

グラウンド条件による微気候変化と Heat Stress

三井淳蔵・鈴木克三・宇津野年一・山崎良比古
布目和夫*・穂丸武臣**・大場義夫***

体育教室
(1977年9月10日受理)

Variation of Micro Climate and Heat Stress on Ground Conditions.

JUNZO MITSUI, KATSUMI SUZUKI, TOSHIKAZU UTSUNO, YOSHIHIKO
YAMAZAKI, KAZUO NUNOME, TAKEOMI AKIMARU, YOSHIO OBA.

Department of Physical Education
(Received September 10, 1977)

Two adjacent school ground of asphalt and turf served as the data collection for a comparison of micro climates characteristics (dry bulb temperature, globe temperature, relative humidity, air velocity, ground subsurfaces temperature) and heart rate, rectal temperature, mean skin temperature and metabolic heat production ($\text{Kcal}/\text{m}^2/\text{min}$) of four young male subjects during series work (Rest: 30min, Bicycle ergometer work: 30min, Recovery: 20min).

The results indicated that the globe temperature, subsurfaces temperature, heat stress index (WBGT) and metabolic heat production during bicycle ergometer work on asphalt ground were significantly different compared to that of turf ground ($0.01 > P$), and that a coefficient of correlation to metabolic heat production and rectal temperature, WBGT and rectal temperature during work were 0.88 and 0.77 respectively.

The findings suggest that the effect of heat stress on body may be higher when exercise and competition take place on asphalt ground.

1. はじめに

甲子園夏の高校野球大会をはじめ、激しい筋活動を伴う幾多のスポーツや長時間高温に曝露されなければならない職場は、夏ともなれば日本特有の高温高湿の中で行はれることになる。

ある県民体育大会では、 30°C を越すグラウンドで、開会式中に約70名ほどの中学生や女子高校生が倒れたという報道や、高校ラグビー部員2名が7月末の合宿練習中に倒れ熱射病と診断され、翌日には死亡が報道されたこともある。米国ではアメリカンフットボールの練習中の熱中症による死亡が問題にされ、その予防に関する研究報告もある¹⁾。しかしまたヨーロッパの炭坑夫はE.T79°F (注、およそ気温 30.2°C 、相対湿度70%、風速 $1.5\text{m}/\text{sec}$ に相当する)という高温で作業しているが10年間熱中症は起っていない²⁾という。昨年夏(1976)、ヨーロッパ

は酷暑に見舞われ、南マンチェスターの大学病院の冷防設備のない病棟の老人入院患者の死亡率が有意に増加したという³⁾。

気温が 30°C を超えるような環境条件のもとでの激しい運動や労働は、エネルギー代謝を亢進し、深部体温の上昇や心拍数の増加等の機能負担の増大とともに発汗による水分・塩分の喪失により⁴⁾、疲労と蓄熱の増大が体温調節機序の失調をきたし、ついには熱中症となって倒れることになる。この熱中症は一般にその程度により、熱疲労・熱虚脱・熱射病とに分けて考えられているようである。ことに熱射病は医学的に急性な事故で死亡率も高く、その80%は50歳以上の人に多いという⁵⁾。このように高温環境は健康なスポーツマン、労働者はもとより、老人・病人等の弱者にはより大きな負担となるであろう。職場においては当然労働者の健康保持という立場から

* 愛知淑徳大学 ** 名古屋市立保育短大 *** 東京大学健康教育

作業環境の至適温度という事は考えられなければならない。この見地から“高温に順応した健康な成年男子労働者が、健康で安全にかつ著しい能率の低下をきたさずに1日8時間の作業に従事するため”「日本産業衛生協会許容濃度等に関する委員会」(昭和45年度)は高温(30°C、相対湿度70%、気流0.1m/sec以上をいう)の許容基準を作業強度、曝露時間、温度によって示している⁶⁾。

