

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 15 日現在

機関番号：32657

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500658

研究課題名(和文)適切な転倒予防運動実施に不可欠な高齢者の姿勢制御能と下肢機能評価指標の研究

研究課題名(英文) Study on evaluation index of postural control ability and lower limb function of aged necessary for appropriate program of fall prevention

研究代表者

川澄 正史 (KAWASUMI, MASASHI)

東京電機大学・未来科学部・教授

研究者番号：40177689

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：高齢者の転倒予防には、身体機能の観点からは姿勢制御能、下肢筋力、歩行機能の3要素が重要と考えられる。特に、姿勢制御能の維持向上に着目し、姿勢制御能と下肢機能の評価指標の検討を行うことを目的とする。バランス機能の観点から開眼静止立位時の足圧中心軌跡を対象とし、SDA法の解析を行った。また、下肢の機能推定を支援するため、後方踵部の体表画像をカメラで撮影し、踵骨傾斜角をはじめとした踵部および下腿の角度等の足部パラメータを画像解析により抽出する簡易的手法の検討を行った。

研究成果の概要(英文)：To prevent the falls of aged, the maintenance and the improvement of the postural control ability, the muscle power of lower limbs and the walking capability are important. The stabilogram diffusion analysis (SDA) method is used to discuss the characteristics of postural control ability and the locus of the center of pressure(COP). The COP is recorded during standing with no moving with open eyes. To provide the useful information for the estimation of the lower limb function, the features of the images are analyzed. The lower limb surface images are obtained by camera from back side. The regio calcanea including the heel bone inclination corner is especially discussed in the analysis.

研究分野：情報メディア学

キーワード：健康・福祉工学 生体機能評価

### 1. 研究開始当初の背景

高齢者医療費や介護保険の高騰が社会的問題であり、その対策が求められている。介護保険における介護要因の第3位が転倒であり、転倒骨折による最も重大なもの1つに大腿骨頸部骨折が挙げられる。これに関わる急性期および慢性期まで含めた医療・介護費の推定額は極めて高く、経済的観点から転倒を予防することは重要である。さらに転倒は、著しく日常生活動作(Activity of Daily Living: ADL)の低下を引き起こすため、各地方自治体や高齢者施設で転倒予防のための運動指導プログラムなどが実施されている。技術支援の観点からも転倒を予防し、歩行能力を確保することが健康寿命の延長に重要である。

超高齢社会である日本において転倒予防は今後も大きな課題である。そのため、定量的な評価により高齢者の転倒危険性を早期に発見し、転倒を予防することが求められている。しかし、転倒リスクの評価や推定に用いる指標が十分検討されていない。

高齢者の転倒予防には、身体機能の観点からは姿勢制御能、下肢筋力、歩行機能の3要素が重要と考えられる。

姿勢制御能の一部を計測、評価する手法として、重心動揺計や3次元動作解析装置などを用いた重心動揺計測や床反力計測が挙げられる。床反力計測は詳細なデータが得られる一方、大規模な実験環境と高価な計測システムが必要であり、カメラなどの設置位置やキャリブレーションなどの綿密な設定が必要となる。それに比較し重心動揺計を用いた計測手法は比較的簡便であるため、多くの研究報告が存在する。

重心動揺計を用いた姿勢制御能の評価は、重心の軌跡長や面積など、結果の積分値に着目する方法が挙げられる。これは重心の移動量が持つ振幅と移動の方向が主に反映されるため、時間的に変化するようなダイナミックな特性には言及していない。例えば、重心の軌跡長や面積が大きければ姿勢制御能が低いと評価され、実際に加齢により足圧中心(Center of pressure: COP)の重心動揺軌跡長や面積が大きくなることが報告されている。しかし、姿勢制御はダイナミックに行われるため、重心動揺の時間的パラメータにも注目する必要があると考えられる。

