



Title	ペットボトルを用いた舌挙上訓練の検討：訓練時の舌口蓋接触圧および舌骨上筋群筋活動
Author(s)	南都, 智紀
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/61670
rights	This is the pre-peer reviewed version of the following article: Nanto, T, Ono, T, Hori, K, et al. The effects of tongue elevation using a weighted plastic bottle on the tongue pressure and activity of suprahyoid muscles. J Oral Rehabil. 2022; 49: 1041- 104, which has been published in final form at https://doi.org/10.1111/joor.13365 . This article may be used for non-commercial purposes in accordance with Wiley Terms and Conditions for Use of Self-Archived Versions.
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

ペットボトルを用いた舌挙上訓練の検討
—訓練時の舌口蓋接触圧および舌骨上筋群筋活動—

大阪大学大学院歯学研究科 口腔科学専攻 顎口腔機能再建学講座

有床義歯補綴学・高齢者歯科学分野

南都智紀

指導

大阪大学大学院歯学研究科 口腔科学専攻 顎口腔機能再建学講座

有床義歯補綴学・高齢者歯科学分野

指導教員：前田芳信 先生

要旨

【目的】摂食嚥下リハビリテーションにおいて、舌および舌骨上筋群のレジスタンストレーニングが注目されている。しかし、これまで報告されているトレーニングでは、負荷量を設定する上で機器が必要となる点や、頭頸部の保持能力が低下した症例には行えない点が課題であった。今回我々は、舌および舌骨上筋群の筋力増強を目的として、舌を口蓋に押し付けることで水を入れたペットボトルを保持するタスク（以下、ペットボトル保持=PBH）を考案した。本研究では、まず PBH 時の舌圧および舌骨上筋群筋活動に与えるペットボトル重量の影響を検証し（実験 1）、次に最大舌挙上、頭部挙上訓練との比較を行う（実験 2）ことにより、PBH のレジスタンストレーニングとしての可能性について検討した。

＜実験 1．ペットボトルの重量が舌圧および舌骨上筋群筋活動に与える影響＞

【方法】被験者は自覚的な舌、口唇、下顎、咽頭、喉頭の運動障害がない被験者（男性 8 名、女性 10 名；25～68 歳；平均 42.2 ± 16.6 歳）とし、ペットボトルをホルダーで連結したガーゼを舌と口蓋で保持するように指示した。ペットボトルを装着しない 0 g、水を入れたペットボトルとホルダーを含む重量が 250 g、500 g、750 g の 4 条件を設けた。舌圧センサシートシステム（ニッタ社）を用いて、PBH 時の硬口蓋部 5 チャンネルでの舌圧を 5 秒間計測した。PBH 時に最大となった舌圧の値（最大舌圧）、5 秒間の舌圧を平均した値（平均舌圧）を求め、チャンネルごとに 4 条件間で比較した。舌骨上筋群の筋活動は筋電計（Logical Product 社）を用いて、PBH および Head Lift Exercise（頭部挙上）時の筋活動を 5 秒間計測し、筋電波形の Root Mean Square (RMS) を算出した。各被験者の頭部挙上時 RMS を 100%とし、PBH4 条件の RMS を正規化した値（%RMS）と比較した。PBH 時の舌および舌骨上筋群の自覚的努力感を評価するため Visual Analogue Scale を用いて、4 条件間で比較した。

最大舌圧，平均舌圧，%RMS，自覚的努力感の比較は Friedman 検定，Wilcoxon の符号付順位検定（Holm の補正）を行った．また，ペットボトルの負荷量増加に伴い，各項目が上昇傾向を示すかについて検討するため，Jonckheere-Terpstra のトレンド検定を行った．有意水準はすべて $P < 0.05$ とした．

【結果】 Ch. 1 での最大舌圧と平均舌圧は，0~500 g までの負荷重量増加に伴い有意に上昇した． Ch. 2， Ch. 4， Ch. 5 では最大舌圧，平均舌圧ともに，0 g と比較して他の 3 条件で有意に舌圧が高い結果となった． Ch.3 では最大舌圧，平均舌圧ともに全ての条件において有意差を認めなかった． Ch. 5 においては，最大舌圧，平均舌圧ともに，250 g よりも 500 g で有意に高い値を示した． Ch. 3 を除いて，ペットボトルの重量増加に伴い最大舌圧および平均舌圧が上昇する傾向を認めた（trend $P < 0.05$ ）． 舌骨上筋群の %RMS は，0 g と比較して 250 g， 500 g， 750 g において有意に高い値を示した． 頭部挙上との比較では，0 g では有意に低い値を示し，他の条件との間には有意差を認めなかったものの，重量増加に伴って %RMS が増加する傾向を認めた（trend $P < 0.05$ ）． 舌と舌骨上筋群の自覚的努力感は，有意な増加傾向を示し（trend $P < 0.05$ ），舌骨上筋群の 250 g-500 g 間を除き，負荷重量間で有意差を認めた．

<実験 2．最大舌挙上および頭部挙上運動との比較>

【方法】被験者ならびに PBH の方法は実験 1 と同様とし，水を入れたペットボトルとホルダーを含む重量が 500 g， 750 g の 2 条件に加えて，最大舌挙上，頭部挙上の 4 条件を 20 秒間実施した． PBH2 条件，最大舌挙上時の舌圧を計測し，20 秒間で最大となった舌圧（最大舌圧），20 秒間の舌圧を平均した値（平均舌圧）を求め，3 条件間で比較した． 舌骨上筋群の筋活動は実験 1 と同様に測定した． 頭部挙上時の Root Mean Square (RMS) を 100 % として，PBH2 条件および最大舌挙上での RMS を正規化し（%RMS），4 条件間で比較した． 舌と舌骨上筋群の自覚的疲労感を Visual

Analog Scale を用いて評価し、舌については PBH2 条件と最大舌挙上との比較、舌骨上筋群については PBH2 条件、頭部挙上、最大舌挙上との比較を行った。平均舌圧、最大舌圧においてはセンサ位置ごとに Shapiro-Wilk 検定、Mauchly の球面性検定を行い、正規性および球面性が仮定された場合には分散分析を行った。正規性が仮定され、球面性が棄却された場合には Greenhouse-Geisser の自由度修正を行った。有意差がみられた場合に Shaffer 法による多重比較を行った。最大舌圧、平均舌圧で正規性が棄却された項目、%RMS、自覚的疲労感には Friedman 検定、Wilcoxon の符号付順位検定 (Holm の補正) を行った。有意水準はすべて $p < 0.05$ に設定した。

【結果】 Ch. 1 での最大舌圧と平均舌圧は、500 g や最大舌挙上と比較して 750 g で有意に高い値となった。Ch. 2 と Ch. 3 においては、最大舌挙上と比較して 500 g と 750 g で有意に低い値を示した。舌骨上筋群の %RMS は、500 g, 750 g, 最大舌挙上、頭部挙上の 4 条件間で有意差を認めなかった。舌の自覚的疲労感に関しては、500 g, 最大舌挙上と比較して、750 g で有意に高い値となった。舌骨上筋群の自覚的疲労感に関しては、500 g, 頭部挙上と比較して 750 g で有意に高い値となった。

【考察】 実験 1 において、0 g から 500 g まで重量を増加させることにより、硬口蓋前方部での舌口蓋接触圧や自覚的努力感が漸増したことから、舌への負荷を段階的に調整することが可能と考えられた。また、舌骨上筋群においては重量増加に伴い、%RMS が上昇する傾向を示したことから、ペットボトルの重量を舌挙上によって保持することは、レジスタンストレーニングとなる可能性が示唆された。実験 2 において、750 g の負荷を用いた PBH では舌前方部において最大舌挙上よりも高い舌圧を生じ、自覚的な疲労感も高かったことから、舌圧トレーニングとしての可能性が示唆された。また、500 g, 750 g の負荷量を用いると、頭部挙上と同程度の舌骨上筋群筋活動がみられ、頭部挙上運動よりも自覚的疲労感が強くなったことから、舌骨上筋群のレジスタンストレーニングとしても有望であると考えられた。以上のことから、特殊な機器を必要とせずに簡便に負荷量が調整可能な PBH は、舌筋及び舌骨上筋群

に対する新しいレジスタンストレーニングとなる可能性が示唆された.

緒言

「食べること」をつかさどる摂食嚥下機能は重要な生命維持機能であると共に、食事を介して良好な人間関係を形成する上でも重要な役割を担っている¹⁾。摂食嚥下機能の障害により生活の質 (Quality of Life) が低下するため²⁻⁴⁾、近年、摂食嚥下機能の解明や摂食嚥下障害に対する治療法の開発に関して、多くの研究者が関心を寄せている。

これまで水分嚥下や固形物の咀嚼嚥下における嚥下モデルが報告されてきた。水分を嚥下する際には、食物を認知する先行期、食塊形成を行う口腔準備期、口腔から咽頭へ食塊を移送する口腔期、咽頭から食道へと移送する咽頭期、食道から胃へと移送する食道期に分類することができる⁵⁾。一方、咀嚼嚥下では水分嚥下時とは異なる動態を示す。食塊の咀嚼中には中咽頭へ食塊が移送され (Stage II transport)、喉頭蓋谷に貯留してから嚥下が起こる。この一連の動態は「プロセスモデル」として提唱され⁶⁾、今日までに広く受け入れられている。これらの水分嚥下モデルおよび咀嚼嚥下モデルでは、舌と口蓋の接触時の圧力 (以下、舌圧) や舌骨および喉頭挙上の動作筋となる舌骨上筋群の筋活動は、安全で円滑な嚥下を遂行する上で欠くことのできない要素である。

これまでの先行研究で、食塊や水分を咽頭へ移送する際には、前方から後方にかけての舌 - 口蓋接触が生じ、食塊移送の駆出力となること^{7,8)}が明らかとなっている。咀嚼時においても、下顎運動と舌圧の関連⁹⁾や、食品物性と舌圧との関連^{10,11)}が報告されている。嚥下時には舌骨、喉頭の挙上に伴って、喉頭蓋反転による気道閉鎖¹²⁾や、食道入口部の開大^{13,14)}が起こり、食塊が食道へと移送される。これら嚥下時の気道防御、食道入口部の開大には、舌骨上筋群の活動に伴って舌骨や喉頭が挙上することが重要な役割を担っている^{15,16)}。しかし、神経筋疾患、脳卒中、頭頸部癌など、機能的および器質的問題が生じると舌運動や舌骨喉頭挙上が障害され、円滑な嚥下運動

を遂行することが困難となる^{12,17,18)}。

このような背景から、近年舌や舌骨上筋群のレジスタンストレーニングが注目されている。圧バルブを舌と口蓋の間に挿入し舌圧を測定する **Iowa Oral Performance Instrument** (以下、**IOPI**) を用いた定量的な舌圧トレーニングを実施し、嚥下時の舌圧や舌最大挙上時の舌圧が向上したと報告されている¹⁹⁻²¹⁾。また、舌を口蓋に押し付けるように嚥下することで、嚥下時の舌圧と咽頭圧が上昇し、舌骨上筋群の活動が得られる **Effortful Swallow**²²⁻²⁴⁾も舌圧トレーニングとして位置づけられる。舌骨上筋群のトレーニングでは、臥位姿勢でつま先を見るように頭部を挙上する **Head Lift Exercise**^{14,25,26)}が代表的であり、舌骨上筋群の活動を高め、食道入口部を開大させると報告されている。また **Expiratory Muscle Strength Training** (以下、**EMST**) は、定量的な負荷量を設定できる呼気筋トレーニングである²⁷⁾。**EMST** を行うことで、呼吸機能の改善に加えて、水分嚥下時や半固形食の嚥下時において舌骨上筋群の筋活動が上昇したとされている²⁸⁻³⁰⁾。これらの他に訓練効果の報告は少ないものの、**Chin tuck against Resistance** (以下、**CTAR**)^{31,32)}や **Jaw-Opening Exercise**³³⁾、**Swallow Exercise Aid**³⁴⁾も舌骨上筋群のトレーニングとして紹介されている。

しかし、上記の訓練法の実施にあたっては、適応症例が制限されることや、機器や機材の取得に経済的負担が生じる点が課題である。**Head Lift Exercise** では頭頸部を空間で抗重力的に保持する能力や頸部の可動域が必要となるが、嚥下障害患者で頭部挙上が困難な症例³⁵⁾や、頭頸部癌等、頸部の手術により絶対安静を必要とする症例、気管カニューレを使用している症例には実施困難な場合がある。また **IOPI** を用いた舌圧トレーニングや、**EMST**、**Swallow Exercise Aid** を用いたトレーニングでは定量的な負荷量調整が可能だが、専用の機器を購入する必要があり、使用できる環境が制限されることや、経済的負担を生じることになるため、自主練習としての導入が困難である。専用の機器を使用しない **Effortful Swallow**、**CTAR**、**Jaw-Opening Exercise** では簡便に行うことができるものの、訓練の負荷量設定に限界が生じることや、舌圧

と舌骨上筋群のトレーニングを同時に行えないことが課題としてあげられる。

舌圧および舌骨上筋群のトレーニングに求められる要素として、①頭頸部の保持能力や可動域がなくても実施可能であること、②訓練の負荷量を定量的に調整できること、③低コストで実施できること、④自主訓練として導入できることが挙げられる。これらの点を考慮し、今回ペットボトルの重量を舌と口蓋との間で保持するタスク（以下、ペットボトル保持＝PBH）を考案した。先行研究では、舌を挙上させると、オトガイ舌筋後部線維、顎舌骨筋、顎二腹筋前腹、内側翼突筋、内舌筋が活動³⁶⁾し、等尺性の挙上運動において頭部挙上と同程度の舌骨上筋群の活動が得られる³⁷⁾ことが報告されている。これらの知見より、舌と口蓋の接触圧によりペットボトルの重量を把持することで、舌圧および舌骨上筋群の筋活動が高まることが推測される。またペットボトルの重量を調整することで、保持に必要な舌圧が変化する可能性が考えられる。そこで実験 1 では、PBH 時の舌圧および舌骨上筋群筋活動に与えるペットボトル重量の影響について検証し、実験 2 では PBH 時と最大舌挙上時、頭部挙上訓練時との比較を行うことで、PBH のトレーニング法としての可能性を検討することを目的とした。

