The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	前舌保持嚥下時の硬口蓋部舌圧発現と舌骨上筋群活動
Author(s)	藤原, 茂弘
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/55528
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

学位論文

前舌保持嚥下時の
硬口蓋部舌圧発現と舌骨上筋群活動

大阪大学大学院歯学研究科
統合機能口腔科学専攻
顎口腔機能再建学講座

藤原　茂弘

前舌保持嚥下時の硬口蓋部舌圧発現と舌骨上筋群活動

大阪大学大学院歯学研究科

統合機能口腔科学専攻顎口腔機能再建学講座

藤原　茂弘

指導

大阪大学大学院歯学研究科

統合機能口腔科学専攻顎口腔機能再建学講座

前田芳信 教授

緒言

現在，摂食・嚥下障害のリハビリテーションにおいて，さまざまな嚥下訓練法が用いられおり[1]，それらは食物を用いないで行う間接訓練と，実際に食物を用いて行う直接訓練の二つに大別される．それぞれの訓練法でターゲットとされる器官，目的は異なるが，間接訓練では主に嚥下反射運動の促通訓練，低下した筋力に対する運動療法・筋力強化が行われる．例えば，頭部挙上訓練である shaker 訓練は，舌骨・喉頭を上前方へ牽引する舌骨上筋群を強化することで食道入口部の開大を改善し[2]，舌圧子を用いた舌負荷訓練は，舌圧を増加させ[3]，いずれも嚥下能力が改善するとされている[4]．しかし，ほとんどの嚥下訓練法については，口腔・咽頭器官への生体力学的な効果や，嚥下障害が改善する生理的機序など，訓練効果を支持する科学的根拠は不足しているのが現状であり，間接訓練法である前舌保持嚥下法もまたその一つである．

Fujiu ら[5]が提唱した前舌保持嚥下法は，舌の前方を上下顎前歯で固定したまま唾液嚥下を行う訓練法である．嚥下咽頭期における舌根部と咽頭後壁の接触は，食塊が下咽頭を通過する際に重要な役割を果たす嚥下圧の生成源であり[6]，この訓練法は，舌根部と咽頭後壁の接触が弱い患者に対し，上咽頭収縮筋を強化して，接触を回復させることを目的としている．この訓練法が考案された背景として，かつて舌根部と咽頭後壁の接触が低下した嚥下障害患者に対しては，舌根部の後退運動を促す訓練が主に行われ，随意的なコントロールが困難な咽頭壁への運動訓練はほとんど行われないのが一般的であった[7]．しかし，舌の前方を摘出した舌癌患者の術後において，videofluorography（VF）画像上で嚥下時の咽頭後壁の前方突出量が増大している症例が複数存在しており，前舌部の運動が妨げられた状態では咽頭後壁の運動に何らかの代償的な動きが生じるこ

とが示唆されたことから[8]，前舌部の運動を抑制した状態で嚥下を行うことが，嚥下咽頭期の咽頭後壁隆起量の増加を促す訓練になると推測され，舌癌術後患者と同じメカニズムを作り出す手段として前舌保持嚥下法が考案された．実際に健常成人男性 10 人を対象に調べた結果，前舌保持嚥下法により咽頭後壁隆起量が増大することが確認されている[5]．

この現象の解剖学的原理として，内舌筋の一つである横舌筋は舌根部で上咽頭収縮筋と連続してリングを形成していることが Saigusa ら[9]によって報告されている．すなわち，嚥下時に舌は後方へと移動し咽頭壁と接触を得ることから[6]，舌と咽頭壁を接近させる筋線維の一端である舌を固定する前舌保持嚥下では，代償的に咽頭後壁の移動幅，すなわち上咽頭収縮筋の収縮量が増大し，結果としてこの部位の筋力増強効果を生み出すと考えられる[7]．しかしながら，前舌保持嚥下法は，運動訓練法として考案されたにも関わらず，当初提唱された名称（tongue-holding maneuver）と科学的根拠が不足していることが原因で，随意的嚥下調整法（swallow maneuvers）と誤解されやすく，即時効果が議論される傾向にある．Lazarus ら[10]は，前舌保持嚥下法の即時効果について，頭頸部腫瘍術後患者 3 名に対し，manometry を用いて前舌保持嚥下時の嚥下時咽頭収縮圧を計測した結果，舌根部と咽頭壁の接触圧上昇など随意的嚥下調整法として即時効果があるという報告をしているが，実際は咽頭残留の増加，喉頭閉鎖時間の短縮など[5] 随意的嚥下調整法として用いるには誤嚥を惹起する危険性をはらんでいる．一方で，Doeltgen ら[11]は健常若年者 40 名に対して manometry を用いて前舌保持嚥下時の咽頭収縮圧を計測し，前舌保持嚥下では通常唾液嚥下時と比較して咽頭収縮圧は低下し，収縮圧の発現時間が短縮すると報告している．また，Umeki ら[12]は high-resolution manometry を用いて前舌保持嚥下時の咽頭収縮圧を計測し，前舌保持嚥下では通常唾液嚥下と比較し

て咽頭収縮圧は変化しないと報告している．これらは前舌保持嚥下法に即時効果が期待されないことを示唆している．

このように，前舌保持嚥下法についてはいくつかの報告がなされているが，その数は少なく，ほとんどがVFやmanometryを用いて咽頭収縮機能を調べたものであり，舌運動について調べた論文はみられない． 前舌保持嚥下法では舌が前方で固定されてはいるが，舌は準備期・口腔期・咽頭期に主要な働きをするため，舌運動の変化を調べることは，前舌保持嚥下法のメカニズムを解明していく上で重要であると考えられる．舌運動の評価方法の一つに，嚥下時の舌と口蓋との接触圧の測定，すなわち舌圧測定が広く行われており，現在までに様々な舌圧測定システムが試作され，硬口蓋部舌圧発現様相に関する研究[13~20]が数々行われてきた．また，その他の嚥下機能の評価方法として，顎下部表面筋電図測定が知られている．顎下部表面筋電図は舌骨上筋群である顎舌骨筋，オトガイ舌骨筋，顎二腹筋の筋活動が反映され[21]，これらの筋は主に嚥下時の舌骨・喉頭挙上に関与し，舌圧産生にも関与するとされている[22]．しかしながら，前舌保持嚥下時の顎下部表面筋電図の変化について調べた論文はみられない．前舌保持嚥下時の硬口蓋部舌圧発現様相，舌骨上筋群活動を調べることにより，前舌保持嚥下が舌運動・嚥下関連筋活動に及ぼす生理学的な影響が明らかとなり，前舌保持嚥下法の訓練効果のメカニズムの解明の一助となると考えられる．

これまでの前舌保持嚥下法の舌の突出量に対する指示は「無理をしない程度で最大限突出してください」という被験者の主観的尺度を基準にしたものであった[5,7,10~12]．すなわち，被験者ごとに指示の捉え方が変わり，結果として舌の突出具合が被験者間で一律でなくなる可能性があった．今後，前舌保持嚥下法の訓練効果に対する科学的根拠を確立していくためには，

客観的・定量的な尺度により舌の突出量を決定していく必要があると考えられる．しかし，舌の可動性には個人差があるため[23,24]，被験者間の舌の前方への最大突出量，すなわち最大挺舌距離の違いが前舌保持嚥下時の舌後方部の運動に影響を与える可能性が考えられる．

以上のような背景をもとに，本研究では，舌を前方で保持した状態で嚥下することにより，舌運動ならびに嚥下関連筋活動が，通常嚥下と比較してどのように変化するのかを明らかにすることを目的として，若年健常者を対象に，前舌保持嚥下時の舌の突出量を二通り設定したうえで，①硬口蓋部舌圧発現様相の評価，②顎下部表面筋電図を用いた舌骨上筋群活動の評価を行った．さらに，③最大挺舌距離がこれら二つに及ぼす影響についても検討を試みた．

実験方法

1．被験者

被験者は，実験の趣旨を十分に理解し同意を得られた大阪大学大学院職員および学生の中から，摂食・嚥下障害ならびに神経筋疾患を有さず，欠損補綴処置と顎関節疾患の既往のない若年健常有歯顎者 18 名（女性 8 名，男性 10 名，平均年齢 26.8±1.3 歳）とした．なお，本実験プロトコールは本学倫理審査委員会の承認を得たものである．

2．舌圧測定方法及び測定条件

本実験の舌圧測定は Swallow Scan System (ニッタ株式会社，大阪)（図 1）を用いた．本システムの舌圧センサシートは，口蓋の曲面に沿うように T 字型をしており，嚥下時の舌圧を測定するために必要と考えられる以下の 5 箇所，

口蓋正中前方部（Ch.1），口蓋正中中央部（Ch.2），口蓋正中後方部（Ch.3），右側後方周縁部（Ch.R），左側後方周縁部（Ch.L）に感圧部位を有しており，各 Ch における舌圧の発現を時系列に沿って記録することが可能である．厚さは約 0.1 mm と非常に薄く，生理的な嚥下を極力阻害することなく測定することができる [25]．貼付位置は，解剖学的ランドマークである切歯乳頭及びハミュラーノッチを参考に決定した．すなわち，切歯乳頭より 5 mm 後方に Ch.1，左右側ハミュラーノッチを結んだ線に対して垂直に交わる正中線上で，切歯乳頭より 1/3 の位置に Ch.2，2/3 の位置に Ch.3，切歯乳頭と左右側ハミュラーノッチを結んだ線上で，切歯乳頭より 2/3 の位置に Ch.R と Ch.L が位置することを基準として，口蓋の大きさに応じて S，M，L の 3 種類の中から最適な寸法のセンサシートを選択した．

舌圧の測定に先立ち，シート状義歯安定剤（タッチコレクトⅡ，塩野義）を用いてセンサシートを口蓋に貼付した後，バキュームポンプを用いて舌圧センサシートの導出部に設けた空気孔より一定の陰圧を与え，各感圧点のキャリブレーションを行った．計測に際して，被験者の姿勢は坐位で，頭はヘッドレストにて固定した．さらに，フランクフルト平面を床面と平行とし，足が床に着く状態で行った．サンプリング周波数は 100Hz とした．

3．表面筋電図測定方法及び測定条件

舌骨上筋群の表面筋電図については，右側顎二腹筋筋腹相当部皮膚表面上において，筋線維の走行に沿って表面電極（DUO-TRODE，電極間距離 19.5mm，マイオトロニクス社）を貼付し，生体アンプ（BA1104m,ニホンサンテク株式会社）を用いて増幅後，センサインターフェイス（PCI-3133A，ニホンサンテク株式会社）を介してパーソナルコンピュータに記録した（図 2）．サンプリング周波数は 1000Hz とし，増幅器の感度は 10000 倍，時定数は 0.03 秒，高域フ

ィルタは 1000Hz とした.

なお, 測定の際に Swallow Scan から同期信号をセンサインターフェイスに出力し，舌圧，筋電図それぞれのデータの計測を同期させた.

4. 舌の保持位置の決定方法，測定タスク

舌の保持位置の決定には，口腔ケア綿棒（川本産業株式会社）に付与されている目盛を基準とした（図 3）. 運動訓練の理論の一つに，筋力を強化するためには運動強度を段階的に増加させていくことが重要であるという漸進的過負荷の原則[26,27]がある. この原則を前舌保持嚥下法が満たすかを検証するため, 舌の突出量を変えることにより前舌保持嚥下の運動負荷を調節し得るという仮定の下, 前舌保持嚥下法における舌の突出量の異なる二つのタスクを以下のように規定した（図 4）.

1）通常唾液嚥下（通常位）

被験者に閉口した状態（安静呼吸時）で唾液嚥下を行わせるもの.

2）舌を前方に小さく突出した前舌保持嚥下（小保持位）

被験者に舌が綿棒の目盛 1.5 目盛分（約 1cm）上顎前歯切端より前方に出るよう突出させ，上下顎前歯で固定するよう指示し，舌を保持したまま唾液嚥下を行わせるもの.

3）舌を前方に大きく突出した前舌保持嚥下（大保持位）

被験者に舌が綿棒の目盛 3 目盛分（約 2cm）上顎前歯切端より前方に出るよう突出させ，上下顎前歯で固定するよう指示し，舌を保持したまま唾液嚥下を行わせるもの.

