

ファン付きベストの着用が 夏季の屋外練習時における高校生アスリートの パフォーマンスと熱中症予防効果に及ぼす影響

姫路獨協大学 大谷 秀 憲

Effects of The Fan Cooling Vest Use on Endurance Performance and Prevention of Heat-Related Illnesses in High School Athletes During Outdoor Training Sessions in The Summer Heat

by

Hidenori Otani
*Faculty of Health Care Sciences,
Himeji Dokkyo University*

ABSTRACT

The fan cooling garments are coming into very common use by Japanese outdoor manual workers. This study investigated the effects of the fan cooling vest use on endurance performance and prevention of heat-related illnesses in high school athletes during high-intensity training sessions under the clear sky in the summer heat. Ten male soccer players in high school conducted two high-intensity soccer training sessions for 2-h with (VEST) or without (CON) a commercially available fan cooling vest on a soccer uniform. These sessions commenced at 9 a.m. on separate days in late August. Increases in mean skin temperature, heart rate and thermal sensation were attenuated (all $P < 0.05$) in VEST than CON during exercise. Rating of perceived exertion was lower ($P < 0.05$) in VEST than CON during exercise. Total distance measured with a global positioning system was lower (both $P < 0.05$) in VEST than CON. Body fluid responses were not different between trials (all $P > 0.05$). This study indicates that the use of the fan cooling vest would alleviate thermal strain and risks of heat-related illnesses in high school athletes during high-intensity training sessions under the clear

sky in the summer heat. Meanwhile, it is likely that endurance performance is limited by using the fan cooling vest under our experimental conditions compared to when no vest is used.

キーワード

ファン付きウェア, 暑熱ストレス, 体温調節, 持久性パフォーマンス, 熱中症

Keyword

The fan cooling garments, Heat stress, Thermoregulation, Endurance performance, Heat-related illnesses

要 旨

本研究では、ファン付きベストの着用が夏季快晴条件下の屋外での高強度部活動練習時における高校生アスリートの持久性パフォーマンス及び熱中症予防効果に及ぼす影響について検証することを目的とした。被験者は高等学校サッカー部に所属する男性10名とした。被験者は8月下旬の快晴の日に、2時間のサッカーの練習を、ファン付きベストを着用した条件 (VEST) 及び着用していない条件 (CON) の2条件で、それぞれの別の日に同じ練習内容で実施した。平均皮膚温、心拍数、温熱感はVEST群がCON群よりも有意 (全て $P<0.05$) に上昇が抑制された。自覚的運動強度は、VEST群がCON群よりも有意な低値 ($P<0.05$) を示した。GPS測定による総移動距離は、VEST群がCON群よりも有意な低値 ($P<0.05$) を示した。本研究の結果から、高校生アスリートにおける夏季快晴条件下の屋外での高強度部活動練習時には、ファン付きベストの着用により体温調節系の負担が軽減し、熱中症予防に効果的であることが確認された。一方、ファン付きベストを着用した時は着用しない時と比べ、練習中の持久性パフォーマンスは制限される可能性が示唆された。

緒 言

近年の地球温暖化による暑熱ストレスの増大は、身体作業能力と認知機能を低下させ、ヒトの健康と経済の発展を脅かす大きな脅威となっている¹⁾。今後は、1年間に少なくとも20日間程度は世界人口の約30%の人々が高温に耐えうる生理的限界を超えた厳しい環境に曝露されることになり、死亡率の大幅な増加が予想されている²⁾。また、世界のいくつかの地域では、日中の労働時間の30 - 40%は労働の実施が不可能な酷暑環境となると考えられている³⁾。このような暑熱ストレスを軽減するための持続可能な冷却手法としては、エアコンよりも電力消費と温室効果ガスの発生が少ない扇風機の活用が期待されている⁴⁾。

暑熱環境下の運動時には、全身への気流の増加に伴い深部体温、平均皮膚温及び心拍数の上昇と持久性パフォーマンスの低下が抑制されることが知られている⁵⁻⁷⁾。これは主に、気流の増加に伴う蒸発性熱放散量⁵⁻⁷⁾と対流性熱放散量の増加⁵⁾によるものと考えられる。このような暑熱環境下の運動時には、気流が増加すればするほど、皮膚の表面からは汗の蒸発による蒸発性熱放散が非蒸発性熱放散 (対流性熱放散 + 放射性熱放散) よりも多くの熱を逃がすことが可能となる⁸⁾。

近年、我が国では主に屋外で働く労働者を中心

に、衣服に小型の扇風機が内蔵されたファン付きウェアの着用が、夏季の労働現場における熱中症予防のために広く用いられている⁹⁾。なかでも、実際の労働現場で最も一般的に使用されているのは、ファン付きベストである^{9, 10)}。これまでに、ファン付きジャケット（長袖・半袖）の着用が、暑熱環境下の運動中¹¹⁻¹³⁾における体温調節系に及ぼす影響については、人工気象室を用いた検証が行われている。その結果、ファン付きジャケットの着用は、深部体温、平均皮膚温、心拍数、温熱感及び自覚的運動強度（RPE）を低下させ、熱中症予防に効果的であることが報告されている。しかし、これらの研究は、気象条件をコントロールされた日射のない人工気象室内で実施された研究であり、屋外環境下で行われたものではない。また、これらの先行研究は全て実際の労働現場で最も使用されているファン付きベストではなく、ジャケットタイプの効果を検証したものである。

