

令和 6 年 5 月 26 日現在

機関番号：32672

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11381

研究課題名(和文)スマートウォッチによってジャンプ運動中のバネ的振る舞いを評価するシステムの開発

研究課題名(英文)Evaluation system by a smart watch for spring like behaviour during jumping exercise

研究代表者

大塚 光雄(Otsuka, Mitsuo)

日本体育大学・体育学部・准教授

研究者番号：20611312

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：スマートウォッチを用いて、ジャンプ運動中の全身のバネ的振る舞いに関わる力学変数として地面反力のピーク値を推定できることが示された。

スマートウォッチを用いてジャンプ運動中の地面反力のピーク値を評価することができるアプリケーション「JumpForce」を開発することができた。

女子短距離走選手12名を対象に測定を進めたことにより、100m走の公式タイムとJumpForceによって評価したホッピング運動中の地面反力のピーク値との関係は中程度であり、100m走の公式タイムは、 $-0.035 \times$ ホッピング運動中の地面反力のピーク値[N/kg] + 14.94によって示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在のスポーツ科学分野では、スマートフォンやポータブル型端末に内蔵されている慣性測定センサユニットを活用し、汎用性の高い機器によって、身体動作の測定・評価が行われるようになった。最近では、腕時計型のウェアラブル・コンピュータが開発され、日常で使用するスマートウォッチ内にインストールされたアプリケーションを起動するだけで、身体活動を測定・評価することが可能となった。本研究によって、これまでの先行研究で明らかにされなかったスマートウォッチを用いてジャンプ動作中の地面反力データを推定することができたため、より多くのアスリートやコーチによって簡易な手法によって力学変数を評価することが今後できよう。

研究成果の概要(英文)：1. It was found that the peak value of ground reaction force during the hopping exercise can be evaluated by using a smart watch as the valid kinetics parameter.
2. A new software for a smart watch 'JumpForce' has been developed for evaluating the peak value of ground reaction force during the hopping exercise.
3. The relationship between 100m- official record and the peak ground reaction force during the hopping was moderate. Therefore, 100-m official record can be estimated by ' $-0.035 \times$ peak ground reaction force during the hopping [N/kg] + 14.94'.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：地面反力 ホッピング運動 スティッフネス アプリケーション 運動方程式 アスリート トレーニング

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

人の基本的な身体運動の多くは、全身の弾性エネルギーを活用した反動動作によって生み出される。この全身によるバネ的な振る舞いは、ジャンプ動作で測定・評価されることが多く、スプリント走や跳躍におけるハイパフォーマンスと関係があることが明らかにされている。このバネ的な振る舞いは、その場で鉛直方向にジャンプをするスクワットジャンプやカウンタームーブメントジャンプ、さらにはジャンプを繰り返すホッピング運動(国内ではリバウンドジャンプテストと呼ぶことが多い)中の力学的変数を測定することによって簡単に評価することが可能である。

ところが、これまでのバネ的な振る舞いを評価した研究では、フォースプレート、ハイスピードカメラといった実験室に設置された高価な機器が使用されるケースが多い(図1)。したがって、そのような実験環境でデータを取得する研究では、被験者のリクルート交渉で制限がかかったり、被験者数を増やすことが簡単でなかったりするデメリットがある。

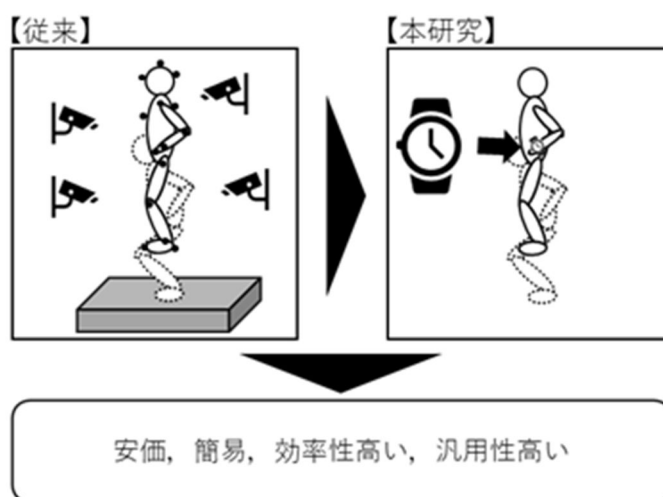


図1 本研究で取り扱う動作測定・評価方法

一方、現在のスポーツ科学分野では、スマートフォンやポータブル型端末に内蔵されている慣性測定センサユニット(以下、IMU)を活用し、汎用性の高い機器によって、身体動作の測定・評価が行われるようになった。最近では、腕時計型のウェアラブル・コンピュータが開発され、日常で使用するスマートウォッチ内にインストールされたアプリケーションを起動するだけで、身体活動を測定・評価することが可能となった。しかし、これまでの先行研究では、スマートウォッチを用いてジャンプ動作中の力学的変数を推定することが可能かは明らかにされていない。

