

学 位 論 文 内 容 の 要 約

愛知学院大学

乙 第 号	論文提出者 中山 美和
論 文 題 目 Evaluation of the masseter muscle elasticity with the use of acoustic coupling agents as references in strain sonoelastography	

I. 背景

筋肉の硬さは筋痛患者の状態評価のためには有効な要素である。筋痛を有する顎関節症の咬筋硬度は筋硬度計によって計測されるが、測定値では筋肉内部の状態の変化を把握できない。

超音波 elastography は筋肉の状態をリアルタイムで映像化し、超音波プローブで組織を手動的に圧縮することにより、組織の歪みが測定できる。その歪みを超音波 elastography では組織弾性、Elasticity Index (以下 EI) として測定される。EI は画像で描出されている全範囲の歪みの平均値を 1 として定義されている。歪みが平均値 1 より大きい場合、EI は 0~1、小さい場合は 1~6 として表示され、6 に近いほど硬くなる。画像では、通常の B モードにカラー分布が重ね合わせて表示され、赤→黄→緑→青の順で軟→硬と硬度を示している。

しかしながら、超音波 elastography で表示される EI は相対値であり、以前は皮下脂肪などを参照として、咬筋の EI との比を用いて分析を行ったが、皮下脂肪も個人差があるため参照体としては理想的ではなかった。

今回は通常の超音波検査で使用される音響カップリング材 (stand-off pad) を参照体として使用して、咬筋硬度の計測をより客観的に行うために以下の研究を企画した。研究 1 として、ひとつは①3 種類のヤング率既知の筋肉ファントムを用いて実験的に 2 つの方法を検証した。ヤング率の異なる 2 種類の参照体を重ね合わせて用いる方法。他のひとつは②単一の参照

体を用いる方法である。①の方法は 2 重参照体法 (Double reference agents method)、②は単一参照体法 (single reference agent method) と定義した。研究 2 では健常ボランティアの咬筋硬度を参照体を用いて計測し、分析した。

II. 実験的研究 (研究 1)

1. 対象と方法

1) 筋肉ファントムと参照体としてのカップリング材

実験のためにヤング率既知の筋肉ファントムを特注で作製した (OST 株式会社、千葉)。筋肉ファントムの形状は直方体 (幅 110mm×高さ 60mm×奥行き 40mm) で、ヤング率が 20、40、60kPa の 3 種類とした。また同様の材料から 7、40kPa の硬さの異なる参照体 (幅 110mm×高さ 30mm×奥行き 5mm) も作製した。

2) elastogram の取得

使用機材は Logiq E9 (GE Healthcare、東京) で、解析ソフトウェアは Elasto Q analysis を用いた。フリーハンドで行う圧縮強さの最適圧はモニターに表示される Elastic scale を参照して撮像した。取得された参照体および筋肉ファントムの elastogram 上に任意の大きさの ROI を設定し、最適圧時の EI を Elasto Q analysis で測定した。ROI の大きさは、参照体では 3×20mm、筋肉ファントムでは 5×30mm の楕円形とした。

3) 測定法の妥当性

(1) 2重参照体法

2重参照体法では、上方から軟参照体、硬参照体、筋肉ファントムの順に配置した。その結果からそれぞれの EI を測定し、回帰式を求め、回帰式より計測されたヤング率と実際のヤング率の関係を分析した。測定は3年以上の経験を持つ放射線科医 5 名にて行った。検査者間の一致度は級内相関 (Inter-examiner ICC) を算出した。

(2) 単一参照体法

この方法では筋肉ファントムの EI ratio を求めた。筋肉ファントムの上方に 1 種類の参照体を配置し、elastogram を撮像した。検査は3年以上の放射線科医 5 名にて 2 回ずつ行った。EI ratio と筋肉ファントムの実際のヤング率の関係を分析した。検査者間および検査者内の一致度は級内相関 (Inter-Intra-examiner ICC) を算出した。

4) 測定法の咬筋への適用性

上記の 2 つの方法が実際の人に適用できるか否かを検討した。2 人のボランティアの咬筋の撮像を 3 人の検査者に行ってもらい、どちらの方法が容易かを評価してもらった。

統計解析

統計解析は統計解析ソフトウェア (Stat View version 4.0、米国) を使用した。ピアソンの相関係数によって結果を評価した。 $0 < r \leq 0.2$ は相関がみ

られない、 $0.2 < r \leq 0.4$ は弱い相関、 $0.4 < r \leq 0.7$ は中間の相関、 $0.7 < r$ は強い相関とした。Inter-Intra-examiner ICC は 0-0.20 では乏しい一致、0.21-0.40 では低い一致、0.41-0.60 では中等度の一致、0.61-0.80 ではかなりの一致、0.81-1.00 では高い一致とした。有意差ありは $p < 0.05$ とした。

2. 結果

1) 2重参照体法

算出されたヤング率は実際のものより高値となったが、両者はよく相関した。検査者間の級内相関は 0.78 でかなりの一致がみられた。

2) 単一参照体法

軟参照体も硬参照体も EI ratio とヤング率の間に 0.80、0.92 と強い相関がみられた。軟参照体は硬参照体より計測値にバラつきがあり、特に 60kPa ではバラつきが大きかった。5 人の検査者間および検査者内の級内相関は 0.74、0.86 とよく一致していた。

