The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	ゼリーの舌押し潰し嚥下時における舌圧発現と舌骨移動
Author(s)	村上, 和裕
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/61656
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

ゼリーの舌押し潰し嚥下時における
舌圧発現と舌骨移動

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

村上和裕

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

前田芳信　教授

緒言

近年，我が国では高齢化に伴い，肺炎による死亡件数が増加し，厚生労働省の 2011 年度の疾患別死亡の報告によると, 肺炎が死亡原因の第 3 位に浮上した[1]．肺炎による死亡者の中で 65 歳以上の高齢者が占める割合は約 95%と非常に高く，高齢者の肺炎の約 70%が摂食嚥下障害に起因する誤嚥性肺炎であると報告されている[2]．誤嚥性肺炎は生命予後を脅かすだけでなく， QOL(Quality of Life)を低下させるため，摂食嚥下障害に対する治療やリハビリテーションの発展は緊急性の高い課題である．

摂食嚥下リハビリテーションにおけるアプローチの一つに食形態の調整が挙げられる．現在，摂食嚥下障害患者が誤嚥することなく安全に食事を行うことを目的とした嚥下調整食が多く開発されており，患者個々の摂食嚥下能力に適した食形態が提供されることが望ましいとされている[3]．しかし，現状では摂食嚥下障害患者に提供される食形態は，介助者の経験，患者もしくは介助者の主観的な評価や試行錯誤により決定されることが多く，食事中のむせと誤嚥の有無は必ずしも一致していないために[4], 在宅介護や介護施設での安全な食事が困難な場合が認められる．そこで厚生労働省や農林水産省といった行政機関や日本摂食嚥下リハビリテーション学会，日本介護食品協議会などの学会や協議会はそれぞれ嚥下調整食に対する物性規格を設定し，摂食嚥下障害患者に安全な食事を提供できるように取り組んでいる[5-8]．

嚥下調整食の物性規格は生体計測によって得られたエビデンスではなく，機械を用いた食品の力学特性の評価（TPA: Texture Profile Analysis）と官能評価に基づいて分類されている．TPA は測定条件を規定することで再現性が高いと

いう利点があるが[9], ヒトが行う摂食嚥下運動を再現することは非常に困難であり，食品物性が摂食嚥下動態に及ぼす影響は十分には明らかにされていない．また，物性規格には歯や補綴装置による咀嚼だけでなく，咀嚼・食塊形成能力が低下した患者が行う「舌と口蓋による押し潰し」や「上下の歯槽堤による押し潰し」といった食塊形成の方法が表記されている．しかし，過去に食品物性との関わりが数多く報告されている歯や補綴装置による咀嚼・嚥下[10-14]と比較して，舌や歯槽堤による押し潰しとその後の嚥下動態を評価した研究は非常に少なく[15,16]，これらの食塊形成のメカニズムは未だ不明な点が多い．

Hori らはこれまで舌が口蓋を押し付ける際に生じる圧力，いわゆる舌圧が嚥下時の咽頭内圧や食道内圧よりも大きく，食塊を駆出する原動力であること[17]に注目し，硬口蓋に貼付する厚み 0.1mm のセンサシートを開発した[18]．このセンサを使用することで，嚥下動態に影響を与えることなく液体嚥下時における舌圧発現様相と年齢[19]や疾患[20-23]の影響，嚥下訓練法の効果[24-27]などを評価した．また，嚥下調整食の基材として頻用されるゼリーを被験試料として舌押し潰しから嚥下に至る一連の舌圧を測定することで，食品物性が舌押し潰し嚥下時の舌運動に与える影響を定量的に明らかにした[28,29]．このように，舌圧測定を用いることによって様々な物性のゼリーを舌で押し潰して嚥下する際の舌運動の変調を推察することはできるものの，舌押し潰し嚥下における舌以外の嚥下関連器官，特に咽喉頭部の挙動を評価することは不可能である．従って，咽喉頭部の挙動は他の手段により評価する必要がある．

嚥下時における喉頭運動の評価の一つに舌骨移動が挙げられる．舌骨は嚥下において気道防御及び食塊の食道への移送に大きく貢献する喉頭と筋により強く結びついていることが知られている[30,31]．嚥下時の喉頭運動と舌骨移動には

強い関連が報告されており[32]，嚥下時の舌骨移動はエックス線による明視化が可能な喉頭運動の指標である．これまで，ビデオ嚥下造影（VF）を用いた研究で摂取する食品の質的・量的因子により嚥下時における舌骨移動距離や舌骨移動速度が変化することが報告されている[33-37]．また，食品物性と舌骨移動との関連だけでなく，嚥下時の舌骨移動距離の減少は嚥下障害と関連することが報告されており[38-41]，舌骨移動は食品物性や嚥下障害が嚥下動態へ及ぼす影響を定量的に評価する上で有用な評価項目であると考えられる．さらに，舌と舌骨は舌骨上筋群を介して連結しているため[42]，舌圧発現様相や舌骨移動様相をそれぞれ単独で評価するのではなく，それらを同一時間軸上で評価することは舌による押し潰しとそれに続く嚥下の動態を包括的に解明する上で重要である．

そこで，本研究の目的は，舌圧と舌骨移動を同時測定することで，まず舌押し潰しとその後の嚥下における舌圧発現と舌骨移動の協調性を検証し，その後，ゼリーの初期物性が舌圧発現と舌骨移動に及ぼす影響を検証することとした．

方法

1．被験者

被験者は，本実験の趣旨を理解し同意の得られた，摂食嚥下障害ならびに神経筋疾患を有さず，欠損補綴処置や顎関節疾患，矯正治療の既往のない健常成人男性 16 名（平均年齢 30.9±3.0 歳）とした．なお，本研究は大阪大学大学院歯学研究科倫理委員会の承認（H21-E32）及び新潟大学歯学部倫理委員会の承認（28-R2-4-14）を受けたものである．

2．被験試料

ゼリー試料は, 2 種類のジェランガム(脱アシル型ジェランガム:ケルコゲル, ネイティブ型ジェランガム：ケルコゲル LT100）を主成分としたゼリーを使用した．脱アシル型ジェランガムと比較して，ネイティブ型ジェランガムは荷重を加えることで大きくのびる性質を持ち，この２種類のゲルの配合割合を変えることで破断荷重と破断歪の性質を変化させることが可能である．本研究では過去の研究で製作されたゼリー試料のうち [43,44]，農林水産省が定めたスマイルケア食 [6]及び日本介護食品協議会が定めたユニバーサルデザインフード [7]において,「弱い力で噛める（容易にかめる)」「歯ぐきでつぶせる」「舌でつぶせる」の区分に入る合計 4 種類のゼリー（Hard-Brittle，Hard-Deformable, Soft-Brittle, Soft-Deformable）を使用した（表 1）．なお，Hard-Brittle は「弱い力で噛める（容易にかめる)」，Hard-Deformable 及び Soft-Brittle は「歯ぐきでつぶせる」，Soft-Deformable は「舌でつぶせる」区分の物性に対応している．

ゼリーの初期物性については，テクスチャーアナライザー（Stable Micro System 社製 TA XT-plus)を使用し, 直径 20mm 高さ 10mm の試料を直径 50mm のアルミニウム製プローブにて 10mm/s の速さで圧縮した場合，破断荷重は Hard 群で 30N, Soft 群で 10N に設定し, 破断歪は Brittle 群で 45%, Deformable 群で 75%に設定した．つまり，Hard-Brittle と Hard-Deformable は同程度の破断荷重を有し, Hard-Brittle と Soft-Brittle は同程度の破断歪を呈するように調製した．また，これらのゼリーは 8.2w/v%のイオパミロン 370（バイエル薬品）にて造影性を付与し，グラニュー糖にて味を補正した．これらのゼリーは全て三栄源エフ・エフ・アイ社（大阪）より提供を受けたものである．

3．測定方法

１）舌圧測定

舌圧測定には Swallow Scan System（ニッタ，大阪，図 1A）を用いた．本システムで使用した舌圧センサシートは，口蓋の曲面に沿うように Y 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，口蓋正中前方部（Ch.1），同中央部（Ch.2），同後方部（Ch.3），左右後方周縁部（Chs.4,5）の計 5 箇所に感圧部位を有し（図 1B），各 Ch における舌圧の発現を時系列に沿って記録し，同期信号を AD ボード（Power Lab ML880，AD Instruments，Dunedin, New Zealand）に入力した．測定頻度は 100Hz とした．また，シートの厚さはわずか 0.1mm と極めて薄く，咬合接触を阻害することがないため，摂食嚥下時の舌運動を極力阻害することなく測定することが可能である[18]．

貼付位置は，切歯乳頭より 5mm 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，前方より 1/3 の位置に Ch.2，2/3 の位置に Ch.3，切歯乳頭と左右各ハミュラーノッチを結んだ線上で，前方より 2/3 の位置に Ch.4（右側）及び Ch.5（左側）を設定した．各被験者の口蓋の大きさに対応するために S，M，L の 3 種類のサイズを用意し，上記基準に最も適合する寸法のセンサシートを選択した．

舌圧測定の際にシート状義歯安定剤であるタッチコレクトⅡ（塩野義，大阪）にて舌圧センサシートを口蓋粘膜に貼付した．その後に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，キャリブレーションを行った．舌圧の測定の前に，導線部が最後方臼歯から口腔前庭を通って口角より導出し咬合に干渉しないこと，また舌圧センサシートが被験者の口蓋に確実に貼付され極力違和感のない状態であることを確認した．測定

が終了した後は，シートならびに安定剤を被験者の口腔内より除去した.

