

投球腕を逆動力学解析する方法論における 身体モデリングの妥当性検証

身体運動科学研究領域

5016A043-9 山岸 謙一

研究指導教員：矢内 利政 教授

【緒言】投動作を用いる代表的なスポーツの1つに野球がある。野球での投動作は0.07~0.32秒(信原, 2012)という極めて短い時間内に投球腕を高速に達するまで加速することから、上肢の外傷・障害は後を絶たない。米国メジャーリーグ選手を対象にした調査によると、発症した外傷・障害の内、投球肩関節、投球肘関節に関わる外傷・障害が全体の1, 2位を占めていたと報告されている(Posner et al., 2011, Conte et al., 2016)。中でも、最も頻発しているのが内側側副靭帯損傷である(Cain et al., 2010, Hodgins et al., 2016)。内側側副靭帯とは上腕骨と尺骨を繋ぎ、外反方向への荷重(以降、外反ストレスと呼ぶ)に抵抗し、肘関節を安定させる重要な靭帯である。しかしながら、過度な外反ストレスが繰り返し加えられることで、この靭帯は損傷もしくは断裂する。つまり、野球選手は日々繰り返される投動作の中で内側側副靭帯に対して過度な外反ストレスを繰り返し与えていると考えられる。従って、投動作中の外反ストレスを計測し、投球肘障害のリスクを知ることは、内側側副靭帯損傷を含む投球肘関節障害の予防のために効果的であると考えられる。

外反ストレスを算出するにはニュートンの運動方程式およびオイラーの運動方程式を応用した逆動力学法を用いる。逆動力学法を用いて身体運動を解析する際には、身体部位を剛体と仮定し各セグメントを設定する必要がある。とりわけ、剛体セグメントの設定、関節座標系の定義が重要な条件である。しかしながら、実験環境や実験器具によってセグメントの数を削減せざるを得ない場合や、分析対象となるセグメントが1つに限定され関節座標系を定義できない場合が生じる。つまり少数のセグメントで構成されたモデルを採用する場合の弱点は、実際は可動する関節で連結された複数のセグメントを1つの剛体と仮定するこ

とによる誤差と関節座標系を定義できないことによる誤差の2点である。この2点による誤差を明らかにすることで、少数セグメントのモデルで簡易的に外反ストレスを推定する妥当性が検証できる。そこで、本研究の目的は、少数のセグメントで投球腕をモデリングすることによる影響を検証することであった。

【方法】被験者は野球経験のある男子大学生14名(身長 $1.72 \pm 0.05\text{m}$ 、体重 $68.9 \pm 5.8\text{kg}$ 、年齢 20.6 ± 1.2 歳)で、全被験者、右投げであった。光学式3次元動作解析システム(VICON, Oxford Metrics社製)を用いて、被験者の身体表面に貼付した反射マーカの3次元位置座標を計測した。撮影には5台の赤外線カメラ(VICON VERO, Oxford Metrics社製)を撮影速度250Hzに設定し、被験者の投動作開始から終了までを撮撮影した。投球腕について、以下のモデルを設定し、逆動力学法を用いて外反ストレスを算出した。第一は1セグメントモデルで、手部+ボール+前腕を1つの剛体とみなしたセグメントがその近位端に加えられた力-偶力系によって空間内を自由に運動するモデルとした。第二は2セグメントモデルで、手部+ボール+前腕を1つの剛体とみなした遠位セグメントと上腕を1つの剛体とみなした近位セグメントが2軸性関節で連結されたモデルとした。第三は3セグメントモデルで、ボール+手部を1つの剛体とみなしたセグメントと、前腕と上腕のそれぞれを剛体とみなしたモデルで構成されたモデルとした。本研究において3セグメントモデルにて算出される値を真値とした。真値とした3セグメントモデルを用いて算出した外反ストレスの最大値から1, 2セグメントモデルを用いて算出した外反ストレスの最大値に含まれる誤差を算出するために二乗平均平方根(RMSE)を用いた。可動性を有する関節を剛体と仮定することによるRMSE(A)、関節座標系を

