

超音波組織エラストグラフィの筋組織への応用

—肩こりにおける筋組織の病変への客観的指標の確立を目指して—

前野信久・堀田典生(中部大学)・建部貴弘

Application to muscular tissue of Ultrasound real-time

Tissue Elastography.

— The establishment of the objective guideline to a muscular tissue lesion of the shoulder stiffness. —

Nobuhisa MAENO, Norio HOTTA (Chubu University), Takahiro TATEBE

Background : Recently, the diagnosis ability of the Ultrasound imaging in the soft tissues (such as muscle or tendon) improves drastically, and the usefulness has been approved. The ultrasound real-time elasticity imaging system (Elastography) in new technology can classify information about “stiffness” of the organization. In the malignant tumors (such as the breast cancer), the case that the stiffness of the lesion can decide the guideline of the diagnosis has been applied. **Objective**: In this study, we evaluated the muscular tissue lesion of the shoulder stiffness whether elastography can distinguish the stiffness lesion. And, we compared before and after exercise of the elastography images and the pain degree, thereby, evaluated the establishment of the objective guideline and the usefulness. **Methods** : The subjects were one female and three males with shoulder stiffness. We compared elastography images of before and after exercise. Moreover, as for the pain part and pain degree in the shoulder stiffness, we evaluated by a self-rating questionnaire an effect of before and after the exercise. **Results** : In the questionnaire, reduction of the shoulder stiffness of all four elderly subjects was shown by one times exercise lesson. In the elastography images, two subjects could have shown stiffness lesion of the muscular tissue by the shoulder stiffness. As for the evaluation before and after the exercise, it was difficult to settle to be an equivalence part of before exercise, it was not possible to visualize an effect of the exercise with elastography images enough. **Conclusions** : Elastography images might have shown the muscular tissue lesion of the shoulder stiffness. However, in order to increase the quality of elastography images, we might need various technical and procedure ways.

Keywords : 肩こり、健康運動教室、超音波診断装置、組織エラストグラフィ (Elastography)、Elasticity Score

1. はじめに

近年、筋や腱などの軟部組織における超音波画像の診断能力が飛躍的に向上し、その有用性が認められてきている(高橋ら. 2007; 山口ら. 2007; 山本ら. 2009)。医療現場における超音波診断装置(エコー)の高い画像診断技術について、スポーツ科学分野においてもその有用性が要求されてきている。従来、運動器の画像診断として、単純 X 線写真、CT、MRI などが用いられ、それぞれ異なった特長をもつが、

機器が大きい、操作が煩雑で大掛かりである、X線においては、被爆の心配がある、MRIでは検査中の長時間の安静が必要になるなどの様々な問題点があった。そしてこれらの問題点から従来の診断機器では短時間の繰り返しの検査が極めて難しいことが挙げられる。運動器の疾患においては、動きの障害についての動的な観察が必要になるが、いずれの機器による画像診断法も静止画像に焦点が置かれており、筋収縮や関節運動などの動的観察は不向きである。

一方、超音波診断装置においては、筋や腱および靱帯などの軟部組織、さらには骨表面などの観察に適し、機器は持ち運びも可能なポータブルタイプが存在する。操作方法は、簡便でリアルタイムに任意の画像が得られ、被爆の心配はない。運動器の観察において最も重要な動的観察を得意とし、受傷した関節などを可動させながら障害部位を診断することができる。運動器の障害の診断に超音波診断装置が使用されるようになった背景として、従来の超音波診断装置では、探触子（プローブ）から送信された超音波を受信し、アナログ信号として画像処理されデジタル信号に変換（A/D変換）してきたが、近年、このデジタル化の過程が探触子で超音波を受信した直後からA/D変換される技術が確立し、デジタル信号を直接画像処理できる技術が格段に向上した点にある。運動器の診断に多用される高周波数プローブにおいては、デジタル化によってノイズの少ない高精細画像を得られ、CT、MRIを上回る高分解能画像が容易に描出されるようになった点が大きいと考えられている。

