

令和 5 年 6 月 30 日現在

機関番号：32809

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K01588

研究課題名（和文）足部形状・立位姿勢・歩行動作の力学的負荷分析と運動器障害リスク評価方法の構築

研究課題名（英文）Mechanical Load Analysis of Foot Shape, Standing Posture, and Walking Motion and Development of a Risk Assessment Method for Musculoskeletal Disorders

研究代表者

今泉 一哉（Imaizumi, Kazuya）

東京医療保健大学・医療保健学部・教授

研究者番号：50454179

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：足部は重心保持・移動の作用点であり、扁平足や外反母趾などの問題は、運動器障害を誘発すると考えられる。本研究では、運動器の力学的負荷に影響する要因として、足部形状、立位姿勢、歩行動作に着目し、運動器障害や疼痛リスク評価手法を構築することを目的とした。そのために、歩行中の足圧分布データを用いて、加齢変化の傾向や既存の歩行パラメータとの関連などからパラメータを抽出した。これによって、足圧データから病歴・障害、足部形状、転倒歴等を予測できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究はフレイルやロコモティブシンドロームに関係する運動機能評価として、足の足圧分布に着目して評価パラメータを抽出した。本研究の学術的意義は、これによって歩行の加齢変化、転倒、運動器障害、足変形等との関係を明らかにした点である。

社会的意義としては、この技術はセンサの設置方法によってウェアラブル、据え置き型など多様な展開ができ、評価までの時間や設備的実装が比較的容易であり、高齢者の運動機能の日常的評価に応用可能性が高いことである。

研究成果の概要（英文）：The foot is the point of action for center of gravity retention and transfer, and problems such as flat feet and hallux valgus are thought to induce locomotor disorders. In this study, we focused on foot shape, standing posture, and gait behavior as factors that affect the mechanical load on the locomotor system, with the aim of developing a method for evaluating the risk of locomotor disorders and pain. To this end, we used foot pressure distribution data during walking and extracted parameters based on trends in aging changes and relationships with existing gait parameters. By doing so, we showed that medical history, disability, foot shape, and history of falls can be predicted from foot pressure data.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：介護予防・支援技術 歩行 足圧分布 運動器障害 疼痛 足部形状

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

少子高齢化の進む我が国においては、健康寿命の延伸、要介護者の減少などが重要課題であり、中高年を中心に健康に対する関心が高まっている。足部は重心保持・移動の作用点であり、扁平足や外反母趾などの問題は、運動器障害を誘発すると考えられる。これらの運動器疾患は長年の身体運動による力学的な負荷の蓄積と、個人要因等が相まって発症・進行すると考えられる。

従って、原因となる運動器に影響する力学的負荷を適切に評価できれば、因果関係の解明や予防的介入に貢献できる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、運動器の力学的負荷に影響する要因として、足部形状、立位姿勢、歩行動作に着目し、介護予防などのフィールドで運動器障害や疼痛リスクを評価する仕組みを構築することを目的とする。特に足圧分布による歩行評価手法を基盤に、足部形状や疼痛、転倒等の関係について検討した。

3. 研究の方法

1) 足圧分布による評価手法の開発

足圧分布から足指と足底の境界を識別し、足指割合 (Toe Area Ratio: TAR) を算出した。TAR と一般的な歩行パラメータとの比較や加齢変化について分析した。併せて、中足部面積割合 (MAR) についても検討した。対象データは、自立歩行に困難さを持たないと回答した 20~90 歳の成人女性 1774 名と男性 1553 名のものであった。

2) 足圧パラメータと疼痛・足部形状等との関係分析

足圧パラメータと、足部形状・疼痛・転倒との関係分析を行なった。対象者は要介護や要支援の非認定である自立歩行可能な健常高齢者 45 名、若年者 5 名であった。足部形状の測定は静止立位姿勢として、足部 3 次元形状を表す座標データ及び、足長、足幅等の形態学的データを得た。実験時には、転倒経験や下肢の障害 (変形性膝関節症、外反母趾等) の有無、健康状態、活動度などの聞き取り調査を同時に行った。

足圧パラメータと様々な歩行パラメータとの関係を評価するために相関分析を行った。また、目的変数を各部位の痛みとして、順序ロジスティック回帰分析を用いた。確率水準 0.05 で統計的有意性を示した。

4. 研究成果

1) 足圧分布による歩行評価

図 1 は、男性と女性の参加者の TAR と年齢の関係を示している。小さな点は個々の被験者の値を示し、大きな点は各年齢層の平均値を示している。分散分析の結果、年齢群間の差は統計的に有意 ($p < 0.001$) であったが、性別による差は有意ではなかった。下位検定では、69 歳以上で TAR が有意に減少していた。