これまでに、夏季快晴条件下の屋外の暑熱環境下において、ファン付きベストの着用が運動中の熱中症予防効果に及ぼす影響について検証した研究は、我々の報告¹⁰⁾のみである。研究では、夏季における部活動練習時の熱中症予防の観点から、高校生アスリートを対象に8月上旬の2時間の屋外野球練習時におけるファン付きベストの着用が、体温調節、持久性パフォーマンス及び熱中症予防効果に及ぼす影響について検証した。その結果、野球のような中等度強度運動時におけるファン付きベストの着用は、深部体温、平均皮膚温、心拍数、温熱感及びRPEを低下させ、体温調節系の負担を軽減し、熱中症予防に非常に有効であることを報告している¹⁰⁾。一方、GPS測定による総移動距離は、ベストの着用時と非着用時で有意な差は認められなかったことから、持久性パフォーマンスについてはファン付きベストを着用しても影響は認められないことを報告している¹⁰⁾。暑熱環境下の運動時における熱中症は、運

動強度が高ければ高いほど危険性が增大すること¹⁴⁾が知られている。しかし、これまでにファン付きベストの着用が夏季屋外の暑熱環境下の高強度運動時における熱中症予防効果に及ぼす影響について検証した研究は見当たらない。暑熱環境下の運動時には、日射量の増加¹⁵⁾と日射量の増加及び気流の減少の複合作用⁶⁾により、体温調節系の負担が増大するため、直射日光を受ける屋外での運動は屋内に比べ熱中症の危険性が增大する^{16, 17)}ことが知られている。したがって、屋外の直射日光条件下におけるファン付きベストの着用が夏季の暑熱環境下の高強度運動時における体温調節系への影響を検証することは、夏季における部活動練習時の熱中症予防の観点から重要性が高いものと考えられる。

そこで本研究は、ファン付きベストの着用が高校生アスリートの夏季快晴条件下の屋外での高強度部活動練習時における持久性パフォーマンスと熱中症予防効果に及ぼす影響について検証することを目的とした。研究仮説は、そのような環境下では、ファン付きベストの着用により、持久性パフォーマンスの低下と体温調節系の負担が軽減され、熱中症予防に効果が高いものと仮定した。

1. 研究方法

1. 1 倫理申請

本研究は、姫路獨協大学生命倫理委員会の承認を得て実施した。また、本研究は、ヘルシンキ宣言及び人を対象とする医学系研究に関する倫理指針に従って実施した。全ての被験者とその保護者は、実験開始前に実験に関する説明を受けた後、インフォームドコンセントに署名を行った。

1. 2 被験者

被験者は、高等学校のサッカー部に所属する男性10名（平均値±標準偏差；年齢 17.1 ± 0.9 歳、身長 173.2 ± 7.6 cm、体重 56.9 ± 5.8 kg、BMI 18.9 ± 0.7 ）。

kg/m²)とした。被験者は、週6回の練習を4カ月以上継続して実施し、過去に内科的疾患の既往歴のない者を選定した。

1. 3 実験設定

被験者は、2時間の通常のサッカー練習を、サッカーのユニフォームの上にファン付きベストを着用した条件 (VEST) 及び着用していない条件 (CON) の2条件で、それぞれの別の日に同じ練習内容で実施した。サッカーのユニフォームは、丸首半袖シャツ、短パン、ブリーフ、すね当て (レガース)、膝下丈のソックス及びスパイクにより構成され、総重量は1.702 kg、衣服面積比は1.15、衣服熱抵抗は0.073 W/ (m²・℃)、衣服蒸発性熱抵抗は0.012 W/ (m²・kPa) であった¹⁸⁾。丸首半袖シャツ、短パン及び膝下丈のソックスの素材は、ポリエステルであった。ブリーフの素材は、綿約95%とポリウレタン約5%であった。すね当ての素材は、すねに面する裏面がポリウレタンで、表面が合成樹脂またはプラスチックであった。実験は、8月下旬の快晴の日に両条件ともに午前9時から開始した。実験は、始めにVEST条件を実施

し、翌日にCON条件を実施した。実験に用いたグラウンドは、北緯34° 38' 東経135° 00' に位置し、地面が黒土で半径100 m以内に日射を遮る建物のない環境であった。

1. 4 ファン付きベスト

被験者は、VEST条件ではサッカーユニフォームの上に市販のファン付きベスト (KU92140; 空調服) を着用した (図1)。ベストの素材はポリエステル製で、重量は0.65 kgであった。ベストの左右の腰部には、直径8 cm、重量0.44 kg (1台0.22 kg) の小型扇風機 (FA01012; 空調服) が2台装着されており、腰部から外気を衣服内に取り入れ、首回りから空気を排出する構造であった。扇風機の衣服内への吸気量は、62 L・s⁻¹または131 CFMであった。扇風機は、14.4Vのリチウムイオンバッテリー (9.8 cm × 8.5 cm × 2.7 cm: 0.29 kg: BT01412; 空調服) からの電力供給を受けた。衣服内の気流速度は、首の前部が11-12 km・h⁻¹、後部が8-9 km・h⁻¹であった。衣服内気流速度は、気流計 (AM-4214SD; マザーツール) で測定した。測定は、気流計のセンサー部分を首の前部と後部



