.5	15.5	74	10.1	"
		15:00	9.0	12.0	18.0	65	11.1	Clear
		18:00	6.0	9.5	9.0	55	7.0	"
	27	9:00	7.0	9.5	13.0	67	8.5	Cloudy
		12:00	9.5	13.0	20.0	60	12.0	Clear
		15:00	8.5	12.5	16.5	54	10.5	Cloudy
		18:00	7.0	9.5	10.0	67	7.9	"
	28	9:00	9.5	10.5	13.5	87	10.4	Rainy
		12:00	12.5	14.0	18.5	83	13.9	Cloudy
		15:00	12.0	13.0	13.0	88	12.3	Rainy
		18:00	11.0	11.5	11.5	94	11.2	"
	29	9:00	11.0	11.5	12.0	94	11.3	Rainy
		12:00	9.0	10.0	11.0	87	9.5	"
		15:00	9.5	11.5	12.0	75	10.2	Cloudy
		18:00	9.0	10.5	10.0	81	9.4	"
	31	9:00	6.5	8.0	10.0	79	7.4	Cloudy
		12:00	7.5	10.5	15.0	62	9.3	"
		16:48	6.5	9.5	11.5	61	7.8	"
		12:00	6.0	8.5	8.5	66	6.8	"

表7 京都市におけるグラウンドの環境温度（3月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
March	20	9:00	8.0	11.5	19.5	57	10.7	Cloudy
		12:00	8.3	13.5	18.5	43	10.9	"
		15:00	9.0	14.0	17.6	46	11.2	"
		18:00	8.5	12.5	11.8	53	9.6	"
	21	9:00	5.9	6.6	6.5	88	6.1	Rainy
		12:00	5.5	8.0	9.0	65	6.5	Cloudy
		15:00	6.5	8.6	13.0	70	8.0	Rainy
		18:00	4.0	6.5	5.6	75	4.6	"
	22	9:00	4.5	8.0	15.0	52	7.0	Clear
		12:00	5.5	10.0	19.1	44	8.7	"
		15:00	5.0	10.0	17.5	39	8.0	"
		18:00	2.8	6.7	6.0	42	3.8	"
	23	9:00	4.5	8.2	10.5	51	6.1	Cloudy
		12:00	7.5	10.0	13.5	66	9.0	Clear
		15:00	8.2	9.5	9.0	84	8.5	Rainy
		18:00	8.5	9.5	8.5	85	8.6	"
	24	9:00	10.3	12.0	14.3	78	11.3	Cloudy
		12:00	11.5	15.0	18.5	61	13.3	"
		15:00	10.5	13.0	13.8	70	11.4	"
		18:00	9.3	9.7	9.2	93	9.3	Rainy
	25	9:00	9.5	10.3	11.6	90	10.0	Cloudy
		12:00	10.5	13.0	18.5	70	12.4	"
		15:00	10.5	14.1	17.0	59	12.2	"
		18:00	10.0	12.5	12.0	69	10.7	"
	26	9:00	9.7	10.8	14.5	87	10.8	Rainy
		12:00	8.0	11.5	12.5	57	9.3	"
		15:00	7.5	11.0	11.5	57	8.7	Cloudy
		18:00	7.5	10.0	10.0	67	8.3	"
	27	9:00	6.3	7.9	9.6	77	7.1	Cloudy
		12:00	7.0	11.0	13.0	51	8.6	"
		15:00	6.6	7.7	7.5	84	6.9	Rainy
		18:00	6.6	6.7	6.7	95	6.6	"
	28	9:00	7.6	9.0	12.7	80	8.8	Cloudy
		12:00	11.0	13.5	19.0	70	12.9	"
		15:00	10.3	13.5	14.5	63	11.5	"
		18:00	10.3	12.5	12.0	72	10.9	"
	29	9:00	12.0	12.5	12.3	93	12.1	Rainy
		12:00	11.8	13.0	12.2	85	12.0	"
		15:00	11.6	13.4	11.8	78	11.8	"
		18:00	11.5	12.2	11.4	91	11.6	"
	30	9:00	11.3	12.5	14.0	86	12.0	Cloudy
		12:00	11.5	14.5	16.6	66	12.8	"
		16:48	11.2	15.7	20.5	52	13.5	"
		12:00	7.8	11.5	11.3	55	8.9	"

表8 神戸市におけるグラウンドの環境温度（3月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
March	20	9:00	7.0	11.1	16.8	51	9.4	Cloudy
		12:00	6.0	11.0	16.0	40	8.5	"
		15:00	6.5	11.8	16.2	43	9.0	"
		18:00	6.6	7.1	7.0	93	6.7	Rainy
	21	9:00	3.6	4.5	4.9	83	4.0	Rainy
		12:00	5.1	8.0	13.2	59	7.0	Cloudy
		15:00	6.0	8.9	16.5	60	8.4	Clear
		18:00	3.5	6.0	6.0	62	4.3	"
	22	9:00	4.0	7.5	18.4	50	7.2	Clear
		12:00	4.9	11.0	22.5	29	9.0	"
		15:00	5.5	11.5	22.0	31	9.4	"
		18:00	2.8	7.0	6.5	41	4.0	"
	23	9:00	2.9	7.1	10.2	46	4.8	Cloudy
		12:00	5.5	11.0	14.4	35	7.8	"
		15:00	8.1	10.9	12.5	64	9.3	Rainy
		18:00	7.9	10.8	10.2	64	8.7	Cloudy
	24	9:00	11.0	14.5	23.2	63	13.8	Clear
		12:00	10.0	13.0	18.2	66	11.9	Cloudy
		15:00	10.2	12.9	14.5	69	11.3	Rainy
		18:00	9.8	10.0	10.2	96	9.9	"
	25	9:00	10.5	12.5	18.0	76	12.2	Cloudy
		12:00	11.0	14.5	22.5	62	13.7	"
		15:00	11.2	15.2	20.1	58	13.4	Clear
		18:00	9.6	12.1	12.5	70	10.4	"
	26	9:00	13.0	10.0	11.0	74	12.3	Rainy
		12:00	6.7	10.0	13.0	59	8.3	Cloudy
		15:00	7.1	9.5	11.5	68	8.2	Rainy
		18:00	5.9	9.0	9.0	48	6.8	Cloudy
	27	9:00	5.6	9.1	12.5	54	7.3	Cloudy
		12:00	6.5	11.2	11.3	44	7.9	Rainy
		15:00	5.4	6.3	6.6	86	5.7	"
		18:00	6.4	6.8	2.0	92	5.6	Cloudy
	28	9:00						
		12:00						
		15:00						
		18:00						
	30	9:00	13.5	16.1	27.6	74	16.6	Clear
		12:00	11.0	17.5	29.5	39	15.4	"
		15:00	12.5	17.3	25.8	55	15.6	"
		18:00	7.8	12.5	12.6	47	9.2	"
	31	9:00	9.2	13.4	27.8	53	13.3	Clear
		12:00	8.5	14.3	29.8	44	13.3	"
		16:48	10.0	17.0	24.1	34	13.5	"
		12:00	8.1	14.0	9.4	37	9.0	"

表9 長崎市におけるグラウンドの環境温度（3月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
March	20	9:00	9.0	10.4	11.0	80	9.5	Rainy
		12:00	9.0	10.5	12.0	81	9.8	"
		15:00	10.2	11.2	12.5	86	10.8	"
		18:00	9.5	10.0	11.5	93	10.0	"
	21	9:00	8.2	9.2	11.0	85	8.9	Cloudy
		12:00	9.0	11.6	12.0	74	9.9	"
		15:00	9.5	13.6	19.6	55	11.9	"
		18:00	8.2	11.1	12.4	62	9.3	"
	22	9:00	8.1	10.0	13.3	73	9.3	Clear
		12:00	10.5	16.0	23.0	45	13.6	"
		15:00	11.0	17.5	22.0	39	13.9	"
		18:00	10.0	13.5	12.0	59	10.8	"
	23	9:00	12.0	13.5	14.0	81	12.6	Rainy
		12:00	13.6	14.5	15.7	88	14.1	"
		15:00	14.4	15.3	15.7	88	14.8	"
		18:00	14.5	15.5	16.1	88	14.9	Cloudy
	24	9:00	10.3	11.0	13.5	91	11.0	Rainy
		12:00	10.9	12.0	12.1	87	11.3	"
		15:00	12.0	12.6	13.9	92	12.4	"
		18:00	10.6	11.9	13.0	93	11.2	"
	25	9:00	10.0	13.3	13.6	62	11.1	Cloudy
		12:00	11.5	15.5	17.2	57	13.0	"
		15:00	13.0	15.0	16.5	76	13.9	Rainy
		18:00	12.0	12.5	12.8	93	12.2	"
	26	9:00	10.5	11.2	13.0	91	11.1	Cloudy
		12:00	10.5	12.0	12.8	81	11.1	"
		15:00	10.5	11.1	11.7	93	10.8	Rainy
		18:00	10.1	11.5	12.0	81	10.6	Cloudy
	27	9:00	8.9	9.1	11.9	93	9.5	Rainy
		12:00	10.8	12.4	14.0	80	11.6	Cloudy
		15:00	11.4	16.1	22.2	50	14.0	Clear
		18:00	10.0	12.5	13.5	69	11.0	"
	28	9:00	10.3	11.5	13.2	85	11.0	Rainy
		12:00	11.5	13.5	15.2	76	12.4	"
		15:00	11.8	12.4	12.9	92	12.1	"
		18:00	12.5	13.1	14.3	94	12.9	"
	29	9:00	12.2	13.0	14.0	88	12.6	Cloudy
		12:00	12.7	13.5	14.4	88	13.1	Rainy
		15:00	13.0	13.6	14.5	93	13.4	"
		18:00	12.5	12.8	12.8	94	12.6	"