米国のACGIH (American Conference Governmental Industrial Hygienists) は1971年 Heat Stress の許容基準の勧告をしている。これまでの許容基準は深部体温が38°Cを超えないことを仮定して求められていた。そこで生体の高温負担を監視する指標として深部体温等の生理的反応と近い相関にある環境因子として WBGT が選ばれるようになった。このような生物学的な温熱指数としての実効温度 (Effective Temperature)⁷⁾⁸⁾ 標準作用温度 (Standard Operative Temperature)、発汗量からみた Heat Stress Index としては McArdle らによる P4SR Index 等がある⁹⁾。しかし Yaglow と Minard¹⁰⁾ は軍人訓練中の熱中症防止のための指標として WBGT (Wet Bulb-Glove Temperature) を示し、これが今日では米国の権威ある Heat Stress Index として使用されている。

人間はいずれにしても環境温度の高低により、種々な影響を受けるわけであるが、体内における産熱と体外への熱放散により体温は平衡を保ち、一般にその熱収支は、

$$\text{代謝産熱} - \text{蒸発土対流土輻射} = 0$$

と考えられるが、この式には気温・相対湿度・気流等の因子が含まれており、その各々が、或は幾つか同時に我々を取りまく環境の Heat Stress 要因となり、身体活動の程度との相乗作用により、より大きな Heat Stress となるであろう。このような観点から高温曝露時の発汗¹¹⁾や発汗能力、発汗量¹²⁾、汗の蒸発度¹³⁾についての報告がある。また温熱に対する順応や耐性についての報告や¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾日本特有の湿度についての快適感からみた報告もある²⁰⁾²¹⁾²²⁾。しかし近年大都市における学校の運動場管理は雨後の利用や画線等による効率から、クレイグラウンドよりアスファルトグラウンドが簡便であるように思われ、またスポーツ競技場においても天然芝に代り、人工芝の出現がみられる。このような人工的なもの殊にアスファルトグラウンドにおける運動中の擦過傷、打撲傷への配慮はもとより、夏の強い日照時の身体への影響も考えられなければならない。Buskirk らは²³⁾ Astro-Turf による暑い日の身体への Heat stress は天然芝に較べ非常に高いことを示し輻射、気温の上昇という二通りの附加的な熱に曝露されていると報告し、プレーヤーの生理的調整の在り方について示唆している。Walter ら²⁴⁾は21日間にわたり人工芝と天然芝上の微気候変化を測定し、

人工芝における Heat stress の大きい事を予測している。そこで今回は校庭としてアスファルトグラウンドが使用された場合に、アスファルト上の微気候特性が子供達の身体にどのような影響を及ぼすかを知ることを目的として、天然芝の園庭における特性とを比較検討しようとするものである。

2. 方法

1) 測定場所

名古屋市北東部に位置する尾張旭市のある女子短期大学の校庭で、校舎に続くアスファルト広場(約30m×60m)の中央とその隣接する天然芝の園庭(約50m×60m)の中央の二地点を選び、それぞれの地点で同時に環境条件と作業時の生理的反応の測定ができるようにした。

両地点間の距離は約30mで、その中央を検者らの測定位置とした。

2) 環境測定²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾

気温、黒球温、相対湿度(アスマン通風計による)、風速(熱線式風速計)、地表面下温(表面より約2cm下)。地表面下温を除いて、これらは全て自転車に乗った被検者の体の位置を考慮して、地上約1.2mの高さとし、その上に直射日光を避けるためアルミ薄をかけた覆いを設置した。

3) 測定日時

環境測定は7月13日～21日の9日間にわたり、毎日午前11時、午後1時、3時、5時の4回両地点で同時に行った。

被検者に対する一連の作業は、同日の午後3時～4時30分にわたり。同時に両地点において2名の被検者に課せられた。

4) 作業方法

アスファルト広場(以後アスファルトと呼ぶ)と芝生園庭(以後芝生と呼ぶ)の両地点にそれぞれモナーク自転車エルゴメーターを置き、被検者2名が同時に自転車で30分間曝露による環境順応を行い、その後1分間50回転、抵抗1.5Kpの割合で自転車エルゴメーターのペダリング作業を30分間行う。作業後は作業前同様自転車で約20分間回復過程とした。

この一連の作業が終了すると、翌日2名の被検者は、場所を交代して同様な一連の作業を実施する。但し、被検者にはアルミ薄を張った傘をさしかけ、直射日光を避けた。なお作業負荷量の1分間50回転、1.5Kpの抵抗はあらかじめ行ったテストより、安静時心拍数の1.5倍を目安としたものである。

