

輸送機シートにおける下肢のむくみ解消を考慮したフットレストの提案

藤巻吾朗^{*1}, 山口穂高^{*2}, 吉田宏昭^{*3}

Proposal of Footrest to Reduce Foot Swelling on Passenger Seat for Transportation

Goroh FUJIMAKI^{*1}, Hodaka YAMAGUCHI^{*2}, Hiroaki YOSHIDA^{*3}

フットレスト角度によるむくみの解消について調査を行った結果、フットレスト角度30度でむくみの解消効果が確認された。また、静脈環流の停滞はむくみの増加に繋がるが、むくみの解消には影響が小さく、座位姿勢でのむくみの解消はリンパ管からの回収が強く影響していると考えられた。また、フットレスト角度の違いにより、下肢のむくみの解消効果は自覚できないものの、快適性の低下も自覚されず、今回の実験条件では、フットレスト角度は座り心地には影響しなかった。これらの結果をもとに体格差を考慮したフットレストの提案を行った。

1. はじめに

下肢のむくみは細胞の間に水分が貯まることで、下肢の体積が増加することであり、座り心地を低下させる要因のひとつである。座位姿勢における下肢のむくみは、重力の影響、下肢筋群の筋ポンプ作用の低下や大腿部の圧迫による静脈環流の停滞が原因となる¹⁾。輸送機シートでは、空間が限られており、乗客は姿勢変化や下肢の運動が制限され、長時間ほぼ同一の姿勢で過ごすこととなり、下肢のむくみが起こりやすい状況である。むくみは、臥位姿勢や足を挙げた姿勢をとることで重力による影響を減らすことや、歩行などの運動により下肢筋群を活動させることで解消させることができるが、輸送機シートでは、このような行動をとることが困難である。また、過去の研究成果²⁾では一度むくみが発生すると足の軽度の運動ではむくみは解消されず、座り直しなどの大きな動きでのみむくみが解消された。このことは、下肢の筋活動による筋ポンプ作用は座位姿勢で効果的に行うことが難しいことを示していると考えられる。

そこで、本研究では、むくみの解消効果のあるフットレストを提案することを目的にフットレスト角度の違いが下肢のむくみの解消に与える影響を調査した。

2. 実験方法

2.1 実験概要

実験は6名（男性3名、女性3名）の被験者を対象とし、平均年齢は34.7歳（SD：4.7）、BMIの平均値は20.9（SD：3.4）であった。被験者には実験開始前30分からは飲食や排泄を控えてもらい、3条件を同一時間帯の3日に分けて実験を行った。むくみの統制のため、実験日ごとに20分間仰臥位で安静にしてもらい、むくみを増加させる条件としてハイスツールに足が地面に着かない状態で30分間座ってもらった。その後、フットレストの角度条件を変化させた実験椅子に30分間座ってもらい、異なるフットレスト角度での下肢のむくみや血行動態について調査を行った（図1）。なお、実験の際は実験室内を温度22度、湿度50%RHに設定した。

実験椅子は過去の研究成果³⁾より、快適な座位姿勢であると考えられた座面角度10度、座面-背面間の角度110度となるようにクッションに合わせて調整した椅子を用いた（図2）。

2.2 測定項目

1) 下肢のむくみ測定⁴⁾

生体電気インピーダンス法による下肢のむくみ測定を行った（図3左）。測定には同様の測定原理および精度を持つMLT-50、MLT-30（SKメディカル電子社）を使用し、ハイスツール着座時および実験椅子着座時の30分間について着座直後から5分毎に測定を行った。分析の際は測定結果で得られた抵抗値をもとに逆数を求め、むくみの指標とし

^{*1} 生活技術研究所 試験研究部

^{*2} 信州大学大学院 総合工学系研究科

^{*3} 信州大学繊維学部 感性工学課程

た。なお、電極の貼り付け位置の違いや被験者による個人差の緩和のため、20分間の仰臥位安静後の値を基準値100%として求めた変化率を使用した。
2) 下肢の血行動態の測定⁵⁾

近赤外線分光法による下肢の酸素化・脱酸素化ヘモグロビン量の測定を行った(図3右)。測定にはBOM-L1TRW (OMEGAWAVE社)を使用し、下腿後面内側の腓腹筋について皮膚から13~30mmの深さを測定した。ハイスツール着座時および実験椅子着座時の30分間について、サンプリング周波数10Hzで測定した。分析には、20分間の仰臥位安静後の値を基準値100%として求めた変化率を使用した。酸素化ヘモグロビン量(以下OXY-Hb)は動脈血、脱酸素化ヘモグロビン量(以下deOXY-Hb)は静脈血の動態を示し、血流促進時にはOXY-Hbの増加やdeOXY-Hbの減少、血流停滞時にはOXY-Hbの減少やdeOXY-Hbの増加が観察される。またOXY-HbおよびdeOXY-Hbを合計した値(以下total-Hb)は組織における血液量の変化を示す。