超音波装置のデジタル化により、大容量の信号を扱うことが可能となり、装置側のソフトウェアの開発も進んでいる。注目される技術として、超音波組織エラストグラフィ（Ultrasound real-time Tissue Elastography、以下エラストグラフィ）がある。エラストグラフィでは、過去の画像診断装置では計測しえなかった“硬さ”に関する情報を知ることができる。臨床現場では、乳ガンなどの悪性腫瘍において、病変部の硬さが診断の指標となりうる症例において臨床適応されている（Itoh et al. 2006）。従来のエコーにおいても、例えば、触診により柔らかさの程度を段階的に評価することができれば（例えば、乳房など）、画像上でのグレースケール（色調）に相応させ、その硬さの程度を段階的に評価することも可能であると思われる。しかし、このような手法では、硬さの情報が視覚や主観に頼ったものになってしまう。この問題を解決する手法として、エラストグラフィでは、“硬さ”の指標に「弾性率（相対的）」を使用している。弾性率は、“歪み”の変化率を表し、最も客観的な硬さを表す物理量であり、客観性と普遍性の問題を一度に解決することができる。

筋の“凝り”や“張り”などの局所血流障害を伴う筋の硬化においても、触診等に頼らざるを得ず、客観的な評価は難しい。エラストグラフィでは、硬化部位を可視化し、何らかの処置前後にて硬化の程度を比較できる可能性がある。例えば、アームカールエクササイズにおいて運動直後の上腕部のエラストグラフィ画像の硬度変化を捉え、エクササイズ終了後の30分で運動前の状態に戻ったことが報告され（Yanagisawa et al. 2011）、また、顎関節症患者における咬筋の凝りについて、マッサージの効果をエラストグラフィ画像によって捉えたことが報告されている（Ariji et al. 2009）。本研究では、肩関節における筋の凝りや張りといった筋組織の病変（肩こり）について、エラストグラフィによって、その硬化病変を捉えることができるか、そして、運動前後の「凝りの程度」と「エラストグラフィの画像」を比較し、エラストグラフィが肩こりの改善を評価するツールとなりうるか、客観的指標の確立およびその有用性を検討した。

2. 対象と方法

対象は、平成21年度に愛知淑徳大学 スポーツ・健康医科学科が主催したなごや健康カレッジ（堀田ら2010）の参加者のうち、肩こりがあると訴えた女性1名（症例A：71歳）、男性3名（平均年齢70歳）（症例B：66歳、C：70歳、D：74歳）であった。名古屋市では、2010年度を健康づくり元年とし、さまざまな取り組みを総合的に進める「なごや健康ウェーブプロジェクト」を始動した。「なごや健康カレッジ」

はその取り組みの一つとして、科学的根拠に基づく健康づくりを目指し、名古屋市と大学が連携して実施しているものである。対象者において、健康運動教室の前に、肩の凝りを訴える箇所に対し、超音波診断装置（(株)日立メディコ社製 Apron EUB-7000HV）および 6.0-14.0MHz リニア型プローブを用いてエラストグラフィ画像を撮影した。その後、健康運動指導士および本学の体育系の教員の指導による健康運動教室に参加してもらい、30 分ほどのエクササイズにおいて肩関節のストレッチングなどを行い、再度、エラストグラフィ画像を撮影し、肩部の筋断層画像を比較した。また、肩こりの部位と程度について、自己記入による質問紙を作成し、運動前後のエクササイズの効果を評価した。本研究は、愛知淑徳大学健康医療科学部倫理委員会の承認に基づき、すべての対象者に、本研究の目的と方法を説明し文書による同意を得て行われた。

2.1. 運動指導内容

運動指導の目的は、当日の活動量の確保と安全で効果的な運動の方法を学習することであった。参加者の安全管理として、運動教室の初日に、「運動を始める前の自己診断表」と「健康状態のチェックシート」を記入してもらい、保健師による問診によって、運動教室の参加の可否を確認した。さらに、毎回必ず運動の前に血圧と心拍数の測定し、「スポーツ参加当日のセルフチェック 10 ポイント(表 1)」の記入を義務づけ、体調が悪い場合の運動参加は認めなかった。事故防止のために細心の注意を払い、肩関節を対象とした運動について、以下のエクササイズを指導し実施した。