5) 作業測定

30分間曝露—30分間作業—20分間回復の一連の過程の間、

3分間隔で心拍数(胸部誘導), 直腸温, 前額部, 前腕部, 大腿部, 背胸部各皮膚温(サーミスタ体温計)の測定と呼吸ガス採取(ダグラスバッグ使用)と分析(フグダ式ブレスアナライザー使用, 精度, 検ガス比, O₂: ±0.5%, CO₂: ±0.01%)を行った。

各部位で測定された皮膚温より平均皮膚温(\bar{T}_{sk})を, 皮膚面積の割合に従って計算した。

$$\bar{T}_{sk} = (0.19 \times \text{前腕部温}) + (0.07 \times \text{前額部温}) + (0.39 \times \text{大腿部温}) + (0.35 \times \text{背胸部部温})$$

6) 被検者

16歳の男子4名, 彼らはすべて高校の運動クラブに所属し, 形態的によく類似している。

服装は綿半袖シャツ, テロンショートパンツを用い, 4着ともに同一素材, 同型のものを使用した。

彼らの身体的特性を表1に示す。

Table. 1 Physical characteristics of subjects.

Subj	age	body height cm	body weight kg	body surface area m ²
1	16	172	66	1.79
2	16	172	65	1.78
3	16	171.5	59.5	1.71
4	16	171	62	1.74

Table. 2 Mean values of micro climate changes at three in the afternoon for nine days on turf and asphalt ground.

Measurement Site		Globe-thermometer °C	Assman Aspiration Psychrometer		Relative Humidity %	Wind Velocity m/s	Subsurface Temperature °C	WBGT	Air Temperature °C
			Dry Bulb °C	Wet Bulb °C					
Turf	mean	38.9**	31.2	24.9	60.7	1.03	34.4***	28.36*	33.9
	SD	1.26	2.05	1.56	9.2	0.62	2.29	1.14	3.05
Asphalt	mean	40.6**	33.1	24.9	58.2	0.94	44.3***	29.54*	35.5
	SD	0.59	4.89	1.18	9.8	0.31	4.9	0.79	1.43

* 0.05>P ** 0.01>P *** 0.001>P

$$WBGT = (0.7 \times \text{Wet Bulb Temp.}) + (0.2 \times \text{Globe Temp.}) + (0.1 \times \text{Dry Bulb Temp.})$$

ば, それだけで充分大きな Heat Stress が加えられているといえよう。Nadel²⁸⁾ は現在私ともが利用している平均皮膚温算出のための Hardy & DuBoi の式に対し, 皮膚各部位の熱照射実験から顔面の温度感覚が最も強いと主張し現在の平均皮膚温の顔面算出比の加重を3倍にせよといっている。この意見に従えば, 今回の被検者は, 手足と顔面が曝露されており, アスファルト上の熱輻射は大きく影響していることになる。

アスマン通風計を用いて求めた相対湿度は芝生に対し

3. 結果とその検討

1) 環境条件

9日間の測定期間中, 幸にも比較的良好な天候に恵まれた。早朝の雷雨かもしくは実験終了後の夕立があり, 午前11時頃は不安定な天候状態があったが, 正午を過ぎる頃からは真夏の太陽が輝き, 午後3時には毎日安定した天候条件が得られたので, 午後3時の9日間の平均を表2に示した。

気温(乾球温)の最高値はアスファルト上では38.6°C 芝生上では36.5°C が得られた。高温環境の許容基準で高温とは乾球30°C, 相対湿度70%, 気流0.1m/secであるといわれている。この基準からみればアスファルト上, 38.6°C, 芝生上36.5°Cの最高気温が記録されたことは湿度, 気流, 作業強度を考慮するまでもなく高温環境であるといわざるを得ない。

黒球温の最高値はアスファルト上では43°C, 芝生上では39.5°C示し, アスファルト上と芝生上との間では, 最大6°C, 薄曇り時においてさえ1.0~1.5°Cの差があり, それぞれの平均値の間には有意差が認められた。(0.01>P) 黒球温度計は環境の熱輻射, 伝導, 対流の三つの作用による熱収支が行はれた結果を示すもので, 直接人体へ影響される熱エネルギーと考えられる。この点からみて, 芝生上より有意に高い熱輻射が認められるとすれ