実験 1

ペットボトルの重量が舌圧および舌骨上筋群筋活動に与える影響

方法

1. 対象

対象は自覚的な舌，口唇，下顎，咽頭，喉頭の運動障害がない被験者 18 名（男性 8 名，女性 10 名；25～68 歳；平均 42.2 ± 16.6 歳）とした．構音障害，嚥下障害の既往に加え，言語発達や構音の発達に影響を与える可能性がある聴覚障害の既往がないことを問診にて確認した．被験者には文書と口頭で研究目的を説明し，研究参加の同意を得た．本研究はデータ測定を行った森之宮病院にて，大道会倫理委員会（倫理審査番号 183）の承認を得て実施した．

2. ペットボトル保持（PBH）の方法

口腔ケア用ガーゼ（川本産業，大阪）を約 $3\text{ cm} \times 2.5\text{ cm}$ （長辺は 2 つ折 3 回，短辺は 3 つ折 1 回）に折った後，ガーゼで包み，端をシリコンペットボトルホルダー（P-2983，TORUNE，和歌山）と連結した（図 1A, B）．負荷重量として，ペットボトルを装着せずガーゼのみ保持する 0 g，水の入ったペットボトルとホルダーを含んだ重量を 250 g，500 g，750 g に設定した計 4 条件を設定した．250 g では 250 ml 容量のペットボトル，500 g では 500 ml 容量のペットボトル，750 g では 1000 ml 容量のペットボトルを使用した．口腔内にガーゼを挿入する際には，後述する舌圧センサーの Ch. 1 および Ch. 2 の感圧点上にくることを確認した．実験姿勢は座位とし，足底は床に接地し，脊柱が中間位（骨盤の前後傾，過度な脊柱の後彎が生じないよう指示）であることを確認し，視線は前方へ向けるように被験者に指示した．座位姿勢を保ったまま，口蓋と舌でガーゼを 5 秒間保持するよう指示し，検査者は重みでガーゼが動いていないことを目視で確認した（図 1C）．測定回数は各条件 1 回とし，実施順序は被験者ごとにランダム化して行った．

3. 舌圧測定

舌圧測定はスワロースキャン（ニッタ，大阪）（図 2A）を用いた．正中前方部（Ch. 1），正中中央部（Ch. 2），正中後方部（Ch. 3），後方周縁部右側（Ch. 4），後方周縁部左側（Ch. 5）の 5 箇所の感圧点を有する厚さ 0.1 mm のセンサシート（図 2B）を切歯乳頭から 5 mm の位置にセンサシート前端がくるように貼付した．センサシートのサイズ選択の基準は，左右の感圧点が臼歯に接触しない最大のサイズとし，義歯用安定剤タッチコレクト II（シオノギ製薬，大阪）で貼付した．キャリブレーションはバキュームポンプを用いて 30kPa，15 秒間で行った．トレーニングの際には口腔内で保持するガーゼが正中前方部，正中中央部のセンサ上にくることを確認した．舌圧は負荷開始直後からサンプリング周波数 100Hz で計測開始し，5 秒間での舌圧の最大値（最大舌圧）と，5 秒間で得られた舌圧値を平均した値（平均舌圧）を算出した．

4. 筋電図測定

筋電計（LP-WS1046，Logical Product，福岡）を用いて，顎下部から双極性導出を行った．電極貼付前に皮膚前処理を行い，顎二腹筋前腹の走行にそって電極（Duo-Trode，Myotronics 社製，電極中心間距離 20mm）を貼付した．筋電信号はサンプリング周波数 1000Hz にてパーソナルコンピュータ（OS: Windows 7）に取り込んだ．筋電信号は MatLab (R2014a，Math Works 社) にて解析した．フィルターはバターワースフィルタとし，帯域幅 10Hz～400Hz，次数 10 に設定し，ゼロ位相処理を行った．各条件において訓練開始後 5 秒間での二乗平均平方根（Root Mean Square，以下 RMS）を解析した．頭部挙上運動を 5 秒間実施した際の舌骨上筋群筋活動を 100 %とし，各条件での RMS を %RMS として正規化した．頭部挙上運動は Shaker ら¹⁴⁾の方法で実施し，被験者が仰臥位姿勢をとった状態で，「肩をつけたまま，つま先が見えるまで頭を上げてください」と指示し，頭部を挙上し空間で保持した時点から測定を開始した．

5. 自覚的努力感の検討

Visual Analog Scale (以下, VAS) を用いて, 各条件における被験者の自覚的努力感を評価した. 左端は「努力なし」, 右端は「想像できる最大の努力」とした 100mm の直線を呈示し, 舌および舌骨上筋群について, 各負荷重量での主観的努力感を非独立記入方式で評価した. 測定はデジタルノギスを用いて左端からの距離を計測した.

6. 統計処理

最大舌圧, 平均舌圧については, 計測部位ごとに Shapiro-Wilk 検定を行ったところ, 5 箇所 of 計測部位全てで正規性が仮定できなかったため, 最大舌圧, 平均舌圧, %RMS, 自覚的努力感はノンパラメトリック検定で行った. 各負荷重量での値は Friedman 検定を行い, 有意差がみられた場合に Wilcoxon の符号付順位検定, Holm の補正を行った. また重量増加に伴って最大舌圧, 平均舌圧, %RMS, 自覚的努力感が増加傾向にあるかを検討するため, Jonckheere-Terpstra のトレンド検定を行った. 有意水準はすべて $p < 0.05$ に設定した.

結果

図 3 に PBH 時の舌圧発現様相と筋電図波形の例を示す. 各被験者での舌圧波形を比較したところ, 主に Ch. 1 でのみ舌圧が生じている被験者 (図 4A), 5 秒間の間に舌圧が上昇および下降し, 著明な変動を示す被験者 (図 4B), 750 g で舌圧が消失する被験者 (図 4C, 図 4D) が存在した.

図 5 に各条件 5 秒間実施時の最大舌圧, 図 6 に平均舌圧を示す. Ch. 1 での最大舌圧と平均舌圧は負荷重量増加に伴い上昇する傾向を示したが, 最大舌圧と平均舌圧の 500 g-750 g 間, 平均舌圧の 250 g-750 g 間では有意差を認めなかった. Ch. 2 では最

大舌圧と平均舌圧ともに 0 g と比較すると、その他の 3 条件で有意に舌圧が高い結果となった。Ch. 3 では最大舌圧、平均舌圧ともに全ての条件において有意差を認めなかった。Ch. 4, Ch. 5 では、最大舌圧、平均舌圧において、0 g に比較してその他の 3 条件で有意に舌圧が高かった。Ch. 5 においては最大舌圧、平均舌圧ともに 250 g よりも 500 g で有意に高い舌圧を示した。トレンド検定の結果、最大舌圧、平均舌圧ともに Ch. 1, Ch. 2, Ch. 4, Ch. 5 において、重量増加に伴い有意に増加する傾向を示した (Trend $P < 0.001$) が、Ch. 3 においては有意な増加傾向を認めなかった。

PBH を行った際の舌骨上筋群の %RMS は、0 g と比較して 250 g, 500 g, 750 g において有意に高い値を示した。頭部挙上との比較では、0 g では有意に低い値を示したが、250 g~750 g においては有意差を認めず、750 g では頭部挙上時の %RMS (100 %) と同等の値 (102.4 %) を示した (図 7)。トレンド検定の結果、0 g から 750 g までの重量増加に伴い、%RMS は有意に増加傾向を示した (Trend $P < 0.001$)。

自覚的努力感に関しては、舌骨上筋群の 250 g~500 g 間を除き、重量増加にともない、舌 (図 8A) と舌骨上筋群 (図 8B) の自覚的努力感は有意に増加し、トレンド検定においても舌 (Trend $P < 0.001$)、舌骨上筋群 ($P < 0.001$) で有意に増加する傾向を示した。

考察

本研究では、簡易な道具で定量的に舌筋および舌骨上筋群のレジスタンストレーニングを想定して、舌を口蓋に押し付けてペットボトルを保持するタスク (PBH) を考察した。実験 1 の結果より、Ch. 3 を除く最大舌圧および平均舌圧、舌骨上筋群筋活動、舌および舌骨上筋群の自覚的努力感は、負荷重量増加に伴い有意に増加傾向を示すことが明らかとなった。またガーゼに 0 g~500 g まで負荷重量を加えていくことで、正中前方部の舌圧は負荷重量に応じて増加し、250 g~750 g の負荷重量では頭

部挙上時と同程度の舌骨上筋群の筋活動が生じることが明らかとなった。これらの結果より、PBH がレジスタンストレーニングとして応用できる可能性が示唆された。

1. PBH 時の舌圧発現について

PBH 時に正中前方部 (Ch.1) の最大舌圧、平均舌圧が、負荷重量増加とともに上昇した理由として、舌前方部で高い舌圧を発揮しやすいことに起因すると考えられる。舌の挙上部位と舌圧に関する報告は少ないが、Yoshida らは舌の最大挙上を行った際には、舌前方、中央、後方を比較すると舌前方部において舌圧が最も高くなる³⁷⁾と報告しており、舌中央部よりも舌前方部の方が強い舌圧を生成できると考えられる。この理由の1つとして、舌前方部と後方部の筋組成の違いによる影響が考えられる。筋線維は大別すると遅筋線維 (Type I)、速筋線維 (Type II) に分けることができ、各筋線維によって収縮速度や疲労性が異なる³⁸⁾とされている。舌前方部には Type I 線維よりも Type II 線維が多く含まれている³⁹⁾ため、舌前方部では強い筋収縮力を発揮しやすい速筋線維の割合が高くなっている。この理由から、強い力を発揮しやすい舌前方部の口蓋接触により、ガーゼにかかる負荷を保持していた可能性が考えられる。またガーゼには前下方に牽引される力が生じているため、前方部でより強く舌を引き下げる力が働いていたと考えられ、その力に抗するために正中前方部 (Ch. 1) の位置で強い舌挙上が生じたとも推察される。

Ch. 2, Ch. 4, Ch. 5 では 0 g と比較して、250 g~750 g で有意な舌圧の上昇がみられた。ペットボトルを保持するためのガーゼ挿入はセンサシートの Ch. 1, Ch. 2 上にあるものの、Ch. 4, Ch. 5 でも舌圧の上昇がみられたことから、PBH 実施時は広範囲な舌挙上が起こっていることが明らかとなった。嚥下時には舌前方部のみではなく、中央、後方、後方周辺部の舌挙上が生じており^{8,40)}、近年の舌圧に関する研究では、舌後方部や舌側方部の舌挙上についても注目されている⁴¹⁻⁴⁴⁾。

報告は少ないものの、舌挙上部位を変えたトレーニングの報告もみられる。

Robbins らは、舌の前方部と後方部の舌圧トレーニングを実施し、8週間後には舌挙上時や嚥下時の舌圧が向上した¹⁹⁾と報告している。本実験において、PBHを行うと正中前方部のみでなく、正中中央部や後方周辺部の舌圧も生じており、広範囲な舌の挙上トレーニングとなりうる可能性が示唆された。今回外舌筋や内舌筋の筋活動の測定は行っていないが、舌を挙上する茎突舌筋や口蓋舌筋、舌尖や舌縁を引き上げる上縦舌筋⁴⁵⁾の活動がPBH時の舌挙上に寄与していると考えられる。

硬口蓋正中後方部にあたる Ch. 3 ではトレンド検定や各重量間での比較においても有意差を認めなかった理由として、ガーゼの挿入位置や口蓋形態による影響が考えられる。本実験ではガーゼの形態を約 3cm×2.5 cm とし、Ch.1 および Ch.2 上に挿入している。そのため、ペットボトルの重量を保持するには Ch. 3 の位置での舌挙上は必要とせず、結果として舌圧が起こらなかったと推察できる。このことはガーゼの位置によって舌の挙上パターンが変化する可能性を示唆しており、今後はガーゼの形態や挿入位置の違いが舌圧へ与える影響についても検討する必要がある。また硬口蓋の形態は、個人差が存在する⁴⁶⁾ため、口蓋の形態によってPBH時の舌口蓋接触に影響を与えた可能性も否定できない。

Ch.4, Ch.5 を比較すると、250 g-500 g 間での差は最大舌圧、平均舌圧ともに Ch.5 でのみ有意差を認め、左右差が生じる結果となった。先行研究においても、咀嚼時や舌押しつぶし時、嚥下時の舌圧は舌圧持続時間や最大舌圧において左右差を認めており^{11,47)}、PBH時の舌口蓋接触様相には左右間で異なる可能性が示唆された。本研究では左右差が生じた要因について検討できていないため、今後はPBH実施前に硬口蓋の形態や咀嚼時の左右差を確認しておくことが必要である。

統計解析の結果、Ch. 1 では 0 g から 250 g にかけて重量増加に伴い段階的に有意な舌圧上昇を認めたが、Ch. 2, Ch. 3, Ch. 4, Ch. 5 においては 250 g 以上の条件間で有意差を認めた比較は Ch. 5 の最大舌圧と平均舌圧のみであった。この理由として、硬口蓋前方部のみしか舌圧が生じていない被験者 (図 4A) が存在し、Ch. 2~5

での舌口蓋接触については個人差が生じたためと考えられる．また PBH 実施時の舌圧波形を比較したところ，舌圧の変動を示す例，750 g 条件で舌圧の低下を示す例が存在した．舌圧センサシートの感圧点は硬口蓋 5 箇所のみであり，感圧点以外の部位での舌口蓋接触に関しては舌圧波形には反映されない．今回生じた舌圧の変動や 750 g 条件での舌圧の低下は，PBH 時に舌の挙上部位が動揺したことに起因すると考えられる．図 4B に示したように，Ch. 1 から Ch. 5 までの波形が同期的に上下動を示す場合には，感圧点のない範囲（Ch. 1 より前方や，前方側方部）での舌口蓋接触が生じ，結果として，各感圧点で舌圧が低下したと推察される．また 750 g 条件において舌圧の著明な低下を示した例（図 4C，図 4D）では，重量増加に伴い，舌口蓋接触位置が感圧点以外の位置へ変移した可能性がある．これらの結果は，PBH 時に舌口蓋接触の位置が動揺するケースもあることを示している．今回は PBH 時の舌の挙上部位については指示していないが，実際の臨床応用を行う場合には「舌の前方で保持する」，「舌全体で保持する」など，ガーゼ保持の教示を検討することで目標とした部位での舌挙上を実現することが必要である．

