

平成 30 年 8 月 22 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25282193

研究課題名(和文) 投球動作，力学的負荷，MRI所見，障害発症を結ぶプロスペクティブ研究

研究課題名(英文) Prospective study on tying pitching mechanics, joint load, MRI image, and onset of shoulder injury

研究代表者

松尾 知之 (Matsuo, Tomoyuki)

大阪大学・医学系研究科・准教授

研究者番号：00209503

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、投球動作の欠陥動作を、動作分析による運動学的変数から抽出し、それらと動力学的変数やMRI所見との関係、そして投球障害肩との関係性について、前向き調査を実施した。対象者は大学野球および社会人野球の投手で、最終的に採用されたのは計26名であった。そのうち、研究期間中に投球障害肩と診断された投手は3名で、そのうち2名は完治2ヶ月以上の比較的重い症状であった。

この2名に共通した特徴は、胸鎖関節の可動域不足と剪断力/法線力の比の急上昇のタイミングで、肩甲帯全体の動きの重要性が示唆された。一方で、動力学変数やMRI所見では、投球障害肩の発症を予測することは難しいことも示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to investigate relationships among defective pitching mechanics, joint kinetics, prognosis from MRI image, and onset of shoulder injury. Among 14 college baseball pitchers and 12 semi-professional pitchers, three pitchers developed shoulder injuries during the survey: Two of them had severe glenoid labrum tear which required over 2 months for recovery.

Common features of the injured pitchers were deficit of range of motion for sternoclavicular joint and timing of abrupt increase of shear force ratio to normal force. It suggests that movement of not only glenohumeral joint but whole shoulder girdle is important to prevent shoulder injury. We could not predict shoulder injury from the joint kinetics and MRI images.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：投球障害 スポーツ科学 スポーツ医学 生体工学 野球

1. 研究開始当初の背景

投球障害のうち、肘関節障害に関しては、臨床所見からの推察 (Cain et al, 2003; Gerbino, 2003)、疫学的検証 (Lyman et al, 2001; Saper et al, 2018)、バイオメカニクス研究による運動学的危険因子からの推察 (Aguinaldo et al, 2009; Matsuo et al, 2002) などにより、投球障害肘の危険リスクおよびメカニズムの同定が進んでいる。また、プロスペクティブ (前向き) 研究によって運動学的危険因子 (外反トルク) と発症の関係が実証されたことから (Anz et al, 2010)、臨床所見による推察から運動学的危険因子を経て発症に至るまでの投球障害肘 (内側型投球障害肘) 発症メカニズム解明のエビデンスが出揃ったと言える。

一方、投球障害肩の発症メカニズムの解明に関しては、肘に比べて遅れている。それは、肩関節の構造が肘関節に比べ複雑で、可動域も肘関節に比べて著しく大きいことが主な原因である。

肩関節障害に関しては、臨床所見からの推察 (Anderson et al, 2010; Andrews et al, 1985)、疫学的検証 (Lyman et al, 2001; Oberlander et al, 2000) などのデータは蓄積されつつあるが、実際の動作との関連性については、未だデータ不足の状態にある

(Werner ら, 2001, 2007)。臨床からの推察や現場指導者の推定などから、肩関節障害に陥りやすい動作が、幾つか挙げられている。例えば、所謂、“肘下がり” 動作と言われる加速期に肩外転角が小さい動作は欠陥動作の代表的なものとして知られている (Matsuo et al, 2002; Whiteley, 2007)。また、投球動作のテイクバック時に過度の水平外転動作を行う動作は、“hyper-angulation” と呼ばれ、研究者および指導者から避けるべき動作として知られている (松尾ら, 2013; Whiteley, 2007)。