3) アンケート調査

座り心地の総合評価および下肢のむくみの感覚を7段階の評定尺度法により評価させた。評価項目は、「快適性」「足のむくみ」「太腿のむくみ」「太腿のだるさ」「ふくらはぎの痛み」「ふくらはぎのだるさ」の6項目で、ハイスツールと実験椅子それぞれについて、着座直後と着座30分後にアンケートに回答してもらった。アンケートの回答結果については、被験者毎に標準化を行った。

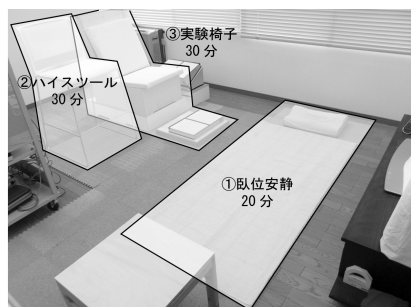


図1 実験概要

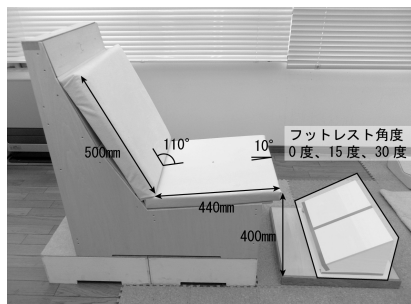


図2 実験椅子

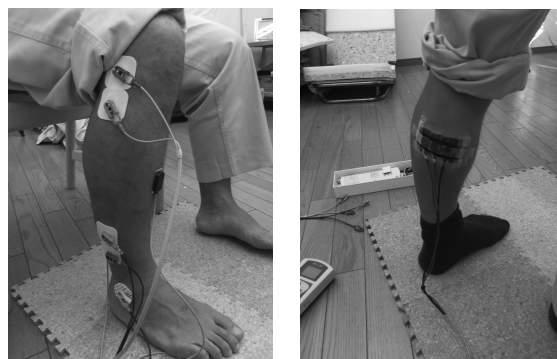


図3 電極およびプローブの貼り付け位置
(左: むくみ測定、右: 血行動態の測定)

3. 結果と考察

3.1 下肢のむくみ測定

図4にハイスツール着座時のむくみの測定結果を示す。臥位から座位に変化したことで静水圧の影響によりむくみが増加し、30分間のハイスツール着座によりむくみが約10%増加した。

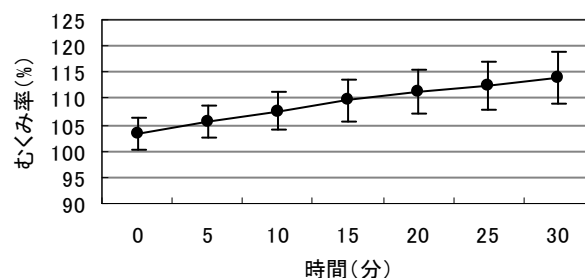


図4 ハイスツール着座によるむくみの亢進

図5に実験椅子着座時のむくみの測定結果を示す。むくみ率の変化は被験者や条件による違いはあったが、線形に推移する傾向が見られた。その変化傾向を示す線形回帰式を被験者それぞれについて条件ごとに求め、回帰式の係数をむくみ率の変化の指標とし、一元配置の分散分析を行った結果(図6)、フットレスト角度について主効果が認められた($p < 0.01$)。条件間で多重比較を行ったところ、フットレスト角度30度の条件と他の条件との間に有意差が見られた($p < 0.01$)。このことから、フットレスト角度30度の条件はむくみが減少傾向にあり、その効果は歩行動作や足を挙げた姿勢に比べて小さいものの、むくみの解消効果があると考えられた。

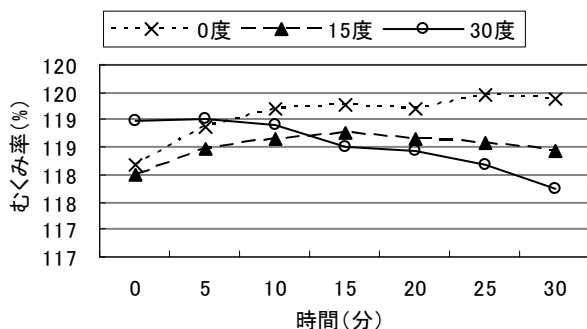


図5 むくみ率の変化 (被験者平均)