図1 ファン付きベスト
赤矢印はファン、青矢印はリチウムイオンバッテリーを表す

の皮膚に接触させ、排気される空気の風速を安静立位の状態で計測した。

1. 5 実験手順

実験当日の朝、被験者は、実験開始時間の4時間前までに食事を済ませ、運動前の脱水を抑制するために実験開始1時間前に500 mlの水を摂取した。研究室に到着後、被験者は排尿を済ませ、尿は尿比重の分析（屈折計：D04-650-0、アズワン）に使用された。尿比重は、1.025以下を脱水の無い状態とした。その後、被験者は裸体で体重測定（体重計：±10g; AD6205B, A&D）を行った。皮膚温の測定には、サーミスタプローブ（ITP082-25, 日機装サーモ）を用い、胸部、上腕部、大腿部、下腿部の4箇所貼付し、データロガー（N543R; 日機装サーモ）で記録した。身体4箇所の皮膚温は、平均皮膚温の算出に用いた。心拍数の測定には、胸部ストラップ（H10 transmitter, Polar Electro Oy, Kempele, Finland）を用い、モニター（Polar Team, Polar Electro Oy, Kempele, Finland）にて記録した。温熱感の測定には、9点のアナログスケール（-4 [極めて寒い] ~ 4 [極めて暑い]）¹⁹⁾を用いた。運動前の各項目の測定は、室温28-29℃の研究室内で実施した。

練習開始5分前に、被験者はグラウンドへ移動した。練習開始直前に、被験者はサッカーユニフォームの上に周波数帯5 HzのGPS（GPS; SPI HPU, GPSport, Canberra, Australia）を装着し、VEST条件ではその上にさらにファン付きベストを着用した後、練習を開始した。2時間の練習内容は、ウォーミングアップ20分、休憩5分、パス練習20分、休憩5分、シュート練習20分、休憩5分、シュートゲーム20分、休憩5分、ゲーム20分であった。皮膚温は、運動中60分間隔で記録した。心拍数は、運動中5分間隔で記録した。運動中の疲労感の測定には、6-20RPEスケール（6 [何も感じない] ~ 20 [限界]）²⁰⁾を用いた。温

熱感とRPEの測定は60分間隔で行い、測定時はグラウンド脇に設置した日除けタープまで被験者に来てもらい、立位の状態で測定した。練習中は約30℃の水が入ったボトルを用意し、被験者の水分補給は自由とした。

練習終了後は、研究室（室温28-29℃）に戻り、全ての装備を取り外した後、裸体で体重を測定した。

1. 6 環境測定

全ての環境条件の測定項目は、地上1.5mの高さで30分間隔で測定した。乾球温度と湿球温度の測定には、アスマン通風乾湿計（080310-06; 柴田科学）を用いた。黒球温度の測定には、直径150 mmの黒球温度計（CK-T-D; 安藤計器）を用いた。気流の測定には、気流計（AM-4214SD; マザーツール）を用いた。全天日射量の測定には、日射計（MS-01; 英弘精機）を用いた。

1. 7 算出項目

平均皮膚温の算出には、Ramanathanの式²¹⁾（ $=0.3 \times \text{胸部} + 0.3 \times \text{上腕部} + 0.2 \times \text{大腿部} + 0.2 \times \text{下腿部}$ ）を用いた。全身発汗量の算出には、次の式（ $= \text{体重減少量} + \text{水分補給量}$ ）を用いた。WBGTの算出には、次の式（ $=0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$ ）を用いた²²⁾。

1. 8 統計処理

データの正規性の検定には、Shapiro-Wilkテストを用いた。また、等分散性の検定には、Leveneテストを用いた。ノンパラメトリックの経時的データである温熱感の統計処理には、統計ソフトR（version 4.0.2; R Core Team, Vienna, Austria）のパッケージnpard（version 2.1）のLD-F2式²³⁾を用いた反復測定2元配置分散分析を行った。その後、多重比較検定にはTukey法を用いた。パラメトリックの経時的データである平均皮膚温、

表1 練習時の環境条件

	乾球温度 (℃)	湿球温度 (℃)	黒球温度 (℃)	WBGT (℃)	相対湿度 (%)	気流 (km/h)	日射量 (W/m ²)
VEST条件							
0 分	30.5	26.7	43.5	30.4	75	5	650
30分	31.3	26.5	44.3	30.5	69	2	697
60分	31.5	26.9	46.2	31.2	70	3	775
90分	31.8	26.8	45.2	31	68	6	837
120分	32.1	26.5	47.2	31.2	65	5	867
平均値±SD	31.4±0.6	26.7±0.2	45.3±1.5	30.9±0.4	69±4	4.2±1.6	765±92
CON条件							
0 分	31	26	46.3	30.6	67	5	679
30分	31.5	26	45.8	30.5	65	3	744
60分	31	26	41.5	29.6	67	4	688
90分	32	26.5	43.7	30.5	65	1	660
120分	31.5	26	41.8	29.7	65	9	571
平均値±SD	31.4±0.4	26.1±0.2	43.8±2.2	30.2±0.5	66±1	4.4±3.0	669±63
危険率	0.906	0.002	0.254	0.031	0.067	0.898	0.088
効果量	0	3	0.8	1.55	1.03	0.08	1.22