また、計測結果を用いたより有効な転倒リスクの評価指標を構築するために、骨格による影響を考慮する必要がある。これは先行研究により、極度のX脚O脚、土踏まずの喪失、足部アーチの乱れなどの足部の異状を放置することで外反母趾や骨格変形などの症状があらわれ、転倒のリスクを増大させると示されている。また、医学的見地では骨の角度も足部アライメントの評価に用いられることから、脛骨から踵骨までの下腿から足部までの骨角度についての計測が重要な要素であると考えられる。しかし、これらの計測においてはX線検査を用いるため、設備や時間の制

限、放射線の使用といった問題を抱えている。そのため、介護予防事業において利用するのは困難である。

### 2. 研究の目的

本研究では特に、姿勢制御能の維持向上に着目し、姿勢制御能と下肢機能の評価指標の検討を行うことを目的とする。本研究では、重心動揺計を用いた姿勢制御能の評価について時間成分を考慮に入れた制御モデルを解析するために、Stabilogram-diffusion analysis法(SDA法)を用いて検討することとした。従来から用いられているCOPのパラメータとの比較を行った。

また、下肢の機能推定を支援するため、後方踵部の体表画像をカメラで撮影し、踵骨傾斜角をはじめとした踵部および下腿の角度の画像解析により足部のパラメータを抽出する簡易的手法の検討を行った。フィールドにおける速やかな姿勢制御能評価および転倒リスク評価を実現可能とするに有用と考えている。踵骨傾斜角、下腿傾斜角について解析を行い下腿形状と足圧分布の関連性を検討し、足圧分布データから判断される扁平足や浮き指といった足部異状について、画像のみで簡易的な判断が可能か検討した。

### 3. 研究の方法

(1) 重心動揺計を用いた姿勢制御能に関する実験方法

SDA法はCOPの制御の様子を検証できる。具体的な実験方法は、開眼および閉眼状態において静止立位を1分間弱だけ保たせ、その間のCOPを計測し解析する。用いる計測器は、据え置き型の重心動揺計(足圧分布計測装置)とした。それぞれの計測において、サンプリング周波数20Hzとした。解析は足圧中心COPの総軌跡長、矩形面積、左右(x軸)の移動距離、前後(y軸)の移動距離、さらにそれぞれから得られるSDA法のパラメータである。SDA法のパラメータでは、図1に示す姿勢制御のランダム性を表す拡散係数、および距離のパラメータを使用した。

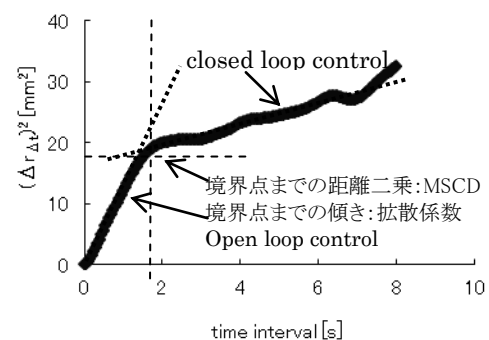


図1 SDA法を使った解析結果の例

(2) 後足部画像の撮影条件

足部の体表画像のパラメータ評価は多く行われているものの、その複雑な構造ゆえに

評価は困難であることが多い。一方で外反足、内反足などの見て取れる異状があるにも関わらず後方からのパラメータ検討の例はほとんどない。また構造的にも単純で、直感的に踵部の異状が極めて分かりやすいことから、本研究では後方画像のパラメータを用いることとした。カメラの設置距離、傾き、向き、マーカ貼付有無等と解析結果との事前比較を通し、多少のずれが影響しない撮影条件を次の通りとした。

撮影条件： 水平で床面 10cm 程度の高さの三脚にカメラを固定、40cm 後方から撮影、膝蓋骨裏面・距骨・踵骨にマーカを貼付。

### (3) 踵部・下腿の角度と足部異状に関する実験方法

足部のアライメントに影響を及ぼす箇所として、踵骨傾斜角、下腿傾斜角、LHA の角度を解析箇所とした。踵骨は立位静止時に人の全体重を支えている箇所であり、歩く際の要でありながら大きく負担をかけている箇所であることが理由である。踵骨の異状を疼痛などの自覚症状が引き起こされる前に検知することで、歩行障害など重篤な症状への発展を未然に防ぐ可能性があると考え、下腿から踵骨までの角度とした。