5. 最大挺舌距離の計測（図 5）

最大挺舌距離として，舌が自由に前突できる程度に開口した状態で最大限前

方に突出させ，上顎前歯唇面から舌尖までの距離を計測した．

6．測定項目

前舌保持嚥下法に慣れてもらうため，測定開始前に練習時間を設けた．練習後，15 分以上の休憩をとり計測を開始した．

通常位，小保持位，大保持位の 3 種類の舌位で舌圧生成がないことを確認し，嚥下時のデータ測定を行った．被験者には，自分の顔を鏡に映して舌の位置を確認してもらいながら，3 種類の舌位で唾液嚥下時舌圧・表面筋電図測定を各 5 回ずつ，合計 15 回行った．遂行順序は全ての被験者でランダム化した．被験者には適宜少量の飲水を促し，口腔内の湿潤を保つようにすることで，口腔内の乾燥や唾液不足が唾液嚥下に支障をきたさないように配慮した．

7．分析方法

1）硬口蓋部舌圧発現様相

得られた舌圧波形（図 6）から，各感圧部位における舌圧持続時間，舌圧最大値，舌圧積分値を分析対象とした（図 7）．舌圧持続時間は舌圧の Onset から Offset までの時間，舌圧最大値は舌圧の Onset から Offset までの間に発現した舌圧の最大値，舌圧積分値は舌圧の Onset から Offset までの間に発現した舌圧の積分値とした．分析項目の測定タスク間の比較には反復測定による一元配置分散分析の後，有意差が認められた場合は Tukey の方法によって多重比較を行った．

2）舌骨上筋群表面筋電図

得られた筋電図波形から，全波整流波形処理および，65 点移動平均法（繰り返し回数 4 回）により平滑化を行い，安定している安静時ベースライン 1 秒間の平均振幅＋2SD を整流波形が超えた時点を Onset， Offset と定義した（図 8）．Onset から Offset までの時間を筋活動時間，この区間の整流波形下部面積を筋

活動積分値とし，これらを分析対象とした．そこから，被験者ごとに分析対象の通常位のデータの平均値を 1 とし，それに対する変化率として小保持位，大保持位の筋活動量の正規化を行った後，統計処理を行った．分析項目の測定タスク間の比較には，Friedman 検定の後，有意差が認められた場合は Bonferroni の不等式で有意水準を補正した Wilcoxon の符号付き順位和検定によって多重比較を行った．

3）最大挺舌距離が前舌保持嚥下時の舌圧変化に及ぼす影響

舌を上下顎前歯で固定しているため，その固定点に近い前方部の感圧点は最大挺舌距離による影響は少ないと考え，分析対象の感圧点を Chs.R,L の 2 点とした．

まず，前舌保持嚥下時の Chs.R,L における舌圧最大値，舌圧積分値の通常位に対する変化率を算出し，各々と最大挺舌距離との相関関係を Spearman の順位相関係数を用いて分析した．

次に，Chs.R,L における舌圧最大値・積分値が通常嚥下時と比べ前舌保持嚥下時に増加するか，減少するかを最大挺舌距離により予測可能かを検証するため，ROC 曲線[28]を用いた分析を行った．最大挺舌距離を境界値として，被験者の最大挺舌距離がその値以上ならば評価項目である舌圧最大値・積分値が増加，そうでなければ減少すると仮定し，境界値を変化させた時の感度・特異度を算出し，評価項目ごとに ROC 曲線を制作した． 統計処理は PASW Statistics 18（SPSS, Chicago）を用い，有意水準は全て 5%とした．

結果

1. 嚥下時舌圧

1) 舌圧持続時間（図 9）

舌圧持続時間は, 通常位は Ch.1 で 0.87±0.11（平均値±標準誤差. 以下全て.）秒, Ch.2 で 1.05±0.09 秒, Ch.3 で 0.64±0.06 秒, Ch.R で 0.94±0.06 秒, Ch.L で 0.94±0.08 秒であった. 小保持位では Ch.1 で 0.89±0.13 秒, Ch.2 で 0.92±0.12 秒, Ch.3 で 0.57±0.11 秒, Ch.R で 1.16±0.08 秒, Ch.L で 1.16±0.11 秒であった. 大保持位では Ch.1 で 0.93±0.15 秒, Ch.2 で 0.87±0.13 秒, Ch.3 で 0.57±0.12 秒, Ch.R で 1.25±0.13 秒, Ch.L で 1.33±0.15 秒であった. すなわち, 大保持位での Chs.R, L において舌圧持続時間は, 通常位での舌圧持続時間と比較して有意に延長した.

2) 舌圧最大値（図 10）

舌圧最大値は, 通常位では Ch.1 で 8.7±1.6kPa, Ch.2 で 10.6±1.4kPa, Ch.3 で 7.6±1.1kPa, Ch.R で 10.5±1.3kPa, Ch.L で 9.4±1.4kPa であった. 小保持位では Ch.1 で 5.3±1.1kPa, Ch.2 で 5.2±0.8kPa, Ch.3 で 3.2±0.7kPa, Ch.R で 9.1±1.9kPa, Ch.L で 9.1±1.7kPa であった. 大保持位では Ch.1 で 6.1±1.0kPa, Ch.2 で 4.7±0.7kPa, Ch.3 で 3.6±0.8kPa, Ch.R で 10.3±2.5kPa, Ch.L で 11.4±2.5kPa であった. すなわち小保持位, 大保持位での Chs.1, 2, 3 における舌圧最大値は, 通常位での舌圧最大値と比較して有意に低下し, Chs.R, L においては有意な変化を認めなかった.

3) 舌圧積分値（図 11）

舌圧積分値は Ch.1 で 3.6±0.9kPa×sec, Ch.2 で 5.4±0.8kPa×sec, Ch.3 で 2.1±0.3kPa×sec, Ch.R で 4.1±0.7kPa×sec, Ch.L で 3.5±0.6kPa×sec であった. 小保持位では Ch.1 で 2.1±0.5kPa×sec, Ch.2 で 2.7±0.6kPa×sec, Ch.3 で 0.9±0.2kPa×sec, Ch.R で 3.5±0.7kPa×sec, Ch.L で 3.4±0.7kPa

×sec であった．大保持位では Ch.1 で 2.4±0.6kPa×sec，Ch.2 で 2.2±0.4kPa×sec，Ch.3 で 0.9±0.2kPa×sec，Ch.R で 4.6±1.4kPa×sec，Ch.L で 5.1±1.3kPa×sec であった．すなわち，小保持位，大保持位での Chs.1, 2, 3 における舌圧積分値は，通常位での舌圧積分値と比較して有意に低下し，Chs.R, L においては有意な変化を認めなかった．

2．嚥下時舌骨上筋群活動

1）筋活動時間（図 12）

筋活動時間は通常位での筋活動時間の平均を 1 としたとき，それに対する変化率は小保持位で 1.26±0.06，大保持位で 1.41±0.10 であった．すなわち，小保持位，大保持位での筋活動時間は，通常位での筋活動時間と比較して有意に延長した．

2）筋活動積分値（図 13）

筋活動積分値は通常位での筋活動積分値の平均を 1 としたとき，それに対する変化率は小保持位で 1.19±0.09, 大保持位で 1.59±0.15 であった. すなわち，大保持位での筋活動積分値は，通常位での筋活動積分値と比較して有意に増加した．また，大保持位での筋活動積分値は，小保持位での筋活動積分値と比較して有意に増加した．

3．最大挺舌距離と前舌保持嚥下時舌圧発現様相との関係

1）本実験被験者の最大挺舌距離（図 14）

最大挺舌距離は最小 24.0mm から最大 48.0mm と広い範囲に分布し，平均値は 32.7±6.5mm であった．

2）最大挺舌距離と前舌保持嚥下時の Chs.R, L における舌圧最大値，舌圧積分値の変化率の関係（表 1）

Chs.R,L における小保持位ならびに大保持位での舌圧最大値の変化率と最大

挺舌距離との間に正の相関を認めた．また，Ch.L における小保持位ならびに大保持位での舌圧積分値の変化率と最大挺舌位距離との間に強い正の相関を認めた．Ch.R における小保持位ならびに大保持位での舌圧積分値の変化率のみ最大挺舌距離との間に有意な相関を認めなかった．

3）最大挺舌距離を基準とした前舌保持嚥下時の Chs.R, L における舌圧変化の予測精度の検討

評価項目ごとの ROC 曲線（図 15）の AUC（the area under the curve）[28] は，小保持位の場合 Ch.R における舌圧積分値と Ch.L における舌圧最大値で 0.7 以下となりいずれも弱い精度であったが，それ以外の評価項目では 0.7 以上の値をとり中程度の精度であった（表 2）．

ROC 曲線を用いた分析より，感度・特異度双方が最大となるカットオフ値は，小保持位での Ch.R における舌圧積分値，大保持位での Ch.R における舌圧積分値で 30.5mm であったが，それ以外の評価項目では全て 32.0mm と一定のカットオフ値となった（表 3，4）．

考察

1．研究方法について

1）舌圧測定方法

これまで前舌保持嚥下法の生理学的効果についての研究は VF や manometry を用いた咽頭収縮の評価しか行われず [5,10~12]，嚥下時舌運動の評価を行った研究はほとんど行われてこなかった．VF や超音波画像診断装置（US）を用いて，定性的に舌運動評価を行うことは可能であるが，

前舌保持嚥下の場合，舌が前方で固定されることにより，舌運動の規模が小さくなることが予想され，画像上で評価を行うことは困難となる．さらに VF では被曝の危険性，US では再現性の乏しさや解析の困難さが問題点として挙げられる．

一方，嚥下の口腔期と咽頭期の舌運動の評価方法の一つに，嚥下時の舌と口蓋との接触圧の測定，すなわち舌圧測定が広く行われている．Shaker ら[29]は，嚥下時において口腔内圧は前方から後方に向って形成され，その中で舌と口蓋との接触圧，すなわち舌圧が食塊を口腔から咽頭へ送り込む最大の原動力となることを報告した．そこで，舌圧を測ることが舌運動評価方法として有効であるという考えから，圧力センサを用いたシステムが試作され，舌圧に関する研究[13~20]が数々行われてきた．舌圧を測定する装置は，実に多種多様の物が試作されていて，その中でも，Iowa Oral Performance Instrument (IOPI)[13~15]や，Handy Probe[17,19]に代表されるプローブ型の圧計測装置はすでに臨床応用され，数多くの報告がある．しかし，これらの装置はプローブを口腔前方から挿入して計測を行うため，舌を前歯部で保持した状態ではプローブを挿入することは不可能であり，前舌保持嚥下時の舌圧測定を行うことはできない．一方，Hori ら[23]の開発した舌圧センサシートシステムは，センサシートの厚みが約 0.1mm と非常に薄く，口蓋粘膜に直接センサシートを貼付できるため，より生理的状態を反映した舌圧の測定が可能であり，センサシートの導線は，臼歯部後方から口腔前庭を通過して口角部から口腔外に導出するため，前舌保持嚥下時の舌運動評価にも適用することができる．このセンサシートシステムは口蓋各部における機能時の舌圧を時系列に沿って記録し，画像診断では判別できない嚥下時の舌と口蓋の接触圧を定量的に評価することが可能であり，嚥下時舌運動のバイオメカニクスの解析に適している．例えば，

Tamine ら[30]は舌圧測定用センサシートシステムを用いて健常若年者，健常高齢者における 15ml 水嚥下時の舌圧発現様相を調べ，若年者での舌圧発現様相とその加齢による変化について報告している．また嚥下障害患者の舌運動の解明にも応用され，Hirota ら[31]，Konaka ら[32]は脳卒中患者の嚥下障害と舌圧発現様相との関係について報告している．さらに，Hori ら[33]はこのセンサシートを用いて，随意的嚥下調整法の一つであるうつむき嚥下時の舌圧発現様相の変化について報告している．これらの点から，前舌保持嚥下時の舌運動の生理学的変化を評価するに当たり Swallow Scan System を用いることは有用であると考えられる．

2）顎下部表面筋電図測定

前舌保持嚥下法が訓練対象とする上咽頭収縮筋は深在筋であるため，表面電極を用いた測定は困難であり，侵襲的な針電極を用いる場合[22]，違和感や痛みが嚥下運動に影響を及ぼす可能性が考えられる．一方，前舌保持嚥下法は咽頭収縮筋以外の嚥下関連筋にも筋力増強効果をもたらす可能性が指摘されている[7]．そこで本研究では，顎下部表面筋電図測定により，嚥下口腔期から咽頭期にかけて重要な働きを担う舌骨上筋群活動の評価を行うこととした．

表面筋電図測定は，嚥下関連筋の評価方法として広く用いられており[34]，その中でも顎下部表面筋電図は，舌骨上筋群である顎舌骨筋，オトガイ舌骨筋，顎二腹筋の筋活動が反映される[21]．舌骨上筋群は主に嚥下時に舌骨・喉頭を前上方に牽引し食道入口部を開大させる働きがあるが[2,35,36]，舌圧産生時に舌筋である上縦舌筋の筋活動と相関があるとの報告もある[22]．このことから，顎下部表面筋電図を計測することにより，前舌保持嚥

下時の舌骨・喉頭挙上に関わる舌骨上筋群活動のみならず舌圧産生に関わる筋群の生理学的変化をみることできると考えられる.

しかし，顎下部表面筋電図測定には，目的とする舌骨上筋群以外の口腔底に位置する他の筋から cross talk の影響を受ける，皮下脂肪の厚みにより測定が困難になることがあるなどの問題があげられるが[34]，侵襲性も少なく計測方法も単純であることを考慮して，本研究においては，顎下部表面筋電図測定を行った.

3）前舌保持嚥下における舌の突出量の規定法

本実験では，舌の突出量を被験者間で統一することにより，舌の突出量の変化が前舌保持嚥下時の舌圧発現様相にどのような影響を及ぼすのかを検討した．舌の突出量の規定に用いた口腔ケア綿棒は，口腔ケア，リハビリテーションの現場でもよく用いられており，今回の結果を実際のリハビリテーションの現場でも応用できるようにするため，身近にある物で挺舌距離を確認できるように考慮した.