アスファルト上がやゝ低いといえる程度であり, この違いは, おそらく芝生地における地中からの水分の蒸発によるものではないだろうか。いずれにしても, 両地点における平均測定値の間に有意差は認められなかった。9日間を通じ, 1日だけ, 芝生上78%, アスファルト上71%の湿度が記録されたが, 平均して比較的快速な湿度であったといえよう。

風速は芝生上でやゝ強く0.7~1.5m/sec, アスファルト上では0.4~1.2m/secであり, 湿度がやゝ高い値を

示しているにもかかわらず、感覚的にも芝生上の涼しさを知ることができた。しかし両地点の平均風速の間の差は検定されなかった。

地表面下温は、地表面から約2cm下において測定した。これは表面気流や直射日光に災されないことと、アスファルトの厚さ、芝生の根の位置とを考慮したものである。この温度は、アスファルトでは常時芝生より高い温度を示し、 10°C 前後の差がみられた。 $(0.001 > P)$ 。アスファルトは直射日光を受け、太陽エネルギーをそのまま吸収蓄積したような状態であり、当然芝生や土砂のように伝導、蒸発等による熱放散も少なく、著しい暑気をもたらすことになり、その結果が芝生地との差 10°C となっているのであろう。このような高温に対し、Shvartz¹⁷⁾のいう湿度の高い場合体格(体表面積/体重)の相違による耐熱性への影響については、被検者の体格が全員ほぼ同じ範囲に入るの、考慮から除外してもよからう。

輻射熱、湿度を考慮した生物学的立場からの指標としての Heat stress Index, WBGT を次式によって求め¹⁰⁾、その平均値を表2の中に示した。

$$\text{WBGT} = (0.7 \times \text{湿球温}) + (0.2 \times \text{黒球温}) + (0.1 \times \text{乾球温})$$

気温や湿度においては、アスファルト上と芝生上との間に差が認められなかったが、WBGTの平均値に差が認められた。 $(0.05 > P)$ 。

労働環境の Heat Stress Index として使用されているとすれば、この WBGT を今回の実験におけるような教育環境(体育、スポーツ等)の指標として、おき代えて検討することも必要となるであろう。

2) 心拍数

図1の下段に示したように、作業開始前の30分曝露中の心拍数変動率の平均は、アスファルト上も芝生上もその変化に差はなく、安静時よりそれぞれ12%、7%の上昇であった。しかし作業開始と同時に急激に上昇し、3分目で、アスファルト上では80%、芝生上では54%の増加となった。その後両者とも増加を示し、30分目にはそれぞれ110%、84%の増加となり、この両者の間には常時30%前後の差がみられた。

作業終了後は直ちに低下したが、20分後においても曝露前の安静状態までは回復しなかった。D. Mitchell²⁹⁾や Eichna, L. W³⁰⁾は温熱曝露中の心拍数の低下が順応に対する緊張指数であるといい、順応すれば3日目頃より低下することを指摘している。今回の作業前曝露中12%、7%の上昇は、熱順応テストを行ったわけではないので確かではないが、heat stress に対する緊張を示しているように思われる。

