

着圧利用のアパレル開発 ー弾性靴下のユニバーサル仕様を視野に入れてー

京都女子大学 諸岡晴美
(共同研究者) 同 坂下理穂
同 村崎夕緋

Development of High-Pressure Apparel from The Viewpoint of The Universal Specifications for Leg Compression Stockings

by

Harumi Morooka, Riho Sakashita, Yuhi Murasaki
Kyoto Women's University

ABSTRACT

Leg compression stockings have been used to prevent deep vein thrombosis. On the other hand, they often decrease blood flow in the skin and increase the mental stress caused by high pressure. This study aimed to obtain fundamental data regarding universal specifications for elastic leg compression stockings. The effects of pressure applied on each part of the leg, i.e., foot, ankle, calf, and thigh; on the blood circulating system; and the autonomic nerve response were determined. The results obtained were as follows. In the sitting posture, the skin blood flow decreased with increase in the leg pressure, in accordance with the distal end of the limb. In the sitting and supine postures, the heart rate decreased greatly with increase in the pressure on the calf. This indicates that the venous return improved. When pressure was applied on the calf, the decrease in the LF/HF, that is the ratio of low frequency to high frequency of the R-R interval, was greater than that seen in the others. Therefore, we concluded that pressure on the calf is most effective in increasing venous return.

要 旨

本研究では、血栓予防靴下の欠点である強圧からくる皮膚血流阻害や圧ストレスを抑制するユニバーサル仕様の弾性靴下設計のための基礎的指針を得ることを目的とし、椅座位時および仰臥位時における脚各部の圧迫が血液循環系および自律神経系に及ぼす影響を検討した。その結果、椅座位では身体末梢を圧迫するほど皮膚血流量が有意に減少する傾向がみられた。心拍数では、椅座位・仰臥位ともに、下腿最大部圧迫で最も大きく減少し、深部静脈還流量の促進に効果的であることがわかった。また、交感神経の優位性の指標であるLF/HFにおいても下腿最大部で最も大きく減少し、この部分での圧迫は、比較的圧ストレスが低いことがわかった。すなわち、深部静脈還流量を促進し、かつ圧ストレスの少ない弾性靴下の圧設計において下腿最大部の圧迫が最も有効であるが、同時に特に椅座位において皮膚血流阻害があることを考慮し、高圧迫は避けるべきであると結論付けられた。

緒 言

ストレス社会・高齢社会を迎え、健康で快適な生活の遂行が希求され、「人にやさしい」製品の開発が求められている。平均寿命と健康寿命との差は、何らかの介護を必要とする不健康期間であり、男女ともに約10年といわれている。この不健康期間をできるだけ短縮することが望まれる。株式会社インテージの「健康食品・サプリメント市場実態把握レポート2014年度版」¹⁾によると、サプリメント市場は1兆5,341億円であり、健康増進、QOLの改善、疾病予防などに関する社会的ニーズが非常に高くなっている。このようなニーズから、健康促進効果を謳った繊維製品が多数上市されている。しかし一方では、繊維製品の機能が健康に及ぼす影響を明確化することは非常

に困難である。また近年、薬機法（旧薬事法）によりエビデンスが求められるようになり、理論的・実証的な裏付けに基づいたアパレル開発がますます重要になってきているのが現状である。

本研究では、着圧利用の機能性アパレルを開発するための基礎資料を得ることを目的として、研究範囲を弾性靴下のユニバーサル仕様に焦点を置き、車いすや病床・寝たきりの人の使用を考慮し、椅座位および仰臥位における着圧強度が血液循環系および自律神経系に及ぼす影響を検討した。

弾性靴下とは、強圧迫を脚部にかけることにより静脈還流やリンパ還流を促進させることを目的とした靴下であり、日常の着用においては、脚のむくみ軽減や疲労軽減効果を求めて使用されている。静水圧が存在する立位時における効果については、筆者を含む複数の研究者によって立証されている²⁻⁴⁾。一方、弾性靴下による末梢皮膚血流量の減少、皮膚温低下等のネガティブな報告もある^{5,6)}。

また、医療用としては、静脈瘤やリンパ浮腫の治療、術後の血栓予防用として利用されているが、そのほとんどが外国製であり、日本人の体形に適合し効果があるか否かの立証はされていない。日本人を対象とした仰臥位時に効果的な圧強度と着圧分布に関する研究はほとんどみられないのが現状である⁷⁾。また、術後の血栓予防などの医療用を含む体力的弱者の使用の場合には連続した長時間着用が必要となり、圧ストレスの軽減が設計の重要なポイントとなると考えられる。