舌の突出量を変えることにより前舌保持嚥下の運動負荷を調節し得るという仮定の下，漸進的過負荷の原則が適用可能かを検証するため，最低2段階の負荷を設定する必要があり，本研究においては，小保持位と大保持位の2種類を設定した．小保持位は被験者があまり苦労なく嚥下できる挺舌距離，大保持位は嚥下時にある程度の抵抗を咽頭で感じられる挺舌距離になるように設定した．予備的調査で上顎前歯より1cm前後突出した状態では苦労なく嚥下ができ，2cm前後になると苦労を伴うことが把握できたため，計測しやすい値として小保持位を上顎前歯から1cm，大保持位を2cmと設定した．また．茂木ら[23]は健常成人19人で最大挺舌距離を計測し，その中で最小値が21mmであったことを報告しており，その数値

以下に設定している今回の測定タスクは，ほとんどの被験者において適用可能であると考えられる．

舌，口腔の容積には個人差があり，そのことが前舌保持嚥下時の舌圧発現様相に影響を与える可能性は否定できないが，これまで体重と舌，口腔の容積の間には相関があること[37]，舌の大きさと嚥下時舌圧に相関は認めないことが報告されている[24]．舌の容積，口腔の容積を計測する試みは種々の方法により行われているが[38]，いずれも一長一短があり，確立された方法は今のところないため，本研究では舌と口腔の容積の影響については検討しなかった．

4）最大挺舌距離の計測方法について

最大挺舌距離について調べた報告は少なく，その中で茂木ら[23]は下顎前歯を基準に前方への最大突出量を計測し，Otakiら[24]は下唇上縁を基準に下方への最大突出量を計測している．このように計測方法の明確な基準は存在しないが，測定タスクの設定方法と同様に，本研究では上顎前歯唇面を基準とした．

2．結果について

1）通常嚥下時と前舌保持嚥下時の舌圧発現様相の比較

本研究において，前舌保持嚥下時の舌圧の各パラメータには，通常唾液嚥下時と比較して種々の変化が認められた．すなわち，舌圧持続時間については，前舌保持嚥下の場合に口蓋後方周縁部のChs.R, Lで延長傾向を示し，大保持位の場合にChs.R, Lで有意に延長した．一方で，舌圧最大値，舌圧積分値は，前舌保持嚥下の小保持位，大保持位の場合にChs.1, 2, 3において有意に低下した．これらは，前舌保持嚥下時では，舌を前方に固定することで嚥下時舌運動においてアンカーとして重要な役割を果たす舌尖部の運動が抑制され

る形となるため，代償的に後方部舌運動が賦活化したためと考えられる．また，各測定タスクの嚥下時舌圧波形例（図 6）より，通常嚥下時は単峰性の波形を示すが，前舌保持嚥下時は多峰性の波形となることから，前舌保持嚥下時は一回の嚥下試行で複数回の舌の送り込み運動が発現していると推察できる．

前舌保持嚥下は舌を上下顎前歯で挟み込むため咬合が挙上され，なおかつ臼歯部咬合支持のない不安定な状態となり，このことが前舌保持嚥下時の舌圧発現様相の変化の主要因となっている可能性が考えられる．Solomon ら[39]，福岡ら[40]は咬合を挙上した状態では随意最大押しつけ時の舌圧最大値，舌骨上筋群活動が低下すると報告しており，本実験は随意最大押しつけ時ではなく唾液嚥下時の舌圧を計測している違いがあるが，本来舌圧が低下する咬合を挙上した状態にもかかわらず舌圧産生が減少せずに通常時と差がない状態であるということは，前舌保持嚥下により後方部舌運動が賦活化したことを示唆するものである．これは先にも述べたように舌尖部の運動が抑制されたことによる舌後方部の代償的な変化，すなわち努力性の舌後方部の挙上運動が起きているためと考えられる．

2）通常嚥下時と前舌保持嚥下時の舌骨上筋群活動の比較

本研究において，前舌保持嚥下時の筋活動時間，筋活動積分値には，通常唾液嚥下時と比較して種々の変化が認められた．すなわち，通常位の嚥下と比較して前舌保持嚥下の小保持位ならびに大保持位で舌骨上筋群活動時間は有意に延長し，大保持位においては，通常位ならびに小保持位と比較して筋活動積分値が有意に増加した．筋活動積分値の増加は筋活動に参加した運動単位数，発火頻度の増加を反映しているが[41]，前舌保持嚥下が舌を

前方で保持しながら嚥下を行うという生理的な状態とはかけ離れた状態で行われるため，通常嚥下と比較して舌骨・喉頭の挙上も困難な状態となり，嚥下一試行にかかる時間，労力が増大し，その結果として舌骨上筋群活動時間が延長し，筋活動積分値が増加したと考えられる．また，舌圧産生時における舌骨上筋群と内舌筋である上縦舌筋の筋活動は相関するとの報告[22]があることから，仮に前舌保持嚥下によって舌骨上筋群だけでなく内舌筋活動も賦活化されるとすれば，舌筋に対する訓練効果も期待することができる．舌圧発現様相の比較では，Chs.R, L において舌圧持続時間の延長のみ認め，舌圧最大値・舌圧積分値については有意な変化は認めなかった．しかし，Palmer ら[22]は，舌圧産生と舌骨上筋群活動にも相関があることを報告しており，実際には前舌保持嚥下時に舌運動は賦活化されていると考えられるが，舌の運動を抑制されている状態のため，舌圧産生の増加までは至らなかったと考えられる．

これまで，前舌保持嚥下は運動強度の漸増が不可能であるとの報告があったが[42]，今回の結果では小保持位と比較して大保持位での筋活動積分値は有意に増加する結果となったことから，前舌保持嚥下法は舌の突出量によって前舌保持嚥下時の運動強度を調節し得る，すなわち漸進的過負荷の原則を満たす可能性が示唆された．

3）最大挺舌距離と前舌保持嚥下時の舌圧発現様相との関係

本研究において，最大挺舌距離と前舌保持嚥下時の口蓋後方周縁部舌圧発現様相の変化との間には相関性が認められた．すなわち，最大挺舌距離が大きい程，通常唾液嚥下と比較して Ch.R では小保持位，大保持位の場合ともに舌圧最大値が増加する傾向を示し，Ch.L では小保持位，大保持位の場合ともに舌圧最大値，舌圧積分値が増加する傾向が示された．最大挺舌距離が大きい被験者

は舌の可動性が大きいため，舌を前方に保持した状態でも口蓋後方周縁部の舌圧産生が増加したものと考えられる．

Ch.L においてはすべての項目で正の相関を認めたが，Ch.R においては小保持位，大保持位の舌圧最大値のみ正の相関を認め，それ以外では相関性は認めないという左右差が認められた．Ono ら [43]，Tamine ら [30]は水嚥下時の硬口蓋部舌圧発現様相について調べ，舌圧最大値，舌圧持続時間，舌圧発現のタイミングは左右の後方周縁部の感圧点の間で差はないことを報告している．また，加藤ら [44]は超音波画像診断で構音時の舌運動を観察し，舌側縁部の動きに左右差はないと報告している．これらのことから，嚥下，構音時の舌運動は左右対称性に起こると考えられる．それに反して今回の実験で左右差が認められた要因として，前舌保持嚥下の非生理的な嚥下動作があげられる．随意的に開始される命令嚥下においても，舌尖が前歯の舌側に接してから順次舌と口蓋との接触が後方へ広がるパターンが存在している [2,5,45~47]．前舌保持嚥下では舌を前方で固定しているため，その最初の段階から阻害される形となり，その後の後方への波状の運動も困難な状態となる．そのため，前舌保持嚥下では食塊を搬送することが困難となり，代償的な随意的動作が加わった非生理的な舌運動が行われたと推測され，本来左右対称に起こるはずの舌運動に左右差が生じたものと考えられる．すなわち，挙上できない舌が口蓋の接触を得ようとした結果，舌の回旋運動が起き左側のみ前舌保持嚥下時に舌圧が増加して，左側に相関性が高くなったと考えられる．ただし，舌の回旋運動の左右差を調べた報告はなく，今回の結果に対する妥当な説明は現在のところ困難である．

4）最大挺舌距離により前舌保持嚥下時の後方周縁部舌圧発現様相を予測できることの有用性

ROC 曲線を用いた分析の結果，最大挺舌距離から，前舌保持嚥下時の口蓋後方周縁部舌圧発現様相の変化が中等度の精度で予測可能であり，最大挺舌距離 32.0mm を基準に増加・減少の傾向が変化することが示された．これは先ほど述べたように，最大挺舌距離の大きい被験者は，舌を前方で保持していても，舌後方部の動きは完全に抑制されず可動性が保たれているため，前舌保持嚥下中の口蓋後方周縁部の舌圧産生が増加し，逆に最大挺舌距離の小さい患者では舌後方部を口蓋に接触させることが困難なため舌圧産生が減少する結果となり，今回の条件設定においては最大挺舌距離 32.0mm がその境界となったと解釈できる．

最大挺舌距離の大きい被験者において，舌圧産生が増加し舌骨上筋群活動も増加するという今回の結果は，Yeates ら[48]による努力嚥下では舌圧産生，舌骨上筋群活動が増加するという結果と類似する．実際に，前舌保持嚥下は生理的な状態とはかけ離れた状態で嚥下することになるので，嚥下に関わる諸器官の筋活動は通常時と比較して増加していることが予想され，通常時よりも舌を強く押し付ける努力嚥下と類似した生体力学的な効果を口腔・咽頭器官へ及ぼすと考えられる．努力嚥下の効果の一つとして咽頭期における舌根部の後退運動増大があげられる．最大挺舌距離の大きい被験者において前舌保持嚥下中の口蓋後方周縁部の舌圧産生が増加したのもこの効果と同様の機序によるものと思われる．しかし，この効果は，舌根部の後退運動を抑制することで上咽頭収縮筋を賦活化させる前舌保持嚥下法の本来の目的とは矛盾する．上咽頭収縮筋の筋力強化をより確実に得るためには，舌後方部の動きを十分に抑制する必要がある．これは

今回の結果より，前舌保持嚥下時の硬口蓋後方周縁部の舌圧発現パターンは最大挺舌距離に依存することが示唆されたことから，あらかじめ最大挺舌距離により後方周縁部舌圧産生が低下する，すなわち舌後方部の運動を十分に抑制することが可能な舌の保持位置を設定することにより，より確実な前舌保持嚥下の訓練効果を得ることができるのではないだろうか．最大挺舌距離による前舌保持嚥下時の後方部舌圧発現様相の予測は，このような観点において，今後前舌保持嚥下法による訓練効果を確立するための基礎的知見の一つとなると思われる．

以上の考察をふまえ，本研究においては全ての被験者に一定の突出量を課したことにより，最大挺舌距離に対する突出量の比率が被験者ごとに異なっていたため，今後は最大挺舌距離に対して何％の突出量を課せば口蓋後方周縁部の舌圧産生を抑制することができるのかを検討していく必要があると思われる．そのために，被験者ごとに最大挺舌距離をもとに舌の突出量を決めた上で舌圧測定を行い，前舌保持嚥下時の舌の突出量が舌圧発現様相に及ぼす影響を検討し，さらにVF, manometryとの同期計測で前舌保持嚥下時の舌圧発現様相と舌後方部の動態，咽頭収縮圧との関係を調べていくことが今後の課題であると考えられる．

総括ならびに結論

本研究は，嚥下障害患者の間接訓練法の一つである前舌保持嚥下法が舌運動ならびに嚥下関連筋に及ぼす影響を明らかにすることを目的として，若年健常者を対象とした実験を行い，以下のような知見を得た．

1. 舌圧センサシートシステム，顎下部表面筋電図計測を用いた通常唾液嚥下時と前舌保持嚥下時の硬口蓋部舌圧発現様相，舌骨上筋群活動の比較より，舌尖部の運動が抑制された結果，口蓋前方部の舌圧産生は低下し，代償的に口蓋後方部の舌圧持続時間が延長することが明らかとなった．また舌骨上筋群活動時間，活動量はともに増加することが明らかとなった．
2. 小保持位と比較して，大保持位での舌骨上筋群活動量が増加したことから，舌の突出量により前舌保持嚥下の訓練強度を調節し得ることが示唆された．
3. 最大挺舌距離が前舌保持嚥下時の舌圧変化に及ぼす影響を相関分析，ROC 曲線を用いて検証した結果，最大挺舌距離は前舌保持嚥下時の口蓋後方周縁部の舌圧産生に影響を与えることが明らかとなった．すなわち，最大挺舌距離が大きい程，前舌保持嚥下時の口蓋後方周縁部舌圧は，通常嚥下と比較して減少しにくく増加しやすい傾向を示し，増加するか減少するかは最大挺舌距離によって予測し得ることが示唆された．

以上の結果より，これまで咽頭器官への効果のみ論じられてきた前舌保持嚥下法が，舌ならびに舌骨上筋群に対する訓練効果を有し，最大挺舌距離にもとづいて挺舌量を規定することにより，訓練強度を調節し得る可能性が示唆された．これらのことは，前舌保持嚥下法の訓練効果を確立するための基礎的知見になりうると考えられる．

謝辞

稿を終えるにあたり，本研究を行う機会を与えて頂き，かつ終始変わらぬ御指導，御高閲を賜りました大阪大学大学院歯学研究科顎口腔機能再建学講座（歯科補綴学第二教室）前田芳信教授に深甚なる感謝の意を表します．また懇篤なる御指導ならびに御助言を賜りました本研究共同研究者の新潟リハビリテーション大学大学院リハビリテーション研究科倉智雅子先生に深甚なる感謝の意を表します．

本研究課題を遂行するにあたり，終始懇切なる御指導を賜りました同講座の小野高裕准教授ならびに新潟大学大学院医歯学総合研究科摂食環境制御学講座堀一浩准教授に心から感謝致します．

最後に，本研究に際し，終始御理解と御協力を頂きました大阪大学大学院歯学研究科顎口腔機能再建学講座教室員各位に心から御礼申し上げます．

文献

1) Stathopoulos E, Felson Duchan J. History and principles of exercise-based therapy: how they inform our current treatment. *Semin Speech Lang.* 2006;**27**:227-35.

2) Shaker R, Kern M, Bardan E, et al. Augmentation of deglutitive upper esophageal sphincter opening in the elderly by exercise. *Am J Physiol.* 1997;**272**:1518–22.

3) Robbins J, Gangnon RE, Theis SM, Kays SA, Hewitt AL, Hind JA. The effects of lingual exercise on swallowing in older adults. *J Am Geriatr Soc.* 2005;**53**:1483-9.

4) 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.

