

超音波剪断波エラストグラフィを用いた肩関節後方関節包の受動的な弾性特性評価

飯田尚哉 (PT, PhD)¹⁾²⁾, 谷口圭吾 (PT, PhD)³⁾,
渡邊耕太 (MD, PhD)³⁾, 宮本浩樹 (PT, MS)²⁾,
谷口達也 (PT)²⁾, 片寄正樹 (PT, PhD)³⁾

1) 札幌医科大学附属病院リハビリテーション部

2) 札幌医科大学大学院保健医療学研究科

3) 札幌医科大学保健医療学部理学療法第二講座

キーワード：投球障害肩，ストレッチング，未固定凍結
人体標本

はじめに

肩関節後方関節包のタイトネスはオーバーヘッドアスリートの利き腕側肩関節に特徴的な所見である¹⁾²⁾。後方関節包のタイトネスは、投球動作中に上腕骨頭の異常偏位を導き、様々な肩関節疾患を引き起こすと考えられている³⁾⁴⁾。理学療法士は、軟組織のタイトネスに対する治療・予防を目的に、ストレッチングを実施することが多い。これまで後方関節包に対する効果的なストレッチング肢位について、屍体関節包の歪みを計測する手法により検討されてきた⁵⁾⁶⁾。しかしながら、これらの屍体研究では、歪みゲージを取り付けるために筋や皮膚といった関節包以外の軟組織がすべて切除されており、ストレッチングに及ぼす関節包以外の軟組織の影響が不明であった。さらに、歪みゲージは組織の伸長といった機械特性変化を計測しているに過ぎず、組織にどの程度の張力が加わっているかを直接的に示す力学ストレスの評価という点で不十分であったと考える。

組織への受動張力を非侵襲的に定量評価する方法のひとつに、超音波剪断波エラストグラフィ (Shear Wave Elastography; 以下, SWE) 法がある。本イメージング技術は、組織への剪断波の伝播速度を捉えることで、硬さの物理量である剪断弾性率を定量化・可視化する手法である。近年、本手法を用いて筋弾性を筋伸長時に記録した結果、弾性率と受動張力の間に強い関連があることが報告された⁷⁾⁸⁾。これらの研究結果を根拠に、SWE法により筋の受動張力を非侵襲的に推定評価できることが認められつつあり、ストレッチング肢位の検証にSWEが用いられはじめている⁹⁾¹⁰⁾。しかしながら、関節包においては、SWE法での弾性計測による力学ストレス評価の妥当性は明らかにされていない。

そこで本研究では、組織の性状特性が生体とほぼ同等な未固定凍結人体標本を対象とし、SWE法による後方関節包の受動張力評価の妥当性を検証すること、種々のストレッチング肢位において後方関節包に受動張力が強く加わるストレッチング肢位を解明することを目的とした。

対象と方法

本研究は2つの実験から構成された。実験1ではSWE法により計測した肩関節後方関節包の剪断弾性率と受動張力との関係を検証した。実験2では、種々のストレッチング肢位における後方関節包の剪断弾性率を比較した。なお、本研究は本学倫理委員会の承認 (承認番号: 29-2-30) を得たうえで実施した。

対象は肩甲上腕関節およびその周囲筋・腱・関節包に損傷や変形のない未固定凍結人体標本とした。実験1では10体10肩 (87.0 ± 7.4 歳)、実験2では9体9肩 (86.6 ± 7.7 歳) を用いた。

実験1では、まず後方関節包中部および下部における上腕骨頭-後方関節包-関節窩標本を作成した。次に、標本をオーダーメイドの力学試験機 (株式会社ウチダシステムズ, 日本) に固定した。この試験機は2つのクランプと、滑車、紐で構成されている。それぞれのクランプで上腕骨頭と関節窩を固定した。関節窩を固定するクランプには紐が取り付けられ、滑車を介し、紐の端にペットボトル容器を吊るした。ペットボトル容器に水を足すことで、関節包への受動張力の負荷を調整した。受動張力の負荷は25gずつ最大400gまでとした⁷⁾。各受動負荷につきSWE装置 (AixPplorer Ver. 6, SuperSonic Imagine 社, フランス) で剪断弾性率を3回計測した。計測3回分の平均値を統計解析に使用した。統計解析として、10個の標本それぞれで、受動張力を目的変数、剪断弾性率を説明変数とした直線回帰分析を実施した。有意水準は5%とした。

