

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 1日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21500730

研究課題名（和文） フットウェアの適合性評価システムの開発

研究課題名（英文） Development of conformity evaluation systems of the footwear

研究代表者

細谷 聡 (HOSOYA SATOSHI)

信州大学・繊維学部・准教授

研究者番号：40293500

研究成果の概要（和文）：本研究の成果の一つ目は、フットウェアの適合性評価における評価指標を確立することができたことである。着衣快適性評価では、心電図計測を利用した心拍変動解析によって、生理的ストレスを求めることが有効である。動作負担については、筋電図計測や歩行時の地面反力、足底圧計測などで評価できることが明らかになった。成果の二つ目として、これらの計測や評価指標をもとに、計測制御ソフト LabVIEW を用いて、評価アプリケーションを試作できた。

研究成果の概要（英文）：The first of the result of this study is to have been able to establish the evaluation index in the conformity evaluation of the footwear. It is effective in the clothing comfort evaluation to demand physiological stress by heart rate variability using an electrocardiogram measurement. It became clear that I could evaluate the movement burden by using an EMG, the ground anti-power at the time of the walk, foot bottom pressure. For the second of the result, I was able to produce evaluation application experimentally based on an above-mentioned measurement and evaluation index using measurement control software LabVIEW.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・生活科学一般

キーワード：衣生活

1. 研究開始当初の背景

高齢者人口の増加による医療費の増大が深刻な社会問題になっている。働き盛りの労働者は老後の健康的な生活への不安もあり、自分自身の健康や健康法に関心は高い。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ろう。

ウォーキングやジョギングのみならず、歩

行や日常の生活で重要になるのが靴や靴下に代表されるフットウェアである。用途・機能不適合やサイズ不適合を伴うフットウェアの使用は、外反母趾やハンマートウ、巻き爪・陥入爪などの足部の整形外科的疾患につながり、場合によっては日常生活に支障をきたすばかりでなく健康を害する一因となる。このようにフットウェア選びはとても重要なのだが、その重要性があまり認識されていない。歩行動作の変化や足部変形、脚の障害などの危険性が指摘されているにも関わらず、ハイヒールが女性に流行していることも適切なフットウェア選びの重要性に対する認識の希薄さを示している。さらにシューフィッターが消費者に認知されておらず、確固たる靴選びの基準も確立されていないことから、消費者は経験やさまざまな雑情報をもとに試行錯誤で靴選びをしているのが現状である。

現在、フットウェアメーカーの多くは、フットウェアが歩行や履き心地・歩き心地に与える影響に関する研究や情報配信についての意識がさほど高くはなく、スタイリングデザインが重視されがちになっている。ましてや、足型などの形態や用途などユーザに適合したフットウェア設計やフットウェア選びに関する情報発信はあまりなされていない。このような状況から、消費者に適したフットウェア選択やその設計に繋がる研究の必要性が急務である。

2. 研究の目的

上述したように、フットウェアの適合性に対する評価方法ならびに評価指標の確立が必要である。一般的にフットウェアの適合性は、形状の追従あるいは任意機能の実現など単一の評価尺度で判断されることが多いため形状は合っているが機能的に合わないことやその逆の場合が出てきてしまう。この問題を解決するため本研究では、歩行動作解析を中心としたバイオメカニクス的なアプローチや着用性に対する生理学的・心理学的アプローチを統合して多面的にフットウェアの適合性評価を試みながらその評価方法を確立し、評価システムの開発を目的とする。

本研究では、歩行をバイオメカニクスおよび生理学的、心理学的な手法で、動作の効率性・安定性あるいは筋活動からみた動作負担、衣服圧および動作時の衣服圧変動、自律神経活動からみた生理的快適性、履き心地や歩き心地、着衣快適感などの使用者の心理的評価等々を解析していく。このことによって、以下の2点を実施する。

- (1) フットウェアの適合性評価を試みながら評価方法および評価指標を確立する。
- (2) フットウェアの適合性評価システムの開発を行なう。

本研究で提案する適合性評価システムでは、例えば靴が対象であれば試履時に数回の歩行することでフットウェア使用者（消費者）と対象靴の適応度や適する靴サイズや特性の表示を行なうことができるようにする。また、靴下やパストであれば数十分程度の試着あるいは用途での行動を計測することで、やはり適応度や適するフットウェアのサイズや特性などの表示を行なうことを目指す。

3. 研究の方法

(1) 靴のサイズ適合性に関する実験および適合性評価方法の検討

靴のサイズと歩行動作の関係を靴のサイズを足長サイズ及び足囲サイズの2つに注目し、それぞれのサイズの違いに伴う脚への負担及び歩行動作への影響と評価指標についても検討した。5名の被験者に対して、足長および足囲サイズのことなる試技延べ15サイズを用いて、計150試技の歩行実験を行なった（図1）。下肢の筋電図および接地中の荷重点移動軌跡、地面反力などを計測した。また各サイズの試技終了後に、歩行感覚に関する主観的調査（アンケート）も行なった。

