G-019

複数のウェアラブルデバイスを用いた跳躍動作計測手法の検討

Jump Motion Measurement Using Multiple Wearable Devices

東岡 秀樹 †　　松下 光範 †
Hideki Higashioka †　Mitsunori Matsushita †

1 はじめに

運動において適切な姿勢で動作を行うことは，傷害リスクの低減や競技パフォーマンスの向上につながる．そのため，自身の動作を日常的に確認し，問題となる姿勢を継続的に見直していくことが求められる．運動姿勢を評価する際には，主観的な評価のみではなく，定量化された客観的な評価を用いることが有効である．したがって，運動姿勢を評価するには，日常的に計測を行い，定量的に把握することが重要である．これまで，動作姿勢を定量化するための手法として，三次元動作解析装置が用いられてきた．こうした専門的な装置は，高精度な計測が可能な一方で，設置場所に制約があることや機器が高価であることから，日常的な利用は困難である．そこで近年，簡易な計測手法としてウェアラブルデバイスを用いた手法が注目されている [2]．ウェアラブルデバイスによる動作計測は，手軽に計測できる利点を有する一方で，計測対象が特定の身体部位に限定される場合が多い．そのため，全身運動において，特定部位の情報のみでは複数部位間の姿勢変化を十分に捉えることが困難である．

そこで本研究では，全身を用いる動作であり，姿勢がパフォーマンスに影響すると考えられる跳躍動作を対象に，市販のウェアラブルデバイスを複数用いた姿勢計測手法を提案する．提案手法では，複数の身体部位に装着したデバイスから得られる情報を用いて，跳躍動作中の部位間の相対的な姿勢変化を計測可能とする．また，提案手法の妥当性を検証するために，跳躍姿勢が結果に影響すると考えられる二重跳びを対象とした計測実験を行う．さらに，二重跳びの習熟度に基づく跳躍姿勢の傾向を分析し，提案手法によって動作結果に関係する姿勢特徴を捉えられるかを検討する．

2 提案手法

提案手法では，市販のウェアラブルデバイスを用いて跳躍動作を計測し，取得データに対して解析前処理を行う．使用するデバイスは AirPods Pro2，iPhone14Pro，Apple Watch Series 7 の 3 つとして，頭部，腹部，膝上部にそれぞれ装着する．装着した各デバイスからは，加速度およびクォータニオンを時間データと共に取得する．収集したデータに対し，リサンプリング処理，加速度補正処理，時間同期処理を順に適用した後，跳躍特性および跳躍姿勢を算出する．

(1) リサンプリング処理

各デバイスは 25 Hz でのデータ取得を設定しているが，実際の取得間隔には，環境要因や処理負荷によりばらつきが生じる場合がある．そこで，取得したデータを 25 Hz の等間隔時系列となるようにリサンプリングし，各デバイス間でサンプリング周波数を統一した．

(2) 加速度補正処理

各デバイスから取得される加速度は，デバイス固有の座標系に基づく値である．跳躍動作中には各デバイスの姿勢が変化するため，デバイス座標系のままでは軸方向が一致せず，デバイス間での比較が困難となる．そこで，クォータニオンから回転行列を算出し，デバイス座標系の加速度をグローバル座標系へ変換した．これにより，デバイスの傾きによる軸方向の変化を補正し，鉛直方向を基準とした加速度成分を算出した．

(3) 時間同期処理

各デバイスから取得されるデータには，通信遅延や時間基準の違いにより時間的なずれが生じる．そこで，iPhone の補正後の鉛直方向軸の加速度を基準とし，各デバイスの補正後の鉛直方向軸の加速度との相互相関を用いて時間遅延を推定した．腹部に装着した iPhone を身体の基準部位とみなし，推定した遅延量に基づいて各デバイスのデータ系列を時間軸上でシフトすることで，iPhone を基準とした時間同期を行った．

(4) 跳躍特性の算出

跳躍特性の算出では，iPhone の補正後の鉛直方向加速度を用い，加速度が 0 となる時点を接地状態と滞空状態の境界として接地時間および滞空時間を算出した．ただし，データは 25 Hz にリサンプリングしており（データ間隔 0.04 秒），加速度が 0 となる時点が時系列上に直接現れない場合がある．そこで，各跳躍周期における加速度の最小値前後で符号が変化する 2 点から，線形補間により加速度が 0 となる時点を推定した．得られた境界点のうち開始点と跳躍回数に対応する終了点を選択し，分析対象の跳躍区間を抽出した．さらに，文献 [1] の手法を用いて，滞空時間から跳躍高を算出した．

† 関西大学大学院総合情報学研究科, Graduate School of Informatics, Kansai University
〒 569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2 丁目 1-1

Copyright © 2026 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.

(5) 跳躍姿勢の算出

跳躍姿勢の算出では，まず各デバイスのクォータニオンから，各部位の角度を基準姿勢からの変位として求めた．基準姿勢は，5 秒間の基準姿勢計測のうち 3〜4 秒の区間を用いた．次に，頭部および膝上部の角度から腹部の iPhone の角度を差し引き，腹部を基準とした相対角度を算出した．さらに，分析区間において加速度が最小および最大となる時点を，それぞれ接地時および滞空時の代表時点とした．

3 実験

本稿では，二重跳びにおける習熟度による動作傾向を分析するため，情報系学部に所属する大学生・大学院生男女 16 名を対象に，提案システムを用いた二重跳びの計測実験を行った．なお，実験参加者は全員，二重跳びを跳んだ経験を有する者とした．実験参加者には，ウェアラブルデバイスを装着した状態で 20 回を目標とする試行を 3 回，非装着の状態で回数に上限を設けない試行を 3 回行ってもらった．なお，装着条件と非装着条件の計測は疲労の影響を避けるため別日に実施した．各試行は，前回し跳びを 3 回行った後，20 回を目標に二重跳びを行うものとし，各条件で 3 回ずつ実施した．装着条件下では，各試行を行うに際して，5 秒間の基準姿勢計測を行った．

3.1 分析

対象動作である二重跳びについて，2 節で述べた処理に基づき，跳躍特性および跳躍姿勢に関する指標を算出した．習熟度の指標には，二重跳びの最高成功回数を用いた．最高成功回数は，デバイス装着時と非装着時の全試行を通じた最大値とし，実験参加者 16 名それぞれについて 1 件ずつ取得した．最高成功回数は，最大 82 回，最小 6 回，平均 30.9 回であり，習熟度には個人差がみられた．一方，跳躍特性および跳躍姿勢の指標はデバイス装着時の計測データから算出した．各実験参加者について，装着時に最も多く成功した試行を分析対象として選定し，接地時間，跳躍高，ならびに各部位の姿勢指標を算出した．さらに，各指標について平均および標準偏差を求め，最高成功回数との相関係数を算出することで，習熟度と跳躍特性・跳躍姿勢との関係を分析した．

4 結果

探索的な分析として，二重跳びの習熟度と跳躍特性および跳躍姿勢との単相関を評価した．最高跳躍回数との相関係数および各指標の平均・標準偏差を，跳躍特性については表 1 に，跳躍姿勢については表 2 に示す．本分析の結果，二重跳びの習熟度（最大成功回数）は，接地区間における足相対角度および膝上角度と有意な負の相関を示した．膝上角度が負の相関を示したことにより，多く跳べる者ほど接地区間における膝の動きが小さく抑えられている傾向が観察された．また，接地時間および跳躍高についても，有意には至らなかったものの負の相関がみられ，成功回数が多い参加者ほど短い接地と低い跳躍で動作を行う可能性が示唆された．加えて，接地区間における腹部角度についても，有意ではないものの，多く跳べる者ほど角度変化が小さい傾向がみられた．一方，滞空時における姿勢に関する指標は，最高成功回数との明確な関連を示さなかった．ただし，本分析は実験参加者数が限られるため（n = 16），有意に至らなかった指標については，今後さらなる検証が必要である．

表 1: 跳躍特性と最高跳躍回数との相関係数（$n = 16$）

項目	平均	標準偏差	相関係数
接地時間（秒）	0.13	2.7×10^{-2}	-0.42
跳躍高（m）	0.22	3.7×10^{-2}	-0.40

表 2: 跳躍姿勢と最高跳躍回数との相関係数（$n = 16$）

	接地			滞空		
計測部位	平均	標準偏差	相関	平均	標準偏差	相関
頭部角度	4.4	9.6	-0.03	0.98	10.7	0.04
腹部角度	-21	7.6	0.38	4.3	13.4	-0.34
膝上角度	14	6.2	$\underline{-0.51}$	12	7.5	-0.28
足相対角度	35	11.4	$\underline{-0.53}$	7.9	16.4	0.15
頭相対角度	26	10.4	-0.30	-3.3	17.9	0.27

（下線部: $p < 0.05$）

5 おわりに

本稿では，市販のウェアラブルデバイスを複数用いた跳躍動作の姿勢計測手法を提案した．二重跳びを対象とした計測実験により習熟度に基づく跳躍姿勢の傾向を分析した結果，提案手法によって動作結果に関係する姿勢特徴を捉えられる可能性が示唆された．今後は，より多くのデータを収集して動作傾向の分析を進めるとともに，跳躍特性および跳躍姿勢に基づく習熟度評価の可能性を検討する．これにより，高価な三次元動作解析装置を用いずとも継続的な計測・評価が可能なシステムの構築につなげる．

参考文献

[1] 図子あまね, 苅山靖, 図子浩二: リバウンドジャンプテストを用いた跳躍選手の専門的な下肢筋力・パワーに関する評価, 体力科学, Vol. 66, No. 1, pp. 79–86 (2017).

[2] 岩本駿平, 松下光範, 堀寛史, 杉本明文: けが予防を目的とした跳躍動作の継続的計測による運動特性の評価, 第 17 回データ工学と情報マネジメントに関するフォーラム, 8K-04 (2025).

Copyright © 2026 by
The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers and
Information Processing Society of Japan All rights reserved.