また、肩甲骨の可動域が小さいことも肩関節障害に陥る危険性が高いとも言われている (Meyer et al., 2008)。

しかしながら、このような欠陥動作を持った投手が実際に肩関節障害に陥るのかどうかを検証した研究は、筆者らの知る限りでは、報告されていない。さらに、力学的な負荷が投球動作のどのフェイズで、どれ位の強さで加わるのかという具体的な検証と、それらと障害発症の関係性については、未だ未解明のままである。

2. 研究の目的

本研究では、上述した欠陥動作と障害発症の関係を明らかにするとともに、欠陥動作と肩関節に加わる力学的負荷との関係、そして肩関節に加わる力学的負荷とMR I 所見異常の関係を明らかにすること、さらにMR I 所見と障害発症の関係を明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 研究対象

研究対象は、野球経験 7 年以上の大学野球投手および社会人野球投手 52 名であったが、サイドハンドまたはアンダーハンド投法の投手、2 年以上継続的に計測できなかった投手、し、計測期間途中で投法を変更した投手を除外した。最終的に大学野球投手 14 名 (身長: $1.71 \pm 0.06\text{m}$, 体重: $67.2 \pm 6.0\text{kg}$, 初回計測時の年齢: 20.1 ± 1.0 歳)、社会人投手 12 名 (身長: $1.79 \pm 0.05\text{m}$, 体重: $73.9 \pm 4.9\text{kg}$, 年齢: 21.9 ± 1.5 歳) のデータを採用した。

研究対象者の初年度計測時の投球速度は、大学野球投手 31.2 ± 2.6 m/s、社会人投手 37.4 ± 0.6 m/s であった。これらの値と従来の研究 (Fleisig, et al., 1999; Escamilla et al., 2001; Riff et al., 2016) を比較すると、前者は大学野球投手としては遅く、平均速度だけで評価すると高校生レベルの投手群であったといえる。一方、社会人投手は、プロ投手や各国代表チームの速度に匹敵する投球速度であった。

(2) 動作分析

動作分析に先立って、研究内容を口頭および書面にて説明し、研究参加の内諾を書面にて得た。キャッチボールを含む十分なウォーミングアップを行った後、研究対象者の体表 47 箇所に反射マーカー (投球側第三指末節骨遠位部: 半径 3mm、前述以外: 半径 7mm) を貼付した。

その後、室内マウンドからの投球練習を含むウォーミングアップを再度行い、投球動作の計測に臨んだ。速球 15 球を 1 セットとし、10 分程度の十分な休憩を挟み、2 セットの投球を行った。その際の投球動作を光学式動作解析システム (VICON MX システム) で三次元計測を行った。

施設・設備の関係上、大学野球投手と社会人野球投手を同一施設・設備で計測することができなかったため、大学野球選手に関しては、300Hz の高速カメラ 8 台のシステムを使用し、社会人野球選手に関しては、1000Hz の高速カメラ 16 台のシステムを使用して計測した。

光学式動作解析システムにより得られた位置データから、身体各部位の関節角度や角速度を求めた。肩甲骨の動きに関しては、肩甲骨の表面を軟部組織が覆っているために、現在の計測システムでは、投球中の肩甲骨動態を正確に計測することは不可能である。したがって、本研究では、肩甲骨との運動性が高い鎖骨の動きで代替することとした。すなわち、踏み出し足着地時の胸鎖関節後退角 (鎖骨の近位から遠位に向かう単位ベクトルを胸郭座標系の水平面に投射した角度) を求めた。

また、日本人アスリートの身体部分慣性特性 (阿江ら, 1992) と前述した運動学的変数をニュートン・オイラーの運動方程式に代入することによって、投球障害肩関連の危険因子と報告されている肩関節の関節力

(resultant joint reaction force)を算出した。そして、その成分を体幹座標系の矢状面に投射した剪断力 (shear force) と左右軸方向の法線力 (牽引/押圧力: normal force, distraction force) に分解するとともに、その比 (剪断力/法線力) を求めた。尚、求めた力を体重で除することによって、体重当たりの力として、標準化した。

