上腕骨頭偏位と関節窩 bare spot の成因:3次元動態解析による考察

Department of Mechanical & Aerospace Engineering, University of Florida 西 中 直 也・近 良 明 Banks Scott A 昭和大学藤が丘リハビリテーション病院整形外科 三原研一:鈴木 秀 弘·牧 内 大 大 勝 輔 \mathbb{H} 松 久 孝 行・筒 井 廣 明 自治医科大学放射線科 杉 本 英 治 広島国際大学保健医療学部理学療法学科 田和芳 蒲

The Glenoid Bare Spot: An Ontologic Hypothesis Based on Measured in-vivo Glenohumeral Translations

by

NISHINAKA Naoya, KON Yoshiaki, BANKS Scott A Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Florida

MIHARA Kenichi, SUZUKI Kazuhide, OTA Katsuhiro, MAKIUCHI Daisuke, MATSUHISA Takayuki, TSUTSUI Hiroaki Department of Orthopaedic Surgery, Showa University Fujigaoka Rehabilitation Hospital

> SUGIMOTO Hideharu Department of Radiology, Jichi Medical University

GAMADA Kazuyoshi Department of Physical Therapy, Hiroshima International University

The glenoid bare spot commonly is observed in the adult shoulder. Carter et al. proposed that cartilage thickness was affected by normal homeostatic loads. The purpose of this study was to measure glenohumeral translation during shoulder abduction in order to explore development of the glenoid bare spot. 10 healthy shoulders (average 31.1 years old) were studied. 3D models of the scapula and humerus were created from CT scans. Motions were recorded with fluoroscopy during active abduction in neutral rotation for unloaded and a 3kg loaded trial. 3D motions were determined using model-based 3D-to-2D registration. Humeral translation was referenced in the superior/inferior direction to the assumed location of the bare spot (center of the circle described by the bony margins of the inferior glenoid). The bare spot location averaged 4.3mm inferior to the superior/inferior midpoint of the glenoid. Glenohumeral contact was 2.6 and 3.1mm superior to the bare spot for unloaded and loaded conditions with the arm at the side. The humeral head moved upward gradually with abduction to 4mm above the bare spot above 70° abduction (p>0.05, 0 vs 3kg). The glenoid surface stabilizes humeral head translation. Carter et al. suggested that cartilage grew thickest with high mechanical demands (compression and sliding) and thinner where demands were low. Humeral translation away from the bare spot with abduction suggests that lower loads were experienced when the humeral head was near the bare spot and larger loads were experienced with humeral translation away from the bare spot. These kinematic observations were consistent with Carter's framework for cartilage growth and provided a plausible explanation for the development of the glenoid bare spot.

Key words: 3D-to-2D registration (3D-to-2D レジストレーション), glenoid bare spot (関節窩ベアスポット), shoulder kinematics (肩関節動態解析)

Katakansetsu (The Shoulder Joint), 2008; Vol. 32, No. 3: 509-512.

はじめに

成人の肩甲骨関節窩の下方には軟骨が菲薄化している関節窩 bare spot が認められる. Cresswell らⁿは屍体肩 100 肩のうち 88 肩に bare spot が存在していたと報告しているが,一方で, Fealy らは 30 週以降の胎児肩には関節窩軟骨に bare spot は観察されな かったと報告しているⁿ. このことから, bare spot は出生後から 発展的に発生すると考えられるがその発生機序,存在意義につい ては未知な部分が多い.本研究の目的は in-vivo で 6 自由度パラ メーターが推定可能な 3D-to-2D レジストレーションにより無負 荷,負荷時の外転運動における関節内上腕骨頭偏位を求め,結果 より肩甲骨関節窩 bare spot の成因について考察することである.

