

機能的スポーツウェア設計のための基礎研究
—人体加圧の生体影響—

「デサントスポーツ科学」Vol.27 別刷

文化女子大学 田村照子
(共同研究者) 岡本法子

機能的スポーツウェア設計のための基礎研究 —人体加圧の生体影響—

文化女子大学 田村 照子
(共同研究者) 岡本 法子

A Basic Study for designing Functional Sports Wear — Effects of Clothing Pressure on the Human Body —

by

Teruko Tamura, Noriko Okamoto
Bunka Women's University

ABSTRACT

In order to determine the effects of clothing pressure on physiological responses, especially on the autonomic nervous system of the human body, two different types of experiment were conducted.

In experiment A, heart rate variability of ten female subjects were examined when the clothing pressure was applied with a non-stretch belt to the subject around the breast, waist, and hip, respectively. As a result, HF (0.15-0.40Hz of HRV) increased significantly, while LF (0.04-0.15Hz) /HF decreased in the cases of clothing pressure around the waist and hip.

In experiment B conducted to determine the basis of designing stretch fabric sports wear, the blood flow rate and skin temperature of the finger and toe, as well as HRV of seven female subjects were measured when the clothing pressure was applied by a stretch fabric around the hip and lower extremity of the subject under the standing and lying postures, respectively. The effects of the clothing pressure on the metabolic rate were also evaluated in both standing and running conditions at $\dot{V}O_{2\max}$ 70%. The results showed an increase of HF and a decrease of LF/HF as the effect of clothing

pressure. The effects were more apparent in the standing than in the lying posture and on the lower extremity than in the hip. Neither the blood flow rate nor the skin temperature were affected by the clothing pressure, while the clothing pressure caused the metabolic rate to increase significantly both in standing and running conditions. The results suggested that clothing pressure around the lower body applied by stretch garments such as a girdle or sport spats increases the blood flow rate and blood pressure in the upper body, which affect the autonomic nervous system, especially the increase of activity level of the parasympathetic nervous system.

要 旨

衣服による人体加圧が自律神経活動を中心とする生理反応に及ぼす影響を明らかにする目的で、二つの実験を実施した。実験Aでは、非ストレッチ性ベルトによる胸部・胴部・腰部の加圧を行った結果、心拍変動のHF成分の有意な増大とLF/HF成分の低下が胴部と腰部で観察された。実験Bでは、ストレッチファブリックを用い、立位・仰臥位の各姿勢において、腰部または下肢（大腿と下腿）加圧時の心電図・血流量・皮膚温を測定した。また、安静時と、各被験者の $\dot{V}O_{2max}70\%$ 運動負荷時のエネルギー代謝に及ぼす加圧の影響も検討した。結果、下半身の加圧はHFの有意な増大、LF/HFの有意な低下を示し、仰臥位より立位で、腰部より下肢加圧で反応がより顕著であった。手足の血流・皮膚温には加圧による差が観察されなかった。エネルギー代謝は、安静時・運動時ともに加圧によって有意に増加した。以上により、スポーツウェアによる短時間下半身加圧は、血流の上半身への還流・血圧上昇を促し、心臓迷走神経活動の亢進をもたらすことが考察された。

緒 言

驚異的な伸張弾性を持つポリウレタン弾性繊維の開発は、日常着用する各種衣服のストレッチ特性を大きく変化させた。特に近年、スポーツウエ

アでは、全身を均質なストレッチファブリックで包み、あるいは人体部位別に強弱異なったストレッチ性を負荷することによって、運動時の筋力増強、生理負担の軽減などの機能性を期待したウェアの設計も試みられている。またスポーツウェアによる人体加圧が、筋力、血流等の生理反応のみならず、ヒトの自律神経活動レベルに影響を及ぼすことも示唆されている。一方、オリンピックを頂点とするスポーツ競技の世界では100分の1秒が争われる状況が見られ、ウェアの運動機能性をもたらす効果が注目されている。本研究はこれらの社会的背景に立脚し、人体への局所加圧が自律神経系を含む人体反応に及ぼす影響を探ることによって、スポーツウェアにおける人体加圧の効罪を明らかにし、今後のスポーツウェア設計の指針を得ようとするものである。

衣服圧の人体影響に関する研究の歴史は古く、西欧では1900年Thiershのコレットの害に関する研究が、またわが国では1935年入鹿山の帯圧に関する研究までさかのぼることができる。これらの延長上において、過度な衣服圧をもたらす、内臓変形、血流障害、浮腫などの害も報告されている。一方、1980年代以降になると、衣服圧の効果も見直され、衣服圧による人体生理機能の変化を客観化・定量化しようとする試みが開始された。評価対象も、心拍数、代謝量、唾液分泌、呼吸、消化機能、体温調節機能、心拍変動等、自律

神経系から、中枢神経系・内分泌系まで多岐にわたるようになった。特に1990年代、自律神経系の指標としての心拍変動分析が一般化するようになると、衣服圧の自律神経系への影響についての報告も散見されるようになる。長山ら（1995）はショートガードル着用時、交感神経系の指標とされるLF/HFが有意に低下したと報告¹⁾した。また緑川ら（1999）は中程度の加圧力のあるロングガードル着用時にLF/HFが抑制され、強度の加圧力のあるロングガードル着用時ではLF/HFが亢進したと報告²⁾した。一方、鄭（1998）はスポーツウェアを着用し運動をした直後、LF/HFが亢進したことを報告³⁾し、Miyatsujiら（2002）は強度の異なる2種のブラジャーを用い、着用時の比較を行なった結果、圧力の強いブラジャーは弱いブラジャーより、副交感系の指標であるHFは著しく減少したが、LF/HFには差がみられなかったと報告⁴⁾した。さらに岡部ら（2000）はブラジャーによる自律神経系の変化を月経周期で比較し、高い衣服圧は月経期と卵胞期の心臓自律神経活動を抑制することを示した⁵⁾。