5) Fujiu M, Logemann JA. Effect of a tongue-holding maneuver on posterior pharyngeal wall movement during deglutition. *Am J Speech Lang Pathol.* 1996;**5**:23-30.

6) Kahrilas PJ, Logemann JA, Lin S, Ergun GA. Pharyngeal clearance

during swallowing: a combined manometric and videofluoroscopic study. *Gastroenterology.* 1992;103:128-36.

7) 倉智雅子. 前舌保持嚥下法の EBM. *言語聴覚研究.* 2010;7:31-38.

8) Fujiu M, Logemann JA, Pauloski BR. Increased postoperative posterior pharyngeal wall movement in patients with anterior oral cancer: Preliminary findings and possible implications for treatment. *Am J Speech Lang Pathol.* 1995;4:24-30.

9) Saigusa H, Yamashita K, Tanuma K, Saigusa M, Niimi S. Morphological studies for retrusive movement of the human adult tongue. *Clin Anat.* 2004;17:93-8.

10) Lazarus C, Logemann JA, Song CW, Rademaker AW, Kahrilas PJ. Effects of voluntary maneuvers on tongue base function for swallowing. *Folia Phoniatr Logop.* 2002;54:171-6.

11) Doeltgen SH, Witte U, Gumbley F, Huckabee ML. Evaluation of manometric measures during tongue-hold swallows. *Am J Speech Lang Pathol.* 2008;18:65-73.

12) Umeki H, Takasaki K, Enatsu K, Tanaka F, Kumagami H, Takahashi H. Effects of a tongue-holding maneuver during swallowing evaluated by

high-resolution manometry. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2009;141: 119-22.

13) Robbins J, 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:M257-M262.

14) Crow HC, Ship JA. Tongue strength and endurance in different aged individuals. *Gerontol A Biol Sci Med.* 1996;51:M247-M250.

15) Youmans SR, Stierwalt JA. Measures of tongue function related to normal swallowing. *Dysphagia.* 2006;21:102-111.

16) Nicosia MA, Hind JA, Roecker EB, Carnes M, Doyle J, Dengel GA, Robbins J. Age effects on the temporal evolution of isometric and swallowing pressure. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2000;55:M634 - M640.

17) Hayashi R, Tsuga K, Hosokawa R, Yoshida M, Sato Y, Akagawa Y. A novel handy probe for tongue pressure measurement. *Int J Prosthodont.* 2002;15:385-388.

18) Nagao K, Kitaoka N, Kawano F, Komoda J, Ichikawa T. Influence of changes in occlusal vertical dimension on tongue pressure to palate

during swallowing. *Prosthodont Res Pract.* 2002;1:16-23.

19) Utanohara Y, Hayashi R, Yoshikawa M, Yoshida M, Tsuga K, Akagawa Y. Standard values of maximum tongue pressure taken using newly developed disposable tongue pressure measurement device. *Dysphagia.* 2008;**23**:286-290.

20) Hewitt A, Hind J, Kays S, Nicosia M, Doyle J, Tompkins W, Gangnon R, Robbins J. Standardized instrument for lingual pressure measurement. *Dysphagia.* 2008;**23**:16-25.

21) Palmer PM, Luschei ES, Jaffe D, McCulloch TM. Contributions of individual muscles to the submental surface electromyogram during swallowing. *J Speech Lang Hear Res.* 1999;**42**:1378-91.

22) 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.

23) 茂木 健司, 笹岡 邦典, 根岸 明秀, 佐々木 真一. 舌運動機能の検討　健常者の舌最大可動域の測定. *The Kitakanto Medical Journal.* 2002;**52**:237-241.

24) Otaki K. Tongue size and tongue pressure. *Shigaku.* 1984;**72**:163-86.

25) Hori K, Ono T, Tamine K, Kondo J, Hamanaka S, Maeda Y, Dong J, Hatuda M. Newly developed sensor sheet for measuring tongue pressure during swallowing. *J Prosthodont Res.* 2009;**5**: 28-32.

26) Hickson RC, Hagberg JM, Ehsani AA, Holloszy JO. Time course of the adaptive responses of aerobic power and heart rate to training. *Med Sci Sports Exerc.* 1981;**13**:17-20.

27) Goldberg AL, Etlinger JD, Goldspink DF, Jablecki C. Mechanism of work-induced hypertrophy of skeletal muscle. *Med Sci Sports.* 1975 ;**7**:185-98.

28) Akobeng AK. Understanding diagnostic tests 3: Receiver operating characteristic curves. *Acta Paediatr.* 2007;**96**:644-7.

29) Shaker R, Cook IJ, Dodds WJ, Hogan WJ. Pressure-flow dynamics of the oral phase of swallowing. *Dysphagia.* 1988;**3**:79-84.

30) 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.

31) 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;41:2982-2984.

32) Konaka K, Kondo J, Hirota N, Tamine K, Hori K, Ono T, Maeda Y, Sakoda S, Naritomi H. Relationship between tongue pressure and dysphagia in stroke patients. *Eur Neurol.* 2010;**64**:101-107.

33) 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.

34) Cara E. Stepp. Surface electromyography for speech and swallowing systems: measurement, analysis, and interpretation. *J Speech Lang Hear Res.* 2012;**55**:1232–46

35) Cook IJ, Dodds WJ, Dantas RO, et al. Opening mechanisms of the human upper esophageal sphincter. *Am J Physiol.* 1989;**257**:748–59.

36) Kahrilas PJ, Logemann JA, Krugler C, et al. Volitional augmentation of upper esophageal sphincter opening during swallowing. *Am J Physiol.* 1991;**260**:450–6.

37) Lauder R, Muhl ZF. Estimation of tongue volume from magnetic

resonance imaging. *Angle Orthod.* 1991;**61**:175-84.

38) Oliver RG, Evans SP. Tongue size, oral cavity size and speech. *Angle Orthod.* 1986;**56**:234-43.

39) Solomon NP, Munson B. The effect of jaw position on measures of tongue strength and endurance. *J Speech Lang Hear Res.* 2004;**47**:584-94.

40) 福岡達之，吉川直子，新宮正美，川阪尚子，杉田由美，野崎園子，島田憲二，福田能啓，道免和久．バイトブロックによる下顎位の違いが舌背挙上時の最大舌圧と舌骨上筋群筋活動に及ぼす影響．*嚥下医学.* 2012;**1**:77-83.

41) Semmler JG, Nordstrom MA. Motor unit discharge rate and force tremor in skill and strength training individual. *Exp Brain Res.* 1998;**70**:27-38.

42) Burkhead LM, Sapienza CM, Rosenbek JC. Strength-training exercise in dysphagia rehabilitation: principles procedures and directions for future research. *Dysphagia.* 2007;**22**:251-65.

43) Ono T, Hori K, Nokubi T. Pattern of tongue pressure on hard palate during swallowing. *Dysphagia.* 2004;**19**:259-64.

44) 加藤 正子，大塚 義顕，向井 美惠，今富 摂子，木村 智江，出世 富久子．超音波前額断規格撮影法による側音化構音の観察．*音声言語医学* .

2002;43:30-39.

45) Dodds WJ, Taylor AJ, Stewart ET, Kern MK, Logemann JA, Cook IJ. Tipper and dipper types of oral swallow. *Am J Roentgenol.* 1989;153:1197-9.

46) Dodds WJ, Stewart ET, Logemann JA. Phisiology and radiology of the normal oral and pharyngeal phase of swallowing. *Am J Roentgenol.* 1990;154:953-63.

47) Palmer JB, Hiiemae KM, Liu J. Tongue-jaw linkages in human feeding. *Arch Oral Biol.* 1997;6:429-41.

48) Yeates EM, Steele CM, Pelletier CA. Tongue pressure and submental surface electromyography measures during noneffortful and effortful saliva swallows in healthy women. *Am J Speech Lang Pathol.* 2010;19:274-81.

図および表の説明

図1　舌圧センサシートシステム Swallow ScanのUSBハンドル(A) 及び測定用センサシートを口蓋に貼付したところ (B)

口蓋の大きさに応じてS, M, Lの3種類の中から最適な寸法のセンサシートを選択し，シート状義歯安定剤（タッチコレクトⅡ，塩野義）を用いて口蓋に直接貼付した.

図2　測定システムの構成

舌圧のデータはSwallow Scanを介して，表面筋電図のデータは生体アンプを用いて10000倍に増幅後, センサインターフェイスを介してパーソナルコンピュータに入力され，1試行につき1つのCSVファイルとして保存した．計測開始の際，Swallow Scanから同期信号を出力し，両データの計測を同期させた.

図3　A：口腔ケア綿棒

B：先端部分の寸法

C：舌保持位置の決定

口腔ケア綿棒に付与されている目盛を基準に，舌の保持位置を決定した.

図4　各タスクにおける舌の保持位

A：通常位

B:小保持位

C:大保持位

小保持位は舌が綿棒の目盛1.5目盛分（約1cm）上顎前歯切端より前方に出るよう突出させ，大保持位は舌が綿棒の目盛3目盛分（約2cm）上顎前

歯切端より前方に出るよう突出させた.

図5　最大挺舌距離の計測方法

舌を下垂せずに前方に突出させた時の，上顎前歯唇面から舌尖までの距離を計測した.

図6　各測定タスク時の嚥下時舌圧波形例

A：通常位

B：小保持位

C：大保持位

通常位の場合，はじめに正中前方部より接触し，その後後方周縁部の接触が認められた．前舌保持嚥下の場合，前方から後方へと発現する通常位で認められたような舌圧発現の順序性が乱れ，舌圧持続時間の延長が認められた．この傾向は，舌の保持位置を大きくするほど顕著に認められた.

図7　嚥下時舌圧波形における分析項目

舌圧持続時間は舌圧のOnsetからOffsetまでの時間，舌圧最大値は舌圧の発現時から消失時までの間に発現した舌圧の最大値，舌圧積分値は舌圧のOnsetからOffsetまでの間に発現した舌圧の積分値とした.

図8　表面筋電図分析方法と分析項目

得られた筋電図波形から，全波整流波形処理および，65点移動平均法（繰り返し回数4回）により平滑化を行い，安定している安静時ベースライン1秒間の平均振幅＋2SDを超えた時点をOnset，Offsetと定義した.

OnsetからOffsetまでの時間を筋活動時間，この区間の整流波形下部面積を筋活動積分値とし，これらを分析対象とした.

図9　測定タスク間における舌圧持続時間の比較

図10　測定タスク間における舌圧最大値の比較

図11　測定タスク間における舌圧積分値の比較

図12　測定タスク間における筋活動時間の比較

被験者ごとに分析対象の通常位のデータの平均値を１とし，それに対する変化率として小保持位，大保持位の筋活動量の正規化を行ったのち，統計処理を行った.

図13　測定タスク間における筋活動積分値の比較

被験者ごとに分析対象の通常位のデータの平均値を１とし，それに対する変化率として小保持位，大保持位の筋活動量の正規化を行ったのち，統計処理を行った.

図14　本実験被験者の最大挺舌距離の分布

一例として，Ch.Lにおける小保持位での舌圧積分値が通常位と比較して上昇している場合は▲，減少している場合は■で表わす．最大挺舌距離の大きい被験者ほど上昇する傾向があることがわかる.

表1　最大挺舌距離と前舌保持嚥下時のCh.R, Lにおける舌圧最大値，舌圧積分値の変化率との相関分析

図15　ROC曲線

例として小保持位におけるCh.leftの舌圧積分値の場合のROC曲線を示す. Akobeng[24]はROC曲線下の面積（area under the curve: AUC）が大きい程予測精度が高くなることを報告しており，評価項目ごとにそれぞれAUCを算出した．さらに，グラフ上の点(0, 1) から最も近いROC曲線上のプロットが感度・特異度双方が最大となるカットオフ値となることから[24]，グラフ上の点(0, 1) から最も近いROC曲線上のプロットを評価項目ごとに算出した.

表2　評価項目ごとのarea under the curve (AUC)

area under the curve（AUC）[24] とはROC曲線下の面積であり，予測精度の目安となる数値である.

表3　Ch.Rの評価項目のROC曲線上における各境界値のプロットと最も高い感度・特異度を表わす点（0，1）との距離

グラフ上の点(0, 1) から最も近いROC曲線上のプロットが感度・特異度双方が最大となるカットオフ値となる[24] .

