

段階的着圧機能を持つスポーツタイツ着用が暑熱時の体温調節反応に及ぼす影響

人間総合科学研究科 西保 岳
人間総合科学研究科 体育学専攻 二川俊哉

1. はじめに

近年、スポーツウエアの発展には目覚ましいものがあり、季節に応じて新しい素材や機能を持つウエアが次々と登場し、アスリートから一般のスポーツ愛好家の注目を集めている。運動中に着用するウエアの役割は、外部環境の変化から身体を保護し、また内部環境(身体内部で発生する熱など)の変化に対して身体内部の環境をある範囲内に保ち、より運動を快適に行うことにあると考えられてきた。しかし、ここ数年、その着用による快適性のみならず、スポーツにおけるパフォーマンス向上、運動時の疲労軽減または筋や関節へのサポート効果といった機能性を目的としたスポーツウエアの開発が急速に進み、その結果、これら機能性スポーツウエアは多くのスポーツ場面で使用されている。その中でも特に、末梢部から中枢部へと段階的な圧力のかかる高機能スポーツタイツが注目を浴びている。

段階的着圧のかかる高機能タイツは、その着用によって下肢における静脈還流を促進させるという報告や、運動後における血中乳酸や筋損傷マーカーであるクレアチンキナーゼの増加を抑制するといった報告がある。そのため、ラグビーやアメリカンフットボールなどのコンタクトプレーの多い競技では試合直後のリカバリー期や試合翌日のリカバリートレーニング時などに積極的に着用するケースが見られる。また、特に海外では、このような高機能スポーツタイツを暑い夏場にも着用している選手や、アメリカンフットボールやベースボー

ルといったウエアを着込まなければならないスポーツにおいて、選手がユニフォームの下に着用しているケースも見られる。アスリートだけでなく様々なスポーツシーンに目を移してみると、近年、ジョギングやウォーキングを行う女性が急激に増え、暑い夏場でも日焼け対策やファッションのひとつとして、好んでこのタイトフィットなスポーツタイツを着用している女性も多く見られる。このように、スポーツタイツは寒冷環境下での防寒対策としてのロングタイツの意味合いだけでなく、照り返しの強い夏場のような暑熱環境下において、また体温が上昇しやすいユニフォームなど重ね着をした際のインナーとして多くの人が着用している。しかしながら、段階的着圧機能を持つ高機能スポーツタイツの着用による体温上昇時の体温調節に及ぼす効果に関する研究はない。

暑熱環境下での安静時または運動によって引き起こされる深部体温上昇時に段階的着圧の加わるスポーツタイツを着用した場合、その下肢圧迫による静脈還流促進が中心血液量増加を引き起こし、それに伴い体温調節反応(熱放散反応)のひとつである皮膚血管拡張反応の亢進が予想される。しかしながら、段階的着圧機能を持つスポーツタイツによる下肢圧迫が安静加温時および運動時による深部体温上昇時の皮膚血管拡張反応にどのような影響を及ぼすかは明らかでない。

以上のことから本研究では、暑熱環境下での運動時に段階的着圧機能を持つスポーツタイツを着用した場合、その下肢圧迫が上肢の皮膚血管拡張

反応および発汗反応といった体温調節機構（熱放散反応）にどのような影響を及ぼすのかどうかを明らかにすることを目的として実験を行った。

暑い夏場にタイツ着用??という既成概念を覆し、タイツ着用によって熱放散反応をより亢進できる可能性、すなわちタイツを履いてより涼しく、さらにパフォーマンスを向上できる可能性、を本研究によって明らかにすることは、スポーツタイツの持つ新たな機能性を提言する重要な基礎的資料となるものと考えられる。

2. 方法

被験者は9名の健康な男性であり、段階的着圧のかかる高機能スポーツタイツ着用条件 (Compression & Graduation: CG条件) と着圧のかからない同素材のタイツ着用条件 (Control: CON条件) の2条件で、環境温30℃、相対湿度50%に設定された暑熱環境下において、各個人の最大酸素摂取量の60%強度のセミリカンベント姿勢での45分間の



図1 実験の様子（被験者はCGタイツを着用してセミリカンベント姿勢での自転車運動を行った。右上腕部分において静脈閉塞プレチスモグラフィにて血流測定を行った。他に、呼気ガス分析、血圧、体温、心拍数、発汗量などを測定した。）