SD:標準偏差

心拍数, RPEの統計処理には, 統計ソフトSPSS (version 21; IBM Corp., Armonk, N.Y., USA) を用い, 反復測定2元配置分散分析を行った. その後, 多重比較検定にはTukey法を用いた. 運動前体重, 尿比重, 総移動距離, 体液指標の統計処理には, 対応のあるt検定を用いた. 環境条件の測定項目の統計処理には, 対応の無いt検定を用いた. 危険率は5%未満を有意水準とした. 効果量の算出には, Cohenのd (d) を用いた. 効果量の目安は, 小さい ($d = 0.2 - < 0.5$), 中程度 ($d = \geq 0.5 - < 0.8$), 大きい ($d \geq 0.8$) とした²⁴⁾. データは全て平均値±標準偏差 (SD) で表した.

2. 研究結果

2. 1 運動前の各指標

運動前の体重 (VEST 条件; 58.8 ± 6.2 kg, CON 条件; 57.1 ± 5.4 kg; $P=0.41$, $d=0.29$), 尿比重 (VEST 条件; 1.018 ± 0.003 , CON 条件; 1.020 ± 0.003 ; $P=0.07$, $d=0.67$), 平均皮膚温 (VEST 条件; 33.0 ± 0.4 °C, CON 条件; 32.9 ± 0.2 °C; $P=0.49$, $d=0.32$), 心拍数 (VEST 条件; 90 ± 7 bpm, CON 条件; 88 ± 8 bpm; $P=0.43$, $d=0.27$), 温熱感 (VEST 条件; -0.2 ± 1.8 , CON 条件; -0.6 ± 1.2 :

$P=0.37$, $d=0.26$) は, 条件間に有意差は認められなかった.

2. 2 環境条件

練習時における環境条件を表1に示した. 湿球温度とWBGTは, VEST 条件がCON 条件よりも有意な高値 (共に $P<0.05$) を示した.

2. 3 平均皮膚温

平均皮膚温は, 時間の経過に伴い条件間の差が有意 ($P<0.05$) に大きくなった (時間と条件の交互作用) (図2A). このため, 練習中の平均皮膚温は, VEST 条件がCON 条件よりも有意に上昇が抑制されたと解釈される.

2. 4 局所皮膚温

胸部皮膚温, 上腕部皮膚温, 下腿部皮膚温は, 時間の経過に伴い条件間の差が有意 ($P<0.05$) に大きくなった (時間と条件の交互作用) (表2). このため, 練習中の平均皮膚温は, VEST 条件がCON 条件よりも有意に上昇が抑制されたと解釈される. また, 上腕部皮膚温は, 練習中, VEST 条件がCON 条件よりも有意な低値 ($P<0.001$: 条

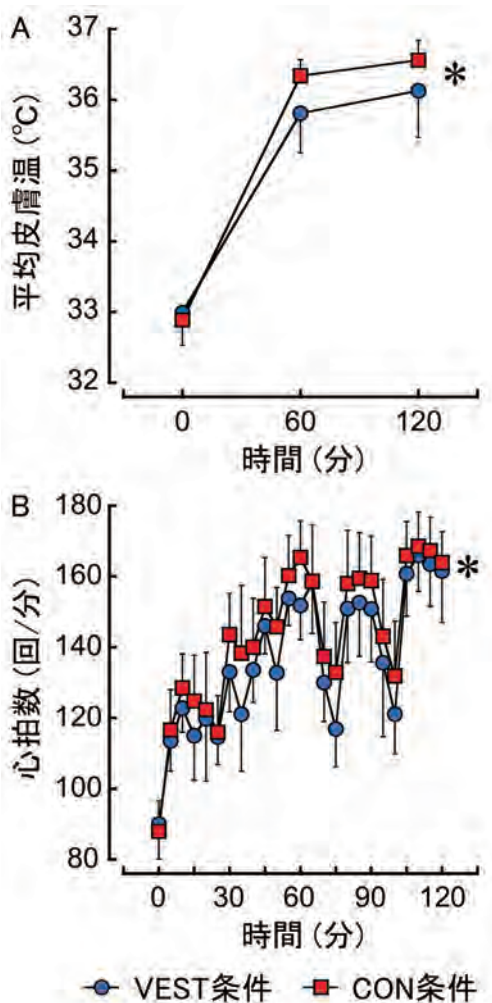


図2 練習時の平均皮膚温(A)及び心拍数(B)の変化
* P<0.05(交互作用[時間×条件])

件の主効果)を示した(表2)。

2. 5 心拍数

心拍数は、時間の経過に伴い条件間の差が有意($P<0.05$)に大きくなった(時間と条件の交互作用)(図2B)。このため、練習中の心拍数は、VEST条件がCON条件よりも有意に上昇が抑制されたと解釈される。年齢別予測最大心拍数を基準とした練習中の平均心拍数は、VEST条件が $70 \pm 3\%$ 、CON条件が $74 \pm 5\%$ であり、条件間に有意差は認められなかった($P=0.25$, $d=0.97$)。