2. 舌の自覚的努力感について

PBH 時の舌の自覚的努力感は負荷重量増加に伴い，有意に上昇する傾向を示した．先行研究では大腿四頭筋の等尺性運動時の筋活動は主観的努力感と関連している⁴⁸⁾と報告されているが，舌の主観的努力感と筋活動の関係は調べる限りでは報告されていない．大腿四頭筋における筋活動と主観的努力感の関係が，舌筋でも同様に生じているかは明らかではないが，先行研究の結果を考慮すると，本実験でみられたペットボトルの重量増加に伴う舌圧および自覚的努力感の増加が，舌の筋活動上昇を反映している可能性も否定できないと考えられる．今回の結果では舌の自覚的努力感は 500 g-750 g 間で上昇していたが，舌圧は有意差を認めず，両者が一致しない結果となった．この理由として，750 g の条件では感圧点以外の位置（舌前方側方部，歯茎部な

ど)でも強い舌口蓋接触が生じ、結果として正中前方部での舌圧上昇が緩和されたと考えられる。また実施時間が5秒間と短時間であったため、実施時間を延長することで、より安定してガーゼを保持しようとするため、より広範囲で高い舌圧が生じる可能性も考えられる。

3. 舌圧トレーニングとしての可能性について

本実験で行ったPBHのタスクは、安価で簡易な道具を用いて行えるため、舌圧計測機器のない環境での自主トレーニングとしての利用が期待できる。DeLormeの原則では低負荷で持久力、高負荷で瞬発力をトレーニングできる^{49,50)}とされており、目的とするトレーニングによって負荷量を適宜調整する必要がある。本研究の結果より、保持するペットボトル内の水分量を変えるだけで、舌前方部への定量的な負荷量設定が可能であるため、低負荷から高負荷まで容易に調整できる点も有用性が高いと考える。これまで、最大舌圧の低下と嚥下障害の関連性が報告されている^{51,52)}。また嚥下時には舌前方部で最も高い舌圧が生じ⁷⁾、嚥下において舌の前方挙上は重要な役割を担っているため、前方部の舌圧トレーニングを行うことで、嚥下機能の改善に貢献できる可能性が考えられる。

筋力は各個人で異なり、筋力トレーニングを行う際には、一般的に1回のみ抵抗可能な負荷量(1RM)を測定し、1RMを基準にした割合でトレーニング時の負荷量が決定される。アメリカスポーツ医学会の報告では、筋力を高めるためには、1RMの85~100%の負荷量でトレーニングを行うことを推奨⁵³⁾しており、舌圧トレーニングに関する先行研究においても、トレーニング時の最大負荷量は最大舌圧の80~100%に設定されていることが多い^{21,54)}。本研究では検討を行っていないが、舌口蓋接触圧は個々の対象者によって異なるため、ガーゼを保持できる最大の負荷重量も各個人によって異なると考えられる。本研究では全ての対象者に同じ負荷重量を設定して行ったが、保持できる最大の負荷重量を基準にペットボトルの水分量を調整し、ト

レーニング時の負荷を個別に調整することも可能である。先行研究同様、ガーゼ保持が可能な最大負荷重量から 85 ～100 %の重量を設定することで、個々の最大舌圧に近い舌圧が必要となり、舌の筋力トレーニングとしての効果が期待できると考えられる。また今回の研究では 750 g において舌の自覚的努力感は平均 80.9 mm と比較的高い値を示しており、750 g が保持可能な最大負荷重量に近い対象者も存在したと考えられることから、舌圧が低下した症例や高齢者では 750 g 以下での負荷量設定が望ましい。今後はガーゼを保持できる最大負荷重量の測定や、それを基準とした負荷の設定が求められる。

また筋力トレーニングを行う上では、負荷量を調整し一定以上の負荷量を与える overload principle に加えて、トレーニングを継続的に行う continuous / repetitive principle を考慮することが重要である⁵⁵⁾。舌圧トレーニングの効果を示した先行研究では、舌圧計測機器を用いて、定量的な舌圧測定を行い、一定期間のトレーニングを行っている。しかし舌圧計測機器は導入や維持にコストが必要であるため、患者自身が機器を所有し、自宅での定量的な舌圧トレーニングを継続的に実施することは困難である。舌圧はトレーニング後、28 週経過すると舌圧が徐々に低下するため⁵⁴⁾、介入終了後も継続的に舌の筋力トレーニングを行っていく必要がある。

これまで報告されている舌圧トレーニングに関する先行研究では、舌挙上によって圧測定用のバルーンやセンサを上方に押す運動によって舌圧が測定されている。舌を挙上することは共通しているものの、PBH では前方に牽引されるガーゼを保持する運動となっているため、舌挙上運動の方向が異なっている可能性がある。今後は PBH 実施後にも先行研究と同様に舌の運動機能や嚥下時舌圧に効果がみられるかを検証する必要がある。

4. PBH 時の舌骨上筋群筋活動について

本実験においては舌圧に加えて、舌骨上筋群筋活動も同時に計測した。250 g～750

gでの舌骨上筋群筋活動は、0 gよりも有意に高く、頭部挙上訓練時と同等の筋活動を認めた。Schmidt ら⁵⁶⁾は舌を口蓋に接触させた場合には舌骨上筋群の活動が上昇することを報告しており、PBH 時の舌挙上に伴い、舌骨上筋群の筋活動が生じたと考えられる。PBH を等尺性の舌挙上訓練と考えると、舌挙上運動時と頭部挙上運動時の舌骨上筋群筋活動は有意差がなかった³⁷⁾とする報告と一致する。一方、250～750 g 間では%RMS に有意差を認めなかったが、その理由として、250 g の負荷重量でも頭部挙上と同程度の高い筋活動を示しており、天井効果が生じた可能性が考えられる。%RMS は重量増加に伴い上昇する傾向がみられ、舌骨上筋群の自覚的努力感は250 g-500g 間を除き、重量増加に伴い自覚的努力感は有意に上昇した。したがって、重量増加に伴って自覚的および他覚的に舌骨上筋群の筋活動が上昇しており、舌骨上筋群に対しても PBH 時の重量調整によって負荷量を調整できる可能性が示唆された。

嚥下時には舌骨上筋群は舌骨や喉頭の前上方への挙上に貢献し、喉頭蓋反転による気道防御や食道入口部の開大に重要な役割を担っている⁵⁷⁻⁵⁹⁾。これまで加齢や疾患に伴う舌骨上筋群の筋力低下、嚥下障害と舌骨上筋群の筋活動の関連が報告され^{35,60)}、舌骨上筋群の筋力強化を目指したトレーニング方法の開発が行われてきた^{14,26,61)}。機器を用いたトレーニング方法では嚥下障害に対する治療効果が報告されているが、機器の購入や維持にコストがかかるため自主練習での導入は困難である。今回我々が考案した方法は舌圧の上昇のみではなく、従来の頭部挙上訓練と同程度の筋活動を示したことから、舌骨上筋群のレジスタンストレーニングとしての展開も期待できる。

ただし、本実験では健常者を対象としたため、全ての被験者が 500 g, 750 g の重量を保持することが可能であったが、舌運動障害を有する患者では、こうした負荷に抵抗して開口位でガーゼを保持することが困難な可能性も考えられる。したがって、今後舌運動障害患者を対象に PBH のトレーニング効果を検証する場合、症例に応じた負荷量の設定、訓練方法の検討が必要である。

小括

実験 1 では、PBH において 0 g～500 g までペットボトルの重量を増加させることで、特に正中前方部の舌圧が段階的に上昇することが明らかとなった。硬口蓋正中中央部、後方周辺部でも負荷重量増加により舌圧の上昇がみられ、広範囲な舌挙上が生じていることが明らかとなった。250 g 以上の負荷重量では頭部挙上時と同程度の舌骨上筋群の筋活動を示すことが明らかとなった。

実験 2

最大舌挙上および頭部挙上運動との比較

方法

1. 対象

対象は実験 1 と同じ被験者を対象とした。

2. ペットボトル保持 (PBH) の方法

PBH タスクは実験 1 と同様の方法で行った。負荷重量は正中前方部の舌圧が高くなった 500 g, 750 g とし、保持時間は疲労により舌圧が低下しない 20 秒間⁴²⁾とした。

3. 頭部挙上訓練

頭部挙上訓練は実験 1 と同様の方法で行った。測定は頭部を挙上後に静止した時点から測定を開始し、20 秒間とした。

4. 最大舌挙上運動

PBH 時の舌口蓋接触圧と比較するため、最大力での舌挙上運動（以下、最大舌挙上）を座位姿勢で実施した。被験者には「最大の力で舌を口の天井に押し付けてください」と指示し、最大舌挙上の開始より 2 秒後から 20 秒間測定を行った。PBH 時の舌圧との比較を行うため、PBH と同様にガーゼを Ch. 1, Ch. 2 上に挿入した。

5. 舌圧測定

舌圧測定は実験 1 と同様の方法で行った。測定は課題開始直後から 20 秒間とし、20 秒間での最大舌圧、平均舌圧を計測した。

6. 筋電図測定

筋電図の測定は実験 1 と同様の方法で行った。筋電信号は MatLab (R2014a, Math Works 社) にて解析した。フィルターはバターワースフィルタとし、帯域幅 10Hz～400Hz, 次数 10 に設定し、ゼロ位相処理を行った。各条件において訓練開始後 20 秒間での Root Mean Square (以下, RMS) を解析した。頭部挙上運動を 20 秒間実施した際の舌骨上筋群筋活動を 100 %とし、各条件での RMS を%RMS として正規化した。

7. 自覚的疲労度

Visual Analog Scale (以下, VAS) を用いて、各条件における被験者の自覚的努力感を評価した。左端は「疲労なし」、右端は「想像できる最大の疲労」とした 100mm の直線を呈示し、舌および舌骨上筋群について、各負荷重量での主観的努力感を非独立記入方式で評価した。測定はデジタルノギスを用いて左端からの距離を計測した。

8. 統計処理

平均舌圧, 最大舌圧においてはセンサ位置ごとに Shapiro-Wilk 検定, Mauchly の球面性検定を行った。正規性および球面性が仮定された場合には分散分析を行った。正規性が仮定され, 球面性が棄却された場合には Greenhouse-Geisser の自由度修正を行った。最大舌圧, 平均舌圧で正規性が棄却された項目, %RMS, 自覚的疲労感には Friedman 検定を行い, 有意差がみられた場合に Wilcoxon の符号付順位検定を行い, Holm の方法を併用して多重比較を行った。

PBH 実施時間における舌圧発現パターンを比較するため, 500 g および 750 g における実験 1 の 5 秒間のデータと, 実験 2 の 20 秒間のデータを各センサ部位で最大舌圧, 平均舌圧を比較した。統計学的検定は Shapiro-Wilk 検定を行い, 正規性が仮定された場合には, 対応のある t 検定を実施した。正規性が仮定されない場合には Wilcoxon の符号付順位検定を行った。有意水準はすべて $p < 0.05$ に設定した。

結果

図 9 は 500 g, 750 g, 最大舌挙上 20 秒間実施時の最大舌圧, 図 10 は平均舌圧を示す. Ch. 1 においては最大舌圧および平均舌圧は 500 g, 舌挙上よりも, 750 g で有意に高い値を示した. Ch. 2, Ch. 3 においては, 最大舌挙上よりも, 500 g, 750 g において有意に低い値を示した. Ch. 4, Ch. 5 においては最大舌圧および平均舌圧ともに条件間での有意差を認めなかった.

図 11 は 500 g, 750 g, 頭部挙上, 最大舌挙上実施時の 20 秒間の %RMS の値を示す. 舌骨上筋群の %RMS は 500 g, 750 g, 頭部挙上, 最大舌挙上において有意差を認めなかったが, 頭部挙上 (100 %) に比べて, 500 g (130.3 %), 750 g (119.4 %), 最大舌挙上 (130.0 %) で高い値を示した.

舌の自覚的疲労感は 500 g, 最大舌挙上と比較して, 750 g で有意に高い値を示した (図 12A). 舌骨上筋群の自覚的疲労感は 500 g, 頭部挙上と比較し, 750 g で有意に高い値を示したが, 最大舌挙上とその他の 3 条件間には有意差を認めなかった (図 12B).

500 g および 750 g 条件の最大舌圧, 平均舌圧を実験 1 で行った 5 秒間実施時と比較した. 500 g 条件の Ch. 2, Ch. 3 では 5 秒間実施時よりも 20 秒間実施時において最大舌圧が有意に高い値を示した (図 13) が, 平均舌圧では有意差を認めなかった (図 14). 750 g 条件では, 最大舌圧においては Ch. 2, Ch. 3, Ch. 5 で, 平均舌圧においては Ch. 3, Ch. 5 で 5 秒間実施時よりも, 20 秒間実施時の方が有意に高い値を示した (図 15, 図 16).

