

<研究報告>

## ストッキングと靴着用時の下肢筋活動の変化

—快適着圧ストッキングと履き慣れた靴を用いて—

近藤沙雪 信州大学大学院教育学研究科

キーワード：被服圧，圧感覚，ストッキング，筋活動，ハイヒール

### 1. はじめに

若者から高齢者まで幅広い年齢層の女性の衣生活において、パンティーストッキングはヒールのある靴を着用する為の必需品である。ストッキングは脚やヒップライン等を美しく見せる整容効果を持つ。一方沢井ほか(2006)<sup>1)</sup>によれば、日常生活での体重支持・移動動作時には、男性に比べて女性の方がより高い筋活動水準に達する時間が多く、下肢にかかる負担が相対的に大きい可能性がある。また井奈波ほか(2010)<sup>2)</sup>によれば、業務中にヒールのある靴を常用するバスガイドの自覚的疲労蓄積度得点は、ヒールの高さが5cm以上の者が5cm未満の者より有意に大きく、坂本(2020)<sup>3)</sup>によれば、腰痛の発症がハイヒールでの持続歩行による腰椎前弯の増強と結びついている可能性がある。また、Mitsuno and Sugawara(2022)<sup>4)</sup>は、靴のヒールの高さが変わると主に使用される下肢の筋活動が膝周りから体幹へ移動すると述べている。本研究では日常的に着用するストッキングについて、下肢の筋活動を軽減し、快適な着用感が得られる製品の開発を試みた。そこで、ストッキングとヒールの高さの異なる靴着用した時の筋活動の変化に着目し、被服圧とその着用感の関係を含めて検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 被験者の身体的特徴

被験者は20～23歳の健康な日本人女性17名であった。被験者は7時間の睡眠を実験前日の夜にとり、食事を実験2時間前にとった状態で、環境温 $24.5\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50.0\pm 0.3\%$ 、気流 $8.0\pm 0.1\text{cm/s}$ 、環境照度 $827\pm 27.0\text{lx}$ の環境に設定された人口気象室(信州大学人工気象実験システム)に入室し、1時間座位を保ち安静に保った。まず、被験者の体重、筋肉量、体脂肪を体組成計(TANITA, InnerScan, BC-520-WH)で測定した。次に、テープメジャーを用いてトップバスト、アンダーバスト、ウエスト、ローウエスト、ヒップ、大腿、膝上、膝下、足首、足囲の周径を測定し、マルチン人体計測器を用いてヒップ、鼠径部、膝、脛脛の床からの高さを測定した。

#### 2.2 被服圧と圧感覚の測定

ストッキングA, Bそれぞれの物性値はMitsuno and Kondo(2022)<sup>5)</sup>を参照されたい。こ

これらの試料を着用した時の被服圧は、液圧平衡方式を用いた被服圧測定システムで測定した。なお、圧測定部位 46 か所を図 1 に示す。

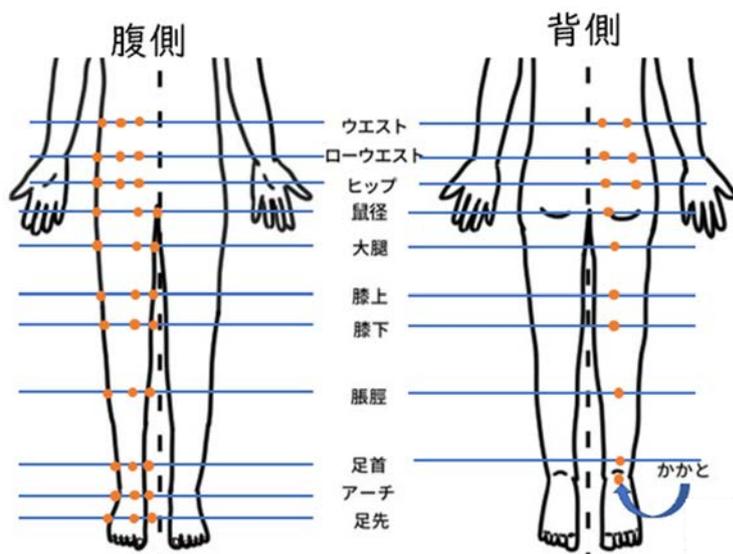


図 1 被服圧測定部位

圧感覚（圧迫感）の大きさは三野ほか（1997）<sup>6)</sup>を参考に比率尺度を用いて評価した。この時用いた評価シートを図 2 に示す。まず、ストッキングを着用していない状態で、被験者がストッキングを着用した際に「ゆるい」、「きつい」、「ちょうどよい」と感じる点を図 2 の左上の 3 本の直線上にそれぞれ記入させた。そして、その線分の長さを計り、「ゆるい」、「きつい」、「大変きつい」感覚を、「履いていない」を 0, 「ちょうどよい」を 1 とした時の数値に換算した。その後、2.3 で後述する筋活動測定後、ストッキング A, B それ