しかし、これらの研究結果は必ずしも一致せず、人体加圧によって交感神経系の活動レベルが上昇することを示す結果と、副交感神経系の活動レベル上昇を示唆する結果、交感・副交感のいずれかが低下する結果、さらには双方がともに低下する結果など、さまざまである。本研究では、これら衣服による加圧が自律神経活動に及ぼす影響に対する矛盾を明らかにする目的でA、B2つの実験を企画した。まず実験Aでは、非ストレッチベルトにより、狭い領域への加圧を行い、胸部、胴部、腰部と異なる部位への加圧影響がどのように異なるか、その結果によってガードル加圧の結果とブラジャー加圧の結果の矛盾を説明し得るか否かについて検討した。次に実験Bでは、スポーツウェアへの応用を前提として、ストレッチファブリックによる下半身への加圧影響を、自律神経系のみ
デサントスポーツ科学 Vol.27

ならず、他の生理反応をあわせて測定し検討を試みた。

1. 研究方法並びに結果

実験A 非ストレッチベルトによる加圧時の心拍変動—身体部位による加圧影響の相違について—

1. 1 目的

衣服による人体加圧が、自律神経活動に及ぼす影響を心拍変動分析により検討した報告のうち、ガードルを対象とした報告では、副交感神経系の亢進を、またブラジャーを対象とした報告では副交感神経系の低下を指摘している。この結果の矛盾を明らかにする目的で、人体部位を狭い領域で捕らえ、モデル的に加圧部位の影響を精査する実験を試みた。

1. 2 方法

加圧部位は、ブラジャーの加圧対象となる胸部、並びにガードルの加圧対象となる胴部、腰部の3部位で、加圧には、狭い領域に限定した加圧を行うため、幅3cmの非ストレッチ性圧迫ベルトを用いた。加圧量はいずれの部位においても、椅座位における呼吸相時の寸法から-2.5cmを締め量とした。このときの衣服圧は個人によりまた部位により異なるが、実測の結果では30hPa前後に分布した。この衣服圧は被験者にとってはややきついと感ずる衣服圧である。

被験者は健康な女性10名（ 21.8 ± 1.0 歳、 $BMI20.6 \pm 1.85$ ）である。その身体特性を表1に示す。被験者にはあらかじめ、研究の目的、内容等を十分に説明し、実験参加の同意を得た。実験は28℃、50% RHにコントロールされた人工気候室で行われた。実験手順は図1に示すとおり、人工気候室に入室後、30分の椅座位安静をとった後、まずコントロールとして5分、以後非加圧5分・加圧5分を1セットとし連続して3セット負

表1 被験者の身体特性

被験者	年齢 (歳)	身長 (m)	体重 (kg)	BMI
A	22	1.64	48.1	17.9
B	22	1.58	49.3	19.7
C	21	1.50	49.0	21.8
D	22	1.57	51.1	20.7
E	21	1.53	45.7	19.5
F	21	1.56	51.0	21.0
G	21	1.63	53.6	20.2
H	21	1.68	60.7	21.5
I	24	1.58	47.5	19.0
J	23	1.52	57.0	24.7
平均値	21.8	1.58	51.3	20.6
標準偏差	1.03	0.06	4.61	1.9

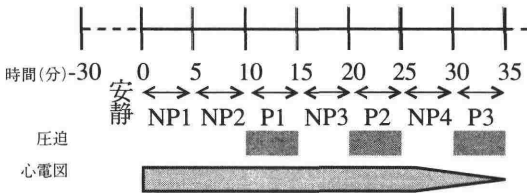


図1 実験の手順

荷し, その間の心電図を胸部双極誘導法により連続測定した. 心電図の測定には, マルチテレメータを介して同多用途生体信号収録装置 (日本光電 (株) 製 POLYGRAPH SYSTEM) にて測定した. 測定時の呼吸は0.25Hzに統制した.

心拍変動は心電図から得られたR-R間隔をパワースペクトル解析し, 交感神経系活動レベルの指標といわれるLF/HF (LF:低周波数成分0.04-0.15Hz, HF:高周波数成分0.15-0.46Hz), 副交感神経系活動レベルの指標といわれるHFを求めた.

1.3 結果

図2に, 全実験を通して解析した10秒間隔ごとの心拍変動結果の1例を示す. この被験者Aの場合, 加圧による影響が, 特に胸部加圧で顕著に認められ, 加圧によりHFが明瞭に上昇し, LF/HFが低下する傾向にある. 胸部と腰部については, それほど明確な影響としては観察されない. 同様

