

被服圧が有酸素運動時の生体反応に及ぼす影響

奈良女子大学 芝 崎 学
(共同研究者) 同 佐 藤 留美子
同 登 倉 尋 實

Effect of Pressure by Clothing on Physiological Responses During Dynamic Exercise

by

Manabu Shibasaki,
Rumiko Satou, Hiromi Tokura,
*Faculty of Human Life and Environment,
Nara Women's University*

ABSTRACT

To test the effect of clothing pressure by commercial tights on the respiratory and thermoregulatory responses during exercise, seven young women wearing three different clothes (two tights different in clothing pressure and a jersey for control) performed 20-min of moderate and 6-min of heavy exercises. Minute ventilation ($\dot{V}_E$), oxygen consumption ($\dot{V}_{O_2}$), heart rate (HR), mean blood pressure (MBP), rectal and skin temperatures (T_{re} and T_{sk}), and sweating rate (SR) were measured. During both of exercises no significant differences of clothing pressure were observed in all parameters. Then, we attempted to determine whether physiological responses are affected by graded increase of cuff pressure (15 ~ 60mmHg) around thigh. Seven young women performed 30-min moderate exercise with and without cuff pressures around thighs; the cuff pressures were applied in 5-min steps at 15, 30, 45, and 60mmHg after 10-min of

exercise without pressure. $\dot{V}_E$, $\dot{V}_{O_2}$, HR, MBP, and T_{re} were measured in this protocol. Although no significant difference was observed for the increase in T_{re} from rest to the end of exercise, $\dot{V}_E$, $\dot{V}_{O_2}$, and HR during exercise with cuff pressures were remarkably higher at 45 and 60mmHg. Moreover MBP at the end of exercise was also higher with cuff pressures. These results suggest that cuff pressure around 45mmHg around thighs could elicit muscle chemoreflex due to accumulation of metabolites in exercising muscles. Therefore we can say that exercise training with pressure to active muscles can improve physiological functions more effectively than without pressure. Although more development will be needed in materials, fibers, stitches and so on, we speculate that there is a possibility to develop the more effective sports wear which can improve aerobics performances.

要 旨

市販の運動用タイツによる呼吸および体温調節応答への圧迫の効果を検討するために、異なる2種類の被服圧のタイツまたはジャージを着用した7名の若年女性が、20分間の中強度および6分間の高強度の自転車運動実験に参加した。実験中、分時換気量 ($\dot{V}_E$)、酸素消費量 ($\dot{V}_{O_2}$)、心拍数 (HR)、平均血圧 (MBP)、直腸温 (T_{re})、皮膚温 (T_{sk})、および発汗量 (SR) を連続的に測定した。しかし、これらのパラメータにおいて被服圧による差は認められなかった。さらに、生体反応が15～60mmHg程度の大腿部へのカフ圧によって影響されるか否かの検討を試みた。大腿部にカフを巻いた7名の若年女性が、カフ圧の有無両条件において30分間の中強度の自転車運動を実施した。カフ圧は運動開始10分後より、15、30、45、および60mmHgとステップ状に5分おきに上昇させた。運動前後の T_{re} の上昇度にカフ圧による有意差はみられなかったが、 $\dot{V}_E$ 、 $\dot{V}_{O_2}$ 、およびHRは、45および60mmHgの加圧時に明らかに高い値を示した。また、運動終了直後のMBPも圧迫運動時の方が高い値を示した。これらの結果より、45mmHg程度のカフ圧から、運動筋にお

ける代謝物質の蓄積による化学受容器反射が引き起こされていることが示唆された。これより、活動筋への圧迫を伴う運動トレーニングは、カフ圧を負荷しない場合よりも、より効果的に身体能力を改善するかもしれないことが推察された。新しい素材や繊維の開発、縫製の改善などが必要ではあるが、エアロビクスパフォーマンスの向上を目的としたスポーツウェアの開発が可能であると考えられる。

まえがき

最近のオリンピックでは、さまざまな競技において空気や水の抵抗を軽減する効果のあるウェアなどが次々に登場し、それによる効果が明らかに競技結果に反映するようになってきた。また、市場においては、人間工学に基づいたウェアの商品開発が盛んになり、このような高性能を有するウェアは競技だけでなく、一般のスポーツ・運動場面においても広まりつつある。もはや、ウェアは単なるファッションだけではなく、機能を重視したものを付加価値として開発され、一般的にも認知されてきている。