①ストッキング着用なし  
下線の「履いていない」と「ちょうどよい」の線分上に「ゆるい」感覚を記入して下さい。  
履いていない ちょうどよい

下線の「ゆるい」と「きつい」の線分上に「ちょうどよい」感覚を記入して下さい。  
ゆるい きつい

下線の「ちょうどよい」と「大変きつい」の線分上に「きつい」感覚を記入して下さい。  
ちょうどよい 大変きつい

②ストッキング着用あり  
以下の2本線のどちらかを選び、ストッキング着用時のきつさ感覚を記入して下さい。

ウエスト  
ちょうどよい ゆるい  
ちょうどよい 大変きつい

ヒップ  
ちょうどよい ゆるい  
ちょうどよい 大変きつい

大腿  
ちょうどよい ゆるい  
ちょうどよい 大変きつい

膝下  
ちょうどよい ゆるい  
ちょうどよい 大変きつい

ふくらはぎ  
ちょうどよい ゆるい  
ちょうどよい 大変きつい

足首  
ちょうどよい ゆるい  
ちょうどよい 大変きつい

足部  
ちょうどよい ゆるい  
ちょうどよい 大変きつい

総合  
ちょうどよい ゆるい  
ちょうどよい 大変きつい

図 2 圧感覚測定に用いた比率尺度の評価シート

## ストッキングと靴着用時の下肢筋活動の変化

それを着用した状態で、ウエスト、ヒップ、大腿、膝下、脛脛、足首、足部のそれぞれの体部位ごとに、「ゆるい」軸あるいは「きつい」軸のどちらかの直線を選び、その直線上に着用感覚を記入させ、その線分の長さを計り、「履いていない」を0、「ちょうどよい」を1とした時の数値に換算した。

### 2.3 下肢の筋活動の測定

被験者がトレッドミルを時速 3km で歩行している時の、下肢の表面筋電位 (EMG) を多チャンネルテレメーターシステム (WEB-1000, 日本光電) で測定した。被験者は、裸足と3種類の靴 (Jog シューズ, Low ヒール, High ヒール) を着用して歩行し、その後、前述の裸足と3種類の靴に加えストッキング A, B を着用した状態で歩行した。実験に使用した Jog シューズ, Low ヒール, High ヒールの一例を図3に示す。



図3 左から Jog シューズ, Low ヒール, High ヒールの一例

小野(1991)<sup>7)</sup>によれば、歩行時にヒールの影響を受ける筋肉は腓腹筋, 前傾骨筋, 大腿直筋等があり, 中でも前傾骨筋は著明に影響を受けるといふ。本実験ではこれら M1~M2 の筋に加え, M1: 前脛骨筋, M2: 腓腹筋, M3: 大腿直筋, M4: 大腿二頭筋長頭, M5: 広背筋, M6: 腹直筋, M7: 大臀筋, M8: 半腱様筋の8つの筋肉で表面筋電位を測定した。さらに, これらの筋を膝回り (M1~M4), 腰回り (M5~M8), 腹側 (M1, M3, M6) 背側 (M2, M4, M5, M7, M8) の4つの筋群に分類し考察を行った。表面筋電位の測定点を図4に示す。

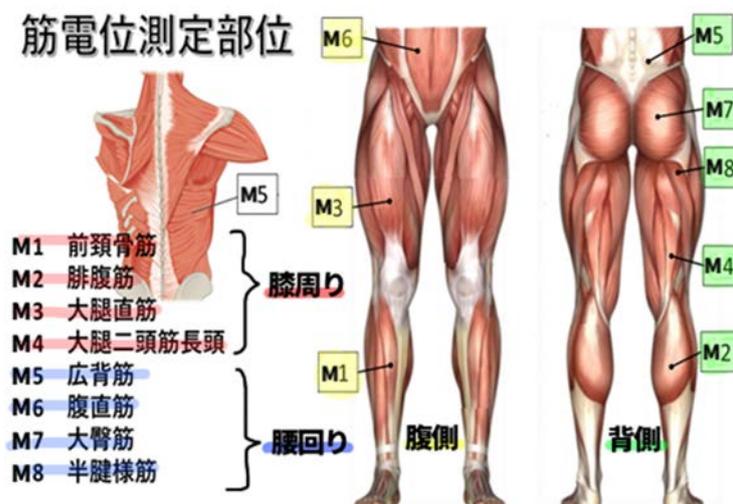


図4 8か所の歩行中の表面筋電位の測定点 (菅原, 2021)<sup>8)</sup>

表面筋電位の二乗平均平方（RMS）を、以下の式 1 を用いて、3 分間の測定時間中に 2 分間得られた筋電信号から計算した。

$$RMS(t) = \sqrt{\frac{1}{2T} \int_{-T}^T e^2(t + \tau) d\tau} \quad \dots \text{式 1}$$

ここで、 $T$  は選択時間、 $e$  は観察時の電位、 $t$  は観察時間、 $\tau$  は時定数である。

### 3. 結果

#### 3.1 被験者の身体的特徴

被験者の身体的特徴を表 1 に示した。本実験の被験者は 20 歳代の日本人女性の平均と比較してやや痩せている体型であった。

表 1 被験者 17 名の身体的特徴

平均値	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI
被験者 (平均 21.6 ± 1.1 歳)	159.4 ± 6.0	50.2 ± 3.3	19.9 ± 1.7
【参考】 日本人女性 (20 歳代)	159	50.8 ± 5.9	20.1

