

陸上競技長距離選手における重ね着を 活用した持久性トレーニングの効果

立命館大学 後藤一成
(共同研究者) 岡本紗弥
同 鈴木妙実

The Effect of Endurance Training with Heat Stress Added by Layered Clothing in Long Distance Runners

by

Kazushige Goto
*Faculty of Sport and Health Science,
Ritsumeikan University*
Saya Okamoto, Taemi Suzuki
*Graduate School of Sport and Health Science,
Ritsumeikan University, Japan*

ABSTRACT

The purpose of the present study is to clarify the effects of heat stress added by layered clothing during 3 days of endurance training on thermoregulatory during exercise in a hot environment among long-distance runners.

Nine male long-distance runners conducted three consecutive days of endurance (cycling) training at 50% $\dot{V}O_{2max}$ for 90 min/day at 15°C with layered clothing (WEAR condition) or short-sleeve shirts and short (CON condition). Each condition was separated six weeks between conditions. Before and after training period, heat stress test (HST), consisting of 40 min of endurance (cycling) exercise in a hot environment (35°C, 50%RH), were conducted. During HST, core temperature, plasma volume, heart rate, sweat rate, sweat sodium concentration, score of thermal sensation and rate of perceived exertion were evaluated.

Peak core temperature during training session was 38.39°C in WEAR and 38.31°C in CON, with no significant difference between conditions. The mean heart rate during training session was 126 bpm in WEAR and 120 bpm in CON ($P>0.05$ between conditions). The average sweat rate during training sessions was significantly higher in WEAR (2.45%) vs. CON (1.31%) ($P<0.001$ between conditions). The absolute changes in resting core temperature before and after training period were -0.97% (from 37.22°C to 36.85°C) in WEAR and -0.82% (from 37.19°C to 36.88°C) in CON, with no significant difference between conditions. The relative change in sweat rate after HST was 0.01% (from 1.01% to 1.03%) in WEAR and 8.87% (from 1.03% to 1.12%) in CON, with no significant difference between conditions.

In conclusion, three consecutive days of endurance training adding heat stress by wearing layers didn't improve thermoregulatory ability in a hot environment.

キーワード

暑熱馴化, 持久性トレーニング, 体温調節, 発汗率, 深部温

Keyword

Heat acclimation, Endurance training, thermoregulation, Sweat rate, Core temperature

要 旨

本研究では、重ね着を用いた3日間連続での持久性トレーニングが、暑熱環境下での運動時の体温調節能に及ぼす影響を検討することを目的とした。

男性陸上競技長距離選手9名を対象に、室温15°C環境で90分間のペダリング運動を3日間連続で実施した。この際、重ね着を用いて暑熱ストレスを課す条件(着衣条件)と軽装(半袖・短パン)

を着用する条件(通常条件)を設けた。3日間のトレーニング期間前後で、暑熱環境(室温35°C)で40分間のペダリング運動を実施し(暑熱耐性テスト)、運動時の体温調節能を評価した。

トレーニング時の発汗量は、着衣群が通常群に比較して有意に高値を示した($P<0.05$)。トレーニング期間前後での深部温や血漿量の変化、暑熱耐性テスト時の発汗量や汗中ナトリウム濃度の変化には、いずれも条件間での有意差がみられなかった。

以上の結果から、重ね着を用いた3日間連続での持久性トレーニングによって、暑熱環境での運動時の体温調節能の改善は認められなかった。

緒言

暑熱環境で繰り返し運動する「暑熱馴化トレーニング」の結果、体温調節能が改善し、暑熱環境での運動パフォーマンスが向上することが知られている¹⁾。暑熱馴化を獲得する上では、暑熱環境下(室温35℃前後)で1日あたり60～90分間のトレーニングを2週間程度継続することが推奨されている²⁾。一方、この際には、室温を制御することのできる特別な施設(人工気象室)と10～14日間に及ぶトレーニング期間が必要になる³⁾。また、通常のトレーニングに加えて、アスリートは暑熱馴化トレーニングを試合の前に取り入れる必要がある⁴⁾。このことが、暑熱馴化トレーニングをスポーツ現場で取り入れる上での大きな障壁となっている。

