

機能性靴下の衣服圧と下腿および 足部の筋疲労に関する研究

信州大学 細谷 聡
(共同研究者) 名古屋学院大学 斎藤 健治

Research on the Relationship between Clothes Pressure of the Functional Hosiery and Muscle Fatigue of Lower Leg and Foot

by

Satoshi Hosotani

Kenji Saitou

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine clothes pressure of the functional hosiery and effect on muscle fatigue through electromyogram measurement and questionnaires. Wearing the functional hosiery of which the clothes pressure differs, several healthy students carried out flexion of the ankle joint and motion of the toe. At this time, the electromyogram of anterior tibial muscle, gastrocnemius muscle, abductor hallucis muscle were measured, then RMS (Root-Mean-Square) and MDF (Median Frequency) which is the muscle fatigue index was calculated. In addition, the questionnaire was carried out after the motion task. As a result, it became clear that the clothes pressure of the hosiery which relieves fatigue were 15-30gf/cm² in lower leg, 40-70gf/cm² in foot. Clothes pressure which did not hurt the comfort was included within these. Moderate clothes pressure of the functional hosiery seems to affect in muscle contraction and muscle blood flow. This was assumed to be the reason why muscle fatigue is reduced.

要 約

本研究の目的は、機能性靴下の衣服圧が下腿および足部の筋疲労へ与える効果について健康な学生を被験者とし、衣服圧の異なる機能性靴下を着用した状態で足関節の屈伸や足指の運動を行ってもらった。このとき、前脛骨筋、腓腹筋、母子外転筋の筋電図を計測し、筋疲労指標であるRMSとMDFを算出した。また、運動課題後にアンケートを実施した。実験の結果、筋疲労を軽減する靴下の衣服圧は、下腿では15～30gf/cm²、足部では40～70gf/cm²であった。履き心地の良い衣服圧は、この範囲に含まれていた。適度な衣服圧を持つ靴下が、筋活動や筋血流を促進し疲労軽減効果をもたらすと考えられる。

緒 言

少子高齢化に伴い医療費負担増などを含む社会補償問題が深刻な問題になっていることもあり、自身の健康や健康法に対する関心は非常に高い。なかでも、スポーツや運動は健康の維持増進方法の一つとして注目されている。ウォーキングやジョギング、トレッキングなどの愛好者が増えているのはその顕著な例である。

これらスポーツや日常の生活で重要になるのがシューズや靴下に代表されるフットウェアである。シューズは、種目や用途に応じて商品展開されており消費者の認知度も比較的高いが、靴下についてはシューズほど重要視されていないのが現状である。しかし、外反母趾予防靴下やエコノミー症候群防止靴下が医療機関で利用されていることを考えれば、スポーツや日常使用の靴下についてもさらに研究を進め、用途に応じた靴下が現在以上に開発されるべきだと思われる。

ところで、素材自体に何らかの効果（例えば抗菌繊維や消臭繊維など）を有しているもので作られている靴下や、製品の特別な形状的設計を行な

って機能（例えば段階圧パンストや5本指靴下など）を付与した靴下などを総称して機能性靴下とよぶ。スポーツや日常での使用で、靴下に求める主な機能は衛生的特性（保温性、通気性など）や着衣快適性、疲労軽減性などが考えられる。特に脚や足部の疲労軽減は、中高年者においては歩行安定性を向上させ、転倒防止に繋がるのが推測される。また、運動量の大きいスポーツ種目では肉離れなど傷害の予防になるばかりでなく、パフォーマンス向上の遠因となる可能性がある。これまで、衣服圧を利用している製品の代表であるサポーターに関しては、その生理的・心理的効果に関する研究報告は比較的多くあるが^{1, 2, 4, 5, 13}、靴下の衣服圧に関する生理的疲労軽減効果に関する研究報告はあまりみられない。

本研究では、機能性靴下のなかで通常の靴下よりも下腿部および足部に作用する衣服圧が大きい着圧靴下に着目し、主に衣服圧と筋疲労との関係について筋電図学的に検討する。下腿部については前脛骨筋と腓腹筋を対象に靴下から作用する衣服圧と筋疲労との関係を、足部については母子外転筋の疲労と衣服圧との関係を明らかにすることを目的とする。ここで、靴下はあくまで身に着けるものであることから、疲労軽減効果が高くても着衣快適性が著しく劣るものでは効果の意義は半減してしまう。そこで、これら筋疲労計測と合わせて着用感についても調査し、疲労軽減性を有し着衣快適性を損なわない靴下についても検討することにする。