#### 3.2 被服圧と圧感覚の測定

ストッキングを着用していない状態での圧感覚評価を図 5 で示した。被験者は、履いてない感覚を 0、丁度良い感覚を 1 としたときに、「ゆるい」を  $0.53 \pm 0.22$ 、「きつい」を  $1.41 \pm 0.17$ 、「大変きつい」を  $1.74 \pm 0.17$  と評価した。

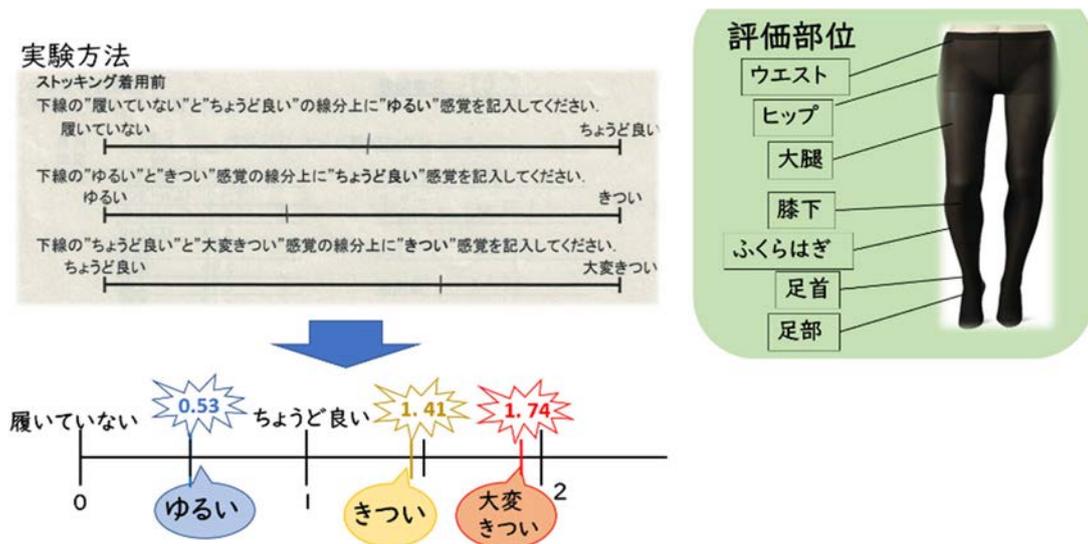


図 5 ストッキングを着用していない状態での圧感覚評価（菅原，2021）<sup>8)</sup>

## ストッキングと靴着用時の下肢筋活動の変化

本研究で用いたストッキング A, B を着用した時の被服圧および圧感覚を図 6 で示す。なお、被験者は 17 名であったが、測定ノイズの大きかった 1 名を除き、図 6 以降の解析は 16 人分の被験者のデータを用いた。被服圧はウエスト、ヒップ、大腿の 3 部位ではおおむね 3hPa 前後であった。膝下および脛脛は前述の 3 部位と比較して被服圧に大きな変化は見られなかったが、足首ではウエストの約 1.5 倍、足部ではウエストの約 3.5 倍に被服圧が増加した。つまり、被服圧はウエストから足部にかけて高くなった。ストッキング A, B それぞれを履いた状態での全体の被服圧の平均値について、両者の差はわずかであった。ヒップ、足部および足首での圧感覚はストッキング A よりも B の方が 5%水準で有意に高くなった。全体の圧感覚の平均値はストッキング A では  $0.92 \pm 0.12$ 、ストッキング B では  $1.07 \pm 0.11$  であり、ストッキング B の圧感覚がストッキング A よりも 0.1%水準で有意に高くなったものの、どちらもほぼ丁度良いと評価された。一方被服圧と圧感覚について、ストッキング A, B とともに有意な相関は見られなかった。これは、Mitsuno and Kai (2019)<sup>9)</sup> によれば、体の部位によってちょうど良いと感じられる被服圧に違いがあり、脚は血管や圧受容体がそれほど多く表在せず圧迫への耐性が高いという。このことからちょうど良いと感じられる被服圧は腹部から足部へ向かうほど高くなる。以上のことから、被服圧・圧感覚の観点から本研究では履き心地の良い快適なストッキングが開発・使用できた。