さらに、動作分析によって得られたマーカーの3次元座標値を全身筋骨格モデル (SIMM, Musculographics Inc.) に投入することによって、肩甲上腕関節内で生じると考えられる正味の関節力 (net joint reaction force) を、肩甲上腕関節で生じている合力や合モーメントから筋力や重力で発生する力やモーメントを差し引いた値として推定した (Delp et al., 2007)。

(3) MRI 撮影

MRI 撮影は、動作分析と異なる日で、可能な限り投球や肩の筋力トレーニングなどを行っていない日に実施した。

MRI 撮影への参加に関しては、動作分析と同時に、研究内容を口頭および書面にて説明し、研究参加の内諾を書面にて得た。

MRI 撮影に関しても、大学野球選手と社会人野球選手を同一施設・設備を利用することができなかったが、いずれも 1.5 テスラの高磁場 MRI を用いた (前者: SIEMENS MAGNETOM Espree、後者: SIEMENS MAGNETOM Sygo)。

撮像の評価ターゲットは、肩甲骨関節窩・関節唇、上腕骨頭、腱板、肩峰下滑液包とした。撮像肢位は下垂位内外旋中間位、撮像条件は、TSE-Blade 法により T2 強調画像 3 方向 (横断像、斜位冠状断像、斜位矢状断像)、脂肪抑制 T2 強調画像 1 方向 (横断像)、SE 法により T1 強調画像 1 方向 (横断像) とし、斜位冠状断では棘上筋に平行に、斜位矢状断では棘上筋に垂直とした。スライス幅は 4mm で、FOV と matrix は上記の機種により、それぞれ 180mm または 160mm、256×256 または 358×448 であった。造影剤を使用せず、投球腕のみ撮像した。

画像の読影は整形外科専門医が、信号変化と形態変化を観察し、以下に示す Grade0~2 の 3 段階に分類した。

Grade0: 正常

Grade1: 軽度信号異常を認める。

Grade2: 明らかな信号異常もしくは形態変化を認める。

4. 研究成果

(1) 動作同一性の検証

採用された投手の肩関節 3 自由度 (内外転、水平内外転、内外旋) および胸鎖関節 2 自由度 (挙上/下垂、前突/後退) の経年変化を見るために、級内相関係数 (ICC_{1,1}) を求めると、どの投手も 0.9 を超え、高い同一性が認められた。すなわち、少なくとも上肢帯の動きに

関しては、経年変化はほとんど見られなかったと解釈できる。

(2) 欠陥動作の保持者の同定

欠陥動作の指標として、踏み出し足の着地時における胸鎖関節後退角度と肩水平外転角度、ボールリリース時の肩外転角度を求めた (表 1)。

表 1. 胸鎖関節後退角、肩水平外転角、肩外転角の平均値と標準偏差

関節角度 (deg)	大学生 (N=14)	社会人 (N=12)
最大胸鎖後退*	-59.9±5.1	-51.7±8.0
肩水平外転@FC	33.2±18.6	38.2±15.7
肩外転@BRL	94.7±9.9	93.0±4.3

@FC: 踏み出し足の着地時、@BRL: ボールリリース時。*: p<0.05

踏み出し足着地時の肩関節水平外転角度に関しては、先行研究 (Fleisig et al., 1996; Escamilla et al., 2001) を参考に、肩関節水平外転角度が 50° を超える社会人投手 2 名 (図 2、青実線) および大学投手 1 名 (図 1、青点線) について、肩関節障害に陥る可能性が高い投手として着目した (以下、肩関節障害危険因子保持者とする)。