2. 6 温熱感

温熱感は、時間の経過に伴い条件間の差が有意($P<0.05$)に大きくなった(時間と条件の交互作用)(図3A)。このため、練習中の温熱感は、VEST条件がCON条件よりも有意に上昇が抑制されたと解釈される。

2. 7 自覚的運動強度 (RPE)

RPEは、練習中、VEST条件がCON条件よりも有意な低値($P<0.001$:条件の主効果)を示した(図3B)。

表2 練習時の局所皮膚温

	胸部皮膚温* (°C)	上腕部皮膚温* (°C)	大腿部皮膚温 (°C)	下腿部皮膚温* (°C)
VEST条件				
0分	32.7 ± 0.8	32.7 ± 0.6	33.6 ± 0.6	33.1 ± 0.5
60分	35.3 ± 0.6	35.3 ± 0.7	36.4 ± 0.6	36.5 ± 0.7
120分	35.8 ± 0.5	35.7 ± 1.1	36.7 ± 0.6	36.8 ± 0.9
平均値 ± SD	34.6 ± 1.5	34.6 ± 1.6	35.7 ± 1.6	35.4 ± 1.8
CON条件				
0分	32.5 ± 0.3	32.7 ± 0.5	33.5 ± 0.5	33.1 ± 0.5
60分	35.9 ± 0.4	36.4 ± 0.6	36.5 ± 0.5	36.5 ± 0.4
120分	35.9 ± 0.2	36.7 ± 0.4	36.6 ± 0.5	37.3 ± 0.7
平均値 ± SD	34.8 ± 1.6	35.3 ± 2.0	35.6 ± 1.6	35.6 ± 2.0
危険率	0.147	<0.001	0.445	0.052
効果量	0.13	0.4	0.06	0.11

SD:標準偏差. *P<0.05, 交互作用(時間×条件)

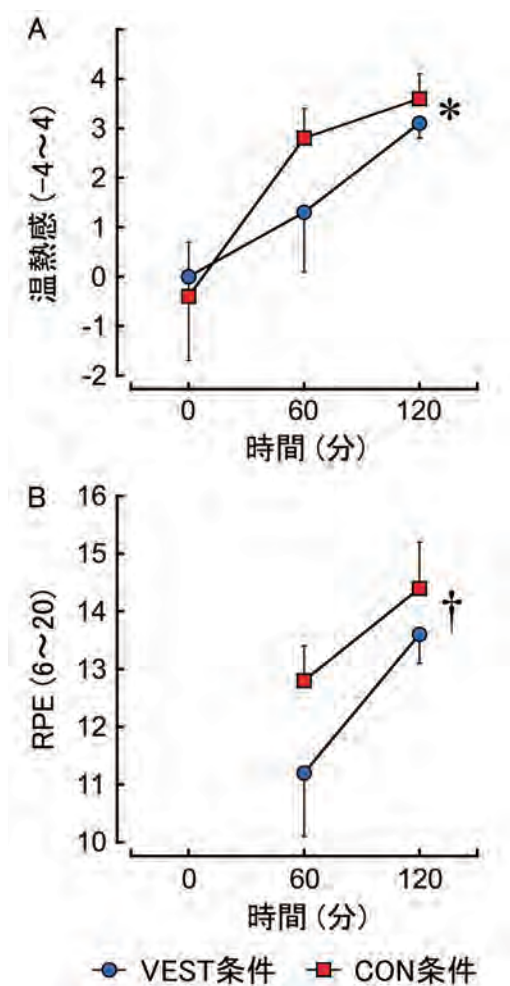


図3 練習時の温熱感(A)及び自覚的運動強度(RPE: B)の変化

* $P < 0.05$ (交互作用[時間×条件]),
† $P < 0.05$ (主効果[条件]).

2. 8 総移動距離

総移動距離は、VEST条件がCON条件よりも有意な低値 ($P < 0.001$) を示した (表3)。

2. 9 体液動態

体重減少量、脱水率、水分摂取量、全身発汗量は、条件間に有意差は認められなかった (表3)。

3. 考 察

本研究では、夏季における部活動練習時の熱中症予防の観点から、高等学校に所属するサッカー部員を対象に、ファン付きベストの着用が快晴の屋外高強度練習時における持久性パフォーマンスと熱中症予防効果に及ぼす影響について検証を行った。練習中の暑熱ストレスは、VEST条件がCON条件よりも有意に高い結果となったが、平均心拍数は、条件間に有意差は認められなかった。練習中の平均皮膚温、心拍数及び温熱感は、VEST条件ではCON条件に比べ有意に上昇が抑制された。RPEは、VEST条件がCON条件よりも有意な低値を示した。一方、練習中の総移動距離は、VEST条件がCON条件よりも有意な低値を示した。したがって、ファン付きベストの着用が体温調節系の負担を軽減する効果については研究仮説を支持する結果であったが、持久性パフォーマンスについては研究仮説とは反対の結果となった。

本研究では、湿球温度 (VEST; $26.7 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$, CON; $26.1 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$) と WBGT (VEST; $30.9 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$, CON; $30.2 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$) は VEST 条件の方が CON 条件よりも有意に高かった (表1) ことから、練習中の暑熱ストレスは VEST 条件の方が大きかったと考えられる。WBGT の値は、両条件共に熱中症の危険性が極めて高い 28°C 以上¹⁴⁾ に該当して