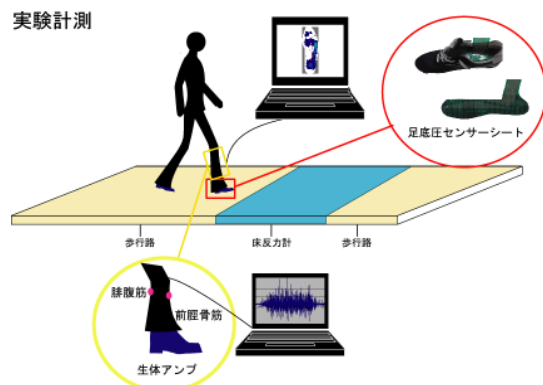


図1 歩行計測の概要

(2) フットウェアの衣服圧計測と着衣快適性計測

安静時の衣服圧に対する生理的ストレス計測および着用感計測を中心に実施した。実験計測では、足部のインステップ付近に作用する締め付け圧と着衣快適性の関係を、生理的および心理的な計測から検討した。健康な成人男女18名を被験者とし、座位にてマジックテープ式バンドでインステップ付近に締め付け圧を10～50gf/cm²の範囲で10gf/cm²ずつ段階的に作用させ、その時の心電図計測による生理的ストレス評価および着衣快適感（締め付け感）評価を行なった。

さらに、パンティストッキング（以下パストとする）を用いた着衣快適性評価においては靴や靴下よりも皮膚をカバーする面積が大きいという特徴を踏まえながら、靴下を

用いた実験と同じ計測項目で実施した。被験者数は女性 20 名とし、実験に使用するパンストは通常タイプ、衣服圧が脚全体に比較的高圧なタイプ、膝下のみ比較的高圧なタイプの 3 種類用意した。

(3) フットウェア生地伸縮性と衣服圧・着衣快適性の計測

実験計測の被験者は、健康な成人男性 18 名とし、実験には生地伸縮性が異なる 3 種類の靴下を用いた。実験では、立位静止時の衣服圧計測と心電図計測、着衣快適感評価を、さらに歩行時の衣服圧変動ならびに着衣快適感評価をそれぞれ実施した。

(4) 婦人靴の異なるヒール高での歩行計測

婦人靴のヒール高の違いが歩行や歩き心地に与える影響を定量的に検討した。被験者は健康な女子大学生 10 名とし、実験試料にはヒール高が 1.5cm (低ヒール) 4.5cm (中ヒール) 7.0cm (高ヒール) の 3 種類の婦人靴を使用した。実験では、実験試料を履いて歩行した際の着地中の足底圧計測と歩き心地を調べた。また、トレッドミル上を 30 分間歩行した時の下腿の筋電図計測と疲労感調査を行なった。

(5) フットウェア適合性評価システムの開発

複数のフットウェアに対する計測および適合性評価結果をもとに、動作や被験者の足部あるいは脚部形態に応じた適合性評価システムの開発を行なった。システムには計測および評価の提示インタフェースを備えなければならないため、計測制御ソフト LabVIEW を用いた。システムの活用に関しては、例えば靴選びをしている人に装置上を数回歩行してもらっただけで、計測後ほぼリアルタイムで適合性評価結果が得られるアプリケーションを目指した。

4. 研究成果

(1) 靴のサイズ適合性と適合性評価方法について

実験結果として、足長サイズおよび足囲サイズともに基準サイズよりも 1cm 以上大きくなると下肢における筋負担が増し、歩行動作に影響をおよぼすことが明らかとなった。特に荷重点移動軌跡 (図 2、図 3) のなす面積と地面反力及び歩行感覚の結果から、足長サイズよりも足囲サイズの不適合のほうが問題だと考えられる。このことから、従来の靴選びの観点に加え歩行動作 (動的) での脚への負担及び歩行動作への影響からみた機能的な適合が重要となってくると考えられる。この結果から実際にユーザが靴を選ぶ際に適合サイズを選ぶには、従来の靴型と足型の形状的なフィッティングに加え候補となる靴で数歩の歩行し、靴内での足のズレが少なく、蹴りだし動作がうまくできるのかをチェックすることが望ましいことが明らかとな