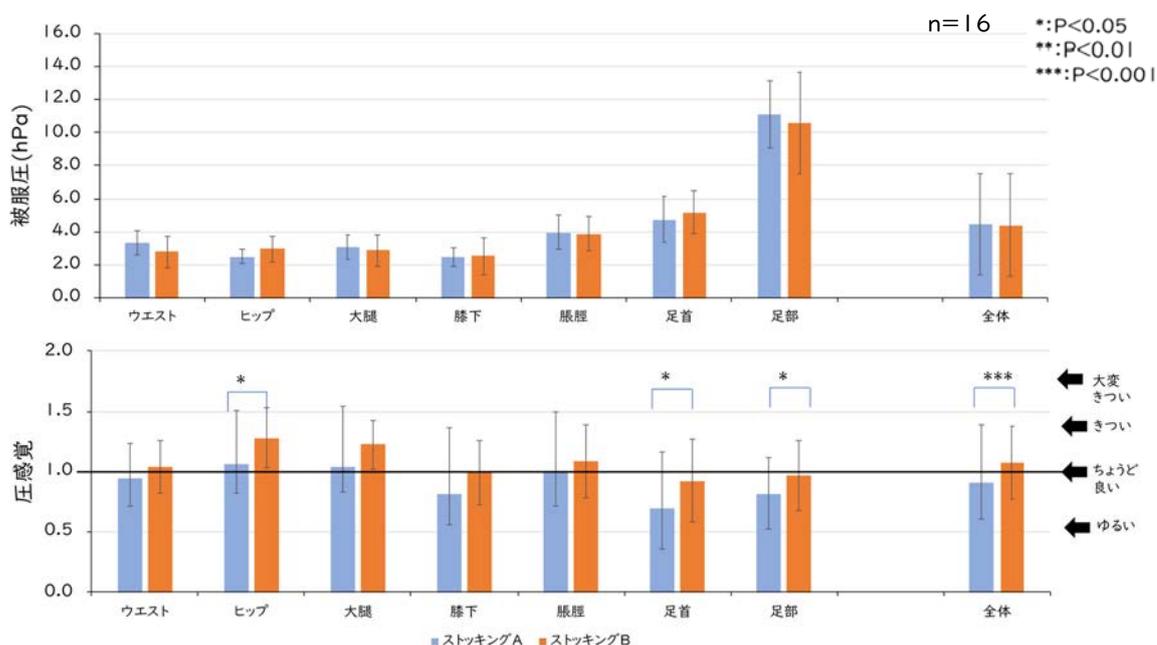


図 6 ストッキング A, B の被服圧とその圧感覚評価

### 3.3 下肢の筋活動

#### (1) 裸足の筋活動

裸足で歩行した状態での M1~M8 の RMS を図 7 に示す。同一センサーを同一条件で使用できていないので一概に比較できないが、裸足で歩行した際には M2 腓腹筋, M6 腹直

筋が他の筋肉に比べてよく使われていることが分かった。

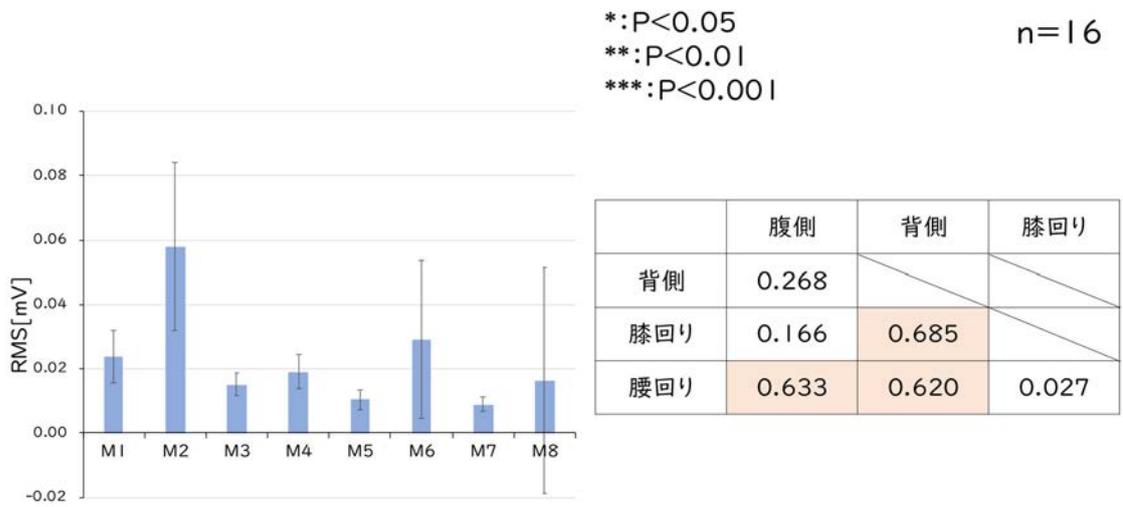


図7 裸足で歩行した時の筋別の RMS の値

裸足の状態で歩行した際の4つの筋群ごとに膝回り(M1~M4)、腰回り(M4~M8)、腹側(M1, M3, M5)、背側(M2, M4, M6, M7, M8)、腹側(M1, M3, M5)のRMS(左図)とその相関係数(右図)を合わせて図8に示す。以後示す解析における筋群の分け方は図8と同様であるので、以後の筋の列記を割愛する。膝回りの筋群のRMSは腰回りの筋群より1%の水準で有意に高くなった。また、膝回りと背側の筋群、腰回りと腹側の筋群、腰回りと背側の筋群で有意な正の相関が見られた(右図橙色着色部)ことから、腰回りの筋群を使う被験者は同時に腹側および背側の筋群も使って歩行していることがわかった。