自転車運動実験を行った。

被験者は、AM 9:00 に実験室を訪れ、排尿後、体重を測定し、環境温25℃、相対湿度50%に設定された環境制御室（富士医科産業、千葉）内で20分間の座位安静を保った。その後、環境温30℃、相対湿度50%に設定された別室内に移動し、段階的着圧の加わる高機能スポーツタイツ (REGUARD CG Tights EX33、アルケア) (CG条件) もしくは着圧のかからない同素材のタイツ (CON条件) を着用した後、椅子に座って40分間安静状態を保った。この安静時に心拍モニター、食道温(Tes)や皮膚温測定用の熱電対、心電図測定用の電極、血圧測定用のカフ (左上腕部) を装着した。さらに、前腕血流量測定のため、ストレインゲージ (右前腕部)、静脈阻血のためのカフ (右上腕部) および手掌部阻血のためのカフ (右手首部) を取り付けした。前腕血流量 (Forearm Blood Flow: FBF) は、静脈閉塞プレチスモグラフィ法によって測定した。静脈閉塞プレチスモグラフィ法は、液体金属をシリコンチューブに注入したストレインゲージをホイトストーンブリッジの一辺に組み込み、容積の変化に伴う円周変化をチューブの伸張によって起こる電気的抵抗変化として記録するものである。実験中、被験者の手を天井から吊るした半円柱形のパイプに固定することで、前腕部を心臓よりも約10cm高い位置に固定した。上腕部には、静脈閉塞用のカフを装着した。このカフを動脈圧よりも低く、静脈圧よりも高い圧力 (本実験では40～45mmHg) で加圧すると、静脈は閉塞されているため動脈より流入した血液は前腕部に貯留して、前腕容量が増加する。静脈閉塞プレチスモグラフィ法では、この容量変化を単位時間、単位容量当たりの血流量とみなす。ストレインゲージからの出力は、増幅器を介してペンレコーダーにて記録した。このストレインゲージ(図1 & 2)は、研究基盤総合センター工作部門にて製作した。製作においては、測定部の周

囲径に合わせてその張力を調節できるように、一端は可動部位に固定しかつ他端はねじを回転させることによって長さを変化させることができ、さらに、このねじの回転によって出力の校正が可能になるように、設計を工夫していただいた。



図2 前腕部に設置したストレインゲージ（白いパーツ：工作部門製作）

測定開始直前に呼気ガス分析用のマスクを装着し、測定を開始した。測定開始後、まず10分間の安静測定 (Baseline測定) を行い、その後、セミリカレント姿勢での自転車運動を45分間行った。

局所発汗量 (Sweat Rate: SR) は、カプセル換気法によって測定した。カプセル換気法は、皮膚表面の一部を発汗カプセルで覆い、それに乾燥窒素を流し、カプセル内から流出する気湿変化を測定する方法である。気湿変化を測定する仕方として、湿度によって吸湿性素子の電気抵抗が変化する方法を利用した。実験中、側面に空気の入出口が2ヶ所ある断面積 3.5cm^2 の円筒形カプセル (アクリル製) を左胸部に装着し、一方の入り口からチューブを介して流量計により 1.2 L / min に調節した乾燥窒素ガスを流入した。もう一方の出口から流出する窒素ガスはカプセル内で蒸発した汗の湿度を含むため、その気湿変化を湿度計 (HMP133Y、Vaisara、フィンランド) で測定し、SR ($\text{mg / cm}^2 / \text{min}$) を算出した。湿度計を経た窒素ガスは、全体の局所発汗量測定システムに窒素漏れが無いかを

確認するため、再び流量計に通し 1.2 L / min の流量が流れていたことを確認した。発汗カプセルは剃毛した後、コロジオンを用いて左胸部の皮膚面に固定した。

体重は、 $\pm 10\text{g}$ 精度の台秤 (Yamato Scale、Japan) を用いて、測定前と運動終了後に計測した。運動時には、RPE (Rating of Perceived Exertion: RPE、Borg's Scale) を5分毎に測定した。

3. 結果と考察

本研究の主な知見は、暑熱環境下での45分間の一定負荷 ($60\% \text{VO}_{2\text{peak}}$ 強度) 自転車運動時において、段階的着圧の加わる高機能スポーツタイツを着用した場合には着圧のかからないタイツ着用の場合よりも、1) 運動時間の経過に伴う前腕血流量 (FBF) がより増加すること、2) 深部体温上昇に対する皮膚血管拡張の感受性および最大値が増加すること (図3) である。これらは、段階的着圧機能を持つスポーツタイツを着用することによって静脈還流が促進され、中心血流量が増加することによる心肺圧受容器反射を介して、体温調節機能のひとつである皮膚血管拡張反応を亢進させた結果と考えられる。