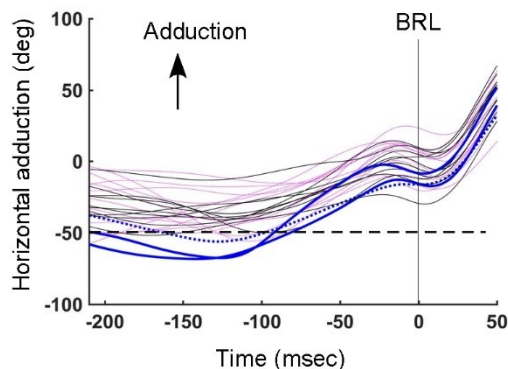


図 1. 肩水平内外転角度。各線は個人の代表値。青太実線は投球障害肩に陥る危険因子として知られる、踏み出し足の着地時に大きな水平外転角度を示した社会人投手。青太点線は同じく危険因子を有する大学投手。黒線および桃色の点線は、危険因子を有さない社会人投手と大学投手。水平な点線は判定値。BRLはボールリリースの時刻。

また、リリース時の肩関節外転角に関しては、先行研究 (Escamilla et al., 2001; Fleisig et al., 1996) を参考に、80° を下回る投手を肩関節障害危険因子保持者と設定したが、大学、社会人ともに該当する投手はいなかった。

胸鎖関節後退角に関しては、筆者らの知る限り、投球動作中の動態について報告した研究はないため、本研究では、全対象者の平均値および標準偏差 (-61.6±6.7) を基に、-50° に至らない、社会人野球投手 2 名を肩関節障害危険因子保持者とした (図 2)。

大学投手群と社会人投手群の群間差を t 検定で比較したところ、最大胸鎖関節後退角のみが 5%水準で有意となった。

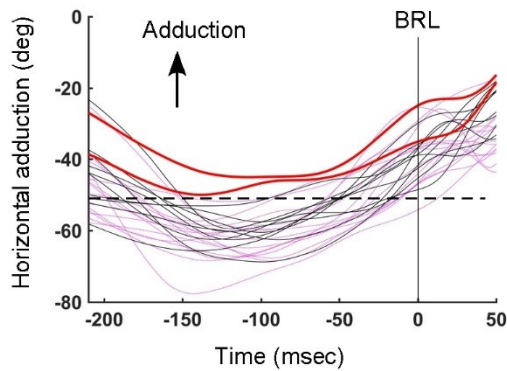


図2. 胸鎖関節後退角度(負値). 各線は個人の代表値. 赤太線は最大後退角が基準値(水平点線)を下回った社会人投手. 黒線および桃色の点線は、基準値を上回った社会人投手と大学投手. 水平な点線は判定値. BRLはボールリリースの時刻.

(3) 動力学的変数

投球障害肩に陥る危険因子として肩関節法線力と剪断力を求め、体重で標準化した結果、社会人投手の方が大学投手よりも、いずれの項目においても5%水準で有意に大きな値を示した(表2)。

表2. 投球中に上腕に加えられた最大法線力および最大剪断力.

関節力 (%BW)	大学生 (N=14)	社会人 (N=12)
最大法線力*	-1.25±0.24	-1.52±0.36
最大剪断力*	0.69±0.10	0.82±0.15

%BW: 体重で標準化した力. *: p<0.05

前項において肩関節障害危険因子保持者とされた投手の最大法線力は、危険因子を保持しない投手と同程度であり、特に目立った特徴はなかった(図3)。

また、欠陥動作を示す指標(最大胸鎖関節後退角、踏み出し足着地時の肩関節水平内転角、ボールリリース時の肩関節外転角)と最大法線力との相関係数は、それぞれ-0.09、0.00、-0.04と0に近い値を示し、これらの欠陥動作と最大法線力との関係性は認められなかった。

一方、最大剪断力に関しては、投球障害危険因子保持者と非保持者との比較においては、時系列パターンやその振幅に大きな違いは認められなかったもの(図4)、踏み出し足着地時の肩関節水平内転角との間に、有意な相関関係(-0.49, p<0.05)が認められた。すなわち、踏み出し足が着地する際に肩関節の水平外転が大きければ、最大剪断力が大きくなる傾向がある、ということである。