1. 研究方法

本研究では、靴下の衣服圧と下腿部および足部の筋疲労や着用感との関係を明らかにするために以下の2つの実験を行なった。

1. 1 下腿部の衣服圧と筋疲労・着用感の計測

1. 1. 1 実験試料および被験者

下腿部の衣服圧と筋疲労，着用感の計測には，図1に示す某α社製の素材（綿，ポリエステル，ナイロン）が同じ25cm—27cmサイズの一般的な靴下（靴下NL）と下腿部の衣服圧が異なる着圧靴下3種（衣服圧の小さい順に靴下A，靴下B，靴下Cとする）を用いた。被験者は脚に障害歴のない健康な20代男子大学生10人（年齢 22.1 ± 1.1 歳）とした。被験者の形態的特徴は，身長 175.2 ± 4.0 cm，体重 62.5 ± 3.7 kg，図2に示す衣服圧計測点3ヶ所の周囲長は，それぞれ 21.5 ± 0.9 cm (p1)， 28.3 ± 1.4 cm (p2)， 35.6 ± 1.4 cm (p3)である。実験に先立ち，計測中に想定される危険や安全への配慮，個人情報の管理などに関して説明し被験者から同意を得た。また，本実験は信州大学ヒト倫理委員会の承認を得たものである。

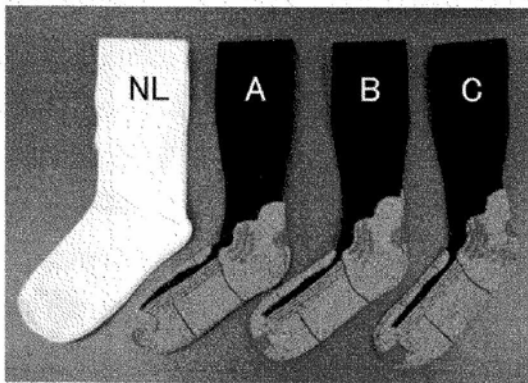


図1 下腿部の疲労計測に用いた実験試料

1. 1. 2 衣服圧計測

衣服圧計測ではエイムアイ・テクノ社製エアパックセンサ（AMI3037シリーズ）を使用し，図2に示すように被験者の右下腿部内側の踝から膝方向へ5cm (p1)，15cm (p2)，25cm (p3)の3ヶ所について行なった。被験者にはこの圧力センサを3ヶ所に装着し立位姿勢を10秒間とてもらい，これを3回計測した。センサからの出力はA/D変換器（BIOPAC System社製MP150）を介

してサンプリング周波数50HzでノートPCに収録し，得られた値を平均したものをそれぞれの箇所の衣服圧とした。

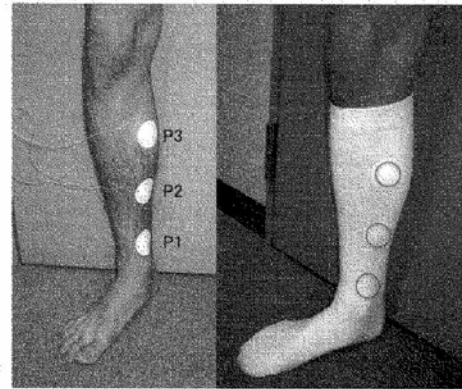
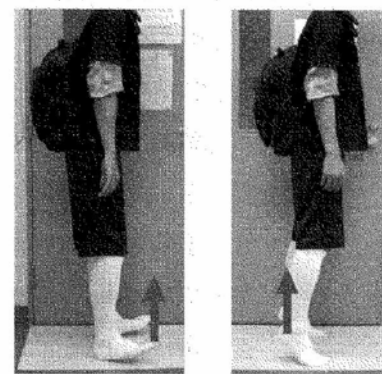


図2 圧力センサの装着位置

1. 1. 3 運動課題および筋電図と着用感計測

衣服圧と筋疲労との関係調べるためには，対象とする筋肉に対して一定の疲労を生じさせる必要がある。このため実験試技として，約6kgfの荷物を背負い，つま先立ち1秒とかかと立ち（つま先上げ）1秒を交互に繰り返す運動を4分間持続的に，裸足および4種類の靴下について行なってもらった。この運動課題を含む実験プロトコルを図3に示す。なお，実験は1日につきひとつの試料を行なったことにしたため，裸足を含め延べ5日間実施した。



かかと立ち

つま先立ち

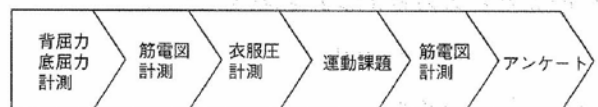


図3 運動課題と実験プロトコル

実験試技前後に靴下を脱いだ状態で行なった筋電図計測の被験筋は、図4に示すように足関節背屈の主働筋である前脛骨筋と足関節底屈の主働筋である腓腹筋とした。実験前には足関節を90度に保った姿勢で最大背屈力と最大底屈力を荷重計であらかじめ測定し、実験試技前後それぞれにおいては、この最大背屈力と最大底屈力の50%の力を荷重計にて表示させながら背屈および底屈を実施してもらい、背屈時には前脛骨筋の活動を、底屈時には腓腹筋活動を計測した。筋電図計測には、Delsys社製アクティブ電極（DE-21）を使用し、A/D変換器（BIOPAC System社製MP150）を介してサンプリング周波数1KHzでノートPCに収録した。着用感の調査は、実験試技および筋電図計測後、履き心地と疲労感の2項目について-2点~+2点の5段階で着用前と比較した感覚を評価してもらった。