そこで本研究では、暑熱環境下と類似した環境を簡易に作り出すために、着衣による熱ストレスの付加に着目する。寒冷環境下(17～19℃)において着衣による熱ストレスを付加しながら1日あたり50分間のトレーニングを10日間行った結果、暑熱環境下(35℃)で運動した場合と同様に、暑熱環境下における持久性パフォーマンスが改善された²⁾。一方で、温帯環境下(平均18℃)において着衣による熱ストレスを付加しながら1日あたり60～90分間のサイクリングおよびランニング運動を2週間行ったところ、深部温、心拍数、発汗量といった体温調節機能に関する生理的指標に改善はみられなかった⁵⁾。これらのように、1～2週間程度の持久性トレーニング時における着衣による熱ストレスの付加の影響が報告される一方で、一致した結果が得られていない。また、1週間以内の短期間の影響を示した研究は未だみられない。これに対して、我々がこれまでに実施した

研究では、寒冷環境下(10℃)での5日間の持久性トレーニング時の重ね着によって熱ストレスを付加することで、トレーニング期間前後で有酸素性能力の向上が認められた。しかしながら、この研究では暑熱耐性に関わる詳細な情報は得られなかった。また、さらに短期間(<5日間)での持久性トレーニングの効果についても不明である。数日間の持久性トレーニングに重ね着を行うことによって熱ストレスの適切に付加することができれば、人工気象室のない環境や比較的涼しい環境であっても試合や普段の練習に大きな影響を与えることなく暑熱馴化トレーニングを導入し、体温調節能を改善できるかもしれない。

そこで本研究では、陸上長距離選手を対象に、3日間の持久性トレーニング中の着衣による熱ストレス付加が暑熱環境での体温調節能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

1. 方法

1.1 被験者

男子陸上長距離選手9名(平均値±標準誤差、年齢:20.6±0.5歳、身長:171.7±2.0 cm、体重:57.7±1.5 kg、 $\dot{V}O_{2max}$:57.8±2.0 mL/kg/min)を対象とした。被験者は実験の主旨、内容および危険性についてあらかじめ説明を受け、それらを十分に理解し、同意書に署名した上で実験に参加した。本研究は、立命館大学倫理審査委員会の承認をもとに実施された。

1.2 実験デザイン

各被験者は、以下の2条件の持久性トレーニングを3日間連続して行い、各トレーニングの前後に暑熱耐性テストを実施した。各条件間は1ヶ月の間隔を設けた。

- ①着衣条件・・・毎回のトレーニング(3日間)時に重ね着をする条件
- ②通常条件・・・毎回のトレーニング(3日間)

時に通常の衣服（半袖・半ズボン）を着用する条件

実験期間を通して、被験者は合計12回実験室へ来室した。まず、最初の来室時には、インフォームドコンセントを実施し、同意書への署名を得た。2回目の来室では、暑熱耐性テストおよび毎回の持久性トレーニング時の負荷を決定するために、 $\dot{V}O_{2max}$ を測定した。3回目の来室では、1条件目のトレーニング期間における事前の暑熱耐性テストを実施した。4～6回目の来室では、1条件目のトレーニングを3日間連続して実施した。7回目の来室では、1条件目のトレーニング期間における事後の暑熱耐性テストを実施した。8回目の来室では、2条件目のトレーニング期間における事前の暑熱耐性テストを実施した。9～11回目の来室では、2条件目のトレーニングを3日間連続して実施した。12回目の来室では、2条件目のトレーニング期間における事後の暑熱耐性テストを実施した。