表 1 に相関分析の結果を示す。TAR は年齢とも相関していたため、偏相関を用いた。男女ともに TAR は歩幅と中程度の正の相関があり、歩行速度と歩行比とは弱い正の相関があった。また、TAR は、男女ともに、立脚期、遊脚期、両脚期支持期、歩行角度と弱い負の相関を示した。

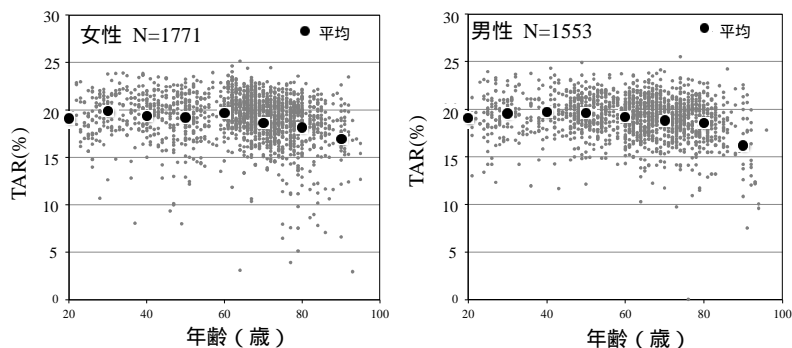


図 1 男女被験者の TAR と年齢との関係

表 1 TAR と一般的な歩行パラメータとの相関

	男性		女性	
	r	p-value	r	p-value
歩行速度(km/h)	0.376	0.000	0.366	0.000
歩行率(step/min)	0.083	0.001	0.143	0.000
歩行比(m/step/min)	0.396	0.000	0.341	0.000
歩行周期(s)	-0.076	0.003	-0.129	0.000
立脚期(%)	-0.215	0.000	-0.227	0.000
遊脚期(%)	0.216	0.000	0.227	0.000
両脚支持期(%)	-0.217	0.000	-0.254	0.000
歩幅(%)	0.435	0.000	0.401	0.000
歩隔(%)	-0.085	0.001	-0.199	0.000
歩行角(°)	-0.277	0.000	-0.325	0.000
つま先角(°)	-0.302	0.000	-0.156	0.000

偏相関 調整変数：年齢

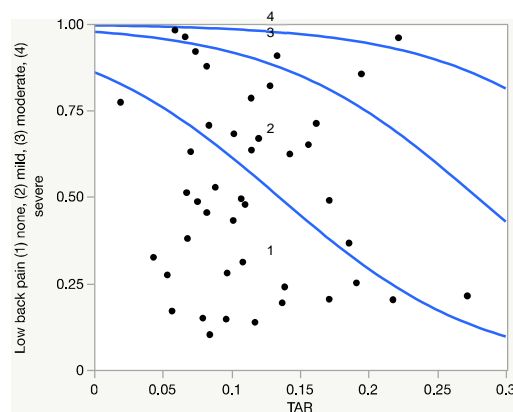
歩幅、歩行速度、歩行比は、加齢によって変化することが知られている代表的な歩行変数である。年齢とともに TAR が減少した結果について、加齢によるつま先での蹴出しの弱さの影響が考えられる。また、別の可能性として、加齢による姿勢の変化が挙げられる。Takai らは、高齢者では脊椎の可動性が低下し、重心が後方に移動するため、立位姿勢で背中を丸めるには、背筋と脚筋に大きな力が必要であると報告している。姿勢変化によってつま先で蹴り出す力が弱くなり、TAR を低下させるとも考えられる。以上のことから、TAR は歩行中における足指や姿勢等の機能を反映すると考えられた。

2) 足圧パラメータと疼痛・足部形状等との関係分析

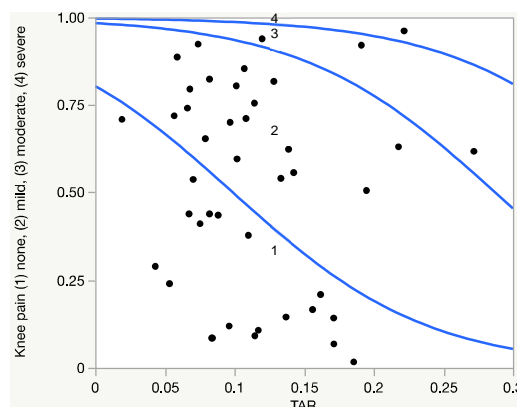
43 人の高齢者のうち、46.5%が腰痛、55.8%が膝痛、20.9%が足痛を有していた。相関分析の結果、TAR は歩行速度($r=0.411$, $p=0.0069$)と中程度の正の相関を示し、歩幅($r=0.334$, $p=0.0029$)および歩幅時間($r=0.336$, $p=0.027$)と弱い正の相関を示した。