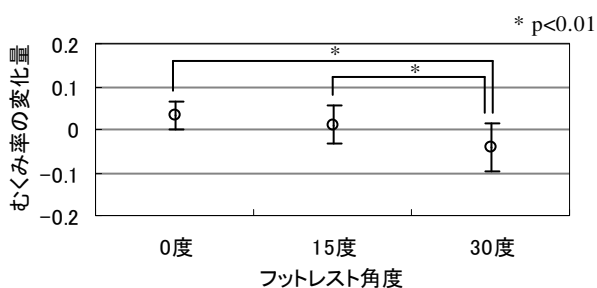


図6 フットレスト角度によるむくみ率の変化量

3.2 下肢の血行動態の測定

図7にハイスツール着座時の血行動態を示す。臥位から座位に姿勢が変化することで静水圧の影響を受けdeOXY-Hbが増加し、その後、deOXY-Hbは徐々に増加し、OXY-Hbは徐々に減少する傾向が見られた。このことから、ハイスツール着座により静脈還流の停滞が起こり、むくみが発生したことが確認された。

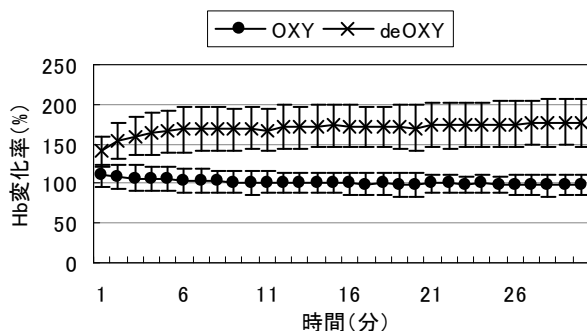


図7 ハイスツール着座時の血行動態

図8～10に実験椅子着座時のOXY-Hb、deOXY-Hb、total-Hbの測定結果を示す。被験者や条件による違いはあったが、線形に推移すると仮定し、線形回帰式を被験者それぞれについて条件ごとに求め、回帰式の係数をHbの変化量の指標とした。OXY-Hb、deOXY-Hb、total-Hbそれぞれについて一元配置の

分散分析を行った結果 (図11～13)、すべての項目について主効果は見られなかった。

前述のむくみの解消効果については、フットレストの角度条件で違いが見られたが、下肢の血行動態にあまり影響はなかった。このことから、静脈環流の停滞 (deOXY-Hbの増加) はむくみの増加に繋がるが、むくみの解消は静脈環流 (deOXY-Hbの変化) の影響をあまり受けず、座位姿勢でのむくみの解消はリンパ管による回収の影響が強いと考えられた。

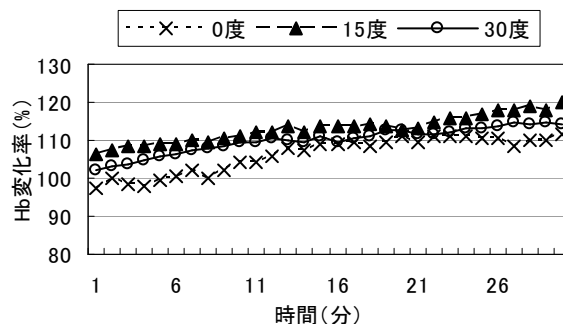


図8 OXY-Hbの変化 (被験者平均)

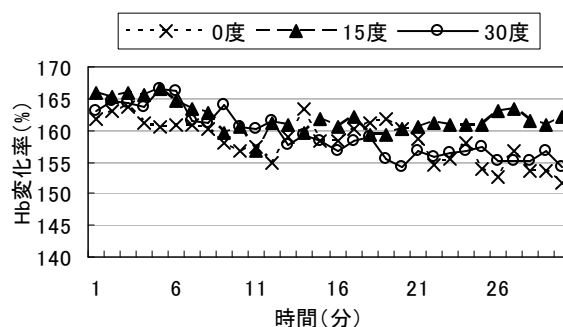


図9 deOXY-Hbの変化 (被験者平均)

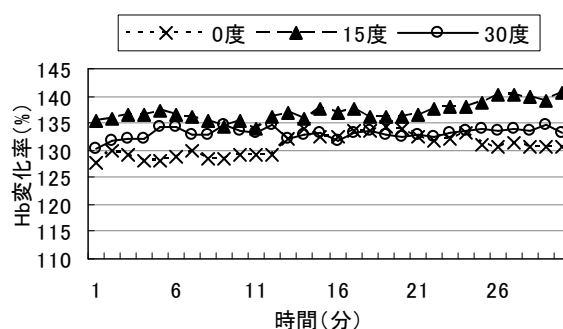


図10 total-Hbの変化 (被験者平均)

