

投球時の肩甲骨内転・外転運動 に関する三次元動作解析

原 著

Three-dimensional analysis of the scapula adduction and abduction motion during throwing motion

宮下浩二*^{1,2}, 小山太郎*³, 太田憲一郎*²
谷 祐輔*², 岡棟亮二*^{2,3}

キー・ワード：throwing motion, scapula adduction and abduction, 3D analysis
投球動作, 肩甲骨内転・外転運動, 三次元動作解析

〔要旨〕 大学硬式野球投手 21 名の投球動作を撮影し, 投球時の肩甲骨の内転運動・外転運動について三次元動作解析した. ワインドアップ後, 投球側手部を最も降下させた時点から肩最大内旋位までを 100% に規格化した. この期間における肩甲骨の内転・外転の移動距離を測定した. 安静立位時の第 7 頸椎棘突起と肩峰の距離を基準値とし, 投球動作中の移動距離を算出した. 開始肢位では外転 1.8 ± 1.9 cm となり, それ以降内転運動し, 足部接地 (68%) で内転 6.1 ± 2.4 cm となり, 74% で最大内転位 6.6 ± 1.7 cm となった. その後, 外転運動に切り替わり, 肩最大外旋時 (87%) で内転 4.6 ± 1.3 cm, リリース時 (94%) に内転 3.1 ± 1.3 cm になった. 肩最大内旋位では内転 3.4 ± 1.5 cm となった. 投球時に肩甲骨は, 開始肢位では外転位であるものの, その後, 肩最大内旋位まで常に内転位で内転運動と外転運動をしていた. リリース直後の減速動作でも肩甲骨は外転位を呈することはなかった.

緒言 (はじめに)

投球障害の発生要因の一つとして肩甲胸郭関節の機能低下があり¹⁻³⁾, 代表的なものとして, 肩甲骨が外転変位するなどのマルアライメントがあげられる⁴⁾. 一方で, 野球選手の肩甲骨外転変位は投球に対する適応であるとの報告^{5,6)}もある. いずれにしても, 臨床や野球の現場において野球選手の肩甲骨が外転位を呈していることを多く経験する. しかし, 肩甲骨が外転位を呈する要因や理由については明確な見解はない. さらに, 実際の投球動作における肩甲骨の内転運動・外転運動に関する分析はほとんどなされていない.

そこで本研究では, 投球動作における肩甲骨内

転・外転運動に関する基本的な情報を三次元動作解析により得ることを目的とした.

対象および方法

1. 対象

本研究の対象は, 某県大学野球リーグ 1 部に所属する大学硬式野球部投手 21 名とした. 平均年齢 (±標準偏差) は 21.0 ± 1.0 歳, 身長は 178.5 ± 6.6 cm, 体重は 75.1 ± 5.8 kg, 野球歴は 11.4 ± 1.3 年であった. 右投げ 19 名, 左投げ 2 名であった. 対象の条件として, 測定時に肩関節や肘関節に疼痛がないこととした. 全員, 本研究の趣旨に同意した. 本研究は中部大学倫理審査委員会の承認を得た (承認番号 270008).

2. 撮影環境および測定方法

投球動作の撮影は室内練習場で行った. 対象の周囲に電氣的に同期した 4 台のハイスピードカメラ (フォーアシスト社製 IEEE1394b 高速カメラ FKN-HC200C) を設置した. コマスピードは 1/200

*1 中部大学生命健康科学部理学療法学科

*2 中部大学大学院生命健康科学研究科リハビリテーション学専攻

*3 まつした整形外科

秒とした。対象から 15m 離れた位置に防球ネットを設置した。

対象には反射マーカが隠れないように裁断したノースリーブシャツを着用させた。反射マーカなどは図 1 のように配置した。直径 1cm の反射マーカを第 7 頸椎棘突起 (C7), 第 10 胸椎棘突起に貼付した。また同時に先行研究⁷⁾と同様に, T 字状に採型したウレタン素材のテーピング用パッドを肩峰に貼付した。このパッドの各端にも反射マーカを貼付してあり, 3 点の midpoint が肩峰に位置するように貼付した。さらに投球側の上腕