3) 平均皮膚温

図1の中段に示したように作業前の30分曝露開始と同時にアスファルト上と芝生上では皮膚温の変化の様相が異りはじめた。

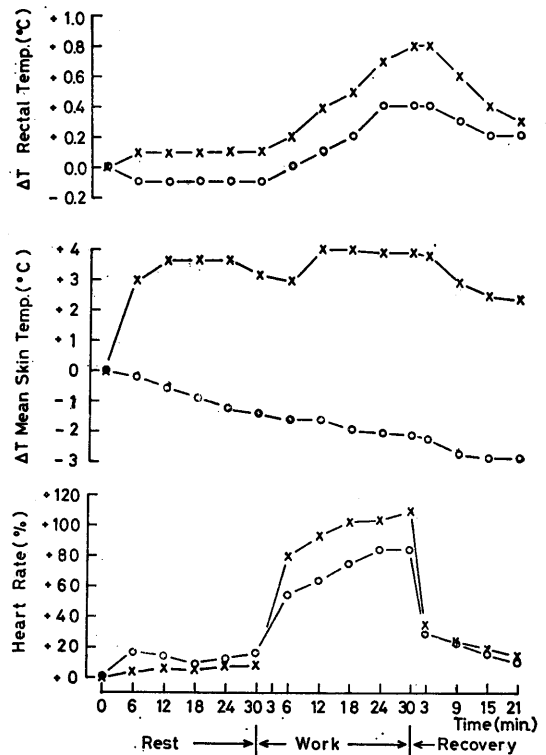


Fig. 1 Upper: change of the difference of mean rectal temperature between quiet and during rest-work-recovery of four subjects. Middle: change of the difference of mean skin temperature between quiet and during rest-work-recovery of four subjects. Lower: change of heart rate during rest-work-recovery. Open circles are values for turf ground, crosses for asphalt ground.

アスファルト上では9分目に安静時より平均 3.7°C 上昇し平衡を維持していたが作業開始と同時に平均 0.7°C 低下した。作業開始に伴う初期皮膚温の低下は江橋、芝山³¹⁾のいう一時的な低下であろうと思はれるが、今回では発汗についての測定ができず、この点については今後の課題となる。また12分目には再び上昇し、作業中は平衡を保った。しかし作業終了20分後も安静時より平均 3°C 高かった。これに対し芝生上では全く対照的な現象となり、曝露開始と同時に低下しはじめ、作業中、作業後も継続的に低下した。これは芝生上での感覚的な涼しさが皮膚温の低下と関係あるものと思はれる。Le Blanc³²⁾は顔面の冷却が血圧や心拍数へ影響し、皮膚温の低下、

快適感評価へも影響しているという。先述のNadelも環境の温熱は顔面において最初に知覚されるという報告にもあるように、アスファルト上より涼しいという感覚的なものが、一般にいわれる皮膚温は環境温に左右される³³⁾ということにあてはまるようである。

4) 直腸温

安静時平均直腸温 (37.6°C) に対する増減の時間的経過を図1上段に示した。安静時直腸温に対し、作業前曝露中は殆ど平衡を維持したが作業開始と同時に徐々に上昇し、アスファルト上では0.8°C、芝生上では0.4°C上昇した。作業終了後3分目頃までは平衡が保たれた。この両者の間には最大0.4°Cの差が記録されたが、有意性は認められなかった。その後徐々に低下したが回復20分目においても、両者の直腸温は安静時より高く低下の様子はなかった。

直腸温は環境温に影響されない³³⁾といわれているが、作業中の直腸温の変化量は環境のHeat Stress Index WBGTとの関係において(図2)高い相関($r=0.73$)にあった。作業負荷量を一定としたとき産熱はやはりある程度までは、環境の熱放射許容度の影響を受けているようである。産熱に関しては図4に示したように作業中はアスファルト上において、芝生上より有意に高いエネルギー代謝が行われている。しかしこれが直腸温では両者の

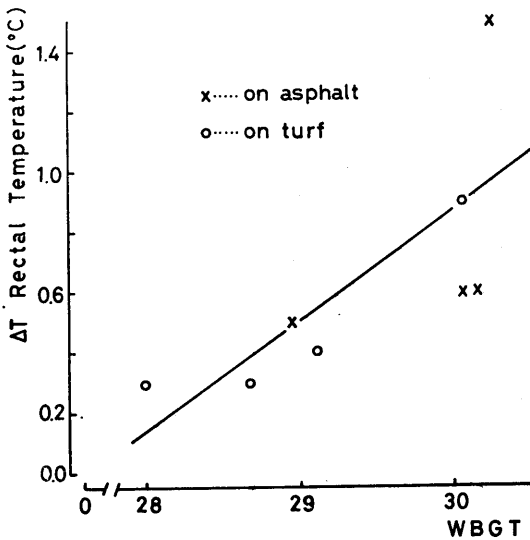


Fig. 2 Relationship of rectal temperature and heat stress index (WBGT) at the thirtieth minute of work.