考察

1. 舌圧トレーニングとしての可能性について

最大舌挙上と比較すると、PBH750 g 条件で硬口蓋正中前方部の強い舌口蓋接触が生じることが明らかとなった。これまで訓練効果が示されている舌圧トレーニングでは、特定の部位（前方や後方）で舌挙上を行っている報告が多い^{19,20,62)}。しかし、機器を使用しない最大舌挙上では硬口蓋正中の前方部から後方部にかけて、広い範囲での舌口蓋接触が生じることが明らかとなった。一方、750 g 条件では正中前方部において最大舌挙上よりも有意に高い舌圧を示しており、PBH を行うことにより正中前方部での舌挙上を強調した舌圧トレーニングとなる可能性が示された。

IOPI を用いた舌挙上運動では、舌圧測定用バルブが感覚的な手がかりとなることや、センサを押すことで舌圧が上昇するため、舌の挙上位置のフィードバックを得やすい環境にあると考えられる。しかし機器を使用しない最大舌挙上では、感覚的な手がかりやフィードバック得られない。脳卒中患者、高齢者では口腔内の感覚低下が生じる^{63,64)}ため、自身の体性感覚を利用して特定の部位の舌挙上を行うことは難しいと推察される。PBH ではガーゼを保持するだけで、正中前方部の舌圧を強調しやすいタスクであるため、口腔内感覚が低下した症例にも前舌挙上のトレーニングとして適用できる可能性がある。

Ch. 1 では強い舌口蓋接触が得られたが、一方で Ch.2, Ch. 3 の硬口蓋正中中央部から正中後方部にかけては、最大舌挙上よりも舌圧が低い結果となった。これは実験 1 同様、ガーゼの挿入位置や、舌前方部で最も強い舌口蓋接触が得やすいこと³⁷⁾が影響し、結果的に後方部の舌口蓋接触圧が低下したと考える。

近年は舌後方部の挙上についても注目されている。Steele ら^{62,65)}は液体嚥下では舌後方部の段階的な舌圧の傾きが生じることを示しており、嚥下時における舌後方部挙上の重要性について言及している。その後、舌後方部の挙上トレーニングとして Tongue Pressure Profile Training (TPPT) Protocol を考案し、脳卒中患者で嚥下後の喉頭蓋の残留量減少、最大舌圧の上昇に効果があったと報告している²⁰⁾。前方部

と後方部の舌圧では相関を示す⁶⁶⁾ため、PBHにより舌前方部に負荷をかけることで、舌後方部の舌口蓋接触のトレーニングとなる可能性はあるものの、今回行った方法では舌後方部の挙上を実現することは困難であると考え、今後の課題としてガーゼの挿入位置によって硬口蓋後方部の強い舌接触を実現できるかを検討していく必要がある。

今後、臨床応用する際には、個人に応じて負荷量を設定することや、ガーゼ部の準備を簡素化することが必要となる。本研究では口腔機能に障害のない被験者で行ったため、500 g や 750 g の負荷量を保持することが可能であったが、舌挙上能力の低下した症例では、個別に保持可能な重量を測定し、訓練時の負荷量設定を行っていく必要がある。今回行った PBH では保持しやすいようにガーゼを折りたたんだ状態で保持させたが、準備にかかる時間を短縮させるためにはガーゼ一枚をペットボトルホルダーに連結するなど、ガーゼ部の設定を再検討することが必要である。また自主練習として導入する場合には、手指の巧緻性が低下した症例でも準備しやすいように配慮することが重要である。今回は指示理解が可能な対象者に対して行ったが、認知症や高次脳機能障害により指示理解が困難な症例では、PBH の実施が困難であると考えられる。今後臨床応用を行うにあたり、適応症例の検討も行う必要がある。

2. 負荷重量と負荷時間の影響について

実験 1 では 500 g 条件と 750 g 条件で最大舌圧、平均舌圧に有意差を認めなかったが、実験 2 では最大舌圧、平均舌圧ともに 750 g 条件で有意に高い値を示し、保持時間の違いにより舌圧発現様相が変化する可能性が示唆された。500 g 条件では実施時間の違いにより有意差を認めた比較は、Ch. 2, Ch. 3 の最大舌圧のみであったが、750 g 条件では Ch. 2, Ch. 3, Ch. 5 の最大舌圧、Ch. 3, Ch. 5 の平均舌圧において 20 秒実施時に有意に高い値を示した。この結果から実施時間の延長により正中中央部、正中後方部、後方周辺部でもより強い舌口蓋接触が生じていることが明らかとな

り、500 g よりも 750 g でよりその傾向がみられた。実験 1 の 750 g 条件では、ペットボトルの重量が高負荷であったため、ガーゼを保持する舌口蓋接触の位置が Ch. 1 より前方に変位したと推察した。一方、実験 2 では 20 秒間ガーゼを保持するために、正中後方部や後方周辺部を挙上させ、ガーゼと舌の接触面積を増やすことでより安定してガーゼを保持しようとした可能性がある。このことより PBH 実施時間の延長は、舌と口蓋の接触範囲に影響を与える可能性が示唆された。

3. 舌骨上筋群のトレーニングとしての可能性

舌骨上筋群の筋活動の比較では、PBH の 2 条件、最大舌挙上、頭部挙上の間で %RMS に有意差を認めなかった。これは実験 1 同様、舌最大挙上時と頭部挙上との間には舌骨上筋群の筋活動に差はない³⁷⁾とする報告と一致する。筋活動には有意差を認めなかったが、PBH20 秒実施後の自覚的疲労感が高く、舌骨上筋群へ高い負荷が生じている可能性が考えられる。

舌骨上筋群のレジスタンストレーニングとして代表的な頭部挙上訓練は、これまで多数の臨床研究が行われており、食道入口部の開大や嚥下後誤嚥の減少など、その有効性が報告されている^{25,26,67)}。しかし、訓練の実施にあたっては頭頸部を空間で保持する頸部の筋力や可動域が必要であり、臨床場面では頭部挙上が困難な症例が少なくない³⁵⁾。一方、本研究で行った PBH は課題の指示を理解し、座位姿勢が保持できる症例であれば適用が可能であるため、筋力低下、可動域低下、胸部や頸部の手術直後など、これまで頭部挙上訓練が実施困難であった症例に対しても導入することができる。口腔器官に運動障害がある症例においては、ペットボトルの水分量を調整し、各症例の口腔機能に応じた負荷量設定を行うことができるため、口腔器官の重症度に関わらず PBH を適用できる症例は多いと考えられる。また頭部挙上運動時に生じる舌圧は低く³⁷⁾、その他舌骨上筋群のレジスタンストレーニングとして考案されている CTAR, Jaw-Opening Exercise でも、舌の運動訓練や舌圧トレーニングとしての効

果は期待できない。PBH では正中前方部の舌圧上昇に伴って舌骨上筋群の筋活動が生じるため、舌圧トレーニングおよび舌骨上筋群のレジスタンストレーニングとしての利用も期待できる。先行研究では頭部挙上訓練を行うことで嚥下機能の改善がみられたことを報告している。一方、本研究では PBH 実施時の舌圧および舌骨上筋群筋活動を測定しているが、PBH 実施による口腔運動機能、嚥下機能への効果は検証されていない。また PBH 実施時間は実験 1 では 5 秒間、実験 2 では 20 秒間となっており、従来の頭部挙上訓練の実施時間よりも短い。そのため今回みられた頭部挙上運動時の筋活動が実際の頭部挙上訓練時の筋活動を反映していない可能性も考えられる。今後は舌圧トレーニングの効果に合わせて、舌骨上筋群のトレーニングとしての効果も検証する必要がある。

小括

実験 2 において、750 g の負荷を用いた PBH では舌前方部において最大舌挙上よりも高い舌圧を生じ、自覚的な疲労感も高かったことから、舌圧トレーニングとしての可能性が示唆された。また、500 g、750 g の負荷量を用いると、頭部挙上と同程度の舌骨上筋群筋活動がみられ、頭部挙上運動よりも自覚的な疲労感が強くなったことから、舌骨上筋群のレジスタンストレーニングとしての利用も期待できる。PBH の実施時間に関しては、実験 1 の 5 秒間よりも、20 秒において正中後方部や後方周辺部でより強い舌口蓋接触が生じていることが明らかとなった。

総括ならびに結論

本研究では、水を入れたペットボトルを舌を口蓋に押し付けることによって保持するタスク（ペットボトル保持＝PBH）において、舌圧および舌骨上筋群筋活動に与え

る負荷重量の影響（実験 1）ならびに最大舌挙上や頭部挙上訓練との比較（実験 2）を行い，以下の知見を得ることができた．

1．PBH において 0～500 g までペットボトルの重量を増加させることで，特に硬口蓋正中前方部の舌圧が段階的に上昇することが明らかとなった．

2．250 g 以上の PBH では硬口蓋正中中央部，後方周辺部でも負荷重量増加により舌圧の上昇がみられ，広範囲な舌挙上が生じていることが明らかとなった．

3．250 g 以上の PBH では頭部挙上時と同程度の舌骨上筋群の筋活動を示した．

4．750 g の PBH では硬口蓋正中前方部において，最大舌挙上時よりも強い舌口蓋接触が生じた．

5．PBH の実施時間を延長させることで，より広範囲での舌口蓋接触が生じることが明らかとなった．

これらの知見より，定量的に舌口蓋接触圧を調整ができる PBH が，舌筋および舌骨上筋群のトレーニングとして導入できる可能性が示唆された．今後はトレーニング効果の検証が望まれる．

謝辞

本研究を進めるにあたり，多大なご支援とご指導を賜りました．社会人大学生としての入学を許可頂き，論文執筆にあたり丁寧にご指導いただきました大阪大学大

学院歯学研究科口腔科学専攻顎口腔機能再建学講座有床義歯補綴学・高齢者歯科学分野教授，前田芳信先生に感謝の意を表します．言語聴覚士である私を舌圧センサーの研究グループに快く受け入れてくださり，研究テーマの発案やデータ収集，論文執筆に関して温かいご指導，激励を賜りました新潟大学大学院医歯学総合研究科包括歯科補綴学分野教授，小野高裕先生に深く感謝致します．兵庫医科大学リハビリテーション科教授，道免和久先生には，学会発表や論文執筆にあたり，多大なご支援，ご指導を頂きましたこと，深く感謝しております．共同研究者である新潟大学大学院医歯学総合研究科包括歯科補綴学分野准教授，堀一浩先生，藤原茂弘先生，大阪大学大学院歯学研究科口腔科学専攻顎口腔機能再建学講座有床義歯補綴学・高齢者歯科学分野，皆木祥伴先生，広島国際大学総合リハビリテーション学部リハビリテーション学科准教授，福岡達之先生には研究結果の解析，考察に関するご助言を頂きましたこと心より御礼申し上げます．また現職兵庫医科大学病院の同僚，前職森之宮病院の同僚には本研究を進めるにあたり，ご支援を頂きましたこと感謝しております．

最後に本研究に参加していただきました被験者の皆様に，感謝の意を表し，謝辞と致します．

文献

- 1) Moore HB. The meaning of food. *Am J Clin Nutr.* 1957;**5**:77-82.
- 2) McHorney CA, Bricker DE, Kramer AE, Rosenbek JC, Robbins J, Chignell KA, Logemann JA, Clarke C. The SWAL-QOL outcomes tool for oropharyngeal dysphagia in adults: I. Conceptual foundation and item development. *Dysphagia.* 2000;**15**:115-21.
- 3) McHorney CA, Bricker DE, Robbins J, Kramer AE, Rosenbek JC, Chignell KA. The SWAL-QOL outcomes tool for oropharyngeal dysphagia in adults: II. Item reduction and preliminary scaling. *Dysphagia.* 2000;**15**:122-33.
- 4) McHorney CA, Robbins J, Lomax K, Rosenbek JC, Chignell K, Kramer AE, Bricker DE. The SWAL-QOL and SWAL-CARE outcomes tool for oropharyngeal dysphagia in adults: III. Documentation of reliability and validity. *Dysphagia.* 2002;**17**:97-114.
- 5) Leopold NA, Kagel MC. Dysphagia—Ingestion or Deglutition?: A proposed paradigm. *Dysphagia.* 1997;**12**:202-6.
- 6) Palmer JB, Rudin NJ, Lara G, Crompton AW. Coordination of mastication and swallowing. *Dysphagia.* 1992;**7**:187-200.
- 7) Ono T, Hori K, Nokubi T. Pattern of tongue pressure on hard palate during swallowing. *Dysphagia.* 2004;**19**:259-64.
- 8) Hori K, Ono T, Tamine K, Kondo J, Hamanaka S, Maeda Y, Dong J, Hatsuda M. Newly developed sensor sheet for measuring tongue pressure during swallowing. *J Prosthodont Res.* 2009;**53**:28-32.
- 9) Hori K, Ono T, Nokubi, T. Coordination of tongue pressure and jaw movement in mastication. *J Dent Res.* 2006;**85**:187-91.
- 10) Poudoux P, Kahrilas PJ. Deglutitive tongue force modulation by volition, volume, and viscosity in humans. *Gastroenterology.* 1995;**108**:1418-26.
- 11) Yokoyama S, Hori K, Tamine K, Fujiwara S, Inoue M, Maeda Y, Funami T,

- Ishihara S, Ono T. Tongue pressure modulation for initial gel consistency in a different oral strategy. *PLoS One*. 2014;**9**:e91920.
- 12) Park T, Kim Y, Ko DH, McCullough G. Initiation and duration of laryngeal closure during the pharyngeal swallow in post-stroke patients. *Dysphagia*. 2010;**25**:177-82.
 - 13) Kahrilas PJ, Logemann JA, Krugler C, Flanagan E. Volitional augmentation of upper esophageal sphincter opening during swallowing. *Am J Physiol*. 1991;**260**:G450-6.
 - 14) Shaker R, Kern M, Bardan E, Taylor A, Stewart ET, Hoffmann RG, Arndorfer RC, Hofmann C, Bonnevier J. Augmentation of deglutitive upper esophageal sphincter opening in the elderly by exercise. *Am J Physiol*. 1997;**272**:G1518-22.
 - 15) Yokoyama M, Mitomi N, Tetsuka K, Tayama N, Niimi S. Role of laryngeal movement and effect of aging on swallowing pressure in the pharynx and upper esophageal sphincter. *Laryngoscope*. 2000;**110**:434-9.
 - 16) Okada T, Aoyagi Y, Inamoto Y, Saitoh E, Kagaya H, Shibata S, Ota K, Ueda K. Dynamic change in hyoid muscle length associated with trajectory of hyoid bone during swallowing: analysis using 320-row area detector computed tomography. *J Appl Physiol*. 2013;**115**:1138-45.
 - 17) Hirota N, Konaka K, Ono T, Tamine K, Kondo J, Hori K, Yoshimuta Y, Maeda Y, Sakoda S, Naritomi H. Reduced tongue pressure against the hard palate on the paralyzed side during swallowing predicts dysphagia in patients with acute stroke. *Stroke*. 2010;**41**:2982-4.
 - 18) Kraaijenga SA, van der Molen L, Heemsbergen WD, Remmerswaal GB, Hilgers FJ, van den Brekel MW. Hyoid bone displacement as parameter for swallowing impairment in patients treated for advanced head and neck cancer. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2016 Apr 16. [Epub ahead of print].
 - 19) Robbins J, Kays SA, Gangnon RE, Hind JA, Hewitt AL, Gentry LR, Taylor AJ. The effects of lingual exercise in stroke patients with dysphagia. *Arch Phys Med Rehabil*. 2007;**88**:150-8.

