F-6 暑熱環境時の熱中症予防のためのふいご促進スポーツウェアの評価

薩本弥生 [1)]，中田いずみ [2)]
[1)] 横浜国立大学，[2)]元横浜国立大学大学院

Evaluation of the sportswear, accelerating bellows action, to prevent the heat stroke in the hot environment

Yayoi Satsumoto[1)], Izumi Nakada [2)]
[1)]*Yokohama National University*, [2)]Former graduate school of Yokohama National University

Abstract: The running experiments in the athletic field were carried out to evaluate the sportswear which aim to accelerate bellows action by inserting the coin in the back to prevent the heat stroke in the hot environment. The heat and vapor transfer of clothing and thermal stress of subjects were compared by the presence of the coin in the back or not. It became clear in case of inserting coin in the significantly effective level that the microclimate temperature and humidity in clothing and the mean skin temperature on the chest and the back was lower and heat transfer coefficient was higher, increasing the convective heat transfer by the amplification of bellows action. A significant cooling effect was seen to the heart rate and external ear temperature. However, the significant difference was not admitted in the rectal temperature and in the subjective rating. As for the sportswear that amplified the bellows action, to bring the subjectivity the significant effect, needing the device of a further design became clear though there was a constant cooling effect.
Key words: heat stroke**,** , thermal comfort, bellows action、heat and vapor transfer

要旨： 背部にコインを入れふいご作用の増幅をねらったスポーツウェアが暑熱環境下での熱中症予防に効果があるか検討するため、陸上競技場でのランニング実験を行いコインの有無で温熱負荷を比較した。実験結果よりコイン有で胸と背中上の衣服内温湿度と平均皮膚温において有意に低値を示し、熱通過率が有意に増加し、ふいご作用の増幅による放熱の促進に貢献することが明らかとなった。心拍数、左耳孔内温へも有意な冷却効果がみられた。しかし、直腸温では有意差が見られず、主観申告でも有意差が認められなかった。本研究のふいご作用を増幅させたウェアは一定の冷却効果があったが主観に有意な効果をもたらすには、さらなるデザインの工夫が必要であることが明らかとなった。
キーワード：熱中症，温熱的快適性，ふいご作用，熱水分移動

１．はじめに

近年、地球温暖化や都市気候により日本の夏の気温は上昇傾向を示しており [1)]、夏季を中心に熱中症が毎年多数報告されている。平成 25 年夏期の全国における熱中症による救急搬送人員は 58,729 人で、昨年に比べ約 1.3 倍増加し、平成 22 年の調査開始以降で最多の搬送人員数となった [2),3),4),5)]。また、暑熱馴化が起きていない春先には比較的温暖な温度域で熱中症を発症する事例もある。熱中症を予防するには暑さを避け、こまめに休憩を取り水分を補給することなどが必要であるが、体育の授業や部活動等、実際の教育活動の現場では、厳しい暑熱環境下であってもスポーツが行われている現状がある。

暑熱環境下の温熱的快適性には環境要因、人体要因のほか、着衣の熱水分移動特性が重要な役割を果たし、衣服は身体からの放熱量、外部からの輻射熱、水分蒸発の 3 つの観点から人体周りの熱収支の調節ができるものとしてその役割は大きい。特に、暑熱環境下では環境と皮膚温との温度差が小さく、発汗が重要な放熱の手段となるため、汗の蒸発による蒸発放熱を促進するような衣服が望まれる。

暑熱環境時の熱中症予防のために、暑熱時に温熱的に不快感を減らすための条件として着衣素材の種類のみでなく着衣のデザインを工夫する必要がある。

屋外競技の一つである陸上競技用ウェアは比較的被覆面積が小さく軽装で野球や剣道のような着衣量による負荷の大きいスポーツと比較して不快感は小さいが、このようなウェアでも過酷な暑熱環境では、熱中症が生じる危険性がある。しかし、すでに素材や被覆面積を減らすデザインの工夫による改良には限界がある。そこで、熱中症対策として有効なデザインの工夫として、ウェア背部にコインが挿入され、ふいご作用が生