表4　Ch.Lの評価項目のROC曲線上における各境界値のプロットと最も高い感度・特異度を表わす点（0，1）との距離

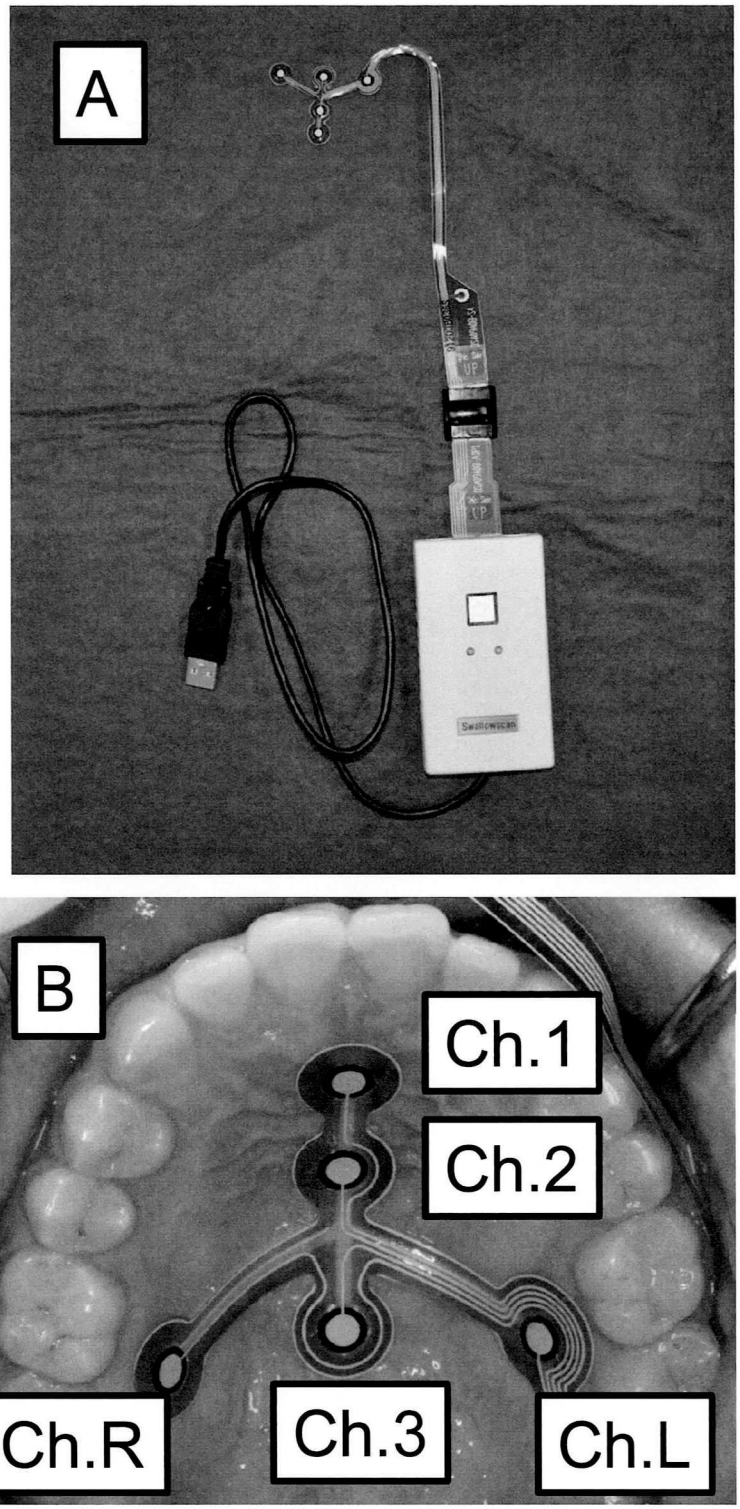

図1　舌圧センサシートシステム Swallow ScanのUSBハンドル(A)及び測定用センサシートを口蓋に貼付したところ(B)

口蓋の大きさに応じてS, M, Lの3種類の中から最適な寸法のセンサシートを選択し，シート状義歯安定剤(タッチコレクトⅡ，塩野義)を用いて口蓋に直接貼付した.

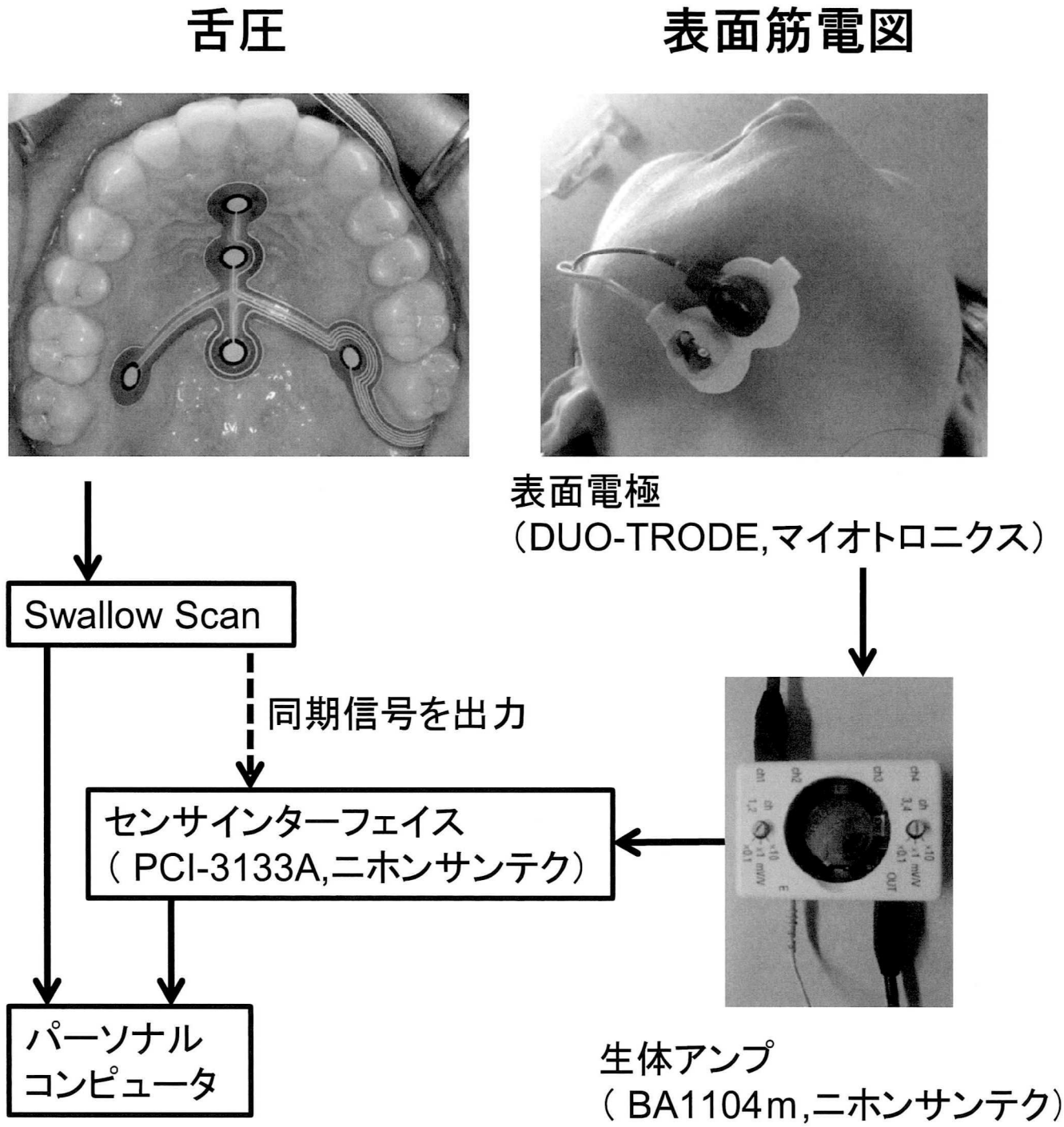

図2　測定システムの構成

舌圧のデータはSwallow Scanを介して，表面筋電図のデータは生体アンプを用いて10000倍に増幅後，センサインターフェイスを介してパーソナルコンピュータに入力され，1試行につき1つのCSVファイルとして保存した．計測開始の際，Swallow Scanから同期信号を出力し，両データの計測を同期させた．

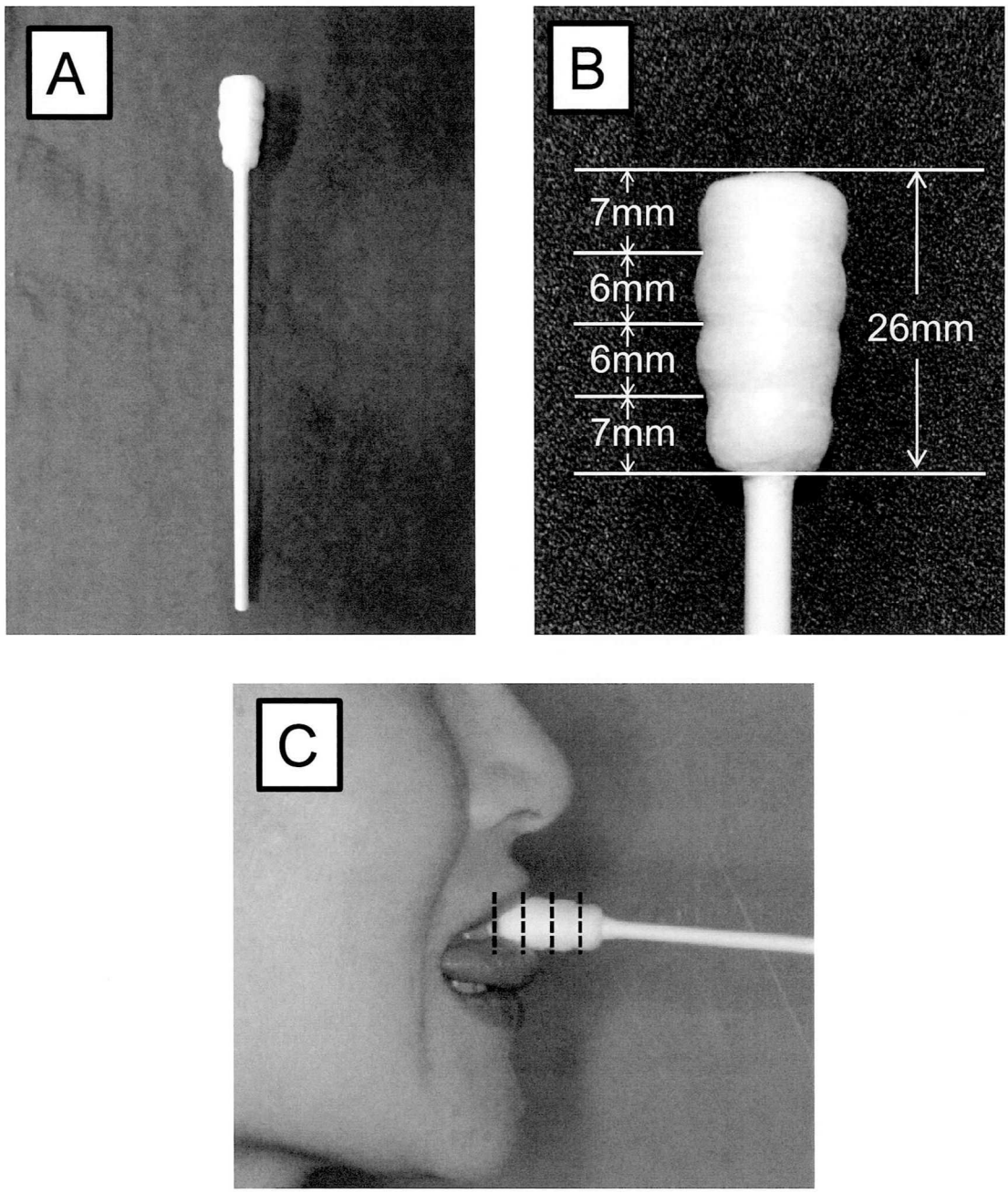

図3　A:口腔ケア綿棒
B:先端部分の寸法
C:舌保持位置の決定

口腔ケア綿棒に付与されている目盛を基準に，舌の保持位置を決定した.

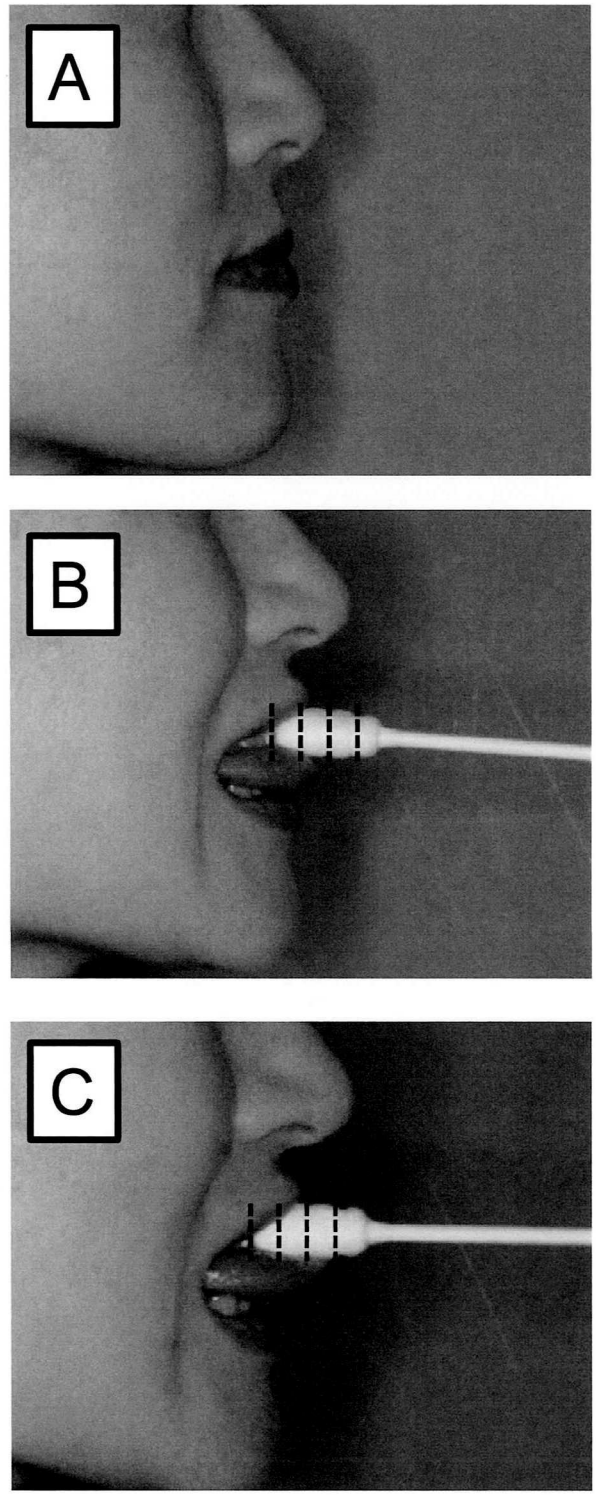

図4　各タスクにおける舌の保持位
A:通常位　B:小保持位　C:大保持位

小保持位は舌が綿棒の目盛1.5目盛分(約1cm)上顎前歯切端より前方に出るよう突出させ，大保持位は舌が綿棒の目盛3目盛分(約2cm)上顎前歯切端より前方に出るよう突出させた.