1. 実験方法

1. 1 被験者および測定環境

成人女性8名を被験者とした。各被験者は、温度 $28 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $60 \pm 5\% \text{RH}$ の中立温域に設定した簡易型人工気象室内に入室し、十分に椅座位安静を保った後に実験に入った。なお、実験は食後2時間以上経過後とした。

1. 2 脚部の加圧方法

圧迫部位を右側とし、大腿部（膝蓋骨中点より15cm上方を中心に）、下腿最大部、下腿最小部、足部とした。加圧を部位別に行う方法として、血圧測定用のカフを用いる場合が多いが^{6,7)}、加圧面積が圧強度によって変化すること、低圧レベルの設定が難しい等の理由から、本研究では、幅7.5cmの自着性伸縮包帯（ニチバン株式会社製のセラオビ）を用いて、おおよそ10hPa、20hPa、30hPaとなるように手動で段階的に加圧した。加圧に際しては、包帯下に株式会社エイエムアイ・テクノ製のエアパック接触圧センサーを貼付して、椅座位姿勢にて測定部位の前面、後面、外側、内側の4か所の値を確認しながら行った。

測定手順を以下の通りとした。まず、足部の底背屈運動を4回行い、その後160秒間椅座位を維持した後に、簡易ベッドに移動し、測定前に再度リセットのために足部の底背屈運動を4回行った後、仰臥位160秒間を維持した。これを1セットとし、4部位、加圧3段階および無加圧（コントロール）の組み合わせで、1人につき16セットの測定を行った。仰臥位時の実験では、踵下に高さ6.5cmの台を設置して下腿後面がベッドに触れないように配慮した。

なお、加圧時間を160秒と設定したことについては、先行研究^{6,8)}および予備実験の結果から、比較的安定なデータが得られると判断されたこと、また本実験での被験者一人当たりの総実験時間が約2.5時間であり、これ以上の長時間実験では被験者負担が大きいと判断されたためである。しかし、緒言でも述べたように、車いす利用者や寝たきりの人の使用を考えた場合には、長時間加圧実験が必要と考えられるが、そのためには実験条件を絞る必要があり、本研究を基礎に今後取り組むべき課題としたい。

1. 3 皮膚血流量の測定

皮膚血流量にはレーザー血流計 ALF21（株式会社アドバンス製）を用い、右拇趾球にセンサーを貼付して測定した。

1. 4 心電図測定および解析

心電図測定には MARQ（キッセイコムテック株式会社製）を用いて行い、多用途生体解析プログラム Vital Recorder 2（キッセイコムテック株式会社製）で収録し、BIMTAS-Video（キッセイコムテック株式会社製）を用いて解析した。収録および解析にあたっては、サンプリング周波数を1.5Hz、FFT ポイント数を64、窓関数をハミング、エポック間隔を15secとし、帯域設定はLFを下限0.04～上限0.15Hz、HFを下限0.15～上限0.4Hzとした。

心電図のR-R間隔から分時心拍数を算出した。また、R-R間隔を用いて周波数解析を行い、自律神経系活動の指標として交感神経と副交感神経の比であるLF/HFを算出した。

1. 5 主観評価方法

各加圧段階の脚各部の圧迫感と快適感をSD法による7段階評価で被験者に申告させた。なお、評価は加圧160秒終了後に行った。

本研究を実施するにあたっては、京都女子大学臨床研究審査を受けて承認を得た。被験者に対しては、研究目的、方法、実験の安全性に問題がないことを十分に説明した上、自らの自由意志で本研究に参加し、実験途中であってもいつでも中止できる旨を伝えた。また、験者は、被験者に対して十分配慮の上、実験を行った。

2. 結果及び考察

2. 1 測定結果の解析

体位を変更するたびに、前体位および経時変化をリセットするために底背屈運動を行ったことに

よる変動を排除し、実験開始 30 秒から終了 10 秒前までの 120 秒間の測定値を用いて平均値を算出した。また、生理量の測定においては、個人間・個人内変動が大きいいため、各自のコントロールからの変化率を用いて検討した。

さらに、本研究においては、被験者毎に加圧レベルが多少異なったため、1 エポック 10hPa、エポック間隔 5hPa として、箱ひげ図を用いて上下ヒンジ内にある測定データを抽出して平均値を算出した。すなわち、5 - 15hPa 加圧時の測定データの上下ヒンジ内の平均値 (M) と標準誤差 (SE) を 10hPa に、10 - 20hPa 加圧時の測定データの M と SE を 15hPa のデータとして順次測定データをまとめた。平均値の差の有意差検定は、対のない t 検定を用いて行った。