- 20) Steele CM, Bayley MT, Peladeau-Pigeon M, Nagy A, Namasivayam AM, Stokely SL, Wolkin T. A randomized trial comparing two tongue-pressure resistance training protocols for post-stroke dysphagia. *Dysphagia*. 2016;**31**:452-61.
- 21) Steele CM, BaileyGL, Polacco, REC, Hori SF, Molfenter SM, Oshalla M, Yeates EM. Outcomes of tongue-pressure strength and accuracy training for dysphagia following acquired brain injury. International journal of speech-language pathology. *Int J Speech Lang Pathol*. 2013;**15**:492-502.
- 22) Huckabee ML, Butler SG, Barclay M, Jit S. Submental surface electromyographic measurement and pharyngeal pressures during normal and effortful swallowing. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;**86**:2144-9.
- 23) Huckabee ML, Steele CM. An analysis of lingual contribution to submental surface electromyographic measures and pharyngeal pressure during effortful swallow. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006;**87**:1067-72.
- 24) Clark HM, Shelton N. Training effects of the effortful swallow under three exercise conditions. *Dysphagia*. 2014;**29**:553-63.
- 25) Shaker R, Easterling C, Kern M, Nitschke T, Massey B, Daniels S, Grande B, Kazandjian M, Dikeman K. Rehabilitation of swallowing by exercise in tube-fed patients with pharyngeal dysphagia secondary to abnormal UES opening. *Gastroenterology*. 2002;**122**:1314-21.
- 26) Logemann JA, Rademaker A, Roa Pauloski A, Kelly A, Stangl-McBreen C, Antinoja J, Grande B, Farquharson J, Kern M, Easterling C, Shaker R. A randomized study comparing the Shaker exercise with traditional therapy: A preliminary study. *Dysphagia*. 2009;**24**:403-11.
- 27) Pitts T, Bolser D, Rosenbek J, Troche M, Okun MS, Sapienza C. Impact of expiratory muscle strength training on voluntary cough and swallow function in Parkinson's disease. *Chest*. 2009;**135**: 1301–8.
- 28) Wheeler KM, Chiara T, Sapienza CM. Surface electromyographic activity of the submental muscles during swallow and expiratory pressure threshold

- training tasks. *Dysphagia*. 2007;**22**:108-16.
- 29) Park JS, Oh DH, Chang MY, Kim KM. Effects of expiratory muscle strength training on oropharyngeal dysphagia in subacute stroke patients: A randomised controlled trial. *J Oral Rehabil*. 2016;**43**:364-72.
 - 30) Park JS, Oh DH, Chang MY. Effect of expiratory muscle strength training on swallowing-related muscle strength in community-dwelling elderly individuals: A randomized controlled trial. *Gerodontology*. 2016 May 16. [Epub ahead of print].
 - 31) Yoon WL, Khoo JK, Rickard Liow SJ. Chin tuck against resistance (CTAR): New method for enhancing suprahyoid muscle activity using a Shaker-type exercise. *Dysphagia*. 2014;**29**:243-8.
 - 32) Sze WP, Yoon WL, Escoffier N, Rickard Liow SJ. Evaluating the training effects of two swallowing rehabilitation therapies using surface electromyography - Chin Tuck Against Resistance (CTAR) exercise and the Shaker exercise. *Dysphagia*. 2016;**31**:195-205.
 - 33) Wada S, Tohara H, Iida T, Inoue M, Sato M, Ueda K. Jaw-opening exercise for insufficient opening of upper esophageal sphincter. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012;**93**:1995-9.
 - 34) Kraaijenga SA, van der Molen L, Stuiver MM, Teertstra HJ, Hilgers FJ, van den Brekel MW. Effects of strengthening exercises on swallowing musculature and function in senior healthy subjects: A prospective effectiveness and feasibility study. *Dysphagia*. 2015;**30**:392-403.
 - 35) Wakabayashi H, Sashika H, Matsushima M. Head lifting strength is associated with dysphagia and malnutrition in frail older adults. *Geriatr Gerontol Int*. 2015;**15**:410-6.
 - 36) Palmer PM, Jaffe DM, McCulloch TM, Finnegan EM, Van Daele DJ, Luschei ES. Quantitative contributions of the muscles of the tongue, floor-of-mouth, jaw and velum to tongue-to-palate pressure generation. *J Speech Lang Hear Res*. 2008;**51**:828-35.

- 37) Yoshida M, Groher ME, Crary MA, Mann GC, Akagawa Y. Comparison of surface electromyographic (sEMG) activity of submental muscles between the head lift and tongue press exercises as a therapeutic exercise for pharyngeal dysphagia. *Gerodontology*. 2007;**24**:111-6.
- 38) Scott W, Stevens J, Binder-Macleod SA. Human skeletal muscle fiber type classifications. *Phys Ther*. 2001;**81**:1810-6.
- 39) Stål P, Marklund S, Thornell LE, De Paul R, Eriksson PO. Fibre composition of human intrinsic tongue muscles. *Cells Tissues Organs*. 2003;**173**:147-61.
- 40) Tamine K, Ono T, Hori K, Kondoh J, Hamanaka S, Maeda Y. Age-related changes in tongue pressure during swallowing. *J dent res*. 2010;**89**:1097-101.
- 41) Clark HM, Solomon NP. Age and sex differences in orofacial strength. *Dysphagia*. 2012;**27**:2-9.
- 42) Kays S, Hind J, Gangnon R, Robbins J. Effects of dining on tongue endurance and swallowing-related outcomes. *J Speech Lang Hear Res*. 2010;**53**:898-907.
- 43) Robbins J, Humpal NS, Banaszynski K, Hind J, Rogus-Pulia N. Age-related differences in pressures generated during isometric presses and swallows by healthy adults. *Dysphagia*. 2016;**31**:90-6.
- 44) Rogus-Pulia N, Churness K, Hind J, Gangnon R, Banaszynski K, Robbins J. Comparison of maximal lingual pressure generation during isometric gross and fine sensorimotor tasks in healthy adults. *Arch Phys Med Rehabil*. 2015;**96**:1785-94.
- 45) ベイカー, E. プロメテウス解剖学アトラス 口腔・頭頸部 (坂井建雄, 天野修監訳). 医学書院, 2012.
- 46) 森川葉子, 市川哲雄, 薦田淳司, 堀内政信, 羽田勝, 松本直之. 口蓋形態の分類と音声の音響的特徴との関連. *補綴誌*. 1995;**39**:948-53.
- 47) Hori K, Tamine K, Barbezat C, Maeda Y, Yamori M, Müller F, Ono T. Influence of chin-down posture on tongue pressure during dry swallow and bolus swallows in healthy subjects. *Dysphagia*. 2011;**26**:238-45.

- 48) Onodera K, Yamada H, Miyashita M. RPE and I-EMG during 45-s isometric contraction of knee extension. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;**37**:S320
- 49) DeLateur BJ, Lehmann JF, Fordyce WE. A test of the DeLorme axiom. *Arch Phys Med Rehabil.* 1968;**49**:245-8.
- 50) Todd JS, Shurley J, Todd TC. Thomas L. DeLorme and the science of progressive resistance exercise. *J Strength Cond Res* 2012;**26**:2913-23.
- 51) Robbins JA, Levine R, Wood J, Roecker EB, Luschei E. Age effects on lingual pressure generation as a risk factor for dysphagia. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1995;**50**:257-62.
- 52) Yoshida M, Kikutani M, Tsuga K, Utanohara Y, Hayashi R, Akagawa Y. Decreased tongue pressure reflects symptom of dysphagia. *Dysphagia.* 2006;**21**:61-5.
- 53) American College of Sports Medicine Position Stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;**41**:687-708.
- 54) Oh JC. Effects of tongue strength training and detraining on tongue pressures in healthy adults. *Dysphagia.* 2015;**30**:315-20.
- 55) Burkhead LM, Sapienza CM, Rosenbek JC. Strength-training exercise in dysphagia rehabilitation: principles, procedures, and directions for future research. *Dysphagia.* 2007;**22**:251-65.
- 56) Schmidt JE, Carlson CR, Userly AR, Quevedo AS. Effects of tongue position on mandibular muscle activity and heart rate function. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009;**108**:881-8.
- 57) Ws Coriolano MDG, R Belo L, Carneiro D, G Asano A, Al Oliveira PJ, da Silva DM, G Lins O. Swallowing in patients with Parkinson's disease: A surface electromyography study. *Dysphagia.* 2012;**27**:550-5.
- 58) Miyaoka Y, Ashida I, Kawakami S, Tamaki Y, Miyaoka S. Activity patterns

- of the suprahyoid muscles during swallowing of different fluid volumes. *J Oral Rehabil.* 2010;**37**:575-82.
- 59) Crary MA, Baldwin BO. Surface electromyographic characteristics of swallowing in dysphagia secondary to brainstem stroke. *Dysphagia.* 1997;**12**:180-7.
 - 60) Machida N, Tohara H, Hara K, Kumakura A, Wakasugi Y, Nakane A, Minakuchi S. Effects of aging and sarcopenia on tongue pressure and jaw-opening force. *Geriatr Gerontol Int.* 2016 Jan 22. [Epub ahead of print].
 - 61) Kushner DS, Peters K, Eroglu ST, Perless-Carroll M, Johnson-Greene D. Neuromuscular electrical stimulation efficacy in acute stroke feeding tube-dependent dysphagia during inpatient rehabilitation. *Am J Phys Med Rehabil.* 2013;**92**:486-95.
 - 62) Steele CM, Bailey GL, Molfenter SM, Yeates EM, Grace-Martin K. Pressure profile similarities between tongue resistance training tasks and liquid swallows. *J Rehabil Res Dev.* 2010;**47**:651-60.
 - 63) Calhoun KH, Gibson B, Hartley L, Minton J, Hokanson JA. Age-related changes in oral sensation *Laryngoscope.* 1992;**102**:109-16.
 - 64) Power ML, Hamdy S, Singh S, Tyrrell PJ, Turnbull I, Thompson DG. Deglutitive laryngeal closure in stroke patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2007;**78**:141-6.
 - 65) Steele CM, Bailey GL, Molfenter SM. Tongue pressure modulation during swallowing: water vs. nectar-thick liquids. *J Speech Lang Hear Res.* 2010;**53**:273-83.
 - 66) Tsuga K, Maruyama M, Yoshikawa M, Yoshida M, Akagawa Y. Manometric evaluation of oral function with a hand-held balloon probe. *J Oral Rehabil.* 2011;**38**:680-5.
 - 67) Antunes EB, Lunet N. Effects of the head lift exercise on the swallow function: a systematic review. *Gerodontology.* 2012;**29**:247-57.

図表

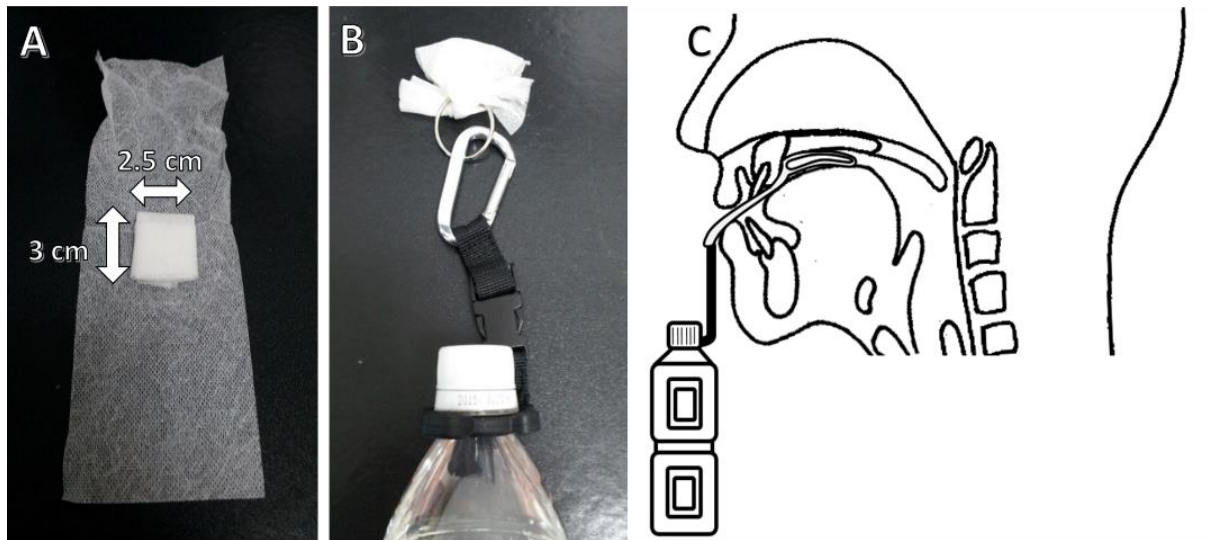


図1 ペットボトルの保持方法

ガーゼのセッティング. 約 3cm×2.5cm に折ったガーゼをもう一枚のガーゼで包み (A), ガーゼをホルダーへ連結する (B). ペットボトルを連結したガーゼを舌と口蓋の接触圧で保持する (C).