肩甲骨関節窩内での剪断力と法線力の比は、上腕骨頭が関節窩でスライドを起こすか否かの重要な指標である。関節窩の位置(方向)によって、スライドが生じる力の大きさは異なるものの、関節窩内での法線力が50Nの場合には、剪断力がおおよそ25Nを超えることはスライドが生じる危険閾であると報告されている(Dickerson et al., 2007)。

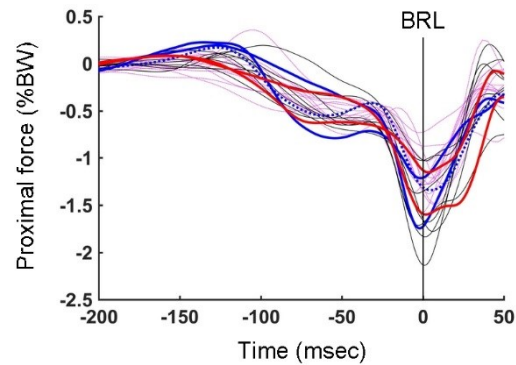


図3. 肩甲上腕関節法線力. 各線は個人の代表値. 青線は肩関節水平外転角における危険因子保持者、赤線は胸鎖関節後退角における危険因子保持者. 実線は社会人投手. 点線は大学投手. 図2の青線と図3の赤線に対応. 黒細線は社会人投手の危険因子無保持者. 桃色の細い点線は大学投手の危険因子無保持者. BRLはボールリリースの時刻.

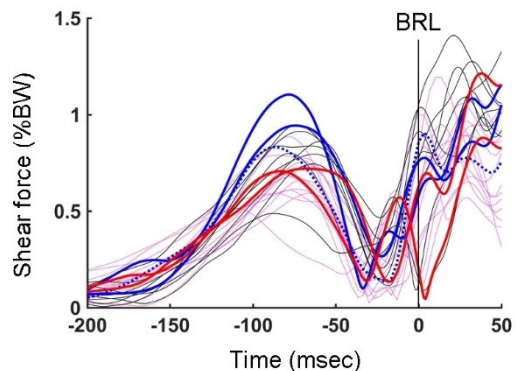


図4. 肩甲上腕関節剪断力. 各線は個人の代表値. 青線は肩関節水平外転角における危険因子保持者、赤線は胸鎖関節後退角における危険因子保持者. 実線は社会人投手. 点線は大学投手. 図2の青線と図3の赤線に対応. 黒細線は社会人投手の危険因子無保持者. 桃色の細い点線は大学投手の危険因子無保持者. BRLはボールリリースの時刻.

本研究における剪断力/法線力は、セグメント間の総和として算出されたものであるために、関節窩での直接的な剪断力/法線力とは異なるものの、原理的には剪断力/法線力が大きいことは、肩甲上腕関節に負担を強いことになる。

投球中には、リリース付近以外は、ほぼ全域で1を越える値を示した(図5)。極めて高値を示す時間帯は、リリース前50msから200msまで投手によってバラツキがあった。しかし、胸鎖関節後退角の可動域不足のために投球障害肩危険因子保持者とされた赤線で示された投手は、同時刻付近(-200ms付近と-130ms付近)で急激な高値を示した。また、肩関節水平外転過多のために危険因子保持者とされた3名の投手(青線)も、ほぼ同時刻(-100ms付近)に急激な高値を示した。

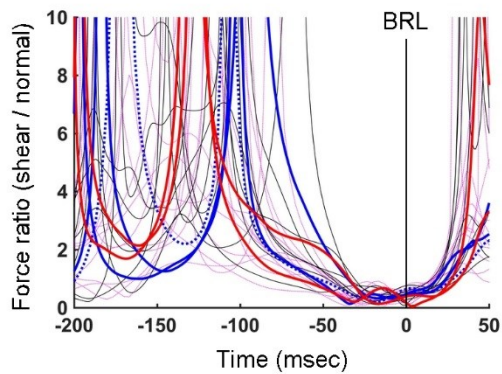


図5. 剪断力と法線力の比. 各線は個人の代表値. 青線は肩関節水平外転角における危険因子保持者、赤線は胸鎖関節後退角における危険因子保持者. 実線は社会人投手. 点線は大学投手. 図2の青線と図3の赤線に対応. 黒細線は社会人投手の危険因子無保持者. 桃色の細い点線は大学投手の危険因子無保持者. BRLはボールリリースの時刻.