対象と方法

対象は外傷歴と愁訴のない健常肩10肩(男性8名,女性2名, 平均31.1歳)であった.X線透視画像(Geyms社製 Advantx-ACT)を前後1方向から被験者の座位での内外旋中間位,肩甲骨 面上での自動外転運動下垂位から無負荷で最大外転位まで,3kg で90°までをそれぞれ撮像した.各被験者の上腕骨,肩甲骨共に 0.5mmスライスのCT画像(Geyms社製LightSpeedPlus)から コンピューターソフト(Tomovision社製SliceOmaticおよびRaindrop Geomagic社製 Geomagic Studio)を用いて3次元モデルを作 成し,それぞれに座標系を規定した.肩甲骨の座標系は,はじめ に関節窩面の上下縁を結ぶ線とその中間点を決め,この中間点と 直交した線に平行な関節窩前後縁上を通過する線を短軸とした. 次にこの短軸に直交し上下縁を結ぶ線に平行な線を長軸とした. 関節窩面上の平面は長軸と短軸からなるように規定した(図1). この3次元モデルと calibration jig により歪みを補正したX線撮 影透視画像を、コンピューターソフト上(knee track,共著者 Banks SA 作成)でマッチングさせた¹⁾. 関節窩長軸の中間点を長 軸中間点とし,Burkhart らの報告する bare spot が位置するとさ れる関節窩下部のなす円の中心を円中心点とした⁵⁾. 関節窩下方 の円は肩甲骨3次元モデルよりコンピューター上で関節窩の下縁, 前縁,後縁より規定した(図2). 骨頭偏位は Greichen ら¹⁰の用 いた方法を参考にし,骨頭表面と関節窩面上に規定した平面との 距離が最短となる点をコンピュータプログラムより算出し関節 窩の上下縁を結ぶ長軸方向の位置として表し長軸中間点,円中心 点からの距離を求めた.外転角度は無負荷で下垂位から150°, 3kg負荷群で下垂位から90°まで,10°間隔における骨頭偏位の平 均値を求めた.Bonferroni補正により両群間の有意差を検討した (p<0.05).



図2 長軸中間点と関節窩下縁のなす円中心



6 degrees-of-freedom shoulder kinematics

図1 3D-to-2D レジストレーション:

CT 画像から作成し,座標系を設定した3次元モデルをX線透視画像にコンピューター上でマッチングさせる.

結 果

円中心点は長軸中間点より平均で下方4.3mm に位置していた. 骨頭は下垂位で無負荷,負荷群でそれぞれ長軸中間点から下方 1.7mm,1.2mm に位置し,円中心点から上方2.6mm,3.1mm に位 置していた.そして外転に伴い徐々に上方偏位し,70°以上では 中間点より下方1mm 以内に偏位していた.負荷,無負荷群は同 様な偏位傾向であり両群間に有意差はなかった(図3).



図3 上腕骨頭の肩甲骨関節窩に対する外転に伴う上下方向へ の偏位:負荷,無負荷それぞれ10°ごとの外転角度での平均 値を示す.円中心点は長軸中間点より平均で下方4.3mmに位 置していた(点線).

考察

これまで上腕骨頭偏位の報告は単純X線撮影によるものを初め、屍体肩、open MRIを用いたものなどでなされてきた³¹⁰¹⁵.これらの方法と比較して、今回用いた3D to 2D レジストレーション 手技では連続透視画像にそれぞれの被験者の CT 画像から作成した3D モデルをマッチングさせることで関節唇や軟骨も有する健 常肩の筋活動を反映した動態解析が出来るのが利点である¹²⁹⁰¹¹¹².

近年,Burkhartらは屍体肩を用いた研究から,bare spot は関 節窩下方のなす円中心に位置し,肩関節不安定症の骨欠損の程度 を評価する上での landmark に有用であると報告した³⁹.彼らは 円中心から関節窩前縁までの距離が 6mm 以内の骨欠損があれば 骨移植手術の適応とした.また,De Wilde らも屍体肩を用い関 節窩下縁の円中心は bare spot 内に存在し,人工肩関節置換術に おける関節窩コンポーネント設置に重要な指標と成得ると報告 している³⁹.

Fealy らの報告[®]で bare spot は胎児肩に存在しないことから, 出生後に発展的に関節窩が骨頭からの刺激に適合した結果と考 えられる.Warner らは屍体肩を用いて肩甲上腕関節の外転時に おける圧分布を測定し,bare spot は接触圧が最も大きくなる部 分であったことから,繰り返しの機械的刺激により生じると報告 した¹⁰.一方,Carter らは圧迫および剪断力などの機械的刺激に より軟骨が肥厚し,逆に刺激が少ないと菲薄化すること,股関節 では接触圧の小さい軟骨の菲薄化している部分から関節症が始 まることを報告している[®].