表3 練習時の体液バランス

	総移動距離 (m)	体重減少量 (kg)	脱水率 (%)	水分補給量 (ml)	全身発汗量 (kg)
VEST条件	5852 ± 241	0.52 ± 0.45	0.9 ± 0.9	1529 ± 277	2.1 ± 0.5
CON条件	6595 ± 328	0.73 ± 0.58	1.3 ± 0.9	1598 ± 443	2.3 ± 0.6
危険率	<0.001	0.205	0.205	0.443	0.116
効果量	2.58	0.38	0.45	0.19	0.36

平均値 ± 標準偏差

いた。このため、本研究では両条件共に運動を実施するには極めて厳しい環境条件下で練習を行っていたと考えられる。

本研究では、練習中の平均心拍数は、VEST条件が $70 \pm 3\%$ でCON条件が $74 \pm 5\%$ であり(図2B)、VEST条件は中等度強度運動に該当し、CON条件は高強度運動に該当した²⁵⁾。しかし、条件間に有意差は認められなかったことから、練習中の運動強度は条件間でほぼ同様であったと考えられる。一方、練習中の総移動距離は、VEST条件がCON条件よりも743 m短く、有意な低値を示した(表3)。ファン付きベストの着用が、高校生アスリートの夏季快晴時の屋外での中等度強度部活動練習時における持久性パフォーマンスと熱中症の危険性について検証した我々の先行研究¹⁰⁾では、練習中の総移動距離はベストを着用した条件と着用しなかった条件の間に有意な差は認められなかった。本研究と先行研究¹⁰⁾の結果の違いが生じた理由としては、野球とサッカーの競技特性の違いが挙げられる。本研究はサッカーの競技特性上、移動距離が長く、2時間の練習中、VEST条件が 5852 ± 241 m、CON条件が 6595 ± 328 m移動したが、先行研究は2時間の野球練習中、ベストを着用した条件が 3704 ± 293 m、着用しなかった条件が 3936 ± 501 m程度の移動であった。したがって、練習中のポジションが固定されている野球では、ファン付きベストの着用による選手の移動距離の違いが結果として顕著には表れなかったが、野球に比べると練習中のポジションが固定されていないサッカーでは、ベストの着用によりある程度身体の自由が制限されたことから、VEST条件がCON条件よりも移動距離が少なかった可能性が考えられる。このため、サッカーのように練習中の移動が自由な競技においては、ファン付きベストの着用は選手の移動をある程度制限し、持久性パフォーマンスを制限する可能性が示唆された。また、可能性としては低いものと考え

られるが、本研究における条件間の総移動距離の違いは、暑熱ストレスがVEST条件の方がCON条件よりも高かったことが影響した可能性も考えられる。一方、練習中の平均心拍数は条件間に有意差が無かったため運動強度には影響しなかったと考えられることから、総移動距離の違いは生理的指標には影響しなかったものと推察される。

本研究では、練習中の平均皮膚温、心拍数、温熱感は時間と条件の交互作用が認められた(図2A・Bと3A)ことから、練習中の皮膚温、心拍数、暑さの感覚は、ファン付きベストの着用により有意に上昇が抑制されたと考えられる。また、RPEはVEST条件がCON条件よりも有意な低値を示した。このため、練習中の疲労感は、ファン付きベストの着用により着用しなかった時に比べ有意に低かったと考えられる。これらの結果は、屋外における我々の先行研究¹⁰⁾だけでなく、ファン付きジャケットの着用が、暑熱環境下の運動中¹¹⁻¹³⁾における熱中症の危険性に及ぼす影響について検証した人工気象室内での研究と同様の結果であった。これらの研究では、ファン付きベストまたはジャケットの着用により、運動中の平均皮膚温、心拍数、温熱感及びRPEの上昇が抑制され、熱中症予防に効果的であることが報告されている。したがって、本研究の結果から、暑熱環境下の運動中は、ファン付きジャケットだけでなくベストの着用も熱中症の予防に効果的であることが確認された。さらに、直射日光下の夏季屋外の暑熱環境下では、ファン付きベストの着用は中等度強度運動時だけでなく高強度運動時にも体温調節系の負担を軽減し、熱中症予防に効果的であることが初めて確認された。

ファン付きベストによる身体冷却の効果は、主に衣服内の気流の循環による蒸発性熱放散の促進によるもの⁹⁾と考えられる。暑熱環境下の運動時には、気流の増加に伴い体温調節系の負担は軽減し⁵⁻⁷⁾、皮膚の表面からは汗の蒸発による蒸発性