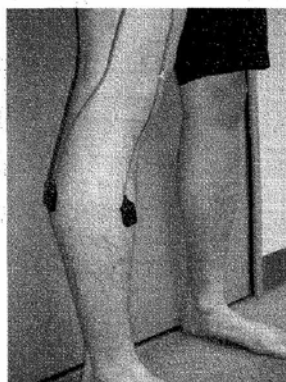


図4 筋電図計測用電極の貼付位置

1. 2 足部の衣服圧と筋疲労・着用感の計測

1. 2. 1 実験試料および被験者

足部の衣服圧と筋疲労、着用感の計測には、疲労負荷実験課題の遂行上の理由から5本指ソックスを使用した。実験では、図5に示す某β社製の素材（綿、ポリエステル、ポリウレタン）が同じ25cm—27cmサイズの一般的な5本指靴下（靴下NF）と甲部の衣服圧が異なる着圧靴下2種（衣服圧の小さい順に靴下D、靴下Eとする）を用いた。被験者は、足長脚に障害歴のない健康な20

代男子大学生12人とした。被験者は脚および足部に障害歴のない健康な20代男子大学生10人（年齢 21.8 ± 0.8 歳）とした。被験者の形態的特徴は、身長 174.9 ± 2.9 cm、体重 63.3 ± 4.5 kg、図6に示す衣服圧計測箇所（甲周り）の周囲長は、 26.3 ± 0.5 cmである。実験に先立ち、計測中に想定される危険や安全への配慮、個人情報管理などに関して説明し被験者から同意を得た。また、本実験は信州大学ヒト倫理委員会の承認を得たものである。

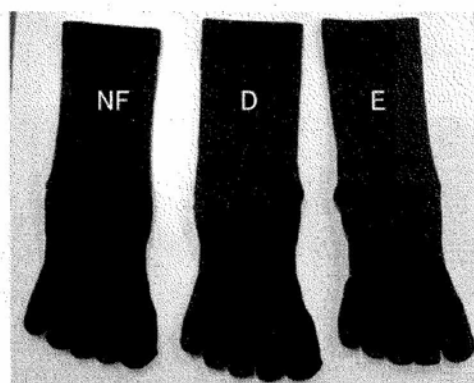


図5 足部の疲労計測に用いた実験試料

1. 2. 2 衣服圧計測

衣服圧計測ではエイムアイ・テクノ社製エアパックセンサ（AMI3037シリーズ）を使用し、図6に示すように被験者の右足の甲に装着して行なった。被験者にはセンサを装着後、靴下を履いて立位姿勢を10秒間とってもらい、これを3回計測した。センサからの出力はA/D変換器（BIOPAC System社製MP150）を介してサンプリ

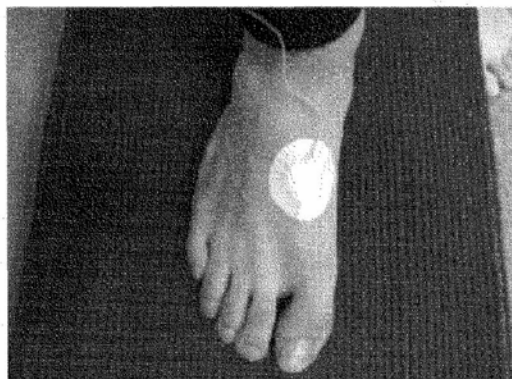


図6 圧力センサの装着位置

ング周波数50HzでノートPCに収録し、得られた値を平均したものをそれぞれの箇所の衣服圧とした。

1. 2. 3 実験試技および筋電図と着用感計測

衣服圧と筋疲労との関係を知るためには、下腿部と同様に足部についても対象とする筋肉に対して一定の疲労を生じさせる必要がある。このため実験試技として、長座姿勢で毎秒1回の足母指底屈運動を5分間、裸足および3種類の靴下について行ってもらった。この運動課題を含む実験プロトコルを図7に示す。