これまで、心肺機能の向上や全身持久力の向上、脂肪の燃焼などに効果的であるエアロビクス（有

酸素運動)は、有効的な健康維持やダイエットの方法として普及してきた。最近では、スポーツジムや地域の施設などにおいて、エアロビクスダンスやエアロバイクを用いた運動トレーニングプログラムなどが実施されている。しかし、上記のような特殊機能を有するウェアは物理やバイオメカニクスの要素を考慮したウェアであって、このような有酸素運動能力や、筋力の維持や向上、つまり生理学的機能の向上を目的として開発されているウェアはみられない。トレーニング方法だけでなく、ウェアによる補助的な視点から、より効果的に有酸素運動能力などを向上できる方法を模索できる余地は十分にある。

たとえば、被服による圧迫は血流障害や筋作業の障害をもたらす可能性があり、また長時間の強い被服による圧迫は交感神経活動に影響を与えることが報告されている^{4), 8), 9)}。一方で、下肢に50mmHgの陽圧を加えた筋力トレーニングによって、筋力等が増大することも報告されている^{2), 10) - 12)}。衣服圧も身体機能の向上という視点から考慮すれば、低い運動負荷でも擬似的により高い運動負荷を身体に与えることができる可能性があり、衣服圧をポジティブに促えたウェアを開発することによって、運動トレーニングによる有酸素能力等の向上を、より効果的にすることができる可能性も考えられる。しかし、市販されているウェアが有酸素運動時の生体反応にどのように影響するのかについては十分に検討されていない。また、有酸素運動時の生体反応に対して影響を与える圧迫の程度を検討することが必要である。

以上のことより、本研究では市販されているウェア、とくに体に密着するタイツに着目し、それが有酸素および無酸素運動時の生体反応にどのような影響を及ぼすのかを検討した。さらに、有酸素運動時の生体反応に影響を及ぼす圧迫の程度について検討することを試みた。

1. 研究方法

1. 1 被験者

実験1および実験2に、20～22歳の健康な各7名の女子大学生が参加した。被験者は事前にこの実験の目的およびリスクについて、口頭にて説明され、同意した上で実験に参加した。

1. 2 実験手順および条件

1. 2. 1 実験1 (市販タイツの被覆圧迫による生体反応への影響)

実験1は、環境温度25℃、相対湿度60%に設定された環境制御室で実施した。運動負荷は、20分間の中強度および6分間の高強度の自転車運動負荷である。前者は、3分間の安静時データを測定した後、20分間の中強度の自転車運動(心拍数:毎分130～150拍)を実施し、その後10分間の回復データを測定した。後者は、3分間の安静時データを測定した後、6分間の高強度の自転車運動(運動終了時の心拍数:毎分160拍以上)を実施し、その後10分間の回復データを測定する。両実験の間には少なくとも1時間以上の休憩を取り、直腸温が中強度の運動前の値に低下した後、高強度の実験を実施した。各被験者は、本実験の3日以上前に運動負荷テスト(各4分間の50, 70, 90, 110, および130Wの多段階自転車運動)を実施し、それに基づいて運動負荷は決定された。下肢への圧迫は、市販の異なる2サイズのタイツ(Light, Tight)を用い、非圧迫時にはジャージ(None)を用いた。それぞれの被服圧迫による実験は、少なくとも2日以上空けた別々の日に実施した。また、性周期による影響を考慮し、各被験者とも卵胞期または黄体期のいずれかで実施した。また、実験中の体液量を保持するため、中強度運動終了時に約150ml程度の水分を補給した。

1. 2. 2 実験2 (大腿部への多段階圧迫による生体反応への影響)

実験2も、実験1と同様の環境下で実施した。実験2では、3分間の安静時データを測定した後、30分間の中強度の自転車運動 (心拍数: 毎分130~150拍) を実施し、その後10分間の回復データを測定した。本実験では、大腿部用カフを両大腿部に装着して運動した。圧迫運動 (PS) では、運動開始10分後から5分ごとに、15, 30, 45, および60mmHgと大腿部への圧力を増加させた。なお、変圧の際、圧を10秒間開放した後、次の圧を負荷した。

1. 3 測定項目

両実験とも、心拍数 (HR), 直腸温 (T_{re}), 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) および換気量 ($\dot{V}E$) を測定した。自覚的運動強度 (RPE), 温熱感および快適感の主観的評価は5分ごとに質問した。実験1では、局所皮膚温, 発汗 (SR), 組織中の酸素および脱酸素を連続的に、血圧は中強度の運動時では5分ごとに、高強度の運動では運動開始前、運動終了直後、4分および9分後に測定した。また、実験2においては、血圧を運動開始前、運動終了直後、3分および8分後に測定した。なお、拡張期血圧 + (収縮期血圧 - 拡張期血圧) / 3 から平均血圧 (MBP) を算出した。

