

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 15 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24500729

研究課題名(和文) 生体の着地衝撃緩衝特性および筋活動量からみたシューズ性能の評価

研究課題名(英文) Performance estimate of shoes using shock-absorbing characteristics of impact force and muscle activity of leg.

研究代表者

丸山 剛生 (Maruyama, Takeo)

東京工業大学・社会理工学研究科・准教授

研究者番号：90181833

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では屋外での運動中における下肢の動作解析，着地衝撃および筋電位の連続計測のシステムを構築するため，加速度センサによる各種動作中の着地衝撃計測，慣性センサによる加速度・角速度のデータを用いて慣性センサ装着部位の三次元姿勢の推定方法の検討，筋電位計測による各種動作中の着地衝撃と筋活動量の関係の評価，および筋疲労定量化システムの構築を行い，それらの妥当性と信頼性を評価した。その結果，野外における運動においても加速度センサを用いて着地衝撃が計測可能であること，慣性センサによる体幹部姿勢の推定が可能であること，筋電位計測から筋疲労の定量化システムを構築することができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, to construct measurement system of leg motion analysis, impact force and electromyogram during exercise in the field, there were conducted that measurement of impact force at landing using acceleration sensor, estimation of three dimensional posture using inertial sensor, estimation of relationship between impact force and muscle activity, and quantification of muscle fatigue using electromyogram. In consequence, there were verified that measurable of impact force at landing using acceleration sensor, predictability of posture using inertial sensor, and to constructing quantification method of muscle fatigue using electromyogram.

研究分野：バイオメカニクス

キーワード：動作解析 着地衝撃 加速度センサ 慣性センサ 筋電位

1. 研究開始当初の背景

健康づくりのための運動習慣の重要性(健康日本 21, 2000)が認識され、日常生活における身体活動に対する意識向上に伴い、日常的な散歩や野山での散策を楽しむ人、ジョギングの愛好者が増加している。また、靴底に独自の形状を採用することにより歩行時に不安定な状態を発生させ、下肢筋群への負荷を高める効果をねらったシューズも健康志向者向けに開発されている。

一方、ランニング動作は小さなジャンプの繰り返しで、着地衝撃や関節への荷重負荷の積み重ねが障害を引き起こし(山本, 2001)、走り方の不自然さ、下肢筋力の低下による膝関節伸展機構の効果的な利用減少、筋柔軟性の低下によりランニング障害(腸脛靭帯炎(ランナースニー)、アキレス腱炎、等)が発生しやすくなる(横江, 1983)。この障害を予防するためには、走り方の矯正、筋力と筋柔軟性の維持、適切なシューズの選択、疲労の軽減などが考えられる。

障害予防のためのスポーツシューズと足底板の機能に関する研究は、スポーツメーカーの開発担当者、国内・外の研究者によって多く検討されてきている。特にクッション性、安定性については、足部動態変化測定による足部の荷重負荷の評価、床反力測定によるシューズのクッション性評価、下肢筋の筋電位測定による筋活動評価、足首・膝部における加速度計測による着地衝撃の伝達特性の評価などが実施されている。筆者らも生体の動作適応を考慮したシューズ性能の評価法を検討した。しかし、生体計測上の個別性、適応性、非再現性、冗長性などの問題により、シューズの機械物理試験のような明確な結果が得られないのが現状である。

ランニング障害の原因である下肢に加わる衝撃や荷重負荷の評価については、Lafortune(1991)が下肢における加速度の計測以降、数多くの研究が実施されている。しかし、足部のアーチ形状、下肢骨と関節間組織の粘弾性特性、筋活動に伴う衝撃減衰効果(Nigg, 1986)と、生体における加速度計測における体動や振動の影響や加速度信号の複雑さ等の理由から、衝撃力の高精度測定の困難さがあり、評価法を含め明確な結論を得ていない。