2）ビデオ嚥下造影（VF）

ビデオ嚥下造影にはエックス線透視装置 ARCADIS Avantic（Siemens, München, Germany）を用いた．被験者は検査用椅子に座り，フランクフルト平面が床面と平行となるように固定し，座位にて測定を行った．撮影前に直径 11mm の鉄球を被験者のオトガイ部に固定し，計測時の実長の基準とした．被験者の側面方向からエックス線を照射し, 得られた VF 映像を 30 フレーム/秒の画像として，AD ボードを通して記録用コンピュータへ変換・記録した．なお, 被験者 1 人当たりの嚥下造影による被曝線量の上限を 89.77mSv とし，撮影時間の上限を 120 秒と設定した.

Swallow Scan System 及び VF のデータはパーソナルコンピュータに同期入力し，データの分析を行った（図 2）.

3）測定タスク

被験者に，直径 20mm 高さ 16mm の円柱状のゼリー試料 5ml を一旦口腔底に含み，験者の指示により口腔内に保持したゼリーを歯で咀嚼せずに舌で押し潰し，自身が嚥下可能と判断したタイミングで嚥下するように指示した．用意した 4 種類のゼリーについて各 2 回ずつ測定を行い，順序はランダム化した.

4．分析

1）舌圧

舌圧の第 1 波形を舌押し潰し 1 回目, VF 画像より嚥下に相当する区間を嚥下

区間と定義した（図 3）．また，舌圧波形より舌押し潰し回数を記録した．そして，それぞれの区間の各測定部位（Ch）の舌圧発現から消失までの時間を舌圧持続時間，最も高いピークを舌圧最大値とした．さらに，各 Ch における舌圧のイベントとして舌押し潰し 1 回目と嚥下区間それぞれの onset（舌圧発現時），peak（舌圧最大時），offset（舌圧消失時）のタイミングを記録した．

2）舌骨移動

Logemann らの方法[45]に基づき，第 4 頸椎前下縁を原点，第 2 頸椎前下縁と第 4 頸椎前下縁を結ぶ線を Y 軸，Y 軸に垂直に交わり，原点を通る線を X 軸とする座標平面を設定した．舌骨前下縁を舌骨の測定点とし，2 次元運動解析ソフト DippMotionPro ver2.24d（ディテクト，東京）を使用して舌骨の軌跡をフレームごとにトレースして記録した（図 4）．トレースして得られた舌骨移動の軌跡を図 3 下段に示す．舌押し潰し 1 回目及び嚥下時における舌骨の急激な移動を舌骨移動の開始，舌骨の静止を終了とし，舌骨移動開始から終了までの舌骨移動の軌跡を舌骨移動距離，X 軸，Y 軸方向の舌骨の移動範囲をそれぞれ X 振幅，Y 振幅とした．また，舌骨移動開始から終了までの経過時間を舌骨移動時間，舌骨の前上方移動時における単位時間あたりの舌骨移動距離の最大値を舌骨最高移動速度とした．さらに舌骨移動開始と終了のイベントをそれぞれ onset 及び offset とし，舌骨移動の onset，舌骨最前上方位，offset のタイミングを記録した．なお，舌押し潰し 1 回目に関しては舌骨最前上方位の onset と offset のタイミングも記録した．

3）分析方法

分析Ⅰ．舌押し潰し嚥下時の舌圧発現と舌骨移動の協調性

舌押し潰し１回目及び嚥下区間における舌圧発現と舌骨移動の協調性について検討することを目的とした．舌押し潰し１回目と嚥下区間の舌骨移動の onset を時系列上のゼロ点として，舌圧の onset，peak，offset のタイミング及び舌骨移動の onset，舌骨最前上方位，offset のタイミングを時系列上で比較した．また，各舌圧 Ch 間の舌押し潰し１回目の舌圧最大値と舌圧持続時間の比較も行った．なお，各試料の評価項目は 2 回の試行の平均値を代表値とした．統計学的分析には繰り返しのある一元配置分散分析を行い，有意差が認められた場合には多重比較検定に Tukey の方法を用いた．有意水準は危険率 5%とした．

分析Ⅱ．ゼリーの初期物性が舌圧発現と舌骨移動に与える影響

ゼリーの初期物性が舌押し潰し回数，舌押し潰し１回目と嚥下区間における舌圧発現と舌骨移動に与える影響について検討することを目的として，舌押し潰し回数，ゼリー試料間の各 Ch の舌圧最大値，舌圧持続時間，舌骨最高移動速度，舌骨移動距離，X 振幅，Y 振幅，舌骨移動時間の比較を行った．なお，各試料の評価項目は 2 回の試行の平均値を代表値とした．統計学的分析では舌押し潰し回数には Friedman 検定を行い，有意差が認められた場合は Wilcoxon の符号付き順位検定を用い，多重比較検定に Bonferroni の方法を使用した．その他の項目には繰り返しのある一元配置分散分析を行い，有意差が認められた場合には多重比較検定に Tukey の方法を用いた．有意水準は危険率 5%とした．

結果

分析Ⅰ．舌押し潰し嚥下時の舌圧発現と舌骨移動の協調性

1）舌押し潰し１回目

各ゼリーの舌押し潰し１回目においては，舌圧の onset と peak は口蓋正中中央部（Ch.2）→口蓋正中前方部（Ch.1）→口蓋後方部（Chs.3,4,5）の順に発現した（図 5）．舌圧の offset の順序性には一定の傾向を認めなかった．また，口蓋正中中央部（Ch.2）の舌圧の onset は舌骨移動の onset とほぼ同じタイミングで生じていた．さらに，舌圧の peak は舌骨最前上方位の onset と offset の間で生じ，舌骨移動の offset は舌圧の各 Ch の offset の後に生じた．

舌押し潰し１回目における舌圧最大値では, Soft-Brittle と Hard-Brittle は口蓋正中中央部（Ch.2）が口蓋後方周縁部（Chs.4,5）より有意に高い値を示した（図 6A）．それに対し，Soft-Deformable，Hard-Deformable は口蓋正中中央部（Ch.2）が口蓋後方周縁部（Chs.4,5）と比べ，高い値を示す傾向を認めたが，有意差を認めなかった．また，舌圧持続時間は全てのゼリーについて，口蓋正中中央部（Ch.2）が口蓋後方部（Chs.3,4,5）と比べ有意に延長した（図 6B）．

2）嚥下区間

嚥下区間におけるイベントは，舌圧の onset が口蓋正中前方部（Ch.1）→口蓋正中中央部及び口蓋後方周縁部（Chs. 2,4,5）→口蓋正中後方部（Ch.3）の順に発現した（図 7）．また，口蓋正中前方部（Ch.1）の onset と舌骨移動の onset は同時期に生じ，舌骨移動の offset は舌圧の各 Ch の offset の後に生じた．さらに舌圧の各 Ch の peak は舌骨が最前上方位に到達する前に生じる傾向にあった．

分析Ⅱ．ゼリーの初期物性が舌圧発現と舌骨移動に与える影響

1）舌押し潰し回数

ゼリーの破断荷重の増加により舌押し潰し回数が増加し，有意な差を認めた（図 8）．一方，破断歪の増加に対しては，舌押し潰し回数に有意差を認めなかった．

2）舌押し潰し 1 回目

ゼリーの破断荷重の増加及び破断歪の減少，つまり Soft 群よりも Hard 群，Deformable 群よりも Brittle 群の方が舌押し潰し時における各 Ch の舌圧最大値が有意に高い値を示した（図 9A）．また舌圧持続時間は破断荷重の増加，つまり Soft 群よりも Hard 群の方が延長する傾向を示し，Chs.3,4 で一部有意差を認めた（図 9B）．舌骨移動様相については，舌骨最高移動速度はゼリーの初期物性の違いによる差の傾向を認めなかったが（図 10A），ゼリーの破断荷重の増加により舌骨移動距離が増加し（図 10B），舌骨移動時間が延長する傾向を示した（図 10C）．特に舌骨移動距離における Y 振幅はゼリーの破断荷重の増加により有意に高い値を示し，X 振幅は Hard-Brittle が他のゼリーよりも有意に高い値を示した．

3）嚥下区間

ゼリーの破断荷重の増加及び破断歪の減少により嚥下区間における各 Ch の舌圧最大値は高い値を示したが，Chs.4,5 の一部ゼリー間を除いて有意差を認めなかった（図 11A）．一方，各 Ch の舌圧持続時間はゼリーの物性の違いによる

有意差を認めなかった（図 11B）．舌骨最高移動速度及び舌骨移動距離はゼリーの破断荷重の増加及び破断歪の減少により増加する傾向を示した（図 12A,B）．特に舌骨移動距離においては，X 振幅，Y 振幅共にゼリーの破断荷重の増加及び破断歪の減少により高い値を示す傾向を認め，X 振幅において有意差を認めた．また，Hard-Brittle は他のゼリーと比べ舌骨最高移動速度と舌骨総移動距離において有意に高い値を示した．しかし，舌骨移動時間は，ゼリーの物性の違いで有意差を示さなかった（図 12C）．

考察

本研究はゼリーの舌押し潰しとその後の嚥下における舌運動の指標である舌圧発現及び喉頭運動の指標である舌骨移動を同時記録し，定量的に評価することにより舌押し潰し嚥下の動態を初めて明らかにしたものである．

