

令和 6 年 5 月 23 日現在

機関番号：32667

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K10204

研究課題名(和文)画像工学に基づく口輪筋弾性挙動の可視化—包括的口腔機能管理ツールの創出—

研究課題名(英文)Visualization for the elasticity of orbicularis oris muscle based on image engineering - Creation of the comprehensive oral functional management tool -

研究代表者

坂井 幸子(林幸子)(Hayashi-Sakai, Sachiko)

日本歯科大学・新潟生命歯学部・講師

研究者番号：70397131

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では超音波エラストグラフィを用いて口唇閉鎖力測定時における口輪筋の挙動を視覚的に観察し弾性特徴を定量評価した。音響カプラには至適加圧荷重の範囲で圧縮試験を行った。最も低い弾性係数を持つ音響カプラを用いて0-8 Nの引張荷重下にて下顎口輪筋の口唇閉鎖時におけるひずみ比を計測し、エラストグラフィを行った。引張荷重0Nにおける検者内信頼性は0.81であった。エラストグラフィにて引張荷重を増すにつれてひずみ比も有意に増すことが示された。口唇閉鎖機能検査装置から得られたデータと超音波エラストグラフィから得られたデータとを組み合わせることによって、客観的で高精度な筋性能の評価を可能にした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

口の衰えが先行して全身フレイルやサルコペニアが発生し、さらには要介護状態や生命維持にも関連する。本研究にて口唇閉鎖機能を画像上にて把握することが可能であることが示されたことから、医療介入を展開する上でのクリニカルパスの構築のみならず、将来的にはコンパクト化したデバイスをベッドサイドにて活用し、口腔機能向上の介入へと繋げ、寝たきり状態の予防も期待することができる。筋の弾性特性を理解することは、筋のコンディションを把握するだけでなく、今後適切な介入手段を検討するうえでのベースライン情報として有益であると示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present study was to investigate the behavior of the lower orbicularis oris muscle during a button-pull exercise to measure lip closing force and quantitatively evaluate its elastic properties using a sonographic elastography. Compression tests were performed on acoustic couplers within the appropriate compression load. Using the acoustic coupler with the lowest elastic modulus, the strain ratio of the lower orbicularis oris muscle during lip closing was measured, and elastography was performed under tension loads of 0-8 N. The intraclass correlation coefficient (1, 3) for the tension load of 0 N was 0.81. Elastography showed that the strain ratio values increased significantly as the tension load increased. Combining the data obtained from lip closing test devices and sonographic elastography enabled the muscle performance to be evaluated objectively and accurately.

研究分野：小児歯科学

キーワード：口腔機能 超音波診断装置

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

平成 30 年度の歯科診療報酬改定において、口腔疾患の重症化予防、口腔機能低下への対応、生活の質に配慮した歯科医療の推進を目的として、ライフステージに応じた口腔機能管理の推進が打ち出された。口腔機能発達不全を認める小児と口腔機能低下を認める高齢者において、口腔機能管理の評価が新設された。小児の食に関する問題と高齢者が安全に口から食事を摂取できるための対策をとることが、健康長寿達成のために必要な重点分野であることが示されている。

### 2. 研究の目的

口唇閉鎖力測定時の引張荷重下における口輪筋の弾性挙動を可視化するとともに、画像工学に基づき医用画像から力学解析を行うツールの創出を目的とした。口唇閉鎖機能すなわち筋性能を画像上にて把握することで包括的な口腔機能管理の実現を目指した。

### 3. 研究の方法

#### (1) 画像取得に要する至適加圧荷重の定義

3名の歯科放射線科医がファントム(ELPT-003C ;OST社)を用いてエラストグラフィを行い、エラストグラフィ画像を得るために要した加圧荷重を電子はかり(Dretac社)にて測定した。超音波装置はHIVISION Preirus(日立メディコ)、7-13 MHz リニアプローブ(EUP-L75;日立メディコ)を用いた。プローブ先端には3種類の音響カブラ(EZU-TECPL1,ソナゲル,エコーパッド)を取り付けた。加圧荷重の計測には3種類の音響カブラからランダムに1つを装着して各検者10回ずつ計測した。得られた結果を本研究におけるエラストグラフィ画像の至適加圧荷重として定義した。

