環境温度と運動時熱中症事故発生との関係

中 井 誠 一****寄 本 明****森 本 武 利***

THE RELATION BETWEEN ENVIRONMENTAL CONDITIONS AND THE OCCURRENCE OF EXERTIONAL HEAT DISORDERS DURING PHYSICAL ACTIVITY

SEIICHI NAKAI, AKIRA YORIMOTO and TAKETOSHI MORIMOTO

Abstract

Deaths and morbidity due to heat disorders during physical activity were gleaned from newspaper reports between 1970 and 1990. The environmental temperatures (dry-bulb temperature and relative humidity) recorded at the closest meteorological observatory at the time of occurrence were used to calculate the wet-bulb temperature and WBGT (wet-bulb globe temperature), and the relationship between heat disorders and environmental temperature was analyzed.

During the 21-year period, 108 cases of heat disorders (91 deaths and 477 casualties) were reported in newspapers. Of the 91 deaths, 9 were in females and 82 were in males, and mean ages were 23.3 years, females and 19.0 years, males.

It was possible to record the environmental conditions at the time of the heat disorder in 99 cases. The results indicated that almost all disorders occurred at ranges higher than 25.5°C, dry-bulb temperature, and 20.0°C, wet-bulb temperature, 40% relative humidity, and 24.0°C, WBGT. The mean WBGT was 28°C at physiological intensities less than 12-RMR (Relative Metabolic Rate) and 25.8°C at RMR higher than 15.

The seasonal distribution was from April to November. In cases observed in April, May and November, abrupt rises in WBGT in the 1.2~3.4°C range were observed on the day of occurrence in comparison with the previous day, suggesting that the degree of heat acclimatization is also an important factor in preventing heat disorders.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1992, 41: 540~547)

key words : environmental temperature, WBGT, heat disorder, physical activity

I. 緒 言

運動時の熱中症は体育・スポーツ現場における非外傷性事故として内因性の突然死と並んで重要な問題である。健康の維持増進を目的とした運動に関心が高まると共に運動による事故も跡を絶たないのが現状である^{3,4,10,11,13,17)}。特に陸上競技・長距離の競技会が夏季に開催されるなど、高温環

境での練習や運動が盛んになることも予想され、運動時熱中症の発生が懸念される。

また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たらない¹²⁾。

WBGT と温熱生理学的反応の関係については

*京都女子大学
〒605 京都市東山区今熊野北日吉町35

**滋賀県立短期大学
〒522 滋賀県彦根市八坂町1900

***京都府立医科大学第一生理学教室
〒602 京都市上京区河原町通り
広小路上る梶井町465

Kyoto Women's University, Higashiyamaku Kyoto-shi, Kyoto 605, Japan

Shiga Prefectural Junior College, Hikone-shi, Shiga 522, Japan

Department of Physiology, Kyoto Prefectural University of Medicine, Kamigyoku Kyoto-shi, Kyoto 602, Japan

寄本¹⁹⁾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, 11~13, 15~18)}、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⁶⁾、中井ら¹³⁾、野沢ら¹⁵⁾、Yaglou ら¹⁸⁾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。

中井ら¹¹⁾は1970年から1979年までの10年間の新聞記事から熱中症事故の発生件数並びに発生と環境温度の関係を検討し、乾球温度 25.5℃、湿球温度 20.0℃以上で発生していることを報告した。日本国内における運動時の熱中症発生の実態を把握することは困難であるが、新聞記事からはある程度の熱中症発生の状況を概観することは可能であると考へた。

そこで、本稿では新聞記事にみられる熱中症事故発生とその際の環境温度との関係について検討した。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。

II 方 法

A. 調査の対象

本稿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もので身体運動を実施している場合とした。調査対象期間は1970年から1990年までとした。