- ・肩こりの予防に効果があるとされるバンドエクササイズ (15 分)
 - 1) 肩すくめ運動 2) 腕の引き上げ 3) 肩の外旋 4) 肩周辺のストレッチング
- ・肩、腕のウェイトトレーニングに効果があるとされるバンドエクササイズ (15 分)
 - 1) アームカール 2) フロントレイズ 3) サイドレイズ 4) プルダウン 5) ロウイング
 - 6) 肩・腕周辺のストレッチング

表 1. スポーツ参加当日のセルフチェック 10 ポイント

下記の質問に該当する項目に○を付けて下さい。		
1. 熱はないか。	ない	ある
2. 体はだるくないか。	ない	だるい
3. 昨夜の睡眠は十分か。	十分	不十分
4. 食欲はあるか。	ある	ない
5. 下痢はしていないか。	ない	いる
6. 頭痛や胸痛はないか。	ない	ある
7. 関節の痛みはないか。	ない	ある
8. 過労はないか。	ない	ある
9. 前回のスポーツの疲れは残っていないか。	ない	いる
10. 今日のスポーツに参加する意欲は十分にあるか。	ある	ない

上記の項目の中で1つでも2列の回答の右の項目に○がついた場合は、当日のスポーツの参加は避けて休養をとり、1週間以上症状の続いている場合は医師の診察を受けてください。

※昭和 63 年度 日本体育協会スポーツ医科学研究「スポーツ行事の安全管理に関する研究」より改変

2.2. 肩こりの部位と程度の評価（自己記入による質問紙）

運動を始める前と運動の後に、図 1 に示す質問紙によって、肩こりの部位とその程度を評価した。凝りの部位については、“場所”と“範囲”を図 2_a-d に示すように記入してもらった。また、凝りの程度については、図 1 に示す質問紙に「肩こりが全くない」から「我慢できないくらい肩こりがひどい」までのスケール(100mm)を用意し、対象者自身の肩こりの程度を 1 本の直線で示してもらい、その長さ (mm) を測ることによって凝りの程度の評価とした。

月 日 お名前

今の肩こりの状態を教えてください。
 1) 左側の図には、こっている場所と範囲をお教え下さい。
 2) 右側のスケールには、今の上半身全体の“こり”の程度を、線を1本書いて教えてください。

運動前

肩こりが全くない ← 我慢できないくらい肩こりがひどい

運動後

肩こりが全くない ← 我慢できないくらい肩こりがひどい

図 1. 肩こりの部位と程度の評価（自己記入による質問紙）

2.3. エラストグラフィ画像の撮影手技と評価

エラストグラフィとは、“体表からの圧迫に対して、硬い組織はほとんど変形しないが、軟らかい組織は大きく変形する”という弾性の性質を利用し、プローブにて手で与えた圧力によって弾性体が生じる歪みを画像化する相対的な歪み分布である。したがって、エラストグラフィ画像を得るためには、プローブを軽くわずかに上下させる必要があり、その画像取得には手技的な依存を伴う可能性がある。本研究では、全対象者において、プローブを上下に動かす振幅を 1-2mm 程度、プローブを動かす速さは、1 秒間に 1-2 回の動きとすることを心がけた。

エラストグラフィ画像では、設定した ROI (Region of Interest) の中での歪みの平均を緑、それよりも硬いものを青、柔らかいものを赤と表示し、硬いものから軟らかいものの順に、青→緑→黄→赤とカラー表示される。ROI の中の相対的な硬さで表示されるため、占める割合が大きいものが平均である緑色を呈することになる。例えば、乳腺領域においては、乳腺組織が ROI の中での占める範囲が最も広いいため、乳腺組織は平均的な緑色を呈し、脂肪層は乳腺組織より軟らかいため、乳腺組織より赤色が混ざるケースがあり、反対に大胸筋は硬いため青色を呈することが多い。本研究では、エラストグラフィ画像のスコア化として、乳腺領域の良悪性鑑別の補助診断として普及している Elasticity score (Tsukuba Elastography score) (Itoh et al. 2006) を参考として、筋組織のエラストグラフィ画像スコアを作成し、肩こりによる筋の弾性およびエクササイズによる筋の弾性変化をスコア化した (表 2)。

また、運動前後の評価については、短時間の検査において運動後に測定位置の移動が起こらないよう運動前と同一部位であることを確定させるため、マーキングによって位置決めを行った。