#### (2) 音響カブラ弾性率の測定と最適カブラの決定

3種類の音響カブラの面積を実際のプローブ面積50mm×12mmに合わせて統一した。厚さはソナゲル5mm,エコーパッド5mmだが,EZU-TECPL1は4mm厚しか供給されていないため4mmとした。

3種類の音響カブラについて小型卓上試験機EZ-SX(島津製作所)を用いて圧縮試験を行った。圧子形状は円柱平板(118),エラストグラフィ画像の至適加圧荷重の範囲で、試験速度は5mm/minとし、各カブラについて5回の試験を行った。荷重変位のデータを応力-ひずみ関係に変換して、フックの法則からヤング率を求めた。

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1)$$

$E$ はヤング率,  $\sigma$ はひずみkPa,  $\epsilon$ はひずみmm/mmを表す。

超音波エラストグラフィ画像取得に適する弾性を示した音響カブラを最適カブラと定義し、以降の参照体として採用した。

#### (3) 信頼性の検証と口輪筋弾性挙動の可視化と検証

健康な男性6名のボランティアを対象として、口輪筋の超音波エラストグラフィを行った。本研究の参加者の年齢範囲は22~25歳,平均年齢は23.67±1.21歳だった。いずれも口唇,上下顎に機能不全は認められなかった。本研究は新潟大学歯学部倫理委員会に承認されたプロトコールに従い行った(承認番号28-R16-3-20)。

対象者の頭位はFH平面と床とが平行となるように合わせた。直径30mmのボタンプル運動用ボタン(新潟県歯科保健協会)を用いた。太さ0.65mmの絹糸を620mmで切断した。絹糸をボタン穴に通し両端を結び,ボタン中央からの長さは約300mmとした。絹糸つきボタンを口腔前庭の切歯と口唇の間のスペースに挿入した。糸の他方はデジタルフォースゲージDS2-20N(イマダ)につないだ。対象者には口唇閉鎖するように指示した。糸と床とが平行に保ちながらデジタルフォースゲージを引っ張るボタンプル動作を介して,下唇口輪筋に引張荷重0,2,4,6,8Nを与えた。

歯科放射線科医である検者Aが各被検者の下顎口輪筋の超音波エラストグラフィを行った。参照体として音響カブラEZU-TECPL1を採用した。収納プラスチックアタッチメントEZU-TEATC2(日立メディコ)をプローブ先端に装着した。プローブと口唇の正中線を一致させてひずみ比を計測した。対象者について3回ずつのひずみ比計測を行った。

ひずみ比は超音波装置に内蔵されたソフトウェアで行われ,対象組織と参照体とのずれを比較して算出する。ひずみグラフはガイド機能がついており,各相の平均値が含まれる。一定の加圧はひずみグラフでモニタリングしながら,リアルタイムで正のピークと負のピークから代表的な画像としての典型的な適切なフレームを得ることができ,エラスト画像の色の変化はない。

各ピクセルは256色が割り当てられる。赤はひずみが大きく,青はひずみが少なく,緑は平均的なひずみである。カラースケールをつけた弾性画像は透過性画像に変換し,Bモード画像と重ね合わせた。配置することでひずみ分布とBモードの特徴を検者は比較することができる。

音響カブラの関心領域(ROI)は矩形とし,下口輪筋中央部のROIと同幅とした。下口輪筋中

中央の ROI は B モードで明瞭に確認できる範囲とした。ROI A を口輪筋に、ROI B を音響カブラに設定した。ひずみ比 (Strain Ratio) は次式のように表される。

$$\text{Strain Ratio} = B / A \quad (2)$$

A と B は ROI A と B のひずみ値である。式(2)より、Strain Ratio 値が高いと口輪筋が音響カブラより硬いことを示し、エラストグラフィ上で青色に表される。低いと筋がカブラよりも軟らかいことを示し、エラストグラフィ上で赤色に表される。

本研究では、引張荷重 0N における各対象者に 1 名の検者 A が 3 回ずつ計測してエラストグラフィ適用の信頼性を評価した。ひずみ比値の計測の信頼性は級内相関係数 (ICC) を用いて評価した。級内相関係数とは計測や評価の信頼性をはかるものである。ICC (1,3) は同一検者が対象者に 3 回計測したときの相関を表す。統計には R (R プロジェクト, バージョン 3.4.0.) を用いた。