表10 小樽市におけるグラウンドの環境温度（7月、8月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDT	GT	rh	WBGT	Weather
July	31	9:00	21.5	22.5	24.0	91	22.1	Rainy
		12:00	21.0	23.5	24.5	79	22.0	"
		15:00	15.0	16.0	17.0	89	15.5	"
		18:00	15.0	16.0	16.0	89	15.3	"
August	1	9:00	15.5	19.5	24.5	64	17.7	Cloudy
		12:00	16.0	21.0	27.5	57	18.8	"
		15:00	17.5	23.0	37.0	55	22.0	Clear
		18:00	15.5	18.5	20.0	72	16.7	Cloudy
2		9:00	15.5	19.0	24.5	67	17.7	Cloudy
		12:00	17.0	21.0	29.0	65	19.8	Clear
		15:00	16.5	20.5	29.0	69	19.4	Cloudy
		18:00	16.0	18.5	22.0	81	17.5	"
3		9:00	15.5	20.5	34.0	57	19.7	Clear
		12:00	14.0	17.0	23.7	70	16.2	Cloudy
		15:00	16.5	22.0	34.5	54	20.7	Clear
		18:00	15.0	17.0	18.5	80	15.9	"
4		9:00	16.5	20.0	30.5	68	19.7	Clear
		12:00	16.5	20.5	26.5	73	18.9	Cloudy
		15:00	18.0	23.5	29.5	56	20.9	Clear
		18:00	16.5	19.5	20.5	73	17.6	"
5		9:00	16.5	23.0	35.0	48	20.9	Clear
		12:00	19.0	26.0	41.0	48	24.1	"
		15:00	19.5	25.5	40.0	55	24.2	"
		18:00	18.5	22.5	25.0	67	20.2	"
6		9:00	19.5	25.0	31.5	57	22.5	Clear
		12:00	23.0	27.0	32.5	70	25.3	"
		15:00	22.0	26.5	33.0	73	24.7	"
		18:00	21.5	25.5	26.0	69	22.8	"
7		9:00	22.0	23.0	27.5	91	23.2	Cloudy
		12:00	23.5	29.5	44.0	59	28.2	Clear
		15:00	21.5	25.0	28.0	72	23.2	Cloudy
		18:00	20.5	21.5	22.5	91	21.0	Rainy
8		9:00	17.0	21.0	29.0	65	19.8	Clear
		12:00	17.5	19.5	27.5	73	19.7	Cloudy
		15:00	17.5	21.0	27.0	69	19.8	Fog
		18:00	17.5	19.0	20.5	89	18.3	Cloudy
9		9:00	19.0	19.5	20.5	95	19.4	Cloudy
		12:00	19.5	19.5	20.5	95	19.7	Rainy
		15:00	19.5	19.5	20.5	95	19.7	Cloudy
		18:00	19.0	19.5	20.0	95	19.3	Rainy
10		9:00	17.0	17.5	18.5	95	17.4	Rainy
		12:00	18.5	21.0	28.0	82	20.7	Cloudy
		15:00	17.5	18.5	19.5	95	18.0	"
		18:00	16.5	18.0	19.0	76	17.2	Clear

表11-1 山形市におけるグラウンドの環境温度（8月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
August	1	9:00	25.0	28.2	43.0	77	28.9	Clear
		12:00	28.0	32.2	43.5	73	31.5	"
		15:00	27.5	30.5	40.5	78.5	30.4	"
		18:00	22.2	23.5	24.0	87	22.7	"
2	2	9:00	21.0	24.5	32.0	71.5	23.6	Clear
		12:00	24.5	25.8	34.0	88	26.5	Cloudy
		15:00	23.5	25.0	32.5	84.5	25.5	"
		18:00	20.0	21.5	22.0	86.5	20.6	Cloudy
3	3	9:00	18.5	21.0	22.5	78	19.6	Cloudy
		12:00	19.8	22.5	21.5	78	20.4	"
		15:00	19.5	21.7	23.5	83	20.5	"
		18:00	18.5	20.5	20.5	81.5	19.1	"
4	4	9:00	16.0	21.0	24.0	57	18.1	Clear
		12:00	16.5	20.7	24.0	65	18.4	Cloudy
		15:00	19.5	22.0	27.0	70	21.3	"
		18:00	16.5	19.0	20.0	67	17.5	"
5	5	9:00	20.5	26.0	41.0	58	25.2	Clear
		12:00	28.5	33.5	50.0	68	33.3	"
		15:00		37.0	48.5	72		"
		18:00	26.7	29.7	33.0	78	28.3	"
6	6	9:00	26.0	31.0	32.0	66	27.7	Clear
		12:00		35.2	44.0	74		"
		15:00		36.5	49.0	81		"
		18:00	27.3	29.5	31.8	89	28.4	"
7	7	9:00	26.2	32.0	38.0	61	29.1	Clear
		12:00		34.5	43.0	77		"
		15:00		34.1	40.5	80		Cloudy
		18:00	25.6	28.0	29.0	81	26.5	"
8	8	9:00	25.1	29.0	35.0	71	27.5	Clear
		12:00		36.0	50.0	84		"
		15:00		34.4	42.0	83		"
		18:00	28.0	30.0	31.0	85	28.8	"
9	9	9:00	23.5	27.0	27.9	73	24.7	Rainy
		12:00	24.0	27.0	27.0	96	24.9	"
		15:00	24.0	32.0	32.2	77	26.4	Cloudy
		18:00	23.2	26.6	26.6	88	24.2	"
10	10	9:00	20.5	23.0	33.0	73	23.3	Clear
		12:00	22.0	29.5	43.0	55	27.0	"
		15:00	23.5	29.5	43.0	58	28.0	"
		18:00	20.0	24.0	27.8	68	22.0	"

表11-2 山形市におけるグラウンドの環境温度（8月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
August	11	9:00	18.5	20.5	28.0	86	20.6	Cloudy
		12:00	22.5	29.0	42.0	59	27.1	Clear
		15:00	21.2	26.5	32.8	63	24.1	"
		18:00	19.0	23.0	23.0	67	20.2	"
12		9:00	21.0	24.5	27.2	71.5	22.6	Cloudy
		12:00	21.5	27.0	33.2	59	24.4	"
		15:00	22.5	25.0	28.2	80	23.9	"
		18:00	21.0	21.5	20.5	95	21.0	Rainy
13		9:00	21.0	21.0	23.0	95	21.4	Rainy
		12:00	21.7	22.2	23.0	95	22.0	"
		15:00	25.0	27.5	34.0	81	27.1	Cloudy
		18:00	24.5	25.5	26.0	92	24.9	"
14		9:00	22.5	24.0	26.2	87	23.4	Cloudy
		12:00		29.0	41.5	78		Clear
		15:00		34.0	46.5	84		"
		18:00	27.5	29.0	31.0	89	28.4	"
15		9:00	24.5	31.5	44.0	66	29.1	Clear
		12:00		35.0	50.5	83		"
		15:00		36.0	46.0	75		"
		18:00	27.0	29.0	29.5	85	27.7	"
16		9:00	24.5	29.5	37.0	64	27.5	Clear
		12:00		35.3	49.5	74		"
		15:00	28.5	32.5	41.0	73	31.4	"
		18:00	26.0	30.0	32.2	72	27.6	"
17		9:00	25.5	30.0	39.0	68	28.7	Clear
		12:00	27.0	33.5	45.0	64	31.3	"
		15:00	28.5	32.0	38.0	76	30.8	"
		18:00	25.5	27.5	29.0	84	26.4	"
18		9:00	24.0	31.0	44.0	54	28.7	Clear
		12:00		34.5	47.0	74		"
		15:00		35.5	43.0	77		"
		18:00	27.0	29.0	30.0	78	27.8	"

表12 東京世田谷におけるグラウンドの環境温度（7月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
August	1	9:00	24.5	30.5	32.8	56	26.8	
		12:00	26.0	33.2	35.9	50	28.7	
		15:00	25.1	27.1	26.5	83	25.6	
		18:00	23.0	26.2	26.4	73	24.0	
	2	9:00	19.3	21.0	21.6	86	19.9	
		12:00	19.2	21.2	21.8	80	19.9	
		15:00	19.4	22.2	22.9	73	20.4	
		18:00	18.9	20.7	20.8	82	19.5	
	3	9:00	18.9	21.4	21.9	75	19.8	
		12:00	18.6	22.5	23.1	63	19.9	
		15:00	18.5	22.8	23.2	63	19.9	
		18:00	18.4	21.5	21.6	70	19.4	
	4	9:00	17.7	20.8	21.5	69	18.8	
		12:00	17.6	20.7	21.4	65	18.7	
		15:00	17.1	21.6	22.0	60	18.5	
		18:00	16.8	21.4	21.5	58	18.2	
	5	9:00	18.9	21.9	22.9	70	20.0	
		12:00	20.9	23.8	26.7	72	22.4	
		15:00	22.0	25.1	26.4	73	23.2	
		18:00	22.6	24.3	24.5	84	23.2	
	6	9:00	23.3	26.3	27.6	73	24.5	
		12:00	25.2	31.3	32.6	55	27.3	
		15:00	25.1	33.1	40.4	48	29.0	
		18:00	24.9	30.1	31.7	60	26.8	
	7	9:00	23.8	29.3	30.4	57	25.7	
		12:00	24.9	32.4	34.0	47	27.5	
		15:00	24.2	33.2	38.3	41	27.9	
		18:00	23.6	29.2	29.6	57	25.4	
	8	9:00	25.1	29.7	31.8	62	26.9	
		12:00	25.4	30.5	33.1	60	27.5	
		15:00	25.0	31.9	34.1	49	27.5	
		18:00	24.5	27.7	28.2	73	25.6	
	9	9:00	25.6	29.2	30.3	70	26.9	
		12:00		31.5	34.3	90		
		15:00		38.3	41.8	76		
		18:00		30.2	32.9			
	10	9:00		30.3	32.2			
		12:00		34.2	37.6			
		15:00		36.7	44.2			
		18:00		28.8	29.2			