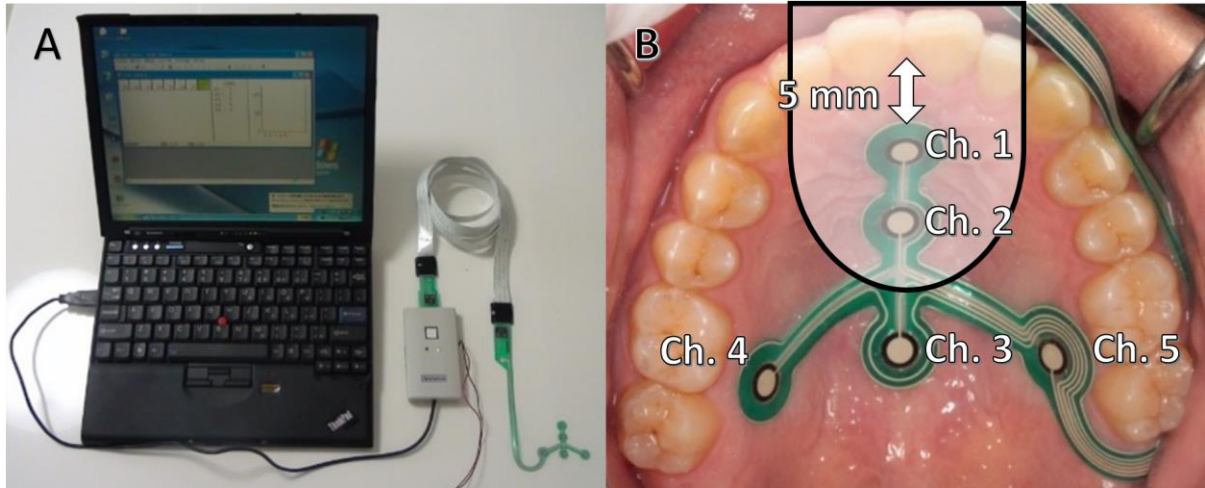


図2 Swallow Scan システム (A) と舌圧センサシートおよびガーゼ挿入位置 (B)

舌圧は Swallow Scan システムを介して，パーソナルコンピュータに保存．硬口蓋 5 箇所之感圧点を，Ch.1 (正中前方部)，Ch. 2 (正中中央部)，Ch. 3 (正中後方部)，Ch. 4 (後方周辺部右側)，Ch. 5 (後方周辺部左側) とした．ガーゼ挿入位置を黒線で示す (B) ．

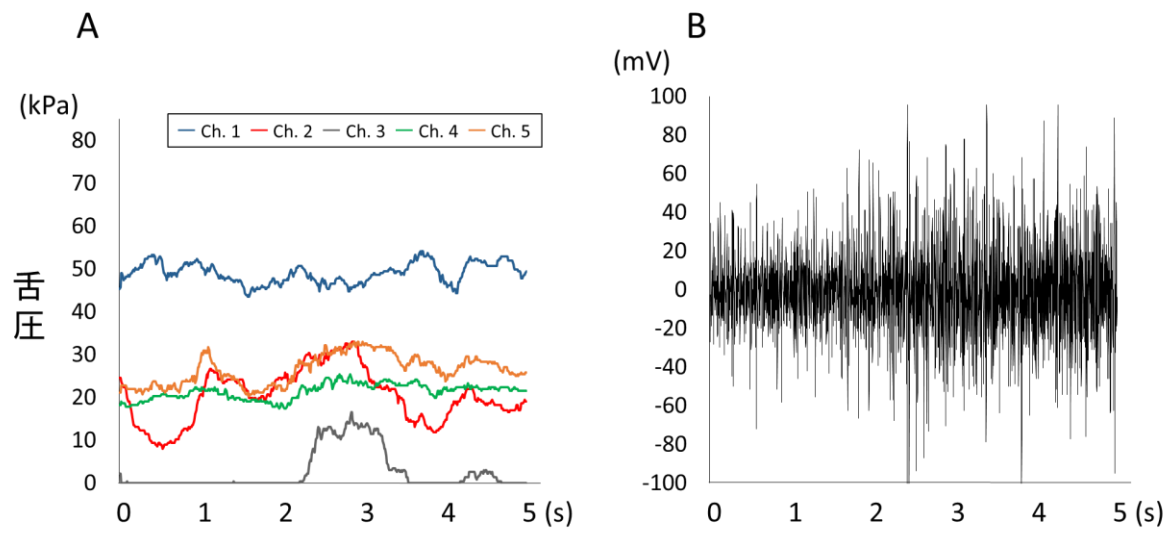


図3 ペットボトル保持時の舌圧発現様相と筋電図波形

被験者 10 の 500 g 条件における舌圧波形 (A), 筋電図波形 (B) を示す.

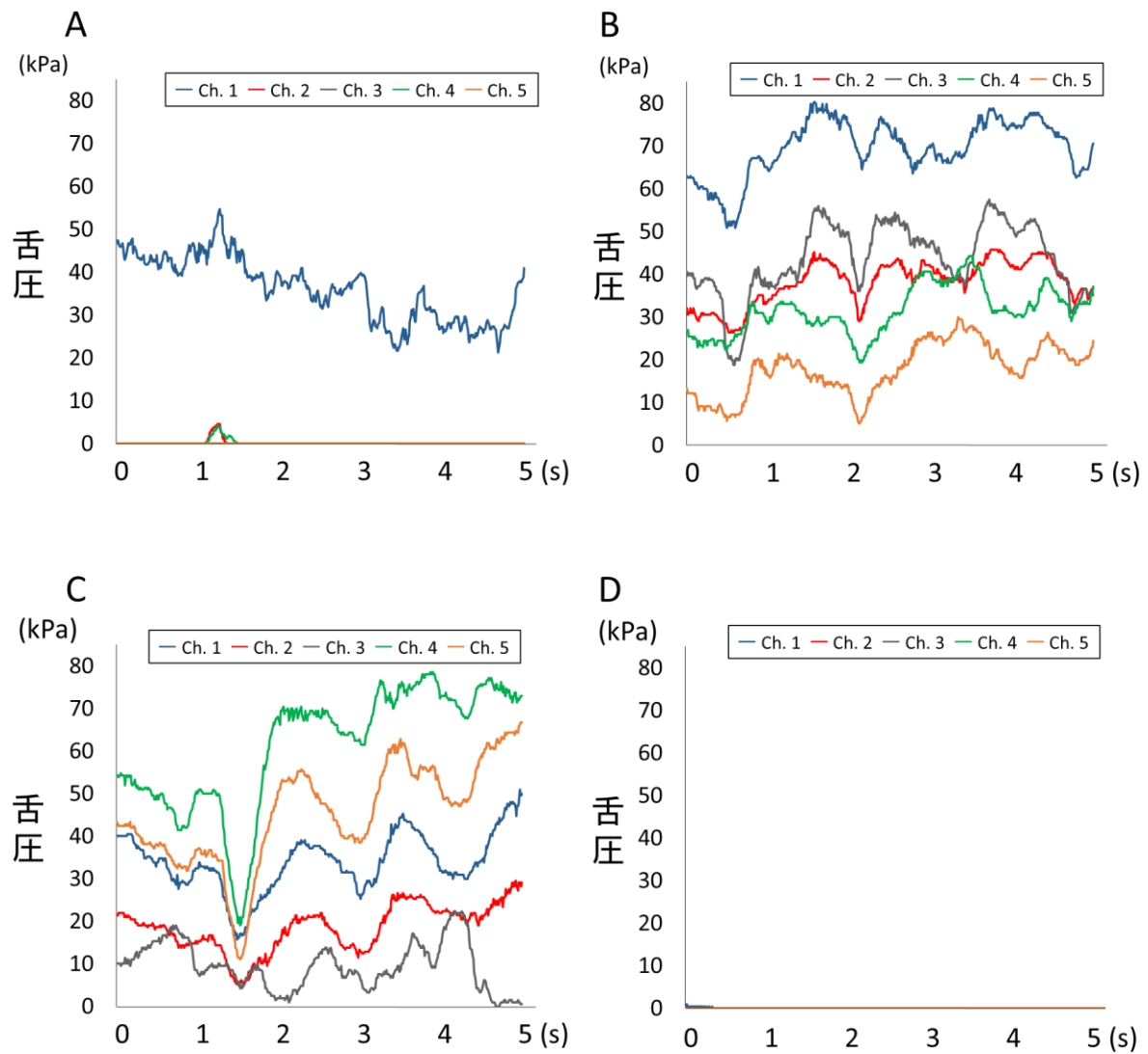


図4 ペットボトル保持時の舌圧発現様相のバリエーション

A: 主に Ch. 1 で舌圧が生じた例 (被験者 15, 750 g 条件).

B: 変動を示す例 (被験者 12, 500 g 条件). 2 秒付近では各感圧点上で舌圧の変動を認める.

C, D: 750 g 条件で舌圧波形が消失した例 (被験者 14, C: 500 g, D: 750 g)

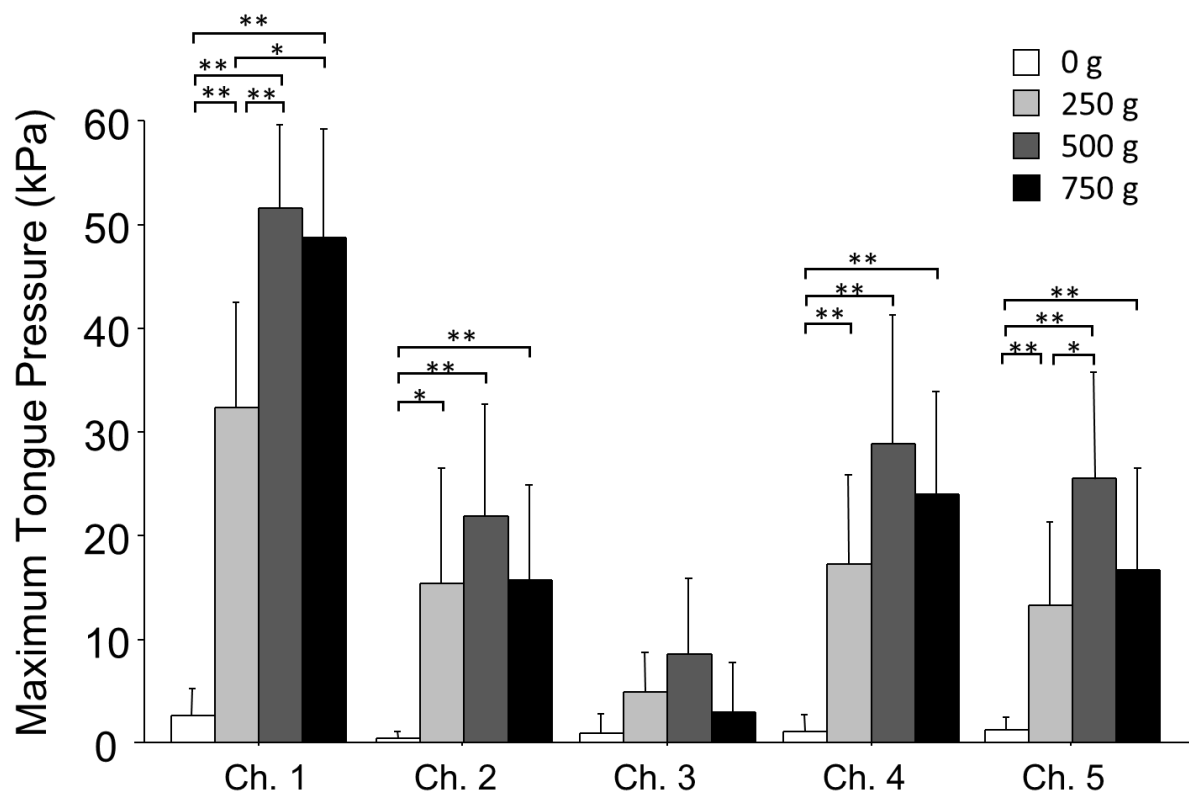


図5 ペットボトルの重量と最大舌圧 (5 秒間)

各重量での Ch.1 (正中前方部), Ch.2 (正中中央部), Ch.3 (正中後方部), Ch. 4 (後方周辺部右側), Ch. 5 (後方周辺部左側)での最大舌圧 (Y 軸) を示す。エラーバーは 95 %信頼区間。

*p < 0.05 **p < 0.01

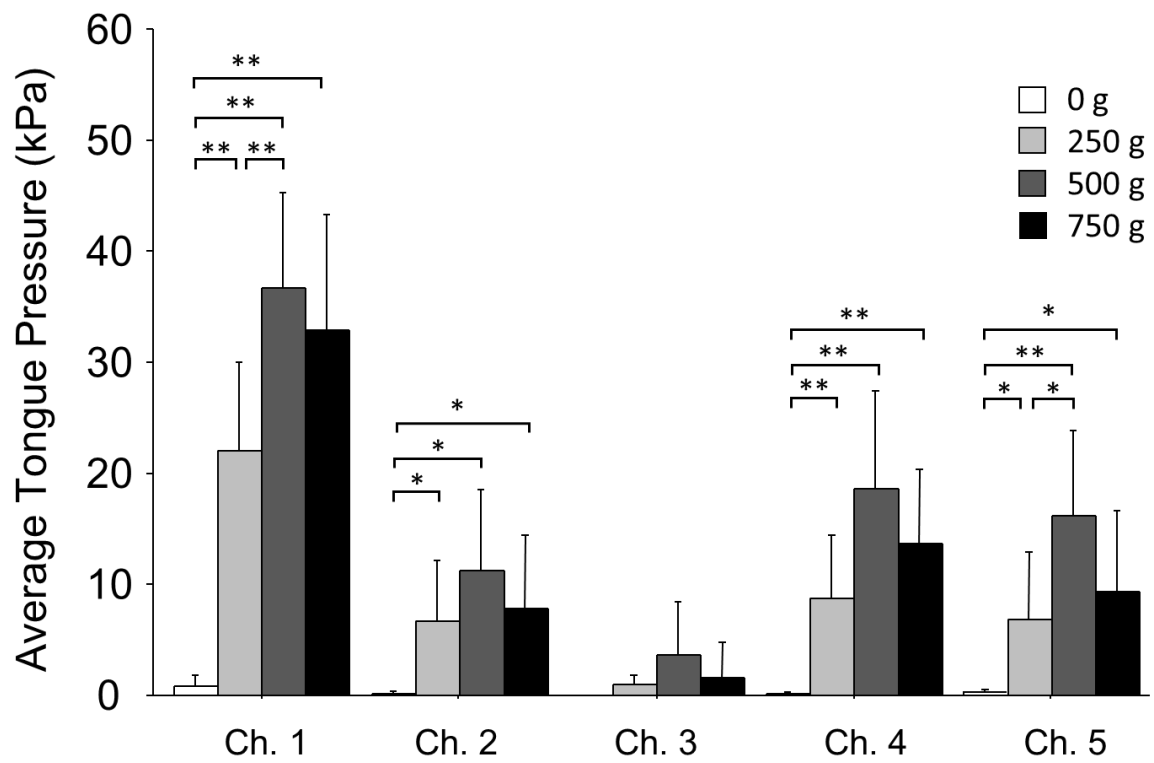


図6 ペットボトルの重量と平均舌圧 (5 秒間)

各重量での Ch.1 (正中前方部), Ch.2 (正中中央部), Ch.3 (正中後方部), Ch.4 (後方周辺部右側), Ch.5 (後方周辺部左側) での平均舌圧 (Y 軸) を示す. エラーバーは 95 %信頼区間.