引張荷重 2, 4, 6, 8N における下口輪筋のひずみ比変化の評価には多重比較を行った。引張荷重 0N 時のひずみ比値と 2, 4, 6, 8N 時のひずみ比値間とは Steel 法を行い比較した。

#### 4. 研究成果

音響カブラの圧縮試験で与える圧縮荷重を決めるために、エラストグラフィ画像を得る至適荷重を計測したところ、圧縮荷重の最大値は 4.18N、最小値は 1.14N であった。3 名の検者はそれぞれ得意とする加圧荷重をもっていたため、どのカブラを使用しても同一検者内でのばらつきは大きくはなかった (図 1)。本研究ではエラストグラフィ画像を得るためには検者は約 4.9N 以下の加圧荷重を対象に与えることが示された。そこで次に行う音響カブラの圧縮試験において、カブラに与える荷重は 0-4.9 N とした。

3 種類の音響カブラ圧縮試験を行ったところ。EZU-TECPL1, ソナゲル, エコーパッドの平均弾性率は各々  $24.4 \pm 0.1$ ,  $120.2 \pm 2.8$ ,  $109.3 \pm 6.4$  kPa であった。すべての音響カブラは下に凸関数を示した。EZU-TECPL1, ソナゲルは 5 回とも安定していたが、エコーパッドは 1, 2 回目が小さく、3 回目以降に安定する傾向を示し不安定であった。EZU-TECPL1 は弾性率が低く、すなわち少ない加圧で画像を得られることから、以降の実験には EZU-TECPL1 を用いることとした (図 2)。

引張荷重 0N における級内相関係数の評価を行った。級内相関係数 ICC(1,3) は 0.81 であり、本研究手法は高い信頼性があることが示された。

引張荷重 0N 時の下顎口輪筋ひずみ比値は 0.19 ~ 0.36 であった。同様に 2N 時は 0.20 ~ 1.06, 4N 時は 0.35 ~ 1.96, 6N 時は 0.63 ~ 3.47, 8N 時は 0.93 ~ 3.91 を示した。引張荷重 0N 時の中央値は 0.25 であった。2N 時は 0.36, 4N 時は 0.57, 6N 時は 0.79, 8N 時は 1.60 を示した。Steel 法による多重解析を行ったところ、引張荷重を増すにつれてひずみ比も有意に増すことが示された ( $p < 0.05$ ) (図 3)。

本研究では下顎口輪筋の相対的弾性は引張荷重を増すと増加することが示された。超音波エラストグラフィによって従来不明だったボタンプル運動時の各荷重下における筋活動の位置情報の同定と内部性状を示すことができた。従来の筋硬度計では筋表面しか計測できなかったが、超音波エラストグラフィではさらに深い領域を観察できた。ひずみ比の増加は筋がその性能を発揮して硬くなったことを意味する。このように筋のどの部位を評価しているのかを画像上で視覚的に把握することが可能となった。次に、超音波エラストグラフィを用いたことによって内部性状を観察できたため、筋硬度差を知ることができた。筋弛緩と筋収縮の弾性の差が大きい筋、すなわち普段は柔らかくて収縮時に硬くなるほど性能が良いといえる。このように筋の挙動をリアルタイムに把握することができ、超音波エラストグラフィによって非侵襲的に有益な口輪筋のリアルタイム情報をもたらした。