1．実験方法について

1）使用したゲル試料，実験タスクについて

ヒトは通常摂食行動において食物を歯により咬断し，唾液と混和させ，食塊形成を行う．ゼリーのような柔らかい食品物性の食物では，舌と口蓋で食物を押し潰すことで破砕，食塊形成を行う傾向にあることが知られている [15,16]．摂取した食物の物性や大きさにより歯による咀嚼か舌と口蓋による押し潰しを行うかの閾値が存在し [46,47]，Ishihara らは本研究で使用したゼリーを使用して自由摂取を行ったところ，ゼリーの初期破断荷重の増加により舌押し潰しによる破砕を行う頻度が低下し，歯による咀嚼の頻度が上昇することを報告した [43,44]．

この報告では，Soft-Brittle，Soft-Deformable では健常者が舌押し潰しによる破砕を選択する割合が 100%で，Hard-Brittle，Hard-Deformable では約 30%であった．特に Hard-Brittle は健常者にとって舌で押し潰す際に努力を要する食品物性であったが，本研究で使用した 4 種類のゼリーは意識すれば歯で咀嚼することなく舌で押し潰すことができる範囲内であったと考えられる．咀嚼・嚥下機能低下を有する割合の高い要介護高齢者は舌圧が低下した者が多く [48]，柔らかい食品であっても舌による押し潰しに相当の努力が必要であると予想される．従って，本研究では健常者において舌で簡単に押し潰せる物性から舌押し潰しに努力を要する物性まで幅広い食品物性のゼリーを用いることで，舌機能が低下した摂食嚥下障害患者の摂食嚥下動態をシミュレートできると考えた．

これまでの VF を使用した食品物性の研究における実験タスクの多くは食塊形成を伴わない水やペースト食の“丸呑み嚥下”であり [34-37]，食塊形成を伴う嚥下動態に関するエビデンスは不足している．嚥下障害患者に対する食形態の調整は，患者の嚥下障害の症状に応じて丸呑み嚥下から食塊形成を伴う嚥下へとステップアップしていくため [49]，食品物性と食塊形成及び食塊形成後の嚥下動態の関係を評価することは重要である．舌による押し潰しはゼリーやムース状の半固形食品の主たる食塊形成方法であり，それ以外の食品においても歯や補綴装置による咀嚼が困難な場合に代償的な食塊形成方法として用いられるが，そのメカニズムは未だ不明な点が多い．さらに，「嚥下の指示を出すまで咀嚼し続ける」といったように指示を与えて嚥下させる場合と指示を与えず自由に咀嚼嚥下させる場合では，食塊形成及び嚥下動態が異なることが過去に報告されており [50]，日常的に行われている生理的な食塊形成と嚥下を評価するには，指示の無い自由嚥下の評価が望ましいと考えられる．従って本研究では，舌押し

潰し回数と嚥下のタイミングに関して指示を与えない実験タスクとした.

本研究の場合，1 試行に伴う VF による被曝時間は約 10～15 秒で，被曝時間の上限が 120 秒であるため，試行数は各試料 2 回ずつを限度とした．予備実験において女性の舌押し潰し嚥下にかかる時間が男性と比べ非常に長いため，本研究では男性のみを被験者とした.

予備実験において，舌押し潰し 1 回目における舌と咽喉頭はゼリーの破砕に働くことが多く, 2 回目以降の舌と咽喉頭の動きはゼリーの押し潰しだけでなく食塊をまとめて咽頭方向へ移送する動きも行っているため，厳密に舌押し潰しと食塊移送に区別することが困難であると考えられた．そこで舌押し潰しにおける舌と咽喉頭の挙動の評価には舌押し潰し 1 回目の舌圧発現と舌骨移動を，舌押し潰し全体の評価は舌押し潰し回数を用いた.

2）舌圧測定及びビデオ嚥下造影（VF）について

舌は食塊形成を行うだけでなく，嚥下時には食塊を口腔から咽頭へと移送する原動力かつ嚥下反射のアンカー機能を担う [17,51]．これまでビデオ嚥下造影 [52] や核磁気共鳴画像法 [53]，超音波診断装置 [42] を用いて舌運動の画像解析が試みられたが，これらの手法は舌運動を定性的に評価することにとどまり，大型で特殊な装置を使用する必要があるなどの欠点があった．これに対して Iowa Oral Performance Instrument(IOPI) [54] や Handy Probe [55] などの小型のバルーンを口蓋と舌の間に挿入し押し潰す舌圧測定機器が開発されたことで，簡便かつ安価に舌運動を定量的に評価することが可能となった．しかし，これらの装置は口腔内にバルーンを保持する必要があることや上下歯列の咬合を妨げることなど，舌圧測定方法に制限があり，生理的な食塊形成や嚥下を評価しているとは言い難い. その点において Hori らが開発した舌圧測定システム [18] はセンサシー

トの厚みがわずか 0.1mm と非常に薄く，口蓋に直接貼付でき，センサシートは嚥下時における咽喉頭の動きへ影響がないことが報告されている [56]．また，センサシートの導線は臼歯部後方より外部へ導出しているので，嚥下時における咬合接触状態を妨げない．従って，本システムは食品の摂取から嚥下に至るまでの一連の舌圧発現の定量的評価に非常に適していると考えられた．

VF を使用した丸呑み嚥下に関する食品研究では，これまで食塊の粘稠度や量が増加すると嚥下時の舌骨最高移動速度，舌骨移動距離が増加するが [34-37]，食塊の物性や量が変化しても嚥下時の舌骨移動時間が変化しないことが報告されている [57]．しかし，食塊を舌で押し潰す動作における舌骨移動を VF 画像上で評価した研究は行われていない．筋電図を使用した研究でゼリーの初期物性の違いで舌押し潰し時の舌骨上筋群の筋活動量が異なると報告されており [58]，舌押し潰し時の舌骨移動を評価することで舌と咽喉頭が一体となった舌押し潰しのメカニズムがより詳細に明らかになる可能性がある．従って，舌押し潰し嚥下時における舌骨最高移動速度，舌骨移動距離及び舌骨移動時間は食品の初期物性が舌押し潰しならびに嚥下時の咽喉頭の運動に及ぼす影響を評価する上で妥当な評価項目であると考えた．

2．実験結果について

<u>分析 I　舌押し潰し嚥下時の舌圧発現と舌骨移動の協調性</u>

Hori らは舌押し潰し 1 回目において口蓋正中中央部（Ch.2）の舌圧が最初に発現すること，ゼリーの濃度に最も影響を受けることより，Ch.2 における舌と口蓋の接触は食品物性の認知に関して重要な役割を担っていると報告している [29]．本研究においても，同様に舌押し潰し 1 回目では Ch.2 の舌圧が最初に発現

し，口蓋正中前方部及び中央部（Chs.1,2）の舌圧は口蓋後方周縁部と比べ高い値を示したことから，舌は主に口蓋正中中央部にゼリー試料を押し付けることで，ゼリーの破砕を行なっていることが示唆された．すなわち，口蓋正中中央部は舌押し潰しの起点かつ最大の力点として舌押し潰し動作において重要な部位であると考えられる．

舌運動には形状を変化させる内舌筋や舌の位置を変化させる外舌筋だけでなく，舌骨と舌の挙上や下顎の下制を担う舌骨上筋群が関与する[42]．これまで舌の挙上運動や舌の口蓋への接触時に舌骨上筋群が活動することが報告されているが[59,60]，舌押し潰し時の舌運動と舌骨移動の協調性は不明であった．本研究の結果より，口蓋への舌の押し付けと舌骨移動が同時期に開始し，舌圧消失後に舌骨移動が終了すること，各 Ch の舌圧が最大値をとるタイミングは舌骨が最前上方位に位置する時，つまり舌骨が最も口蓋に接近している時期に生じることが確認された．また，舌押し潰し 1 回目は嚥下時と比べ Y 振幅が X 振幅よりも大きい傾向を示し，舌骨が主に上方へ移動していた．したがって舌押し潰しは，内舌筋の活動だけで行われているものではなく，舌骨上筋群の筋活動も同時に関与し，舌骨を上方へ挙上して行われていることが推測された．すなわち，舌押し潰し 1 回目では舌圧発現と舌骨移動に時間的・空間的協調性があることが示唆された．

Hori らは，本研究で用いたセンサシートを使用して液体嚥下及びゼリーの舌押し潰し後の嚥下時に舌圧が口蓋前方から後方へ発現していくことを報告している[29,56]．本研究においても，舌押し潰し後の嚥下時における舌の口蓋への接触は口蓋正中前方部（Ch.1）から始まり，口蓋正中中央部及び口蓋後方周縁部（Chs. 2,4,5），口蓋正中後方部（Ch.3）の順に発現する傾向を示した．また，

嚥下区間の舌圧発現の起始である口蓋正中前方部の onset と舌骨移動の onset は同時に生じる傾向があり，舌骨移動の offset は各舌圧の offset の後に生じていた．Hori らは，液体嚥下時の舌骨移動の onset は舌圧の onset に先行し，舌圧の offset は舌骨移動の offset に先行することを報告しており [56]，本研究の結果もこうした舌圧発現と舌骨移動の時間的協調性に整合するものであった．加えて本研究では，嚥下区間の各 Ch の舌圧の peak は舌骨の前上方移動中に生じる傾向を認めた．これまでに嚥下時の舌骨の前上方方向への移動時では舌骨移動速度が最速となるだけでなく [62]，舌骨上筋群の筋活動量が最大となり [63]，喉頭蓋の翻転と食道入口部の開大が起きることが報告されている [31]．また，舌骨は舌骨上筋群によって舌と連結されていることから [42]，舌と舌骨が時間的・空間的に協調して運動しているだけでなく，そこに舌圧発現というバイオメカニクスが連動することで口腔から食道へ誤嚥することなくスムーズに移送していることが示された．