解析では、膝蓋骨裏面の中点を始点として、脛骨長軸、踵骨中点と床の接地面を計測ラインと定義し、それぞれ計測ラインと踵骨最隆部中線のなす角を踵骨傾斜角、距骨中線のなす角を下腿傾斜角、下腿と踵骨の接地面を結んだ角を LHA とした。LHA は、扁平足、凹足の診断指標として用いられている。図 2 に左脚の計測モデルを示す。それぞれ膝蓋骨中点、距骨中点、踵骨最隆部および接地点の 4 点にカラーマーカを貼付し解析を行うこととした。

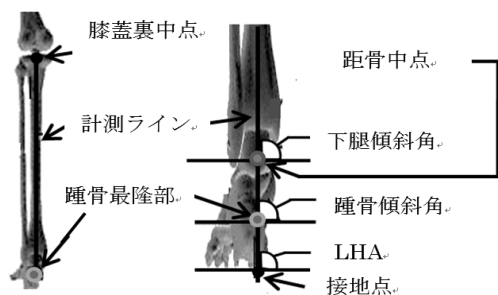


図 2 角度解析モデル (左脚)

また、被験者には実際の立位と同様の状況を再現するため、最も自然な足幅を取るように口頭で指示した。静止画の撮影には、画像解像度 4608×3456 画素の市販デジタルカメラを使用した。足圧分布データは、足圧分布計測装置を用いて開眼 45 秒間の立位静止状態にて取得した。それぞれ正常群、浮き指群、扁平足群の 3 群に分類した。

## 4. 研究成果

### (1) 重心動揺計を用いた姿勢制御能に関する実験結果と考察

これらの結果の概要として、①従来の COP のパラメータと SDA 法のパラメータは高い相関が得られたこと、②転倒リスクは、拡散係数および距離のパラメータとの関係がある可能性が示唆されたこと、③下肢筋力との組み合わせにより総合的な転倒リスク指標の構築の可能性が示されつつあることがわかった。

また、運動指導により足指力、膝間力が向上した例において、運動指導前後の COP を解析したところ、向上は SDA 法パラメータでも評価することができた。下肢筋力と SDA 法等を用いることで転倒リスク評価を行うこと、つまり足部機能の向上の変化をとらえることができるといえる。

### (2) 踵部・下腿の角度と足部異状に関する実験結果と考察

図 3 に計測箇所のモデル図を示す。分析結果を表 1、表 2 に示す。足圧分布を図 4 に示す。

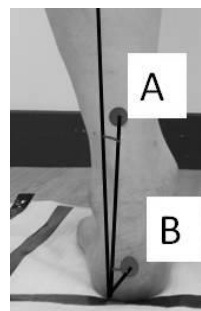


図 3 左下腿画像と計測箇所

表 1 右下腿パラメータの平均

Right Angle Average(mean±S.D)			
	A [deg]	B [deg]	両足間 [point]
浮き指群	2.0±1.3	12.9±3.29	818.9
扁平足群	3.8±2.54	17.9±8.2	940.9
正常群	5.3±3.0	13.6±8.9	842.6

表 2 左下腿パラメータの平均

Left Angle Average(mean±S.D)			
	A [deg]	B [deg]	両足間 [point]
浮き指群	2.3±0.7	14.4±10.7	818.9
扁平足群	9.3±8.6	22.1±19.8	940.9
正常群	5.7±2.7	20.8±6.1	842.6

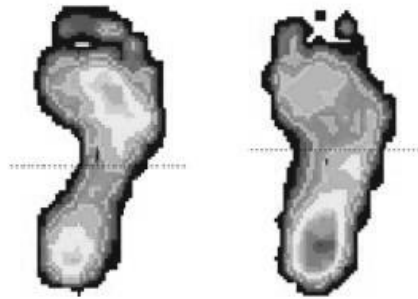


図4 足圧分布 (左:正常, 右:浮き指)

この結果, 角度 B について左右両側とも浮き指群が正常群より角度が小さく, 反対に扁平足群は正常群と比較し角度が大きい傾向があることが分かった. 角度 A については左足に同様の傾向が見られたが, 右足では扁平足群にこの傾向が見られなかった. なお, 足幅については正常群と比較し, 扁平足群が大きく浮き指群は小さい傾向が見られた. LHA は正常群が 92deg であるのに対し, 異状群では 2~3deg 大きい.