$y=0.34x-9.36 \quad r=0.73$

間に有意差を認めることができなかった(差0.4°C)。そこで図3において直腸温の変化量と、産熱量の関係を示してみた。この間には $r=0.88$ という高い相関がみられ、

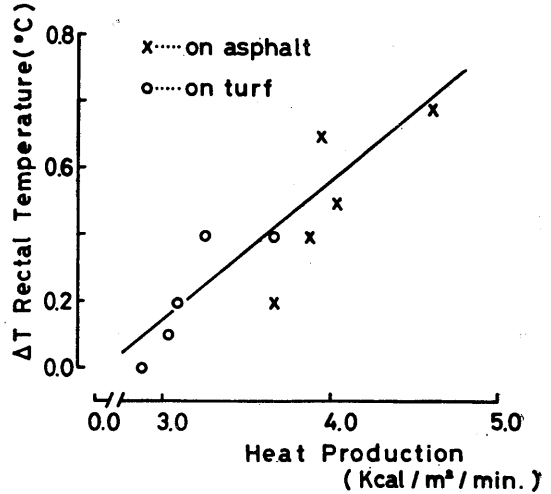


Fig. 3 Relationship of rectal temperature and metabolic heat production (Kcal/m²/min) during work.

$y=0.41-1.1 \quad r=0.88$

産熱量が大きくなれば体温も上昇することを示している。しかし我々の体温は或る程度有意に産熱が増加しても、調節中枢により、これがコントロールされ、発汗その他の方法により恒常性を維持しているものと考えられる。先に述べたように、今回は発汗に関する検討が行われていないので、明確にできないが、D. Mitchell²⁹⁾らのいう発汗と蒸発率が増加すると核体温の有意な低下がみられるという報告の通りであろう。作業終了20分後においても安静時の状態にまで回復しなかったが、これはÅstrand³³⁾や中山³⁴⁾のいう体温調節に関する“セットポイント”があり、運動時には安静時よりも高いところにセットポイントがあり、そのために上昇した体温は、最初の安静時の低いセットポイントまで低下しなかったのではないだろうか。

アスファルト上と芝生上での気温約2°Cの差が、同一負荷の作業において、平均0.4°Cの直腸温の差となってあらわれているのは、アスファルト上における感覚的な暑さが生理的に影響しているとみてもよいであろう。

5) 代謝産熱

呼気ガスの採取、分析により求められた酸素摂取量より、1分間の単位体表面積当りの消費カロリーを算出しその平均値を時間経過に従ってプロットしたものが図4である。作業前曝露時、作業終了9分以降においては両地点での代謝産熱に差はなく、安静時の状態と変らなかった。しかし作業開始と同時に換気量および酸素摂取量は増加した。芝生上での作業中の1分間当りの消費カロリーは2~3.6Kcal/m²で一般に軽労作といわれるエネルギー消費に相当する。しかしアスファルト上では2.8

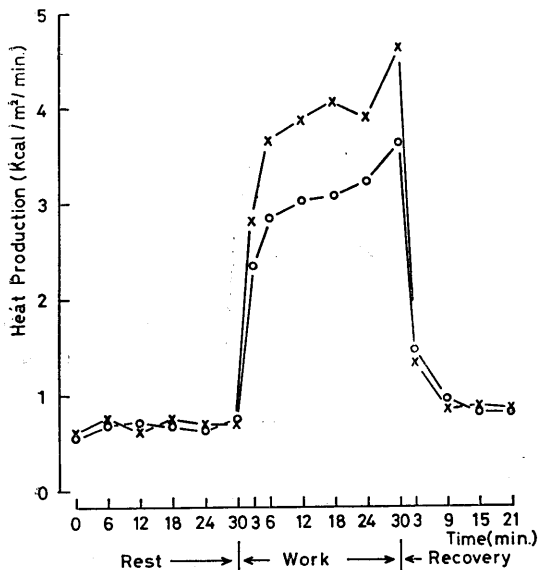


Fig. 4 Change of metabolic heat production (Kcal/m²/min) during rest-work-recovery on turf (open circles) and asphalt (crosses) ground.