2. 2 皮膚血流量への影響

椅座位における足部圧迫に伴う皮膚血流量の変化率 ΔB を図 1 (a) に示す。横軸は、加圧部の前後左右 4 か所における衣服圧実測値の平均値である。図より、圧力の増加とともに皮膚血流量が大きく減少し、椅座位における 35hPa 以上の加圧では約 50-60% の大幅な減少が観察された。また、コントロールと比べた場合、20hPa 以上で有意に

減少した ($p < 0.01$)。

これに対して、他の部位の 35hPa 以上における ΔB は、下腿最小部圧迫で約 35%，下腿最大部圧迫で約 15%，大腿部圧迫においては皮膚血流量の減少はほとんど認められなかった。すなわち、身体末梢を圧迫するほど皮膚血流量の減少が大きくなる傾向が認められた。

一方、仰臥位では、図 1 (b) にみられるように、椅座位と比べて、全体に圧強度が低下した。これは、仰臥位では身体を支持するための筋力がほとんど必要でなくなり、筋の膨隆や筋硬度が低下したためと考えられる。図より、25hPa 以上で ΔB が有意に減少したが、20hPa 以下では有意差がみられなかった。また、下腿最小部および大腿部でもほとんど ΔB の減少は観察されなかった。この原因として、仰臥位において拇趾がほぼ心臓レベルにあること、筋力が抜け皮下組織が柔らかくなるため皮静脈が外圧の少ない方に逃げることなどが考えられ、椅座位よりも皮膚血流への影響が少なかったものと推察される。

しかし、下腿最大部を 20hPa 以上で圧迫したとき、 ΔB は有意に減少し、30hPa で約 30% と、椅座位時の約 15% よりもやや大きな減少が観察された。これについては、仰臥位時に下腿後面がベッ

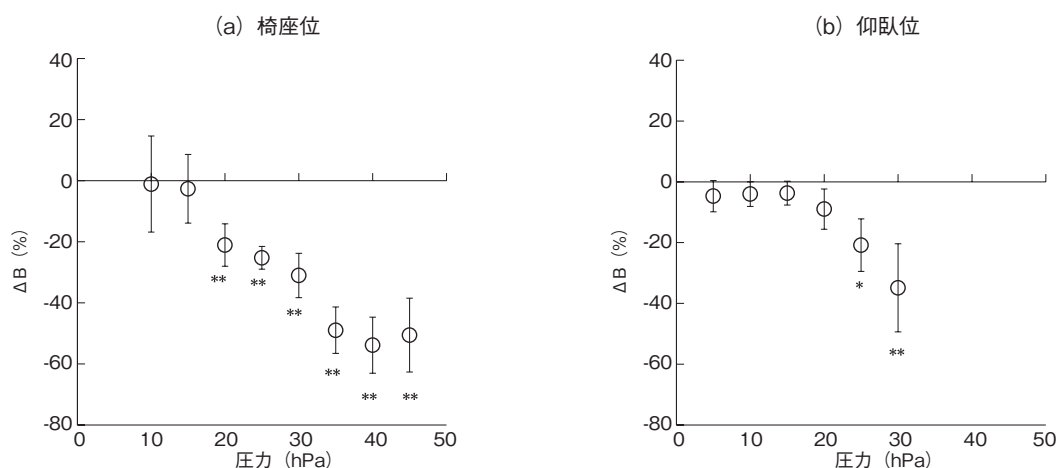


図1 足部圧迫に伴うコントロールからの皮膚血流量の減少率 ΔB

ドに触れないようにするために踵を台に載せたことで、ふくらはぎがやや引っ張られたことが原因とも考えられるが、現段階において理由は不明であり、今後の課題としたい。

筆者らの従来の研究において⁶⁾、下腿最小部および下腿最大部を14cm幅のカフで、大腿部を20cm幅の血圧測定用カフ（大腿用）で圧迫した立位時の実験では、末梢皮膚血流量への影響が大腿部圧迫でもみられた。今回の実験では、自着性伸縮包帯の幅がすべての部位で7.5cmの一定幅のものをを用いたため、大腿部の面積に比して加圧面積が少なかったことが一因していると考えられるが、同時に体位の相違も大きな要因の一つと考えられる。