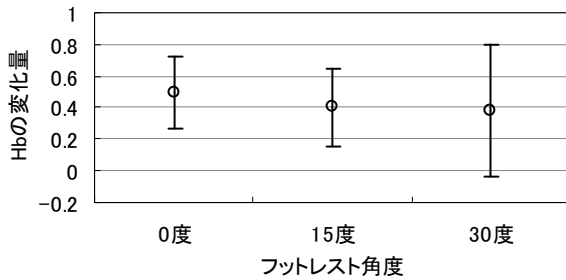


図11 フットレスト角度によるOXY-Hbの変化量

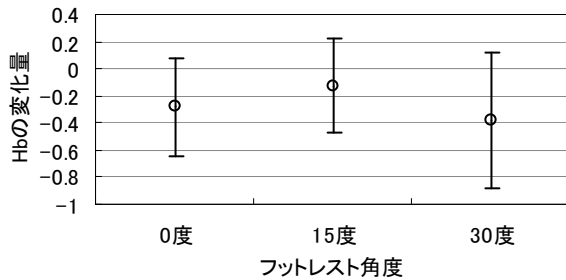


図12 フットレスト角度によるdeOXY-Hbの変化量

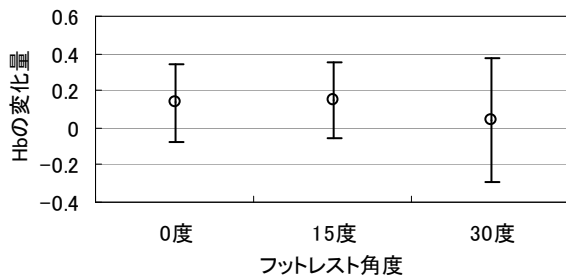


図13 フットレスト角度によるtotal-Hbの変化量

3.3 アンケート調査

ハイスツール着座直後と着座30分後の回答結果を図14に示す。各項目について着座直後と着座30分後でt検定を行った結果、すべての項目について有意差が見られた。このことから、ハイスツールの30分間の着座において、快適性が低下し、足のむくみ、太腿の痛みやだるさ、ふくらはぎの痛みやだるさが増加したことが確認された。

フットレスト角度、着座時間を要因とした二元配置の分散分析を行った結果、快適性の項目については着座時間で主効果が見られ ($p<0.01$)、交互作用が認められた (図15)。太腿の痛み、ふくらはぎの痛み、ふくらはぎのだるさについては、主効果が認められ ($p<0.05$)、交互作用は認められなかった。足のむくみや太腿のだるさについては主効果および交互作用は認められなかった。快適性の項目についてフットレスト角度ごとに多重比較を行った結果、0度と30度の条件で有意差が見

られた ($p<0.05$)。フットレスト角度15度は足首関節の背屈、底屈が少ない角度条件であり、背屈、底屈姿勢は一定の時間が経過することで快適性の低下に繋がることが考えられた。

これらのことから、快適性の評価についてはフットレスト角度による影響が見られたが、その他の項目についてはフットレスト角度による影響はなく、時間経過による影響のみを受けたことが確認された。

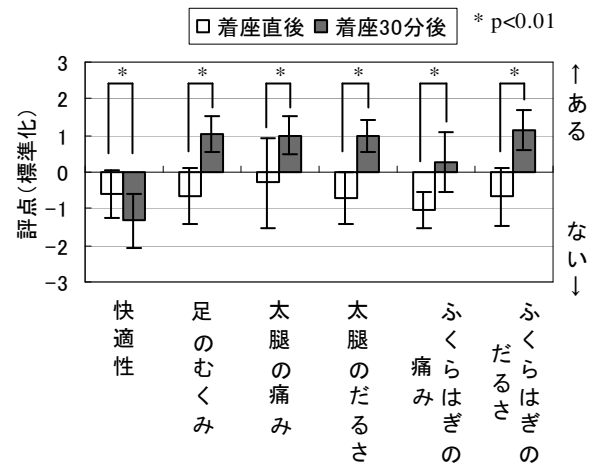


図14 アンケート回答結果 (ハイスツール)