じやすいように工夫したウェアを著者らと共同研究を行っている M 社が開発した。本研究では、このウェアのふいご作用増進効果が暑熱環境下における運動として陸上競技場でのランニング時に熱中症予防に有効であるのか、コインの有無により熱水分移動性および人体生理に与える影響を比較することで検証することを目的とする。

２．方法

2. 1 実験着衣

ふいご作用の増進をねらったデザインの工夫をした本実験で検討するウェアを Fig.1 に示す。ウェアの背部のウエストの高さにコインが入るポケットが設置されており、このコインにより動作時のウェアの搖動が増幅され、ふいご作用がより起きやすくなり、放熱効果が高くなるとうたわれている。

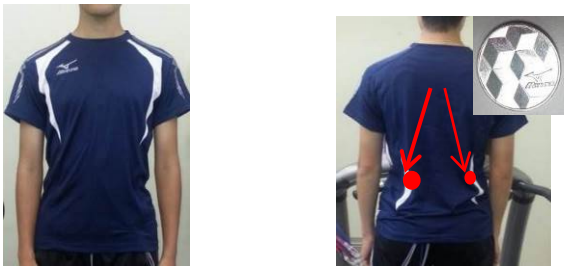

Fig1 The sport wear accelerating bellows action by insert the coin in the back.

KES による材料物性実験により計測した着衣試料の諸元を Table1 に示す。ウェアの素材は吸水速乾性のポリエステル製である。比較のため、野球用のインナーに使われている CGS 素材の物性も併記した。

Table1 Characteristics of sport wear

Measured properties	T-shirt	CGS
Thickness d（mm）	0.40	0.47
Thermal conductivity λ（W/m/K）	0.04	0.06
Thermal resistance d/λ（K・m²/W）	0.010	0.008
Air permeable resistance（kPa・s /m）	0.01	0.01
Cool feeling (W/cm²)	0.10	0.15

2. 2　実験手順

本実験では、屋外のため、太陽光の輻射を考慮し、白色を用いた。比較のため紺と白で日射特性の違いを、EKO MR-60 および EKO MS-602 を用いて計測を行った。計測結果を Ta ble2 に示す。

Table2 Radiation properties of wear.

Color of wear	reflectivity	absorptivity	transmissivity
white	35.4	51.0	13.6
navy	15.4	76.8	7.8

白色ウェアの反射率が 20%大きく、吸収率が 25.8%小さく、透過率も 5.8%大きいため日射を遮蔽する素材であることが分かる。

被験者は横浜国立大学体育会陸上部男子部員 8 名で年齢 20.6±1.2（歳）、身長 173.9±5.6（cm）、体重 58.1±3.1（kg）、BMI19.2±0.9、体表面積 1.72±0.03（cm^2）である。被験者は実験開始約 30 分前に本学運動場管理棟控室に入室した。上半身裸体、裸足の状態で体重計測の後、直腸温センサを挿入した。その後、口腔温を計測しながら、各センサ（皮膚温付熱流計 3 点、（胸、背中上、背中下），衣服内温湿度計 2 点（胸と背中）、皮膚温計 4 点（胸、上腕、大腿、下腿）、左耳孔内温度計、直腸温計、心拍計、運動強度）を貼付、装着した。熱流計は皮膚温内蔵型で 1cm×1cm の小型熱流計（型式：S11A）を用いた。衣服内湿度、皮膚温、耳孔内温は本プロジェクトで開発した無線温度センサ付きロガで計測した。データは 10 秒毎にロガに収録した。直腸温は、有線温湿度センサ付きロガ（型式:LT-8A／グラム株式会社製）を用いて専用の直腸温用プローブを用いて有線センサで 1 秒毎に計測した．心拍計はトレーニングコンピュータ（型式:RS800CX／Polar Electro 社製）を使用した。センサの取り付け位置を Fig.2 に示す。