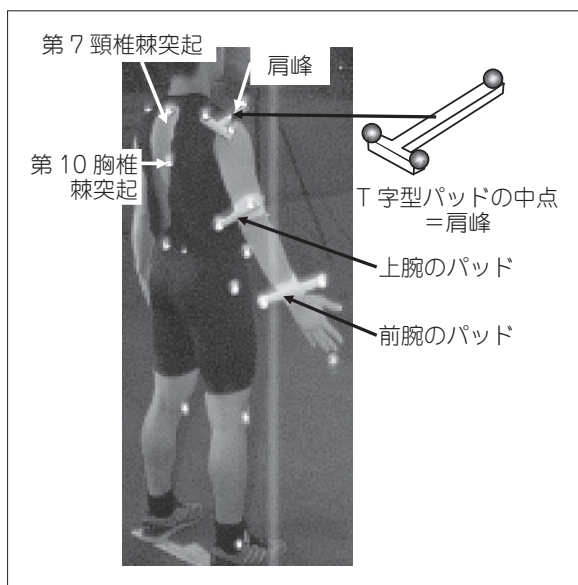


図 1 反射マーカとパッドの貼付位置
写真の肢位を基本肢位とした。

遠位端背側面, 前腕遠位端背側面にも両端に反射マーカを添付したテーピング用パッドを貼付した。上腕と前腕には各長軸と直交するようにパッドを位置させた。

対象の投球動作を撮影し, その画像をパーソナルコンピュータ (PC) に動画ファイルとして保存し, 分析した。PC 画像に対して, 1/200 秒毎に各反射マーカをプロットした。DKH 社製 3 次元ビデオ動作解析システム Frame-DIASIV を用いて Direct Linear Transformation method⁸⁾ (DLT 法) により各反射マーカの三次元座標値を得た。

3. 位相の決定方法

分析する位相は以下の方法で規定した。投球側の手関節 (前腕パッドの midpoint) が最下点になった時 (開始肢位) からステップ脚 (右投げの左脚) の足底部が接地するまでを早期コッキング期とした。その後, 肩最大外旋位 (maximum external rotation : MER) までを後期コッキング期, MER からボールをリリースするまでを加速期とした。そして肩最大内旋位 (maximum internal rotation : MIR) までを減速期とした (図 2)。開始肢位から MIR までを 100% に規格化した。なお, MER と MIR の指標とした肩の回旋角度は先行研究⁹⁾に基づいて, 体幹に対して前腕がなす角度から算出した (図 3)。

4. 肩甲骨内転・外転距離の算出方法

肩甲骨内転・外転距離は, 肩峰に貼付した T 字状のパッドの midpoint にあたる肩峰と C7 のマーカの距離から算出した (図 4)。図 1 を基本肢位

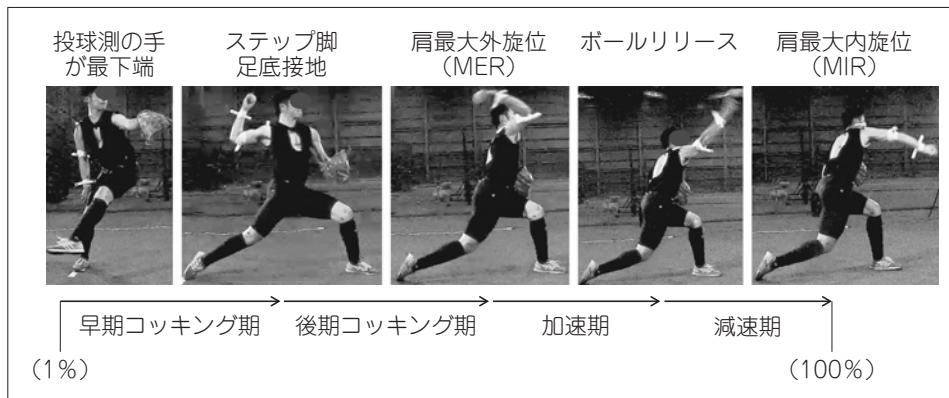


図 2 投球の位相の定義

投球側の手関節 (前腕パッドの midpoint) が最下点になった時 (開始肢位) からステップ脚 (右投げの左脚) の足底部が接地するまでを早期コッキング期とした。足底接地から肩最大外旋位 (MER) を呈するまでを後期コッキング期, MER からボールをリリースするまでを加速期とした。ボールリリース後, 肩最大内旋位 (MIR) までを減速期とした。開始肢位から MIR までを 100% に規格化した。

