

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 12 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23300236

研究課題名(和文)投・泳動作における肩甲骨腕関節のリアルタイム測定による腱板損傷発症要因の分析

研究課題名(英文) Scapulo-humeral rhythm in throwing and swimming: Is it a risk factor of rotator cuff injuries

研究代表者

矢内 利政 (Yanai, Toshimasa)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：50387619

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円、(間接経費) 4,140,000円

研究成果の概要(和文)：スポーツにおける代表的な肩関節障害である腱板損傷(インピンジメント症候群)の運動学的な発症要因を明らかにするための前向きコホート研究を実施した。野球投手63名中15名について、肩峰下インピンジメントの発生する肢位が動作中に観察された。競泳の自由形選手については23名中21名、他の泳種目については15名中10～13名であった。一方、投球動作時にインターナル・インピンジメントが起こるという仮説を支持する結果は得られなかった。複数年にわたり追跡調査のできた投手28名において、肩峰下インピンジメントの生じる肢位が動作中に観察されたものが6名で、その内4名は後に肩痛を発症した。

研究成果の概要(英文)：A prospective cohort study was conducted to determine the kinematic risk factor(s) of impingement syndrome that frequently occurs among athletes who participate in over-head sports. The results indicates that 15 out of 63 baseball pitchers and 21 out of 23 free-style swimmers use shoulder motions indicative of subacromial impingement. None of the participants used shoulder motions indicative of internal impingement. Twenty eight baseball pitchers participated in the cohort study over the period of three years and six participants used consistently the shoulder motions indicative of subacromial impingement during the performance. Of the six, four participants later developed severe shoulder pain, being placed on the disabled list for a while.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学

キーワード：野球 水泳 外傷・障害 肩 バイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

野球のピッチングに代表される投動作や、クロール泳に代表される泳動作において、肩関節運動は高い競技力を獲得するうえで重要な関節運動である。これら種目に共通する肩関節運動の特徴として、内外旋運動がパフォーマンスに大きく貢献していることが挙げられる。投動作および泳動作ともに広い内外旋可動域を用いたパフォーマンスであるが、投動作においては加速動作を開始する直前に肩関節が最も外旋する際、泳動作においては『水をつかむ動作』を行なうことにより肩関節が最も内旋する際に、肩甲上腕関節付近で腱板の異なる部分が圧迫されると考えられている (Liu & Boynton, 1993; Yanai & Hay, 2000)。過度な内旋運動を上腕挙上位で行なうことは、腱板浅部や滑液包の損傷による慢性障害のひとつである「肩峰下インピンジメント症候群」の危険因子となる (Neer, 1972)。一方、過度な外旋運動を上腕挙上位で行なうことは、腱板深部の損傷による慢性障害のひとつである「インターナル・インピンジメント」の危険因子となる (Mihata et al., 2008)。このように、解剖学的な視点から分析すると、腱板損傷の発症リスクは、肩甲骨に対して上腕骨がどのような位置にあるのか、また、どのような経路をたどってその位置に到達したのかという、肩甲上腕関節の運動に依存すると考えられる。

2. 研究の目的

スポーツにおいて頻繁に発症する肩関節障害に腱板損傷 (インピンジメント症候群) の発症リスクは、肩甲骨に対して上腕骨がどのような位置にあるのか、また、どのような経路をたどってその位置に到達したのかという、肩甲上腕関節の運動に依存すると考えられる。しかしながら、これまで広く用いられてきたビデオ撮影等によるスポーツ動作解析法では、肩甲上腕関節の運動を正確に分析することができなかつたため、スポーツ動

作における腱板損傷メカニズムの詳細を明らかにすることができなかつた。本研究は、野球選手や水泳選手のような肩関節を酷使するスポーツ選手の『肩の寿命』を延ばすための取り組みとして、代表的な肩関節障害である腱板損傷 (インピンジメント症候群) の運動学的な発症要因を明らかにするための前向きコホート研究を実施することを目的とした。