Fig.2 Position of sensors attached

被験者は実験着を着用し、主観申告（温冷感、湿潤感、快適感、べとつき感、蒸れ感の 5 項目）を行った後、各センサを貼付され、200ml のスポーツドリンクを飲み、実験着に着替え、26℃に設定した控室にて約 10 分間安静にした。本学内の陸上競技場に移動し、20 分間ランニングを行い、場内の木陰で椅座位安静で回復期の計測を 20 分間行った。回復期にかいた汗は随時タオルでふき取り素早く密閉袋にタオルを戻した。なお、20 分間の回復期の終了時に各センサの計測を終了した。控室に戻り、口腔温を計測しつつ直腸温を含む各センサを外した。その後、上半身裸体、裸足の状態で体重計測を行い、スポーツドリンクを飲用した。実験のタイムテーブルを Table3 に、実験の様子を Fig.3 に示す。被験者には研究主旨を十分に説明し、承諾を得た。

Table3 Time table of experiments (●Subjective rating)

rest sitting on a chair in 10min.	running 10 times in 400m track in 20min.	recovery sitting on a chair in20min.
● ● ●	● ● ● ● ●	● ● ● ●

Fig.3 Photograph of subject running the truck.

主観申告の項目を Table3 に示す。

Table3 subjective rating scale

べとつき感		温冷感		湿潤感		快適感		蒸れ感	
非常にべとつく	5	とても暑い	3	飽和状態	6	非常に快適	3	とても蒸れている	5
べとつく	4	暑い	2	とても濡れている	5	快適	2	蒸れている	4
ややべとつく	3	やや暑い	1	濡れている	4	やや快適	1	やや蒸れている	3
べとつかない	2	どちらでもない	0	湿っている	3	どちらでもない	0	蒸れていない	2
全くべとつかない	1	やや寒い	−1	やや湿っている	2	やや不快	−1	全く蒸れていない	1
		寒い	−2	乾いている	1	不快	−2		
						非常に不快	−3		

2-3 データ解析方法

データ処理は統計処理ソフト SPSS Ver.20 を利用し対応のある平均値の差の検定を行った（有意水準† : $p<0.10$, * : $p<0.05$, ** : $p<0.01$, *** : $p<0.001$ を有意）。

３．結果と考察

3. 1 コインの有無の熱通過率への影響

計測した 3 箇所のうち、背中上の熱通過率の結果を Fig.4 に示す。

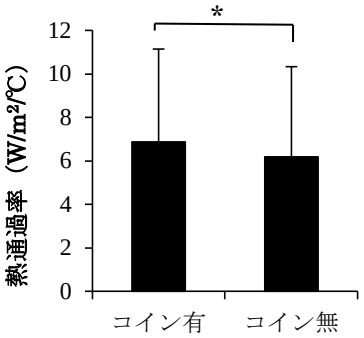

Fig.4 Effect of coin on heat transfer coefficient at the upper back.* : $p<.05$,N=6

背中上においては 5%水準で有意にコインを入れない時よりも、コインを入れた時の方が、熱通過率が増加し、熱が逃げやすくなることが明らかになった。胸と背中下においてはコイン有の方が大きかったものの有意差は見られなかった。総発汗量は、有意差はなかったがコイン有の方が、総発汗量は少なかった。コインのふいご作用で若干、温熱負荷が軽減されたことが示唆された。

3. 2 コインの有無の衣服内気候への影響

胸の衣服内温度の計測結果を Fig.5 に示す。

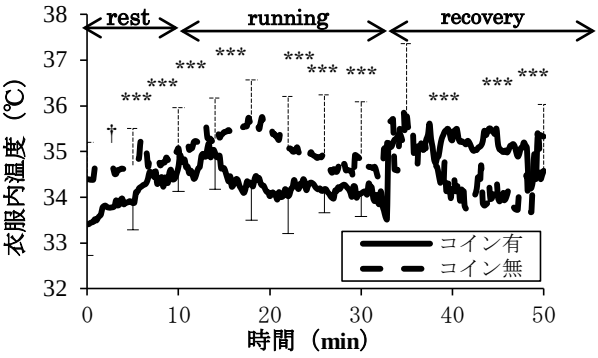

Fig.5 Effect of coin in the back on clothing microclimate temperature at the chest.† : $p<.10$, *** : $p<.001$,N=8