分析Ⅱ　ゼリーの初期物性が舌圧発現と舌骨移動に与える影響

これまでの食品研究において異なる物性の食品を摂取し，食塊形成の方法 [12,15,16,28,46,47]，食塊形成時間 [11]や咀嚼筋活動量 [64]等を変化させることで食品を嚥下に最適な食塊物性へ変化させることが報告されている [65]．Yokoyama ら [28] と Hori ら [29]は，舌押し潰し嚥下を評価した研究において，ゼリーの硬さの増加に対応して舌押し潰し時の舌圧最大値，舌圧持続時間，舌押し潰し回数が増加すると報告した．しかしその一方で，これまで使用されてきた TPA で得られる「硬さ」，「付着性」，「凝集性」などの食品物性は，液体やゼリーなどの半固形物では必ずしも口腔感覚や口腔内での食品の動態に対応している訳ではないこ

とが報告されており[66]，現在はより実際の摂取状況に即した食品物性基準が求められている．本研究では，食品の破砕試験時におけるパラメータの一つであるである破断荷重と破断歪に注目し，これらを調整した試料を使用したところ，押し潰し時とそれに続く嚥下時の舌圧発現と舌骨移動は，破断荷重の影響を大きく受けるだけでなく，破断歪の影響も一部受けることが明らかとなった．

舌押し潰し 1 回目では破断荷重の増加及び破断歪の減少により舌圧最大値が有意に増加した．また，破断荷重の増加により舌圧持続時間が増加する傾向を示した．ゼリーごとに各 Ch の舌圧発現を比較したところ，Brittle 群は口蓋後方部よりも口蓋正中前方部及び中央部の方が大きく発現し，有意差を認めた一方，Deformable 群では部位間に有意差を認めなかった．この理由としては Deformable 群の方がゼリーの破砕時に試料の変形が大きく，伸びる性質を持つために広い面積で破砕する必要があったからであると考えられた．

また，ゼリーの初期物性の違いにより，ゼリーの舌押し潰し 1 回目における舌骨移動距離に差を認めた．特にゼリーの破断荷重の増加に対して舌骨の上方への移動範囲が増加する傾向を示した．Ishihara らは，破砕に大きなエネルギーを必要とするゼリーほど舌押し潰し時に舌骨上筋群の活動量が増加することを報告しており[58]，破断荷重の増加に対応した舌骨上筋群の活動量の増加に伴い，舌骨の上方への移動量が増加したと考えられる．一方，舌押し潰し 1 回目の舌骨最高移動速度はゼリーの初期物性の違いによる一定の変化を示さなかった．Hori らの研究においても，舌押し潰しの peak までの舌圧波形の傾きはゼリーの種類に問わず一定であったことから[29]，舌がゼリーを押し潰す速度に差がなかった可能性が考えられた．その理由として，ゼリー試料が水分を多く含み口腔内で滑りやすいため，舌はゼリーを瞬発的に押し潰すのではなく，滑ら

ないように注意しながら押し潰しているためではないかと推察される．

舌押し潰し後の嚥下時においては，ゼリーの初期物性の違いにより舌圧最大値，舌骨最高移動速度，舌骨移動距離に変化を認めたが，舌圧持続時間や舌骨移動時間といった時間的協調性に変化を認めなかった．特に Hard-Brittle の嚥下においては，他のゼリーよりも舌骨最高移動速度及び舌骨移動距離が高い値を示した．過去の液体嚥下に関する研究においても，液体の粘稠度が増加することで舌骨最高移動速度と舌骨移動距離は増加するが [34,35]，舌骨移動時間は変化しないと報告されている [57]．また，努力嚥下時には通常嚥下時よりも舌骨移動速度と舌骨移動距離が大きくなる一方で [67]，異なる物性の固形物の咀嚼嚥下に関する研究では，試料間で嚥下時の舌骨移動距離に差がないことが報告されている [33]．これらの先行研究と本研究の結果を比較検討すると，代償的な食塊形成の方法の一つである舌押し潰し嚥下においては，ゼリーの初期物性の違いに対して舌押し潰し回数，舌押し潰し時の舌圧発現と舌骨移動を変調させながら食品破砕・食塊形成を行なったにもかかわらず，ゼリーの初期物性の影響が嚥下運動にまで及び，嚥下時における負荷が高まる可能性が示唆される．

もちろん上記の推論は，ゼリーの初期物性だけでなく摂取する側の口腔・咽頭機能によって影響を受けるところが大きい．本研究では健常成人男性に対し「弱い力で噛める」から「舌でつぶせる」まで幅広い物性のゼリーを使用し，上記の知見を得るに至った．しかし，ゼリーを基材とした嚥下調整食による食形態の調整を必要とする摂食嚥下障害患者は健常高齢者と比較して舌の筋力が低下することが報告されており [68]，同じ「舌でつぶせる」区分に入るゼリーであっても食品物性のわずかな違いにより舌押し潰しが不十分となり嚥下動態が変化する可能性がある．従って，摂食嚥下障害患者の舌押し潰し能力を評価す

ることは適切な嚥下調整食の開発や提供を行う上で非常に重要であり，舌圧は食塊形成能力の指標の一つとして有用なものであると考えられる．

3．臨床への展望について

これまでの我々の研究では舌圧センサシートを使用して嚥下調整食に頻用されるゼリーの舌押し潰しとその後の嚥下における舌圧発現の定量的評価を行なってきたが，本研究によりこれまで我々が行なってきた舌圧発現の定量評価では観察できなかった咽喉頭部の動態を定量的に評価することができた．現在の摂食嚥下リハビリテーションの臨床現場では，VF やビデオ内視鏡検査（VE）を用いて試行錯誤により患者それぞれの摂食嚥下能力に見合った食品物性を模索している．本研究を応用することで，舌圧測定から患者それぞれの舌押し潰し能力に合う物性の嚥下調整食を提供する定量的な基準が得られると考えられる．例えば最大舌押し付け時の舌圧が低い摂食嚥下障害患者には相応の柔らかいゼリーを提供し，舌押し潰しを要する物性から歯による咀嚼を要する物性へと食形態をステップアップしていくために意図的に舌押し潰しの負荷が増加するように，提供するゼリーの物性を調整することが可能となると考えられる．摂食嚥下障害患者に摂食嚥下能力に見合った嚥下調整食を提供する基準を確立するためには，本研究で得られた結果を舌押し潰し嚥下の正常像とし，将来的に高齢者や摂食嚥下障害患者における同様の検証が必要であると考えられる．

総括ならびに結論

本研究は，物性の異なる 4 種類のゼリー試料の舌押し潰しとその後の嚥下を

舌圧測定と嚥下造影により計測し，舌圧発現と舌骨移動の協調性，ならびにゼリーの初期物性（破断荷重，破断歪）の違いが舌押し潰し回数と舌押し潰し１回目と嚥下時の舌圧発現様相及び舌骨移動に及ぼす影響について検討した．その結果，以下の知見が得られた．

1. 舌押し潰し１回目では，舌圧が口蓋正中中央部，口蓋正中前方部，口蓋後方部の順に発現し，口蓋正中中央部の舌圧が最大であり，舌押し潰しを担う最大の力点であることが示唆された．また，舌押し潰し時の舌圧発現と舌骨移動には時間的・空間的協調性があることが示唆された．
2. 嚥下区間では，舌圧が口蓋正中前方部，口蓋正中中央部及び後方周縁部，口蓋正中後方部の順に発現し，舌圧発現と舌骨移動が時間的・空間的に協調することで，食塊を誤嚥することなく食道へ移送することが推測された．
3. ゼリーの初期物性の違いに対し，舌押し潰し１回目の舌圧発現及び舌骨移動を調節してゼリーを破砕し，舌押し潰し全体では押し潰し回数を調節して食塊形成を行なっていることが示唆された．
4. ゼリーの初期物性の違いに対し，嚥下時の舌圧最大値，舌骨最高移動速度，舌骨移動距離が変化したことから，舌押し潰しの調節を行ったにもかかわらず，嚥下ではゼリーの初期物性の影響が依然存在することが示唆された．

以上の結果より，舌押し潰し嚥下において舌圧発現と舌骨移動には時間的・空間的協調性を認めるとともに，ゼリーの初期物性が嚥下口腔咽頭期に影響を及ぼすことが定量的に示された．本研究の結果は，今後摂食嚥下障害患者に対する嚥下調整食の開発や提供を確立する上で有益な情報を与えるものと考えられる．

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有床義歯補綴学・高齢者歯科学分野　前田芳信教授に謹んで感謝の意を表します。

また，本研究を遂行するにあたり，御指導ならびに御助言を頂き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　小野高裕教授ならびに堀一浩准教授に心から感謝致します。

さらに本研究に際し，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. 厚生労働省. 平成 23 年度人口動態統計月報年計. 2011.
2. Teramoto S, Fukuchi Y, Sasaki H, Sato K, Sekizawa K, Matsuse T. High incidence of aspiration pneumonia in community- and hospital-acquired pneumonia in hospitalized patients. *J Am Geriatr Soc.* 2008;**56**:577–579.
3. 田邉晶子, 玄景華, 安田順一, 岩田浩司, 大山吉徳, 川橋ノゾミ, 金澤篤. 特別養護老人ホームにおける介護保険の要介護状態区分による口腔内状況と口腔ケアの問題点について. 老年歯科学. 2000;**14**:327-336.
4. 才藤 栄一, 木村 彰男, 矢守 茂, 森 ひろみ, 出江 紳一, 千野 直一. 嚥下障害のリハビリテーションにおける videofluorography の応用. リハビリテーション医学. 1987;**23**:121-124.
5. 消費者庁. 特別用途食品の表示の許可等について. 平成 28 年 3 月 31 日消食表第 221 号. 2016.
6. 農林水産省食料産業局食品製造課. 新しい介護食品（スマイルケア食）の取り組みについて. 2016.
7. 日本介護食品協議会. ユニバーサルデザインフード自主規格第 2 版. 2011.
8. 藤谷順子,宇山理紗,大越ひろ, 栢下淳,小城明子,高橋浩二,前田広士,藤島一郎,植田耕一郎. 日本摂食・嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類 2013. 日摂食嚥下リハ会誌. 2013;**17**:255-267.
9. Tanaka M. General Foods Texturometer application to food texture research in Japan. *J Texture Stud.* 1975;**6**:101-116.
10. Kohyama K, Hatakeyama E, Dan H, Sasaki T. Effect of sample thickness

on bite force for raw carrots and fish gels. *J Texture Stud.* 2005;**36**: 157-172.