3. 研究の方法

腱板損傷 (インピンジメント症候群) の運動学的な発症要因を明らかにするための前向きコホート研究を実施した。対象者は、慢性肩関節障害の既往歴のない野球投手 (大学野球、社会人野球、プロ野球) 及び大学一部リーグに所属する競泳選手であった。各投手には、通常の練習を行っているブルペンで最大下の球速で直球を 10 球投じさせた際のデータを収集した。水泳動作の分析については、各選手が室内プールで遊泳する際のデータを収集した。データ収集には電磁ゴニオメータ (Liberty, Polhemus 社製, USA) を用いて胸郭、肩甲骨、上腕骨の 3 次元運動の計測を行った。計測されたセンサの方向を解剖学的な関節運動に対応するように変換し、胸郭に対する肩甲骨の運動、胸郭に対する上腕骨の運動 (肩関節)、肩甲骨に対する上腕骨の運動 (肩甲上腕関節) を算出した。この方法を用いて肩甲骨の運動を評価するために十分な精度があることが確認された (Konda et al., 2011)。縦断的なデータ収集が可能な対象者については、定期的に年 1~3 回、競技動作中に可動する肩甲上腕関節の動作範囲を実測・蓄積した。

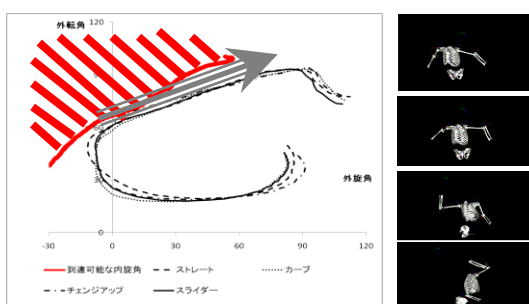
収集した横断的データ及び縦断的データより、①投動作および泳動作における肩甲上腕関節の動作の特徴を把握し、②肩峰下インピンジメントまたはインターナル・インピンジメントによる腱板圧迫が起こりうる局面を特定し、③腱板圧迫が起こりうる肩甲上腕

関節の動作範囲が頻繁に用いられる動作局面を横断的ならびに縦断的に分析した。

これらの分析により、「肩峰下インピンジメント」と「インターナル・インピンジメント」という二つの主な腱板損傷の運動学的な発症要因を明らかにするとともに、腱板損傷を発症しやすいフォームの特徴を探り出し、野球選手や水泳選手のような肩関節を酷使するスポーツ選手の『肩の寿命』を延ばすための障害予防ガイドラインを作成した。

4. 研究成果

① 肩峰下インピンジメントによる圧迫が発生する肢位は、各投手について肩甲上腕関節の内旋角-外転角の関係で示される連続性のある可動域として示した（下図：業績リスト⑤より）。この図に示された赤線は、



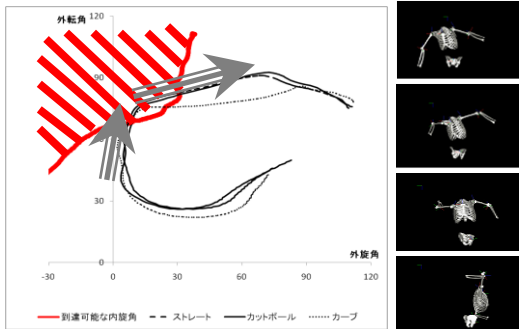
その投手にとって到達可能な最大内旋時の外転角を外転角についての関数として表したものである。この赤線上の各点は、ある外転角度において能動的に到達可能な最大内旋時の外転角を示すため、これより左上で示された領域は、肩峰下インピンジメントの圧迫力等により、能動的には到達不可能な領域である。この図に示された投手にとって、能動的に到達可能な内旋可動域は、上腕が外転するにつれて減少することがわかる。この特徴はすべての投手について共通する傾向であり、上腕を180度外転させるためには、上腕を外旋させる必要があるという臨床的な知見と一致する。また、肩甲上腕関節が最大内旋に近づく際に、烏口肩峰アーチと大結節の間に肩峰下の軟組織を圧迫する力が発生することが観察されていることから