熱放散が非蒸発性熱放散よりも多くの熱を逃がすことが可能となる⁸⁾。また、気流による身体冷却効果は、皮膚が濡れている時の方が濡れていない時よりも高く、暑熱環境下の運動時には皮膚温、深部体温及び心拍数の上昇を抑制することが可能となる^{26, 27)}。Tokizawa¹³⁾は、暑熱環境下の運動時において、ファン付きジャケットの下に着用するアンダーシャツを水で濡らした時と濡らさなかった時の体温調節反応について比較を行った。その結果、水で濡らしたアンダーシャツの上にファン付きジャケットを着用した際の方が、蒸発性熱放散の促進により皮膚温、深部体温及び心拍数の上昇が有意に抑制されたことを報告している¹³⁾。本研究は、極めて厳しい暑熱ストレス条件下で運動を行っていることから、被験者は練習開始後すぐに汗をかき、アンダーシャツが十分濡れた状態でファン付きベストを着用していたものと考えられる。一方、Rowellら²⁸⁾は、運動中に水循環スーツにより全身の皮膚を冷却し皮膚温を低下させると、静脈収縮の増強により中心循環への静脈還流が促進されることを報告している。これにより、運動中の大動脈圧、一回拍出量、心拍出量が低下し、心拍数と深部体温の上昇が抑制されることを報告している²⁸⁾。本研究で使用したファン付きジャケットの気流は、全身を冷却している訳ではないが、汗で濡れている体幹部を流れる気流により蒸発性熱放散が促進され、皮膚温の上昇が抑制された結果、心拍数の上昇が軽減された可能性が考えられる。

本研究では、ファン付きベストの着用により温熱感の上昇が有意に抑制された。暑熱環境下の運動時には、暑熱ストレスと体温調節系の負担の増大に伴って温熱感の上昇が起こることが知られている^{5, 6, 29)}。また、暑熱環境下では、顔への送風により温熱感と皮膚温の上昇が抑制される³⁰⁾が、本研究で使用したファン付きベストは首回りから空気が排出されるため、首から顔への排気により

温熱感の上昇が抑制された可能性が高いものと考えられる。図3Aから、120分の時の温熱感は60分の時に比べ条件間の差が小さくなった。この原因は、練習内容の違いによるものと考えられる。練習内容は、60分ではシュート練習中であったが、120分ではゲームの直後であったため、120分の時の方が心拍数は高く(図2B)、運動強度も高かったと考えられる。このため、ファン付きベストを着用しているVEST条件でも、120分の時には多くの被験者が強い暑さを感じたため、条件間の差が小さくなったものと考えられる。

暑熱環境下の運動時におけるRPEの上昇は、心拍数と深部体温の上昇³¹⁾及び平均皮膚温の上昇³²⁾に伴って引き起こされる。本研究では、ファン付きベストの着用に伴い心拍数と平均皮膚温の上昇が抑制されたことから、RPEの上昇は抑制されたものと考えられる。本研究における温熱感とRPEの反応は、我々の先行研究¹⁰⁾及び屋内でファン付きジャケットを使用した他の先行研究¹¹⁻¹³⁾でも同様の結果が報告されている。したがって、暑熱環境下の運動中におけるファン付きウェアの着用は、暑さと疲労の感覚が上昇するのを効果的に抑制することができるものと考えられる。

本研究では、練習中、常に動き続けているというサッカーの競技特性を考慮し、測定に時間を要する赤外線鼓膜温や口腔温などの深部体温の指標については測定を行わなかった。また、倫理的な観点から、主に屋内での体温調節研究に用いる直腸温と食道温の測定も実施することができなかった。したがって、今後は、これらの深部体温を測定し、ファン付きウェアの熱中症予防効果をより詳細に検証する必要があるものと考えられる。また、本研究は、太陽が南中高度に達する正午付近と1日の気温が最高値を示す14時付近^{16, 17)}を避け、9～11の間で実験を実施した。しかし、実際の部活動は、そのような暑熱ストレスの大きい時間帯でも実施されており、毎年多くの熱中症

事例が報告されている。このため、今後は暑熱ストレスが大きく熱中症の危険性が高い時間帯にも実験を実施し、ファン付きウェアの効果をさらに詳細に検証する必要があるものと考えられる。

4. 結 論

本研究の結果から、夏季快晴条件下の暑熱環境下の高強度部活動練習時には、ファン付きベストの着用により体温調節系の負担が軽減され、熱中症の危険性が軽減されることが確認された。一方、本研究で用いたサッカーのように練習中の移動が自由な競技においては、ファン付きベストの着用は選手の移動をある程度制限し、持久性パフォーマンスを制限する可能性が示唆された。夏季の部活動練習時における熱中症予防の観点からは、ファン付きベストの着用は熱中症予防のために非常に効果的であると考えられる。