った。

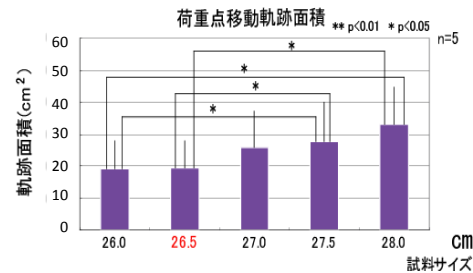


図 2 足長サイズと荷重点移動軌跡のなす面積

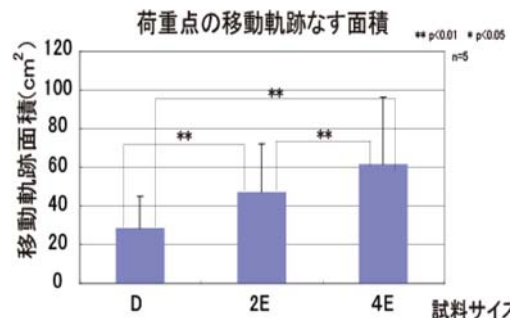


図 3 足囲サイズと荷重点移動軌跡のなす面積

さらに、シューズの適合性評価指標としては、地面反力や前脛骨筋および腓脛筋の筋電位積分値、接地中の荷重点移動軌跡が適していることが明らかとなった。この実験で採用した計測から得られる結果をもとに地面反力ではセカンドピーク値の大小から、筋電位積分値ではその大小から、荷重点移動軌跡では複数試技によって得られる軌跡がなす面積から動作の再現性を判断することが、適合性評価システムで重要となってくると考えられる。

(2) 衣服圧からみたフットウェアの着衣快適性と適合性評価

実験計測の結果、インステップ付近に作用する締めつけ圧が 20gf/cm² の時、着衣快適性が最も高いことが明らかとなった (図 4)。このことから、着衣快適性に富む靴下設計で一つの指標となる可能性が示唆された。さらに、今回用いた生理的ストレス計測は、フットウェアの適合性評価手法として有効であることが明らかとなった。

パンストを用いた実験計測の結果として、足首は 40gf/cm² 程度、ふくらはぎは 30gf/cm² 程度、膝、太ももは 10gf/cm² 程度の衣服圧が適度であることが明らかとなった。このことから、着衣快適性に富むパンスト設計で一つの指標となる可能性が示唆された。

フットウェアに対する適合性評価では、着衣快適性の観点から被験者の足部 (脚) 形態に応じて足部とフットウェア間に生じる衣服圧や、足長/足囲サイズと靴サイズの違い・ヒール高の違い・ソックス形状の違いに

よる歩行動作への影響などに注目する必要があることが示唆された。

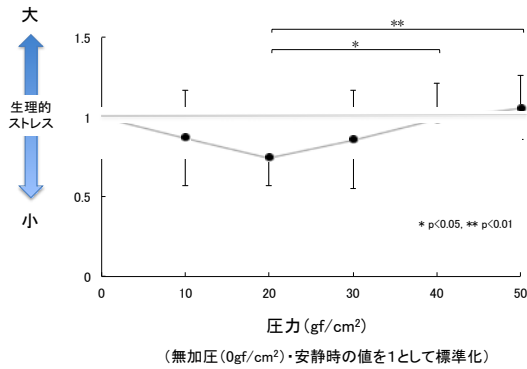


図4 インステップ囲の衣服圧と着衣快適性(生理的ストレス)との関係

(3) フットウェア生地伸縮性と着衣快適性および適合性評価

実験計測の結果、フットウェア生地の伸長率の違いで、歩行中の衣服圧に変動に違いが現れるが、この衣服圧変動幅が小さいとき歩き心地も良くなる可能性が示唆された。また衣服圧が 20~33gf/cm² で生理的ストレスが比較的小さく、履き心地も良いことが明らかとなった(図5)。フットウェア生地の伸縮性と結果として生じる動作時の衣服圧の変動幅を考慮したフットウェアの適合性評価の重要性が示唆された。

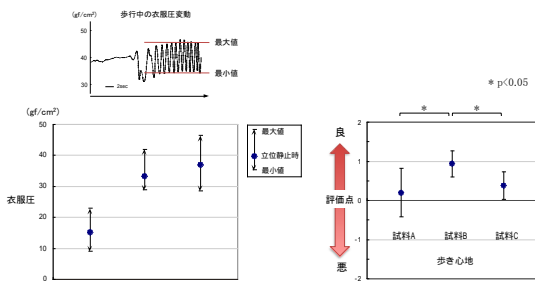


図5 衣服圧変動と着衣快適感の関係

(4) 婦人靴のヒール高に関する適合性評価

実験計測の結果、ヒールが高くなるにつれて着地中に前足部にかかる足底圧が大きくなり、これに伴い歩き心地も悪くなるということが明らかとなった(図6)。また、ヒールが高くなるにつれて前脛骨筋と腓腹筋の筋電図解析からみた筋疲労が顕著になり、疲労感も増大することがわかった。特に、高ヒール(7.0cm)では前足部における足底圧が最も大きく、歩き心地評価が悪い。さらに筋疲労の進行が最も顕著であり、疲労感の増大も認められる。このことから、婦人靴ではヒール高が5cmを超えたところに限界があると推測される。