3日間の持久性トレーニングは、冷涼環境（室温15℃，相対湿度50％）に設定された人工気象室内で連続して実施した。トレーニングは1回あたり90分間とし、自転車エルゴメーター（エアロバイク 75XLM，株式会社コナミスポーツライフ）を用いてペダリング運動を実施した。運動負荷は、 $\dot{V}O_{2max}$ 測定から算出した50％ $\dot{V}O_{2max}$ に設定した。なお、毎回のトレーニング終了直後には、糖質（10.5g）およびタンパク質（15.0g）を含有した飲料を提供した。これは、暑熱環境での持久性トレーニングに伴う血漿量の増加が運動後の糖質およびタンパク質摂取によって充進することを示した先行研究の結果に基づくものである。また、トレーニング期間中における慢性的な脱水を防ぐために、毎回のトレーニング開始前には尿比重を尿比重計（PAL-09S，株式会社アタゴ社製）によって確認した。

暑熱耐性テストの実施前には、前日22時以降

に食事を摂取しない状態で前腕静脈から採血を実施した。採血終了後、暑熱環境（室温35℃，相対湿度50％）に設定した人工気象室内で自転車エルゴメーターを用いて60分間のペダリング運動を実施した（暑熱耐性テスト）。運動負荷は、65％ $\dot{V}O_{2max}$ に設定し、体温調節に関わる運動中の生理的指標を測定した。

1. 3 測定項目

1. 3. 1 トレーニング期間中

1. 3. 1. 1 発汗量（毎日）

インピーダンス式体組成計（Inner scan 50V BC-622タニタ社製）を用いて運動前後の体重を測定し、飲水量を除いた値を運動中の発汗量として算出した。

1. 3. 1. 2 深部体温（トレーニング1日目）

トレーニング1日目に、運動時の深部体温を測定した。深部体温の測定には、飲用可能なカプセル型の深部温計（e-Celsius，Body CAP社製）を用いた。

1. 3. 1. 3 心拍数（毎日）

無線型心拍計（RCX5，Polar社製）を用いて心拍数を測定した。

1. 3. 1. 4 主観的指標（毎日）

運動中の主観的運動強度、主観的温冷感を20分ごとに測定した。

1. 3. 2 トレーニング期間前後（暑熱耐性テスト）

1. 3. 2. 1 発汗量

インピーダンス式体組成計（Inner scan 50V BC-622タニタ社製）を用いて運動前後の体重を測定し、発汗量として算出した。

1. 3. 2. 2 深部体温

飲用可能なカプセル型の深部温計（e-Celsius，Body CAP社製）を用いて、深部温の変化を測定した。

1. 3. 2. 3 心拍数

無線型心拍計（RCX5，Polar社製）を用いて心

拍数を測定した。

1. 3. 2. 4 主観的指標

主観的運動強度, 主観的温冷感を10分ごとに測定した。

1. 3. 2. 5 汗中のNa濃度

背中に小型のガーゼを貼付し, 汗を採取した。運動終了後にガーゼに含まれた汗を回収し, 汗中のNa濃度を計測した。

1. 3. 3 血液指標

前腕静脈から採血を行い, ヘモグロビン濃度およびヘマトクリット値から血漿量を算出した。

1. 4 統計解析

すべての測定値は, 平均値±標準誤差(SE)で示した。平均値の差の検定には, 反復測定による二元配置の分散分析(two-way ANOVA)を用い, 交互作用および主効果(条件, 時間)の有無を検定した。ANOVAにより交互作用または主効果が認められた場合には, Tukey-Kramer法により多重比較検定を行った。なお, 有意性の検定には危険率5%未満を採用した。

2. 結果

2. 1 トレーニング期間中の各指標の変化

表1には, トレーニング期間中の平均深部温, 最高深部温, 平均心拍数の変化を示した。90分間の持久性運動中, 重ね着をして運動を行った着衣条件と半袖半ズボンで運動を行った通常条件との間で深部温に差は認められなかった。また, 運動中の心拍数においても条件下で差はみられなかった。図1には, トレーニング中の発汗量を示