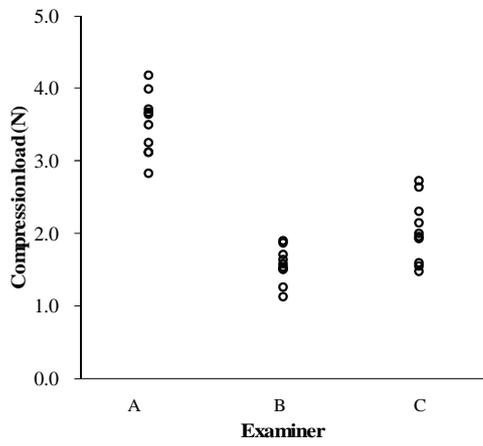


図1 検査者3名(A~C)による至適加圧荷重の測定

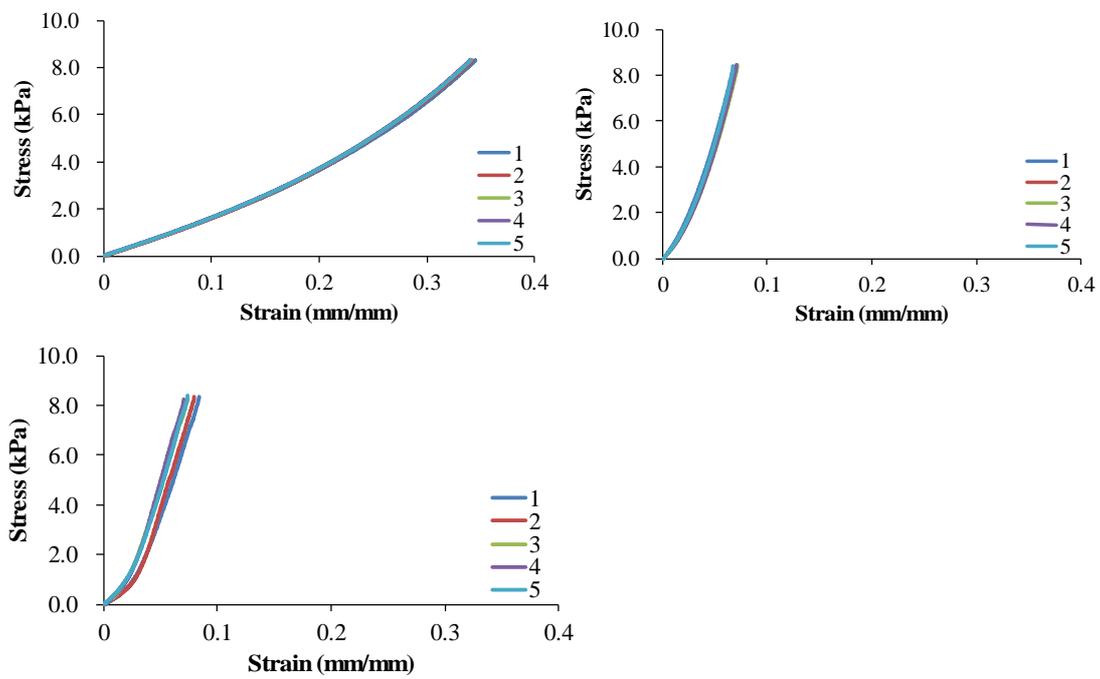


図2 3種の音響カプラの圧縮試験；(左上) EZU-TECPL1, (右上)ソナゲル, (左下)エコーパッド

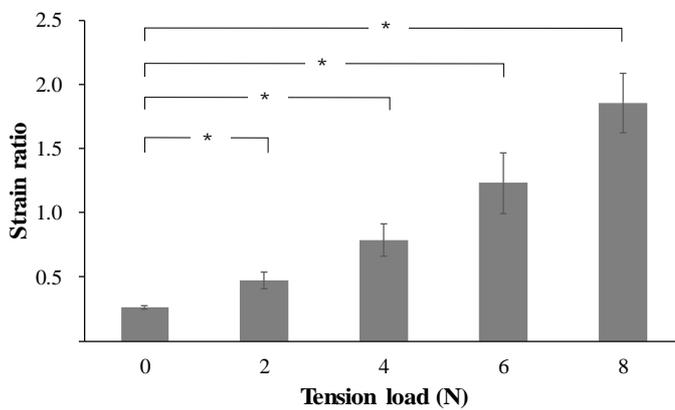


図3 引張荷重0-8Nにおける下顎口輪筋ひずみ比值

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 石井 義人, 坂本 信, 亀田 剛, 坂上 勇太, 森清 友亮, 小林 公一, 坂井 幸子, 遠藤 英昭, 平元 和彦	4. 巻 44
2. 論文標題 CBCTを用いた上下顎間の三次元歯列形態の関係性の評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 臨床バイオメカニクス	6. 最初と最後の頁 319-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hayashi-Sakai S, Kobayashi T, Hayashi T, Shimomura-Kuroki J, Sakai J, Sakamoto M	4. 巻 34
2. 論文標題 Visual evaluation for the elasticity of suprahyoid muscles using sonographic elastography during tongue pressure measurement: A pilot study	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bio-Medical Materials and Engineering	6. 最初と最後の頁 159-168
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3233/BME-221414	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 石井 義人, 坂本 信, 坂上 勇太, 亀田 剛, 森清 友亮, 小林 公一, 坂井 幸子, 遠藤 英昭, 平元 和彦	4. 巻 43
2. 論文標題 コーンビームCTを用いた上下顎歯の三次元歯軸角度の特徴	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 臨床バイオメカニクス	6. 最初と最後の頁 339-344
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 坂井 幸子, 黒木 淳子	4. 巻 109
2. 論文標題 少子化時代の小児歯科医療とバイオメカニカルアプローチ	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 歯学	6. 最初と最後の頁 9-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 坂上 勇太, 坂本 信, 森清 友亮, 亀田 剛, 小林 公一, 坂井 幸子, 遠藤 英昭, 田邊裕治	4. 巻 42
2. 論文標題 コーンビームCTによる三次元歯軸の解析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 臨床バイオメカニクス	6. 最初と最後の頁 79-85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 石井 義人, 長江 恒樹, 坂本 信, 亀田 剛, 小林 公一, 坂井 幸子, 遠藤 英昭, 平元 和彦
2. 発表標題 コーンビームCTによる三次元咬合平面の数学的表現
3. 学会等名 第50回日本臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 吉田 織恵, 坂井 幸子, 中野 智実, 上津 豪洋, 下村-黒木 淳子