2. 研究の目的

以上のことから、本研究では、以下の目的を設定した。

スマートウォッチを用いて、ジャンプ運動中の全身のバネ的な振る舞いに関わる力学的変数を推定した値の妥当性を明らかにすること[研究課題]

スマートウォッチを用いてジャンプ運動中の力学的変数を評価することができるアプリケーションを開発すること[研究課題]

専門種目に応じたジャンプ運動中の力学的変数に関する標準値を取得し、特異的運動種目における最終パフォーマンスを推定する回帰式を取得すること[研究課題]

3. 研究の方法

[研究課題]

本研究の被験者として、運動習慣がある者40名(身体質量 71.9 ± 10.6 kg)が本研究に参加した。

本研究では、鉛直上方向へのジャンプを繰り返すホッピング運動中の全身のバネ的な振る舞いに関わる力学的変数を分析することとした。被験者に対して、自身の準備運動、本測定の練習試技を行うように指示した。その後、被験者に対して測定試技として「できる限り高く、且つ、キック時間を短くする」最大努力でホッピング運動を連続5回するように指示した。その際、下肢の屈曲伸張動作で運動が遂行されるようにするため、測定時では手は腰に当て続けさせた。被験者1名に対して合計5試技実施するように指示した。

測定では、ホッピング動作中の地面反力データと加速度データが、それぞれ2枚の地面反力計(40cm×40cm; TFP-404011B, Technology Service, Nagano, Japan)とスマートウォッチ(Apple watch series 7, Apple, CA, USA)によって取得された(図2)。サンプリング周波数は、地面反力

データで 1000Hz，加速度データで 100Hz であった．各試技における 2~4 回目のジャンプを分析対象としたため，最終的に合計 600 ジャンプ中のデータが分析対象となった．スプリングマスモデルを用いて，地面反力データ，加速度データから，それぞれ地面反力のピーク値，脚全体のステイフネスを計算し，全身のバネ的振る舞いに関わる力学的変数とした．下肢全体のステイフネスは，地面反力のピーク値を合成重心の変位量で除すことで求めることができる．本研究での合成重心の変位量の計算では，地面反力の鉛直成分データをもとに，重力，身体質量を考慮して鉛直加速度を求め，さらにその鉛直加速度を二階時間積分することで求めた．

本研究では，地面反力計から求めた値を真値とし，スマートウォッチから求めた値に含まれた誤差をブランドオルトマンテストによって評価した．

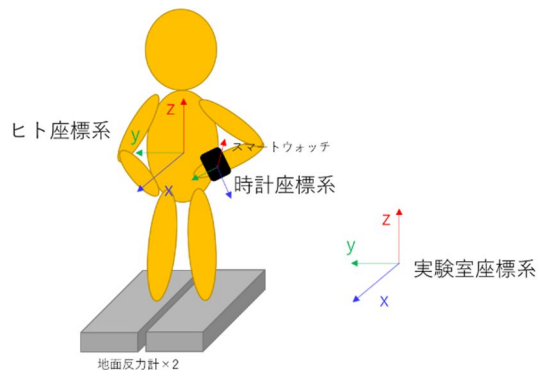


図 2 ホッピング動作の測定環境

[研究課題]

研究課題 において，スマートウォッチによって評価した力学的変数のうち，妥当な測定項目を測定・評価することができる iOS 版のアプリケーションの開発を行った．

アプリケーションの作成では，測定ボタンを押してから 2 秒後にジャンプ開始の合図を送るピープ音を鳴らす，ジャンプ開始の合図が出た時の時計座標系の加速度データからヒト座標系の加速度データへ変換し，その鉛直成分のピーク値を導出するアルゴリズムを用いた．

[研究課題]

研究課題 で開発した iOS 版のアプリケーション JumpForce を用いて，ホッピング動作中の地面反力の鉛直ピーク値の推定値が 100m 走のフィニッシュタイムとの間で関係があるかについて明らかにした．