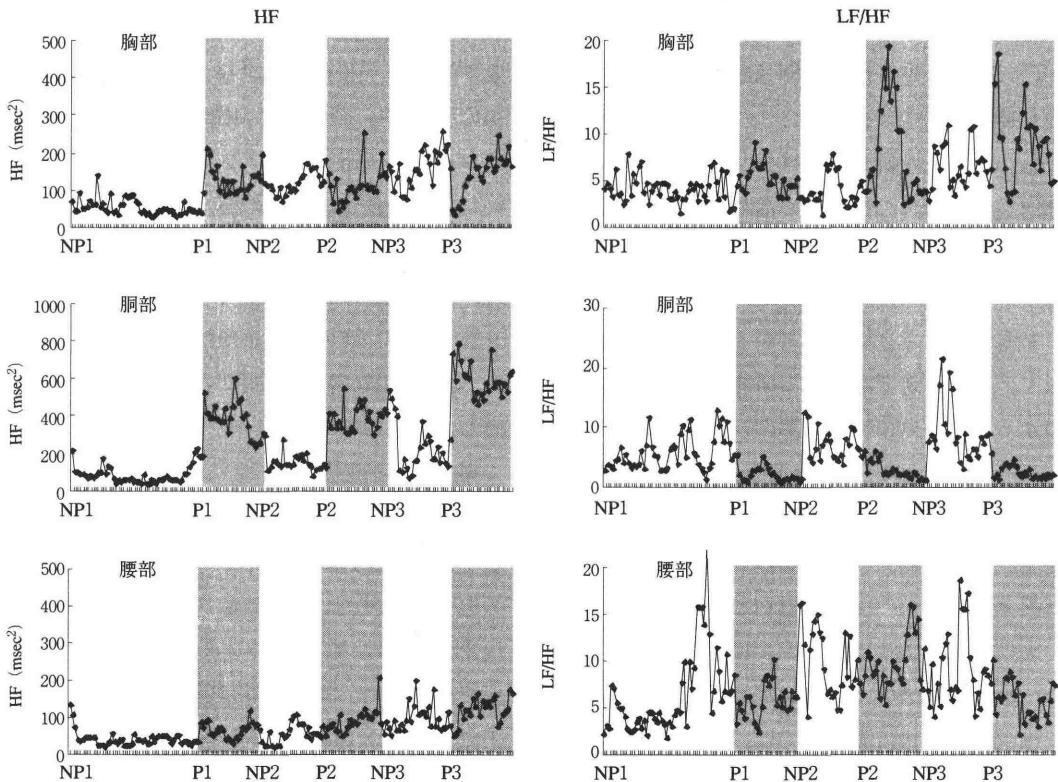


図2 10秒間隔解析時の心拍変動経時変化 (被験者Aの事例)

にして個体ごとの結果を観察したところ、HFあるいはLF/HFの数値レベルが、極めて大きな個体差を示した。

そこで各個人の非加圧時（NP2）5分間の平均値を1とした相対値を用いて、非加圧時（NP）と加圧時（P）の10名の成績を比較すると、図3に示すとおりである。胸部についてはHF、LF/HFともに加圧の影響が認められない。胴部ではHFが危険率1%で有意に上昇し、LF/HFは危険率5%で有意に下降し、明らかな加圧影響が認

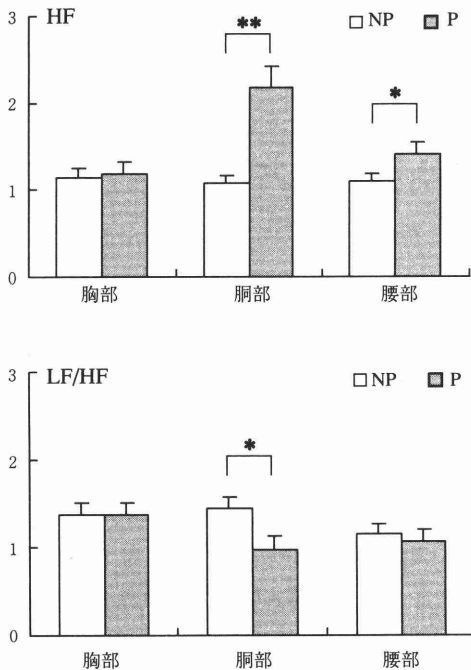


図3 各部位におけるHFおよび、LF/HFの加圧変化 (NP1を1とした際の相対値の平均値±標準誤差, **p<0.01, *p<0.05)

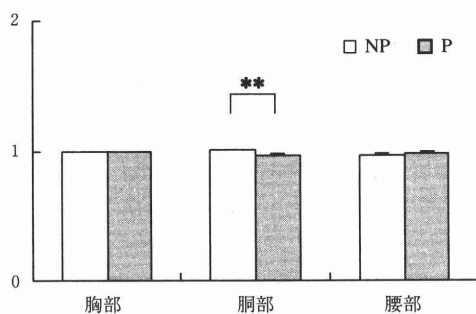


図4 各部位における心拍数の加圧変化 (NP1を1とした際の相対値の平均値±標準誤差, **p<0.01)

められた。腰部ではHFの上昇のみが危険率5%で有意に認められた。図4は同様の方法によって、心拍数に対する加圧の影響を検討した結果である。ここでも、胸部と腰部については影響が認められないものの、胴部については極めて明瞭な加圧に伴う心拍数の低下が示されている。

1.4 考察

自律神経活動は、特別の負荷がない状態であっても刻一刻と変動し、かつ温度条件や姿勢、眠気等の影響を大きく受けることが知られている。本実験ではこれらに配慮し、結果に及ぼす時系列的な影響を最小限にするよう実験条件を設定した。すなわち、環境温度は中性温度域で、高めの椅子を用いた座位安静姿勢とし、3回の繰り返しによって結果の再現性を確認できるように配慮した。1例としてAの結果を示したが、一実験内で繰り返し同部位を圧迫した結果、胴部で明瞭な再現性が観察され、実験手順の有効性が証明された。

パワースペクトル解析結果における数値レベルの個体差を消去するため各個人の初期値に対する相対値を用いて10名の加圧に対する変化を統計処理したところ、胴部に圧迫が負荷されると、LF/HFの有意な減少、HFの有意な増加、心拍数の有意な減少が認められた。また腰部に圧迫が負荷された場合においても、HFの有意な増加が認められ、心拍数の有意な減少は被験者の6割に認められた。これにより胴部以下の下半身の加圧は、交感神経系を抑制し、副交感神経系を亢進させる傾向にあると言える。この結果は、長山ら、緑川らの、ガードル着用によって交感神経系が抑制され、副交感神経系が亢進したという結果を支持するものである。今回の胴部と腰部の結果がこの2報の結果と一致したことの要因として、加圧部位の同一性を挙げることができよう。これに対して、交感神経系の亢進と副交感神経系の低下を示唆した鄭、副交感神経系の低下を示したMiyatsuji、岡