*p < 0.05 **p < 0.01

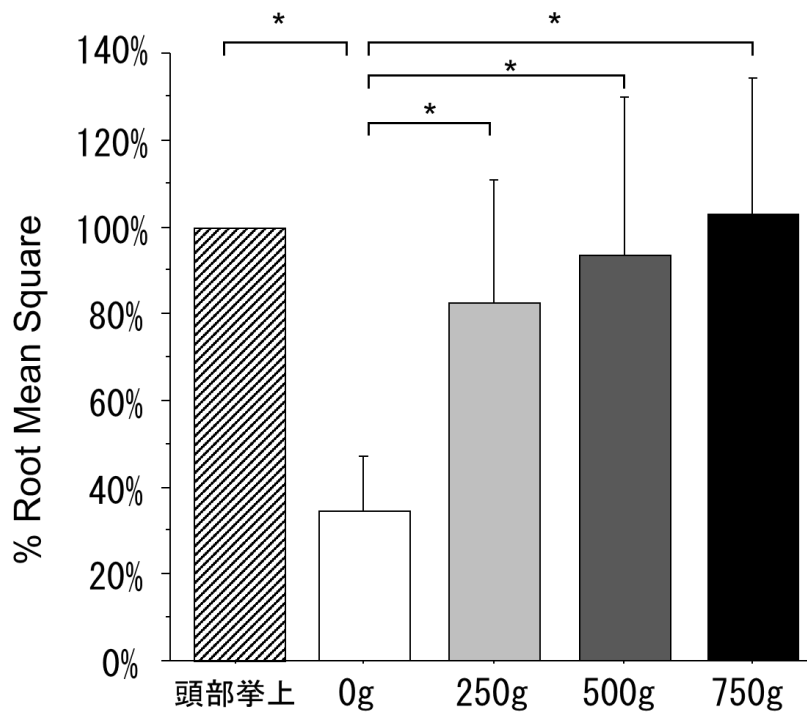


図 7 重量変化時と頭部挙上時の舌骨上筋群%RMS (5 秒間)

頭部挙上時とペットボトル保持重量変化時の舌骨上筋群の%RMS (Y 軸) を示す。頭部挙上時の RMS を 100 %として正規化。エラーバーは 95 %信頼区間。 * $p < 0.05$

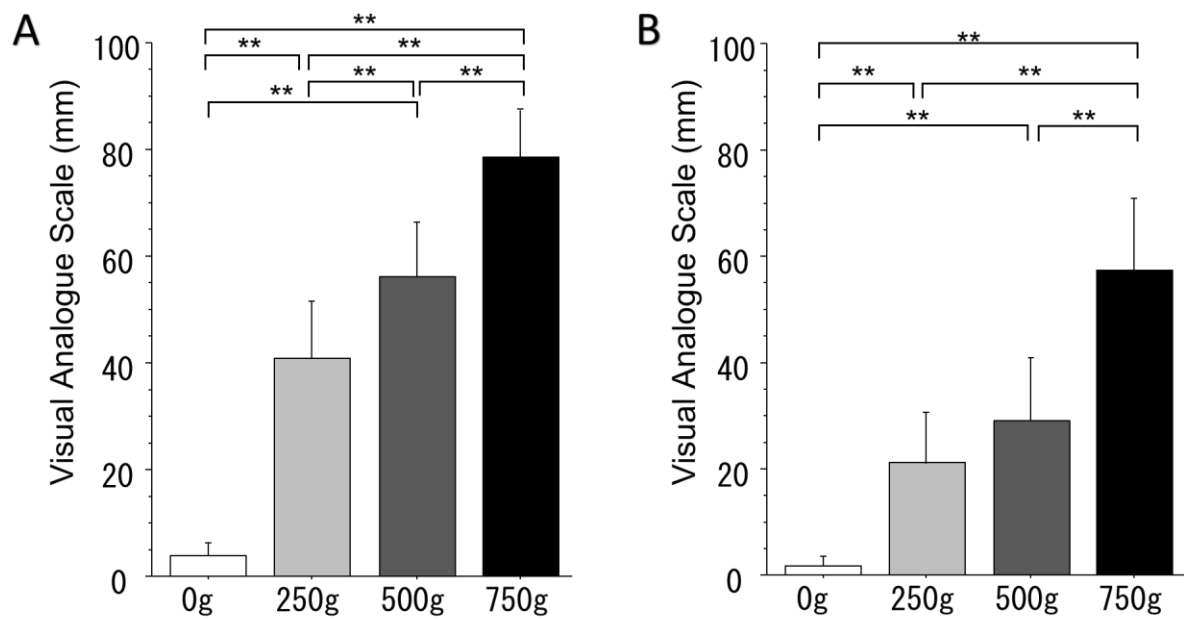


図 8 重量変化に伴う舌 (A) および舌骨上筋群 (B) の自覚的努力感

縦軸の VAS 値は大きいほど自覚的努力感が高いことを示す。エラーバーは 95 %信頼区間。

** $p < 0.01$

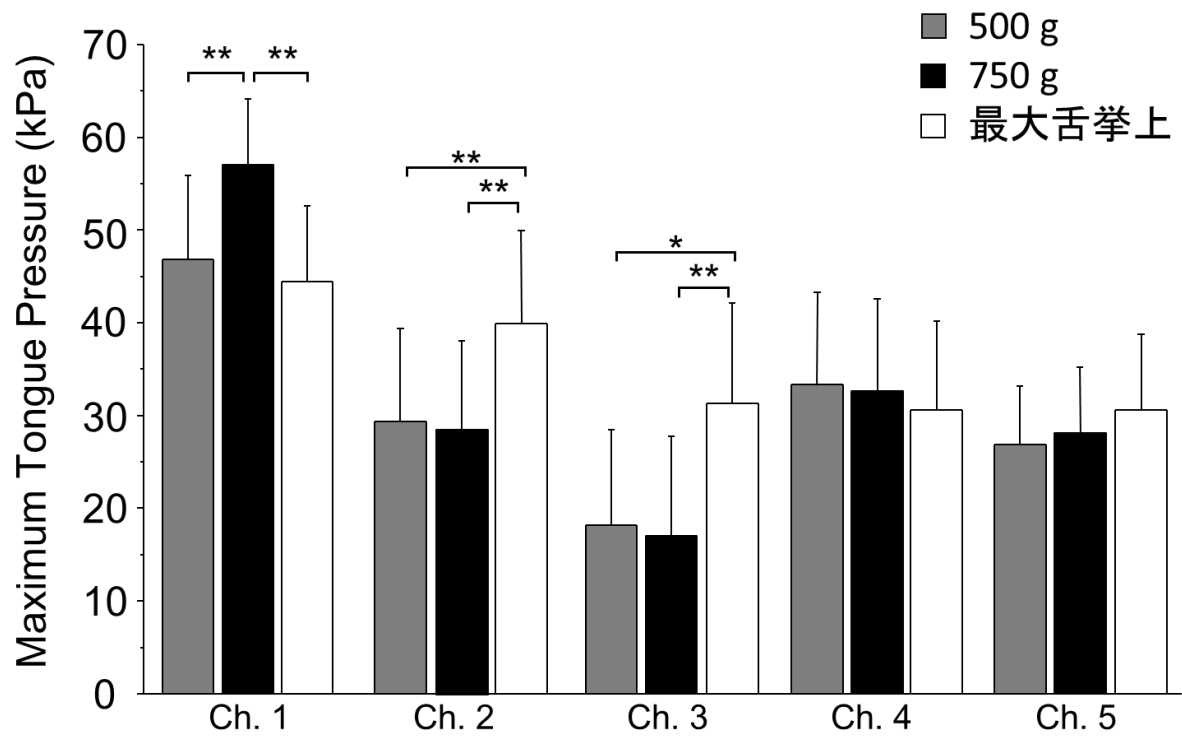


図 9 最大舌挙上とペットボトル保持時の最大舌圧 (20 秒間)

最大舌挙上およびペットボトル保持 (500 g, 750 g) 時の Ch.1 (正中前方部), Ch.2 (正中中央部), Ch.3 (正中後方部), Ch. 4 (後方周辺部右側), Ch. 5 (後方周辺部左側)での最大舌圧 (Y 軸) を示す。エラーバーは 95 %信頼区間。 * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

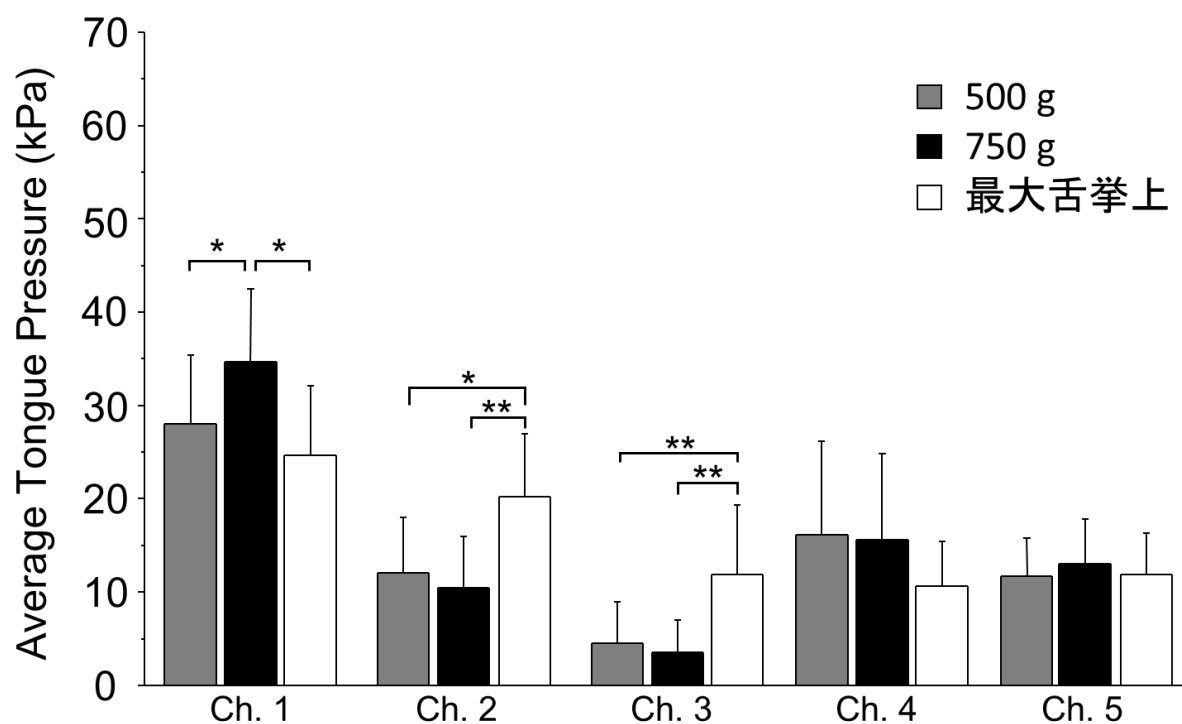


図 10 最大舌挙上とペットボトル保持時の平均舌圧 (20 秒間)

Ch.1 (正中前方部), Ch.2 (正中中央部), Ch.3 (正中後方部), Ch. 4 (後方周辺部右側), Ch. 5 (後方周辺部左側)での平均舌圧 (Y 軸) を示す. エラーバーは 95 %信頼区間.

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

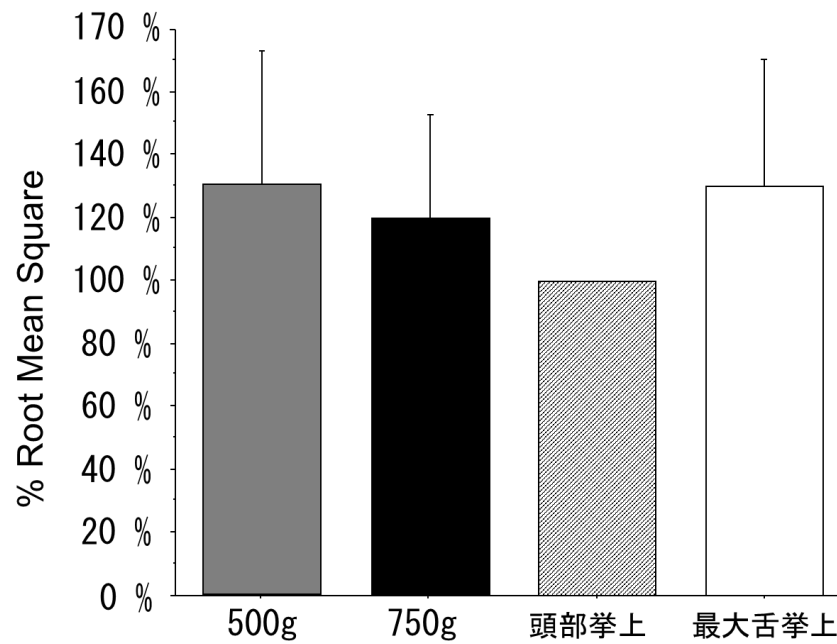


図 11 ペットボトル保持, 頭部挙上, 最大舌挙上時の舌骨上筋群%RMS (20 秒間)
 ペットボトル保持 (500 g, 700 g) , 頭部挙上, 最大舌挙上の舌骨上筋群の%RMS (Y 軸) を示す.
 頭部挙上時の RMS を 100 %として正規化. エラーバーは 95 %信頼区間.