B. 資料及び調査項目

熱中症新聞記事は「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いた。

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。

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。

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。

C. 湿球温度および WBGT の算出

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。

$$D. I. = 0.81 Td + 0.01 rh (0.99 Td - 14.3) + 46.3 \dots\dots\dots(1)$$

$$D. I. = 0.72 (Td + Tw) + 40.6 \dots\dots\dots(2)$$

なお D. I. は不快指数である。

また、WBGT (=0.7 NWB+0.2 GT+0.1 NDB) 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および湿球温度と WBGT の相関回帰直線式 (図 1) から WBGT を推定した。

D. 資料の分析

新聞記事から得られた運動時熱中症事故発生に関する状況と気象台資料による環境温度から、

Fig. 1. Correlation between WBGT and $0.7 Tw + 0.1 Td$ measured in an athletic field. Tw (wet bulb temperature) and Td (dry bulb temperature) were measured by Assmann psychrometer.

1. 発生件数 (年次別, 月別, 年齢性別) 2. 発生と環境温度の関係 (運動強度別) 3. 事故発生に係わる環境温度の変化 (1週間前からの変動) について分析した.

III. 結 果

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表 1 に示した. 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. 1978 年には 22 件の発生が見られるがそれ以外の年は 10 件以内の発生である. 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る. 表 2 に運動種目別に発生件数の多い順に示した. ランニング 19 件, 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

Table 1. Number of heat disorders during physical exercise from 1970 to 1990.

Year	Cases*	Death	Disorder**
1970	2	2	0
1971	1	1	0
1972	2	2	0
1973	1	0	6
1974	1	0	8
1975	3	3	11
1976	3	2	60
1977	6	3	81
1978	22	21	195
1979	7	6	36
1980	5	1	54
1981	8	9	1
1982	5	4	10
1983	9	9	0
1984	8	8	0
1985	3	2	1
1986	6	6	4
1987	9	5	10
1988	2	2	0
1989	2	2	0
1990	3	3	0
Total	108	91	477

*: Number of reported cases.

**: Include multiple cases.

Table 2. Physical activities and heat disorders reported from 1970 to 1990.

Activities	Cases*	Death	Disorder**
Running (Jogging)	19	17	13
Mount climbing	18	17	1
Competition of distance run	14	8	167
Baseball	13	12	1
Rugby football	6	6	0
Opening ceremony	6	0	238
Soccer	4	4	7
Tennis	4	3	1
Walking	3	3	11
Judo	3	3	1
American football	2	3	2
Kendo	2	2	0
Golf	2	2	0
Handball	2	2	0
Softball	2	2	0
Others	8	6	35
Total	108	91	477

*: Number of reported cases.

**: Include multiple cases.

で複数の障害例があるためである. 例えば開会式では 120 例や 25 例の発生や, 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.

性別と年齢が明らかな 91 例のうち男性は 82 例で, その平均年齢は 19.0 歳. 50 歳以上は 4 例で最高は 65 歳である. 女性 9 例の平均年齢は 23.3 歳であり, 最高は 77 才 (1 例) である. 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多いので若年層が大半を占めている.

月別発生件数は 108 件中 100 件まで 6 月, 7 月, 8 月に集中しているが, 4 月に 1 件, 5 月に 3 件, 9 月に 3 件, 11 月にも 1 件の発生がある.

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 2 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. 図の上段 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示し, さらに下段 C は WBGT と相対湿

Fig. 2. Dry bulb temperature and relative humidity (A), dry bulb temperature and wet bulb temperature (B), WBGT and relative humidity (C) at the time of heat disorders during physical activities. The legend shows intensity of physical activity in RMR (Relative Metabolic Rate).

度の関係について示した。図2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は負の相関関係が認められる。

運動強度と発生時の温度については、図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度以上に分布する。24度から27度の範囲にはx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℃, RMR5-7が28.6℃, RMR10-12が28.4℃, RMR15以上が25.8℃となり、RMR12以上ではそれ以下の強度と比べて有意に低いといえる。

WBGT 25.9℃以下で発生した20例について

Table 3. Physical activities and environmental conditions at the time of heat disorders observed under 25.9°C (WBGT).