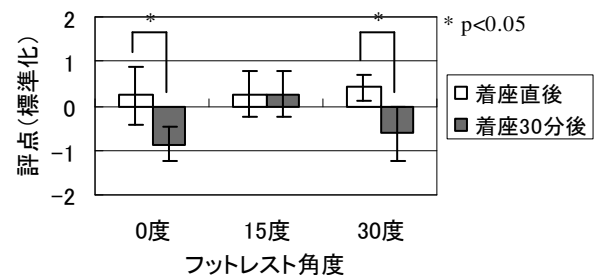


図15 アンケート回答結果 (実験椅子の快適性)

4. まとめ

フットレスト角度によるむくみの解消について調査を行った結果、フットレスト角度30度でむくみの解消効果が確認された。しかし、下肢のむくみと関連性の強い静脈環流については角度条件による違いはあまりなく、静脈環流の停滞はむくみの増加に繋がるが、むくみの解消には影響が小さく、座位姿勢でのむくみの解消はリンパ管からの吸収が強く影響していると考えられた。

また、フットレスト角度30度ではむくみの解消効果が確認されたが、アンケートの回答結果では被験者が自覚できるほどの違いはないことが確認された。また、足首関節の背屈、底屈を伴うフッ

トレスト角度では、着座直後には影響はないが、時間が経過することで座り心地の低下に繋がることが考えられた。

以上の結果を受け、下肢のむくみの解消効果のあるフットレストの提案を行った。

座位姿勢でのむくみの解消は主にリンパ管からの吸収が影響していると考えられたが、リンパ管からの吸収は呼吸運動や筋活動、動脈の拍動性などのわずかな外力によりリンパ管の内圧が上昇することで行われる¹⁾。実際に使用される場面を想定すると、筋ポンプによるリンパ管からの回収の増加や静脈環流の促進とそれに伴うむくみの解消効果が考えられる。むくみの発生しやすい部位である腓腹筋の筋活動については、主に足首の底屈運動で発揮される。筋ポンプ作用を効果的に行うためには底屈力を発揮しやすい姿勢が望ましく、底屈力は足首関節が背屈15度程度、膝が伸展位であるほど力が発揮しやすい⁶⁾。今回の実験条件でむくみの解消効果のあったフットレスト角度30度では、体格差はあるものの、足首関節の背屈は約10～15度程度であり、筋活動の発揮しやすい条件であった。そこで図16に示した様々な体格の人に合わせてフットレスト位置を調節することで足首関節の背屈15度を保つことで長時間の座位姿勢で下肢のむくみの解消することが可能となると考えられる。

今後の課題として、筋活動によるむくみの解消効果、大腿部にかかる圧力などのシートとの関連性、提案したフットレストの快適性低下の問題や実際の使用場面を想定した実証実験が挙げられる。

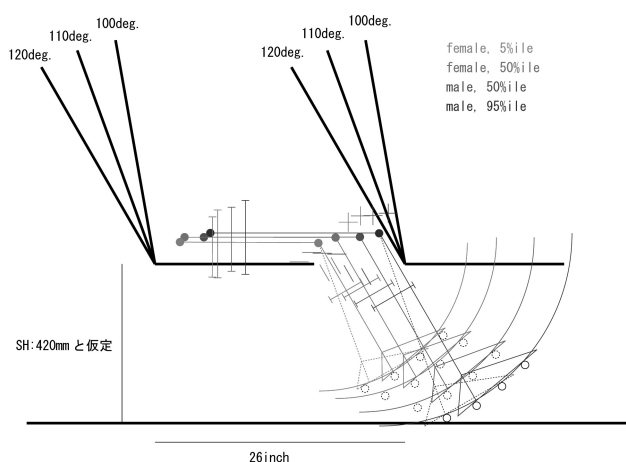


図16 体格によるフットレストの推奨位置の変化

参考文献

- 1) 本郷利憲他(編): 標準生理学, 第6版, 医学書院, 2005.
- 2) 藤巻吾朗他: 長時間座位における人体の心

理・生理的な変化と行動特性, 平成 19 年度岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 10, pp. 1-7, 2008.

- 3) 藤巻吾朗他: 快適な着座姿勢とプロトタイプソファの提案, 平成 21 年度岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 12, pp. 29-31, 2010.
- 4) 川上慶他: 女性の VDT 作業姿勢に対応したむくみ軽減オフィスチェア, 人間工学, Vol. 43, No. 5, pp. 252-260, 2007.
- 5) 小山秀紀他: 航空機シート着座中の軽運動が下肢の血行動態に与える影響, 人間工学, Vol. 40, No. 6, pp. 309-314, 2004.
- 6) 佐藤方彦他(編): 人間工学基準数値数式便覧, 技報堂出版, 1992.