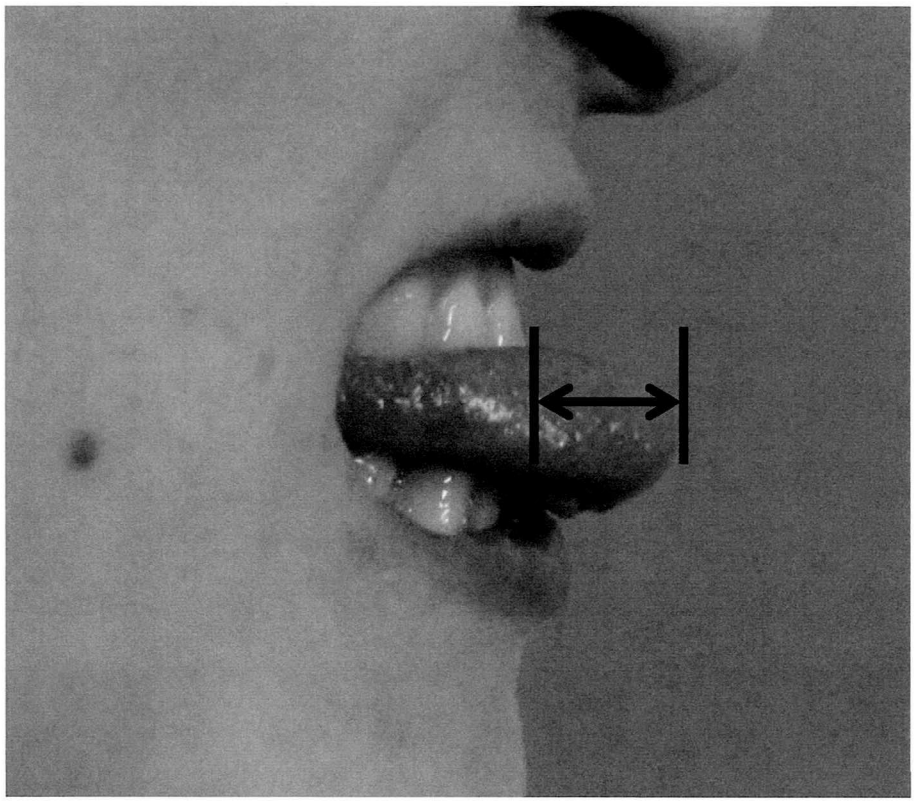

図5　最大挺舌距離の計測方法

舌を下垂せずに前方に突出させた時の，上顎前歯唇面から舌尖までの距離を計測した.

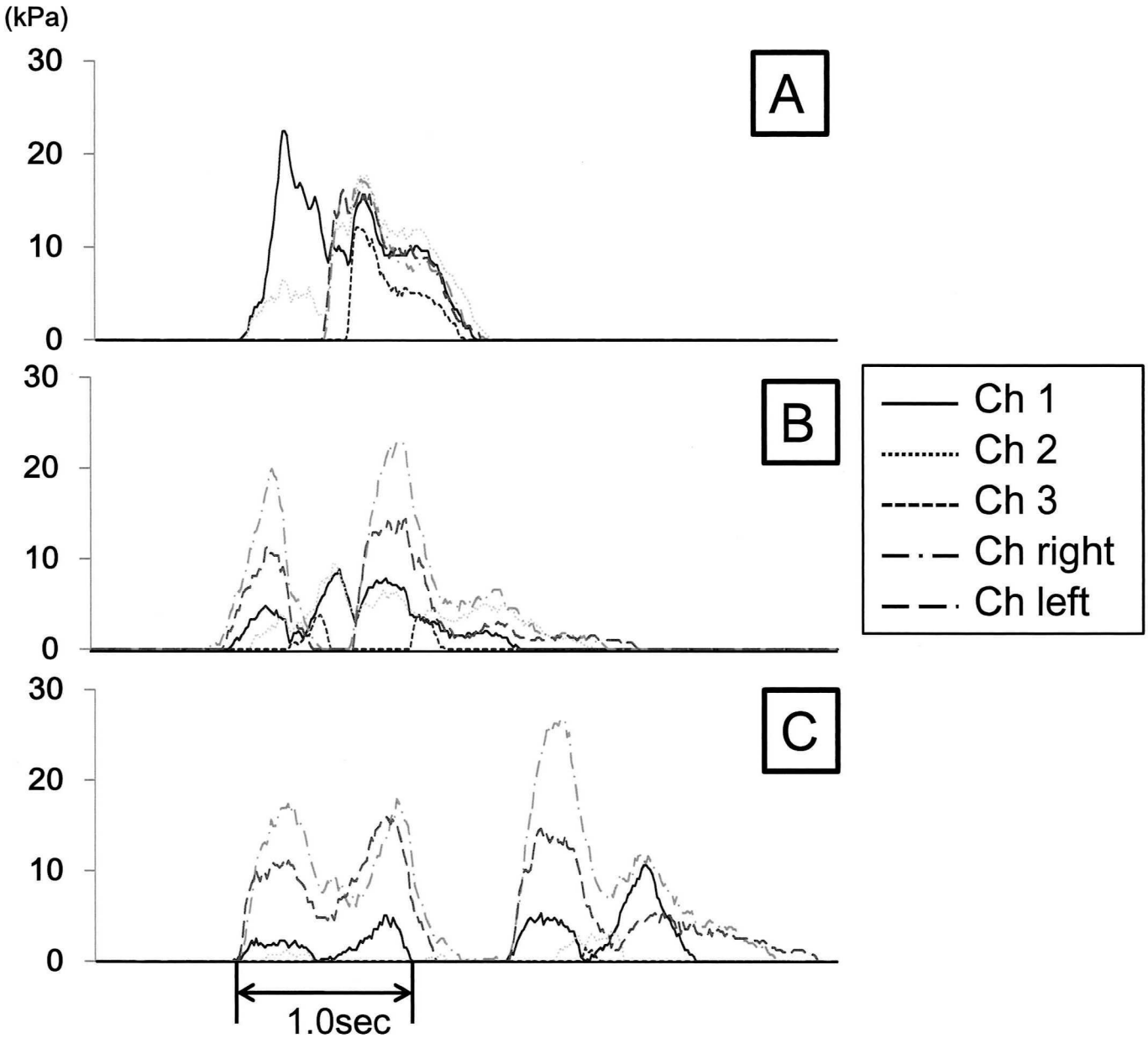

図6 各測定タスク時の嚥下時舌圧波形例
A:通常位 B:小保持位 C:大保持位

通常位の場合，はじめに正中前方部より接触し，その後後方周縁部の接触が認められた．前舌保持嚥下の場合，前方から後方へと発現する通常位で認められたような舌圧発現の順序性が乱れ，舌圧持続時間の延長が認められた．この傾向は，舌の保持位置を大きくするほど顕著に認められた．

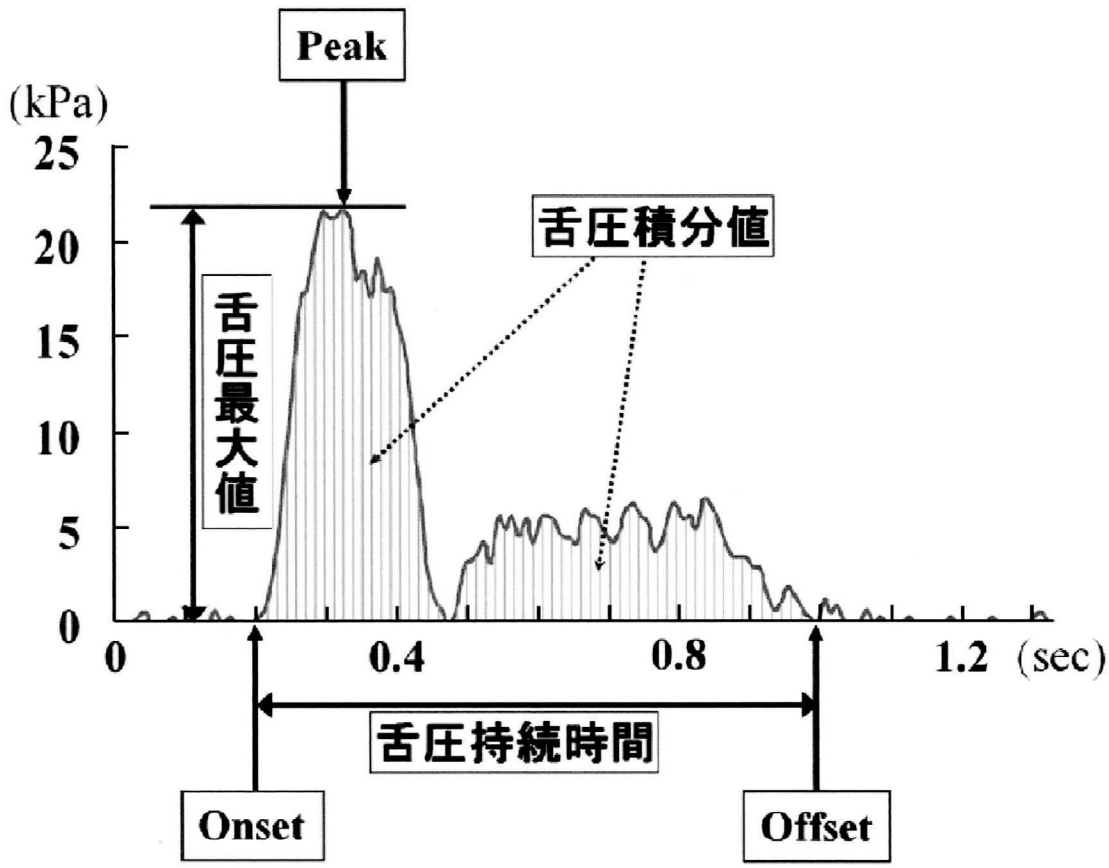

図7　嚥下時舌圧波形における分析項目

舌圧持続時間は舌圧のOnsetからOffsetまでの時間，舌圧最大値は舌圧の発現時から消失時までの間に発現した舌圧の最大値，舌圧積分値は舌圧のOnsetからOffsetまでの間に発現した舌圧の積分値とした．

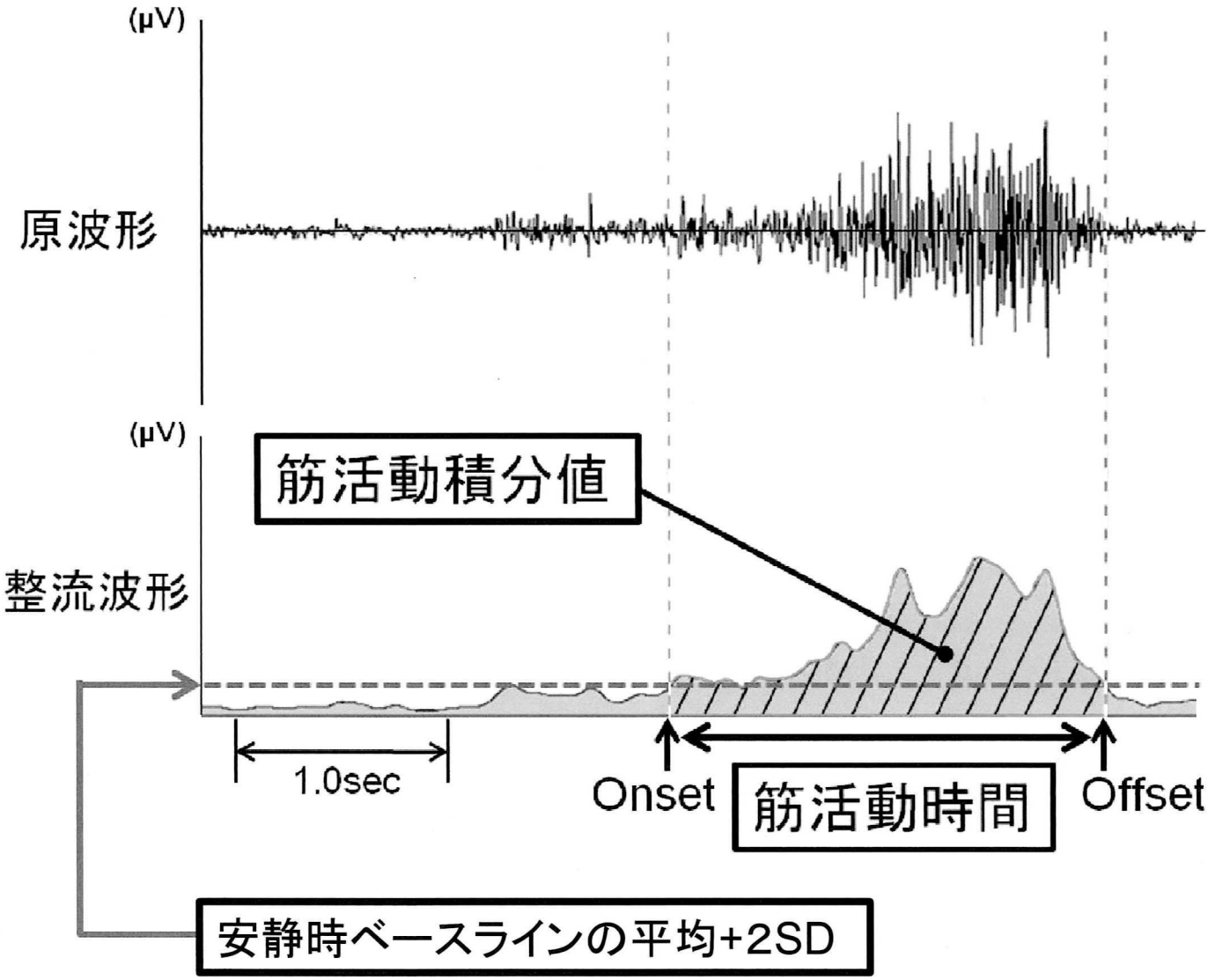

図8　表面筋電図分析方法と分析項目

得られた筋電図波形から，全波整流波形処理および，65点移動平均法（繰り返し回数4回）により平滑化を行い，安定している安静時ベースライン1秒間の平均振幅＋2SDを超えた時点をOnset，Offsetと定義した．OnsetからOffsetまでの時間を筋活動時間，この区間の整流波形下部面積を筋活動積分値とし，これらを分析対象とした．