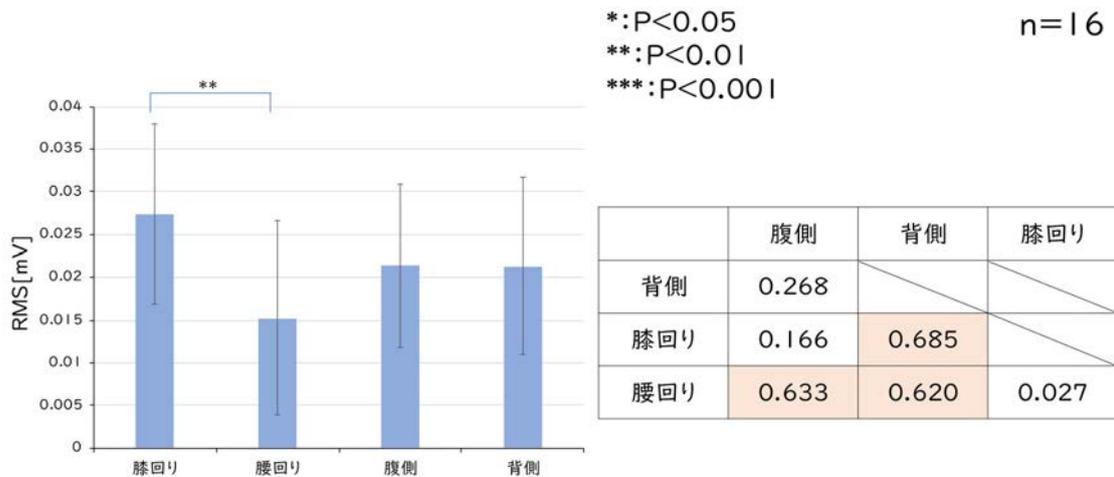


図8 裸足で歩行した時の筋群別の RMS の値(左)とその相関係数(右)

## ストッキングと靴着用時の下肢筋活動の変化

### (2) 靴着用時の筋活動

3.3(1)で述べた裸足の状態を基準(100%)とし Jog シューズ, Low ヒール, High ヒールを着用して歩行した際の相対 RMS を膝回り, 腰回り, 腹側, 背側の 4 つの筋群に分け(左図), その相関係数(右図)を合わせて図 9 に示す。左図の棒グラフについては相対 RMS が 0 に近いほど, 裸足の筋活動により近いことを示す。