~4.6KCal/m² となり中等度労作に相当する。この作業中の両者の間には有意差が認められた (0.01>P)。堀ら³⁵⁾は高温環境下ではより多く蓄積される体熱の放散のために、エネルギーの増加分が費されるであろうと説明しているように、同一作業負荷でもアスファルト上での代謝産熱の増加分は、体熱放散に費され直腸温の大きな上昇とはならないのかもしれない。

4. まとめ

子供の遊び場、校庭としてしばしば見受けられるアスファルトグラウンドについて、そのアスファルト上における微気候特性を把握し、その特性がどのように生体に影響を及ぼすかを知るために、30分間曝露-30分間作業-20分間回復という一連の作業を行い、隣接の天然芝の園庭で同時に同一方法で行った一連の作業結果と比較したその結果。

環境条件について (9日間、毎日午後3時の平均)

1. 気温 (乾球温) は両地において温度差は認められなかったが、アスファルト上で 35.5°C (± 1.43)、芝生上で 33.9°C (± 3.05°C)、を記録した。

2. 熱輻射の指標である黒球温度は、アスファルト上で芝生上より有意に高く (0.01>P)、常時40°Cを超えていた。

3. 気流、相対湿度においては両地間に有意差は認められなかったが芝生上では感覚的に涼しさを充分に知る

ことができた。

4. 地表面下温 (表面より2cm下) は、アスファルトの温度が芝生の温度より10°C高く (0.001>P)、強い Heat Stress の大きな要因となっている。

5. 生物学的立場から作られている Heat Stress Index としての WBGT (Wet Bulb-Glove Temperature) もアスファルト上では芝生上より高かった (0.05>P)。

生理的反応について、

1. 作業中の心拍数は、安静に較べアスファルト上で約2倍、芝生上で約1.8倍となり、アスファルト上がやや高かった。

2. 芝生上での平均皮膚温は、感覚的な涼しさが有効であるのか、或は発汗・蒸発効果が有効であるのか明確にはならないが、安静時に較べすべての過程において低下した。しかしアスファルト上では、環境温の影響を受け、曝露6分目に約3°C上昇し、作業中も平衡を保った。

3. 直腸温については、他の報告にみられるように、代謝産熱と高い相関を示した ($r=0.88$)。また WBGT とも相関があり ($r=0.77$)、作業中はアスファルト上でやや高い値 (平均 0.4°C) が示された。

4. 作業中の代謝産熱 (Kcal/m²/min) は、アスファルト上において芝生上より有意に高く (0.01>P)、同一作業負荷量が中等度労作 (2.8~4.6Kcal/m²/min) に匹敵し、Heat Stress の影響がみられた。

以上環境要因の違いによる生理的反応の結果が直ちに一般に適用できるというような過大評価はできないが、Heat Stress の強度や時間、あるいは刺激の急激な変化等により反応の大きさも異ってくるであろう。即ち半袖シャツ、ショートパンツという軽装での軽作業が、中等度労作に相当していることは、これにもし、興味や競争心が加わった場合、あるいはアメリカンフットボールのような衣服を身に纏った時、思はぬ落し穴が待ち受けてはいないだろうか。

本文の主旨は第24回日本学校保健学会総会で発表したものである。

今回の実験に際し愛知県立中村高校教諭平野恒徳氏および中村高校、愛知商高の生徒のみなさんに多大の御協力をいただき感謝いたします。

参考文献

- 1) Fox, E.L, Mathews D,R, Kaufman W.S.& Bowers R.W.: The effects of football equipment on thermal balance and energy cost during exercise. RQ 1966 37. 332~339.
- 2) Lind, A.R.: The lack of heatstroke in European working in Hot Climates. Amer Industr Hyg Ass J. 31 (4): 460~465. 1970