図 2 は腰痛と膝痛のロジスティック回帰プロットである。ロジスティック回帰の結果、TAR は膝痛($p=0.0189$)、腰痛($p=0.007$)に有意な主効果があった。

考察として、TAR は加齢に伴う歩行機能の低下を反映する 3 つの歩行パラメータと相関していた。さらに、TAR は下肢痛による歩行の変化にも影響される可能性がある。一方、足の痛みについては、TAR に有意な影響は認められなかったため、さらなる検討が必要である。



a) 腰痛



b) 膝痛

図 2. TAR と腰痛および膝痛のロジスティック回帰プロット

以上より足圧パラメータである TAR は、歩行機能が低下した高齢者において、疼痛が歩行に及ぼす影響を評価するのに有用であると考えられる。中足部の面積割合 (MAR) に関する研究も合わせて実施している。MAR においても加齢によって増加すること、その他、転倒歴や膝や腰などの関節痛の有無との関係についても分析を進めており、高齢者のリスク評価に繋げることを試みている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 今泉 一哉、岩上 優美	4. 巻 45
2. 論文標題 足圧分布データによる高齢者の足分類と歩行評価への応用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 バイオメカニズム学会誌	6. 最初と最後の頁 27-32
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3951/sobim.45.4_27	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Imaizumi Kazuya, Iwakami Yumi, Kumamoto Masazumi, Tomisaki Masumi, Sudo Motoki, Niki Yoshifumi	4. 巻 1
2. 論文標題 Evaluation of toe function based on the plantar pressure distribution while walking and its relationships with general gait parameters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceeding of 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Berlin, Germany	6. 最初と最後の頁 2434-2438
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/EMBC.2019.8857454	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kazuya Imaizumi, Yumi Iwakami
2. 発表標題 Effect of lower limb joints pain on toe area of foot pressure during walking in the elderly
3. 学会等名 XXIX Congress of International Society of Biomechanics (ISB2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩上優美, 中嶋 香奈子, 今泉 一哉
2. 発表標題 機械学習を用いた床反力データによる関節疾患の分類の基礎的検討,
3. 学会等名 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岩上優美, 今泉 一哉
2. 発表標題 機械学習を用いた高齢者の歩行データからの運動器疾患の推定
3. 学会等名 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今泉 一哉, 岩上 優美
2. 発表標題 フレイル評価を目的とした高齢者の歩行中の足部挙動と下肢疼痛の分析
3. 学会等名 計測自動制御学会ライフエンジニアリング部門講演会論文集
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今泉 一哉, 岩上 優美
2. 発表標題 フレイル評価を目的とした高齢者の足形状と歩行中の足部挙動の分析
3. 学会等名 バイオメカニズム学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 富崎真澄, 須藤元喜, 仁木佳文, 金憲経, 島田裕之, 岩上優美, 今泉一哉
2. 発表標題 歩行時の足指接地面積の年代変化と歩容、転倒との関連性
3. 学会等名 第61回日本老年医学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 須藤元喜, 富崎真澄, 仁木佳文, 金憲経, 島田裕之, 岩上優美, 今泉一哉
2. 発表標題 足型判定指標による歩行時のアーチ機能評価の基準値作成と年代変化及び歩容との関連性
3. 学会等名 61回日本老年医学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩上優美, 富崎真澄, 須藤元喜, 今泉一哉, 仁木佳文
2. 発表標題 歩行機能分析システムによる高齢者への歩行機能の効果的なフィードバック手法の検討
3. 学会等名 61回日本老年医学会学術集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Imaizumi Kazuya, Iwakami Yumi, Kumamoto Masazumi, Tomisaki Masumi, Sudo Motoki, Niki Yoshifumi
2. 発表標題 Evaluation of toe function based on the plantar pressure distribution while walking and its relationships with general gait parameters
3. 学会等名 2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Berlin, Germany (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩上優美, 今泉一哉
2. 発表標題 機械学習の手法を用いた高齢者の時系列歩行データからの運動器疾患の推定
3. 学会等名 計測自動制御学会 ライフエンジニアリング部門シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本健寛, 今泉一哉, 小林吉之
2. 発表標題 移動様式および移動速度が人の時間知覚に与える影響
3. 学会等名 ライフサポート学会, フロンティア講演会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岩上優美, 富崎真澄, 須藤元喜, 今泉一哉
2. 発表標題 機械学習の手法を用いた高齢者の歩行パターンの分類,
3. 学会等名 計測自動制御学会 ライフエンジニアリング部門シンポジウム2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 歩行分析方法	発明者 富崎 真澄, 須藤 元喜, 岩上 優美, 今泉一哉	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開2020-018366	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 足状態分析方法	発明者 富崎 真澄, 須藤 元喜, 岩上 優美, 今泉一哉	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開2020-018365	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------