として、この際の肩峰との距離をゼロとして、外転を正、内転を負とした。

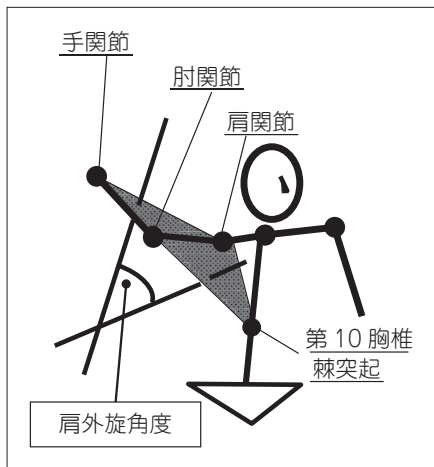


図3 肩外旋・内旋角度の算出方法
 投球側の手関節（前腕に貼付したパッドの両マーカーの中心）、肘関節（上腕に貼付したパッドの両マーカーの中心）、肩関節（肩峰に貼付したパッドの3マーカーの中心）の3点からなる平面の法線ベクトルと、肘関節、肩関節、第10胸椎棘突起の3点からなる平面の法線ベクトルを算出した。次にこの2つの法線ベクトルの内積を求め、その余弦から2つの平面のなす角度を算出した。角度表記は日本整形外科学会・日本リハビリテーション医学会の方法に準じて行い、外旋運動をプラス、内旋方向への運動をマイナスとした。

結果

計測期間の肩甲骨内転・外転運動の流れを図5に示す。投球側の手関節が最下点の時点（開始肢位）で、肩甲骨は外転 1.8 ± 1.9 cm であった。それ以降、肩甲骨は内転運動し、足底接地時（68%）に内転 6.1 ± 2.4 cm となり、その直後の74%で肩甲骨は最大内転位となる内転 6.6 ± 1.7 cm となった。その後、肩甲骨は外転運動に切り替わり、MER（87%）に内転 4.6 ± 1.3 cm となり、リリース時には内転 3.1 ± 1.3 cm であった。MIR（94%）では内転 3.4 ± 1.5 cm であった。

考察

本研究の結果より、投球時の肩甲骨内転・外転に関する動態は以下のようにまとめられる。肩甲骨は投球側の手関節が最下点にある時から早期コッキング期にかけて内転運動しており、後期コッキング期途中にはすでに外転運動に切り替わった。加速期中も肩甲骨は外転運動をするが、常に内転位での外転運動となっていた。減速動作となるリリース以降には外転運動はなく、内転位にとどまっていた。

以上のことから投球動作において肩甲胸郭関節に求められる機能として、まず肩甲骨内転運動の可動性の重要性があげられる。肩甲骨内転運動が制限されることで肩甲上腕関節伸展運動や水平伸展運動が代償的に大きくなり、投球障害を誘発する可能性が指摘されている^{10,11)}。十分な肩甲骨内転