表13 愛知県大府市におけるグラウンドの環境温度（7月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
July	20	9:00	23.0	30.0	38.0	53	26.7	Clear
		12:00	27.0	35.0	41.0	52	30.6	"
		15:00	26.0	35.0	37.0	47	29.1	"
		18:00	29.0	31.0	36.0	86	30.6	"
	21	9:00	24.0	32.0	37.0	49	27.4	Clear
		12:00	26.5	36.0	41.0	45	30.4	"
		15:00	27.0	36.5	43.0	45	31.2	"
		18:00	24.0	32.0	37.0	49	27.4	"
	22	9:00	25.0	30.0	35.0	65	27.5	Clear
		12:00	26.5	36.5	37.0	43	29.6	"
		15:00	26.5	34.0	39.0	48	29.8	"
		18:00	27.0	31.5	32.5	69	28.6	"
	23	9:00	24.0	31.0	32.0	54	26.3	Clear
		12:00	27.0	34.0	38.0	56	29.9	"
		15:00	27.5	35.5	37.5	52	30.3	"
		18:00	21.0	30.5	32.0	39	24.2	"
	24	9:00	21.0	30.0	37.0	41	25.1	Rainy
		12:00	24.0	32.0	42.0	49	28.4	"
		15:00	23.5	33.5	43.0	40	28.4	Clear
		18:00	22.5	32.0	36.0	42	26.2	"
	25	9:00	24.5	30.5	32.5		26.7	Clear
		12:00	21.5	34.5	40.5		26.6	"
		15:00	22.8	35.5	39.0		27.3	"
		18:00	23.2	33.0	30.0		25.5	"
	26	9:00						
		12:00						
		15:00						
		18:00						
	27	9:00	25.5	33.0	35.5	53	28.3	Clear
		12:00	26.5	35.5	37.5	47	29.6	"
		15:00	25.5	36.5	41.5	35	29.8	"
		18:00	27.0	34.0	35.0	56	29.3	"
	28	9:00	22.0	31.0	33.0	43	25.1	Clear
		12:00	22.5	37.5	41.0	32	27.7	"
		15:00	24.0	38.5	42.5	33	29.2	"
		18:00	23.5	34.5	37.5	33	27.4	"
	29	9:00	25.0	34.0	38.0	62	28.5	Clear
		12:00	25.8	38.0	42.0	37	30.3	"
		15:00	26.8	38.5	46.0	37	31.8	"
		18:00	25.0	36.0	38.0	48	28.7	"
	30	9:00	24.5	36.0	39.0	35	28.6	Clear
		12:00	24.0	35.5	43.0	34	29.0	"
		15:00	24.0	35.5	44.0	34	29.2	"
		18:00	23.5	34.0	43.5	34	28.6	"

表14 金沢市におけるグラウンドの環境温度（8月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
August	4	9:00	23.5	27.5	37.5	70	26.7	Clear
		12:00	26.0	29.0	41.0	78	29.3	"
		15:00		31.5	47.0	86		"
		18:00	26.5	29.0	33.0	81	28.1	"
	5	9:00	27.5	32.5	45.0	66	31.5	Clear
		12:00		36.0	51.0	66		"
		15:00		34.5	47.0	80		"
		18:00		29.5	35.0	89		"
	6	9:00	28.0	34.5	47.0	60	32.5	Clear
		12:00		36.0	45.0	66		"
		15:00		34.0	44.0	93		"
		18:00	29.0	31.0	35.0	86	30.4	"
	7	9:00	28.5	32.0	40.5	76	31.3	Clear
		12:00	27.0	28.5	30.0	88	27.8	"
		15:00		32.5	40.0	82		"
		18:00	27.0	29.0	31.0	85	28.0	Cloudy
	8	9:00	27.0	29.5	31.0	82	28.1	Cloudy
		12:00	29.0	31.0	40.0	86	31.4	"
		15:00	27.5	29.0	31.5	89	28.5	"
		18:00	25.5	26.0	27.0	96	25.9	"
	9	9:00	23.0	23.5	24.5	96	23.4	Rainy
		12:00	26.5	30.0	37.0	75	28.9	Clear
		15:00	24.0	25.0	27.0	92	24.7	Cloudy
		18:00	23.5	24.0	25.0	96	23.9	"
	10	9:00	23.5	26.9	38.5	73	26.8	Clear
		12:00	26.0	30.0	43.0	72	29.8	"
		15:00	25.0	26.0	32.0	92	26.5	Cloudy
		18:00	24.0	25.0	28.5	92	25.0	"
	11	9:00	23.5	25.3	30.5	84	25.1	Clear
		12:00	27.5	29.0	36.0	89	29.4	"
		15:00	25.0	25.5	27.5	96	25.6	Cloudy
		18:00	24.5	25.5	30.0	92	25.7	"
	12	9:00	25.0	27.0	30.0	84	26.2	Clear
		12:00	26.0	27.0	30.0	92	26.9	"
		15:00	26.0	27.5	30.5	88	27.1	"
		18:00	24.5	25.5	25.5	92	24.8	Cloudy
	13	9:00	23.5	26.9	24.5	73	24.0	Cloudy
		12:00	25.5	27.2	33.0	84	27.2	"
		15:00	24.0	27.0	24.0	77	24.3	Rainy
		18:00	23.5	24.0	25.0	96	23.9	Cloudy

表15 京都市におけるグラウンドの環境温度（7月、8月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
July	28	9:00	24.7	29.0	40.5	63	28.3	Clear
		12:00	25.8	34.2	46.0	46	30.7	"
		15:00	26.0	34.6	38.7	44	29.4	Cloudy
		18:00	26.3	31.6	33.0	61	28.2	"
	29	9:00	26.5	31.4	42.5	63	30.2	Clear
		12:00	27.5	36.0	46.0	45	32.1	"
		15:00	27.0	34.5	37.5	49	29.9	Cloudy
		18:00	26.5	32.2	33.0	57	28.4	"
	30	9:00	25.8	31.0	43.4	61	29.8	Clear
		12:00	26.0	35.4	43.6	44	30.5	"
		15:00	26.3	36.6	46.8	42	31.4	"
		18:00	25.0	33.3	37.5	38	28.3	"
	31	9:00	25.7	29.2	34.0	67	27.7	Cloudy
		12:00	25.7	33.5	41.0	48	29.5	Clear
		15:00	25.7	35.3	45.0	39	30.5	"
		18:00	24.3	32.5	32.5	44	26.8	Cloudy
	August 1	9:00	24.5	29.0	33.0	63	26.7	Cloudy
		12:00	25.3	31.8	37.0	53	28.3	"
		15:00	26.1	32.8	40.0	53	29.6	"
		18:00	25.5	28.7	29.5	74	26.6	"
	2	9:00	21.5	27.6	35.1	52	24.8	Cloudy
		12:00	22.0	31.7	42.5	37	27.1	Clear
		15:00	23.5	34.0	41.5	37	28.2	"
		18:00	22.0	31.0	28.0	68	24.1	"
	3	9:00	21.0	23.7	33.5	74	23.8	Cloudy
		12:00	20.5	23.4	24.5	73	21.6	"
		15:00	20.5	23.0	23.5	76	21.4	"
		18:00	20.2	22.8	23.1	73	21.0	"
	4	9:00	20.2	25.0	29.0	59	22.4	Cloudy
		12:00	20.7	26.8	33.0	51	23.8	"
		15:00	20.8	25.6	28.0	59	22.7	"
		18:00	20.2	24.0	24.5	65	21.4	"
	5	9:00	21.5	26.5	27.2	58	23.1	Cloudy
		12:00	23.6	29.5	35.5	57	26.6	Clear
		15:00	25.5	33.5	39.0	46	29.0	"
		18:00	24.3	28.7	30.4	67	26.0	"
	6	9:00	24.8	29.0	42.6	66	28.8	Clear
		12:00	24.5	31.5	35.6	50	27.4	Cloudy
		15:00	24.5	33.2	38.0	42	28.1	"
		18:00	24.3	32.2	35.0	44	27.2	"