謝 辞

本研究に対して助成を賜りました財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、実験にご協力いただいた被験者の皆様に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) Ebi KL., Capon A., Berry P. et al., Hot weather and heat extremes: health risks., *Lancet*, **398**: 698-708 (2021)
- 2) Mora C., Dousset B., Caldwell IR. et al., Global risk of deadly heat., *Nat. Clim. Chang.*, **7**: 501-506 (2017)
- 3) Kjellstrom T., Briggs D., Freyberg C. et al., Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for the Assessment of Global Climate Change Impacts., *Annu. Rev. Public Health*, **37**: 97-112 (2016)
- 4) Morris NB., Chaseling GK., English T. et al., Electric fan use for cooling during hot weather: a biophysical modelling study., *Lancet Planet Health*, **5**: e368-e377 (2021)
- 5) Otani H., Kaya M., Tamaki A. et al., Air velocity influences thermoregulation and endurance exercise capacity in the heat., *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, **43**: 131-138 (2018)
- 6) Otani H., Kaya M., Tamaki A., et al., Combined effects of solar radiation and airflow on endurance exercise capacity in the heat., *Physiology & Behavior*, **229**: 113264 (2021)
- 7) Saunders AG., Dugas JP., Tucker R. et al., The effects of different air velocities on heat storage and body temperature in humans cycling in a hot, humid environment., *Acta Physiologica Scandinavica*, **183**: 241-255 (2005)
- 8) Havenith G., Holmér I., den Hartog EA. et al., Clothing evaporative heat resistance-proposal for improved representation in standards and models., *Ann. Occup. Hyg.*, **43**: 339-346 (1999)
- 9) Otani H., Fukuda M., Tagawa T., Cooling Between Exercise Bouts and Post-exercise With the Fan Cooling Jacket on Thermal Strain in Hot-Humid Environments., *Front Physiol.*, **12**: 640400 (2021)
- 10) Otani H., Goto T., Kobayashi Y. et al., The fan cooling vest use reduces thermal and perceptual strain during outdoor exercise in the heat on a sunny summer day., *Int. J. Biometeorol.* (2024), doi:10.1007/s00484-024-02690-w
- 11) Hashimoto K., Horie S., Nagano C. et al., A fan-attached jacket worn in an environment exceeding body temperature suppresses an increase in core temperature., *Sci. Rep.*, **11**: 21269 (2021)
- 12) Mori K., Nagano C., Fukuzawa K. et al., Mitigation of heat strain by wearing a long-sleeve fan-attached jacket in a hot or humid environment., *J. Occup. Health*, **64**: e12323 (2022)
- 13) Tokizawa K., Effects of wetted inner clothing on thermal strain in young and older males while wearing ventilation garments., *Front Physiol.*, **14**: 1122504 (2023)
- 14) Armstrong LE., Casa DJ., Millard-Stafford M. et al., American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **39**: 556-572 (2007)
- 15) Otani H., Kaya, M., Tamaki, A. et al., Effects of solar radiation on endurance exercise capacity in a hot environment., *Eur. J. Appl. Physiol.*, **116**: 769-779 (2016)

- 16) Otani H., Goto T., Goto H. et al., Time-of-day effects of exposure to solar radiation on thermoregulation during outdoor exercise in the heat., *Chronobiology International*, **34**: 1224–1238 (2017)
- 17) Otani H., Goto T., Goto H. et al., Solar Radiation Exposure Has Diurnal Effects on Thermoregulatory Responses During High-Intensity Exercise in the Heat Outdoors., *J. Strength. Cond. Res.*, **33**: 2608–2615 (2019)
- 18) Zuo J., McCullough E., Heat transfer characteristics of sports apparel., *J. ASTM. Int.*, **1**: 1-10 (2004)
- 19) ISO, Ergonomics of the physical environment — Subjective judgement scales for assessing physical environments. ISO, ISO 10551, Geneva (2019)
- 20) Borg GA., Psychophysical bases of perceived exertion., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **14**: 377-381 (1982)
- 21) Ramanathan NL., A new weighting system for mean surface temperature of the human body., *J. Appl. Physiol.*, **19**: 531-533 (1964)
- 22) Yaglou CP., Minard D., Control of heat casualties at military training centers. AMA. *Archives Industrial Health*, **16**: 302-316 (1957)
- 23) Noguchi K., Gel YG., Brunner E. et al., nparLD: an R software package for the nonparametric analysis of longitudinal data in factorial experiments., *Journal of Statistical Software*, **50**: 1-23 (2012)
- 24) Cohen J., Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd edition). Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale (1988)
- 25) American College of Sports Medicine (ACSM). Position stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in adults., *Med. Sci. Sports Exerc.*, **30**: 975-991 (1998)
- 26) Mitchell JB., Schiller ER., Miller JR. et al., The influence of different external cooling methods on thermoregulatory responses before and after intense intermittent exercise in the heat., *J. Strength. Cond. Res.*, **15**: 247-254 (2001)
- 27) Lynch GP., Périard JD., Pluim BM. et al., Optimal cooling strategies for players in Australian Tennis Open conditions., *J. Sci. Med. Sport*, **21**: 232-237 (2018)
- 28) Rowell LB., Murray JA., Brengelmann GL. et al., Human cardiovascular adjustments to rapid changes in skin temperature during exercise., *Circ. Res.*, **24**: 711-724 (1969)
- 29) Schlader ZJ., Vargas NT., Regulation of Body Temperature by Autonomic and Behavioral Thermoeffectors., *Exerc. Sport Sci. Rev.*, **47**: 116-126 (2019)
- 30) Kato M., Sugeno J., Matsumoto T. et al., The effects of facial fanning on thermal comfort sensation during hyperthermia., *Pflugers. Arch.*, **443**: 175-179 (2001)
- 31) Nybo L., Nielsen B., Perceived exertion is associated with an altered brain activity during exercise with progressive hyperthermia., *J. Appl. Physiol.*, **91**: 2017-2023 (2001)
- 32) Castle PC., Maxwell N., Allchorn A. et al., Deception of ambient and body core temperature improves self paced cycling in hot, humid conditions., *Eur. J. Appl. Physiol.*, **112**: 377-385 (2012)