胸部誘導によるHR, カプセル換気法 (HMP35, Vaisala社製) によるSR, サーミスタによる T_{re} およびレーザー組織血液酸素モニター (BOM-L1, オメガウェーブ社製) による酸素 (O_2)・脱酸素 (deO_2) 応答 (5名においてのみ測定) は、データロガー (MP100, バイオパック社製) を介して連続的にパーソナルコンピュータに取り込んだ。前額, 腹部, 前腕, 手甲部, 大腿部, 下腿部および足甲部の皮膚温を20秒ごとに測定 (LT-8, グラム社製) し, Hardy & DuBois³⁾ の式を用いて平均皮膚温 ($\bar{T}_{sk}$) を算出し, 1分間の平均値を算

出した。また、平均体温 ($\bar{T}_b$) は, $0.8 \times T_{re} + 0.2 \times \bar{T}_{sk}$ より算出した。 $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}E$ (AE280, ミナト医科学社製) は1呼吸ごとに測定し, パーソナルコンピュータに取り込んだ。

1. 4 統計処理

すべてのデータは平均値±標準誤差で示した。実験1の中強度運動時に連続的に測定した各データおよび実験2の同様の各データは, 5分ごとのデータを用いて二元配置の分散分析および一元配置の分散分析の統計処理を実施した。また, 実験1の高強度運動時に連続的に測定した各データは, 安静時, 運動開始後3分目および6分目, および回復期の5分および10分目のデータを用いて上記と同様の統計処理を実施した。また, T_{re} , O_2 および deO_2 は安静時からの変化量 (ΔT_{re} , ΔO_2 および ΔdeO_2) を, 実験2の $\dot{V}O_2$, $\dot{V}E$ および HR は運動開始10分後からの変化量を用いた検討も実施した。なお, 有意水準は5%以下とし, 多重比較にはShefféの式を用いた。

2. 結果

2. 1 実験1

各ウェアの外側広筋における被服圧を測定した結果, ジャージ (None), Light および Tight の被服圧はそれぞれ $0, 3.58 \pm 0.35$ および 4.67 ± 0.29 mmHg であった。また, 前脛骨筋で測定したそれは, $0, 12.13 \pm 0.76$ および 15.15 ± 0.28 mmHg であった。

図1に中強度運動時のHR, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}E$, ΔT_{re} , $\bar{T}_{sk}$ および SR の経時変化を示した。いずれのパラメータにも被服圧による差はみられなかった。

運動前後および回復期のMBP, 運動終了時の ΔT_{re} および SR, SR開始時の $\bar{T}_b$ 値, および $\bar{T}_b$ の増加に対するSRの増加度を検討した (表1)。しかし, いずれのパラメータにも被服圧による違いは認められなかった。