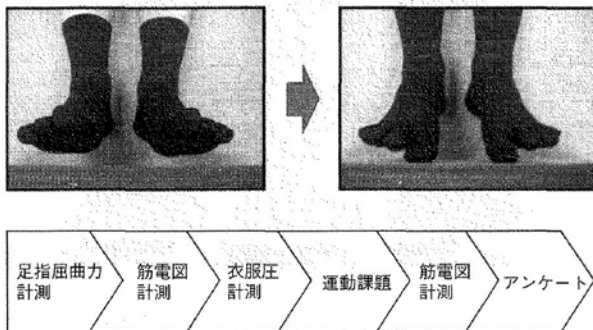


図7 運動課題と実験プロトコル

実験試技前後に靴下を脱いだ状態で行なった筋電図計測の被験筋は、図8に示すように足母指の外転と屈曲の主働筋である母指外転筋とした。実験前には足関節を90度に保った姿勢で最大底屈力を荷重計であらかじめ測定し、実験試技前後それぞれにおいてはこの最大底屈力の50%の力を荷重計にて表示させながら底屈を実施してもらい、母指外転筋の活動を計測した。筋電図計測には、Delsys社製アクティブ電極 (DE-21) を使用し、A/D変換器 (BIOPAC System社製MP150) を介してサンプリング周波数1kHzでノートPCに収録した。着用感の調査は、実験試技および筋電図計測後、履き心地と疲労感の2項目について-2点~+2点の5段階で着用前と比較した感覚を評価してもらった。

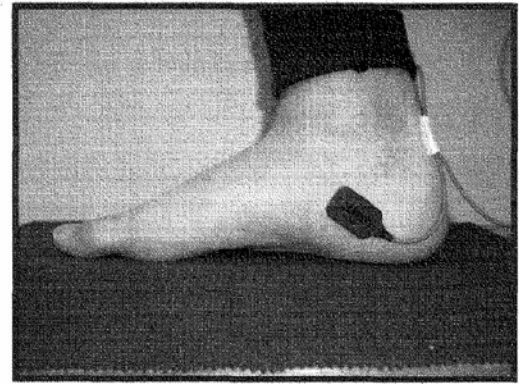


図8 筋電図計測用電極の貼付位置

1. 3 解析方法および筋疲労評価

計測された筋電図において筋疲労の指標となるものはいくつかあるが、本研究ではRMSとMDFを用いることにする。

まずRMS (Root Mean Square) とは、文字通り次式 (1) のように筋電位振幅データ $EMG(t)$ の二乗平均値を算出することであり、交流信号における実効値を表している。例えば、一定の筋張力を持続的に維持する課題を行なうとき、疲労とともに筋電図の振幅は増大し、実効値も増加する。従って、実効値が大きくなるほど、筋が疲労しているといえる。この増加の原因として参加する運動単位数の増加が考えられている⁷⁾。

$$EMGrms(t) = \sqrt{\frac{\int_0^t x^2(t) dt}{T}} \quad (1)$$

次にMDF (Median Frequency) は、筋電図スペクトルの中央値のことで中間周波数と呼ばれ、次式 (2) で定義される。計測された筋電位信号を高速フーリエ変換 (FFT) によりパワースペクトル (PS: Power spectrum) を求める。中間周波数はそのパワースペクトルの面積を二分する周波数の値である。ここで式 (2) のCFは高域遮断周波数を表している。筋電図の周波数成分は疲労に伴って、低域にシフトすることが明らかになっているので、中間周波数の値が小さくなるほど、疲労しているといえる^{6, 10, 12)}。

$$\int_0^{MDF} PS(f)df = \int_{MDF}^{CF} PS(f)df \quad (2)$$

これらの式を用いて、前脛骨筋、腓腹筋、母指外転筋の活動から筋疲労の解析を行なった。

なお、実験試料は衣服圧が通常のものから大きいものまで用意しているが、下腿や足部甲周りの周囲長は被験者によってさまざまである。従って、試料間の比較をするのではあまり意味がないことから、研究結果では実験試料を用いて得られた衣服圧と筋疲労および着用感との関係を示し考察していくことにする。

2. 研究結果

2. 1 下腿部の衣服圧と筋疲労軽減効果について

図9は下腿部の衣服圧と前脛骨筋のRMS比との関係を示したものである。RMS比とは、運動課題前の筋電図において計測されたRMSに対して、運動課題後のRMSを表したものである。RMSは筋疲労とともに増大する特徴があることから、RMS比が1に近いほど疲労が少なく、大きくなるほど疲労していることになる。なお、裸足で行なった場合のRMS比は 1.55 ± 0.25 であった。計測で得られた範囲では、衣服圧と筋疲労には比較的高い相関 ($r=0.79$) で下に凸の関係が認められた。