表1 トレーニング期間中の平均深部温, 最高深部温, 平均心拍数

	着衣	通常
平均深部温(℃)	37.88±0.17	37.91±0.18
最高深部温(℃)	38.39±0.22	38.31±0.16
平均心拍数(bpm)	126±6	120±4
平均値±標準誤差		

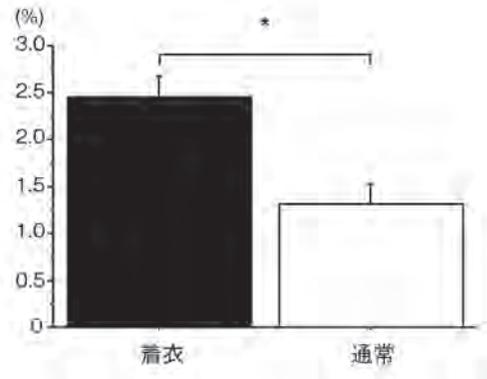


図1 トレーニング期間中の平均発汗量
平均値±標準誤差。*; P<0.05

した。着衣条件において通常条件と比較して有意に高値を示した(P<0.05)。

2. 2 トレーニング期間前後での各指標の変化

図2には, 暑熱耐性テスト時の安静時深部温を

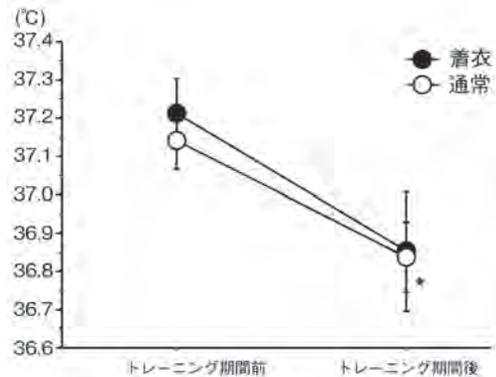


図2 暑熱耐性テスト時の安静時深部温
平均値±標準誤差。*; P<0.05

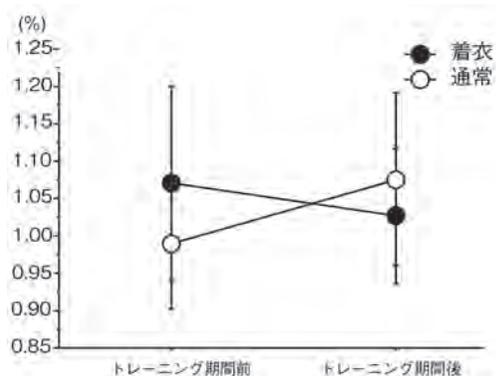


図3 暑熱耐性テスト時の発汗量
平均値±標準誤差

示した。安静時深部温は、通常条件においてトレーニング期間後に有意な低下が認められたが ($P<0.05$)、条件間で有意差は認められなかった。図3には、暑熱耐性テスト中の発汗量を示した。トレーニング期間の前後および条件間で、発汗量に有意差は認められなかった。図4には、トレーニング期間前後における暑熱耐性テスト中の汗中のNa濃度の変化を示した。トレーニング期間の前後および条件間で有意差は認められなかった。

図5には、トレーニング期間前後の血漿量の変化を示した。トレーニング期間の前後および条件間で有意差は認められなかった。

考察

本研究では、3日間の持久性トレーニング中の着衣による熱ストレスの付加が暑熱環境での体温

調節能に及ぼす影響を検討した。その結果、着衣による熱ストレスを付加した3日間の持久性トレーニングの前後において、着衣による熱ストレスを付加しなかった場合と比較して体温調節能の改善はみられなかった。