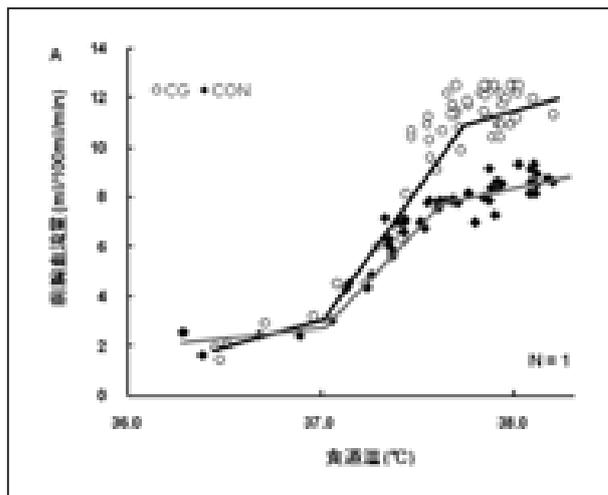


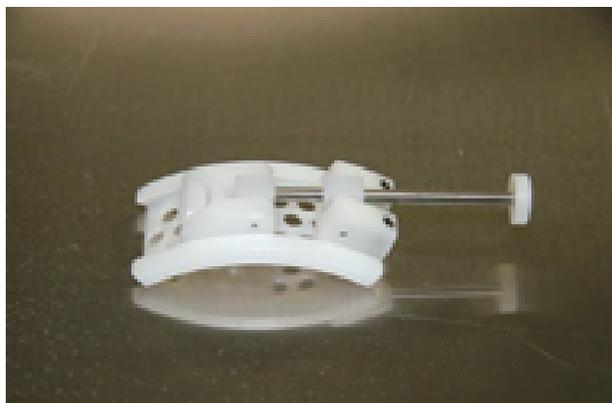
図3 一人の被験者のデータにおける前腕血流量変化と食道温との関係。CG条件の方がCON条件よりも同じ深部体温時の皮膚血流量が高くなることを示している。

本研究から、高機能スポーツタイトの着用によって、パフォーマンス向上や疲労軽減、または筋や関節のサポート効果といった従来から提言されている機能性だけでなく、上半身の熱放散反応をより亢進できるという新たな作用を提示できる。今後、ウェア素材の更なる発展にともない、現在よりも通気性が格段に向上した素材が開発されれば、その素材に段階的着圧機能を持たせることによって、暑熱環境下での安静時または運動時における過度な体温上昇を抑制できる新たなスポーツタイト開発の可能性へとつながると考えられる。このような新しい発想の段階的着圧機能を持つスポーツタイトは、暑い夏場でも競技としてウェアを重ね着しなければいけないアスリートや暑い夏場にもスポーツを楽しみたい愛好家にとって、過度な体温上昇を抑制し、パフォーマンスを向上させる可能性だけでなく、過度な体温上昇に伴う熱中症や脱水症状を引き起こすリスクを低減させ、安全で楽しいスポーツ活動を手助けするツールになりうる可能性を秘めているのかもしれない。

4. おわりに

ヒトにおける非侵襲的な生体計測法は日進月歩であり、我々の研究室においても、ヒトの血流量評価法として、超音波ドップラー装置、レーザードップラー装置などのいわゆる市販の計測機器も目的に応じて使用する。今回用いた静脈閉塞プレチスモグラフィは、測定原理は50年以上前から使用されている極めてシンプルな方法である。血流量の測定間隔が長い（時間的分解能が低い）ことや前腕まるごとの血流量測定である（空間的分解能が低い）こと、他の部位での血流測定に適さないことなど、から市販されている機器ではない。しかしながら、目的に応じた使用によって、今回のような貴重な実験データを得ることができる。ただし、シンプルな計測であるために、いろいろな体型（腕の大きさ、形）のヒトに装着できるような工夫や、繰り返しの使用に耐えうる構造や材質の工夫が、測定データの善し悪しに結びついてくる。この点に関して、いつもながらの工作部門の方々のプロフェッショナルな対応には、感謝申し上げます。

血流バンド（ストレイン ゲージ） 加工工程



血流バンド完成品



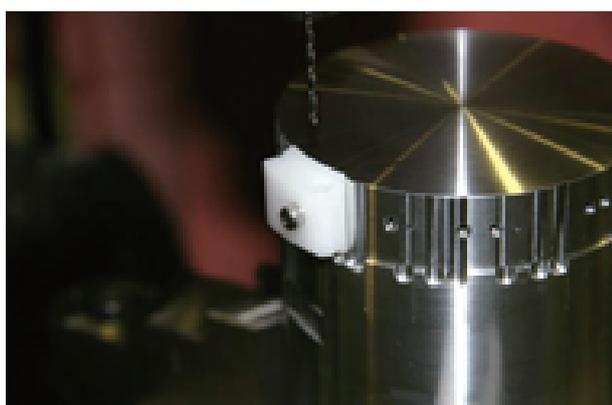
スライドベース加工



スライドベース輪郭加工



固定スライド輪郭加工



可動スライド加工



可動スライド傾斜溝加工