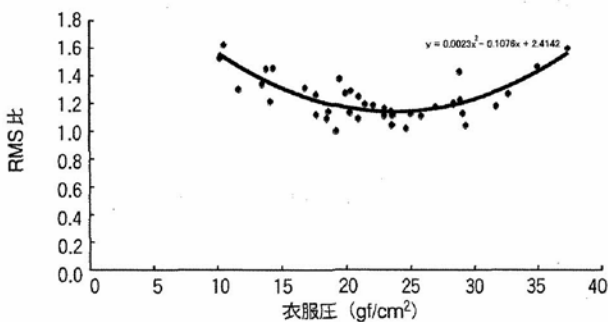


図9 下腿部の衣服圧と前脛骨筋のRMS比との関係

図10は下腿部の衣服圧と前脛骨筋のMDF比と
デサントスポーツ科学 Vol.31

の関係を示したものである。MDF比とは、運動課題前の筋電図において計測されたMDFに対して、運動課題後のMDFを表したものである。MDFは筋疲労とともに低域にシフトする特徴があることから、RMF比が1に近いほど疲労が少なく、小さくなるほど疲労していることになる。なお、裸足で行なった場合のMDF比は 0.93 ± 0.05 であった。計測で得られた範囲では、衣服圧と筋疲労には上に凸の関係が認められたが、相関はそれほど高くはなかった ($r=0.45$)。

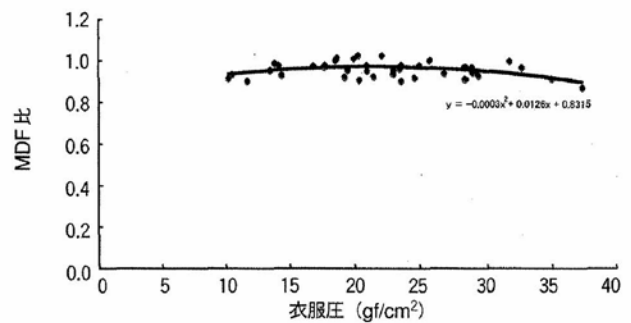


図10 下腿部の衣服圧と前脛骨筋のMDF比との関係

これらの図からわかるように、比較的服装圧が低い場合 (10gf/cm^2) ならびに高い場合 (35gf/cm^2 以上) では、裸足時の疲労と変わりがなく靴下の衣服圧による疲労軽減効果はない。しかし、おおよそ $15 \sim 30\text{gf/cm}^2$ の衣服圧ではRMS比が比較的小さく (MDF比が比較的大きく)、疲労軽減効果が認められる。

図11は下腿部の衣服圧と腓腹筋のRMS比との関係を示したものである。裸足で行なった場合のRMS比は 1.57 ± 0.48 であった。計測で得られた

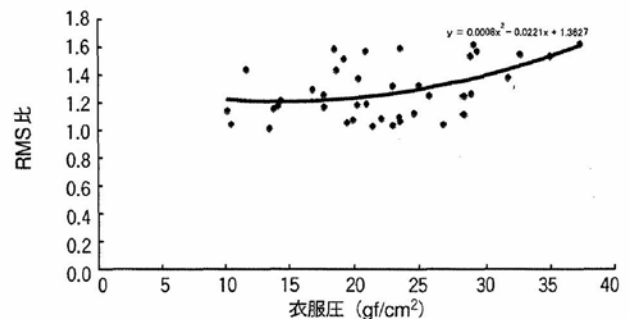


図11 下腿部の衣服圧と腓腹筋のRMS比との関係

範囲では、衣服圧と筋疲労には下に凸の関係が認められたが、相関はそれほど高くはなかった ($r=0.47$)。

図12は下腿部の衣服圧と腓腹筋のMDF比との関係を示したものである。裸足で行なった場合のMDF比は 0.93 ± 0.07 であった。計測で得られた範囲では、衣服圧と筋疲労には上に凸の関係が認められたが、相関はそれほど高くはなかった ($r=0.40$)。

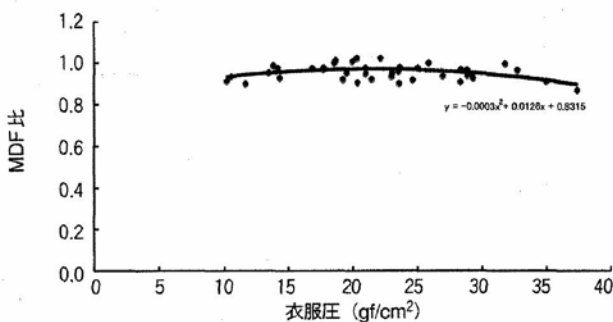


図12 下腿部の衣服圧と腓腹筋のMDF比との関係

図11と図12からわかるように、比較的衣服圧が高い場合（おおよそ 30gf/cm^2 以上）では、裸足時の疲労と変わりはない。しかし、おおよそ $15 \sim 25\text{gf/cm}^2$ の衣服圧ではRMS比が比較的小さい（MDF比が比較的大きい）傾向はあるが、前脛骨筋のような顕著な相関関係はなかった。