表 2. エラストグラフィによる肩こりの弾性スコア

スコア 1; 低エコー域全体に歪みが生じる(周囲正常僧帽筋と同様に肩こりを訴える領域全体が緑色)
スコア 2; 低エコー域の一部に歪みが生じない(肩こりを訴える領域全体が緑と青のモザイク状)
スコア 3; 低エコー域の中心は歪まず辺縁部に歪みが生じる(肩こりを訴える領域の中心は青く辺縁が緑色)
スコア 4; 低エコー域全体に歪みが生じない(肩こりを訴える領域全体が青色)
スコア 5; 低エコー域とその周辺まで歪みが生じない(肩こりを訴える領域とその周辺まで青)

※スコアが高くなるにつれ肩こりの重症度の程度が増す可能性がある。

3. 結果

3.1. 運動前

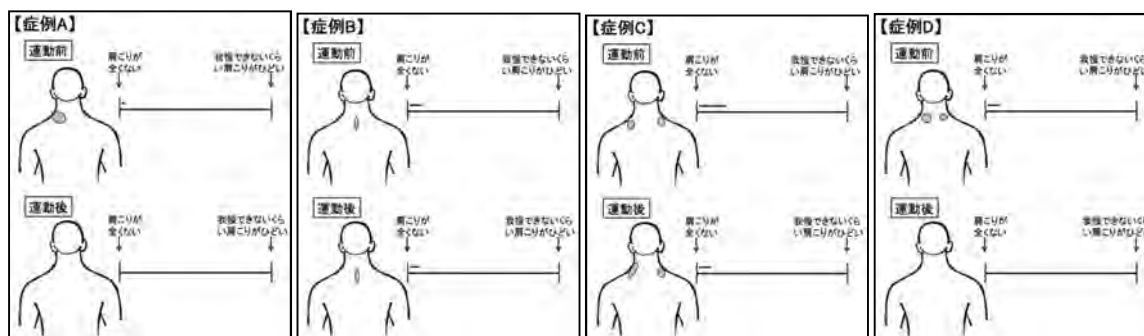
対象者 4 名(症例 A-D)について、運動前の質問紙による肩こりの部位と程度の評価は、症例 A の凝りの部位は左側僧帽筋の中心部、凝りの程度は 1.6 (mm) であった (図 2_a)。症例 B の凝りの部位は胸椎 Th1 (Thoracic) 領域 (中央部)、凝りの程度は 8.6 であった (図 2_b)。症例 C の凝りの部位は、両側僧帽筋の中心部、凝りの程度は 18.0 であった (図 2_c)。症例 D の凝りの部位は、両側僧帽筋の椎骨側の近傍、凝りの程度は 6.9 であった (図 2_d)。

運動前のエラストグラフィ画像について、約 5mm 厚の表皮、真皮、皮下組織の下部に存在する僧帽筋において、肩こりを訴える領域に明らかな硬化部位が認められた例は、2 例 (症例 A、D) であった (図 3_a, d)。表 2 に従い各症例をスコア化すると症例 A の肩こりの凝りの部位である左側僧帽筋の中心部についてはスコア 2、症例 D の左側僧帽筋の椎骨側の近傍についてはスコア 2 が示された。エラストグラフィ画像において、肩こりによる筋組織の硬化病変を捉えた可能性が大きいと考えられた。しかし、他の 2 症例のうち、症例 C については、肩こりを訴える全領域において、黄～オレンジ色の暖色系のモザイク状のカラーを示し、組織の硬化を示す緑～青色系のカラーを示す領域は認められなかった。また、症例 B については、胸椎の骨組織を描出したと思われ、十分なエラストグラフィ画像を得ることができなかった。

質問紙による凝りの程度とエラストグラフィ画像のスコアの関連については、一様な関連は認められなかった。症例 C では質問紙による凝りの程度は 18.0 であったが、エラストグラフィでは硬化病変を認めなかった。