被験者は，陸上競技短距離走を専門種目とし，週 5 日以上の頻度で専門的なトレーニングを継続する女性スプリンター 12 名（身長：159 ± 5cm；年齢：20 ± 1 歳）であった．

測定試技は，100m 走とレース直後に実施したホッピング運動 10 回であった．100m 走のレースは，実際の陸上競技の公式大会でのレースであったため，そのレース時の公式タイムをランニングのパフォーマンスとした（12.68 ± 0.42 秒；範囲：11.87–13.14 秒）．100m 走のレースでは，スパイクシューズを履いて全力疾走をするため，ホッピング運動中においてもスパイクシューズを履くように指示した．ホッピング運動では，手を腰に当てて 10 回連続で，できるだけ高く，且つ，キック時間を短くジャンプするように指示した．ホッピング運動中の地面をキックする際の地面反力のピーク値を推定し，その 10 回分の平均値を次の分析に用いた．

4. 研究成果

[研究課題]

地面反力計とスマートウォッチから求めた地面反力のピーク値の関係は $r = 0.708$ と強かった（図 3）．

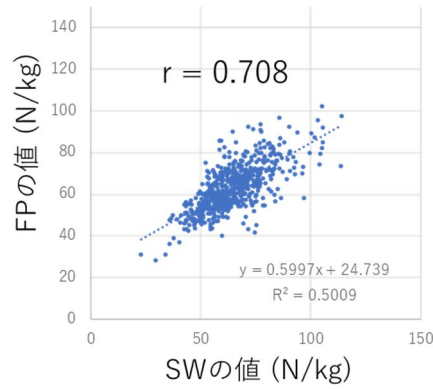


図3 地面反力計 (FP) から求めた地面反力のピーク値とスマートウォッチ (SW) から求めた地面反力のピーク値との関係

スマートウォッチで求めた地面反力のピーク値に関する固定誤差は 1.0N/kg, 比例誤差は $r = 0.229$, 誤差の許容範囲は -17.5 ~ 19.4N/kg であった (図4). これは, 地面反力計から求めた地面反力のピーク値と大きく変わらないことを示している.

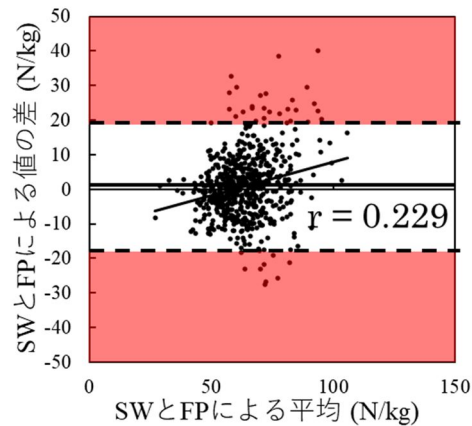


図4 地面反力計 (FP) から求めた地面反力のピーク値とスマートウォッチ (SW) から求めた地面反力のピーク値に関するブランドオルトマンテストの散布図

地面反力計とスマートウォッチから求めた脚全体のスティッフネスとの関係は $r = 0.489$ と中程度であった (図5).

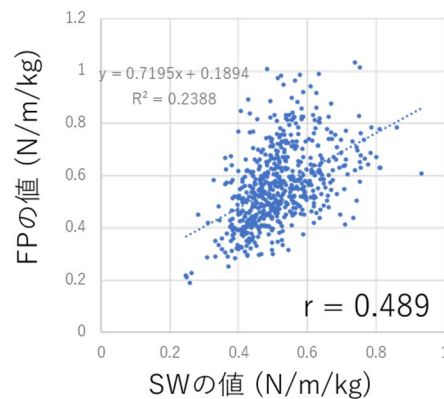


図5 地面反力計 (FP) から求めた地面反力のピーク値とスマートウォッチ (SW) から求めた脚全体のスティッフネスとの関係

スマートウォッチで求めた脚全体のスティッフネスに関する固定誤差は -0.045N/m/kg, 比例誤差は $r = -0.414$, 誤差の許容範囲は -0.30 ~ 0.21N/m/kg であった (図6). これは, 地面反力

計から求めた脚全体のスティッフネスと比べて、多くの誤差を含むことを示している。この原因の1つとして、脚全体のスティッフネスの要素である合成重心の変位は、加速度データから二階時間積分をする必要があり、その間にノイズが含まれたものと考えられた。