表16 神戸市におけるグラウンドの環境温度（8月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
August	1	9:00						
		12:00	25.7	32.2	41.4	52	29.5	Cloudy
		15:00	26.0	34.5	45.0	43	30.7	"
		18:00	23.5	27.5	28.5	67	24.9	"
	2	9:00	21.8	29.0	37.5	47	25.7	Clear
		12:00	24.0	34.5	50.0	37	30.3	"
		15:00	22.3	30.5	37.0	44	26.1	"
		18:00	22.0	26.5	26.5	62	23.4	"
	3	9:00	22.5	26.0	30.5	69	24.5	Cloudy
		12:00	21.5	25.0	29.0	66	23.4	"
		15:00	20.0	24.5	25.5	61	21.6	"
		18:00	20.0	24.0	25.0	64	21.4	"
	5	9:00	21.5	25.8	27.8	63	23.2	Clear
		12:00	24.5	28.7	31.5	66	26.3	"
		15:00	24.1	27.8	35.6	71	26.8	Cloudy
		18:00	24.0	25.0	26.5	90	24.6	Clear
	6	9:00	25.0	30.0	42.0	61	28.9	Clear
		12:00	25.5	30.6	40.2	67	29.0	"
		15:00	25.0	28.5	34.5	71	27.3	Cloudy
		18:00	23.7	26.3	25.0	77	24.2	"
	7	9:00	24.0	28.0	38.5	67	27.3	Clear
		12:00	25.1	29.6	40.5	64	28.6	"
		15:00	24.5	29.0	38.0	64	27.7	"
		18:00	23.0	26.5	26.5	70	24.1	"
	8	9:00	22.0	28.0	30.0	53	24.2	Cloudy
		12:00	23.5	27.5	29.5	66	25.1	"
		15:00	23.0	26.5	27.0	70	24.2	"
		18:00	21.5	24.5	22.0	72	21.9	Rainy
	10	9:00	23.0	29.0	43.5	58	27.7	Clear
		12:00	24.5	31.5	44.0	50	29.1	"
		15:00	24.0	30.5	42.0	52	28.3	"
		18:00	23.5	28.0	28.5	63	25.0	"
	11	9:00	23.5	27.1	31.5	69	25.5	Cloudy
		12:00	25.0	31.0	40.0	56	28.6	"
		15:00	25.5	31.5	38.5	56	28.7	"
		18:00						
	19	9:00	24.5	29.0	44.0	63	28.9	Clear
		12:00	24.7	29.9	45.6	59	29.4	"
		15:00	24.5	32.0	43.5	47	29.1	"
		18:00	24.0	28.0	30.0	67	25.6	"
	20	10:00	24.8	28.9	39.4	73	28.1	Clear
		12:00	25.0	30.2	38.5	60	28.2	"
		15:00	23.5	26.0	27.1	77	24.5	"
		18:00	22.5	24.5	25.0	82	23.2	"
	21	9:00	24.5	31.5	42.5	50	28.8	Clear
		12:00	24.0	30.9	39.5	50	27.8	"
		15:00	25.5	31.7	42.5	54	29.5	"
		18:00	24.0	25.5	25.7	86	24.5	"

表17 長崎市におけるグラウンドの環境温度（8月測定）

Month	Day	o'clock	NWB	NDB	GT	rh	WBGT	Weather
August	1	9:00	26.4	29.8	36.0	72	28.7	Cloudy
		12:00	27.5	32.1	37.5	64	30.0	"
		15:00	28.5	36.2	49.0	49	33.4	Clear
		18:00	26.6	30.8	31.7	68	28.0	"
2	2	9:00	25.4	28.9	31.7	71	27.0	Cloudy
		12:00	26.8	32.7	42.0	57	30.4	Clear
		15:00	27.0	35.0	35.6	47	29.5	"
		18:00	25.3	29.8	30.5	65	26.8	"
3	3	9:00	25.0	30.6	41.0	57	28.8	Clear
		12:00	25.8	34.8	45.8	42	30.7	"
		15:00	25.4	34.6	45.5	41	30.3	"
		18:00	25.6	31.0	32.5	60	27.5	"
4	4	9:00	21.7	25.0	26.2	71	22.9	Cloudy
		12:00	22.5	24.0	25.5	86	23.3	Rainy
		15:00	21.9	24.0	25.2	80	22.8	"
		18:00	21.3	22.5	23.0	89	21.8	"
5	5	9:00	21.2	22.2	21.8	90	21.4	Rainy
		12:00	21.2	22.0	22.0	92	21.4	"
		15:00	23.5	26.0	37.5	77	26.6	Clear
		18:00	21.4	26.0	26.2	61	22.8	"
6	6	9:00	25.5	29.0	38.7	71	28.5	Clear
		12:00	25.9	32.1	44.5	55	30.2	"
		15:00	25.2	33.0	44.7	47	29.9	"
		18:00	24.0	28.1	28.8	66	25.4	"
7	7	9:00	25.1	30.1	30.2	61	26.6	Clear
		12:00	25.2	31.9	32.6	52	27.4	Cloudy
		15:00	25.4	33.7	39.0	44	29.0	"
		18:00	24.4	30.1	30.1	56	26.1	"
8	8	9:00	21.8	24.2	23.5	79	22.4	Rainy
		12:00	23.1	25.5	25.5	80	23.8	Cloudy
		15:00	23.3	25.6	25.6	80	24.0	"
		18:00	23.5	26.0	26.0	77	24.3	"
9	9	9:00	24.6	28.0	34.0	73	26.8	Cloudy
		12:00	25.4	29.4	34.4	67	27.6	"
		15:00	25.5	32.8	41.8	49	29.5	Clear
		18:00	25.0	28.8	29.0	68	26.2	Cloudy
10	10	9:00	26.4	30.8	40.8	66	29.7	Cloudy
		12:00	26.1	32.0	39.4	57	29.4	"
		15:00	26.5	33.5	42.0	51	30.3	Clear
		18:00	26.3	32.4	40.0	56	29.7	"

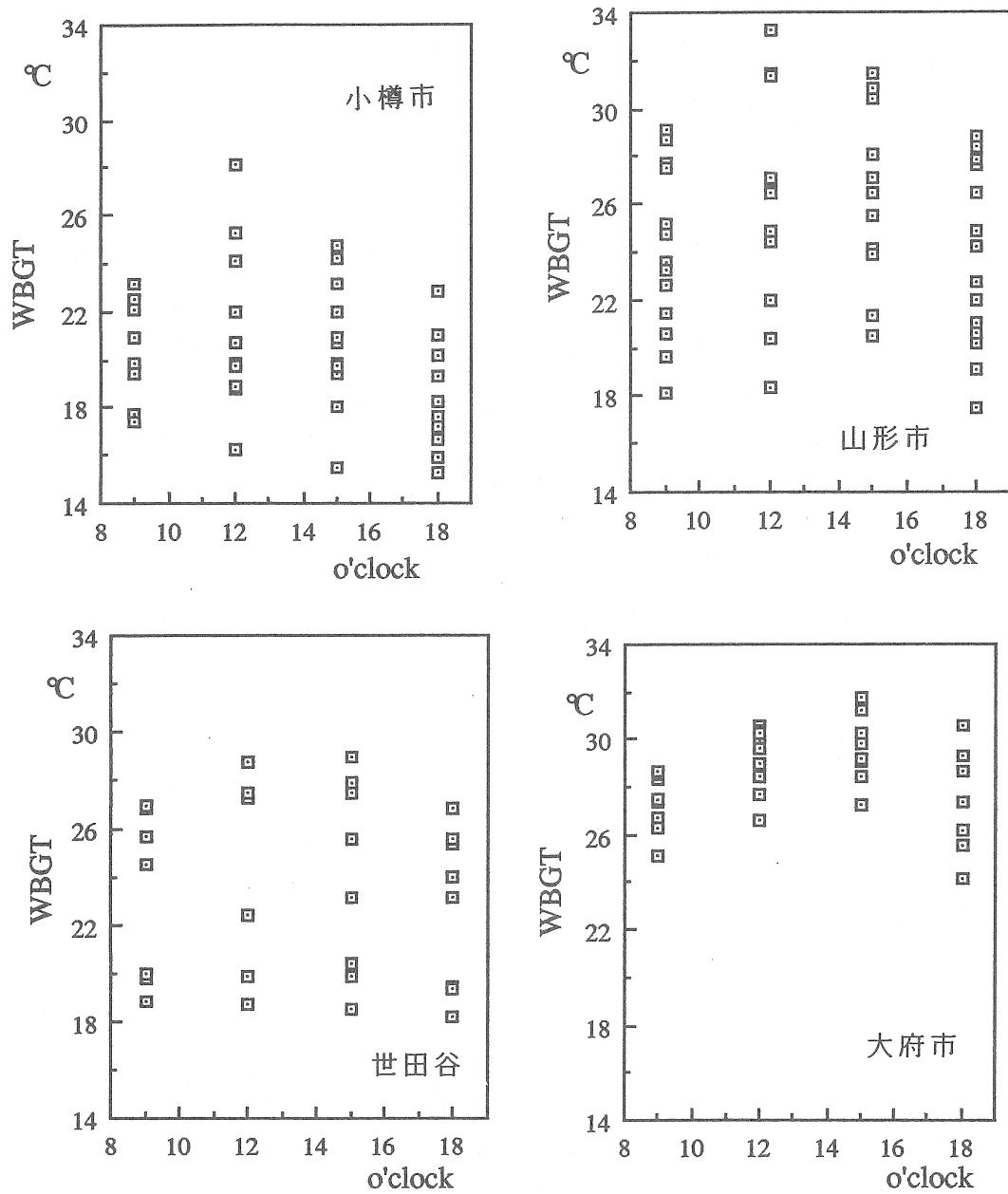


図3 グラウンドにおける観測時間ごとのWBGT 1
(小樽市, 山形市, 世田谷区, 大府市)