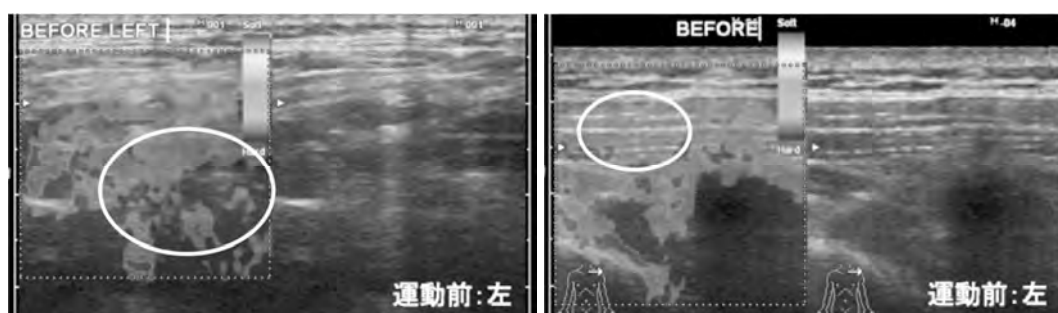
3.2. 運動後

対象者 4 名(症例 A-D)の運動後の質問紙による肩こりの部位と程度の評価は、症例 A の凝りの部位は認めなくなった (図 2_a)。症例 B の凝りの部位は運動前と同様であったが、凝りの程度は 4.6 に減少した (図 2_b)。症例 C の凝りの部位は運動前と同様であったが、凝りの程度は 7.5 に減少した (図 2_c)。症例 D の凝りの部位は認めなくなった (図 2_d)。



対象者が自己評価した質問紙を転写した。

図 2_a, b, c, d. 対象者 4 名の運動前後の肩こりの部位と程度



丸印の部位に組織の硬化を示す緑～青色系のカラーを示す領域（スコア 2）が認められた。

左側：症例 A、右側：症例 D

図 3_a, d 肩こりにおけるエラストグラフィ画像（運動前）

対象者 4 名のすべてにおいて、運動後の自己評価における肩こりの程度についての改善が認められた。

運動後のエラストグラフィ画像について、運動前に硬化部位としてスコア 2 を認めた症例 A の左側僧帽筋の中心部は、運動後においても変化はなくスコア 2 を呈した。しかし、運動前に同じくスコア 2 を認めた症例 D の左側僧帽筋の椎骨側の近傍については、運動後に黄～オレンジ色の暖色系のモザイク状のカラーを呈した。エラストグラフィ画像においても、肩こりの改善を視覚的に捉えた可能性も考えられた。

4. 考察

今回我々は、肩こりによる凝りの部位や凝りの程度について、超音波組織エラストグラフィ法を用いた客観的指標の確立およびその有用性を検討した。1 回の運動教室において、高齢者の肩こりの軽減が図られたことが証明され、かつ、エラストグラフィ画像において、肩こりによる凝りの部位について、筋組織の硬化病変を捉えることができた可能性がある（症例 A,D）。

今回、エラストグラフィ画像のスコア化として、乳腺領域の良悪性鑑別の補助診断として普及している Elasticity score を参考として、筋組織におけるエラストグラフィ画像スコアを作成し、肩こりの硬化病変を評価する指標として用いた。乳腺領域では、通常、脂肪層が緑～赤色、乳腺組織は緑～黄色の寒色系から暖色系のカラーを呈し、その下層の大胸筋は青色系の寒色系のカラーを示す（Itoh et al. 2006）。プローブにて手動で与えた圧力が深部の大胸筋に至るまでに、その生じる歪みが低下してしまうことも考えられるが、肩こりに関連する筋のように表在の筋群においては、肩こりのない例において、エラストグラフィ画像では、黄～オレンジ色の暖色系のカラーを呈することが判明した。このように、弾性体となる組織の深度と加える圧力の大きさがエラストグラフィ画像の構築に影響を与えている可能性も考慮