(Nobuhara, 2003、 Yanai ら、2006)、このような関節角度となるような位置に上腕骨と肩甲骨が到達した場合にインピンジメントによる圧迫が起これと考えられる。

2014年までの3年間に収集した投手63名(プロ野球投手が28名、実業団野球投手が11名、東京六大学野球投手が24名)中、プロ野球投手については7名(25%)、社会人野球投手については2名(18%)、大学野球投手については6名(25%)が肩峰下インピンジメントによる圧迫が投球動作中に生じるとい運動学的エビデンスが示された。この結果は、投球動作時に肩峰下インピンジメントが起こるとい仮説を支持するものであった。

データを収集した63名の投手の内、複数年にわたりデータの収集を実施することのできた者は28名(プロ野球投手が5名、実業団野球投手が7名、東京六大学野球投手が16名)であった。これらの投手の中で肩峰下インピンジメントによる圧迫が生じる運動学的エビデンスの示された投手が6名あった。これら6名全員について、縦断的に収集されたデータの再現性は高く、複数年にわたり繰り返し収集された投球時の肩関節運動の特徴(つまり、肩峰下インピンジメントを生じさせる肩甲上腕関節運動)は、基本的に変化しないことが確認された。これら6名の投手の内4名について、後に肩痛を発症し、しばらくの間投球を行うことができなくなった。この縦断分析の結果は、運動学的に判定可能な障害発症要因と実際の発症との間に因果関係があることを示すものであり、臨床的に高い意義を有する知見である。

肩峰下インピンジメントが起こる局面はコッキング期後半にみられた(下図：業績リスト⑤より)。投手はステップ脚を前方に踏み出すために行う身体重心の前方移動と同期して上肢を持ち上げる。この上肢の挙上は、一般的に投球腕の肘が手部よりも先行して上方へ移動するのであるが、手部の挙上が極



端に遅れてしまう投手において、インピンジメントによるリスクのある肢位に到達する可能性が高い傾向が見られた。これは、肘が手部に対して極端に先行して持ち上げられる（または、手部が肘に対して極端に遅れて持ち上げられる）パターンが、上腕が大きな内旋角を維持したまま外転することによってのみ可能となることに起因すると考えられる。実際に『極端な肘先行パターン』を呈する選手の肩甲上腕関節運動を分析すると、コッキング期後半において上腕が大きく内旋した肢位で外転していたのである。すなわち、上肢を挙上する際に不可欠な外旋動作が欠如している場合や、外旋運動が開始された時点ですでに肘が肩の高さ付近に到達するほど外転していたという特徴を持つ投手に、肩峰下インピンジメントが発生する可能性が高いということである。投球腕がボールリリースに向けて加速する際に肩甲上腕関節外転角は $83 \pm 10^\circ$ に、胸郭に対する上腕の外転角は $105 \pm 12^\circ$ に到達し、維持する。この角度にまで上腕を外転するには、その投手の内旋可動域が外転角の増加に伴い減少することに合わせて、上腕を徐々に外旋させる必要がある。この外転-外旋の協調運動が円滑に行われず、外旋運動が遅延して開始されることが、コッキング期におけるインピンジメントを誘発させる要因になっていると考えられる。

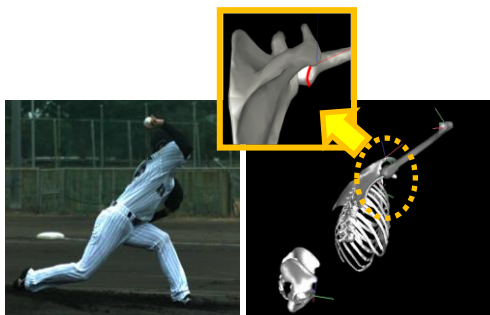
水泳選手については、自由形選手については 23 名中 21 名 (91%)、バタフライ選手については 15 名中 13 名 (87%)、平泳ぎ選手については 15 名中 12 名 (80%)、背泳ぎ選