また、仰臥位では椅座位時より全体に圧が減少したことから、弾性靴下着用時においても同様の現象が生ずると推察され、立位>椅座位>仰臥位の順に圧力が低下することが示唆され、皮膚血流阻害の影響がやや抑制されるとも考えられる。しかし、車いす利用者や寝たきりの人など、健常者のような身体の動きや脚部の動きがない状況にあつては、皮膚血流量増加の機会が少なく、弾性靴下をはじめとする高弾性衣料の設計に当たっては、十分な配慮が必要である。

2. 3 心拍数への影響

弾性靴下の着用目的として、静脈還流量の促進があげられる。近年、筋血流をレーザー組織血液モニターや超音波測定により直接的に測定できるようになっている⁷⁾。しかし、前者は組織脱酸素化血液量から静脈還流量を推測するものであるが、変化幅が少なく不確定な要素が大きい。後者は、直接的に深部静脈の流れを観察することができるが、測定用プローブを押し当てることにより静脈が容易につぶれるため正確な測定を得ることがかなり難しい。

そこで本研究では、瞬時心拍数から分時心拍数を算出して静脈還流量を推測する方法とした。静脈還流量が促進した場合には、一回心拍出量が増大し、結果として心拍数の低下が生ずる。すなわち、心拍数の低下は、静脈還流量の促進を示唆する。

下腿最大部圧迫時における心拍数のコントロールからの変化率 ΔHR を図2に示す。図より、椅座位、仰臥位ともに加圧強度が高くなるほど ΔHR が有意に低下することがわかる。部位間の比較を明確にするために、20hPa以上の加圧における ΔHR の平均値と標準誤差を図3に示す。仰臥位では足部および大腿部でも ΔHR の低下が認められたが、椅座位では下腿最大部圧迫以外にはほ