筆者は「生体の筋調節による適応状態を考慮したシューズの機能的性能評価法の検討」と「加速度センサによる下肢 - シューズ系の粘弾性特性の評価」という課題で科学研究費の補助を受け、シューズ等の環境要因が生体の動作制御や適応現象に及ぼす影響を検討し、着地時の動作制御の研究、ランニング中の足関節の運動学的解析、連続跳躍中の関節スティフネス変化を評価した。しかし、たとえば反発特性の異なる素材上で連続跳躍運動を行い、生体指標が素材特性の違いに应答するかどうかを検討したが、素材特性の差が生体の筋調節の作用によって相殺される結

果となり、短時間の実験条件では筋調節効果により外部環境の変化の影響が低減することになる。

長時間走行中の疲労に伴う下肢の運動学的変量と衝撃加速度の変化(Mizrahi, 2000)や長時間歩行中の筋電位による筋疲労の評価、歩行リズム、腰背部加速度の変化を検討した研究(Yoshino, 2004)が報告されている。長時間運動で生体が疲労状態になり、筋調節系の作用が減少した場合には、外部環境の変化に対する生体指標の変化が顕著に現れることが考えられる。

そこで、長時間運動中の疲労と生体反応、動作制御の関係を観察することは非常に興味深いものであり、今回の研究課題の着想に至った。

2. 研究の目的

本研究では屋外での運動中における下肢の動作解析、着地衝撃および筋電位の連続計測を行い、以下の観点から測定システムの構築とその妥当性と信頼性を評価し、シューズ性能の評価を行うための計測システムを構築する。

1) 慣性センサによる下肢動作と着地衝撃の計測法の確立と筋電位計測

筆者はトレッドミルランニング中の下肢動作について画像による動作解析を実施してきた。トレッドミルランニングの場合は、被験者は同じ場所を走るため比較的容易に動作解析は行えるが、屋外でのランニングにおいて動作を解析する場合は非常に困難となる。ゴニオメータを使用して足・膝・股関節の角度を直接計測することもできるが、ゴニオメータの装着による被験者に対する動作の拘束が問題となる。また、慣性センサによる脛部や大腿部の各体節の傾きを計測することも可能であるが、センサの取り付け方による測定精度の問題がある。そこで、トレッドミルランニング中の下肢関節の角度計測について画像を用いた動作解析法とその他のセンサを用いた方法で比較検討を行い、屋外でのランニング実験での下肢関節角度計測法を確立する。

また、筆者は脛部に取り付けた加速度センサの信号から床反力を予測する方法や着地中の衝撃を観測する方法を検討している。加速度センサによる加速度計測では、センサが小型・軽量なので被験者への負担が少なく、計測そのものは安易に行なえるが、センサの取り付け方や体動による振動の影響と信号の解釈には注意を要する。そこで、ランニング中の着地衝撃を計測するため、加速度センサの取り付け方と評価方法を確立する。また無線式での筋電位計測も併用する。

2) 屋外での運動中における計測

上記1)において確立した計測システムを用いて、屋外での運動中における下肢動作解

析，着地衝撃計測を行い，下肢動作の変化が着地衝撃に及ぼす影響を評価する。そのために，筋電位信号，加速度信号の信号等の複数データを高時間分解能で長時間記録可能なデータログシステムが必要である。

そこで，平成24年度から27年度にかけて次の目的で研究を実施した。

・加速度センサを用いて各種動作中の着地衝撃計測および慣性センサから得られた加速度・角速度のデータを用いて，慣性センサ装着部位の三次元姿勢を推定する方法を確立し，その妥当性と信頼性を評価する。

・筋電位計測を用いて各種動作中の着地衝撃と筋活動量の関係，および筋疲労定量化システムの構築を行い，その妥当性と信頼性を評価する。

3. 研究の方法

平成24年度から27年度における研究方法を示す。

<平成24年度>

1) 各種動作中の加速度センサを用いた着地衝撃計測の妥当性を検証するため，男性被験者7名を対象に，ランニング，着地動作などの6種類の動作を実施させ，足部に装着した3軸加速度センサによる衝撃加速度と床反力計による衝撃力との関係を検討した。