手については、15 名中 10 名が肩峰下インピンジメントによる圧迫が泳動作中に生じるという運動学的エビデンスが示された。全ての種目を通じて、肩峰下インピンジメントが生じるという運動学的エビデンスが観察されたのは、ストロークする腕を前方に伸ばす「ストレッチ期」と、その直後に『水を掴む』時期とされる「キャッチ期」であった。また、自由形とバタフライについては、リカバリー期の後半にも肩峰下インピンジメント生じるという運動学的エビデンスが観察された。

肩峰下に生じるインピンジメントによる圧迫力は、上腕の内旋角に比例して増大するものではなく、最大内旋角に近づいた際に急上昇することが in-vivo 研究によって明らかになっている (Nobuhara, 2003、 Yanai ら、2006)。つまり、圧迫力は上腕の外旋時や中間位（ニュートラル）では非常に小さく、中間位から最大内旋位にかけて増大するのである。従って、肩峰下インピンジメントのリスクを回避するための方策として、肩甲上腕関節を外転させる際に『外旋動作を伴わせる』ことが重要ではあるが、これは『上腕を外旋位に到達させる』ということではなく、『最大内旋位に近づけない』または『中間位を維持する』と解釈すべきものである。したがって、投球動作のコッキング期や水泳のリカバリー期における外転運動にともない、内旋位にあった上腕を中間位に近づけるような協調運動を行うことが重要である。以上を踏まえると、投球動作及び泳動作による肩峰下インピンジメントを予防するには、手首が肘の高さに到達し追い越すタイミングが遅れないようにすることが大切であり、それを可能にする外旋筋群の筋力や筋持久力の強化および外転筋とのコーディネーションを向上させることが大切であると考えられる。

② 最大外旋時の肩甲上腕伸展外転角が 30 度を越えると腱板付着部は関節内に引き込まれインターナル・インピンジメント

による圧迫が発生する (Mihata ら、2009 & 2010) という知見に基づき、インターナルインピンジメントが動作時に生じるか否かを分析した。投球動作のコッキング期から加速期に移行する局面である最大外旋時に、胸郭に対する上腕の角度は $4 \pm 14^\circ$ の水平屈曲位、 $104 \pm 12^\circ$ の外転位、 $126 \pm 19^\circ$ の外旋位に達した (下図：業績リスト⑤より)。肩甲上腕



関節では $83 \pm 11^\circ$ の外転角、 $115 \pm 13^\circ$ の外旋角を記録した。このときの肩甲上腕関節水平伸展角が 25° を上回る被験者はおらず、その平均値 ($7 \pm 8^\circ$) は 30° より有意 ($p=0.00$) に小さかった。本研究の結果は投球動作時にインターナル・インピンジイメントが起こるといふ仮説を支持するものではなかった。

この結果は、何を意味するのであろうか？本研究のデータ収集方法等に関する Limitation を考慮すると、この疑問に関して以下の可能性が考えられる。すなわち、インターナル・インピンジメントは、①競技レベルの高い選手については起こらない、②疲労の影響のない 10-15 球程度の投球では起こらない、③最大外旋時には起こらない、④上腕骨頭の上方や前方への移動の影響を受けないと仮定した条件下では起こらない、という可能性である。今後のさらなる研究により、これらの Limitation について検証する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 5 件)

- ① 矢内利政. 投球動作における体幹 (骨盤・胸郭・肩甲骨) の 3 次元ムチ運動. 体育の科学、査読無、61 (7): 484-490, 2011.

- ② Konda, S., Yanai, T. and Sakurai, S. Non-invasive error-assessment of the Acromial-sensor-tracking protocol for the measurement of scapular orientation. *International Journal of Sport and Health Science*、査読有、9, pp26-32. 2011.

- ③ 永見智行, 樋口貴俊, 矢内利政, 彼末一之. 野球投手が投じる様々な球種の飛翔軌道を決定する要因. スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2012 講演論文集、査読無、No. 12-39: 74-78, 2012.