11. Van Der Bilt A, Olthoff LW, Bosman F, Oosterhaven SP. The effect of missing postcanine teeth on chewing performance in man. *Arch Oral Biol.* 1993;**38**:423-429.
12. Hiiemae K, Heath MR, Heath G, Kazazoglu E, Murray J, Sapper D, Hamblett K. Natural bites, food consistency and feeding behaviour in man. *Arch Oral Biol.* 1996;**41**:175-189.
13. Matsuo K, Kawase S, Wakimoto N, Iwatani K, Masuda Y, Ogasawara T. Effect of viscosity on food transport and swallow initiation during eating of two-phase food in normal young adults: a pilot study. *Dysphagia.* 2013;**28**:63-68.
14. Takada K, Yashiro K, Sorihashi Y, Morimoto T, Sakuda M. Tongue, jaw, and lip muscle activity and jaw movement during experimental chewing efforts in man. *J Dent Res.* 1996;**75**:1598-1606.
15. Takahashi J, Nakazawa F. Effects of dimensions of agar and gelatin gels on palatal pressure patterns. *J Texture Stud.* 1992;**23**:139-152.
16. 盛田明子, 中沢文子. ジェランゼリーの口蓋圧計測による咀嚼と嚥下. 日本家政学会誌. 2005;**56**:425-434.
17. Kahrilas PJ, Lin S, Logemann JA, Ergun GA, Facchini F. Deglutitive tongue action: volume accommodation and bolus propulsion. *Gastroenterology.* 1993;104:152-162.
18. Hori K, Ono T, Tamine K, Kondoh J, Hamanaka S, Maeda Y, Dong J,

Hatsuda M. A newly developed sensor sheet for measuring tongue pressure in swallowing. *J Prosthodont Res.* 2009;**53**:28-32.

19. 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**: 1097-1101.
20. Konaka K, Kondo J, Hirota N, Tamine K, Hori K, Ono T, Maeda Y, Sakoda S, Naritomi H. Relationship between tongue pressure production and dysphagia in stroke patients. *Eur Neurol.* 2010;**64**:101-107.
21. 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 acute stroke patients. *Stroke.* 2010;**41**:2982-2984.
22. Hamanaka-Kondoh S, Kondoh J, Tamine K, Hori K, Fujiwara S, Maeda Y, Matsumura T, Yasui K, Fujimura H, Sakoda S, Ono T. Tongue pressure during swallowing is decreased in patients with Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscul Disord.* 2014;**24**:474-481.
23. Hashimoto M, Igari K, Hanawa S, Ito A, Takahashi A, Ishida N, Koyama S, Ono T, Sasaki K. Tongue pressure during swallowing in adults with Down Syndrome and its relationship with palatal morphology. *Dysphagia.* 2014;**29**:509-518.
24. Fukuoka T, Ono T, Hori K, Tamine K, Nozaki S, Shimada K, Yamamoto N, Fukuda Y, Domen K. Effect of effortful swallow and Mendelsohn maneuver on tongue pressure production against hard palate. *Dysphagia.*

2013;**28**:539-547.

25. Fujiu-Kurachi M, Fujiwara S, Tamine K, Kondo J, Minagi Y, Maeda Y, Hori K, Ono T. Tongue pressure generation during tongue-hold swallows in young healthy adults measured with different tongue positions. *Dysphagia.* 2014;**29**:17-24.
26. Fujiwara S, Ono T, Minagi Y, Fujiu-Krachi M, Hori K, Maeda Y, Boroumand S, Nitschke I, Ursula V, Bohlender J. Effect of Supraglottic and Super-supraglottic swallows on Tongue Pressure Production against Hard Palate. *Dysphagia.* 2014;**29**:655-662.
27. 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**:238-245.
28. 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.
29. Hori K, Hayashi H, Yokoyama S, Ono T, Ishihara S, Magara J, Taniguchi H, Funami T, Maeda Y, Inoue M. Comparison of mechanical analysis and tongue pressure analyses during squeezing and swallowing of gel agents. *Food Hydrocolloids.* 2015;**44**:145-155.
30. Matsuo K, Palmer JB. Anatomy and physiology of feeding and swallowing: normal and abnormal. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2008; **19**:691-707.
31. Cook IJ, Dodds WJ, Dantas RO, Massey B, Kern MK, Lang IM, Brasseur

JG, Hogan WJ. Opening mechanisms of the human upper esophageal sphincter. *Am J Physiol.* 1989;**257**:G748-759.

32. Palmer JB, Tanaka E, Ensrud E. Motions of the posterior pharyngeal wall in human swallowing: a quantitative videofluorographic study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2000;**81**:1520-1526.
33. Ishida R, Palmer JB, Hiiemae KM. Hyoid Motion During Swallowing: Factors Affecting Forward and Upward Displacement. *Dysphagia.* 2002;**17**:262-272.
34. Dantas RO, Kern MK, Massey BT, Dodds WJ, Kahrilas PJ, Brasseur JG, Cook IJ, Lang IM. Effect of swallowed bolus variables on oral and pharyngeal phases of swallowing. *Am J Physiol.* 1990;**258**:G675-681.
35. Nagy A, Molfenter SM, Péladeau-Pigeon M, Stokely S, Steele CM. The Effect of Bolus Consistency on Hyoid Velocity in Healthy Swallowing. *Dysphagia.* 2015;**30**:445-451.
36. Ueda N, Nohara K, Kotani Y, Tanaka N, Okuno K, Sakai T. Effects of the bolus volume on hyoid movements in normal individuals. *J Oral Rehabil.* 2013;**40**:491-499.
37. Barikroo A, Carnaby G, Crary M. Effects of Age and Bolus Volume on Velocity of Hyolaryngeal Excursion in Healthy Adults. *Dysphagia.* 2015;**30**:558-564.
38. Perlman AL, Booth BM, Grayhack JP. Videofluoroscopic predictors of aspiration in patients with oropharyngeal dysphagia. *Dysphagia.* 1994;**9**: 90-95.

39. Wang TG, Chang YC, Chen WS, Lin PH, Hsiao TY. Reduction in hyoid bone forward movement in irradiated nasopharyngeal carcinoma patients with dysphagia. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010;91:926-931.
40. Steele CM, Bailey GL, Chau T, Molfenter SM, Oshalla M, Waito AA, Zoratto DC. The relationship between hyoid and laryngeal displacement and swallowing impairment. *Clin Otolaryngol.* 2011;36:30-36.
41. Jacob P, Kahrilas PJ, Logemann JA, Shah V, Ha T. Upper esophageal sphincter opening and modulation during swallowing. *Gastroenterology.* 1989;**97**:1469-1478.
42. Stone M, TH Shawker. An ultrasound examination of tongue movement during swallowing. *Dysphagia.* 1986;1:78-83.
43. Ishihara S, Nakao S, Nakauma M, Funami T, Hori K, Ono T, Kohyama K, Nishinari K. Compression test of food gels on artificial tongue and its comparison with human test. *J Texture Stud.* 2013;**44**:104-114.
44. Ishihara S, Isono M, Nakao S, Nakauma M, Funami T, Hori K, Ono T, Kohyama K, Nishinari K. Instrumental uniaxial compression test of gellan gels of various mechanical properties using artificial tongue and its comparison with human oral strategy for the first size reduction. *J Texture Stud.* 2014;**45**:354-366.
45. Logemann JA, Pauloski BR, Rademaker AW, Colangelo LA, Kahrilas PJ, Smith CH. Temporal and biomechanical characteristics of oropharyngeal swallow in younger and older men. *J Speech Lang Hear Res.* 2000;**43**: 1264-1274.

46. Arai E, Yamada Y. Effect of the texture of food on the masticatory process. *Jpn J Oral Biol.* 1993;**35**:312-322.

47. 新井映子, 山田好秋, 西坂剛. 摂取食品の形状が咀嚼運動に与える影響. *Jpn J Oral Biol.* 1992;**34**:221-229.

48. 津賀一弘, 吉田光由, 占部秀徳, 林亮, 吉川峰加, 歌野原有里, 森川英彦, 赤川安正. 要介護高齢者の食事形態と全身状態および舌圧との関係. 日本咀嚼学会雑誌. 2004;**14**:62-67.

49. 聖隷嚥下チーム. 嚥下障害ポケットマニュアル 第 3 版, 医歯薬出版. 2011:103-107.