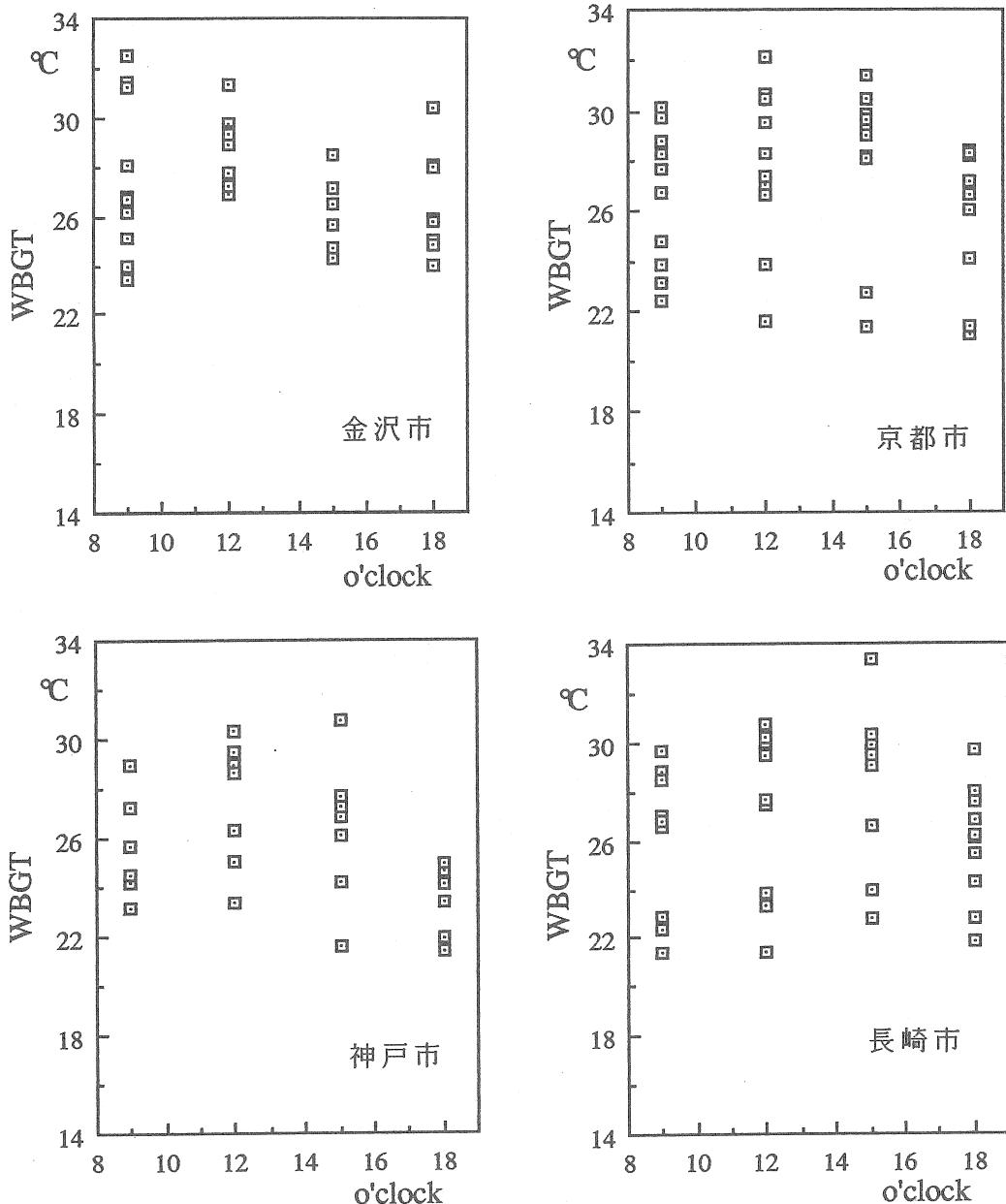


図4 グラウンドにおける観測時間ごとのWBGT 2
(金沢市, 京都市, 神戸市, 長崎市)

輻射熱環境を考慮した総合温熱指数の1つであるWBGTは熱中症予防のための指標として採用されており^{1,8)}、寄本¹⁴⁾はWBGTと運動時の生体応答との関係について検討している。しかし、これは実験室での検討であり、夏季運動場の環境温度の実態とはかなり相違が考えられる。

中井ら¹²⁾はアメリカンフットボール練習時の水分摂取量及び発汗量の実態調査を実施し、WBGTと発汗量に相関関係が認められるとの結果を示しているが、種々の運動種目について検討することが必要と考えられる。

本調査では先述した環境温度の測定期間の一部に、運動時の体温調節反応として発汗量と飲水量

の実態を観察し、熱中症予防の基礎資料を得ようとした。

a 測定項目と方法

測定の項目は(1)発汗量(練習前後の体重)(2)飲水量、(3)練習時間、(4)環境温度(乾球温度、湿球温度、黒球温度)である。

(1) 発汗量の測定

練習の前後において半裸体状態(パンツ1枚)で測定した。体重計はデジタル体重計(エー・アンド・ディ、UC-300、最小表示50g)を用いた。

発汗量は練習前後の体重と飲水量から、次式で発汗量を算出した。

表18 調査対象の地域と運動種目と被検者の身体的特徴

場所	運動種目	性別	人数	年齢	身長(cm)	体重(kg)
小樽	ラグビー	大学 男	春	14	21.0±1.3	172.7±6.1
			夏	15	21.2±1.2	173.2±6.2
山形	硬式野球	大学 男	春	13	20.2±0.9	174.5±3.9
			夏	19	20.1±1.2	174.2±5.3
東京	アメリカン フットボール	大学 男	春	15	20.1±0.9	174.6±4.1
			夏	15	20.5±1.0	174.2±4.5
愛知	ソフトボール	大学 女	春	13	19.9±1.2	158.8±4.8
			夏	14	20.4±1.2	159.4±4.5
金沢	陸上競技	高校 男	春	11	16.0±0.0	171.2±6.7
			夏	11	16.6±0.5	171.2±6.7
京都	硬式野球	大学 男	春	15	20.9±1.0	174.4±4.9
			夏	14	20.8±1.0	174.2±5.0
神戸	サッカー	大学 女	春	15	20.0±1.0	157.2±3.8
			夏	20	20.0±1.2	157.1±3.8
長崎	アメリカン フットボール	大学 男	春	15	20.7±1.0	175.1±5.9
			夏	15	20.4±1.2	174.5±5.6

春は3月～4月、夏は7～8月の期間に調査対象とした被検者の人数と運動種目及びその他の特性について示した。

年齢、身長及び体重は平均値±標準偏差を示した。

$$\text{発汗量} = (\text{練習前体重} + \text{飲水量}) - \text{練習後体重}$$

全国 8ヶ所に及ぶ調査であり、運動種目も異なり、練習時間も異なるので単位時間に対する発汗量及び体重減少量を算出し比較することにした。

練習時間は毎回調査したが、1時間当たりの発汗量及び体重減少量算出に用いる時間は練習前の体重測定から練習後の体重を測定するまでの時間とした。

(2) 飲水量の測定

本調査においては指定の飲料(スポーツドリンク)を被検者ごとの個人ボトルを用いて自由摂取させた。

夏季練習時には 1 ℥以上におよぶため 10 ℥容量のジャグボトルに飲料を準備し、適時グラウンドで個人ボトルに飲料を補給した。

なお、用いたスポーツ飲料は市販ポカリスエット(大塚製薬)で、主要成分は Na^+ : 23mEq/1, Cl^- : 18mEq/1, K^+ : 5 mEq/1, クエン酸 : 10 mEq/1, 糖 : 約 7 g / 100ml) である³⁾。

ただし、濃度については特に規制しなかったので、今回は濃度の問題については触れないことにする。

また、1回の練習は2時間から2時間半またはそれ以上に及ぶため、環境温度は30分間隔で測定し、それらの値を平均してその日の温度とした。

環境温度の測定方法は前述したとおりである。

(3) 調査地域と対象の運動種目及び被検者

8 地域で実施された運動種目と対象者の年齢、身長及び体重の特性を表18に示した。

調査対象者は大学の運動部員であるが、1地域のみは高等学校の陸上競技部部員が含まれている。性別は2地域が女性(サッカーとソフトボール)で他の6地域は男子である。対象となった被検者数は表に示した。また、被検者の年齢、身長、体重の平均値と標準偏差を表19に示した。

調査実施時期は春季(3月、4月)及び夏季(7月、8月)の2回である。

図5及び図6は測定状況を示した写真であるが、実施の方法や手順については、中井ら¹²⁾が行った水分摂取の実態調査の方法を参考にした。

b 調査の結果

春季及び夏季に、全国8地域で実施された測定は延べ79日間であった。運動時のWBGTと体重減少量、発汗量の関係を検討するため地域ごとにおける各測定日の平均値を求めたのが表19から表26である。なお、春季調査と夏季調査の被検者数が1部異なるが同一集団として取り扱った。