角度 A, B については, 下腿長軸から骨の位置が外れることでこのような値になったことが考えられる. 足幅については, 正常群と比較し, 値の大きな扁平足群は土踏まずが接地し接地面積が広く, 値の小さな浮き指群は指が接地しないため接地面積が狭いと言える, そのため接地面積の大きさや重心との関連が考えられる.

浮き指においては, 本来指をつき前方で支えるべき荷重が後方寄りとなるため, より大きく下腿傾斜が起こるのではないかと考えられる.

このように簡易的な骨変形の発見手法の基礎検討として, 後方画像からの解析パラメータと足圧分布の関連を検討した. 浮き指と扁平足について特定の角度が増減する傾向が見られ, 判断パラメータとしての利用可能性がみられた.

## 5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 8 件)

- ① 櫻井暁洋, 大矢哲也, 山下和彦, 小山裕徳, 川澄正史, 足圧分布と踵部・下腿の角度を用いた足部異状判断用新パラメータ, 電子情報通信学会 総合大会. 2015 年 3 月 10 日から 13 日, 立命館大学 (滋賀県・草津市)
- ② 櫻井暁洋, 大矢哲也, 山下和彦, 小山裕徳, 川澄正史, 後足部画像と足圧分布データを利用した後足部パラメータ分析による骨変型早期発見手法, LIFE2014. 2014 年 9 月 24 日から 26 日, ルスツリゾート (北海道・留寿都村)
- ③ 櫻井暁洋, 大矢哲也, 山下和彦, 小山裕徳, 川澄正史, 足圧分布と踵部・下腿の角度を用いた足部変型判断用新パラメータ, バイオフィリアリハビリテーション学会. 2014 年 8 月 23 日, ロート製薬

(東京都・港区)

- ④ 櫻井暁洋, 大矢哲也, 山下和彦, 小山裕徳, 川澄正史, 後足部画像と足圧分布データを利用したパラメータ分析による骨変型早期発見手法と自動分析プログラム, 日本生体医工学会大会. 2014 年 6 月 24 日から 26 日, 仙台国際センター(宮城県・仙台市)
- ⑤ 櫻井暁洋, 大矢哲也, 山下和彦, 小山裕徳, 川澄正史, 後足部画像解析と足圧分布データ骨変形早期発見手法の提案, 電子情報通信学会総合大会. 2014 年 3 月 18 日から 21 日, 新潟大学 (新潟県・新潟市)
- ⑥ 山下和彦, 安在絵美, 中嶋香奈子, 太田裕治, 佐藤満, 井野秀一, 川澄正史, ノルディックウォークの地域での実施と身体機能計測の効果, LIFE2013. 2013 年 9 月 2 日から 4 日, 山梨大学 (山梨県・甲府市)
- ⑦ 櫻井暁洋, 大矢哲也, 山下和彦, 小山裕徳, 川澄正史, 踵骨傾斜角画像解析と足圧データを用いた骨変形早期発見手法, LIFE2013. 2013 年 9 月 2 日から 4 日, 山梨大学 (山梨県・甲府市)
- ⑧ 山下和彦, 中嶋香奈子, 安在絵美, 岩上優美, 川澄正史, 太田裕治, 虚弱高齢者の転倒リスクアセスメントと地域での活用, LIFE2012. 2012 年 11 月 2 日から 4 日, 名古屋大学 (愛知県・名古屋市)

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

川澄 正史 (KAWASUMI MASASHI)  
東京電機大学・未来科学部・教授  
研究者番号: 40177689

### (2)研究分担者

小山 裕徳 (KOYAMA HIRONORI)  
東京電機大学・未来科学部・教授  
研究者番号: 00120113