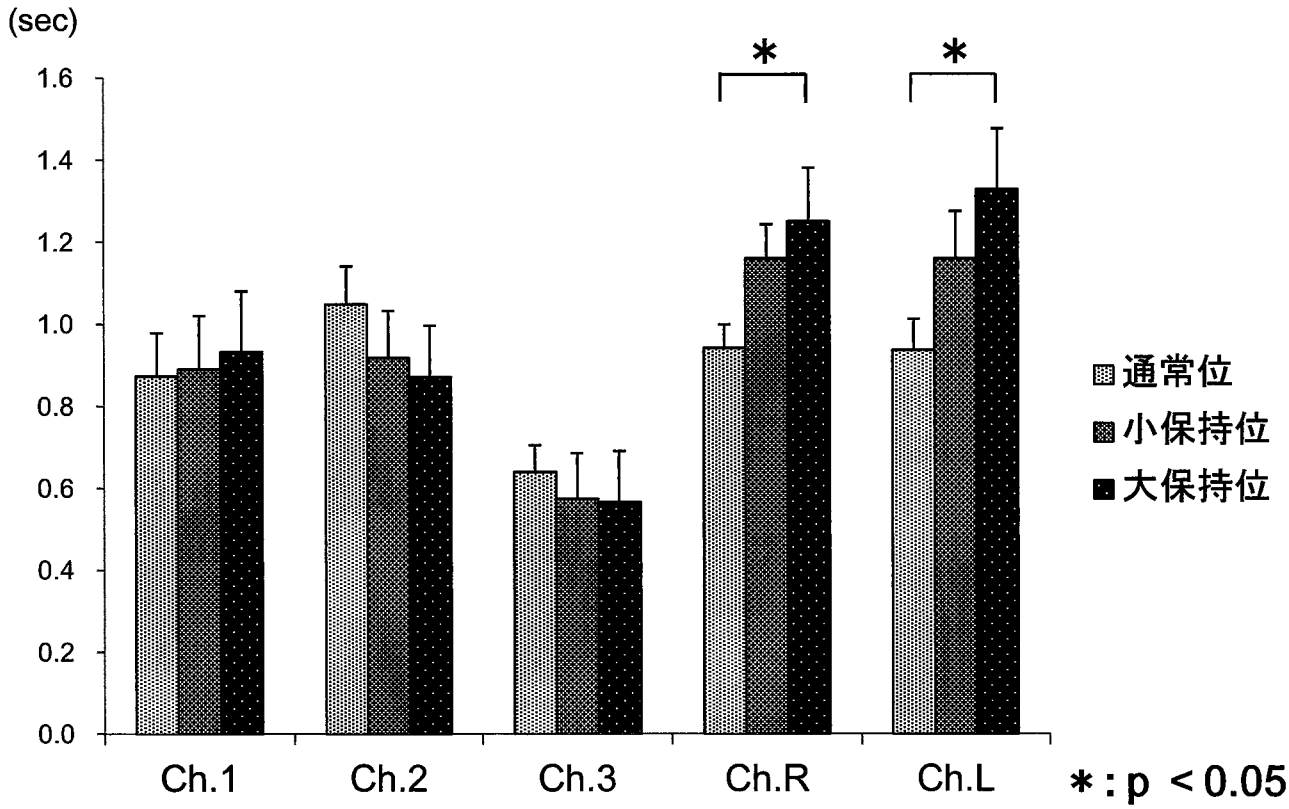

図9　測定タスク間における舌圧持続時間の比較
（バー：標準誤差）

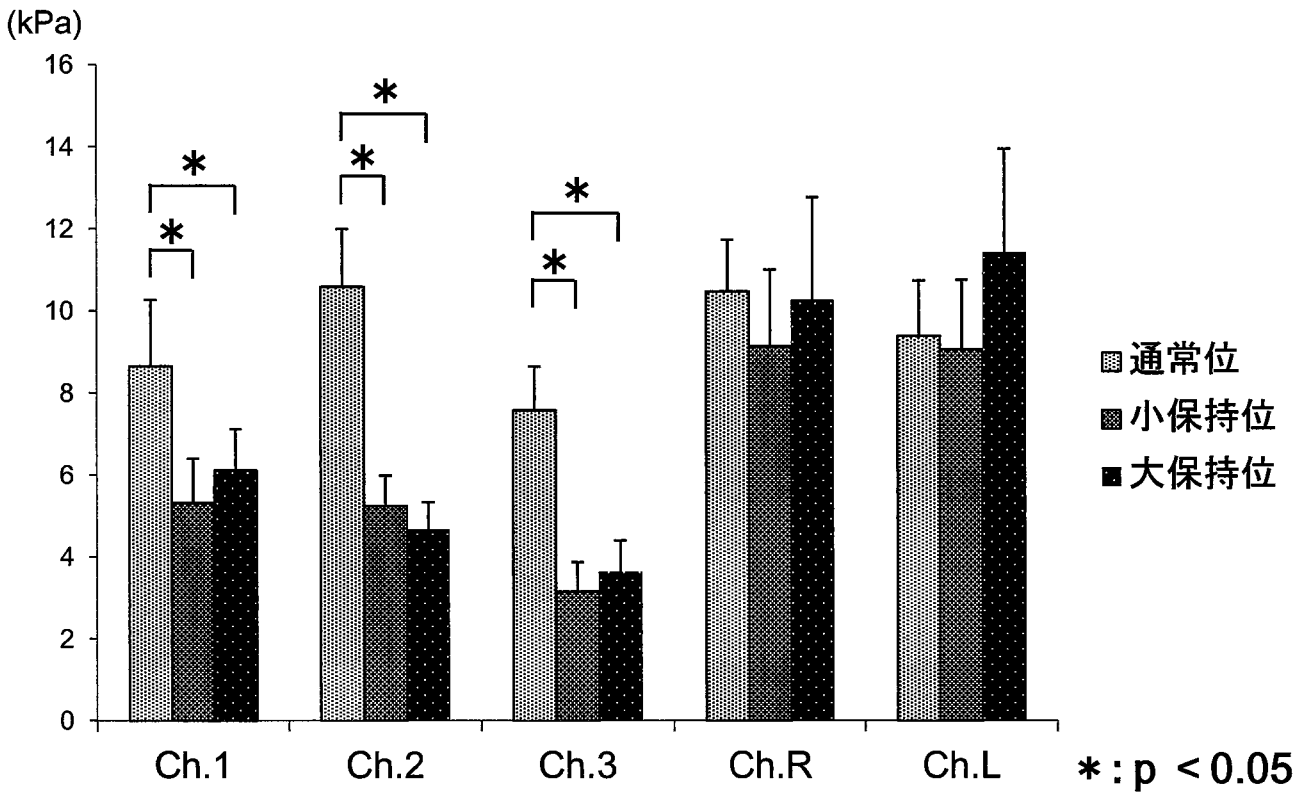

図10　測定タスク間における舌圧最大値の比較
（バー：標準誤差）

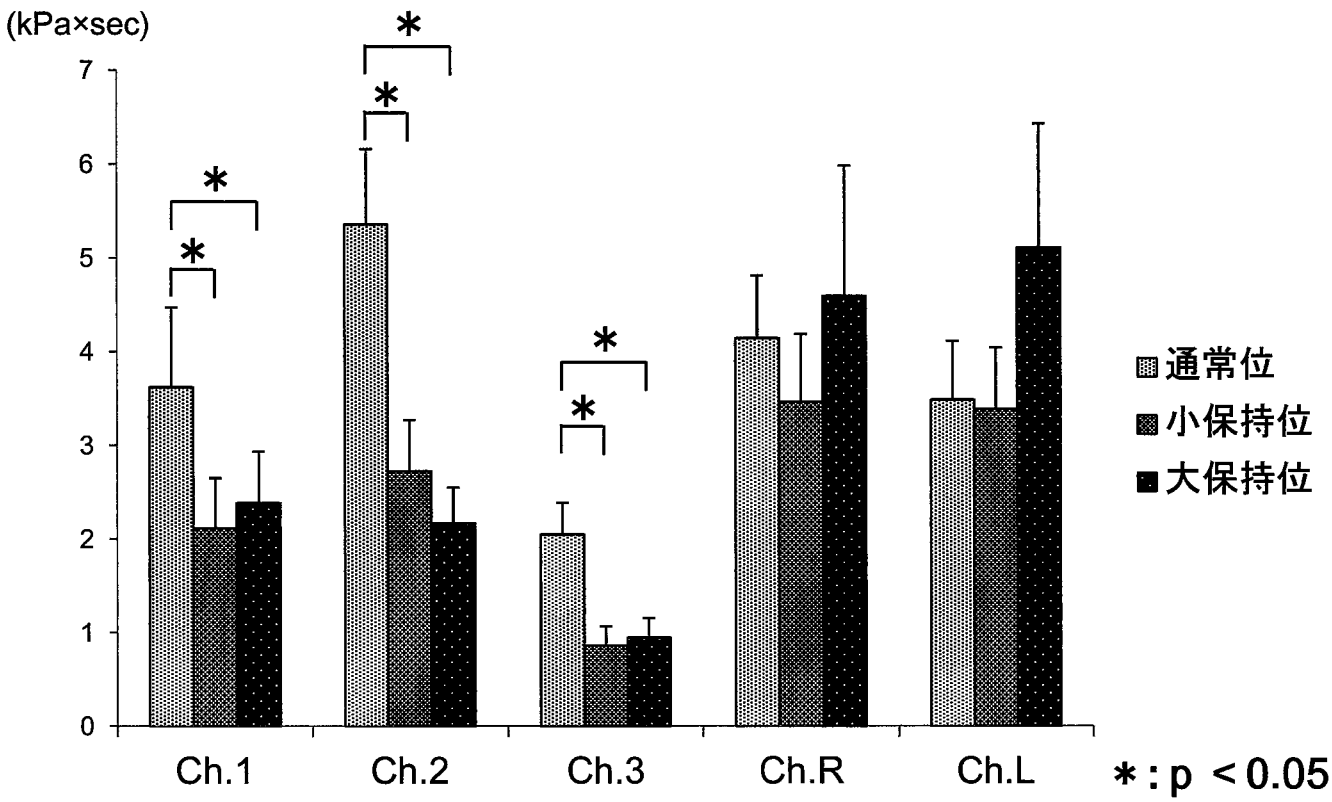

図11　測定タスク間における舌圧積分値の比較
（バー：標準誤差）

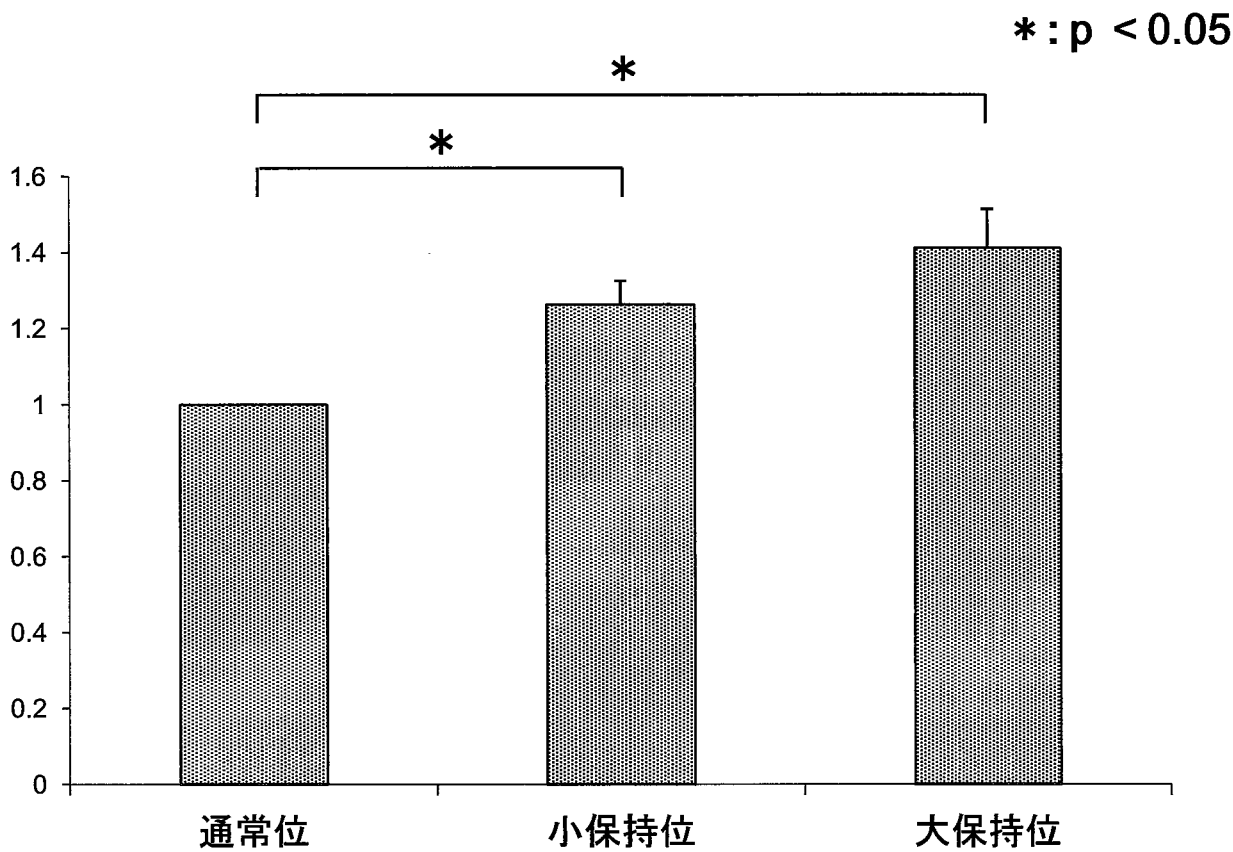

図12　測定タスク間における筋活動時間の比較
（バー：標準誤差）

被験者ごとに分析対象の通常位のデータの平均値を1とし，それに対する変化率として小保持位，大保持位の筋活動量の正規化を行ったのち，統計処理を行った．

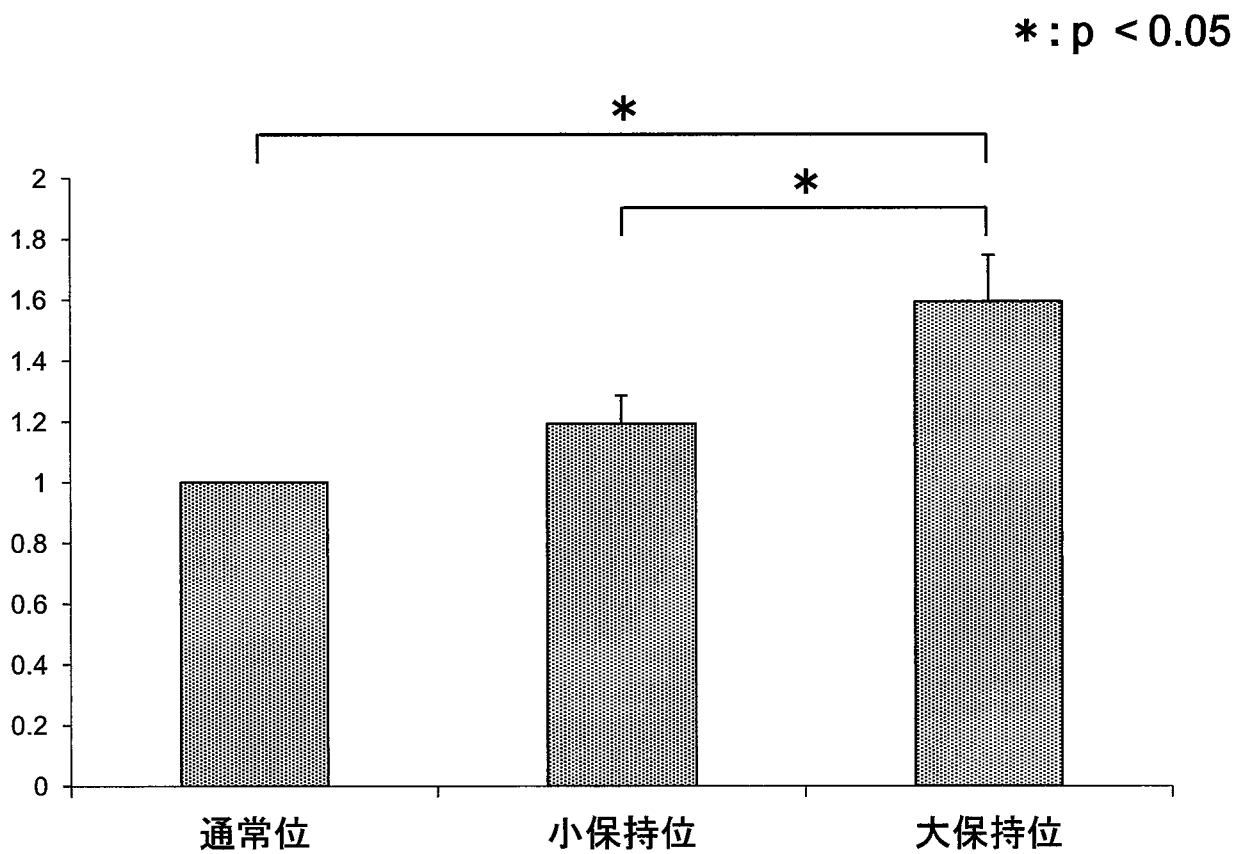

図13　測定タスク間における筋活動積分値の比較
（バー：標準誤差）

被験者ごとに分析対象の通常位のデータの平均値を1とし，それに対する変化率として小保持位，大保持位の筋活動量の正規化を行ったのち，統計処理を行った．

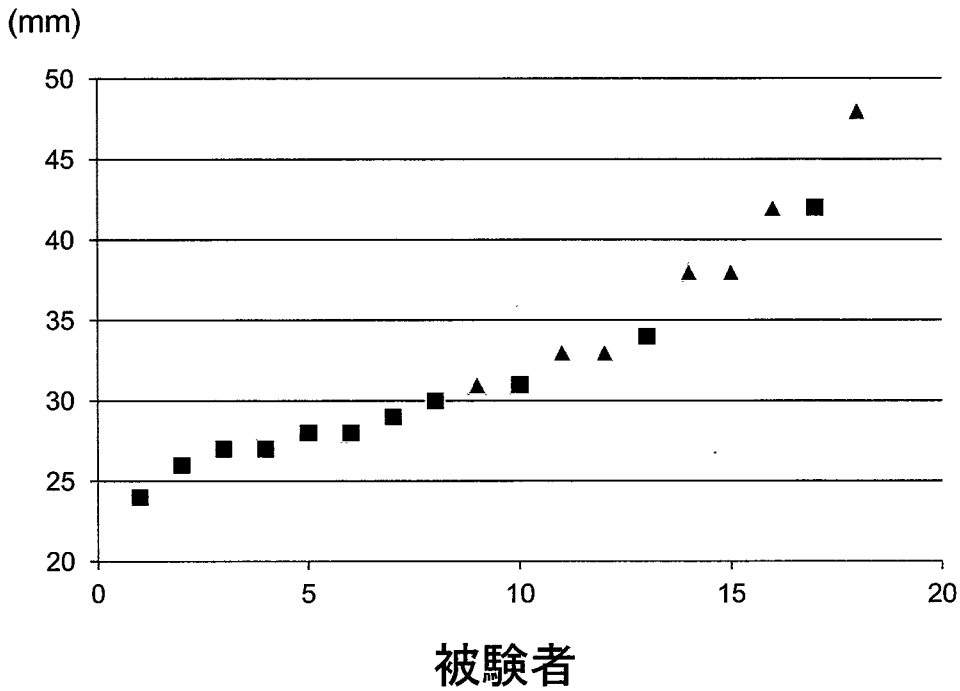

図14　本実験被験者の最大挺舌距離の分布

一例として，Ch.Lにおける小保持位での舌圧積分値が通常位と比較して上昇している場合は▲，減少している場合は■で表わす．最大挺舌距離の大きい被験者ほど上昇する傾向があることがわかる．

			相関係数	有意確率
Ch.R	小保持位	舌圧最大値	0.481	0.043*
		舌圧積分値	0.245	0.326
	大保持位	舌圧最大値	0.471	0.048*
		舌圧積分値	0.420	0.082

			相関係数	有意確率
Ch.L	小保持位	舌圧最大値	0.549	0.018*
		舌圧積分値	0.714	0.001**
	大保持位	舌圧最大値	0.564	0.015*
		舌圧積分値	0.677	0.002**

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

表1　最大挺舌距離と前舌保持嚥下時のCh.R, Lにおける舌圧最大値，舌圧積分値の変化率との相関分析

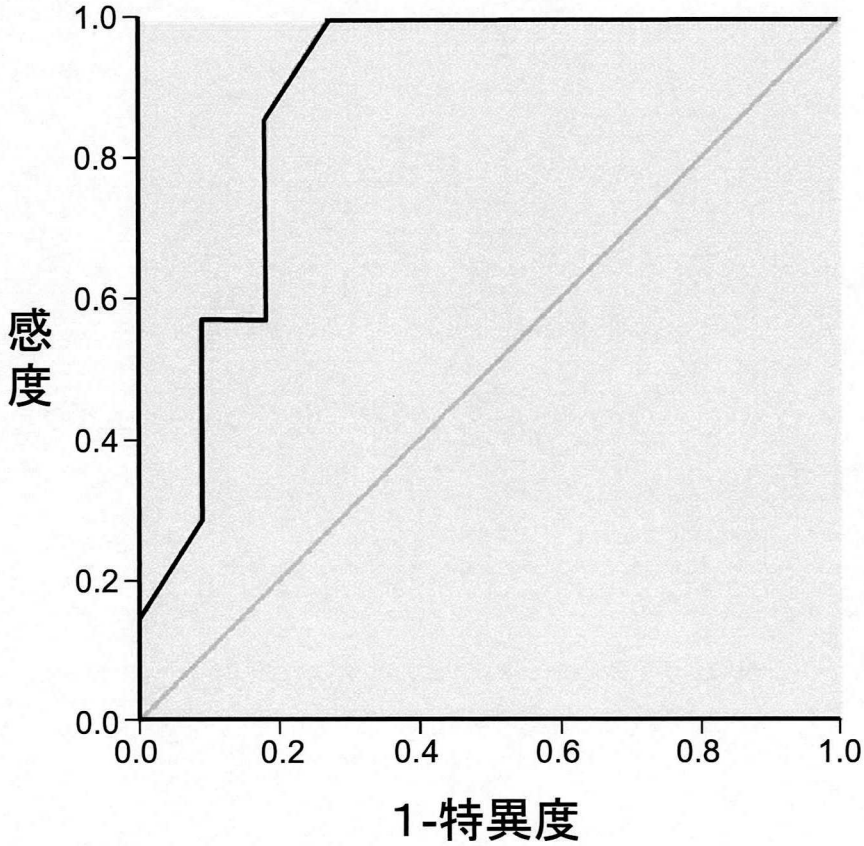

図15 ROC曲線

例として小保持位におけるCh.leftの舌圧積分値の場合のROC曲線を示す. Akobeng[24]はROC曲線下の面積(area under the curve: AUC)が大きい程予測精度が高くなることを報告しており, 評価項目ごとにそれぞれAUCを算出した. さらに, グラフ上の点(0, 1) から最も近いROC曲線上のプロットが感度・特異度双方が最大となるカットオフ値となることから[24], グラフ上の点(0, 1) から最も近いROC曲線上のプロットを評価項目ごとに算出した.

			AUC
Ch.R	小保持位	舌圧最大値	0.731