部らの結果は、今回の胴部・腰部加圧の結果と相反するものである。これらはいずれも、ブラジャーなどを用いた上半身加圧の結果であり、今回も胸部加圧では被験者によって著しく反応が異なり、また同一個人内でも一定の傾向を示さず、10名全体として一定の有意な傾向を得ることはできなかった。上半身に対する加圧影響は、下半身とは異なると考えられる。

以上、身体に圧迫が負荷されると自律神経活動が変化し、その変化は加圧部位によって異なることが明らかとなった。本研究では、あえて被覆面積の小さい圧迫ベルトを用いることにより、同一の圧迫負荷であっても圧迫部位により反応が異なること、従来加圧影響として副交感神経系の亢進と低下という、相反する報告がなされてきたが、その原因として加圧部位の相違が示唆された。今後はさらに、衣服圧の強さや圧迫面積が及ぼす影響など、さらなる検討の必要がある。また、圧迫がヒトの自律神経系にどのような経緯で影響しているかについてはより深い考察が必要である。胴部の結果は、圧迫が神経性調節の循環反射、特に動脈圧受容器反射、あるいは心肺部圧受容器による反射を引き起こした⁶⁾可能性を示唆すると考えている。

2. 実験B ストレッチ布帛による下半身加圧の生体影響

2.1 目的

実験Aの結果、胴部と腰部では、衣服による加圧がHFを亢進させることが明らかとなった。これを自律神経系への影響に関する従来の説に従って解釈すると、胴部や腰部を圧迫するウェアは副交感神経系を亢進させ、すなわち緊張を弱めリラックス効果をもたらすことが考えられる。本実験では、さらにスポーツウェアへの応用を前提とした下半身の加圧効果を精査するために、より広い面積を持ちストレッチ性を持つ布帛を用いて、腰

部と下肢における加圧が心拍変動に及ぼす影響を調査するとともに、代謝、血流、皮膚温等、周辺生理反応への影響をもあわせて検討することとした。

2.2 方法

実験は2005年7月24日から2005年10月15日の期間に、文化女子大学人工気候室にて行った。環境条件は28℃、50%RHに設定した。

圧迫には、図5に示す引っ張り強伸度特性を持

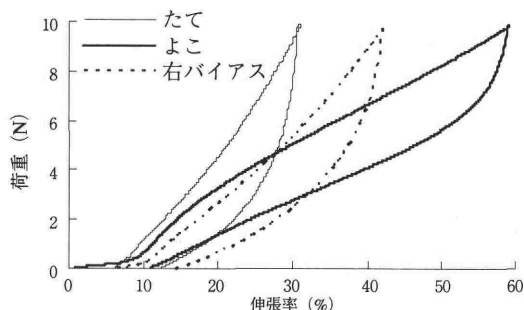


図5 ストレッチ布帛の引っ張り強伸度特性

つ幅20cmのストレッチ布帛を用い最大伸張のおよそ90%伸張となるよう加圧装着した。圧迫部位は、腰部と下肢部（大腿と下腿）である。腰部加圧は腸骨稜点上加圧布の上端がくる位置とした。また、下肢加圧は大腿中央と下腿中央に同時加圧した。加圧時衣服圧は被験者により若干異なるが、表2に示すようであった。

表2 衣服圧の実測値

被験者	腰部	大腿部	下腿部
K	23.2	32.8	31.7
L	21.8	32.0	31.7
M	20.6	29.8	29.0
N	23.1	28.7	31.3
O	30.1	24.7	32.2
P	26.1	25.7	28.3
Q	23.3	24.9	32.3
平均値	24.0	28.4	30.9
標準偏差	3.2	3.4	1.6

(単位: hPa)

姿勢は立位並びに仰臥位の2姿勢とし、いずれの姿勢においても、7分間の安静後、各部位を3分間圧迫、5分間非圧迫、3分間圧迫、5分間非圧

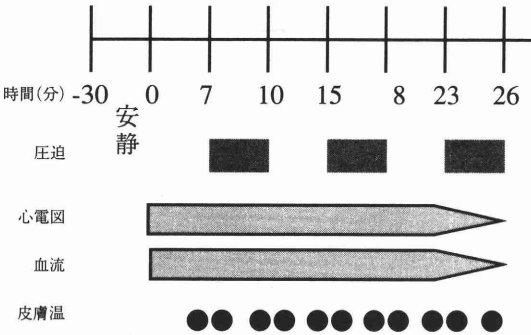


図6 心電図, 血流量, 皮膚温測定時の実験手順
 3分間圧迫と3回の非圧迫と圧迫を繰り返す、計26分間で1つの加圧実験を終了した(図6)。

測定項目は心電図, 血流量, 皮膚温で, 心電図, 血流量は26分間の実験期間中連続して測定し, 皮膚温は圧迫時およびその前後で測定した。心電図の測定は, 実験Aに準じた。血流量の測定には, レーザードップラー血流計(アドバンス(株)製ALF21)・データコレクター(安立計器(株)製)を, 皮膚温の測定には, サーモグラフィ(日本電子クリエティブ(株)製サーモビューア)を使用した。

次に, いずれの被験者にも, 無加圧, 腰部加圧および下肢加圧の3条件の下, 安静状態5分間並びにその後10分間のトレッドミル走行による運動を负荷し, その間のエネルギー代謝量を測定した(図7)。運動負荷量は, あらかじめ測定した