本研究では、全身筋骨格モデルによって、肩甲上腕関節窩と上腕骨頭との間に生じる正味の関節力を推定した。

そのピーク値の絶対値は、**resultant joint reaction force** の10倍を超えるケースは稀ではなく、**normal force** や **shear force** の変化パターンも図4や図5で示したものと全く異なっていた。

投球動作では、日常生活の動きに比べて、上腕の可動域が極めて大きく、その際に生じる肩甲骨の6自由度の動きや肩甲骨周りの筋群の走行を正確に反映することは、できなかったことが推察され、筋発揮力の推定が十分ではなかったと考えられる。一方で、ダイナミックな動作中の肩甲骨の動きを正確に計測することは、容易ではなく、そのこと自体は本研究の目的の範疇ではなかったことから、肩甲骨の動態を正確に反映したモデルの生成は、今後の研究に委ね、ここでは推定結果の詳細を示すことは控えることとする。しかしながら、今後、肩甲骨動態の研究を進めることにより、本研究結果と統合できるものと考えられる。

(4) MRI 所見

大学投手14名中、13名において、評価ターゲットのいずれかの部位で、何らかの異常所見が認められ、異常がなかった1名は高校までは主に外野手で、大学から本格的に投手になった選手であった。

関節窩・関節唇では、Grade0が10名(71%)、Grade1およびGrade2が2名ずつ(それぞれ14%)で、肩甲骨関節窩後方に骨棘形成が認められたものが3名であった。

上腕骨頭では、Grade0が4名(29%)、Grade1が7例(50%)、Grade2が3名(21%)で5名に骨軟骨欠損が見られた。

腱板の異常所見は、Grade1の軽度異常信号が2名のみ(14%)であった。

肩峰下滑液包では、Grade0が9名(64%)、Grade1が4名(29%)、Grade2が1名(7%)であった。

社会人投手に関しては、1名は初年度撮影時に撮影に参加できなかったため、11名分の結果を以下に示す。

撮像したすべての投手において、何らかの異常所見が認められた。

関節唇に関しては、Grade1が6例(55%)、Grade2が5例(45%)であった。所見は関節唇の後上方部に多く分布し、肩峰下滑液包や上腕骨頭の所見と同時に検出される場合が多かった。

上腕骨頭では、Grade0が1例(9%)、Grade1が3例(27%)、Grade2は7例(64%)であり、嚢胞性変化、浮腫性変化、骨軟骨欠損といった信号異常と形態変化の両方が認められた。

腱板については、Grade0が1例(9%)、Grade1が5例(45%)、Grade2が5例(45%)となり、棘下筋附着部に所見が多く見られ、上腕骨頭病変と合併する傾向にあった。

肩峰下滑液包の異常所見は、Grade0が4例(36%)、Grade1が2例(18%)、Grade2が5例(45%)で、その多くは烏口肩峰韌帯付近に分布していた。

(5) 投球障害の発症

本研究期間の中で、対象とした52名の投手の中で、投球によると考えられる障害で2週間以上の投球禁忌となった症例は、大学野球投手2例、社会人投手5例で、部位としては、指が2例、肘1例、肩3例、脚1例であった。

このうち、投球障害肩に陥った症例の診断は、回旋筋腱板炎が大学投手1例で2週間の投球禁忌で復帰、関節唇損傷が社会人投手2例でいずれも2ヶ月以上の療養期間を要し、1名はそのまま引退することとなった。