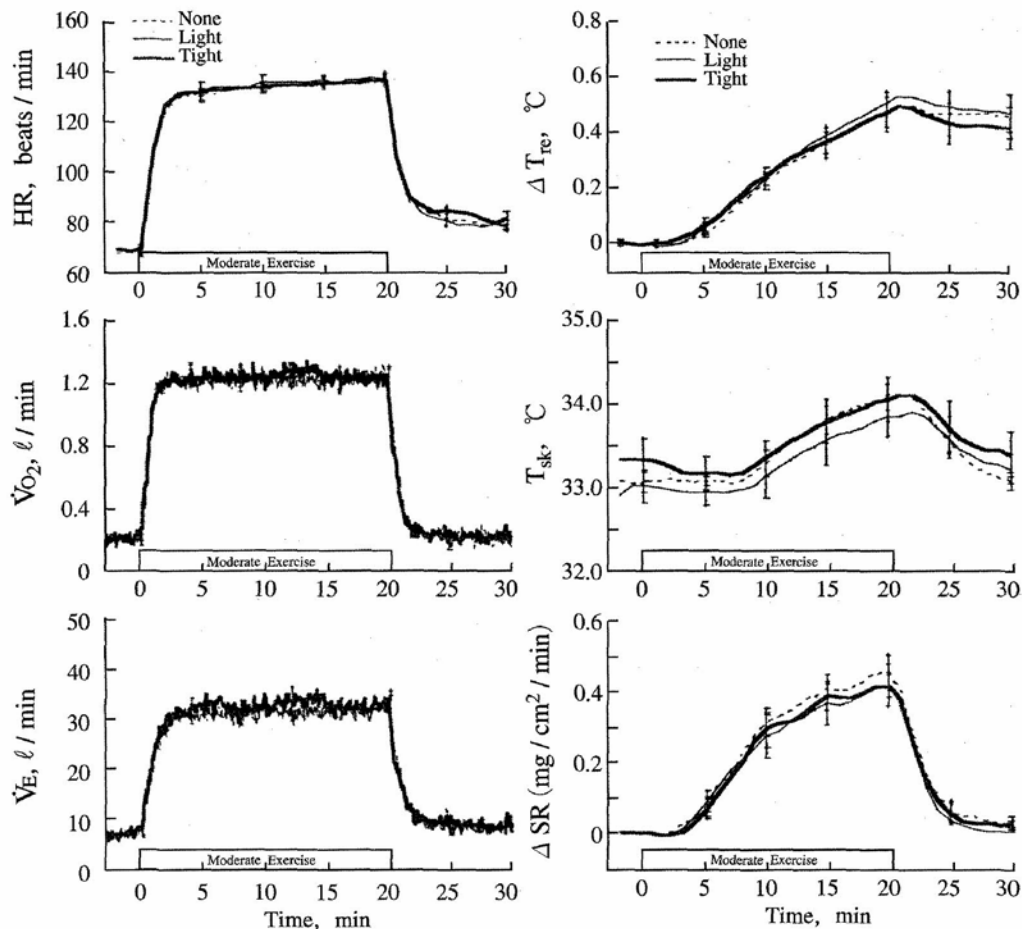


図1 中強度運動時の心拍数 (HR), 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$), 換気量 ($\dot{V}_E$), 直腸温 (T_{re}), 平均皮膚温 ($\bar{T}_{sk}$) および発汗量 (SR) の経時変化
点線は被服圧のかからないジャージ (None), 細い実線は被服圧の軽いタイツ (Light), および太い実線は被服圧のより高いタイツ (Tight) をそれぞれ示している。

表1 中強度運動前後の平均血圧 (MBP), 運動終了時の直腸温 (T_{re}) および発汗量 (SR), 発汗開始時の平均体温 (Threshold) および平均体温と発汗量との回帰直線の傾き (Slope)

	MBP (mmHg)			T_{re} (°C)	SR (mg/cm²/min)	T_b v.s SR	
	Rest	End of exercise	Recovery			Threshold (°C)	Slope
None	75.2 ± 2.5	87.4 ± 2.8	82.3 ± 1.9	0.50 ± 0.06	0.47 ± 0.04	36.4 ± 0.1	0.86 ± 0.30
Light	72.9 ± 2.3	85.5 ± 2.5	78.3 ± 2.1	0.45 ± 0.06	0.43 ± 0.04	36.4 ± 0.1	0.69 ± 0.14
Tight	76.1 ± 2.3	89.1 ± 3.3	83.2 ± 3.3	0.45 ± 0.05	0.43 ± 0.03	36.5 ± 0.1	0.67 ± 0.14

表2 高強度運動負荷前後の平均血圧 (MBP), $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}_E$ の運動開始後3分目, 6分目およびその間の増加度

	MBP (mmHg)			$\dot{V}O_2$ (l/min)			$\dot{V}_E$ (l/min)		
	Rest	End of exercise	Recovery	Min3	Min6	Min6-Min3	Min3	Min6	Min6-Min3
None	77.3 ± 1.6	94.2 ± 1.0	79.7 ± 3.6	1.70 ± 0.08	1.84 ± 0.09	0.14 ± 0.02	49.4 ± 3.3	55.5 ± 4.9	6.02 ± 2.29
Light	75.0 ± 1.4	91.6 ± 3.5	79.6 ± 1.1	1.64 ± 0.08	1.79 ± 0.09	0.15 ± 0.02	48.2 ± 3.1	53.3 ± 4.0	5.13 ± 1.61
Tight	79.0 ± 1.9	89.1 ± 2.1	80.9 ± 3.0	1.69 ± 0.08	1.81 ± 0.08	0.12 ± 0.01	48.8 ± 3.5	55.2 ± 4.7	6.41 ± 1.54

図2に高強度運動時のHR, $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}_E$ の経時変化を示した。図中のいずれのパラメータ, および体温調節パラメータである ΔT_{re} , $\bar{T}_{sk}$ および

SRにも差は認められなかった。高強度運動時の $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}_E$ に関しては, 運動開始3分目および6分目の値, さらに3分目から6分目までの増