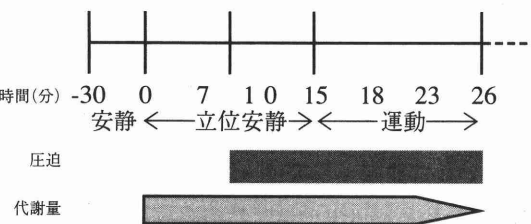


図7 代謝量測定時の実験手順

各被験者の最大酸素摂取量の70%を持続できる運動速度とした。代謝量の測定には呼気ガス分析装置(アルコシステム(株)製AR-1)を用いた。

被験者は健康な一般女子学生4名, 運動部所属学生3名の計7名で, その身体特性を表3に示す。

表3 被験者の身体特性

被験者	年齢(歳)	身長(m)	体重(kg)	BMI
K	22	1.55	49	20.4
L	22	1.55	42	17.5
M	21	1.62	46	17.5
N	22	1.58	49	19.6
O	18	1.54	58	24.5
P	19	1.53	52	22.2
Q	18	1.61	58	22.4
平均値	20.3	1.57	50.6	20.6
標準偏差	1.9	0.04	5.9	2.6

被験者にはあらかじめ, 研究の目的, 内容等を十分に説明し, 実験参加の同意を得た。着衣条件はTシャツ, 短パン, プラジャー, ショーツ, ソックス, スニーカーである。

2.3 結果

図8に, 実験中10秒間隔ごとに解析した心拍変動結果の1例を示す。この被験者Kの場合, HF成分については, 立位で下肢を加圧した場合はかなり明瞭に, また立位で腰部を加圧した場合も僅かながら, 加圧によるHFの増加が観察される。これに対して, 仰臥位では加圧による一定の反応傾向を認めるにいたっていない。一方, LF/HF成分については, 立位では一定の傾向が見られず, 仰臥位において加圧による明らかなLF/HFの抑制を観察することができる。実験Aで述べたとおり, 心拍変動の結果は, 数値レベルの個体差が大きいため, 実験Bにおいても, 各実験開始直後の非加圧時データ(NP1)の平均値を1とした相対値を算出することによって, 個体ごとのレベル差を消去する方法を採用した。図9は, NP1, P1, NP2, P2, NP3, P3の実験帯ごとに, 7名の被験者の成績を平均したものである。HF成分を見ると加圧とその前の非加圧時の成績との間には繰り返しが進んだ最後のP3を除いて1%または5%の有意差が認められ, 立位における下肢加圧では加圧によりHFの増大が認められた。LF/HF成分の結果については, 統計的有意差を見るにはいたっていないが, 傾向としてはNP1からP1へ, NP2

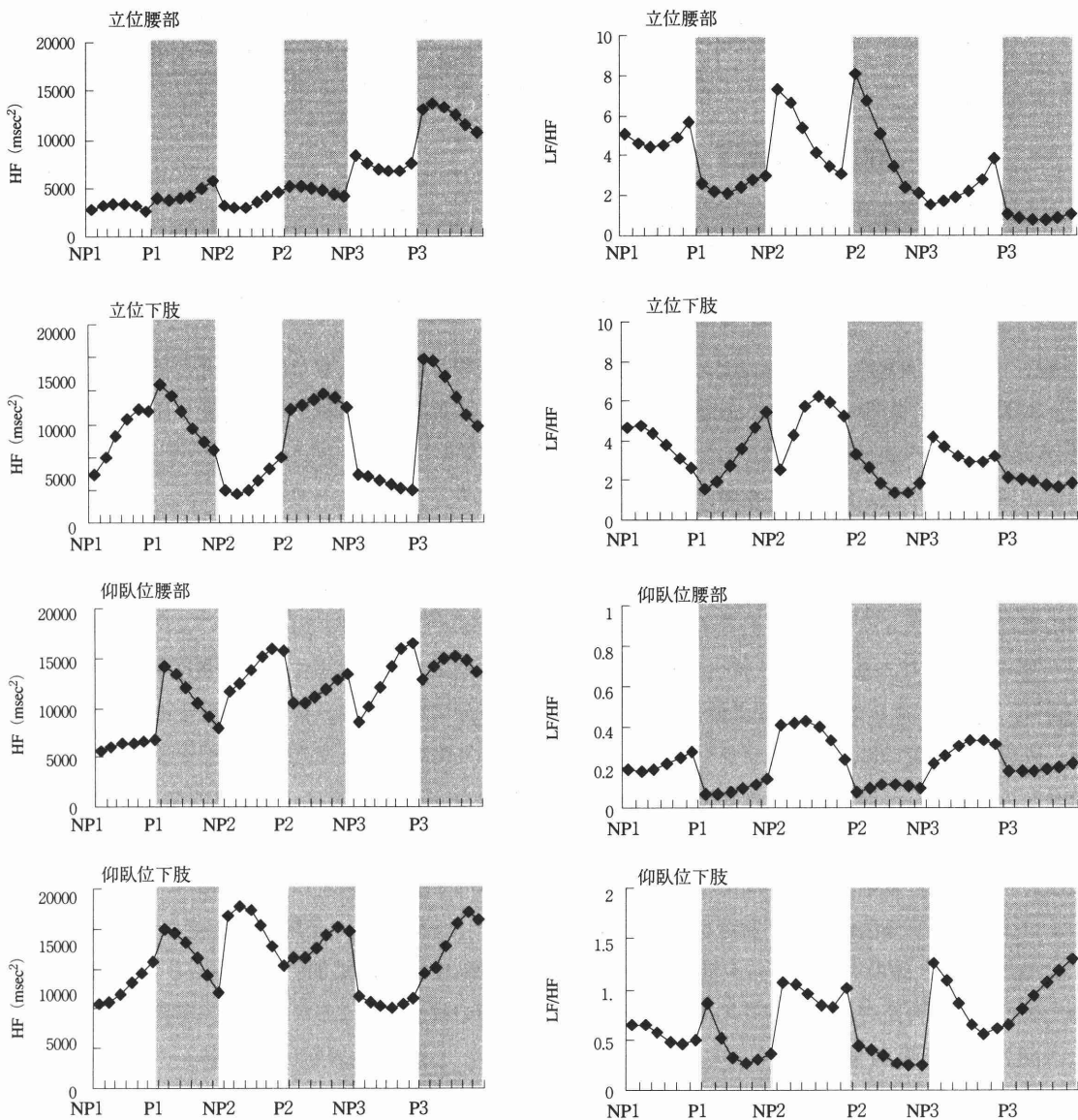


図8 10秒間隔解析時の心拍変動経時変化（被験者Kの事例）

からP2へ、さらにNP3からP3へといずれの過程においても、加圧によるLF/HFの抑制が観察された。これらの繰り返し過程をすべて平均した結果は図10の通りである。立位姿勢で下肢を加圧した場合、HFは1%水準で有意に増加し、LF/HFは5%水準で有意に下降した。仰臥姿勢における下肢の加圧でも同様にHFは5%の有意差で増加を示し、LF/HFについては、有意差はないものの立位の場合と同様下降の傾向を示した。腰