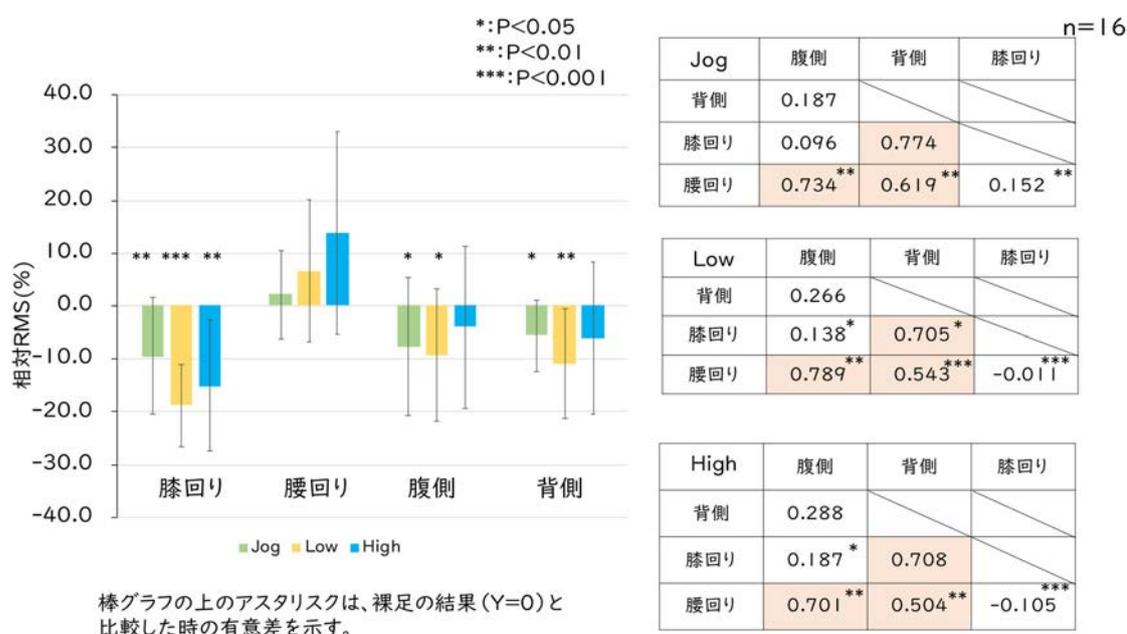


図 9 靴を履いた時の相対 RMS と筋群の相関係数

相対 RMS は, 裸足と比較して膝回りの筋群では Jog シューズおよび High ヒール着用時に 1%水準, Low ヒール着用時に 0.1%水準で有意に減少した。腹側の筋群では Jog シューズおよび Low ヒール着用時に 5%水準で有意に減少にした。背側の筋群では Jog シューズ着用時に 5%水準, Low ヒール着用時に 1%水準で有意に減少した。腰回りの筋群では 3 種類の靴すべてで増加が見られた。つまり, 靴を着用することによって膝回り, 腹側および背側の筋群では裸足よりも筋活動が抑制され, 腰回りの筋群では促進された。すなわち, 靴が下肢の筋活動の変化に影響を及ぼしていることが分かった。相関係数に着目すると, 有意な正の相関が見られた筋群の組み合わせは, 膝回りと背側の筋群, 腰回りと腹側の筋群, 腰回りと背側の筋群の 3 組で裸足の状態と同じであった(右図橙色着色部)。つまり, 裸足で歩行した時に使う筋群は靴を履いても同様に用いていた。

### (3) ストッキング着用時の筋活動

裸足の状態を基準としストッキング A, B を着用して歩行した際の相対 RMS を膝回り, 腰回り, 腹側, 背側の 4 つの筋群に分け(左図), その相関係数(右図)を合わせて図 10 に示す。

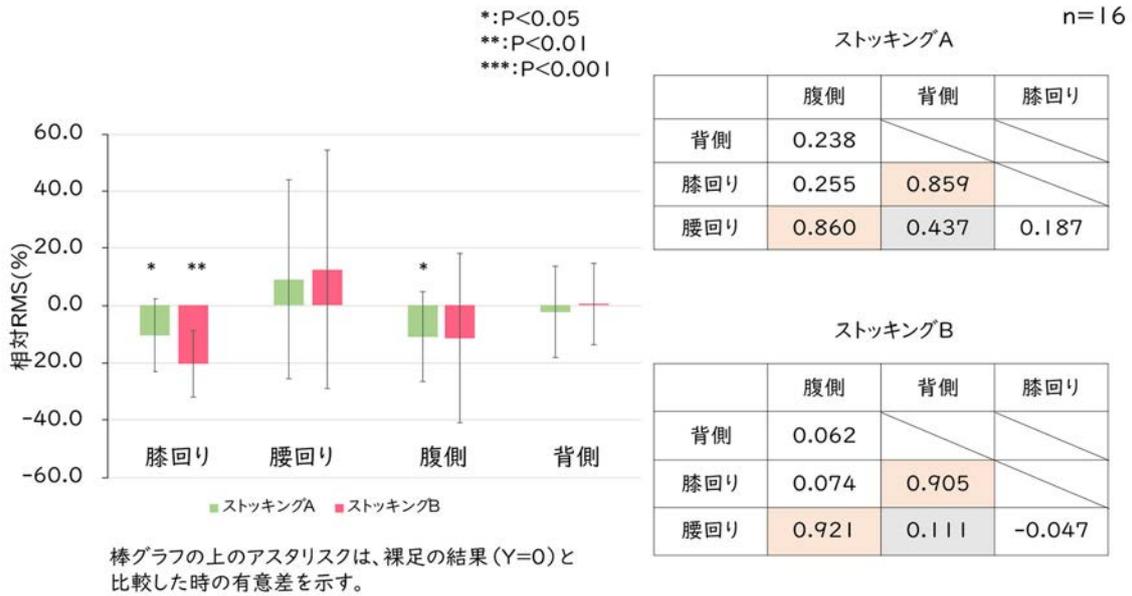


図 10 ストッキング着用時の相対 RMS の値と筋群別の相関係数

相対 RMS は、裸足の状態と比較して膝回りの筋群ではストッキング A 着用時に 5%水準、ストッキング B 着用時に 1%水準で有意に減少した。腹側の筋群ではストッキング A 着用時に 5%水準で有意に減少した。腰回りの筋群ではストッキング A, B ともに増加が見られた。つまり、ストッキングを着用することによって膝回りおよび腹側の筋群では裸足よりも筋活動が抑制され、腰回りの筋群では裸足よりも筋活動が促進されたことから、ストッキングも靴と同じく筋活動の変化に影響を及ぼしていた。また、ストッキング A よりも B の方が膝回り及び腹側の筋群の筋活動は抑制され、腰回りおよび背側の筋群の筋活動は促進された。相関係数に着目すると、ストッキング A, B ともに膝回りと背側の筋群、腰回りと腹側の筋群では有意な正の相関が見られたが (右図橙色着色部)、腰回りと背側の筋群の組には有意な正の相関が見られなくなった (右図灰色着色部)。すなわち、裸足で歩行した時に腰回りの筋群を使っていた被験者が、背側の筋群を使わず腹側の筋群のみを使って歩行するようになった。つまり、裸足とストッキング着用時では歩行時に使う筋群が異なることが分かった。

#### (4) ストッキングと靴着用時の筋活動の変化

裸足の状態を基準とし Jog シューズ, Low ヒール, High ヒールおよびストッキング A, B の両方を着用した状態で歩行した際の相対 RMS を膝回り膝回り, 腰回り, 腹側, 背側の 4 つの筋群に分け(左図), その相関係数(右図)を合わせて図 11 に示す。