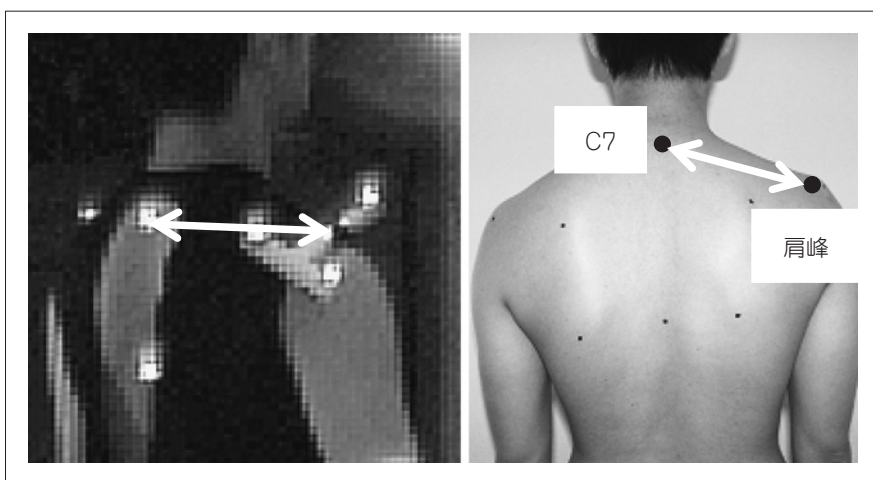


図4 肩甲骨内転・外転距離の算出方法
 肩甲骨内転・外転距離は、肩峰に貼付したT字状のパッドの中心にあたる肩峰と第7頸椎棘突起のマーカーの距離から算出した。

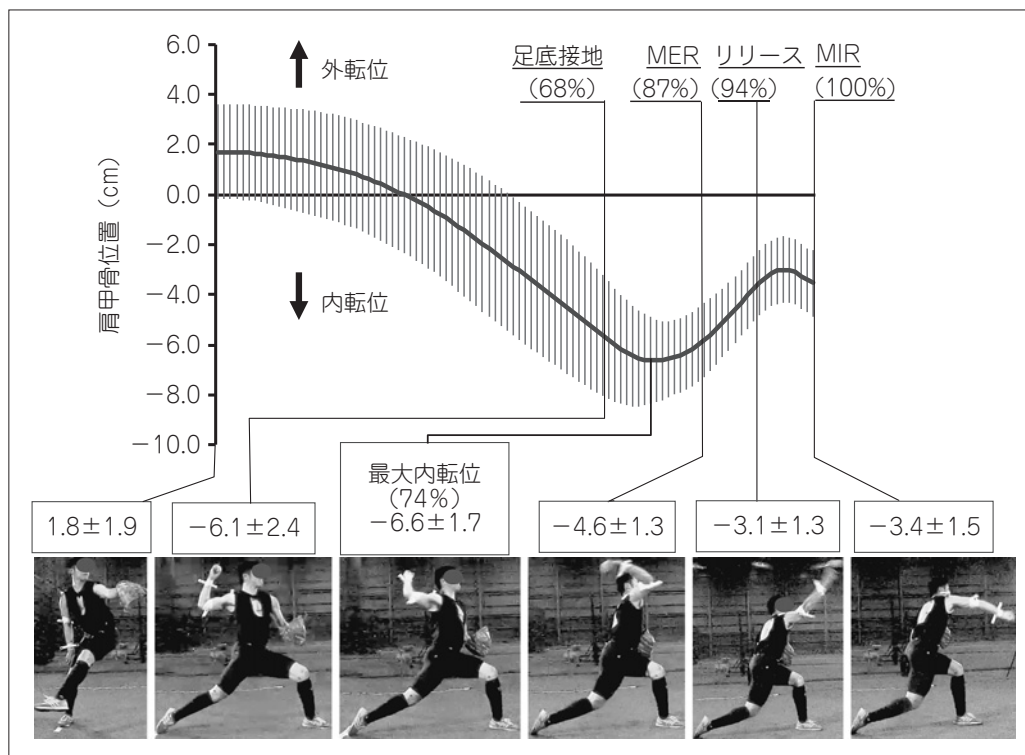


図5 投球時の肩甲骨内転・外転の推移
縦軸に肩甲骨位置，横軸に時間（位相）を示す。肩甲骨が外転すると数値は増加し，内転すると減少する。グラフの下段は各位相の肢位と肩甲骨内転・外転の数値を示す。

可動域のみならず，肩甲骨が内転しやすい条件となる胸郭，胸椎の可動性やアライメントも必要な機能になると考える¹²⁾。なお，肩甲骨が最も内転した時点は後期コッキング期の前半であるが，この肢位が，見かけ上のいわゆる「胸を張った」肢位と考えられる（図5の「最大内転位」）。したがって「胸を張った」肢位とMERとは異なる位相である。そのため，肩甲上腕関節水平伸展角度が過剰となる hyperangulation¹³⁾ の定義で示されるようなMERでの問題とは異なるが，この「胸を張った」位相でも肩甲骨が十分に内転運動できなければ肩甲上腕関節へのストレスが高まり，投球障害に至る可能性は十分考えられる。

次に，肩甲骨は後期コッキング期の途中から外転運動を開始していたが，後期コッキング期は肩外旋運動が生じる位相である。両者の運動の関係については lagging back 現象¹⁴⁾ の視点から考えることができる（図6）。つまり，肩甲骨外転運動によって，次に生じる肩甲上腕関節外旋運動を誘導している可能性が推察される。lagging back 現象とは，後期コッキング期から加速期にかけて身体の近位部に対して遠位部が遅れる現象である。肩