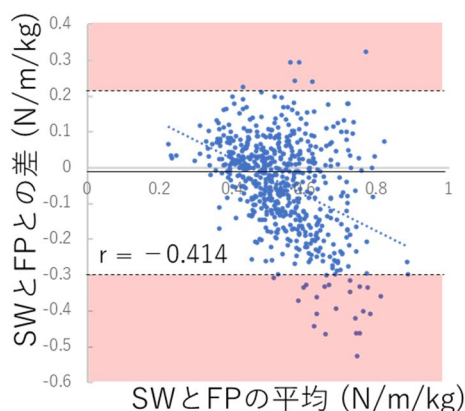


図 6 地面反力計 (FP) から求めた脚全体のスティッフネスとスマートウォッチ (SW) から求めた脚全体のスティッフネスに関するブランドオルトマンテストの散布図

[研究課題]

研究課題 から、スマートウォッチによって求めた力学的変数の中で、地面反力のピーク値の妥当性が示された。そのため、スマートウォッチを手首に固定し、地面反力計がなくてもその場でホッピング運動を繰り返すだけで、地面反力のピーク値を推定することができる iOS 専用のアプリケーション「JumpForce」の開発をすることができた。

本アプリケーションは、アップルストア (<https://apps.apple.com/jp/app/jump-force/id64446608499>) から無料でダウンロード、インストールをすることができるようにした。

[研究課題]

本研究における 100m 走の公式タイムは 12.60 ± 0.41 秒であった。スマートウォッチ用アプリケーション「JumpForce」を用いて推定した地面反力のピーク値は $66.77 \pm 6.83 \text{ N/kg}$ であった。100m 走の公式タイムと JumpForce で推定した地面反力のピーク値との関係は中程度であった ($r = -0.576$; 図 7)。100m 走の公式タイムは、直線回帰式より、 $-0.035 \times \text{ホッピング運動中の地面反力のピーク値}[\text{N/kg}] + 14.94$ の式で示すことができた。100m 走では、レース中の風速がレースタイムに影響を与える。そこで、100m 走のタイムとレース中の風速から標準条件での 100m 走のタイムを求め (12.48 ± 0.42 秒; Mureika, 2001), ホッピング動作中の地面反力のピーク値との関係を求めたところ、中程度のあることを確認した ($r = -0.555$)。このことから、JumpForce によって推定した地面反力のピーク値から 100m 走の公式タイムを推定することができる可能性が示唆された。今後は、JumpForce を用いたコーチングやコンディショニングによって、アスリートの競技力向上に貢献する研究が求められよう。

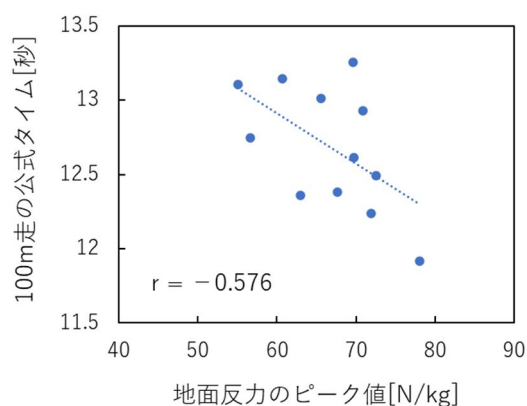


図 7 JumpForce で評価したホッピング運動中の地面反力のピーク値と 100m 走の公式タイムとの関係 ($n = 12$)。地面反力のピーク値は、ホッピング運動 10 回分の平均値を用いた。

<参考文献>

Mureika JR (2001) A realistic quasi-physical model of the 100 metre dash, Canadian Journal of Physics. 79(4):697-713.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Otsuka M., Honjo T., Nagano A., Isaka T.	4. 巻 16
2. 論文標題 Kinetics in lumbosacral and lower-limb joints of sprinters during barbell hip thrust compared to deadlift and back squat	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 PLoS ONE	6. 最初と最後の頁 e0251418
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1371/journal.pone.0251418	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 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kageyama A, Isaka T, Nishiyama T, Otsuka M
2. 発表標題 VALIDITY OF SPRING-LIKE BEHAVIOUR PERFORMANCE DURING HOPPING USING A SMART WATCH
3. 学会等名 XXIX Congress of International/Japanese Society of Biomechanics（国際学会）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 西山哲成, 大塚光雄	4. 発行年 2024年
2. 出版社 叢文社	5. 総ページ数 162
3. 書名 日本体育大学スポーツバイオメカニクステキスト	

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	伊坂 忠夫 (Isaka Tadao) (30247811)	立命館大学・スポーツ健康科学部・教授 (34315)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	西山 哲成 (Nishiyama Tetsunari)		

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