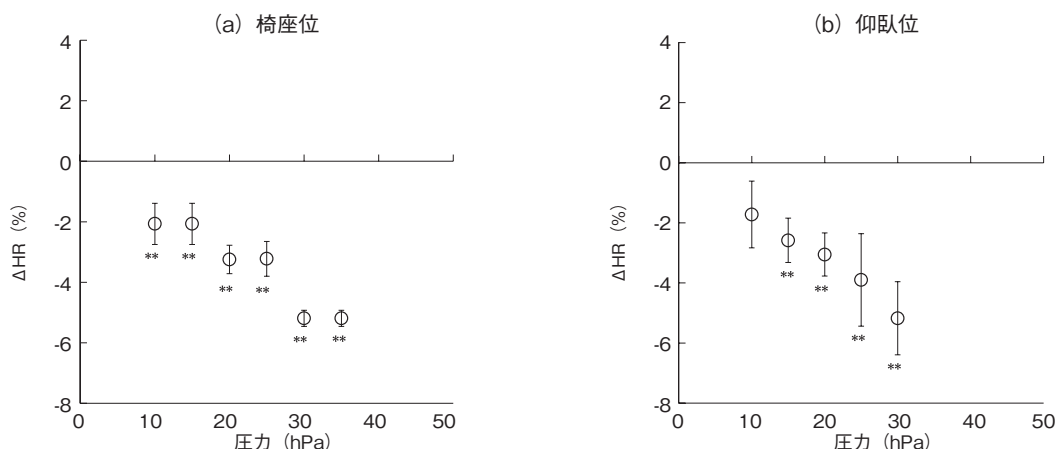


図2 下腿最大部圧迫に伴うコントロールからの心拍数の減少率 ΔHR

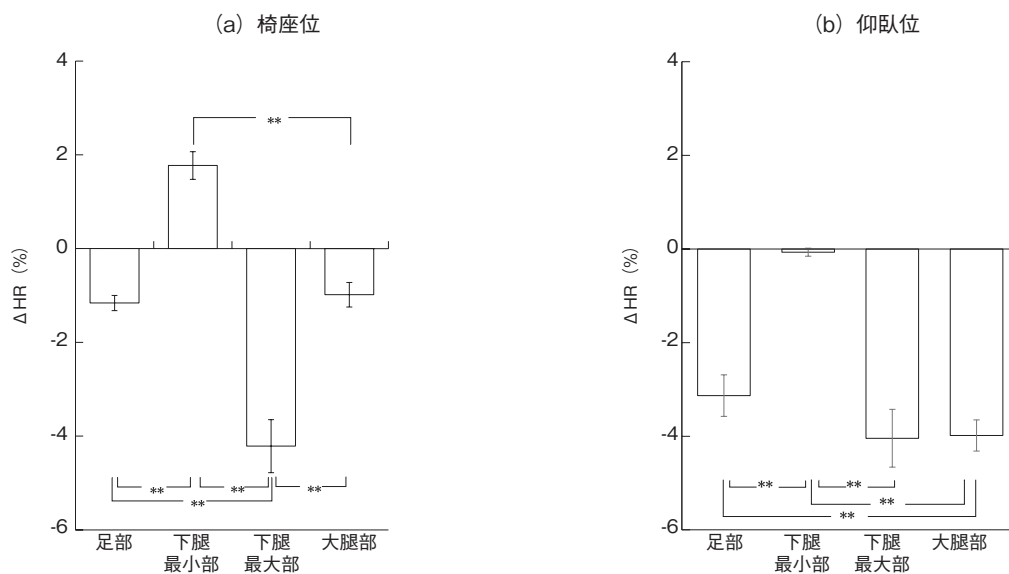


図3 20hPa以上の加圧における ΔHR の部位間差

とんど効果はみられなかった。特に、下腿最小部圧迫では体位にかかわらず、静脈還流量促進効果が認められなかった理由として、外果・内果やアキレス腱などで囲まれ、加圧が深部静脈の圧迫にまで至らなかったためと考えられる。このような現象は、弾性靴下においても生ずると思われ、従来のような血圧測定用カフを用いての周方向に均等圧をかける実験では導かれなかった結果であろうと思われる。

本研究の範囲においては、下腿最大部圧迫にお

いて最も ΔHR の低下が大きく、深部静脈還流量促進に効果的であることが示唆された。

2. 4 自律神経活動の指標としてのLF/HFへの影響

図4は、椅座位時の下腿最小部圧迫時および下腿最大部圧迫時の結果である。椅座位時には足部を除く、下腿最小部、下腿最大部、大腿部の20hPa以上の圧迫において有意にLF/HFが低下した。しかし、仰臥位においては、低下傾向

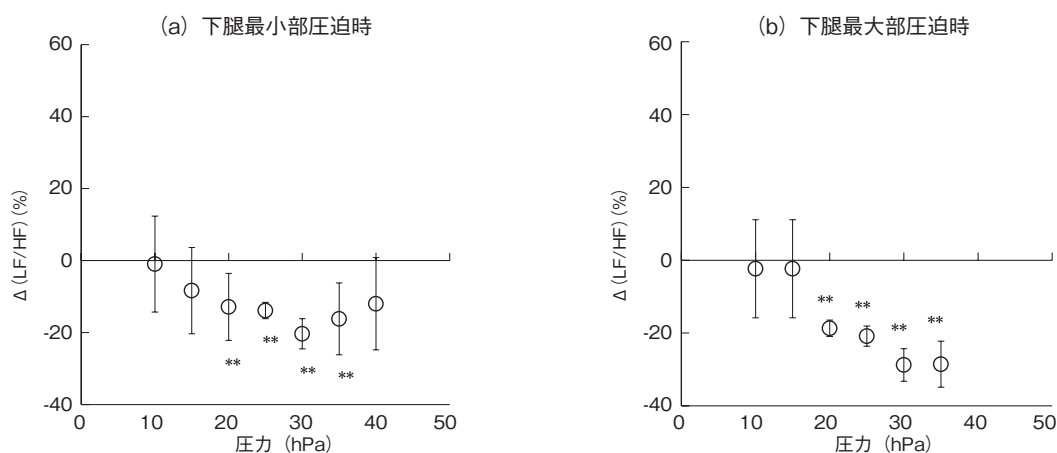


図4 圧迫に伴うコントロールからの減少率 $\Delta(LF/HF)$ (椅座位について)