次に、衣服圧と着用感との関係について、履き心地の結果を図13に、疲労感の結果を図14に示す。主観評価のスケールが-2から+2の5段階で比較的精細なことから、衣服圧を 5gf/cm^2 ごとにま

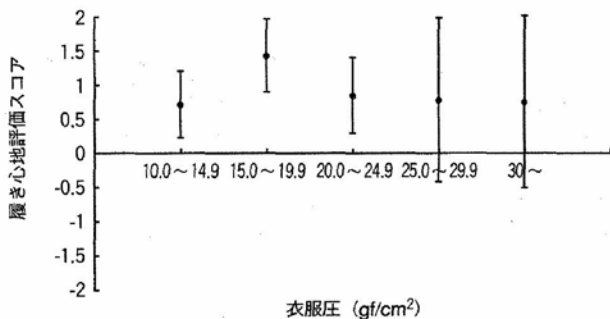


図13 下腿部の衣服圧と履き心地評価の関係

とめてその平均値と標準偏差を示すことにした。結果として、衣服圧 $15 \sim 20\text{gf/cm}^2$ 程度が、履き心地がよく疲労感軽減効果が比較的高い傾向を示した。

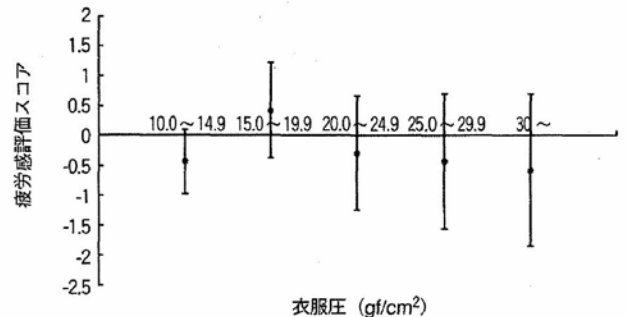


図14 下腿部の衣服圧と疲労感評価の関係

2. 2 足部の衣服圧と筋疲労軽減効果について

図15は足部の衣服圧と母子外転筋のRMS比との関係を示したものである。裸足で行なった場合のRMS比は 1.26 ± 0.12 であった。計測で得られた範囲では、衣服圧と筋疲労には比較的高い相関 ($r=0.80$) で下に凸の関係が認められた。

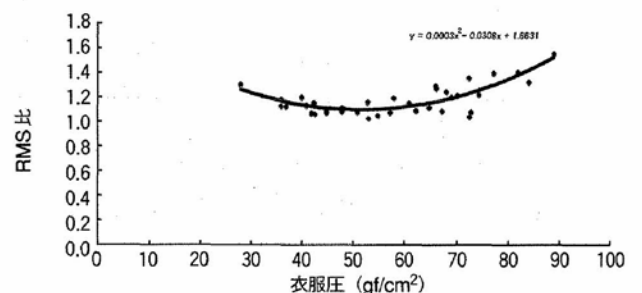


図15 足部の衣服圧と母子外転筋のRMS比との関係

図16は足部の衣服圧と母子外転筋のMDF比との関係を示したものである。裸足で行なった場合のMDF比は 0.95 ± 0.03 であった。計測で得られ

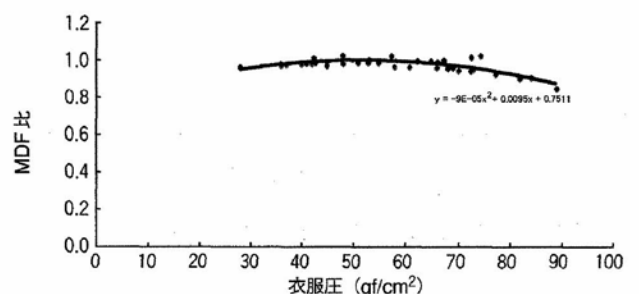


図16 足部の衣服圧と母子外転筋のMDF比との関係

た範囲では、衣服圧と筋疲労には比較的高い相関 ($r=0.79$) で上に凸の関係が認められた。

図15および図16からわかるように、比較的衣服圧が低い場合 (30gf/cm^2 程度) ならびに高い場合 (80gf/cm^2 以上) では、裸足時の疲労と変わりがなく靴下の衣服圧による疲労軽減効果はない。しかし、おおよそ $40\sim 70\text{gf/cm}^2$ の衣服圧では RMS 比が比較的小さく (MDF 比が比較的大きく)、疲労軽減効果が認められる。

次に、衣服圧と着用感との関係について、履き心地の結果を図17に疲労感の結果を図18に示す。主観評価のスケールが-2から+2の5段階で比較的粗いことから、衣服圧を 10gf/cm^2 ごとにまとめてその平均値と標準偏差を示すことにした。結果として、衣服圧 $40\sim 50\text{gf/cm}^2$ 程度が、履き心地がよく疲労感軽減効果が比較的高い傾向を示した。