(6) 運動学変数、動力学変数、MRI 所見と投球障害発症の関連性

本研究で投球障害を発症した投手のうち、比較的重篤な症状を示した2名の動力学変数、ならびに発症前のMRI所見は、他の投手と比べて、特に違いのあるものではなかった。つまり、MRI所見のGradeに関しては、0と1であり、動力学変数のうち、法線力と剪断力のピーク値は必ずしも大きな値を示さなかった。しかし、興味深いことに、2名の発症者は、投球フェーズのちょうど同じ時期に剪断力/法線力の比が急激に上昇していた。

運動学的変数の最大胸鎖関節後退角も特徴的であった。すなわち、最大胸鎖関節後退角で危険因子保持者と判断された2名が、2名とも重篤な投球障害肩を発症したのである。そして、胸鎖関節の後退不足と判断された時期と、上記の剪断力/法線力の急激な上昇が生じる時期が一致することも興味深い。

(7) まとめ

本研究では、投球動作において欠陥動作といわれている動きを、動作分析によるキネマティクス(運動学的変数)から抽出し、それらの動作が関節負荷やMRI所見にどのような影響を与え、そして投球障害肩に至るのかについて、前向き調査を実施した。

その結果、投球障害肩と診断された投手は3名で、そのうち2名は完治2ヶ月以上の比較的重い症状であった。

この2名に共通した特徴は、胸鎖関節の可動域不足と剪断力/法線力の比の急上昇のタイミングであった。剛体リンクセグメントモデルでの動力学変数やMRI所見で、投球障害肩の発症を予測することは難しいことが示唆された。

今後の投球障害肩の発症メカニクスの解明や障害予防のためには、投球中の肩甲骨動態の計測法の開発およびそれを組み込んだ筋骨格モデルの開発が急務であ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)

- ① Tomoyuki Matsuo, Tsutomu Jinji, Daisaku Hirayama, Daiki Nasu and Hiroki Ozaki. Radio-ulnar joint supinates around ball release during baseball fastball pitching. Sports Biomechanics. 15(2), 220-233, 2016.

[学会発表] (計 3 件)

- ① Tomoyuki Matsuo, Masahiro Kubota, Tsutomu Jinji, , Daiki Nasu, Daisaku Hirayama, Takeo Ishii, Daisaku Kumagawa. Sternoclavicular joint movement during backswing in baseball pitching may be a good indicator of shoulder injury. The 34th International Conference of Biomechanics in Sports. Tsukuba, Ibaraki, Japan, 2016
- ② 松尾知之、久保田真広、那須大毅、平山大作、石井壮郎、熊川大介. 投球障害肩の発症者はテイクバック時の上肢帯の可動域が小さかった. 日本野球科学研究会第3回大会. 中京大学, 愛知. 2015
- ③ Tomoyuki Matsuo, Tsutomu Jinji, Daisaku Hirayama, Daiki Nasu, Hiroki Ozaki. Pronate globally, but supinate locally: Evidence of radio-ulnar supination at ball release. The 32th International Conference of Biomechanics in Sports. Johnson City, TN, USA, 2014.

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

松尾 知之 (MATSUO, Tomoyuki)
大阪大学・大学院医学系研究科・准教授
研究者番号: 00209503

(2)研究分担者

()

研究者番号:

(3)連携研究者

境 隆弘 (SAKAI, Takahiro)
大阪保健医療大学・保健医療学部・教授
研究者番号: 60353009

佐藤 睦美 (SATO, Mutsumi)
大阪保健医療大学・保健医療学部・准教授
研究者番号: 40444533

平山 大作 (HIRAYAMA, Daisaku)
筑波大学・スポーツR&Dコア・研究員
研究者番号: 60466670

神事 努 (JINJI, Tsutomu)
國學院大学・人間開発学部・准教授
研究者番号: 20387616

(4)研究協力者

()