50. Palmer JB, Hiiemae K, Matsuo K, Haishima H. Volitional Control of Food Transport and Bolus Formation during Feeding. *Physiol Behav.* 2007;**91**:66-70.

51. Logemann JA, Kahrilas PJ, Hurst P, Davis J, Krugler C. Effects of intraoral prosthetics on swallowing in patients with oral cancer. *Dysphagia.* 1989;**4**:118-120.

52. Matsuo K, Palmer JB. Kinematic linkage of the tongue, jaw, and hyoid during eating and speech. *Arch Oral Biol.* 2010;**55**:325-331.

53. Woo J, Xing F, Lee J, Stone M, Prince JL. Construction of An Unbiased Spatio-Temporal Atlas of the Tongue During Speech. *Inf Process Med Imaging.* 2015;**24**:723-732.

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

55. 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.

56. Hori K, Taniguchi H, Hayashi H, Magara J, Minagi Y, Li Q, Ono T, Inoue M. Role of tongue pressure production in oropharyngeal swallow biomechanics. *Physiol Rep.* 2013;**1**:e00167.
57. Nascimento WV, Cassiani RA, Santos CM, Dantas RO. Effect of bolus volume and consistency on swallowing events duration in healthy subjects. *J Neurogastroenterol Motil.* 2015;**21**:78-82.
58. Ishihara S, Nakauma M, Funami T, Tanaka T, Nishinari K, Kohyama K. Electromyography during oral processing in relation to mechanical and sensory properties of soft gels. *J Texture Stud.* 2011;**42**:254-267.
59. 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**:828-835.
60. Schmidt JE, Carlson CR, Usery 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**:881-888.
61. Taniguchi H, Tsukada T, Ootaki S, Yamada Y, Inoue M. Correspondence between food consistency and suprahyoid muscle activity, tongue pressure, and bolus transit times during the oropharyngeal phase of swallowing. *J Appl Physiol.* 2008;105:791-799.
62. 中原 学. 嚥下時における舌骨運動の X 線学的研究. 日耳鼻. 1987;90:

669-679.

63. Crary MA, Carnaby Mann GD, Groher ME. Biomechanical correlates of surface electromyography signals obtained during swallowing by healthy adults. *J Speech Lang Hear Res.* 2006;49:186-193.

64. Kohyama K, Gao Z, Ishihara S, Funami T, Nishinari K. Electromyography analysis of natural mastication behavior using varying mouthful quantities of two types of gels. *Physiol Behav.* 2016;161:174-182.

65. Hutchings JB, Lillford PJ. The perception of food texture – the philosophy of the breakdown path. *J Texture Stud.* 1988;19:103-115.

66. Nishinari K, Kohyama K, Kumagai H, Funami T, M.C. Bourne. Parameters of Texture Pro le Analysis. *Food Sci Technol Res.* 2013;19: 519-521.

67. Jang HJ, Leigh JH, Seo HG, Han TR, Oh BM. Effortful swallow enhances vertical hyolaryngeal movement and prolongs duration after maximal excursion. *J Oral Rehabil.* 2015;42:765-773.

68. Yoshida M, Kikutani T, Tsuga K, Utanohara Y, Hayashi R, Akagawa Y. Decreased tongue pressure reflects symptom of dysphagia. *Dysphagia.* 2006;**21**:61-65.

図及び表の説明

図 1 A　舌圧センサシートシステム（スワロースキャン，ニッタ，大阪）

B　口腔内に貼付された舌圧センサシートと感圧部位

図 2　舌圧と VF の同期測定の構成

図 3　舌押し潰し嚥下時の舌圧と舌骨移動の波形の一例（Hard-Deformable 摂取時）

図 4　VF の分析における基準点，基準平面

図 5　各ゼリーの舌押し潰し 1 回目の舌圧発現と舌骨移動のイベント

図 6　舌押し潰し 1 回目の各 Ch 間の舌圧最大値(A)ならびに舌圧持続時間(B)の比較

図 7　各ゼリーの嚥下区間の舌圧発現と舌骨移動のイベント

図 8　各ゼリーの舌押し潰し回数

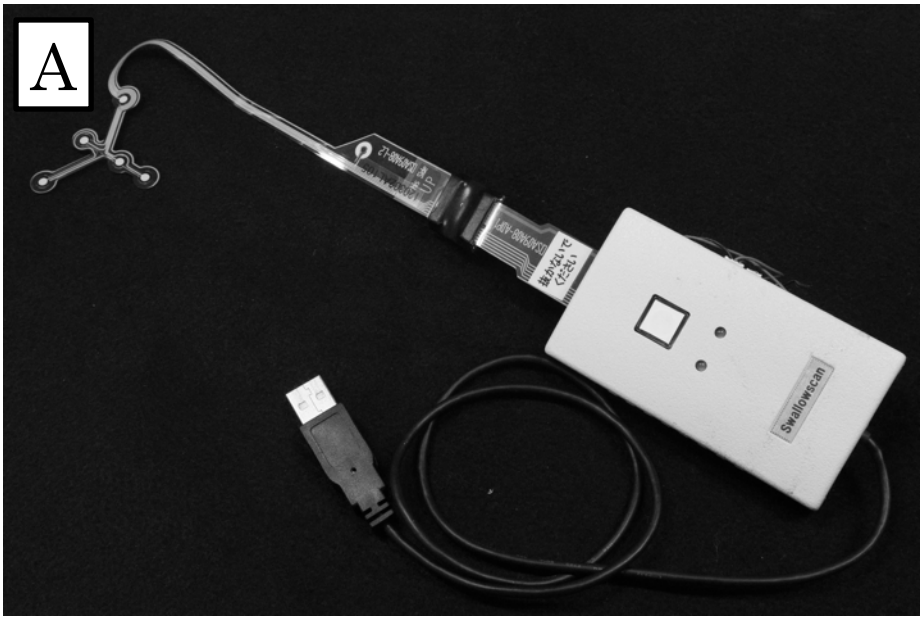
図 9　舌押し潰し 1 回目のゼリー試料間の舌圧最大値(A)ならびに舌圧持続時間(B)の比較

図 10　舌押し潰し 1 回目のゼリー試料間の舌骨最高移動速度(A)、舌骨移動距離(B)、舌骨移動時間(C)の比較

図 11　嚥下区間のゼリー試料間の舌圧最大値(A)ならびに舌圧持続時間(B)の比較

図 12　嚥下区間のゼリー試料間の舌骨最高移動速度(A)、舌骨移動距離(B) 、舌骨移動時間(C)の比較

表 1　実験に使用したゼリー試料の初期物性（破断荷重，破断歪，UDF 区分）



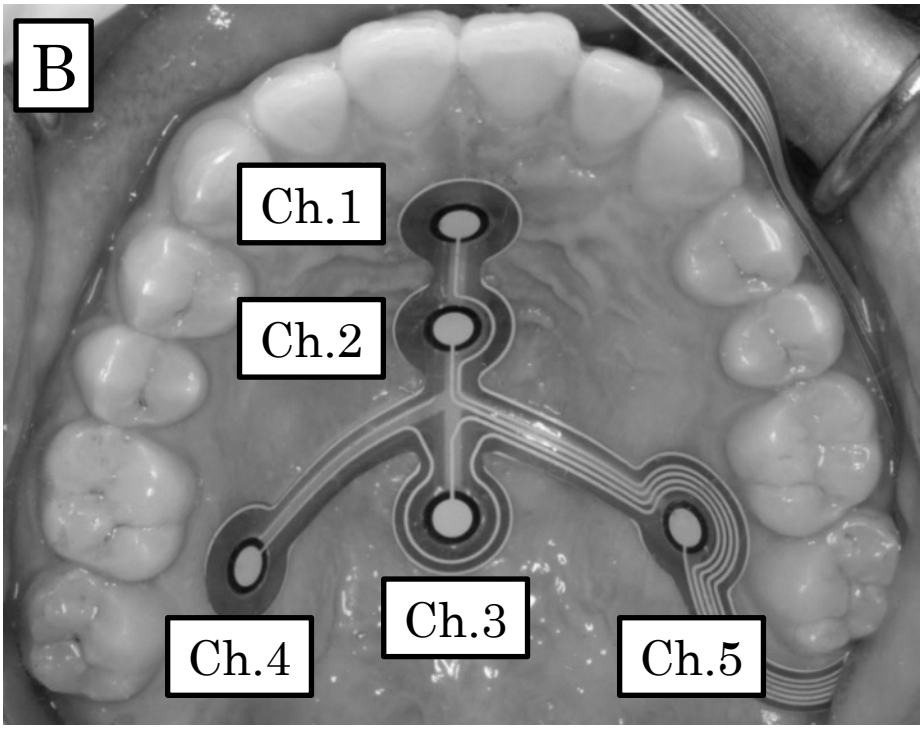


図1 舌圧センサシートシステム（スワロースキャン，ニッタ，大阪）(A)
口腔内に貼付された舌圧センサシートと感圧部位 (B)