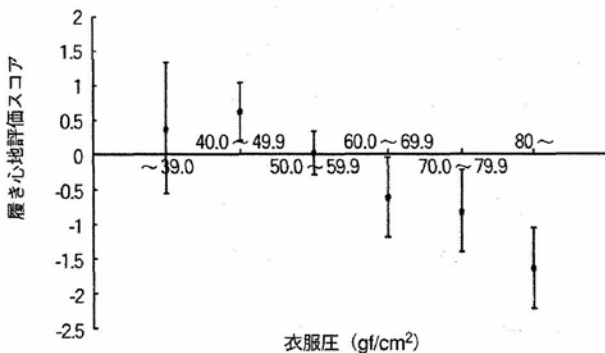


図17 足部の衣服圧と履き心地評価の関係

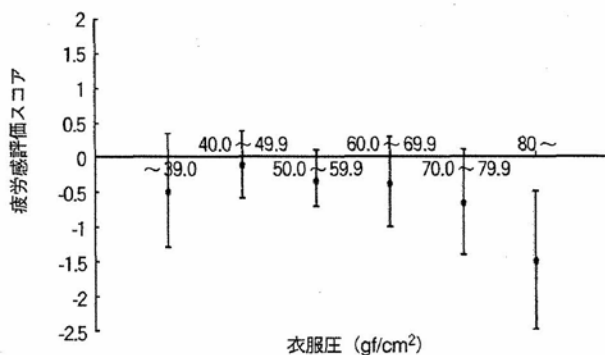


図18 足部の衣服圧と履き心地評価の関係

2. 3 対象部周囲長と衣服圧の関係について
下腿部の衣服圧計測は3箇所 (P1, P2, P3) について行なったが、4種類の靴下着用でのそれぞれの箇所における周囲長と衣服圧との相関係数は、P1では0.03~0.50, P2では0.01~0.28, P3では0.15~0.39となり、高い正の相関ではなかった。一方、足部においては3種類の靴下で計測したが、甲周りの周囲長と衣服圧との相関係数は0.05~0.44となり、高い正の相関ではなかった。

3. 考察

3. 1 衣服圧と筋疲労との関係について

本研究で2つの実験を行なった結果、靴下の衣服圧が下腿部や足部の生理的 (心理的) な筋疲労に影響を及ぼすことが明らかとなった。さらに、生理的な筋疲労を軽減する適切な衣服圧範囲の存在が確認された。これは、靴下による局所的圧迫が筋血流量に影響を及ぼしたことが主な要因であると推測される。一般に運動などで筋収縮が起こる場合、ある強度までは酸素摂取量に比例して筋血流量は増加する。しかし、ある強度を超えると筋血流量は減少する。これは、筋内圧の高まりによって血管が圧迫されるためである。また、末梢血管を圧迫すると、その後、血管が拡張し急激な血流量増加 (反応性充血) が起こる^{8,11)}。

安定した酸素供給は、疲労物質である乳酸を解糖系でグリコーゲンに変え、骨格筋細胞内ではATPの再合成を促進する。筋内における酸素摂取量は筋持久力を左右する極めて重要な要因であり、靴下着用による衣服圧の作用で筋血流量の促進が起こり、筋酸素摂取量が増加し筋持久力が向上したと推測される。つまり、乳酸の蓄積が抑制されRMSの増加やMDFの低下が生じたと考えられる。また、靴下着用での比較的高い衣服圧では、筋弛緩期における血管拡張が大きな外圧によって阻害されると推測される。一方、比較的低い衣服圧では、筋収縮の促進には影響を及ぼさず、靴下の適

度な衣服圧が、筋疲労の軽減に効率の良い筋ポンプ作用および筋血流量をもたらすのではないかと推測される。

3. 2 履き心地が良く疲労軽減効果のある靴下について

今回の結果から歩行などの日常生活動作時やスポーツ時の疲労軽減を意図した靴下開発では、下腿部では計測点3箇所の平均衣服圧が15～30 gf/cm²程度、足部甲周りでは40～70 gf/cm²程度が、筋生理的にみた疲労軽減には効果的だと考えられる。また、着用者の履き心地を損なわないという観点では、下腿部では15～20gf/cm²、足部甲周りでは40～50 gf/cm²において、履き心地を損なわず疲労感が比較的少ない靴下の衣服圧であるということが明らかとなった。日常使用としては、今回の主観的評価から得られた衣服圧範囲の設定で十分効果が得られると推測される。一方、スポーツ場面では、履き心地などの主観的要素はもちろん重要ではあるが、生理的な疲労軽減効果がパフォーマンスの向上や傷害予防の遠因となる可能性があるため、スポーツ種目の動作特性や動作時間等を踏まえた上で、専用の衣服圧を設定する必要があると思われる。今回は、実験室にて実験効率を考え疲労を短時間に作り出したが、実際のスポーツ運動や長時間動作によって起こる疲労に対する衣服圧の効果を研究することは課題として残る。