実験2では、まず肩関節標本を作成するために、上肢を肩甲胸郭関節、肘関節で離断した。その後、皮膚を含む肩関節後方の軟組織をすべて残存させたまま、前鋸筋、僧帽筋、広背筋、菱形筋、肩甲挙筋を切除し、棘上筋を剖出した。さらに、上腕骨骨幹部が露出するように、上腕二頭筋、上腕筋、上腕三頭筋の一部を切除した。上記の手順で作成した肩関節標本をジグに固定した。標本の固定後、3つの運動面 (前額面、矢状面、肩甲骨面) と肩甲上腕関節挙上角度 (-30°, 0°, 30°, 60°) を組み合わせた9つのストレッチング肢位における、後方関節包中部および下部の剪断弾性率をSWE装置で計測した。弾性計測は各ストレッチング肢位につき3回実施した。なお、関節角度は電磁気式3次元位置計測装置 (3Space Tracker System, Polhemus 社, アメリカ) で規定し、ストレッチングの強度は内旋も水平内転も4Nmに統一した⁵⁾。計測3回分の平均値を統計解析に使用した。統計解析として、ストレッチング肢位を要因とした反復測定一元配置分散分析を実施した。有意水準は5%とした。

結 果

実験1においては、20標本すべてにおいて回帰式は有意で、受動張力と剪断弾性率の間には正の相関関係を

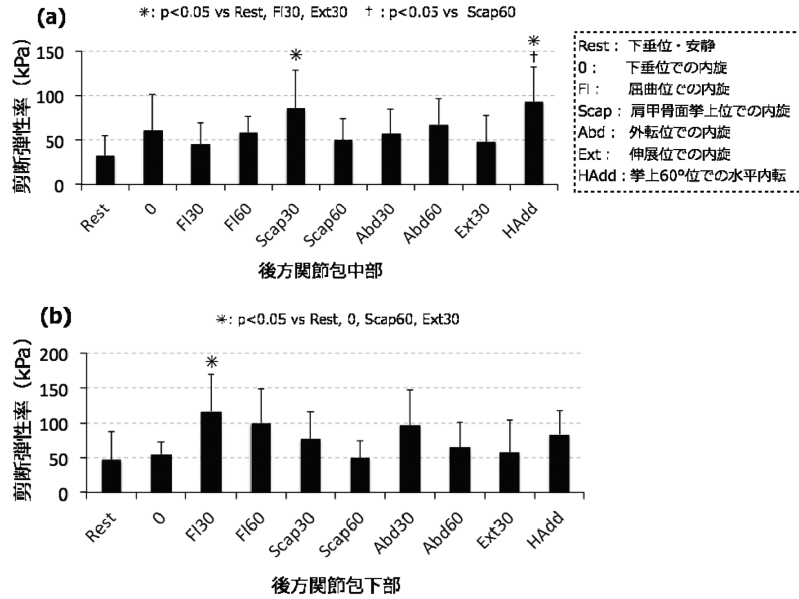


図1 各ストレッチング肢位における後方関節包中部 (a) および下部 (b) の剪断弾性率
 後方関節包中部 (a) においては、肩甲骨面挙上 30° 位での内旋および挙上 60° 位での水平内転が安静肢位より有意に剪断弾性率が高かった。後方関節包下部 (b) においては、屈曲 30° 位での内旋が安静肢位より有意に剪断弾性率が高かった。

認めた。後方関節包の中部 10 標本の回帰式の決定係数 R^2 は 0.882 ± 0.075 であった。下部 10 標本の回帰式の R^2 は 0.901 ± 0.050 であった。

実験 2 においては、後方関節包中部では、肩甲骨面挙上 30° 位での内旋 (86.1 ± 43.0 kPa) および挙上 60° 位での水平内転 (93.2 ± 39.3 kPa) が安静肢位 (33.1 ± 21.9 kPa) より有意に剪断弾性率が高かった (図 1(a))。また、後方関節包下部においては、屈曲 30° 位での内旋 (117.1 ± 51.9 kPa) が安静肢位 (46.1 ± 41.6 kPa) より有意に剪断弾性率が高かった (図 1(b))。

考 察

これまで、受動張力と剪断弾性率との関連は、筋組織を対象に検証されており、SWE 法は筋組織の受動張力を高い精度で間接的に計測可能であることが示されている⁷⁾⁸⁾。関節包を対象にした本研究では、剪断弾性率は受動張力を十分に説明可能な変数であることが示され、この知見は渉猟する限り本研究がはじめての報告である。本研究結果は、関節包における SWE 法を用いた受動張力の推定評価の妥当性を示すものである。

後方関節包が伸長するストレッチング肢位は、これまで歪みゲージで関節包の歪みを計測する手法で検証されてきた⁵⁾⁶⁾。この手法を用いた先行研究と本研究結果では、有効なストレッチング肢位が一致しなかった。この要因として、本研究では先行研究と異なり、筋や皮膚をすべて残存させた状態で弾性計測を実施したことが挙げられる。また、先行研究では歪みという機械的特性を評価しているのに対し、本研究では剪断弾性率という受動