部の加圧では、いずれの姿勢でも有意差は認められないが、傾向としては一部を除き、加圧によるHFの増加とLF/HFの低下傾向を示した。

図11は立位並びに仰臥位における腰部加圧時の、心拍数の経時変化を被験者ごとに示したものである。立位においてはいずれの被験者も加圧により心拍数の低下が観察された。仰臥位での変化はそれほど明瞭ではなくばらつきが認められた。これらを7名の被験者3回の繰り返しすべてにつ

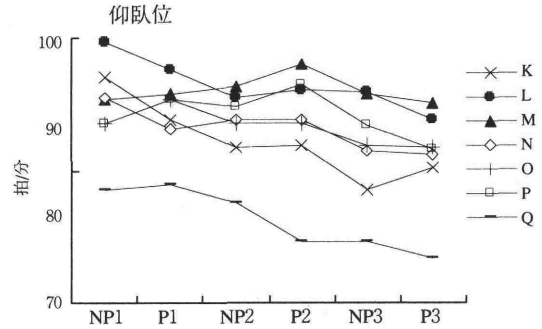
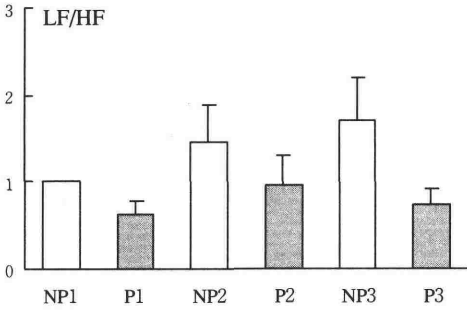
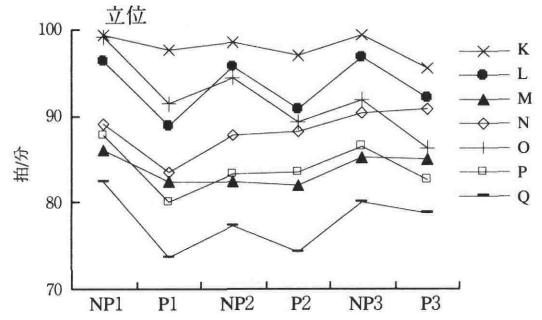
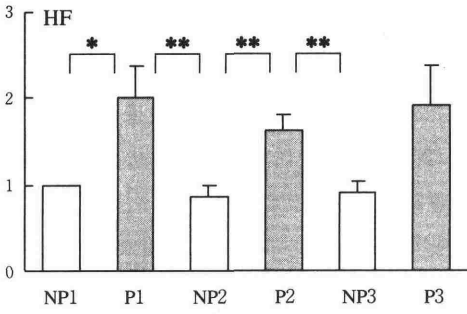


図9 立位時下肢加圧に伴うHF, LF/HFの変化 (各条件下3分間の平均値±標準誤差, **p<0.01, *p<0.05)

図11 各被験者の立位並びに伏臥位における腰部加圧時心拍数の経時的変化

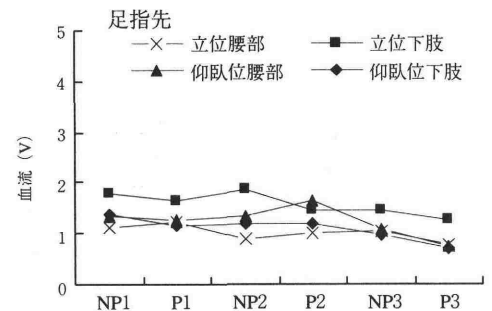
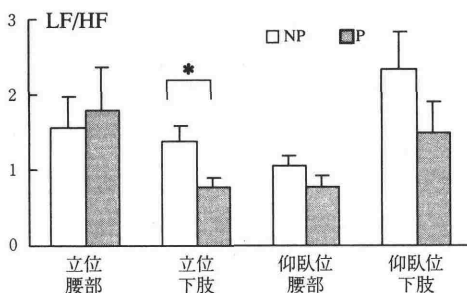
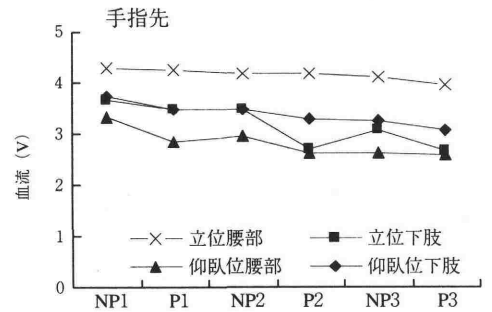
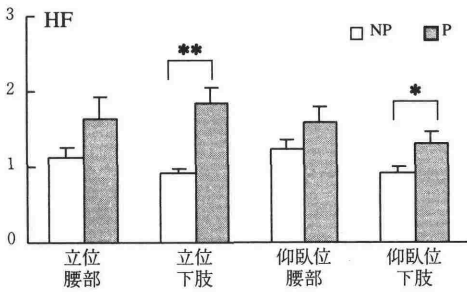


図10 姿勢部位別HFおよびLF/HFの加圧変化 (NP1を1とした際の相対値の平均値±標準誤差, **p<0.01, *p<0.05)