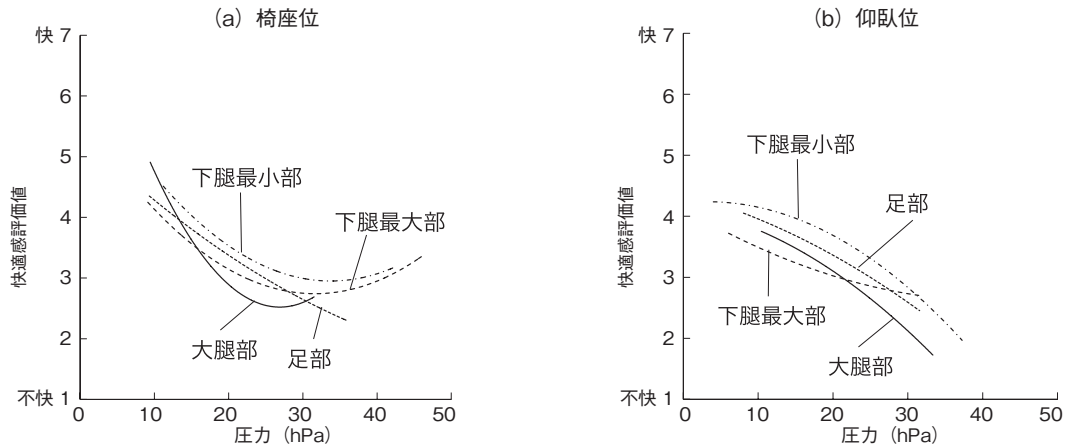


図5 圧迫に伴う快適感評価値の変化

はみられず、逆に下腿最小部圧迫では有意に増大し、他の部位圧迫においてもやや増加傾向を示した。すなわち、仰臥位における脚部圧迫はストレスを増大させることが示唆され、術後や寝たきり高齢者の弾性靴下の圧設計にあたっては、深部静脈還流量を促進しうる最小の着圧に留めることが重要と考えられる。

2. 5 主観評価

椅座位および仰臥位における快適性評価を図5に示す。個人の評価点数をプロットして二次曲線に回帰したものである。脚各部の圧強度の増大とともに快適性が低下している。しかし、椅座位では約 25hPa 以上で平衡になる傾向がみられるのに対して、仰臥位では急速に快適性が低下する傾向がみられる。弾性靴下のような強圧迫を想定した場合には、椅座位よりも仰臥位での快適性の低下が大きく、このことが前述の LF/HF の増加傾向に繋がったと考えられる。

なお、圧迫感においても、仰臥位では椅座位よりも圧迫感が強く、圧感受性が高いことがわかった。

3. 結 語

従来 of 弾性靴下の研究では、健常者を対象に立

位時における生体反応を検討したものが多かった。しかし、術後など体力的弱者の長時間着用や車いす利用者の使用を考慮したとき、十分な効果と同様に、いかに圧ストレスを軽減するかという視点からのアプローチが重要であると考えられる。

本研究では、着圧利用のアパレル設計を目的とし、研究の範囲をユニバーサル仕様弾性靴下として、体位（椅座位および仰臥位）、圧迫強度および圧迫部位が人体生理に及ぼす影響を明らかにした。

その結果、深部静脈還流量を促進し、かつ圧ストレスの比較的少ない弾性靴下の圧設計において下腿最大部分の圧迫が最も有効であるが、同時に特に椅座位においては皮膚血流阻害があることを考慮し、20hPa 以上の高圧迫は避けるべきであるとの結論が得られた。

なお本研究成果は、健常者の就寝用弾性靴下あるいは弾性タイツ等の設計にも寄与するものと考えられる。

今後は、本研究から得られた実験結果を踏まえた長時間加圧実験を検討し、ユニバーサル仕様の弾性靴下の圧設計に対して、具体的な設計指針を導出する考えである。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり，研究助成を賜りました公益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申し上げます．

文 献

- 1) <http://www.intage.co.jp/topics/news/741>
- 2) 綿貫茂喜，深見浩子，衣服による身体圧迫と心機能，快適性を考えるシンポジウム報告書，**6**，7 (1990)
- 3) Harumi Morooka, Hideko Kawai, Hideo Morooka, Effects of Support Pantyhose on Silhouette and Swelling of Lower limbs, 繊維製品消費科学, **36**, 389 (1995)
- 4) 平井正文，静脈還流障害における圧迫療法 (Part 1) 弾力包帯と弾力ストッキング，静脈学, **8**, 293 (1997)
- 5) 綿貫茂喜，三平和雄，下肢部の局所的圧迫が皮膚温および筋電位に及ぼす影響について，*Ann. Physiol. Anthropol.*, **6**, 69 (1987)
- 6) 川 秀子，諸岡晴美，北村潔和，諸岡英雄，下肢各部の局所圧迫が皮膚血流量に及ぼす影響，繊維製品消費科学, **36**, 491 (1995)
- 7) 傳法谷郁乃，小柴朋子，田村照子，仰臥位における下肢の部位別圧迫が腓腹筋血流量動態に及ぼす影響，繊維製品消費科学, **56**, 356 (2015)
- 8) 鷹股 亮，運動時の全身循環および体温調節をサポートする下肢圧迫法の開発，デサントスポーツ科学, **26**, 95 (2005)