着衣による熱ストレスを付加した3日間の持久性トレーニング期間の前後で、暑熱環境下における運動時の体温調節機能が改善されなかった要因として、熱ストレスが身体へ十分に付加されていなかった可能性が考えられる。持久性トレーニング期間中の1日目には、身体への熱ストレスを評価する目的で90分間の運動中の深部温を測定した。その結果、予想に反して、平均深部温および最高深部温には、条件間で有意な差は認められなかった。このことから、着衣条件における熱ストレスが十分に付加されていなかったことが示唆される。先行研究では、持久性運動中の深部温が 38.5°C 以上で約20分維持されたことによって暑熱耐性が獲得されることが指摘されている²⁾。しかしながら、本研究の着衣条件では平均深部温が $37.88 \pm 0.17^{\circ}\text{C}$ 、最高深部温が $38.39 \pm 0.22^{\circ}\text{C}$ を示し、先行研究で報告された深部温までの上昇はみられなかった。これらの要因としては、①着衣の量、②運動強度と時間、③運動中の飲水の3点が考えられる。本研究における着衣の量は、先行研究 (Okamoto et al. 2024)⁶⁾の結果をもとに決定された。運動したことで発生する熱を外に逃さぬように、身体に密着するロングタイツとロングシャツを身につけた上に、保温性が高いとされる中綿のジャケットとズボンを上下身につけた。さらに、隙間から熱が逃げるのと外気の流入を防ぐためにネックウォーマー、帽子、手袋を着用した。一方で、適切な衣服の形態は運動実施環境や対象者の特性によって異なる可能性があり、この点は今後、改めて検討する必要がある。

本研究における運動負荷は、事前に測定した $\dot{V}O_{2\text{max}}$ の50%に規定した。一般には、低～中強

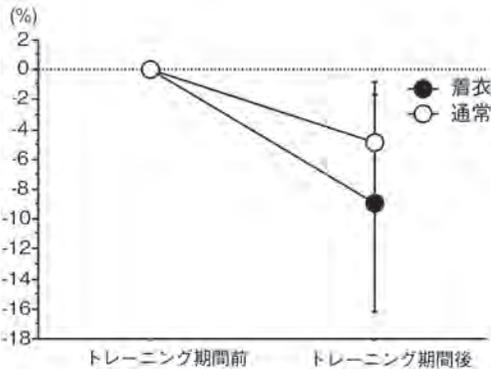


図4 暑熱耐性テスト時の汗中のNa濃度
平均値±標準誤差

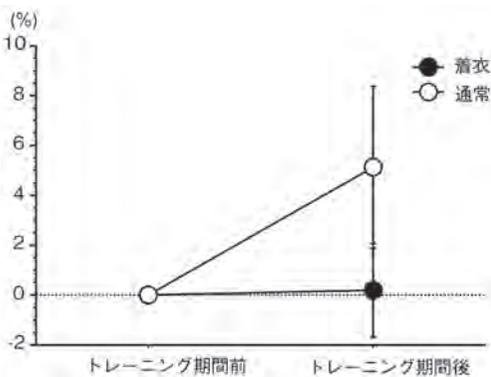


図5 トレーニング期間前後の血漿量
平均値±標準誤差

度に該当するが、本研究の対象者では運動の後半から負荷を下げた例もみられた。そのため、エネルギー消費量が減少し、身体から十分に熱が発せられなかった可能性が考えられる。また、軽強度の運動であっても運動時間を伸ばすことによって緩やかな体温の上昇が期待できる。従来の暑熱馴化の方法は60~90分間の運動が一般的であるが¹⁾、本研究で同様の現象はみられなかった。その他、トレーニング中の飲水の影響も考慮すべきである。暑熱馴化期間中における体水分量は、発汗機能や深部温の上昇の度合いに関わるため慎重に調整する必要がある。本研究では、運動中の安全性を考慮して90分間のトレーニング中は自由飲水とし、運動後に飲水量を算出する方法を採用した。その結果、3日間平均で着衣条件では766mL、通常条件は319mLの飲水が確認された。飲水を積極的に行った着衣条件で発汗量の増加がみられた一方で、深部温の上昇を妨げる一因となった可能性も考えられる。