2) 前述の加速度計測システムを用いて野外でのサッカー競技中における加速度信号と映像から求めた動作の種類との関係について男性被験者1名を対象に検証した。

3) スニーカーやハイヒールなど機能が異なる靴を着用した歩行において，下肢の動作，足底圧分布，下肢の筋活動量と靴機能の違いとの関係を検証するため，女性被験者12名を対象として，床反力計を敷設した歩行路においてスニーカータイプの靴3種類とハイヒールタイプの靴4種類を着用した歩行を実施した。

<平成25年度>

4) ヒトに装着した慣性センサから得られた加速度・角速度のデータを用いて，慣性センサ装着部位の三次元姿勢を推定する方法を検討した。

5) ゴルフパッティング動作中のヒトの体幹の回転動作について，男性5名，女性1名のプロおよびアマチュアゴルファー6名を対象として，慣性センサを用いて計測し，モーションキャプチャシステムと慣性センサによる体幹の三次元姿勢および回転動作の推定精度を検証した。

6) 着地衝撃が伴う動作中の筋電位計測の信頼性を検証するため，男性被験者8名を対象に，着地衝撃が伴う動作として，高さ24cm

の台から落下した直後にサイドカッティングする動作と毎秒3m程度の速度の助走からサイドカッティングする動作を対象として，大腿直筋と大腿二頭筋の筋電位計測を行い，着地時の衝撃力は床反力計を用いて計測した。

<平成26年度>

7) 筋電位計測の信頼性および計測データの処理方法の妥当性を検証し，逆動力学解析による下肢関節トルクと筋電位計測による筋活動量との関係を考慮しながら，下肢粘弾性機構の働きと着地衝撃伝達特性の関係を検討した。被験者10名を対象に，立位姿勢を基準に，歩行時，ジョギング時，階段降り時の3種類の動作について，床反力計による着地衝撃計測，下肢筋群における筋電位計測，動作解析による下肢関節の動力学的動態を分析した。

<平成27年度>

8) 筋電位計測による筋疲労定量化システムを提案するため，男性被験者10名を対象に握力発揮実験中における前腕部の表面筋電位を計測し，筋疲労モデルの適用により筋疲労パラメータの推定と筋疲労の発現状態を定量的に推定した。

9) 歩行中の歩容の違いが歩行安定性に及ぼす影響を検討するため，男性被験者10名を対象に歩隔の異なる4種類の歩行中についてモーションキャプチャシステムによる動作解析と床反力計による計測を実施し，歩幅と重心動揺軌跡の特徴量を評価した。

10) サッカーキック動作における助走の違いが支持脚における動力学的負荷に及ぼす影響を評価するため，男性被験者6名を対象に助走角度の異なる3種類のインステップキック動作について，モーションキャプチャシステムによる動作解析と床反力計による計測を実施し，支持脚の下肢三関節の運動学および動力学的な変量を比較した。

4. 研究成果

本研究はランニング障害の予防に貢献することを最終目的とし，慣性センサによる計測と無線式の計測システムを構築し，屋外での運動時の下肢動作と着地衝撃および筋活動量の計測を行い，その妥当性と信頼性を評価し，ランニングシューズの性能を評価するためのシステムを構築することを目標としている。

平成24年度から27年度における研究成果をまとめる。

<平成24年度>

1) 各種動作中の足部に装着した3軸加速度センサによる衝撃加速度と床反力計による衝撃力との関係を検討した結果，両者の関係には正の相関関係が認められ，加速度センサ

による衝撃加速度の計測値から動作中における下肢に加わる衝撃力を推定できることがわかり、加速度センサによる計測方法の妥当性を示した。

2) 加速度計測システムを用いて野外でのサッカー競技中における加速度信号と映像から求めた動作の種類との関係を検証した結果、動作の種類の違いにより衝撃加速度の大きさが異なることを明らかにし、野外における長時間の運動においても加速度計測システムを用いて着地衝撃が計測可能であることを実証した。