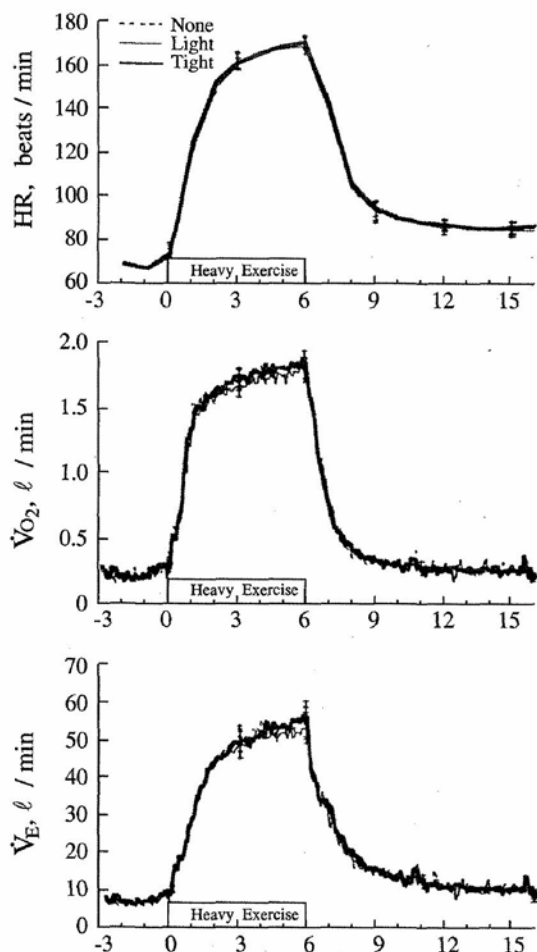


図2 高強度運動時の心拍数 (HR), 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) および換気量 ($\dot{V}_E$) の経時変化
点線は被服圧のかからないジャージ (None), 細い実線は被服圧の軽いタイツ (Light), および太い実線は被服圧のより高いタイツ (Tight) をそれぞれ示している。

加度をそれぞれ比較検討した (表2)。しかし、いずれのパラメータ、および運動前後および回復期のMBPにも被服圧による差は認められなかった。

図3に中強度および高強度自転車運動時の大腿部で測定した組織中の酸素および脱酸素の変化を示した。いずれの運動時においてもこれらのパラメータに被服圧による差はみられなかった。さらに、この他の測定項目であった主観的評価によるパラメータにも、いずれの運動時において被服圧による差はなかった。

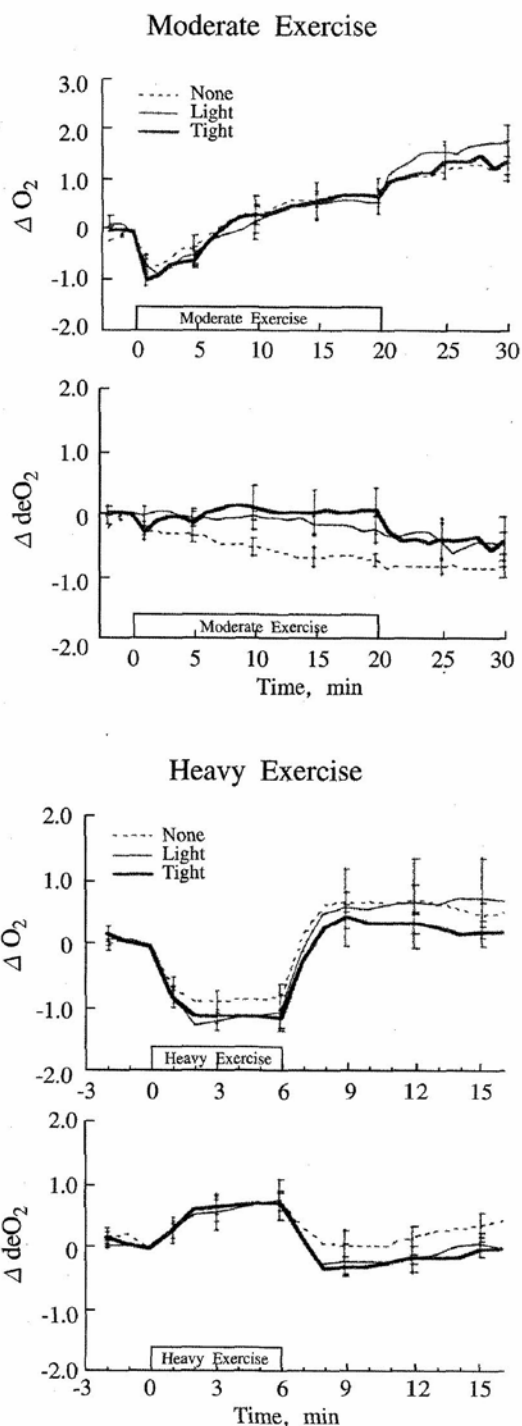


図3 中強度 (上側) および高強度 (下側) 運動時のレーザー組織血液酸素モニターで測定した酸素 (O_2)・脱酸素 (deO_2) 応答の安静時からの経時変化
点線は被服圧のかからないジャージ (None), 細い実線は被服圧の軽いタイツ (Light), および太い実線は被服圧のより高いタイツ (Tight) をそれぞれ示している。