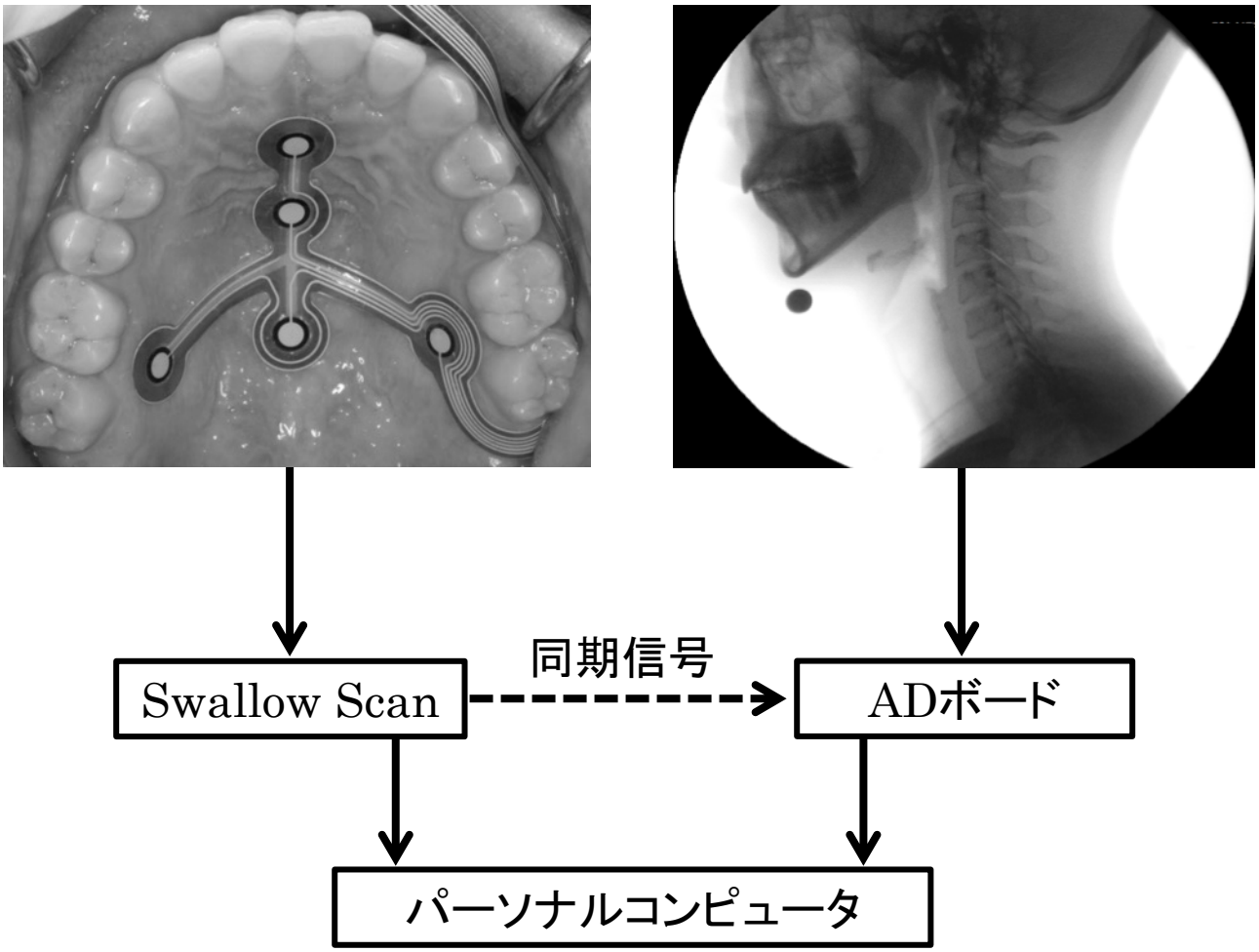


図2　舌圧とVFの同時測定の構成

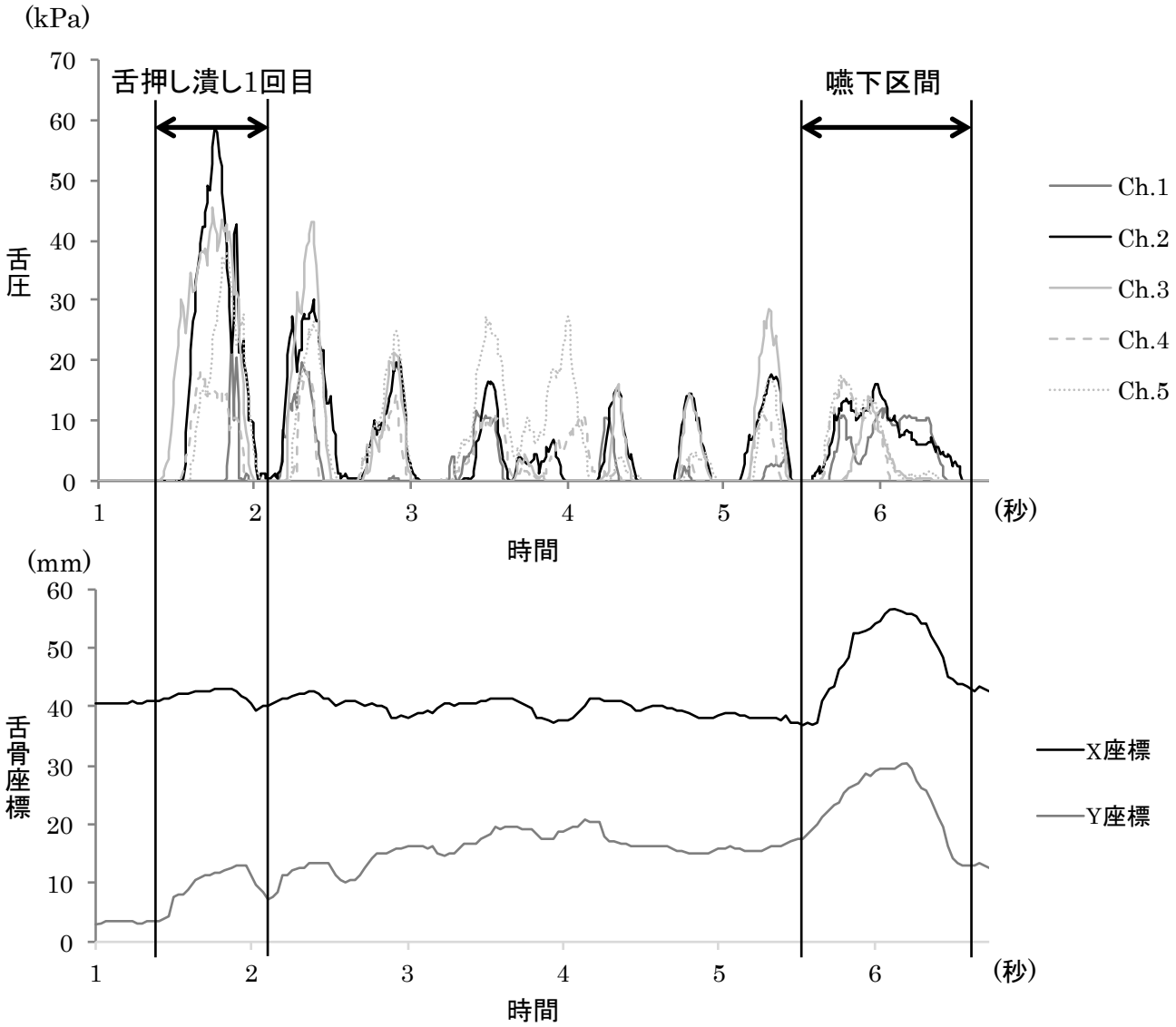
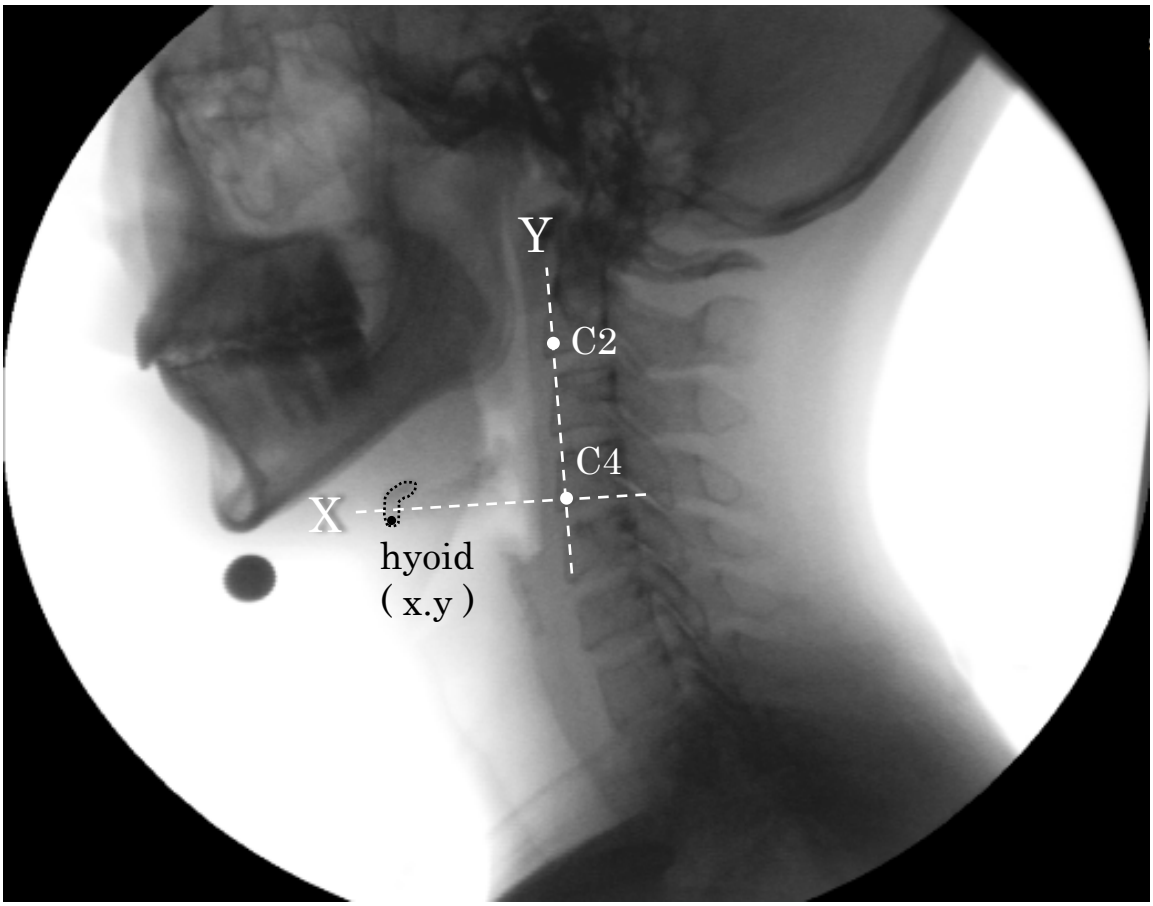