3) 適用性

3 人の検査者とも 2 種類の参照体を重ね合わせて使用すると、圧迫時にズレが生じるため、1 種類の参照体のほうが簡便であると評価した。

以上より研究 2 では硬参照体を使用した。

Ⅲ. 健常ボランティアによる研究 (研究 2)

1. 対象と方法

本研究は愛知学院大学歯学部倫理委員会で承認を得て行った。研究の目的と方法を説明し同意を得られた 25 名の健常ボランティア（男性：15 人、女性：10 人、 30.80 ± 9.77 歳）が参加した。全てのボランティアは顎関節症の症状がなく、正常咬合を有していた。参加者はベッドに仰向けになり、測定側の咬筋が上方になるように顔を横に向け、咬筋を安静の状態にした。咬筋に 40kPa の参照体を配し、その上から安静時と最大噛みしめ時の elastogram を研究 1 と同様の器材を用いて撮像し、EI ratio を測定した。

統計解析

統計解析は Student T 検定を用い、EI ratio と性別、左右差を評価した。有意差ありは $p < 0.05$ とした。

2. 結果

健常ボランティアの咬筋測定では、性別や左右側に有意差は認められなかった。EI ratio は、安静時より最大噛みしめ時のほうが有意に大きかった。EI ratio は最大噛みしめ時では大きくバラついた。

IV. 考察

筋硬度を測定するときに超音波 elastography は有用であることは知られているが、いくつかの欠点もある。用手的な圧縮力は標準化できず、得られる値も相対値である。そのため皮下脂肪を参照体とした研究もあったが、

個人差があるため個人内での比較は可能であるが、他との比較はできなかった。以前より音響カップリング材を参照体として使用する方法があったが、通常の検査に使用するものは（音響インピーダンスが低く）透明で EI 測定が不可能であった。また運動前後に肘の筋肉の評価のために用いた材料もあったが、咬筋に適用するには大きかった。Chino らは 2 種類のヤング率既知の参照体を用いて腓腹筋の硬度を求めている。特注で作製した参照体によってヤング率が表示され、腓腹筋のヤング率は約 30kPa であった。我々はまずこの方法を参考にして最初の研究を行ったが、咬筋は小さく湾曲しているため、この方法を咬筋に適応するのは困難であった。そのため、1 種類の参照体を用いる方法の検証を行った。

その結果、硬参照体を単一で用いる方法は咬筋を評価するのに適していた。同一の参照体を用いるときは、咬筋硬度を個人内はもちろん、他との比較も可能であった。今回は咬筋ファントムのヤング率を 20~60kPa の範囲で実験を行ったが、健常ボランティアの最大噛みしめ時の咬筋の硬さはこの範囲を超えたため、今後は 60kPa 以上の筋肉ファントムの実験が必要と考えられる。

ROI による影響も考慮し、予備的に同一の大きさに位置を変えて計測したが位置による影響はなかった。参照体の状態は経時的な材質の変化による影響が結果に影響すると考えられた。この点に関しては製造業者が推奨する 3 ヶ月以内に研究を行ったので影響はなかったと思われる。しかしな

がら、今後、臨床に応用するためには、この変化も考慮しなければならない。

筋硬度は MR elastography (MRE) と超音波 elastography で測定され、kPa で表示されているが、その値は様々であった。Uffmann らは MRE で計測された腓腹筋は $9.9 \pm 6.8 \text{ kPa}$ とし、外側は $3.73 \pm 0.85 \text{ kPa}$ 、内側は $3.91 \pm 1.15 \text{ kPa}$ であったと報告した。Ringleb らは MRE で外側腓腹筋の硬さは $9.9 \sim 22.0 \text{ kPa}$ とバラつきがあることを報告している。Arda らの報告は shear-wave sonoelastography では腓腹筋の硬さは男性で $11.4 \pm 4.1 \text{ kPa}$ 、女性では $11.0 \pm 4.0 \text{ kPa}$ であった。Chino らと同じ研究グループは shear-wave sonoelastography で計測した腓腹筋外側は $27.6 \pm 7.3 \text{ kPa}$ 、内側は $33.4 \pm 6.3 \text{ kPa}$ と類似した結果となった。このバラつきはヤング率と剪断係数の違いを考慮しても比較的大きいと言える。これは測定器材によることも考えられるが、筋肉の異方性よっても異なると考えられた。したがって、本研究では咬筋硬度をヤング率で表示しなかった。また個人間の咬筋硬度の比較であれば EI ratio で十分であると考えられるためである。もし、kPa で表示するならば、使用する装置や参照体の硬さ、EI ratio を示さなければならない。

咬筋の硬度は Arijji らの報告にもあるように弱い持続噛みしめ後に増大する。また皮下脂肪を参照体として計測した咬筋の EI ratio は性別や左右側に有意差は認められなかった。このことは本研究の結果と一致している。

今後は年齢、性別、歯列、咬合力等の因子を考慮して、shear-wave elastography との比較を行っていくことが必要と考えられる。

V. 結論

咬筋の筋硬度を評価するときに使用する参照体は、40kPa の硬参照体を単独で使用し、良好な結果が得られた。咬筋の EI ratio は性別や左右側に有意差は認められず、安静時より最大噛みしめ時のほうが増大した。