2. 2 実験2

図4に運動時のHR, $\dot{V}O_2$, $\dot{V}_E$, ΔT_{re} およびRPE (大腿部の局所的なRPEも含む) の経時変

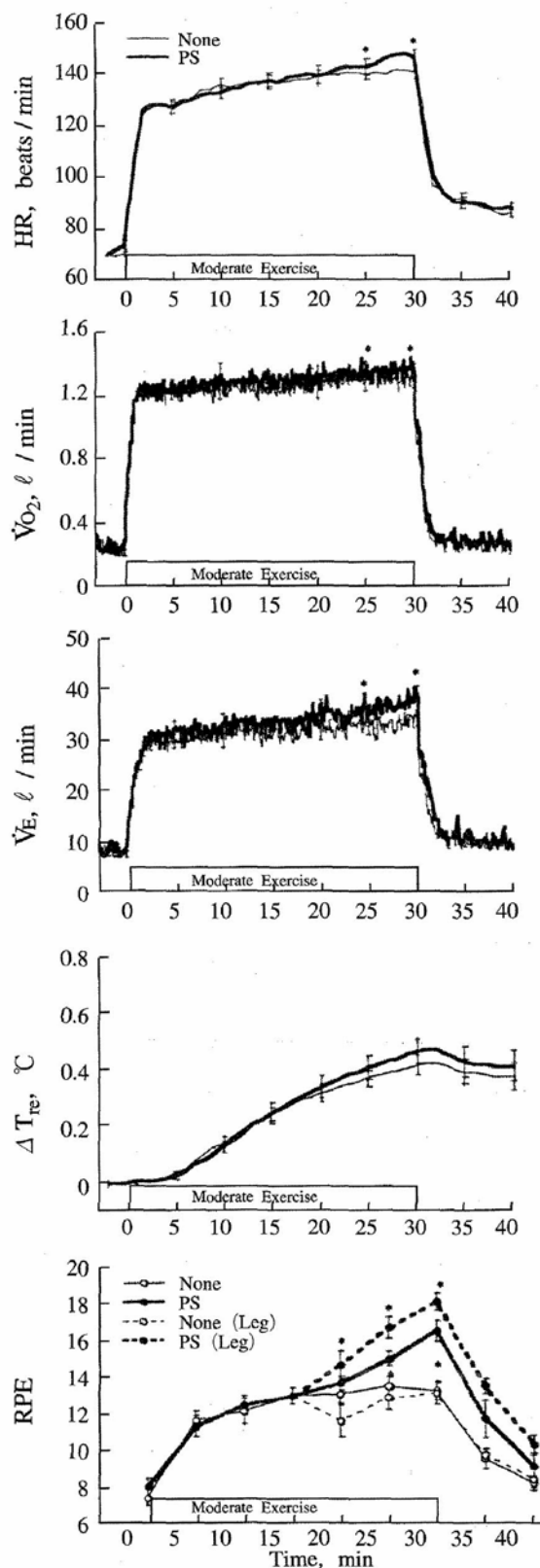


図4 中強度運動時の心拍数 (HR), 酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$), 換気量 ($\dot{V}E$), 直腸温 (T_{re}), 自覚的運動強度 (RPE) および RPE の指標を用いた大腿部の疲労感の経時変化。点線は無加圧時 (None), 実線はカフによる加圧時 (Light) の反応をそれぞれ示している。

化を示した。大腿部へ圧を加える直前の運動開始 10 分後の各値を基準としてその増加度を検討すると, HR, $\dot{V}O_2$ および $\dot{V}E$ は, 45 および 60 mmHg において PS の方が明らかに高い値を示した。