する必要がある。本研究においては、加える圧力の大きさが一定（プローブを上下に動かす振幅は 1-2mm 程度、プローブを動かす速さは 1 秒間に 1-2 回の動き）になるよう心がけたが、対象とした弾性体である僧帽筋の深度は、各被験者間で異なる画像を呈した。すなわち、僧帽筋組織の上部に認められる筋のない部位（脂肪層）の厚みが各被験者で異なっていた。例えば、肩こりを訴えるがエラストグラフィ画像上で硬化病変を確認できなかった症例 C においては、表皮（真皮）の下に 10mm 程度の明瞭な脂肪層が確認された。今後、皮下組織（脂肪層）が筋組織のエラストグラフィ画像に与える影響（村木ら 2009）についてさらなる検討が必要である。また、症例 A は女性であったが、筋力の違いが筋組織の硬さに影響を与える可能性（Komiya et al. 1996）について、エラストグラフィによってその差異が検出可能か否か、さらなる検討が必要であろう。今回の研究においては、事前に握力計において握力を測定したが、男性群は女性よりも握力が明らかに高かった。今後、男女ともに症例数を増やし、筋力の違いと筋組織の硬化の関連を検討する必要がある。また、乳腺領域における Elasticity score は、乳腺の腫瘍性病変への適応が高いと考えられており、非腫瘍性病変については十分な評価が得られていない（Itoh et al. 2006）。Elasticity score の筋組織への応用については、今後、僧帽筋の局所血流障害に伴う肩の凝りと腫瘍性病変の病理学的相違についても検討が必要である。その他に技術的な問題点として、エラストグラフィのカラー表示は ROI の中の相対的な硬さで表示されるため、ROI を占める割合が大きいものが平均である緑色を呈することになる。このことは、各被験者間における僧帽筋の厚みや大きさがエラストグラフィ画像の構築に影響を与えている可能性がある。今回の研究では、対象者の ROI の大きさをすべて固定しており、僧帽筋の厚みに応じて、各対象者で深部方向の ROI の大きさについては調整の必要があったのかもしれない。

本研究のリミテーションとして、自己記入の質問紙と被験者の訴えを手がかりとして肩こりによる凝りの部位をエラストグラフィ画像により描出することに注意を払ったが、本来エコーが得意とする僧帽筋全体を探索的に観察し、緑～青色系の寒色系のカラーを示す領域を検出することも必要であった。僧帽筋は比較的大きな筋であるため質問紙や被験者が凝りを訴えた領域と実際の障害部位が乖離を起こしてしまった可能性がある。症例 C においては、肩こりによる凝りを訴える領域において、病変と思われるエラストグラフィ所見は認められなかった。今回の研究では探索的に僧帽筋全体を観察することがなかったため、僧帽筋の別の部位に本当の障害部位が存在した可能性も否定できない。また、質問紙による凝りの程度は、あくまでも被験者個人が持つ感覚的なものであり、客観的指標となり得るエラストグラフィ画像との間に乖離が認められた点については、不可避な結果であるのかもしれない。

被験者の運動前後の評価については、短時間の検査において運動前と同一部位であることを確定させることが困難であった。今回の対象者では、症例 D の左側僧帽筋の椎骨側の近傍について、運動前にスコア 2 を呈した領域が、運動後に黄～オレンジ色の暖色系のモザイク状のカラーを呈したが、実際の B モード画像における運動前後の画像を比較した場合、僧帽筋直下の棘上筋の描写されている位置が異なっており、運動前に描出された部位と同位置であることを確定させることはできなかった。今回の研究では、運動前後において測定位置の移動が起らないようマーキングによって位置決めを行ったが、画像上においても、棘上筋や肩甲骨上縁や上角などが同一部位において描出可能であれば、それをランドマークとし、観察することが重要であると思われる。

一方で、肩こりの研究においては、圧入式の筋硬度計を用いて評価する研究が約 20 年前から行われている（Horikawa et al. 1993 ; Komiya et al. 1996 ; Murayama et al. 2000）。近年、簡易型の圧入式筋硬度計が開発され（高梨ら. 2008）、筋疲労時と弛緩した際の筋硬度の違いが評価され、スポーツ医学の分野へも応用されてきている（大下ら. 2004）。今後は筋硬度計の示す数値をエラストグラフィ画像の再現性や信頼性の評価として使用することも有効であると考えられる。

5. 結語

今回の研究では、1回の運動教室において高齢者の肩こりが軽減される可能性が示唆された。また、エラストグラフィ画像において、肩こりによる凝りの部位の筋組織の硬化病変を捉えることができた可能性がある。しかし、エラストグラフィ画像の描出においては、以下にまとめる様々な留意しなければならない点が見いだされた。