- 3) Lye, M & Kamal A.; Effects of Heatwave on Mortality rates in Elderly Inpatients. *Lancet* No 8010:529~531 1977.
- 4) Costill, D.L, et al: Water and electrolite replacement during repeated days of work in the heat. *Aviat. Space Environ Med* 46(6): 795~800 1975.
- 5) Clowes, Jr, G.H. A, & O'Donnel Jr. T.F.: Heat stroke *New England J. Med.* 291(11) 564~567. 1974.
- 6) 三浦豊彦: 高温の許容基準についての二三の考察。 *労働科学* 48(7): 375~386. 1972.
- 7) : 新労働衛生ハンドブック (第2版):32~33. 1975.
- 8) 鈴木武夫: 生物学的温度指標, *労働衛生工学* No. 6 14~21. 1966.
- 9) : 新労働衛生ハンドブック (第2版) 1975
- 10) Yaglou C, P, and Minard, D: Control of heat casualties at military training centers, *AMA, Arch. Industr. Health* 16 (4): 302~316. 1975.
- 11) 渡辺明彦: 高温労働者の「発汗型」と高温作業適性に関する研究。 *労働科学* 48(3): 137~151. 1972.
- 12) 久野 寧: 汗の話: 143~144 光生館, 1969.
- 13) Craig. F.N, and J.T. Mofbitt,: Efficiency of evaporative cooling from wet clothing. *J. Apple Physiol* 36(3): 313~316, 1974.
- 14) Haymes E,M, et al: Heat tolerance of exercising lean and heavy prepubertal girls. *J. Apple Physiol* 36(5): 556~571, 1974
- 15) Wagner, J.A, et al: Heat tolerance and acclimatization to work in the heat in relation to age. *J. Apple, Physiol.* 33(2): 616~622, 1972.
- 16) Rowell L.B. et al: Central circulatory responses to work in dry heat before and after acclimatization. *J. Apple, Physiol* 22:509~518. 1967.
- 17) Shvartz,E, et al: A comparison of three methods fo acclimatization to dry heat. *J. Apple Physiol* 28: 221~222. 1970.
- 18) Strydom. N. B, et al: Acclimatization to humid heat and the role of physical conditioning. *J. Apple Physiol* 21: 636~642. 1966.
- 19) Wyndham C. H. et al.: Changes in central circulation and body fluid spaces during acclimatization to heat. *J. Apple Physiol* 25: 586~593. 1968
- 20) 三浦豊彦: 湿度と健康, *労働科学* 47 (1): 1~11 1971
- 21) 渡辺明彦他: 中等度環境気温における湿度の人体に及ぼす影響 (第1報) *労働科学* 52(11): 635~650. 1976.
- 22) 渡辺明彦他: 同上 (第2報) *労働科学* 53(3): 199~219. 1977.
- 23) Buskirk E.R, et al: Micro climate over artificial turf. *J. Health, Physical Education and Recreation:* 29~30 November 1971.
- 24) Walter. W. Kandelin et al: Athletic Field Micro climates and Heat Stress. *J. Safety Research* 8 (3): 106~111 1976.
- 25) 芝 亀吉: 計量管理協会編「温度」計量管理技術双書 16. コロナ社。1967.
- 26) 工業計測技術大系編集委員会編: 工業計測技術大系 1 「温度」, 10 「湿度・水分測定」, 日刊工業新聞社 1965.
- 27) 松岡脩吉, 田多井吉之介: 環境衛生測定法, 南江堂 1966.
- 28) Nadel. E,R, et al: Differential Thermal Sensivity in the Human Skin. *Pfugers Arch.* 340: 71~76. 1973.
- 29) Mitchell D, et al: Acclimatization in hot humid environment: energy exchange, body temperature and sweating. *J. Apple Physiol* 40(5): 768~778, 1976.
- 30) Eichna L. W. et al: Thermal regulation during acclimatization in a hot, dry environment. *Am. J. Physiol* 120: 277~287, 1937.
- 31) 江橋 博: 芝山秀太郎: 運動初期の皮膚温低下に及ぼす発汗の影響。 *体力研究* No. 36.:26~51, 1977.
- 32) Le Blanc, L. et al: Effects of temperature and wind on facial temperature, heart rate and sensation. *J Apple, Physiol* 40(2): 127~131. 1976.
- 33) P. オオストランド: K. ラダール, 朝日奈一男監訳: *運動生理学*: 372~402 大修館 1976.
- 34) 中山昭雄: 体温調節におけるセットポイントの概念。 *臨床生理* 1(6): 543~549. 1971.
- 35) Hori.S. et al: Energy Requirements of Men during Exercise in a Hot Environment and a Comfortable Environment. *J. Physiol Soc. Japan.* 38: 507~509, 1976.