甲骨外転運動により上腕も前方に移動し，ボールを持った手部は後方に残り，肩甲上腕関節は外旋運動が誘発される。後期コッキング期における肩甲骨外転運動はこの機能を含むと考える。

一方，リリース以降の減速動作時には肩甲骨は外転しておらず，肩甲骨外転運動は減速動作には関与していない可能性がある。肩甲骨のアライメントが外転変位している要因として減速期に肩甲骨が過剰に外転運動することも仮説として考えられたが，実際には肩甲骨は外転位には至っていない。ただし，先行研究⁷⁾で示すように，肩甲骨の三次元動作分析でみられた代表例の連続写真（図7）では，肩峰に貼付してあるT字状のパッドの運動から推察すると，リリースからMIRにかけて肩甲骨が前傾しており，減速動作は肩甲骨の外転運動ではなく，前傾運動に依存している可能性がある。そのため，野球選手にみられる肩甲骨外転位のアライメントは病態であるか，適応であるかは本研究のみでは断定できないと考える。

本研究の限界として，今回はC7と肩峰の距離を計測しており，図4に示すように，C7よりも肩峰がやや下方に位置する。この方法には肩甲骨拳



図6 肩甲骨外転運動による lagging back 現象
肩甲骨が外転することで上腕も前方に移動し（図中太矢印）、ボールを持った手部は後方に残り、肩甲骨上腕関節は外旋する（図中細矢印）。

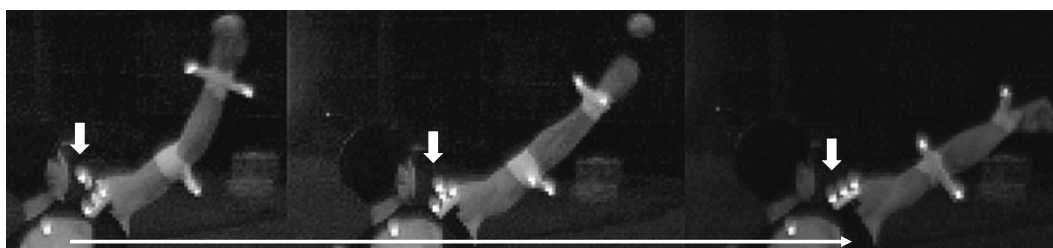


図7 ボールリリースから肩最大内旋位に至る肩甲骨前傾運動
ボールリリース（左図）から肩最大内旋位（右図）にかけて、肩峰に貼付したT字状パッド（図中の矢印）が前傾している。この区間では肩甲骨外転運動は生じていない。

上・下制の運動もわずかだが含まれる可能性がある。図7のように肩甲骨が挙上すると距離は短くなる。これは図5に示すようにリリース以降に肩甲骨外転距離が減少、すなわち内転しているようにみられるが、肩甲骨前傾（図7）に伴う肩甲骨挙上運動による変化とも考えられる。一方、前述のように野球選手にみられる肩甲骨外転変位のアライメントが生じる理由は本研究では明らかにできず、今後の課題となった。

結語（まとめ）

1. 大学投手 21 名を対象に、投球動作における肩甲骨の内転・外転運動を三次元動作解析した。
2. 肩甲骨は投球の始動から内転運動しており、後期コッキング期の途中からすでに外転運動に切り替わっていた。また、減速期では外転運動はせず、内転位であった。そのため、減速運動は前傾運動に依存している可能性がある。

3. 野球選手にみられる肩甲骨外転位のアライメントは病態であるか、適応であるかは本研究のみでは明確にはできない。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

文 献

- 1) Kibler, WB, McMullen, J. Scapular dyskinesis and its relation to shoulder pain. J Am Acad Orthop Surg. 2003; 11: 142-151.
- 2) Meister, K. Injuries to the shoulder in the throwing athlete part two: evaluation / treatment. Am J Sports Med. 2000; 28: 587-601.
- 3) Laudner, KG, Myers, JB, Pasquale, MR, Bradley, JP, Lephart, SM. Scapular dysfunction in throwers with pathologic internal impingement. JOSPT. 2006; 36: 485-494.