また, 運動前後および回復期に測定した MBP は運動終了直後のみに有意差が認められた。主観的評価として用いた快適感および温熱感に差はみられなかったが, RPE および圧力負荷開始後に質問を加えた大腿部における RPE の指標を用いた疲労感は明らかに PS の方が高い値を示した。RPE は 45 mmHg 加圧時から明らかに高くなったが, 大腿部の RPE は 35 mmHg より高い値を示した。また, 運動終了 5 分後の RPE には差がなかったものの, 大腿部の RPE は明らかに高い値を示したが, 圧を開放した後には差はなかった。

3. 考 察

下肢陽圧負荷 (LBPP) を用いた先行研究によると, 35 または 50 mmHg の圧を加えることによって, 自転車運動時の $\dot{V}E$, $\dot{V}O_2$ および HR が無加圧時のそれらよりも高い値を示すことが報告されている^{1), 5), 13)}。これは, 圧力による有髄神経の group III への刺激⁶⁾, また 25 ~ 60 mmHg の LBPP の負荷で 5 ~ 20 % の筋血流量が低下することにより⁹⁾, 筋中の代謝物の蓄積は増大しやすく, この代謝物が化学物質に対して反応する有髄神経の group III および IV への刺激が関与していると考えられている^{5), 6)}。同一負荷で比較した加圧時の代謝受容器反射に起因する生体パラメータの増大は一見マイナス要因のようであるが, 筋の代謝受容器反射は O_2 の受け渡しを改善することも報告されている⁷⁾。また, 中強度の自転車運動時に 50 mmHg の LBPP を負荷したトレーニングを継続すると, 全身持久力 (最大酸素摂取量) や筋力の向上, および毛細血管密度の増加などが報告されている^{2), 10), 11)}。これらのことを考慮すれば, 圧迫負荷を加えた運動トレーニングを継続すること

は、より効果的に生体機能の向上が期待できる。しかし、上記に示した加圧負荷は、下肢全体に陽圧を加えるための装置を必要とし、一般的ではない。このような点からも、ウェアを改良することによって、このような加圧トレーニングに適用できるのではないかと考えられた。

そこで本研究では、実験1において中強度および高強度の自転車運動時における異なる2つの被服圧のタイツ着衣による呼吸および体温調節反応の変化を検討した。今回用いた両タイツは、市販されているタイツの中では比較的被服圧が高いものを選択した。下腿には12～15mmHg程度の被服圧が負荷されていたが、大腿部への被服圧は3.5～5mmHg程度と非常に低いものであった。今回の実験の結果からも、この程度の圧迫では呼吸および体温調節パラメータへの影響はほとんどないものと考えられる。これらのパラメータは、局所の圧迫による影響が評価しにくいことから、筋中の酸素供給における被服圧の影響を検討するために、レーザー組織血液酸素モニターを用いた。しかし、図3で示したように、大腿部で測定した O_2 および deO_2 の変化度には、被服圧による差が認められなかった。これより、今回使用した市販のタイツによる被服圧では、活動筋の酸素供給や代謝活動になんら影響しないことが示唆された。タイツ装着時に被験者は圧迫感を感じると申告していたが、それは自転車運動時の主たる活動筋である大腿部ではなく、むしろ下腿部の圧迫を感じていたものと考えられる。また、運動中のRPEなど主観的評価にも差がなかったことから、今回用いたタイツ程度の下肢への圧迫では生体反応へ影響を及ぼすことはほとんど考えられないだろう。

そこで、本研究では生体反応へ影響する程度の圧力を検討するための実験を加えた。実験2では、中強度の自転車運動開始10分後からカフを巻いた大腿部に段階的に圧を加えた。その結果、主観

的評価では、35mmHgあたりから被験者は活動筋である大腿部において疲労感を感じ始め、45mmHgあたりからPSの $\dot{V}_E$ 、 $\dot{V}_{O_2}$ およびHRがさらに上昇し始め、対象群のそれらのパラメータよりも高い値を示した。さらに、運動終了直後のMBPもPSの方が高かったことより、カフ圧によって筋中の代謝物の蓄積が増大し、代謝受容器が刺激されていたことが推察された。本実験では、大腿部へのみカフ圧を与えているため、下肢全体を圧迫する市販のタイツと単純に比較することはできないが、45mmHg程度の被服圧を活動筋へ与えることによって、生体パラメータの変化が現れると考えられる。