また、計測対象部位の周囲長と衣服圧との関係に高い相関は得られなかった。これは、下腿や足部で周囲長を計測した部位の曲率と骨の影響があり、周囲長のみのデータでは衣服圧を一概に推定できないことを示唆していると考えられる。

4. 結 言

本研究では、機能性靴下のなかで通常の靴下よりも下腿部および足部に作用する衣服圧が大きい

着圧靴下に着目し、下腿部では前脛骨筋と腓腹筋を、足部では母子外転筋を対象に靴下から作用する衣服圧と筋疲労との関係を明らかにすることを目的とした。また着用感についても調査し、疲労軽減性を有し着衣快適性を損なわない靴下についても合わせて検討した。以下に結論を示す。

- ・下腿部の筋疲労を軽減する靴下の衣服圧は15～30gf/cm²であった。
- ・下腿部の着用感と疲労感を損なわない衣服圧は15～20gf/cm²であった。
- ・足部の筋疲労を軽減する靴下の衣服圧は40～70gf/cm²であった。
- ・足部の着用感と疲労感を損なわない衣服圧は40～50gf/cm²であった。

適度な衣服圧の靴下を着用することで、局所的に加わる圧が筋収縮や筋血流量に影響を及ぼし、筋疲労を軽減することが推測された。今回得られた生理的な疲労軽減効果のある衣服圧は、履き心地を損なうことのない圧範囲も含んでいた。日常使用やスポーツ使用など用途別の靴下開発に参考となる可能性がある。ただ、実際のスポーツ運動や長時間動作によって起こる疲労に対する衣服圧の効果を研究することは今後の課題である。

謝 辞

この研究の遂行にあたり、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お礼を申し上げます。

文 献

- 1) 青木美枝, 吉澤正尹, 三澤利博, 浜田敏彦; スポーツによる皮膚圧迫と運動パフォーマンスに関する基礎的研究, デサントスポーツ科学, 17, 296-306 (1996)
- 2) 平田耕造, 永坂鉄夫, 市村忠弘, 野田祐子, 柴藤治, 平井敦夫, 平下政美, 高畑俊成; 「きつい」と感じるスポーツウェアの皮膚圧迫効果の実験的研究, デサントスポーツ科学, 8, 125-136 (1987)

- 3) 細谷聡, 山本貴子, 上條正義, 佐渡山亜兵, 清水義雄; 繊維製品における着用快適性の生理心理工学的評価, 第17回生体・生理工学シンポジウム論文集, 91-94 (2002)
- 4) 細谷聡, 尾崎孝典, 福山雄介, 上條正義, 佐渡山亜兵, 清水義雄; サポータによる四肢への局所的圧迫が及ぼす生理心理的效果, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01講演論文集, CD-ROM (2001)
- 5) 川秀子, 諸岡晴美, 北村潔和, 諸岡英雄; 下肢各部の局所的圧迫が皮膚血流量に及ぼす影響—サポータパンティストッキングの設計指針を得るための試み—, 繊維製品消費科学, 36 (7), 491-494 (1995)
- 6) Kogi K., Hakamada T.; Slowing of surface electromyogram and muscle strength in muscle fatigue, *Rep. Inst. Sci. Labour.*, 60, 27-41 (1962)
- 7) Lippold O.C.J., Ledfean J.W.T., Vuco J.; The electromyography of fatigue, *Ergonomics*, 3, 121-131 (1960)
- 8) Nielson B., Ingvar D.; Intramuscular pressure and contractile strength related to muscle blood flow in man, *Scand. J. Clin. Lab. Invest. Suppl.*, 99, 31-38 (1967)
- 9) 大築立志; 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, デサントスポーツ科学, 14, 93-99 (1993)
- 10) Sadoyama T., Miyano H.; Frequency analysis of surface EMG to evaluation of muscle fatigue, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 47, 239-246 (1981)
- 11) 齊藤満, 油座信男; 筋持久性トレーニングにともなう反応性充血の変化, 体力科学, 33 (6), 380 (1984)
- 12) Sato H.; Some factors affecting the power spectra of surface electromyograms in isometric contractions, *J. Anthrop. Soc. Nippon.*, 84, 137-145 (1976)
- 13) 芝崎 学, 佐藤留美子, 登倉尋實; 被服圧が有酸素運動時の生体反応に及ぼす影響, デサントスポーツ科学, 22, 14-22 (2001)