胸の衣服内温度では、安静時と、コインの揺れによるふいご効果が期待できる走行時に、コイン有の時の方が、0.1%水準で有意に低値を示した。しかし、回復時には逆転した。動作時には冷却効果があるものの、動作がない時の冷却効果の持続性には課題があることが明らかとなった。一方、背中上の衣服内温度においては安静時と回復時でコインを入れた時の方が、0.1%水準で有意に低値を示した。衣服内湿度はフィールドでの無線センサの受信状況の限界で、欠損値が多く、解析を断念した。

3. 3 コインの有無の平均皮膚温への影響

平均皮膚温においても、安静から回復まで 0.1%水準で有意にコイン有の時の方が低値を示し、特に回復期にはその差が大きく広がっており、コインによる揺れの増幅に伴うふいご効果による皮膚表面への冷却効果が見られた（Fig.6）。

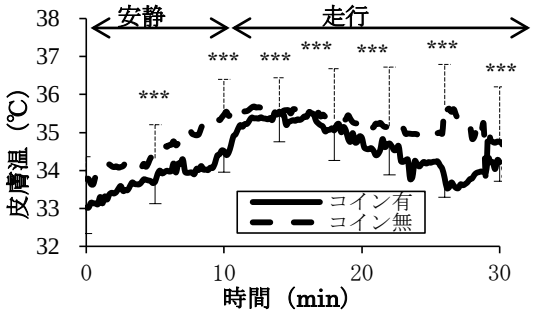

Fig.6 Effect of coin in the back on average skin temperature. *** : $p<.001$,N=8

3. 4 コインの有無の心拍数への影響

心拍数においても差は小さいものの、安静から回復までのほとんどにおいて 0.1%水準で有意にコイン有の時の方が低値を示し、コインによる揺れの増幅に伴うふいご効果で、温熱ストレスが軽減されたことが示唆された（Fig.7）。

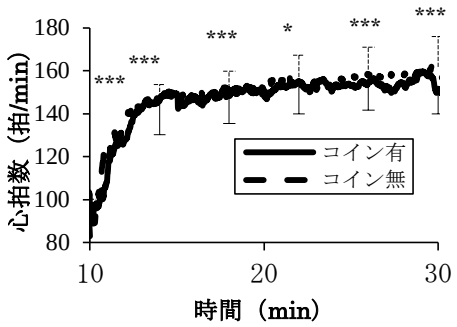

Fig.7 Effect of coin in the back on heart rate during running. * : $p<.05$、*** : $p<.001$,N=8

3. 5 コインの有無の耳孔内温への影響

耳孔内温は皮膚温と同様の無線センサを使用して計測しておりフィールドでの無線センサの受信状況の限界で欠損値が多く、安静と走行の 30 分間ののみの計測となった。耳孔内温でも、心拍同様、差は小さいものの、走行時において、0.1%水準で有意にコイン有の時の方が、低値を示し、コインによる揺れの増幅に伴うふいご効果で、温熱ストレスが軽減されたことが示唆された（Fig.8）。

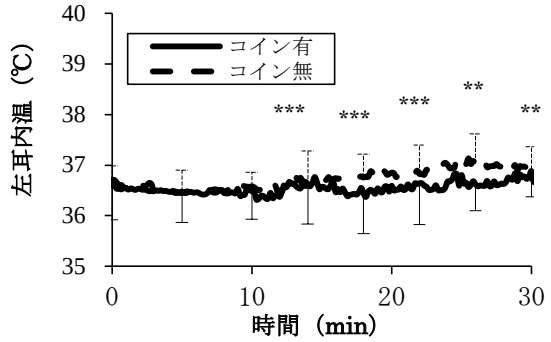

Fig.8 Effect of coin in the back on external ear temperature during running. ** : $p<.01$、*** : $p<.001$,N=8