3) 下肢の動作、足底圧分布、下肢の筋活動量と靴機能の違いとの関係を検証した結果、靴の機能により歩幅、歩行速度、足底圧における前足部と後足部の荷重分布割合が大きく影響を受けることが明らかになった。

<平成25年度>

4) 慣性センサ装着部位の三次元姿勢を推定する方法を検討し、絶対座標系における姿勢の推定法を確立した。

5) ゴルフパッティング動作中のヒトの体幹の回転動作について慣性センサを用いて計測した結果、慣性センサによる測定結果の精度が高いことを示し、慣性センサによる体幹部姿勢の推定方法の妥当性を示した。

6) 着地衝撃が伴う動作における大腿直筋と大腿二頭筋の筋電位と着地時の衝撃力を比較したところ、着地時の筋活動状態について最大随意収縮時の筋電位を基準として動作中の筋電位を表現することにより、測定部位の違いによる筋電位計測値への影響を除外し評価できることを示し、着地衝撃が伴う動作中の筋電位計測の信頼性を検証した。

<平成26年度>

7) 筋電位計測の信頼性および計測データの処理方法の妥当性を検証し、下肢粘弾性機構の働きと着地衝撃伝達特性の関係を検討した結果、着地衝撃の大きさは歩行時、階段降り時、ジョギング時の順に大きくなり、それに伴い下肢関節の発揮トルクが増加する。しかし、筋活動量も増大することにより、下肢の粘弾性特性が変化するため、着地時の衝撃の伝達特性も変化することがわかった。

<平成27年度>

8) 筋電位計測による筋疲労定量化システムを提案し、その有効性を検証した結果、高精度結果を得ることができ筋疲労定量化システムの有効性を検証することができた。

9) 歩行中の歩容の違いが歩行安定性に及ぼす影響を検討した結果、歩行中の身体バランスの安定性を評価する指標を提案すること

ができた。

10) サッカーキック動作中の支持脚の下肢三関節の運動学および動力学的な変量を比較した結果、助走角度が大きくなると左右方向の関節間力と前額面及び水平面の関節トルクが大きくなることが示唆された。

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1件)

丸山剛生: 立位時の頭部傾斜姿勢と身体の重心動揺との関係, 東京体育学研究, 5巻, 2014年, 査読無

[学会発表](計6件)

長谷川善通, 丸山剛生: 球技スポーツの動作における足部衝撃加速度と着地衝撃の関係, シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2012, 2012年11月16日, 愛知大学豊橋キャンパス

丸山剛生: 立位時の頭部傾斜姿勢と身体の重心動揺との関係, 東京体育学会第4回学会大会, 2013年03月06日, 国土館大学世田谷キャンパス

小山諒, 野澤むつこ, 丸山剛生: 慣性センサを用いたゴルフパッティング動作の三次元解析, シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2013, 2013年11月1日, 工学院大学新宿キャンパス

丸山剛生: 携帯機器の操作姿勢が立位時の身体重心動揺に及ぼす影響, シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2013, 2013年11月2日, 工学院大学新宿キャンパス

佐藤晋太郎, 丸山剛生: 筋疲労モデルによる表面筋電位を用いた筋疲労の定量化, シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015, 2015年10月31日, 立命館びわこ・くさつキャンパス

小谷真世, 丸山剛生: サッカーキック動作中の支持脚における負荷の定量的評価, 日本フットボール学会 13th Congress, 2016年3月13日, 東洋大学白山キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丸山 剛生 (東京工業大学・社会理工学研究科・准教授)

研究者番号: 90181833