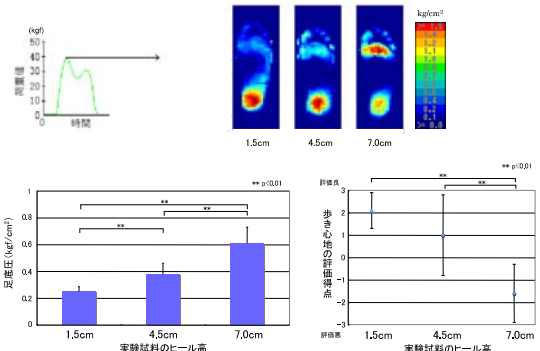


図6 ヒール高の違いと足底圧の関係

(5) フットウェア適合性評価のアプリケーション

以上のような研究結果から、適合性評価におけるポイントや評価指標を得ることができた。評価ポイントとしては、着衣快適性と動作負担(効率)があげられる。また、評価指標として、着衣快適性では心電図計測を利用した心拍変動解析によって、生理的ストレスを求めることが有効である。動作負担(効率)に対しては、筋電図計測や歩行時の地面反力・足底圧計測などで評価できることが明らかになってきている。これらの計測や評価指標をもとに、適合性評価システムの基本的な設計思想が確立できたことから、実際の評価システムは計測制御ソフトLabVIEWを用いて、評価システムアプリケーションの開発に取り組んだ。フットウェアを着比べたり、数回歩いたりすることで適合性を評価する初期バージョンを作成した(図7)。

評価アプリケーションに関しては、歩行時の地面反力や筋電図、足底圧などの計測後ほぼリアルタイムで適合性評価結果が得られるようなシステムを目指したものである。今後は、被験者に負担のかかるようなケーブルやセンサ類の装着が極めて少ない計測システムを目標として、靴下やパストについてもそれぞれに応じたアプリケーション開発を進める予定である。また、目的の用途に対していくつかの計測項目から適合度を適切に表示できることも課題である。



図7 適合性評価アプリケーション画面の一例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

細谷聡, 生理計測・心理計測からみたフットウェアの快適性評価, 精密工学会画像応用技術専門委員会研究報告, 26巻2号, 1-11, 2011, 査読無

中務雄太, 細谷聡, ソックス形状及びインソールの表面摩擦がシューズ歩行に及ぼす影響, 靴の医学, 25巻2号, 97-100, 2011, 査読有

林亮誠, 細谷聡, 靴の足囲サイズと歩行動作の関係に関する研究, 靴の医学, 25巻2号, 78-83, 2011, 査読有

細谷聡, 佐藤雅人, 靴下の伸縮性が衣服圧と着衣快適性に与える影響, 靴の医学, 25巻2号, 64-68, 2011, 査読有

細谷聡, 佐藤雅人, インステップ囲付近に作用する締め付け圧が生理心理的な着衣快適性に及ぼす影響, 靴の医学, 24巻2号, 35-39, 2010, 査読有

林亮誠, 細谷聡, 靴のサイズと歩行動作の関係に関する研究, 靴の医学, 23巻2号, 109-114, 2009, 査読有

[学会発表](計6件)

中務雄太, 細谷聡, ソックス形状及びインソール表面摩擦が靴歩行に及ぼす影響, 第25回日本靴医学会, 2011.9.20, 奈良

細谷聡, 佐藤雅人, 機能性設計靴下の生理的・心理的效果, 第25回日本靴医学会(招待講演), 2011.9.20, 奈良

細谷聡, 生理計測・心理計測からみたフットウェアの快適性評価, 精密工学会画像応用技術専門委員会2011年第2回定例研究会(招待講演), 2011.7.15, 東京

細谷聡, 佐藤雅人, インステップ囲付近に作用する衣服圧が生理心理的な着衣快適性に及ぼす影響, 第24回日本靴医学会, 2010.9.18, 仙台

林亮誠, 細谷聡, 靴の足囲サイズと歩行動作の関係に関する研究, 第24回日本靴医学会, 2010.9.17, 仙台

林亮誠, 細谷聡, 靴のサイズと歩行動作の関係に関する研究, 第23回日本靴医学会, 2009.9.19, 東京

6. 研究組織

(1)研究代表者

細谷 聡 (HOSOYA SATOSHI)

信州大学・繊維学部・准教授

研究者番号: 40293500