各表に示した測定値は1時間当たり体重減少量(Weight loss/hr : kg/hr)、1時間当たり発汗量

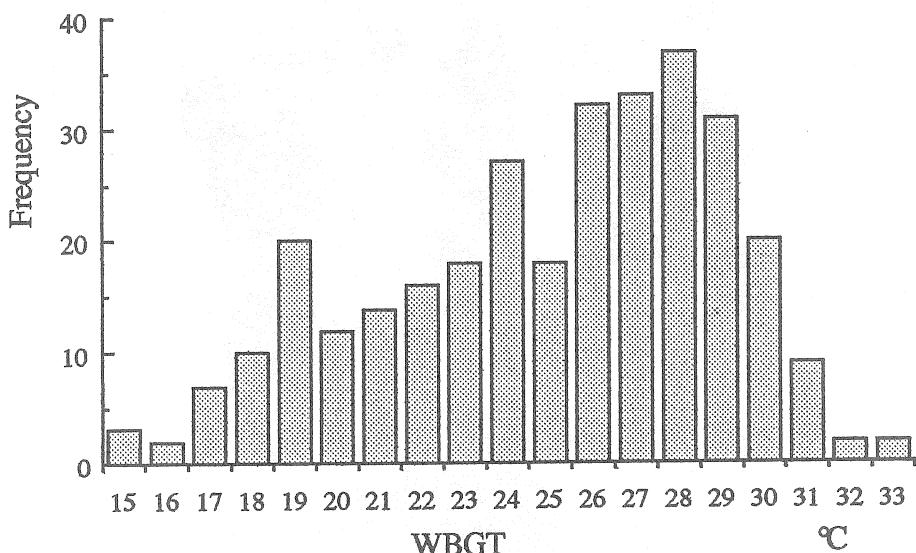


図5 7月及び8月におけるWBGTの分布

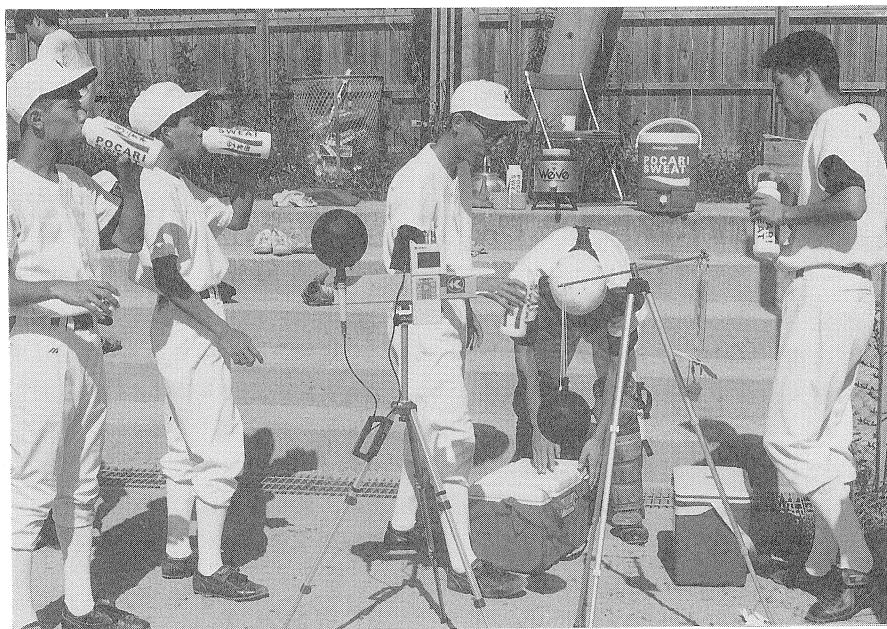


図 6 練習中の水分摂取の様子

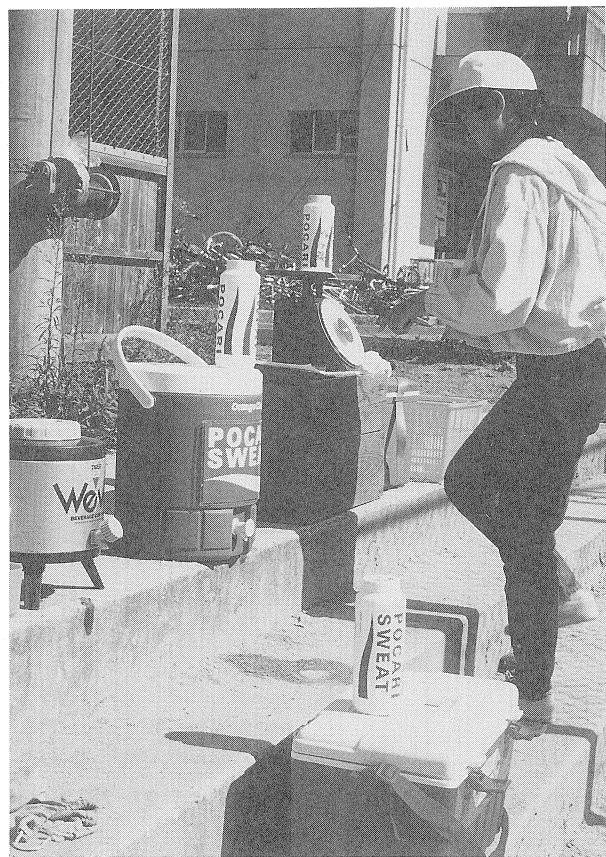


図 7 グラウンドにおける水分摂取量の調査

表19 サッカー練習時の体重減少量と発汗量

(大学・女子・神戸)

Date	Number of subjects	WBGT		Weight loss / hr		Sweat loss / hr		% sweat loss / hr	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
20 Mar.	n = 15	8.2	0.6	0.150	0.083	0.244	0.061	0.45	0.11
21 Mar.	n = 15	5.2	1.3	0.086	0.076	0.170	0.058	0.31	0.11
22 Mar.	n = 15	8.5	0.7	0.206	0.084	0.296	0.058	0.58	0.10
19 July	n = 15	29.3	0.1	0.171	0.118	0.422	0.117	0.77	0.23
1 Aug.	n = 15	29.2	0.6	0.392	0.802	0.710	0.796	1.23	1.16
2 Aug.	n = 15	29.1	1.0	0.066	0.089	0.439	0.081	0.81	0.17
3 Aug.	n = 14	23.4	0.6	0.082	0.064	0.210	0.048	0.39	0.09
5 Aug.	n = 15	25.1	2.2	0.114	0.101	0.329	0.076	0.60	0.14
6 Aug.	n = 15	29.4	0.6	0.107	0.124	0.445	0.122	0.82	0.24
7 Aug.	n = 15	29.3	0.7	0.073	0.088	0.438	0.111	0.80	0.21
8 Aug.	n = 15	25.7	0.4	0.078	0.072	0.335	0.075	0.62	0.15
10 Aug.	n = 15	27.7	0.8	0.068	0.074	0.425	0.108	0.80	0.22
11 Aug.	n = 15	28.3	0.3	0.064	0.073	0.405	0.087	0.76	0.18
20 Aug.	n = 15	28.3	0.5	0.227	0.679	0.575	0.699	0.99	1.01
21 Aug.	n = 15	28.7	0.7	0.061	0.087	0.497	0.073	0.91	0.14

表20 ソフトボール練習時の体重減少量と発汗量

(大学・女子・大府)

Date	Number of subjects	WBGT		Weight loss / hr		Sweat loss / hr		% sweat loss / hr	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
4 Apr.	n = 12	11.3	0.8	0.240	0.072	0.240	0.072	0.43	0.13
6 Apr.	n = 13	16.4	2.4	0.281	0.112	0.360	0.103	0.65	0.17
7 Apr.	n = 13	15.9	1.1	0.229	0.090	0.240	0.087	0.43	0.15
25 July	n = 13	27.7	1.3	0.398	0.143	0.624	0.128	1.12	0.21
28 July	n = 14	27.1	0.8	0.273	0.112	0.478	0.144	0.86	0.26
29 July	n = 14	30.1	0.8	0.315	0.135	0.575	0.130	1.04	0.23
30 July	n = 14	31.2	0.6	0.249	0.108	0.526	0.105	0.95	0.20

表21 軟式野球練習時の体重減少量と発汗量

(大学・男子・山形)

Date	Number of subjects	WBGT		Weight loss / hr		Sweat loss / hr		% sweat loss / hr	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
27 Mar.	n = 13	10.1	0.4	0.245	0.064	0.313	0.063	0.46	0.10
28 Mar.	n = 13	12.1	1.2	0.293	0.073	0.375	0.083	0.55	0.12
29 Mar.	n = 13	12.8	0.5	0.256	0.064	0.351	0.093	0.51	0.13
1 Apr.	n = 13	12.3	0.5	0.186	0.053	0.246	0.076	0.36	0.11
2 Apr.	n = 13	13.2	0.8	0.131	0.073	0.200	0.076	0.29	0.11
3 Apr.	n = 13	15.1	0.9	0.181	0.073	0.252	0.082	0.37	0.13
6 Apr.	n = 13	12.7	1.3	0.284	0.088	0.357	0.107	0.52	0.14
1 Aug.	n = 13	29.7	1.0	0.304	0.120	0.499	0.086	0.73	0.13
2 Aug.	n = 13	26.9	1.9	0.271	0.083	0.421	0.069	0.62	0.11
3 Aug.	n = 13	20.0	0.5	0.237	0.080	0.327	0.085	0.48	0.14
5 Aug.	n = 13	28.4	2.3	0.382	0.111	0.548	0.136	0.80	0.20
15 Aug.	n = 13	30.7	1.4	0.378	0.192	0.738	0.186	1.07	0.23
18 Aug.	n = 13	30.3	1.5	0.266	0.168	0.663	0.152	0.96	0.24

表22 軟式野球練習時の体重減少量と発汗量

(大学・男子・京都)

Date	Number of subjects	WBGT		Weight loss / hr		Sweat loss / hr		% sweat loss / hr	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
24 Mar.	n = 15	11.0	1.0	0.139	0.055	0.190	0.060	0.29	0.08
28 Mar.	n = 15	11.6	1.0	0.093	0.057	0.147	0.040	0.23	0.06
30 Mar.	n = 15	11.4	2.0	0.039	0.041	0.191	0.062	0.29	0.09
28 July	n = 14	29.2	0.7	0.122	0.044	0.506	0.124	0.78	0.19
30 July	n = 14	30.4	1.2	0.157	0.070	1.070	0.075	1.07	0.12
31 July	n = 12	29.3	1.8	0.093	0.060	0.532	0.105	0.82	0.13
1 Aug.	n = 12	28.1	1.5	0.09	0.085	0.514	0.134	0.77	0.19
3 Aug.	n = 14	21.5	0.5	0.186	0.134	0.427	0.133	0.65	0.17
4 Aug.	n = 12	22.6	1.2	0.112	0.068	0.336	0.075	0.52	0.10

表23 アメリカンフットボール練習時の体重減少量と発汗量

(大学・男子・長崎)

Date	Number of subjects	WBGT		Weight loss / hr		Sweat loss / hr		% sweat loss / hr	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
23 Mar.	n = 15	14.9	0.2	0.138	0.205	0.386	0.148	0.52	0.21
24 Mar.	n = 13	12.3	0.2	0.167	0.236	0.405	0.079	0.56	0.13
25 Mar.	n = 14	13.0	0.7	0.106	0.145	0.316	0.076	0.44	0.09
26 Mar.	n = 15	11.0	0.4	0.104	0.072	0.303	0.048	0.42	0.07
7 Aug.	n = 13	30.3	1.2	0.167	0.236	0.405	0.079	0.56	0.13
9 Aug.	n = 15	27.6	0.5	0.117	0.215	0.747	0.137	1.07	0.19
10 Aug.	n = 13	27.9	1.3	0.251	0.227	0.888	0.124	1.27	0.22
11 Aug.	n = 12	28.8	1.4	0.038	0.153	0.803	0.097	1.14	0.16
12 Aug.	n = 12	24.9	0.3	0.010	0.115	0.244	0.161	0.33	0.20