No.	M *1	WBGT °C	DB °C	rh %	WB °C	Activities	RMR	City
1	5	21.6	31.5	23	17.2	Compet. distance run*2 high school student	15.6	Komatsu
2	5	23.2	28.3	42	19.2	Compet. walking high school student	7.3	Kawagoe
3	9	23.5	26.1	55	20.0	Opening ceremony high school student	3.0	Chiba
4	8	23.8	27.0	52	20.2	Running junior high student	12.0	Kitami
5	4	24.1	25.5	74	22.4	Compet. distance run high school student	15.6	Izumo
6	8	24.2	26.1	60	20.8	Compet. distance run advanced age	15.6	Asahikawa
7	5	24.4	25.6	65	21.0	Wangan Compe. distance run	15.6	Tokyo
8	6	24.8	27.0	58	21.3	Opening ceremony high school student	3.0	Ohita
9	6	25.1	26.3	65	21.8	Tamagawa Compet. distance run	15.6	Tokyo
10	6	25.1	27.7	56	21.5	Running	12.0	Akashi
11	7	25.1	25.6	70	21.8	Rugby football	5.2	Niigata
12	7	25.4	29.7	48	21.6	Mount climbing	4.8	Fukushima
13	9	25.4	25.5	73	22.2	Compet. distance run advanced age	15.6	Shizuoka
14	6	25.7	28.7	54	22.0	Gate ball	2.0	Obuse
15	8	25.7	25.9	72	22.4	Soccer	5.3	Suwa
16	6	25.7	26.7	66	22.3	Hiking (Wandering)	4.8	Tanzawa
17	8	25.7	26.6	67	22.4	Running	12.0	Numazu
18	6	25.8	26.1	71	22.5	Judgement softball	2.0	Utsunomiya
19	6	25.9	32.0	41	21.8	Koohkyo Compet. distance run	15.6	Tokyo
20	6	25.9	32.0	41	21.8	Cheering	5.0	Tokyo

*1 : Month, *2 : Competition of distance running, DB : Dry bulb temperature, WB : Wet bulb temperature, rh : relative humidity, RMR : Relative Metabolic Rate.

Fig. 3. Changes in WBGT in 7 days preceding the day of heat disorder. The legends indicate the occurrence in April (Apr-1), May (May-1, -2, -3) and November (Nov-1).

運動種目と環境温度を表3に示した。最低温度(WBGT)は21.6℃で5月に発生した例である。温度別の発生件数は23度台で3例、24度台では4例、25度台では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℃以上の値を示したのは20例のうち14例であった。

図3は4月(Apr-1)、5月(May-1, -2, -3)、11月(Nov-1)に発生した例について発生日前1週間のWBGTを示したものである。図中黒丸印(May-3)の例を除けば発生日まで徐々にWBGTが上昇している。発生日21.6℃であった例(図3では○印のMay-1、表3の症例1)では前日は19.1℃、発生日までの7日間の平均値は15.6℃であり、発生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黒丸印の例(May-3、表3の症例7)は前日と前々日は25.2℃、24.7℃と発生日より高値を示すが、3日前は23.3℃でありそれ以前の5日間の平均は21.4℃で発生日との差は3.0℃であった。

IV. 考 察

新聞記事に記載された、スポーツ・運動場面における熱中症発生件数から各年次における発生件数を比較することは困難である。しかし、発生時の環境条件を検討することは可能である。

中野ら¹⁰⁾は本邦における熱射病、運動後の横紋筋融解症について運動の種類と発生時期並びに発生年齢を示し、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、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¹⁰⁾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参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。