- 1) 弾性体の深度によって、エラストグラフィ画像のカラー表示が異なる可能性がある。
- 2) 上部組織（脂肪層など）の影響を受ける可能性がある。
- 3) 筋力の違いが筋組織の硬度に影響を与えている可能性がある。
- 4) ROIの取り方によって、エラストグラフィ画像のカラー表示が異なる可能性がある。
- 5) 被験者の感覚的な凝りの程度の評価とエラストグラフィ画像による硬化病変の程度の評価は一致しない可能性がある。
- 6) 運動前後の評価については、運動前と同一部位であることを確定させることが困難であった。
- 7) 筋硬度計など他の評価指標を追加した検討が有効であるかもしれない。

肩こりについてのElasticity scoreなどによる客観的指標を確立するために、今後さらなる症例を増やした検討が必要である。

付記

本事業は『なごや健康カレッジ』事業の中で名古屋市健康福祉局健康増進課の協力を得て行われた。本研究に参加して下さった対象者の方々、本健康運動教室の運営に協力下さった名古屋市名東保健所の方々および本学スポーツ・健康医科学科の皆さまに深くお礼申し上げます。また、本研究は、愛知淑徳大学の平成22-23年度の研究助成（共同研究）「研究課題：健康運動教室は高齢者の筋組織におけるこり、張り、痛みの改善に有効か」（申請者：前野信久、堀田典生、建部貴弘）のサポートによって行われました。ここに感謝の意を表します。

文献

- 大下泰司・満園良一・伊集院俊博（2004）「競歩選手のトレーニング時におけるオートストレッチングの影響」『久留米大学健康・スポーツ科学センター研究紀要』12, 37-40.
- 高梨 晃・烏野 大・塩田琴美, 他（2008）「2種類の軟部組織硬度計における再現性、信頼性の検討」『理学療法科学』23, 297-300.
- 高橋 周・皆川洋至・山本宣幸（2007）「学童期における脛骨粗面部の発達特長について 超音波診断装置を用いたメディカルチェック」『日本整形外科学会雑誌』81, S537.
- 堀田典生・建部貴弘・前野信久（2010）「大学で開催する高齢者運動教室がもたらす効果」『愛知淑徳大学 アクティブラーニング』4, 47-58.
- 村木里志・福田 修・福元清剛（2009）「筋の厚さ（量）と硬さ（質）から筋力を推定する方法の開発」『第24回健康医科学研究助成論文集』平成19年度, 126-133.
- 山口睦弘・松岡紗也香・相澤 徹（2007）「少年野球肘検診への超音波検査導入の意義」『超音波検査技術』32, 382.
- 山本喜美夫・村永信吾・大内 洋（2009）「スポーツ障害を診る！スポーツリハビリテーションに活用する超音波診断」『MEDIX』50, 24-27.
- Ariji, Y., Katsumata, A., Hiraiwa, Y., Izumi, M., Iida, Y., Goto, M., Sakuma, S., Ogi, N., Kurita, K., & Ariji, E. (2009). Use of sonographic elastography of the masseter muscles for optimizing massage pressure: a preliminary study. *Journal of Oral Rehabilitation*. 36(9), 627-35.

- Horikawa, M., Ebihara, S., & Sakai, F. (1993). Non-invasive measurement method for hardness in muscular tissues. *Medical & Biological Engineering & Computing*. 31, 623-627.
- Itoh, A., Ueno, E., Tohno, E., Kamma, H., Takahashi, H., Shiina, T., Yamakawa, M., & Matsumura, T. (2006). Breast Disease: Clinical Application of US Elastography for Diagnosis, *Radiology*. 239, 2, 341-350.
- Komiya H, Maeda J, Takemiya T. (1996). A new functional measurement of muscle stiffness in humans. *Advances in exercise and sports physiology*. 2, 31-38.
- Murayama M, Nosaka K, Yoneda T, Minamitani K. (2000). Changes in hardness of the human elbow flexor muscles after eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology*. 82, 361-367.
- Yanagisawa O, Niitsu M, Kurihara T, Fukubayashi T. (2011). Evaluation of human muscle hardness after dynamic exercise with ultrasound real-time tissue elastography: A feasibility study. *Clinical Radiology*, 66: 9, 815-819.