- 4) Burkhart, SS, Morgan, CD, Kibler, WB. The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part III: The SICK scapula, scapular dyskinesis, the kinetic chain, and rehabilitation. *Arthroscopy*. 2003; 19: 641-661.
 - 5) Seitz, AL, Reinold, M, Schneider, RA, Gill, TJ, Thigpen, CA. No effect of scapular position on 3-dimensional scapular motion in the throwing shoulder of healthy professional pitchers. *J Sport Rehabil*. 2012; 21(2): 186-193.
 - 6) 宮下浩二. スポーツ競技種目特性に基づいた理学療法 (評価から理学療法まで) 野球. *理学療法*. 2017; 34(5): 465-474.
 - 7) 宮下浩二, 小山太郎, 太田憲一郎, 谷 祐輔, 岡棟亮二. 投球動作の後期コッキングから加速期における肩甲骨の三次元運動解析. *日本臨床スポーツ医学会誌*. 2017; 5(3): 374-381.
 - 8) Abdel-Aziz, YI, Karara, HM. Direct linear transformation from comparator coordinates in close-range photogrammetry. In: *Proceedings American society of photogrammetry symposium on close-range photogrammetry*. Falls Church (VA). American Society of Photogrammetry Symposium on Close-Range Photogrammetry. 1-19, 1971.
 - 9) Miyashita, K, Urabe, Y, Kobayashi, H, Yokoe, K, Koshida, S, Kawamura, M, Ida, K. Relationship between maximum shoulder external rotation angle during throwing and physical variables. *JSSM*. 2008; 7(1): 47-53.
 - 10) Pappas, AM, Zawacki, RM, Sullivan, TJ. Biomechanics of baseball pitching. *Am. J. Sports Med*. 1985; (13): 216-222.
 - 11) 小山太郎, 宮下浩二, 松下 廉. 投球動作における肩最大外旋時の肩甲上腕関節水平伸展角度に影響を与える因子. *日本臨床スポーツ医学会誌*. 2016; 24(1): 10-16.
 - 12) 谷 祐輔, 宮下浩二, 太田憲一郎, 小山太郎. 肩関節水平伸展運動における肩甲上腕関節・肩甲帯・胸郭の貢献度. *運動器リハビリテーション*. 2017; 28(3): 281-288.
 - 13) Jobe, FW. Operative techniques in upper extremity sports injuries. *Mosby-Year book, USA*. 1996; 164-176.
 - 14) Kreighbaum, E, Berthels, KM. Biomechanics A qualitative approach for studying human. In: *movement*. 4th ed. Allyn & Bacon; 335-354, 1996.
-
- (受付：2018年1月30日, 受理：2018年4月27日)

Three-dimensional analysis of the scapula adduction and abduction motion during throwing motion

Miyashita, K^{*1,2}, Koyama, T^{*3}, Ota, K^{*2}
Tani, Y^{*2}, Okamune, R^{*2,3}

^{*1} Department of Physical Therapy, College of Life and Health Sciences, Chubu University

^{*2} Graduate School of Life and Health Sciences, Rehabilitation Science, Chubu University

^{*3} Matsushita Orthopedics

Key words: throwing motion, scapula adduction and abduction, 3D analysis

[Abstract] The purpose of this study was to identify three-dimensional motion of adduction and abduction of the scapula when pitching baseballs. The pitching motions of 21 college baseball pitchers were recorded and three-dimensional motion analysis was performed. We normalized all the kinematic data from the point where the pitching hand reaches the lowest position to that of the maximum internal rotation of the shoulder into a 100% scale to facilitate comparisons among the players. Then, using the distance between the C7 spinous process and the acromion in the resting position as a reference, we calculated the distance of the adduction and abduction movement of the scapula during the pitching motion. At the initial limb position, the abduction was 1.8 ± 1.9 cm. Subsequently, all motion involved adduction, and the adduction became 6.1 ± 2.4 cm at the time of foot contact (68%). The scapula reached the maximum adduction of 6.6 ± 1.7 cm at 74%. The motion then changed to abduction, the adduction became 4.6 ± 1.3 cm at the time of maximum external rotation of the shoulder (87%) and decreased to 3.1 ± 1.3 cm during release of the ball (94%). At the time of maximum internal rotation of the shoulder, the adduction was 3.4 ± 1.5 cm. During pitching, the scapula was abducted at the initial limb position, but subsequently, it was always in the adducted position until maximum internal rotation of the shoulder was reached. Even during the deceleration phase after release, the scapula was not in an abducted position.