- ④ 丸山祐丞, 近田彰治, 矢内利政. 呼吸様式が重心位置と浮心位置に与える影響: 水泳における水平姿勢維持への示唆. 体育学研究、査読有、57 (2), 641-651, 2012.

- ⑤ 矢内利政 バイオメカニクスからみた肩関節インピンジメント症候群, 臨床スポーツ医学、査読無、30 (5): 417-426, 2013.

〔学会発表〕 (計 17 件)

講演

- ① 矢内利政. 動作解析から得られた投球障害に関わる知見. 第 38 回日本整形外科学会スポーツ医学会学術集会. 横浜, 2012. 9.
- ② 矢内利政. 競泳のストローク動作における体幹・肩甲帯・上肢の連動運動. 日本水性・水中運動学会 2013 年次大会. 所沢, 2013. 11.
- ③ 矢内利政. スポーツ動作における上肢アラインメント. 第 14 回スポーツフォーラム 21. 横浜, 2014. 1.
- ④ 矢内利政. 動作解析から得られた投球障害に関わる知見: インピンジメント症候群の発症リスク. 第 19 回広島リハビリテーション研究会. 広島, 2014. 5.

研究発表

- ⑤ 上里竜二, 近田彰治, 矢内利政. 負荷・速度の違いによる肩複合体協調運動の変化. 第 24 回日本トレーニング科学会大会, 東京, 2011. 11.
- ⑥ 矢内利政, 近田彰治, 川上泰雄, 福永

哲夫. プロ野球投手における Internal Impingement のリスク. 日本体育学会第 62 回大会, 鹿児島, 2011. 9.

- ⑦ Konda, S., Yanai, T. Large glenohumeral range of motion during cocking phase in baseball-pitching. XXIII Congress of the International Society of Biomechanics, Brussels, 2011. 7.
- ⑧ Kosaka, M., Yanai, T. A Method for Measuring Complete Range of Three-dimensional Shoulder Motion. The 6th International Sport Sciences Symposium on "Active Life", Tokyo, 2012. 2.
- ⑨ Du, T., Yanai, T. Three-dimensional torso movement during front crawl swimming. The 7th International Sport Sciences Symposium on "Active Life", Tokyo, 2012. 9.
- ⑩ Du, T., Yanai, T. The instance of subacromial impingement during front crawl. The 8th International Sport Sciences Symposium on "Active Life", Tokyo, 2013. 2.
- ⑪ Konda, S., Yanai, T. Differences of scapulothoracic and glenohumeral joint motions between tennis serve and baseball pitching: A kinematic perspective based on throw-push continuum. ORS 2013 Annual Meeting, 2013. 1.
- ⑫ Kosaka, M., Yanai, T. Development of a method to identify the entire range of 3D shoulder motion. The 7th International Sport Sciences Symposium on "Active Life", Tokyo, 2012. 9.
- ⑬ Kosaka, M., Yanai, T. Probabilistic atlas of the shoulder range of

elevation and horizontal ad/abduction angles. The 8th International Sport Sciences Symposium on "Active Life", Tokyo, 2013. 2.

- ⑭ Maruyama, Y., Konda, S., Yanai, T. The influence of breathing techniques on passive drag force of swimming: A preliminary report. The 7th International Sport Sciences Symposium on "Active Life", Tokyo, 2012. 9.
- ⑮ Maruyama, Y., Konda, S., Yanai, T. Abdominal breathing technique reduces fluid resistance force. The 8th International Sport Sciences Symposium on "Active Life", Tokyo, 2013. 2.
- ⑯ Du, T., Yanai, T. Subacromial impingement in front-crawl swimming: A preliminary report. The 31st Conference of the International Society of Biomechanics in Sports, Taipei, 2013. 7.
- ⑰ Maruyama, Y., Konda, S., Yanai, T. Influence of altering breathing techniques on passive drag: A preliminary report. The 31st Conference of the International Society of Biomechanics in Sports, Taipei, 2013. 7.

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢内利政 (YANAI, Toshimasa)
早稲田大学スポーツ科学学術院・教授
研究者番号: