

全身運動を対象とした IMU 式モーションキャプチャシステムの正確性の検証

身体運動科学研究領域

5019A013-7 小野 夏実

研究指導教員:矢内 利政 教授

【緒言】全身運動を対象にしたキネマティック分析は多くの分野における実験的研究で行われている。全身運動の動作計測において広く用いられている光学式モーションキャプチャシステムは、位置データの精度が極めて高い一方、この機器は高価で測定可能範囲の制限などの欠点があるため、スポーツの実践現場や障害物が多くある環境で撮影することは困難である。近年のセンサ技術の進歩と小型化に伴い、比較的安価で、撮影可能範囲に制限が少ない『IMU 式モーションキャプチャシステム』の開発が進んでいる(Jung, Kang, and Kim 2010; Tsai et al. 2010)。IMU 式システムは、計測データを無線でコンピューターに送信することで、スポーツ実践現場や日常生活など従来のカメラや光学式システムでは計測困難な環境下で容易にデータを取得できる。しかし、IMU 式モーションキャプチャシステムの精度を検証した研究の多くは、少数の IMU を用いた特定の部位、変数を対象としたものであり、スポーツ動作解析に用いられるような剛体リンクモデルを用いた全身のキネマティック変数の正確性や信頼性を検証した研究は見当たらない。そこで、本研究では、全身運動について、IMU 式モーションキャプチャシステムを用いて計測・算出したキネマティック変数の正確性を、真値または光学式モーションキャプチャシステムによる計測・算出値を参考値として検証するこ

とを目的とした。

【方法】17 個の IMU からなる IMU 式モーションキャプチャシステム(Perception Neuron 2.0, NOITOM 社製)を用いてスクワット・歩行・垂直ジャンプ・前方ジャンプの 4 つの全身運動を 120Hz で計測した。計測前にセンサ装着者の人体計測データを専用アプリケーションに入力し、指定された 4 つのキャリブレーション姿勢を用いて IMU のキャリブレーションを行った。IMU 式システムが出力する各セグメントの位置、速度、加速度、方位(四元数)を用いて、身体重心の位置・速度、セグメント重心の位置・速度・長軸の上下・左右角を算出した。垂直ジャンプと前方ジャンプについては、自由落下区間の上下方向の身体重心加速度も算出した。IMU 式システムの計測精度を検証するため、8 台の赤外線カメラ(240Hz)を用いた光学式モーションキャプチャシステムで同時に動作を計測し、身体標認点に貼付した反射マーカの 3 次元座標をもとに、各変数を算出し、それを参考値とした。IMU 式システムと光学式システムから算出した変数の一致度を検証するため、級内相関係数(ICC(3,1))、差分(光学式—IMU 式)を算出した。加えて、位置、速度、角度のそれぞれについて範囲(最大値—最小値)を算出した。また、真値がわかる変数に関しては、該当する区間(例:自由落下区間)の平均値を算出した。分析はすべて MATLAB(R2020a, The

MathWorks 社製)で行った。

【結果と考察】各動作における 1 試技の身体重心位置の経時変化を示す(図)。スクワット・垂直ジャンプ・前方ジャンプの上下成分と、歩行・前方ジャンプの前後成分(動作方向の成分)における身体重心位置と身体重心速度の ICC は、前方ジャンプ試技における身体重心速度($ICC=0.85$)を除き、0.93 以上であった。これは、IMU 式システムと光学式システムの計測値が相対的に高く一致していることを示すものであり、主な動作方向の成分における身体重心位置、速度の計測に関する IMU 式システムの十分な信頼性が示された。

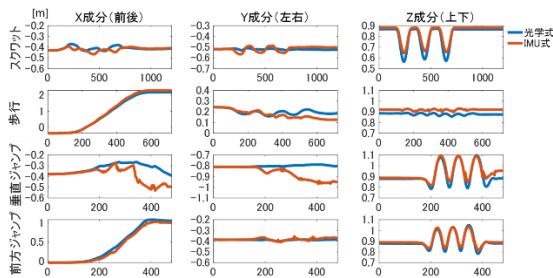


図 身体重心位置の経時変化

身体重心位置の上下成分において、IMU 式システムの身体重心位置の上下成分の計測誤差は、動作範囲に関係なく 0.05 m 以下の過大評価、身体重心速度の上下成分の計測誤差は、速度範囲の 4 % 以内と、上下方向における高い妥当性が示された。

身体重心位置と身体重心速度ともに、水平成分の差分の大きさと標準偏差において垂直ジャンプ試技はほかの 3 試技と比較して大きい値を示した。空中期の存在するジャンプ動作においては静止状態の IMU が存在しないため、速度データに現れる積分ドリフトの影響を除去することができず、位置と速度に大きな誤差が表れたものと考えられる。さらに、接地などのインパクトによるセンサの振

動やセグメント上での移動は、計測データの補正精度に影響を及ぼす。これらのことから、水平成分に関しては、空中期とインパクトによって誤差が大きくなる可能性が示唆された。

各セグメント長軸の上下角、左右角については、3 回の試技内で、差分や差分の標準偏差が突出して大きい試技が複数のセグメントで見受けられた。二つのシステムが使用する生体力学モデルの違い、IMU 式システムが定義したキャリブレーション姿勢と実際のキャリブレーション姿勢との違いに加えて、試技中の IMU とセグメント間のズレなどが、差分や差分の標準偏差に影響を与える可能性があり、IMU を各セグメントにテープで固定するなど装着方法を改善することによって計測誤差を減少させ得るものと考えられる。

垂直ジャンプと前方ジャンプ試技において、自由落下運動中の身体重心加速度の精度検証を行ったところ、両システムともに誤差が 0.12 m/s^2 以内の高い精度を示した。

スクワットと歩行試技において、接地中の両足の速度の精度検証を行ったところ、両システムともに誤差は 1 cm/s 未満であった。身体の一部が静止する区間のある運動においては、IMU 式システム専用ソフトに搭載されている接地判定アルゴリズムによって接地中の足部の速度が高い精度で計測されたと考えられる。

本研究の結果から、本研究で使用した IMU 式システムは身体重心の位置と速度について、上下成分に着目した計測や水平成分の空中期や激しいインパクトの含まない全身運動に対する剛体リンクモデルを用いた計測への応用の可能性が示唆された。