表24 アメリカンフットボール練習時の体重減少量と発汗量

(大学・男子・東京)

Date	Number of subjects	WBGT		Weight loss / hr		Sweat loss / hr		% sweat loss / hr	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
24 Mar.	n = 15	13.3	1.3	0.320	0.282	0.728	0.263	0.98	0.40
25 Mar.	n = 15	12.9	0.3	0.157	0.165	0.431	0.194	0.58	0.28
26 Mar.	n = 15	12.3	0.2	0.176	0.122	0.403	0.109	0.54	0.15
3 Aug.	n = 15	19.7	0.1	0.197	0.185	0.522	0.207	0.69	0.25
4 Aug.	n = 15	18.5	0.4	0.257	0.15	0.703	0.257	0.92	0.29
5 Aug.	n = 15	23.3	0.4	0.352	0.186	0.895	0.267	1.16	0.33
6 Aug.	n = 15	29.1	0.6	0.251	0.157	1.132	0.289	1.46	0.39
7 Aug.	n = 15	27.3	1.3	0.152	0.152	0.891	0.272	1.14	0.28

表25 ラグビーフットボール練習時の体重減少量と発汗量

(大学・男子・小樽)

Date	Number of subjects	WBGT		Weight loss / hr		Sweat loss / hr		% sweat loss / hr	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
1 Apr.	n = 12	13.2	0.7	0.030	0.198	0.365	0.058	0.51	0.08
2 Apr.	n = 11	14.9	0.2	0.198	0.208	0.403	0.092	0.57	0.11
3 Apr.	n = 9	14.3	0.9	0.195	0.123	0.560	0.117	0.77	0.13
31 July	n = 13	21.2	0.6	0.162	0.247	0.504	0.191	0.71	0.25
1 Aug.	n = 11	20.1	0.3	0.127	0.168	0.507	0.208	0.71	0.24
2 Aug.	n = 12	18.9	0.7	0.221	0.135	0.513	0.089	0.72	0.10
3 Aug.	n = 11	16.4	0.4	0.226	0.166	0.516	0.122	0.72	0.12
4 Aug.	n = 15	20.5	1.2	0.255	0.141	0.615	0.128	0.87	0.18

表24 陸上競技練習時の体重減少量と発汗量

(高等学校・男子・金沢)

Date	Number of subjects	WBGT		Weight loss / hr		Sweat loss / hr		% sweat loss / hr	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
20 Mar.	n = 11	10.9	1.0	0.243	0.164	0.246	0.158	0.40	0.26
21 Mar.	n = 10	5.3	1.0	0.358	0.150	0.358	0.150	0.60	0.27
22 Mar.	n = 9	9.5	0.5	0.281	0.276	0.281	0.276	0.47	0.47
23 Mar.	n = 9	5.0	0.6	0.337	0.261	0.343	0.255	0.57	0.44
7 Aug.	n = 11	29.5	1.7	0.410	0.326	0.617	0.255	0.68	0.55
8 Aug.	n = 9	30.8	0.5	0.503	0.201	0.712	0.133	0.82	0.36
10 Aug.	n = 11	28.1	1.4	0.365	0.279	0.538	0.379	0.88	0.62
11 Aug.	n = 11	28.1	1.6	0.435	0.219	0.604	0.194	0.10	0.34
12 Aug.	n = 10	27.2	0.7	0.361	0.227	0.600	0.328	0.99	0.55
13 Aug.	n = 10	25.9	1.0	0.600	0.286	1.069	0.417	1.76	0.70

(Sweat loss/hr : kg/hr), 1時間当たり発汗量の初期体重に対する割合 (% Sweat loss/hr : %) を示した。

体重減少量 (kg/hr) は 0.090kg/hr (野球) から 0.600kg/hr (陸上競技) の範囲であった。発汗量の最高値は 1.132kg/hr (アメリカンフットボール) が示された、この場合の最高発汗量は初期体重の 1.46% に相当した。

しかし、発汗量については環境温度の影響が大きく関係するので、WBGT と発汗量との相関関係図と回帰式から検討を行った。図 8 と図 9 は調査地域ごとの結果を示したものである。1時間当たりの発汗量については北海道 (小樽) 地方 (図 9-C) 以外は WBGT との間に有意な相関関係が認められる。しかし、体重減少量 (kg/hr) は図 8 -

C (山形) と図 9-D (金沢) 以外は有意な関係は認められない。これは、練習時に飲水による水分補給が行われてる場合は体重の減少量は必ずしも環境温度と相關しないことを示すものである。

発汗量は WBGT との間には高い相関関係が認められるが、回帰直線の傾きについては各種運動によって異なっており、これは運動強度の差を反映するものと考えられる。しかし、図 9-C, D の陸上競技とフットボールにみられる如く発汗量にバラツキが大きことは練習形態、あるいは水分補給の方法によるものと考えられる。

また図 9-C の北海道地域での測定では WBGT と発汗量に有意な相関関係が認められないのは測定の環境温度範囲が限られてる (12°C から 22°C) ためと考えられる。