一方熱中症の危険因子として強く関係する環境温度について、108件の熱中症のうち、気象台の

測定値から環境温度が得られた99例について検討すると、乾球温度25.5℃以上、湿球温度20℃以上、相対湿度40%以上、WBGTにすると24℃以上で発生している。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29℃と90%を結ぶ範囲以下をZone 1(安全)とし、32℃と100%を結ぶ範囲以上をZone 3(極めて危険)、1と3の中間をZone 2(危険)としている。今回の結果でZone 1に入るのはわずか3例であり、18例はZone 2で、その他はZone 3の極めて危険の範囲である。

気象台の測定値を基にして運動時の熱中症発生温度を示したものとして、Hartら⁵⁾は31.6℃、80%、Hughsonら⁶⁾は24.3℃、49%と31.8℃、61%さらに高橋ら¹⁶⁾は31.2℃、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して報告されたものである。高橋ら¹⁶⁾の報告は1978年福島市で発生したもので今回の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℃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℃、WBGT 21.0℃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も共通性がある。

運動の強度別に事故発生時のWBGTの平均値を求めるとRMR 12以下では28℃台になり、WBGT 28℃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¹⁾やHughsonら⁷⁾の報告と一致し、この値が許容限界と考えられる。

4月、5月および11月に発生した例について、事故発生前1週間の温度変化を見ると、発生日までに温度が徐々に上昇している。また表3に示したWBGT 25.9℃以下で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℃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¹³⁾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¹⁵⁾は自衛隊訓練時のグラウンド温度を観察し、暑熱障害発生時の対象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。

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¹⁴⁾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℃の場合は乾球温度 31.5℃、相対湿度23%で晴天の状態であり、前述の著者ら¹⁴⁾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。

V. 総 括

新聞記事にみられる運動時熱中症発生時の環境温度を調査した熱中症発生と環境温度の関係について検討した。

1970年より1990年までの21年間で108件(死亡者数91例、障害者数477例)のうち99例について環境温度を調べることができた。

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、RMR 12以下の運動強度では28℃台であり、RMR 15以上では25.8℃であった。

25.9℃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週間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ている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。

謝 辞

新聞記事の抽出について1978年から1987年までについては平川和文氏(神戸大学)の協力によるものである。ここに記して感謝の意を表す。

本稿は第46回日本体力医学会大会(1991年)と第30回日本生気象学会総会(1991年)において発表した。

(受付 平成4年2月19日)

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. 慶応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. 慶応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. and 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. and Sutton, J. R. (1980) : Heat injuries in Canadian mass participation runs. *Canadian Med. Assoc. J.*, **122**, 1141-

- 1144.
- 7) Hughson, R. L., Staudt, L. A. and Mackie, J. M. (1983) : Monitoring road racing in the heat. *Physician and Sportsmed.*, **11**(5), 94-105.
- 8) Minard, C. D., Belding, H. S. and Kinston, J. R. (1957) : Prevention of heat casualties. *J A M A.*, **165**, 1813-1957.
- 9) Murphy, R. J. and Ashe, W. F. (1965) : Prevention of heat illness in football players. *JAMA.*, **194**, 650-654.
- 10) 中野 徹, 高橋芳洋, 落合恒明(1989) : 熱中症. 臨床スポーツ医学, **6**, (臨時増刊号), 80-83.
- 11) 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.
- 12) 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**, 120-125.
- 13) 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**, 41-45.
- 14) 中井誠一, 寄本 明, 森本武利(1991) : 夏季運動場の環境温度と気象台観測値の関係. 日生氣誌, **28**(3), 81.
- 15) 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.
- 16) 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—2剖検例の検討—. 医学のあゆみ, **106**, 782-784.
- 17) 徳留省悟(1986) : スポーツ中突然死の実態—種目・死因をめぐって—. 医学のあゆみ, **137**, 442-444.
- 18) Yaglou, C. P. and Minard, C. D. (1957) : Control of heat casualties at military training. *Am. Med. Ass. Archs. Ind. Health.*, **16**, 304-314.
- 19) 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.