図12 加圧条件別に求めた手指先および足指先血流量の経時的変化

いて平均し、その差を見るといずれの条件においても統計的有意差は認められないが、立位条件下で腰部・下肢部を加圧すると心拍数は低下する傾向が示された。

手指先および足指先血流量の経時変化を加圧条件別に求めた結果を図12に示す。同様の変化をサーモグラフィについても検討したが、血流量・皮膚温ともに加圧による一定の変化は認められなかった。

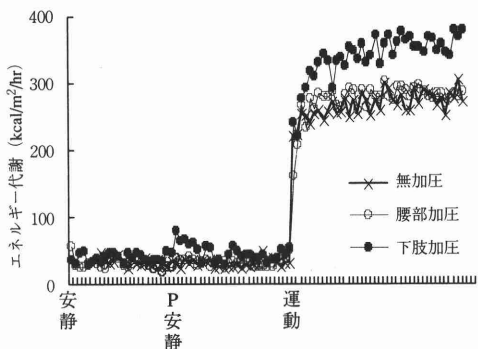


図13 被験者Kのエネルギー代謝測定例

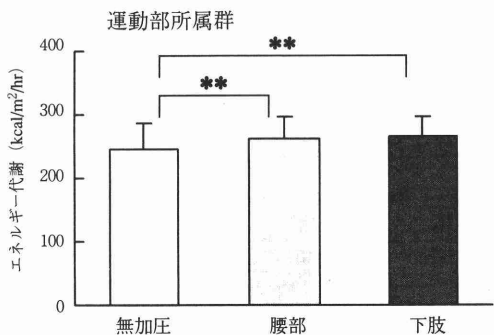
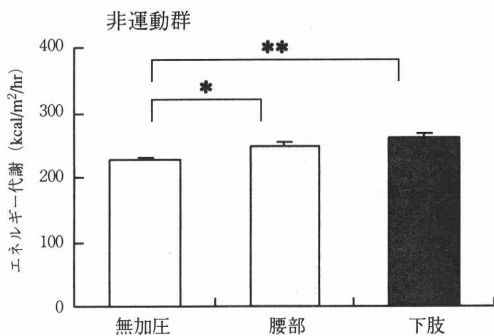


図14 非運動群・運動部所属群別運動負荷時エネルギー代謝量の加圧変化 (平均値±標準誤差, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$)

次に追加実験として行った、安静時および運動負荷時のエネルギー代謝に及ぼす腰部および下肢部加圧の影響に関する実験結果を検討した。図13は被験者Kの代謝測定例である。また図14は、非運動群と、運動部所属群について、 $\dot{V}O_{2max}70\%$ 運動負荷時のエネルギー代謝量を加圧条件別に平均した結果を示している。両群ともに非加圧時よりも、腰部または下肢部を加圧した条件下において有意なエネルギー代謝の増加が示された。

3. 考 察

本実験Bにおいては、ストレッチ性布帛を用いてより広い面積で腰部または下肢部を加圧した場合の心拍変動を、立位および仰臥位の2条件下で探査したが、結果として、HFの上昇、LF/HFの低下という、実験Aと同様の結果を得た。その加圧による変化は、仰臥位より立位において、また、腰部加圧より下肢部加圧においてより明確であり、有意差をもって確認することができた。これらの結果は、下半身衣料による人体加圧が心拍変動に及ぼす影響を検討した長山ら・岡部らの結果と一致している。心拍変動のHF成分が副交感神経系の指標であるとする従来の説に従えば、下半身を覆う衣服、ストッキングやガードルあるいはスポーツ時に着用するスパッツなどによる胴部・腰部・下肢部の下半身加圧は、副交感神経系を亢進させ、その効果は臥位姿勢よりも立位姿勢において顕著であるといえる。交感神経系の抑制と副交感神経の上昇は末梢皮膚血流量の増加、それに伴う皮膚温の上昇を予測させる。石倉らはパンティストッキングによる加圧が手掌皮膚温を上昇させることを観察し、その原因を圧反射であろうと推測している。そこで本実験においても手足の皮膚血流量と皮膚温を調査したが、有意な加圧反応を確認することはできなかった。その原因としては、今回の実験条件、特に無加圧・加圧の負荷時間が5分・3分と短く、その時間内ではこのような血管

反応が捕えられなかったのではないかと考えられる。

また、本実験では、加圧によるエネルギー代謝の変化を検討したところ、安静立位時並びに運動負荷時ともに加圧による有意な上昇が認められた。その機序については明らかではないが、少なくとも一定の立位姿勢あるいは運動を実行するためには、加圧によって、無加圧時より多くのエネルギーを消費することになる。加圧に逆らって筋収縮を起こすための余分な付加がかかることも考えられる。また、交感神経系のレベル低下に逆らって運動することによる代謝の上昇とも考えられる。いずれにしても一定の運動負荷に対する余分なエネルギー消費はトレーニングとしては有効かもしれない。今回の運動負荷は、短時間の試みであり、持続的な負荷ではどうか、そのトレーニング効果までは確認できなかった。これについては更なる研究が必要と考える。

4. 総括

実験Aでは、人体の胸部・胴部・腰部に非ストレッチ性ベルトでフープテンションを負荷したときの心拍変動を調査し、胸部加圧では有意な変化を認めず、胴部・腰部加圧では、有意に心拍変動のHF成分の上昇、LF/HF成分の低下を招くことを明らかにした。続いて実験Bでは、20cm幅のストレッチファブリックを用いて腰部・大腿と下腿部を加圧したときの同変動を、立位・仰臥位において調査し、いずれの条件においてもHFの上昇、LF/HFの低下傾向をあきらかにした。その際、立位における下肢加圧では1%の、立位腰部加圧では5%の有意差を認め、姿勢としては仰臥位より立位のほうが、加圧部位としては腰部より下肢部のほうが顕著な反応を示すことが明らかとなった。これらを総合すると、衣服による人体の加圧は上半身と下半身とでその影響が異なり、下半身でも、胴部・下肢部・腰部に順に影響が大となった。