## ストッキングと靴着用時の下肢筋活動の変化

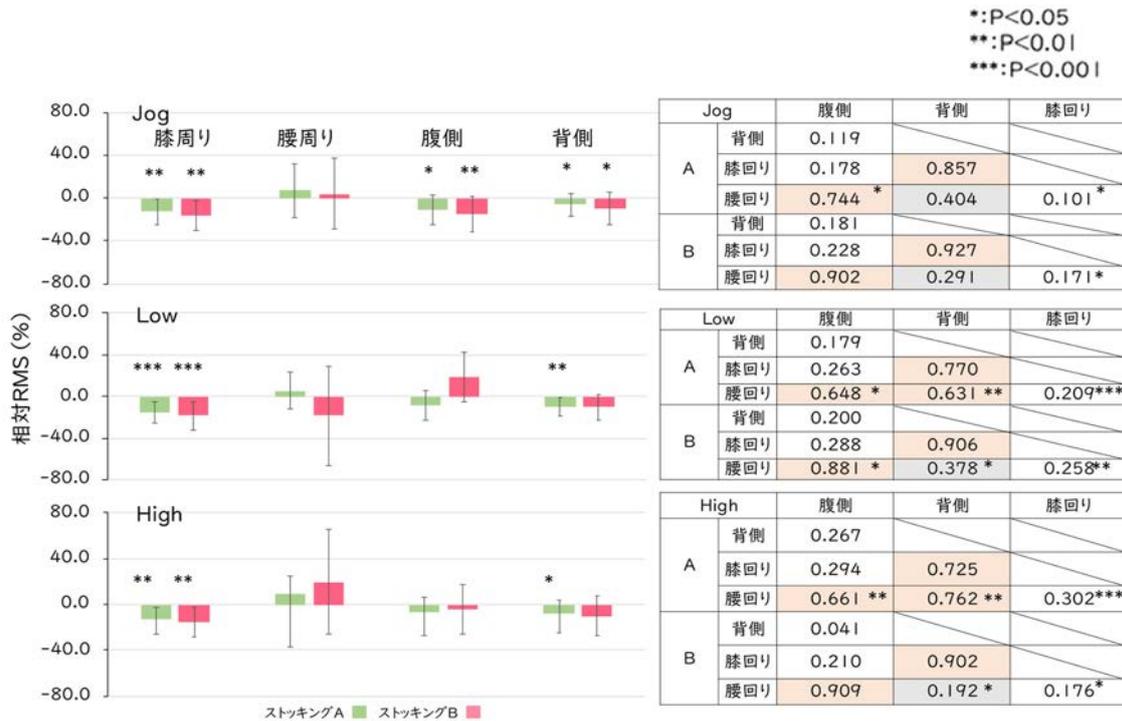


図 11 ストッキング着用時の相対 RMS の値と筋群別の相関係数

相対 RMS は、Low ヒール着用時の腰回りおよび腹側の筋群を除き、裸足と比較してストッキング A、B ともに同じように増加または減少した。Low ヒール着用時の腰回りおよび腹側の筋群を除き、ストッキング A、B それぞれの相対 RMS に大きな差が見られないことから、2 種類のストッキングに大きな違いは見られなかった。Kondo and Mitsuno (2022)<sup>10)</sup>でも述べたように、ストッキング A、B ともに靴のかかとの高さが低くなるほど相対 RMS が Y=0 に近づいたことから、ストッキングが筋活動に及ぼす影響については靴のかかとの高さの変化を加味し、裸足と同じ筋活動になるようストッキングを設計することが望ましいと考えられる。相関係数に着目すると、ストッキング A を着用して Low ヒールおよび High ヒールを履くと、裸足と同じく膝回りと背側の筋群、腰回りと腹側の筋群、腰回りと背側の筋群の 3 組で有意な正の相関関係があった (右図橙色着色部)。一方その他の組み合わせでは、すべてストッキングのみを着用した結果と同じく膝回りと背側の筋群および腰回りと腹側の筋群の 2 組では有意な正の相関は見られたが、腰回りと背側の筋群では有意な正の相関は見られなかった (右図灰色着色部)。すなわちストッキング A を着用して Low ヒールおよび High ヒールを履くと、裸足に近い筋活動状態になるため、ストッキング A はかかとの高い靴を履いて歩行する際に適切であると考えられる。また、ストッキング B は歩行中に使う筋群は裸足と異なっているが、相対 RMS が裸足の状態と比べて±20%以内の変化であり、それほど変化が大きくないことからストッキング B も適切であると考えられる。