2. 発表標題 下顎乳臼歯の後継永久歯歯胚に隣接した根尖病変に感染根管治療を行った1例
3. 学会等名 第41回日本小児歯科学会北日本地方会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松田 貴絵, 上津 豪洋, 赤坂 明子, 坂井 幸子, 下村-黒木 淳子
2. 発表標題 中心結節が破折した幼若永久歯に対しマイクロスコープとMTAを用いて歯内療法を行った一例
3. 学会等名 第41回日本小児歯科学会北日本地方会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上津 豪洋, 中野 智実, 田中 聖至, 坂井 幸子, 下村-黒木 淳子
2. 発表標題 外傷受傷歯に断髄後ダイレクトベニア修復を行った1例
3. 学会等名 第40回日本小児歯科学会北日本地方会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田 織恵, 北澤 裕美, 瀧 桃, 坂井 幸子, 下村-黒木 淳子
2. 発表標題 上顎両側犬歯の完全型移転を伴う1例
3. 学会等名 第40回日本小児歯科学会北日本地方会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石井 義人, 坂本 信, 坂上 勇太, 亀田 剛, 森清 友亮, 小林 公一, 坂井 幸子, 遠藤 英昭, 平元 和彦
2. 発表標題 CBCTを用いた上下顎間の歯列形態
3. 学会等名 第49回臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 上津 豪洋, 林-坂井 幸子, 下村-黒木 淳子
2. 発表標題 レーザー切削したウシ歯象牙質への試作オールインワンアドヒーズの応用
3. 学会等名 第60回日本小児歯科学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂井 幸子, 神戸 正人, 上津 豪洋, 下村-黒木 淳子
2. 発表標題 舌圧測定時の舌骨上筋における弾性特徴の可視的評価
3. 学会等名 第39回日本小児歯科学会北日本地方会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Nishiyama H, Kobayashi T, Ike M, Takamura M, Nikkuni Y, Soga M, Hayashi-Sakai S, Hayashi T
2. 発表標題 Sanity checks for deep learning to estimate the location of dental X-ray images
3. 学会等名 The 23rd ICDMFR
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井 義人, 坂本 信, 坂上 勇太, 亀田 剛, 森清 友亮, 小林 公一, 坂井 幸子, 遠藤 英昭, 平元 和彦
2. 発表標題 コーンビームCTを用いた三次元上下顎歯の歯軸角度の関係
3. 学会等名 第48回臨床バイオメカニクス学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	坂本 信  (Sakamoto Makoto)  (80215657)	新潟大学・医歯学系・教授    (13101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	林 孝文  (Hayashi Takafumi)  (80198845)	新潟大学・医歯学系・教授    (13101)	
研究分担者	下村 淳子  (Shimomura Junko)  (00386286)	日本歯科大学・新潟生命歯学部・教授    (32667)	
研究分担者	坂井 淳  (Sakai Jun)  (70425370)	新潟工業短期大学・自動車工業科・准教授    (43105)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関