一般に、心拍変動の高周波成分、HF成分は、心臓由来の副交感神経、心臓迷走神経の活動指標といわれ、その増加は、緊張から休息への生体変化として解釈されている。しかし厳密に言えば、心電図R-R間隔の揺らぎは、吸気時に短縮し呼気時に延長する呼吸性洞性不整脈(RSA)と呼ばれる現象であって、各呼吸周期内で肺気量と肺血流量をマッチさせることによって肺のガス交換効率を高めるという生理的機能を有することが近年指摘されている⁸⁾。また、自律神経活動によるストレス評価は、変化方向が交感神経であれ副交感神経であれ定常時からの変化がストレスであり、「交感神経活動が有意=興奮性ストレスがかかっている」「副交感神経が有意=抑制性ストレスがかかっている」との指摘もある⁹⁾。今回の結果についても、単純に下半身を加圧することは人体をリラックスさせる効果があると短絡させるのではなく、その生理的機序と意味についてについて考えることが重要である。

人体への加圧が、胸部と下半身とで異なっていたこと、さらに、加圧による反応が姿勢により、部位により異なったことを総合すると、これらの結果には静脈還流血流が関係しているのではないかと考えられる。一般に、人体の循環反射には動脈圧受容器が関与している。上條らは、ウエストベルトによる腹部圧迫実験において、閉眼時には腹部圧迫時に交感神経活動優位になるのに対し、開眼状態では副交感神経活動優位な状態になったと報告している。このとき圧迫時の上半身の皮膚血流、血圧および下半身の皮膚血流を測定した結果、腹部圧迫によって下半身への血流阻害が起き、上半身の血流量、血圧が増し、これを抑制するために副交感神経活動が優位になったと述べている。今回の実験では直接血圧を測定していないが、胴部加圧、腰部加圧の上半身血流への影響は上條の成績により、また下肢加圧による上半身還流血の増加については、綿貫らがストッキングで調査し

た結果により、明らかにされている。したがって、胴部・腰部・下肢の加圧は上半身への血流を促進し、一過性に血圧上昇を促すと考えられる。動脈圧の上昇は、圧受容器を刺激し、その情報が心臓血管中枢に伝えられると、交感神経の活動が低下し、迷走神経の活動が上昇して心拍数を低下させる。動脈圧受容器反射は秒単位の時間経過で働くため、今回の実験結果に見るような繰り返しの加圧に対しても反射的な反応として観察されたと考えられる。本研究の成果として、数分単位の人体下半身の加圧が、心拍変動のHF成分を上昇させることが実験的に確認できた。しかし、今回の結果はあくまでも短期的な反応を捉えたものであって、衣服による加圧は、すなわち人体をリラックスさせるという短絡的な解釈は危険である。

今後はさらに分単位ではなく、中長時間にわたって衣服圧を負荷したとき、人体の自律神経調節系にどのような影響を及ぼすかに関する実験を継続する必要がある。また、安静時・運動負荷時のエネルギー代謝が加圧に伴い増加したという結果についても、その機序を明らかにし、さらにパフォーマンスへの効果として確認してゆく必要があると考える。

謝 辞

本研究に対し助成を賜りました石本記念デサントスポーツ科学振興財団に深謝いたします。また実験用ストレッチファブリックをご提供頂きました(株)松崎マトリクステクノ、並びに実験に際し貴重なご意見を頂きました文化女子大学被服衛生学研究室の皆様、実験にご協力いただきました文化女子大学遠藤麻紀さん、被験者の皆様に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 長山芳子, 中村 正, 村田嘉郎, 大村 実, 井上尚英, 心血管機能に及ぼすガードル着用の影響—心拍変動のパワースペクトル解析—. 織消誌 36, 68-73 (1995)
- 2) 緑川知子, 大倉香里, 被服の圧迫による身体生理への影響. 日本家政学会被服衛生学部会第17回セミナー要旨集 pp.37-38 (1999)
- 3) 鄭明姫: 快適・高機能的な被服設計のための体圧及び衣服圧に関する生理学的研究. 文化女子大学博士学位論文 (1998)
- 4) Aya Miyatsuji, Tamaki Matsumoto, Sachiko Mitarai, Tetsuro Katabe, Takehiro Takeshima, Shigeki Watanuki: Effects of Clothing Pressure Caused by Different Types of Brassieres on Autonomic Nervous System Activity Evaluated by Heart Rate Variability Power Spectral Analysis. *J. Physiol. Anthropol.* 21 (1) 67-74 (2002)
- 5) 岡部純子, 原田知加, 宮辻 綾, 綿貫茂喜: 女性の性周期に伴う自律神経系と免疫系の変化に衣服圧が与える影響. 日本生理人学会誌, 5 特別号 (1) 第43回大会要旨集, 46-47 (2000)
- 6) 佐藤昭夫, 佐藤優子, 五嶋摩理: 自律機能生理学. 金芳堂 (1995)
- 7) 石倉信作, 山本貴則, 山前直子, 山名信子: 皮膚温熱画像解析による衣服圧刺激が及ぼす圧反射現象. 織消誌, 36, No.1, pp.82-89 (1995)
- 8) 早野順一郎, 肺ガス交換と心臓迷走神経活動: 呼吸洞性不整脈を介する心肺相関. 自律神経, 40, No.3, pp254-259 (2003)
- 9) 上條正義, 吉田真弓, 佐渡山亜兵, 清水義男, 篠原菊紀: ウエストベルトによる胴体圧迫ストレス時における脳活動. 第16回繊維連合研究発表会講演予稿集 p132 (2005)