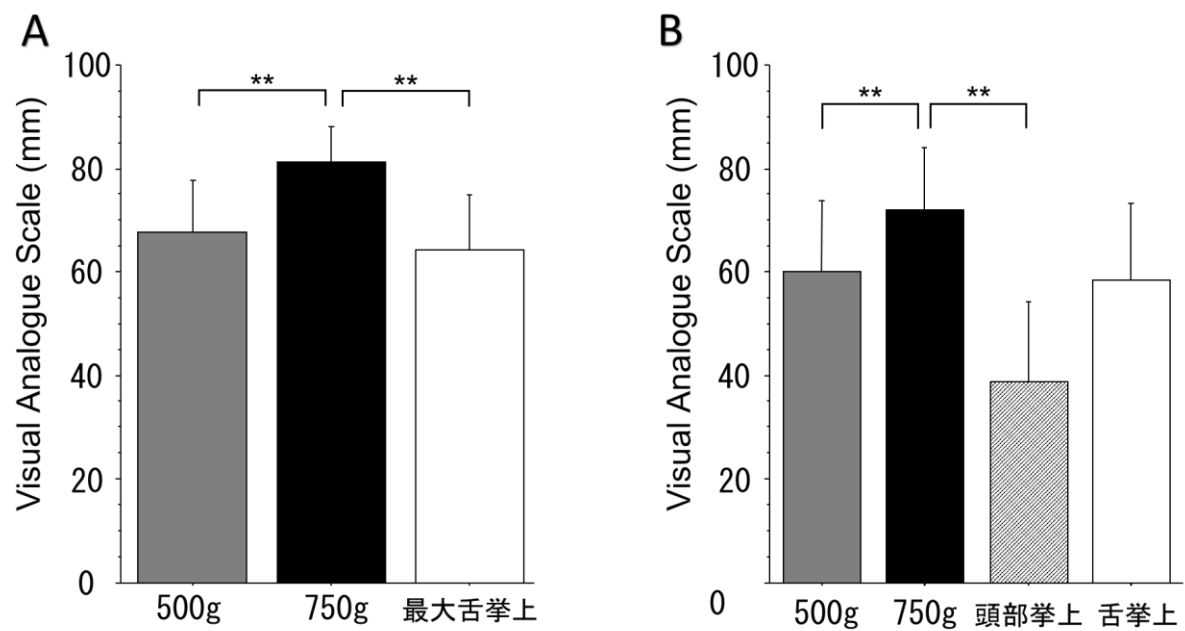


図 12 各訓練での舌 (A) および舌骨上筋群 (B) の自覚的疲労感

縦軸の VAS 値は大きいほど自覚的疲労感が高いことを示す。エラーバーは 95 %信頼区間。 ** $p < 0.01$

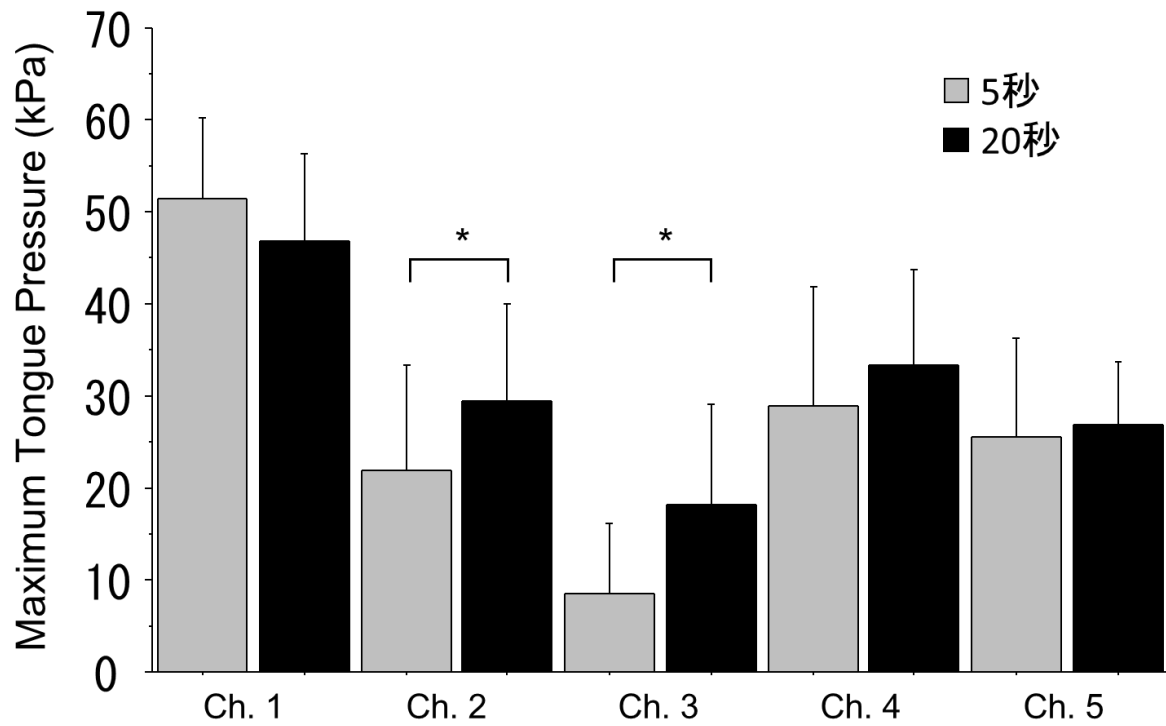


図 13 ペットボトル保持 500 g 実施時間 (5 秒, 20 秒) と最大舌圧

ペットボトル保持 500 g 実施時間と最大舌圧の比較. Ch.1 (正中前方部), Ch.2 (正中中央部), Ch.3 (正中後方部), Ch. 4 (後方周辺部右側), Ch. 5 (後方周辺部左側)での最大舌圧 (Y 軸) を示す. エラーバーは 95 %信頼区間. * $p < 0.05$

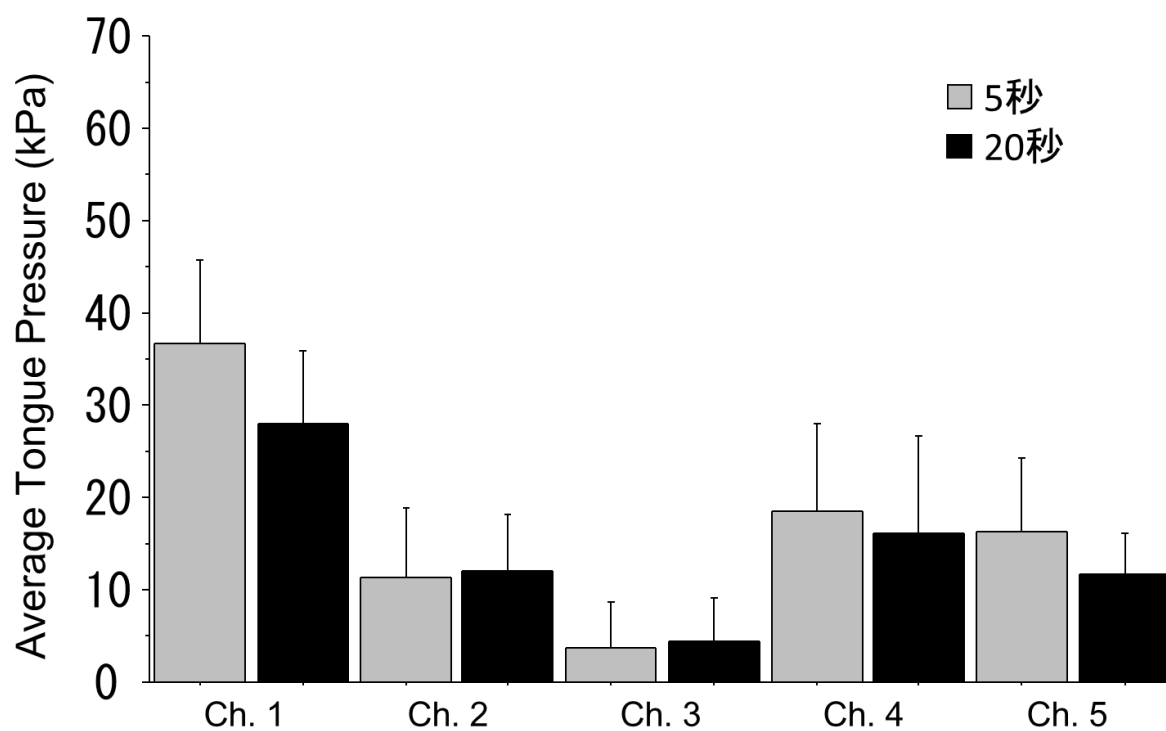


図 14 ペットボトル保持 500 g 実施時間 (5 秒, 20 秒) と平均舌圧

ペットボトル保持 500 g 実施時間と平均舌圧の比較. Ch.1 (正中前方部), Ch.2 (正中中央部), Ch.3 (正中後方部), Ch. 4 (後方周辺部右側), Ch. 5 (後方周辺部左側)での平均舌圧 (Y 軸) を示す. エラーバーは 95 %信頼区間. * $p < 0.05$

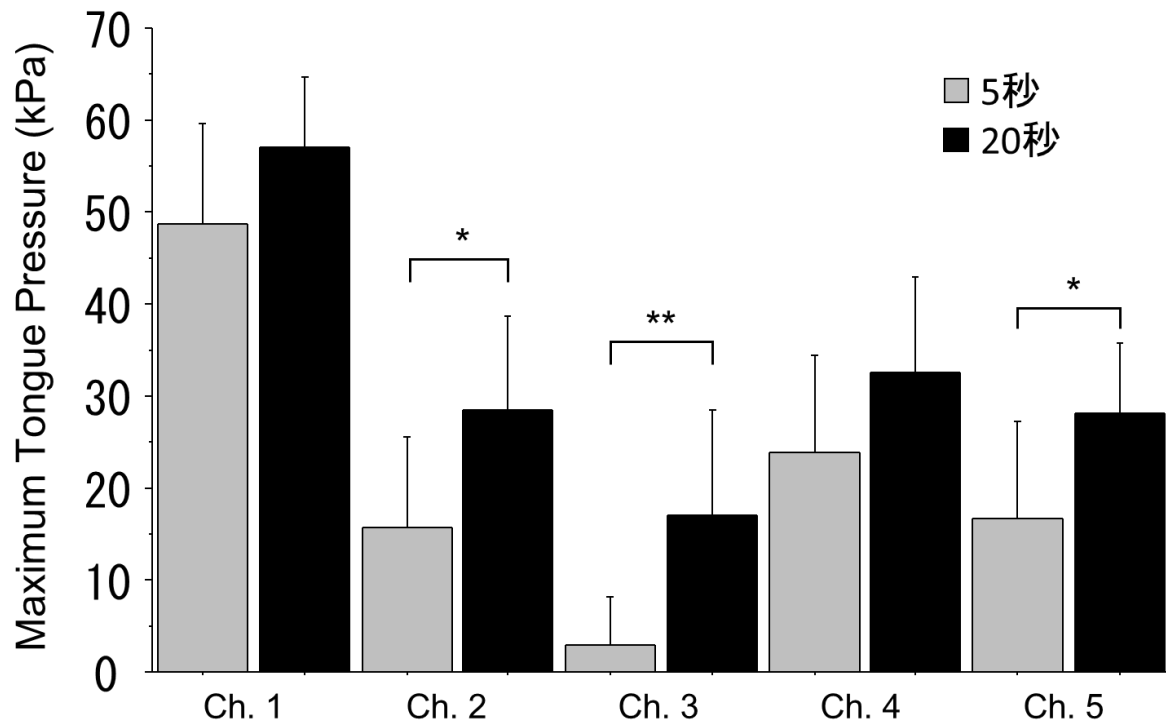


図 15 ペットボトル保持 750 g 実施時間 (5 秒, 20 秒) と最大舌圧

ペットボトル保持 750 g 実施時間と最大舌圧の比較. Ch.1 (正中前方部), Ch.2 (正中中央部), Ch.3 (正中後方部), Ch. 4 (後方周辺部右側), Ch. 5 (後方周辺部左側)での最大舌圧 (Y 軸) を示す. エラーバーは 95 %信頼区間. * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

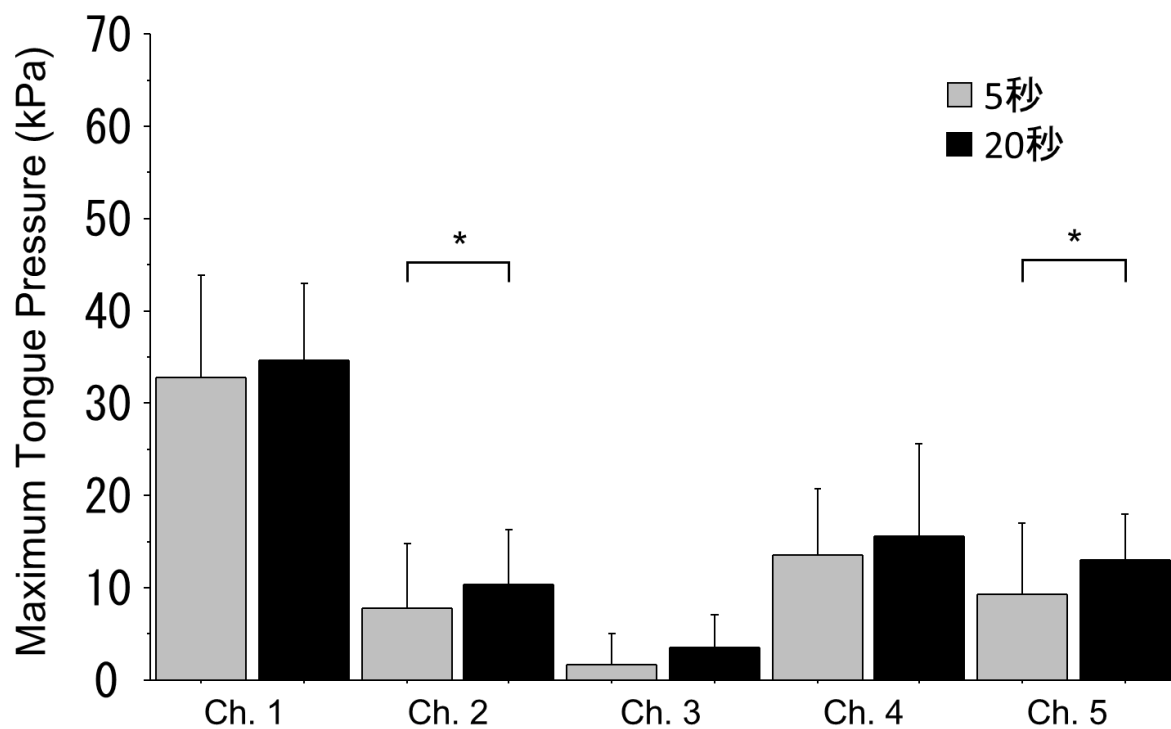


図 16 ペットボトル保持 750 g 実施時間 (5 秒, 20 秒) と平均舌圧

ペットボトル保持 750 g 実施時間と平均舌圧の比較. Ch.1 (正中前方部), Ch.2 (正中中央部), Ch.3 (正中後方部), Ch. 4 (後方周辺部右側), Ch. 5 (後方周辺部左側)での平均舌圧 (Y 軸) を示す. エラーバーは 95 %信頼区間. * $p < 0.05$