着衣による熱ストレスを付加した3日間の持続性トレーニング期間の前後で、暑熱環境下における体温調節機能を評価した際には、深部温、発汗量、汗中のNa濃度および血漿量に有意な変化はみられなかった。このことには上述した通り、毎回の持続性運動時に着衣による十分な熱ストレスが付加されなかったことが関与していると推察される。暑熱馴化に伴う生理応答の一つとしては、血漿量の増加が挙げられる。血漿量の増加は暑熱環境下での持続性運動時の心血管系へのストレス軽減に重要な役割を担う。暑熱馴化トレーニングに伴う変化には個人差が大きい¹⁾が、暑熱馴化を開始して2,3日目から増加が認められる¹⁾。また、暑熱環境での持続性運動後にタンパク質と糖質を含む飲料を摂取することにより、血漿量の増加が亢進することも報告されている⁶⁾。そこで、本研究ではいずれの条件においても、90分間の持続性運動後にタンパク質を15g、糖質を10.5g含む

飲料を提供した。しかしながら、血漿量の有意な増加には至らなかった。その要因として、着衣条件のトレーニング期間中の飲水量が発汗量に対して不足していた可能性が考えられる。毎日のトレーニング前には尿比重の測定を行い、脱水状態(<1.030)でないことを確認してから運動を実施していた。一方で、血漿量の増加を誘発する上では、飲水量が不足していた可能性は否定できない。そのため、短期間の暑熱馴化トレーニングによって血漿量の増加を図る上では、運動中の飲水量のみならず、運動後における飲水量の管理まで行う必要があると考えられる。

まとめ

3日間の持続性トレーニング中の着衣による熱ストレス付加は、暑熱環境下における運動中の体温調節機能の改善に影響を及ぼさなかった。

謝辞

本研究を委託いただき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心からの御礼を申し上げます。

文献

- 1) Racinais S., Sawka M., Daanen H., Périard J.D., Heat acclimation., *In Heat stress in Sport and Exercise*, (pp. 159-178). Springer, Cham (2019)
- 2) Lundby C., Svendsen I.S., Urianstad T., Hansen J., Rønnestad B.R., Training wearing thermal clothing and training in hot ambient conditions are equally effective methods of heat acclimation., *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24 (8), 763-767 (2021)
- 3) Périard J.D., Racinais S., Sawka M.N., Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: applications for competitive athletes and sports., *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 25, 20-38 (2015)
- 4) Benjamin C.L., Sekiguchi Y., Struder J.F., Szymanski M.R., Manning C.N., Grundstein A.J., ... Casa D.J., Heat acclimation following heat

- acclimatization elicits additional physiological improvements in male endurance athletes., *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (8), 4366(2021)
- 5) Stevens C.J., Heathcote S.L., Plews D.J., Laursen P.B., Taylor L., Effect of two-weeks endurance training wearing additional clothing in a temperate outdoor environment on performance and physiology in the heat., *Temperature*, 5 (3), 267-275 (2018)
 - 6) Okamoto S., Yamaguchi K., Makino A., Lin C., Yabuuchi R., Goto K., Effect of adding stress by wearing layers during endurance training on improvement of exercise performance., *The 2024 American College of Sports Medicine (ACSM) Meeting*, Boston, USA. (2024)
 - 7) Goto M., Okazaki K., Kamijo Y.I., Ikegawa S., Masuki S., Miyagawa K., Nose H., Protein and carbohydrate supplementation during 5-day aerobic training enhanced plasma volume expansion and thermoregulatory adaptation in young men., *Journal of Applied Physiology*, 109 (4), 1247-1255(2010)
 - 8) Okazaki K., Hayase H., Ichinose T., Mitono H., Doi T., Nose H., Protein and carbohydrate supplementation after exercise increases plasma volume and albumin content in older and young men., *Journal of Applied Physiology (1985)*, 107 (3) :770-779(2009)