		舌圧積分値	0.656
	大保持位	舌圧最大値	0.778
		舌圧積分値	0.714

			AUC
Ch.L	小保持位	舌圧最大値	0.688
		舌圧積分値	0.883
	大保持位	舌圧最大値	0.851
		舌圧積分値	0.731

AUC 0.9−1.0 : High accuracy
AUC 0.7−0.9 : Moderate accuracy
AUC 0.5−0.7 : Low accuracy

表2　評価項目ごとのarea under the curve (AUC)

area under the curve（AUC）[24]とはROC曲線下の面積であり，予測精度の目安となる数値である．

	小保持位		大保持位	
最大挺舌距離	舌圧最大値	舌圧積分値	舌圧最大値	舌圧積分値
23.0	1.000	1.000	1.000	1.000
25.0	0.923	0.933	0.917	0.909
26.5	0.846	0.867	0.833	0.818
27.5	0.692	0.733	0.667	0.741
28.5	0.647	0.600	0.607	0.564
29.5	0.574	0.533	0.527	0.476
30.5	0.503	0.467	0.449	0.391
32.0	0.367	0.521	0.300	0.395
33.5	0.462	0.745	0.373	0.466
36.0	0.643	0.718	0.527	0.600
40.0	0.815	1.020	0.850	0.876
45.0	0.800	1.002	0.833	1.004
49.0	1.000	1.000	1.000	1.000

最短となる境界値

表3　Ch.Rの評価項目のROC曲線上における各境界値のプロットと最も高い感度・特異度を表わす点（0，1）との距離

グラフ上の点(0, 1) から最も近いROC曲線上のプロットが感度・特異度双方が最大となるカットオフ値となる[24].

	小保持位		大保持位	
最大挺舌距離	舌圧最大値	舌圧積分値	舌圧最大値	舌圧積分値
23.0	1.000	1.000	1.000	1.000
25.0	0.909	0.909	0.909	0.875
26.5	0.818	0.818	0.818	0.750
27.5	0.636	0.636	0.636	0.633
28.5	0.698	0.455	0.564	0.539
29.5	0.616	0.364	0.476	0.583
30.5	0.537	0.273	0.391	0.480
32.0	0.395	0.231	0.231	0.472
33.5	0.633	0.466	0.300	0.515
36.0	0.600	0.438	0.438	0.613
40.0	0.876	0.720	0.720	0.810
45.0	0.857	0.857	0.857	0.900
49.0	1.000	1.000	1.000	1.000

最短となる境界値

表4　Ch.Lの評価項目のROC曲線上における各境界値のプロットと最も高い感度・特異度を表わす点（0，1）との距離