実験2によって生体パラメータを変化させるために必要な被服圧が示されたが、数名の被験者において60mmHgの加圧時に下腿部において鬱血が観察された。このため、長時間のこのようなカフ圧を与えることは困難と考えられるが、運動トレーニングを用いて有酸素能力を向上させるためには、ある一定以上の運動時間を要する。本実験においては、圧の増大時に10秒間の圧の開放時間を設けていたが、ウェアによって加圧するとなると圧の開放が難しい。そのため、つねに一定の被服圧がかかるのではなく、伸縮方向の伸縮性を低くして、活動時に高い被服圧が加わるようにするなど、タイツに使用する素材や縫製によって被服圧が変動するようにするなどの工夫が必要になるであろう。また、今回の実験は一定時間の加圧であったために、リズムカルに加圧した場合に生体パラメータが増加するためにはどの程度の加圧が必要になるのかさらに検討する必要がある。いずれにしても、活動筋への効率的な陽圧を加えた運動トレーニングを実施すれば、無加圧時よりも、より高いトレーニング効果を得る可能性はある。今後、このような身体機能向上を補助することのできるウェアの開発が望まれる。

4. まとめ

今回の研究結果より、現在市販されているタイツでは活動筋への加圧が十分でないために、これらを用いても有効的に有酸素能力を向上できる可能性は低いことが示された。しかし、活動筋への比較的高い加圧によって下肢陽圧装置を用いなくても十分に同一運動時の $\dot{V}_E$ 、 $\dot{V}_{O_2}$ およびHRを無加圧時よりも上昇させることが可能であることが示された。これにより、活動筋へ圧を加えた持続的運動トレーニングによって、より有酸素能力等が向上する可能性が推測された。

謝 辞

研究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。本研究にあたり、快く被験者を引き受けてくださった関係諸氏に感謝の意を表します。また、本研究に関して御協力をいただいた大阪国際女子大学の井上芳光教授、(株)アムテックの高橋浩二氏および(株)オメガウェアの後藤田芳宏氏に感謝の意を表します。

文 献

- 1) Eiken, O., and H. Bjurstedt ; Dynamic exercise in man as influenced by experimental restriction of blood flow on the working muscles., *Acta. Physiol. Scand.*, 131, 339-345 (1987)
- 2) Eiken, O., C. J. Sundberg, M. Esbjornsson, A. Nygren, and L. Kaijser ; Effect of ischemia training on force development and fiber-type composition in human skeletal muscle., *Clin. Physiol.*, 11, 41-49 (1991)
- 3) Hardy J. D., and E. F. DuBois ; The technic of measuring radiation and convection., *J. Nutr.*, 15, 461-475 (1938)
- 4) Lee, Y., K. Hyun and H. Tokura ; The effect of skin pressure by clothing on circadian rhythms of core temperature and salivary melatonin. *Chronobiol. Int.* in print)
- 5) Nishiyasu, T., K. Nagashima, E. R. Nadel, and G. W. Mack ; Human cardiovascular and humoral responses to moderate muscle activation during dynamic exercise., *J. Appl. Physiol.*, 88, 300-307 (2000)
- 6) 石田浩司, 宮村実晴 ; 第1章 換気調節 2. 運動時の換気増大, 呼吸 (編) 宮村実晴, 古賀俊策, 安田好文, 42-59 (1998)
- 7) O'leary, D. S., R. A. Augustyniak, E. J. Ansorge, and H. L. Collins ; Muscle metaboreflex improves O_2 delivery to ischemic active skeletal muscle., *Am. J. Physiol.*, 276, H1399-H1403 (1999)
- 8) 大築立志, 金 熙恩, 登倉尋實 ; スポーツウェアによる身体圧迫が随意反応時間に及ぼす影響, デサントスポーツ, 14, 93-99)
- 9) Rowell, L. B., M. V. Savage, J. Chambers, and J. R. Blackmon ; Cardiovascular responses to graded reductions in leg perfusion in exercising humans., *Am. J. Physiol.*, 261, H1545-H1553 (1991)
- 10) 篠原 稔 ; 骨格筋の収縮 (2) 局所低酸素環境下での筋活動, 高所運動生理学的基礎と応用 (編) 宮村実晴, 12-24 (2000)
- 11) Takarada, Y., H. Takazawa, Y. Sato, S. Takebayashi, Y. Tanaka, and N. Ishi ; Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans., *J. Appl. Physiol.*, 88, 2097-2106 (2000)
- 12) Takarada, Y., Y. Nakamura, S. Aruga, T. Onda, S. Miyazaki, and N. Ishi ; Rapid increase in plasma growth hormone after low-intensity resistance exercise with vascular occlusion., *J. Appl. Physiol.*, 88, 61-65 (2000)
- 13) Williamson, J. W., P. B. Raven and B. J. Whipp ; Unaltered oxygen uptake kinetics at exercise onset with lower-body positive pressure in humans., *Exp. Physiol.*, 81, 695-705 (1996)