## 4. 結論

本研究の最終目標はヒールのある靴を履いて歩行した際に下肢の筋肉の疲労を軽減するパンティーストッキングを開発することである。被験者は20代前半の日本人女性17名であった。まず、2種類の実験用パンストの被服圧は、体の右半身の46の測定点で液圧平衡法式による被服圧測定システムによって測定された。ストッキングAおよびBの被服圧は、ウエストはA： $3.30 \pm 0.73$ [B： $2.78 \pm 0.93$ ] hPa、ヒップはA： $2.50 \pm 0.46$ [B： $2.95 \pm 0.81$ ] hPa、大腿はA： $3.06 \pm 0.76$ [B： $2.86 \pm 0.95$ ]hPa、膝下はA： $2.47 \pm 0.58$ [B： $2.52 \pm 1.11$ ] hPa、足首はA： $4.74 \pm 1.38$ [B： $5.18 \pm 1.31$ ] hPa、足部はA： $11.10 \pm 2.02$ [B： $10.58 \pm 3.05$ ] hPa、全体はA： $4.45 \pm 3.04$ [B： $4.39 \pm 3.08$ ] hPaであったことから、2種類のストッキングで被服圧の違いはわずかであり、有意な差がなかった。次に、2種類のストッキングの圧感覚は比率尺度を用いて測定した。本研究の被験者は、ちょうどよいと感じる圧感覚を1とした時に「ゆるい」を $0.53 \pm 0.22$ 、「きつい」を $1.41 \pm 0.17$ 、「大変きつい」を $1.74 \pm 0.17$ と評価した。ストッキングAの圧感覚は $0.91 \pm 0.48$ であり、ストッキングBの圧感覚は $1.07 \pm 0.30$ であった。このことから、2種類とも快適な着心地でちょうどよいフィット感のストッキングを開発できた。さらに、歩行中の右脚の8つの筋肉の表面筋電位(EMG)を多チャンネルテレメータシステムで測定し、筋活動の分析を行った。歩行中に膝回りの筋群を使う被験者は同時に背側の筋群も使って歩行しており、腰回りの筋群を使う被験者は同時に腹側および背側の筋群も使って歩行していることがわかった。裸足で歩行した時に使う筋群は靴を履いても同様に用いていたが、ストッキングを着用した状態では腰回りの筋群を使う被験者が背側の筋群を使わず腹側の筋群のみを使って歩行するように変化した。つまり、歩行時に使う筋群の組み合わせはストッキングを履くと変化することが分かった。さらに、ストッキングと靴を併用すると、筋活動に増減はあるものの条件によっては裸足の状態に限りなく近い歩行状態となった。本研究では裸足の状態を基準として考察したがそれが筋活動の望ましい活動と言えるのか、その他下肢の筋活動の大幅な増減の身体に与える影響や、骨盤傾斜や腰椎前弯の増強との関係について、今後明らかにする必要がある。

## 謝 辞

本実験にご協力いただいた福助株式会社の吉田昭雄氏、坂東茜氏、岡田花菜子氏、実験に参加した信州大学教育学部の学生の皆様、研究のご指導をいただいた信州大学教育学部の三野たまき教授にこの場を借りてお礼申し上げます。

## 文 献

- 1) 沢井史穂・実松寛之・金久博昭・角田直也・福永哲夫, 基本的日常生活動作中の体幹および下肢の筋活動水準の男女差, 体力科学 55, pp.247-258, 2006
- 2) 井奈波良一・広瀬万宝子, バスガイドの靴のヒール高と職業性ストレスおよび疲労蓄積度の関係, 日本職業・災害医学会誌 58, pp.70-75, 2010.

## ストッキングと靴着用時の下肢筋活動の変化

- 3)坂本親宣, ハイヒールを履いての持続歩行が腰椎前弯を増強させる要因の検討—腹筋と大殿筋の筋力に着目して—, 日本職業・災害医学会誌 68,170-173,2020.
- 4)Tamaki Mitsuno, Ami Sugawara, Effect of the Shoe Heel Height on Lower-Limb Muscle Activity, *Physical Ergonomics and Human Factors*, Vol. 63, 2022, 13–20, <https://doi.org/10.54941/ahfe1002591>
- 5)Tamaki Mitsuno, Sayuki Kondo, Clothing pressure and pressure sensation while wearing pantyhose: Muscle activity changes in the legs, *Textile Bioengineering and Informatics Symposium Proceedings 2022*, pp.169-176, 2022, ISSN:19423438
- 6)三野たまき・上田一夫, ウエストベルと圧と比率尺度による圧感覚, 日本家政学会誌 48 (11) , pp.989-998, 1997.
- 7)小野英徳, 靴のヒール高と筋活動, 整形外科から見た歩行解析論文集, pp.63-77, 1991.
- 8)菅原亜美, ストッキング着用時における衣服圧と筋活動の関係, 令和2年度信州大学学校教育教員養成課程家庭科教育コース卒業研究, 2021
- 9)Tamaki Mitsuno, Ayaka Kai, Distribution of the preferred clothing pressure over the whole body, *Textile Research Journal* 89, pp.2187–2198, 2019
- 10)Sayuki Kondo, Tamaki Mitsuno, Effect of Wearing Pantyhose on Lower Limb Muscle Activity, *Textile Bioengineering and Informatics Symposium Proceedings 2022*, pp.128-135, 2022, ISSN:19423438

(2022年11月30日 受付)

(2023年 2月28日 受理)