定義できないことによる RMSE (B) 、2つの影響の RMSE (C) を算出した。1、2 セグメントモデルを用いて算出した外反ストレスの最大値に含まれる誤差を検証するために、A、B、C について反復測定のある一元配置分散分析 (モデリング) を行い、事後検定には Tukey' s test を用いた。有意水準は 5%未満とした。また、3 セグメントモデルから算出した外反ストレスの最大値との関連を明らかにするために、1、2 セグメントモデルから算出した外反ストレスの最大値それぞれについて Pearson の積率相関係数を用いて分析した。有意水準は 5%未満とした。

【結果】反復測定のある一元配置分散分析の結果、A と C との間にストレート ($F=109.234, p<0.05$) 、カーブ ($F=55.045, p<0.05$) 共に有意差が認められた。同様に、B と C との間にもストレート ($F=109.234, p<0.05$) 、カーブ ($F=55.045, p<0.05$) 共に有意差が認められた。2 セグメントモデルと 3 セグメントモデルから算出された外反ストレスの最大値の関連は、ストレート ($r=0.861, p<0.01$) とカーブ ($r=0.835, p<0.01$) 共に有意な相関関係が認められた (図 1) 。1 セグメントモデルと 3 セグメントモデルから算出された外反ストレスの最大値の関連は、ストレート ($r=0.892, p<0.01$) 、カーブ ($r=0.839, p<0.01$) 共に有意な正の相関関係が認められた (図 2) 。

【考察】1、2 セグメントモデルを用いて投球腕を単純化すると、算出される外反ストレスの最大値は過大評価されることが明らかになった。この原因は可動性を持つ手関節を剛体と仮定することによる影響であると考えられる。しかしながら、1、2 セグメントモデルを用いて算出された外反ストレスの最大値には、真値と強い正の相関関係が認められた。従って、1、2 セグメントモデルを用いて算出される外反ストレスの最大値から、外反ストレスの大きい選手を特定できること、試技間比較や個人間比較に利用できることが示された。

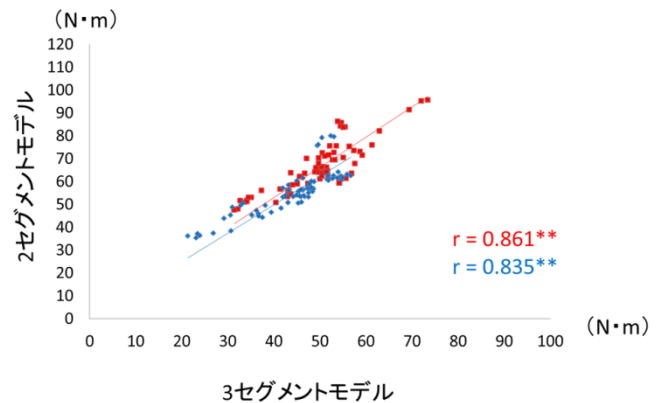


図 1 : 2 セグメントモデルと 3 セグメントモデルの関係
(赤がストレート、青がカーブを示す。)

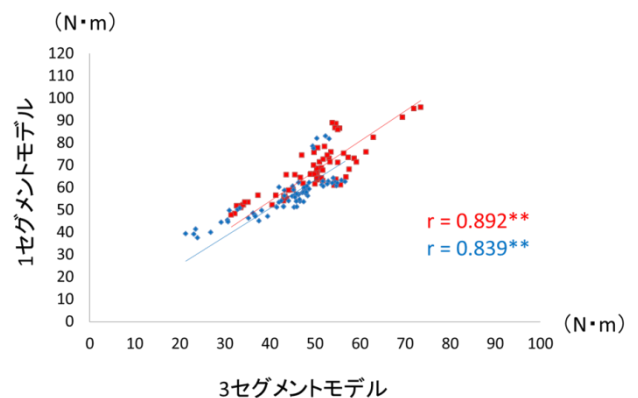


図 2 : 1 セグメントモデルと 3 セグメントモデルの関係
(赤がストレート、青がカーブを示す。)