3. 6 コインの有無の直腸温への影響

直腸温においては全体を通してコイン無しの方が低値を示したが有意差は見られなかった（Fig.9）。

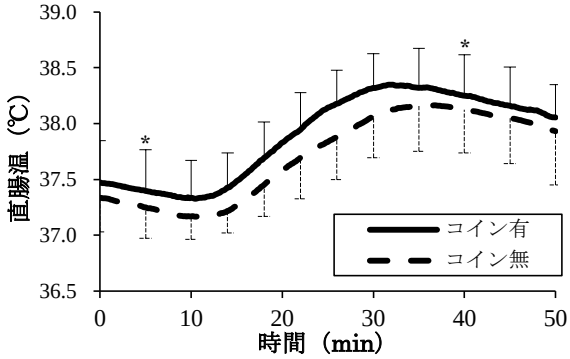

Fig.9 Effect of coin on rectal temperature.
* : $p<.05$, N=8

3. 7 コインの有無の被験者の主観申告への影響

主観申告として温冷感の結果を Fig 10 に示す。温冷感へのコイン挿入の有意な効果は認められなかった。このことから本研究のふいご作用を増幅させたウェアは一定の冷却効果があるが主観に有意な効果をもたらすにはさらにデザインの工夫が必要と考えられる。

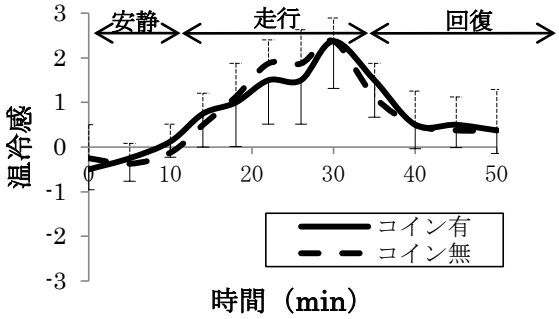

Fig 10 Effect of coin on thermal sensation.
n.s : not significant, N=8

４．まとめ

ウェア背部にコインを入れることでふいご作用が増幅するデザイン上の工夫をしたスポーツウェアが暑熱環境下での熱中症予防に実際に有効があるかを陸上競技場での走行実験により検討した。実験結果よりコイン有のウェアで胸と背中上の衣服内温湿度と平均皮膚温において有意に低値を示し、熱通過率も有意に増加し、ふいご作用の増幅による放熱の促進に貢献することが明らかとなった。心拍数、左耳孔内温へも有意な冷却効果がみられた。しかし、直腸温および温冷感申告では有意差が認められなかった。本研究のふいご作用を増幅させたウェアは一定の冷却効果があったが主観に有意な効果をもたらすには、さらなるデザインの工夫が必要であるといえる。

謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金一般研究A(23240099)薩本ら,平成 23-26 年の助成により実施した。ここに記して感謝の意を示す。

文献

1）井幕知伸,堀越哲美;日本における夏季の体感気候の経年変化と分布に関する研究 - 予測至適着衣量を用いた涼しい夏の表現 - ,人間と生活環,20(1),13-27,(2013)
2）総務省消防庁;平成 24 年夏期（6 月~9 月）の熱中症による救急搬送の状況,(2012)
3）総務省消防庁;平成 25 年夏期（6 月~9 月）の熱中症による救急搬送の状況,(2013)
4）総務省消防庁;平成 24 年都道府県別熱中症傷病者搬送人員数,(2012)
5）総務省消防庁;平成 25 年都道府県別熱中症傷病者搬送人員数,(2013)

＜連絡先＞
連絡先氏名：薩本弥生
住所：240-8501　神奈川県横浜市保土ヶ谷区 79-2
所属：横浜国立大学教育人間科学部
E-mail アドレス： satumoto@ynu.ac.jp