Cresswell らの屍体肩を用いた報告では bare spot はほぼ関節 窩下方の円中心に位置し、その直径は平均4.5 mmであった^っ. こ の直径4.5mmを今回の症例群に当てはめると、我々の筋活動を反 映した生体内動態解析結果では、骨頭偏位は下垂位で bare spot より上方に位置し、外転と共に長軸中間点に推移することになる。 従って、Carter らの軟骨菲薄化の機序に当てはめると bare spot は力学的に負荷、刺激の少ない部位に形成される可能性が示唆さ れた.また骨頭との最も近い接触部位が関節窩下部のなす円の 中心である bare spot より上方に位置していたことから、骨頭の 運動中心は関節窩のより上方に存在すると推察した。

本研究の限界としては、症例数が少ないこと、被爆の問題, bare spot の位置を実際に確認しておらず推定にしか過ぎないこ となどが挙げられる.

まとめ

- 1. 3D-to-2D レジストレーションにより無負荷,負荷時の外転運動 における関節内上腕骨頭偏位を求め,肩甲骨関節窩 bare spot の成因について考察した.
- 2. 骨頭偏位は下垂位で, 推定される bare spot の位置より上方に, 外転に伴い関節窩長軸中間点に推移した.
- 3. bare spot は外転運動時, 圧刺激の少ない部分に形成される可能 性が示唆された.

文 献

- Banks SA, et al.: Accurate measurement of three-dimensional knee replacement kinematics using single-plane fluoroscopy. IEEE Trans Biomed Eng, 1996; 43: 638-649.
- Banks SA, et al.: In vivo kinematics of cruciate-retaining and substituting knee arthroplasties. J Arthroplasty. 1997; 12: 297-304.
- Beaulieu CF, et al.: Glenohumeral relationships during physiologic shoulder motion and stress testing: initial experience with open MR imaging and active imaging-plan registration. Radiology, 1999; 212: 699-705.
- 4) Bey MJ, et al.: In vivo measurement of subacromial space width during shoulder elevation: Technique and preliminary results in patients following unilateral rotator cuff repair. Clin Biomech. 2007; 22: 767-773.
- Burkhart SS, et al.: Quantifying glenoid bone loss arthroscopically in shoulder instability. Arthroscopy. 2002; 18: 488-491.
- Carter DR, et al.: The mechanobiology of articular cartilage development and degeneration. Clin Orthop Relat Res. 2004; (427 Suppl): S69-77.
- Cresswell TR, et al.: The position of the "bare spot" of the glenoid and the relevance to decision making in gleno-humeral instability. JBJS (Br). 2005; Orthopaedic Proceedings.
- De Wilde LF, et al.: About the variability of the shape of the glenoid cavity. Surg Radiol Anat. 2004; 26: 54-59.
- Fealy S, et al.: The developmental anatomy of the neonatal glenohumeral joint. J Shoulder Elbow Surg. May-Jun; 9: 217-222.
- Graichen H, et al.: Glenohumeral translation during active and passive elevation of the shoulder-a 3D open-MRI study. J Biomechanics, 2000; 127: 609-613.
- 11) Mahfouz M, et al.: In vivo determination of the dynamics of

Katakansetsu (The Shoulder Joint), 2008; Vol. 32, No. 3: 509-512.

normal, rotator cuff-deficient, total, and reverse replacement shoulders. J Bone and surg Am, 2005; 87A: 107-113.

- 12) Moro-oka TA, et al.: Comparing in vivo kinematics of anterior cruciate-retaining and posterior cruciate-retaining total knee arthroplasty. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2007; 15: 93-99.
- Nishinaka N, et al.: Determination of in-vivo glenohumeral translation using fluoroscopy and shape matching techniques. J Shoulder Elbow Surg (accepted).
- 西中直也ほか: Shape-matching technique を用いた外転運動時の生体内上腕骨頭偏位の検討. 肩関節. 2007; 31: 469-471.
- 15) Poppen NK, et al.: Normal and abnormal motion of the shoulder. J Bone Joint Surg Am, 1976; 58A: 195-201.
- Warner Jon JP, et al.: Articular contact patterns of the normal glenohumeral joint. J Shoulder Elbow Surg, 1998; 7:381-388.