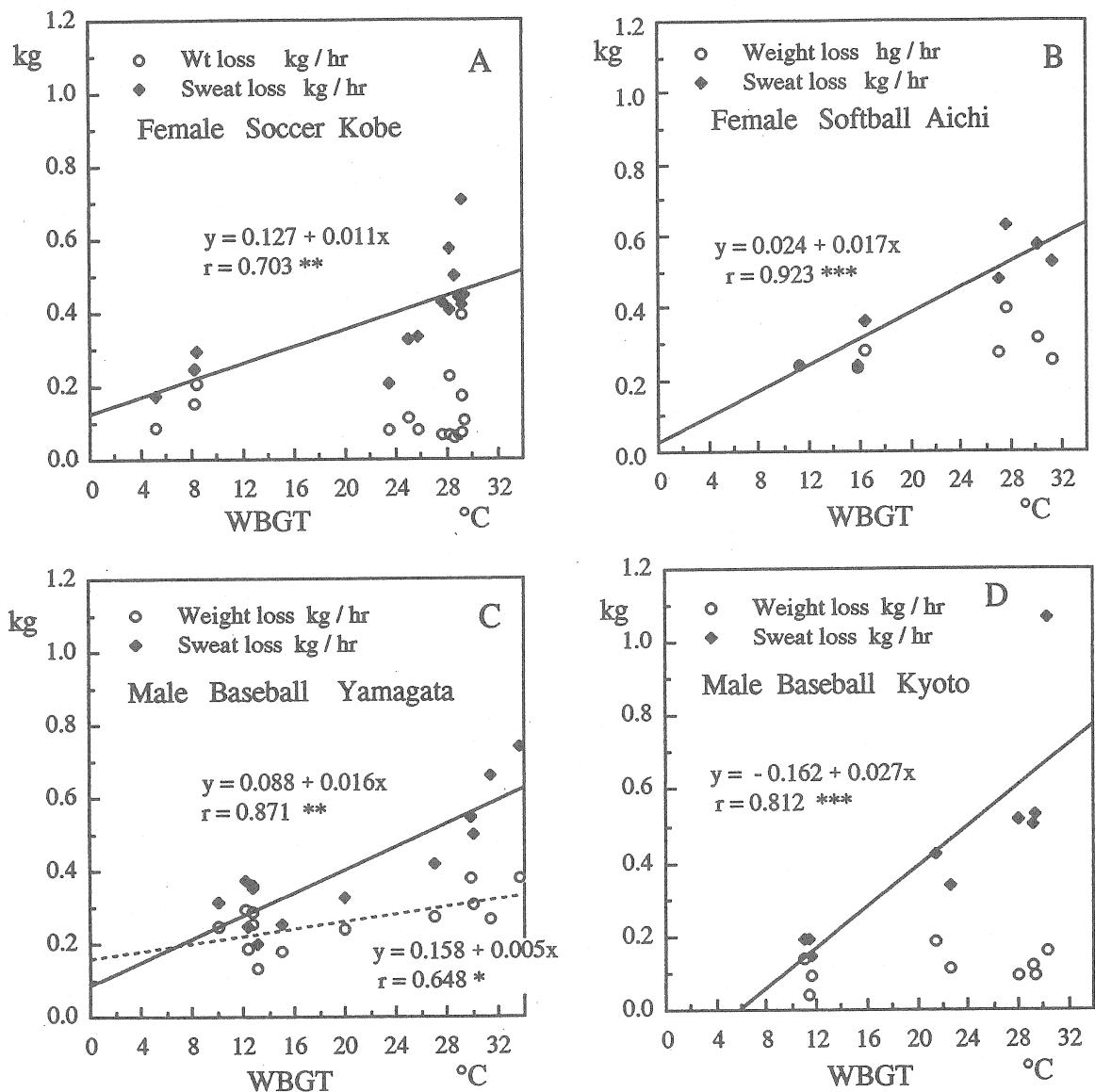


図8 練習時の体重減少量、発汗量とWBGTの関係1

A: サッカー（女子・神戸） B: ソフトボール（女子・愛知）

C: 軟式野球（男子・山形） D: 軟式野球（男子・京都）

***: p < 0.001 **: p < 0.01 *: p < 0.05

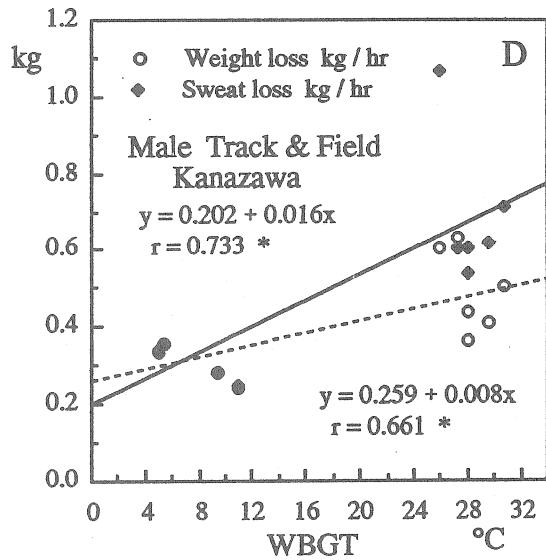
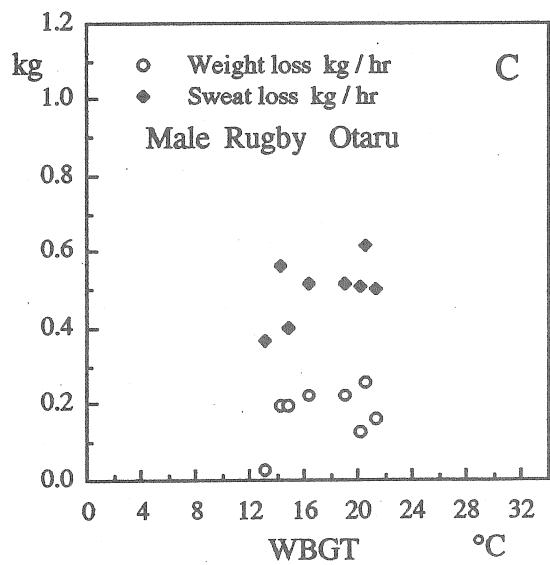
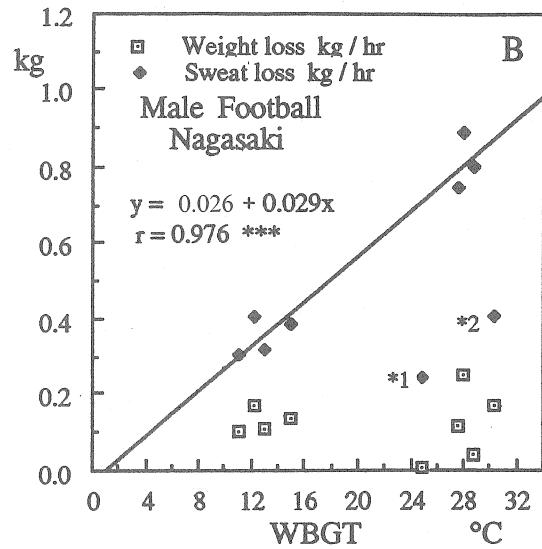
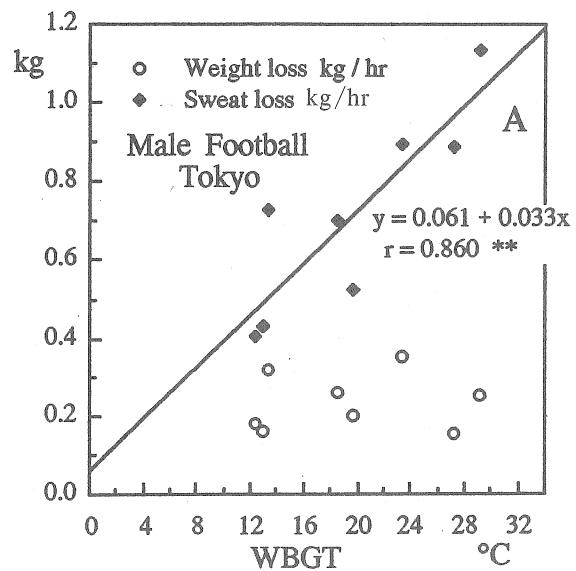


図9 練習時の体重減少量、発汗量とWBGTの関係 2

A：アメリカンフットボール（男子・東京）

B：アメリカンフットボール（男子・長崎）

C：ラグビー（男子・小樽）

D：陸上競技（男子・金沢）

*** : $p < 0.001$ ** : $p < 0.01$ * : $p < 0.05$

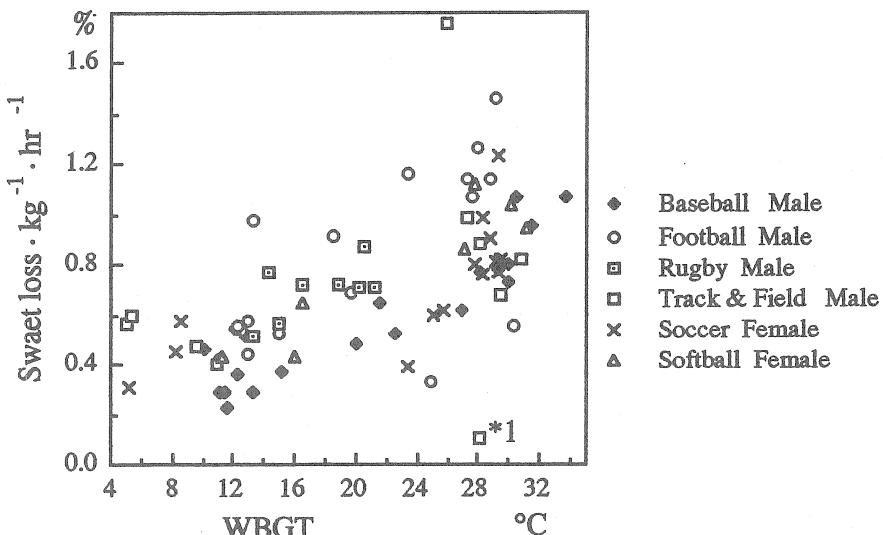


図10 運動種目別発汗率（%：1時間当たり発汗割合）とWBGTの関係

図10には水分喪失の割合（%）を運動種目別に示した。運動種目によりバラツキが認められるが全体での相関係数は有意（ $r=0.690$, $n=78$, $p<0.001$ ）と認められた。これらの資料は女子の測定結果も含まれているが、特に差はみられないものと考えられる。

なお、陸上競技（□印）においてはバラツキが大きいが、全体的には野球（◆印）が低値を示し、○印のアメリカンフットボールが高値を示した（図9-B *1と*2の2例については低値が認められるが、これは雨天日であったため練習内容が異なる）。以上のように、当然のことながら水分喪失の割合は運動強度によって異なることを現している。

3. おわりに

我が国における夏季運動時のグラウンドの環境温度の実態と発汗量と飲水量の実態についての調査を実施した。

グラウンドの環境温度はWBGTについて調査をした。午前9時から熱中症発生の危険性が高いとされる26°C以上の温度が出現することが示された。

練習時の発汗量については環境温度と相関関係が認められたが、回帰直線は運動強度の影響が示された。特に注意したことは、1時間当たりの発汗

量は最大で1ℓを越えることから、熱中症予防の観点では十分な水分補給が重要である。また、本調査結果が熱中症予防対策の基礎資料となることを期待したい。

文 献

- 1) American College of Sports Medicine (1984) : Prevention of thermal injuries during distance running. Med. Sci. Sports Exerc., 16(5), IX-XIV.
- 2) Ladell, W.S.S. : The effects of water and salt intake upon the performance of men working in hot and humid environments. J. Physiol. 127, 11-46, 1955.
- 3) 森本武利, 三木健寿, 能勢 博, 山田誠二, 平川和文, 松原周信(1981) : 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, 18, 31-39.
- 4) 森本武利(1987) : 水分摂取と塩分バランス, 臨床スポーツ医学, 4 (10), 1097-1103.
- 5) Morimoto T. : Thermoregulation and body fluids (1990) : Role of blood volume and central venous pressure. Jpn J Physiol 40, 165-179.
- 6) 森本武利, 能勢 博(1991) : 運動と暑熱障害, カレントテラピー, 9 (7), 74-77.
- 7) 中井誠一, 高野清江, 伊藤 孝(1981) : 運動中の

- 暑熱障害発生と気象条件, 保健の科学, 23, 205—208.
- 8) 中井誠一, 寄本 明, 森本武利(1990) : 夏季運動時温熱環境と温熱指標の比較, 体力科学, 39, 120—125, 1990.
- 9) 中井誠一, 寄本 明, 森本武利(1991) : 運動時の暑熱障害発生と環境温度の関係—グラウンドの環境温度の観察からー, 臨床スポーツ医学, 8 (1), 41—45.
- 10) 中井誠一, 寄本 明, 森本武利(1992) : 環境温度と運動時熱中症事故発生との関係, 体力科学, 41(5), 540—547.
- 11) 中井誠一(1992) : 運動時熱中症予防のための環境温度の測定方法の検討, 平成4年度日本体育協会
- スポーツ医・科学報告, No.VIIIスポーツ活動における熱中症事故予防に関する研究—第1報—, 35—47.
- 12) 中井誠一, 寄本 明, 岡本直輝, 森本武利(1993) : アメリカンフットボール練習時の発汗量と水分摂取量の実態, 臨床スポーツ医学, (印刷中).
- 13) Pitts, G.C., Johnson, R.E., & Consolazio, F.C. (1944) : Work in the heat as affected by intake of water, salt and glucose. Amer. J. Physiol. 142, 253—259.
- 14) 寄本 明(1992) : WBGT を指標とした暑熱下運動時の生体応答と熱ストレスの評価, 体力科学, 41, 447—484.