張力を強く反映する指標を用いた。組織の歪みと張力という異なる物理量を評価していることも、研究間で結果の違いが生じた一因である可能性がある。

結 論

SWE 法により関節包の受動張力を高い精度で推定評価可能であることが示された。また、後方関節包に受動張力が強く加わるストレッチング肢位は、後方関節包中部においては肩甲骨面挙上 30° 位での内旋および挙上 60° 位での水平内転、下部においては屈曲 30° 位での内旋であった。

文 献

- 1) Takenaga T, Sugimoto K, *et al.*: Posterior shoulder capsules are thicker and stiffer in the throwing shoulders of healthy college baseball players: A quantitative assessment using shear-wave ultrasound elastography. *Am J Sports Med.* 2015; 43: 2935-2942.
- 2) Thomas SJ, Swanik CB, *et al.*: Humeral retroversion and its association with posterior capsule thickness in collegiate baseball players. *J Shoulder Elbow Surg.* 2012; 21: 910-916.
- 3) Gates JJ, Gupta A, *et al.*: The effect of glenohumeral internal rotation deficit due to posterior capsular contracture on passive glenohumeral joint motion. *Am J Sports Med.* 2012; 40: 2794-2800.
- 4) Mihata T, Gates J, *et al.*: Effect of posterior shoulder tightness on internal impingement in a cadaveric model of throwing. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015; 23: 548-554.
- 5) Borstad JD, Dashottar A: Quantifying strain on posterior shoulder tissues during 5 simulated clinical tests: a

- cadaver study. J Orthop Sports Phys Ther. 2011; 41: 90-99.
- 6) Izumi T, Aoki M, *et al.*: Stretching positions for the posterior capsule of the glenohumeral joint: strain measurement using cadaver specimens. Am J Sports Med. 2008; 36: 2014-2022.
 - 7) Koo TK, Guo JY, *et al.*: Relationship between shear elastic modulus and passive muscle force: an ex-vivo study. J Biomech. 2013; 46: 2053-2059.
 - 8) Maisetti O, Hug F, *et al.*: Characterization of passive elastic properties of the human medial gastrocnemius muscle belly using supersonic shear imaging. J Biomech. 2012; 45: 978-984.
 - 9) Umegaki H, Ikezoe T, *et al.*: The effect of hip rotation on shear elastic modulus of the medial and lateral hamstrings during stretching. Man Ther. 2015; 20: 134-137.
 - 10) Umehara J, Nakamura M, *et al.*: Shoulder horizontal abduction stretching effectively increases shear elastic modulus of pectoralis minor muscle. J Shoulder Elbow Surg. 2017; 26: 1159-1165.
- 本と剪断波エラストグラフィを用いた研究一. 第136回北海道整形災害外科学会, 2019年1月26~27日
- 2) Iida N, Taniguchi K, Watanabe K, Miyamoto H, Taniguchi T, Fujimiya M, Katayose M: The Validity of Evaluating Passive Force in Posteroinferior Shoulder Capsules Using Ultrasound Shear Wave Elastography -A Cadaveric Study-. Orthopaedic Research Society 2019 Annual Meeting, 2019年2月2~5日
 - 3) 飯田尚哉: 肩関節後方関節包の受動的なスティフネスの定量評価. 第1回運動器理学療法超音波フォーラム, 2019年3月10日
 - 4) 飯田尚哉, 谷口圭吾, 渡邊耕太, 宮本浩樹, 谷口達也, 十文字駿起, 藤宮峯子, 寺本篤史, 山下敏彦, 片寄正樹: 剪断波エラストグラフィを用いた肩関節後方軟組織のタイトネスに対する有効なストレッチング肢位の検討. 第92回日本整形外科学会学術総会, 2019年5月9~12日
 - 5) Iida N, Taniguchi K, Watanabe K, Miyamoto H, Taniguchi T, Fujimiya M, Katayose M: Effective Stretching Position for the Tightness of Posterior Shoulder Capsule Determined by Shear Wave Elastography, American College of Sports Medicine 66th Annual Meeting, 2019年5月28日~6月1日

原著論文

- 1) 飯田尚哉, 谷口圭吾, 渡邊耕太, 宮本浩樹, 谷口達也, 藤宮峯子, 片寄正樹: 肩関節後方関節包の組織弾性と受動張力の関係—未固定凍結人体標本を用いた検討—. 日本基礎理学療法学雑誌, 2018; 21: 88-94.

発表実績

学会発表

- 1) 飯田尚哉, 谷口圭吾, 渡邊耕太, 宮本浩樹, 谷口達也, 藤宮峯子, 山下敏彦, 片寄正樹: 肩関節後方関節包のタイトネスに対する有効なストレッチング肢位の検討—未固定標