図3　舌押し潰し嚥下時の舌圧と舌骨移動の波形の一例（Hard-Brittle摂取時）



C2: 第2頸椎前下縁，C4: 第4頸椎前下縁，hyoid: 舌骨前下縁

図4　VFの分析における基準点，基準平面

第4頸椎前下縁を原点とし，第2頸椎前下縁と第4頸椎前下縁を結ぶ線をY軸，Y軸に垂直に交わり，原点を通る線をX軸とする座標平面を設定した．また，舌骨前下縁を舌骨の測定点とし，2次元平面上の舌骨の軌跡を30フレーム/秒でトレースした．

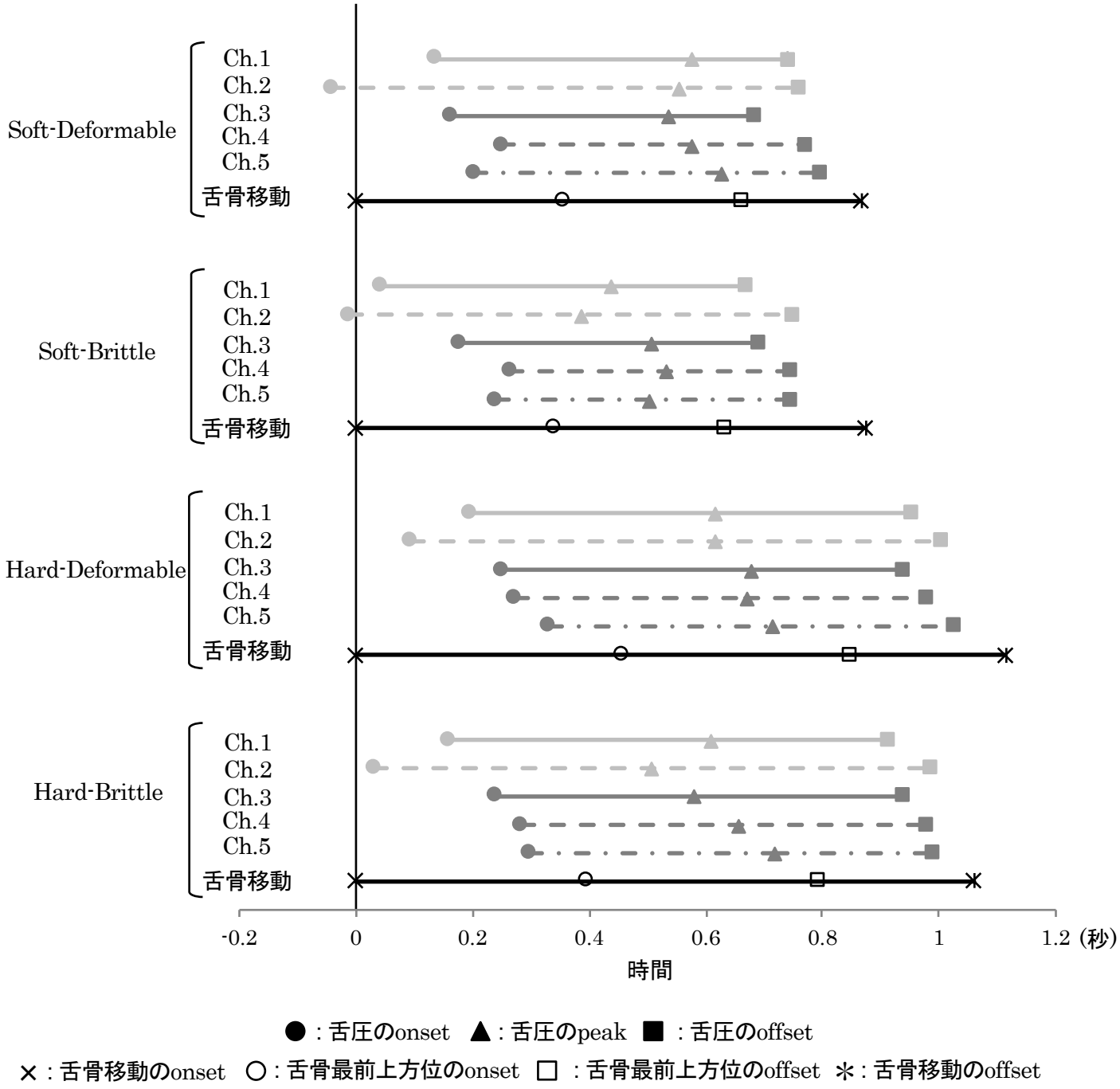


図5　各ゼリーの舌押し潰し1回目の舌圧発現と舌骨移動のイベント

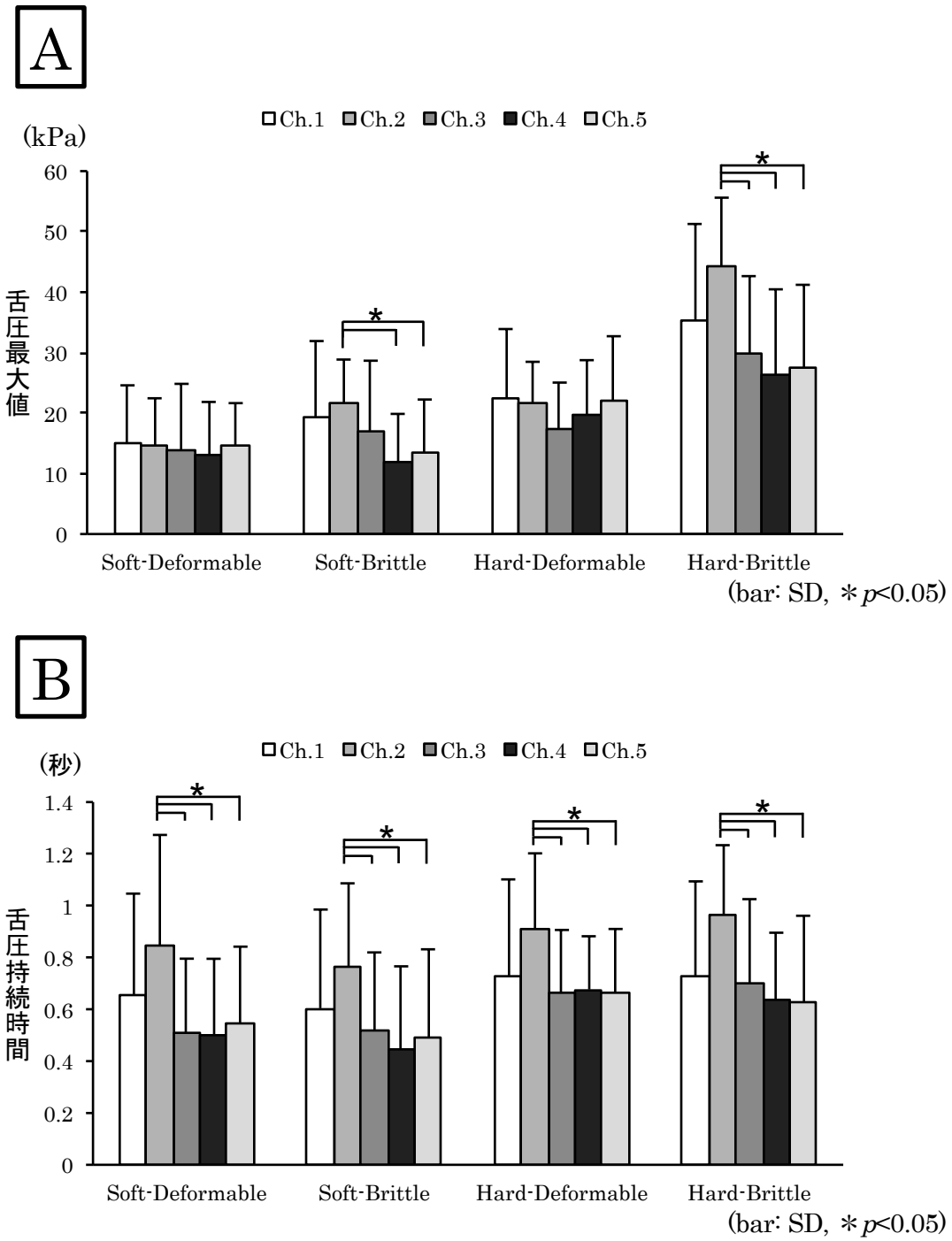


図6　舌押し潰し1回目の各Ch間の舌圧最大値(A)ならびに舌圧持続時間(B)の比較

(Repeated one-way ANOVA test and Tukey's post hoc test)

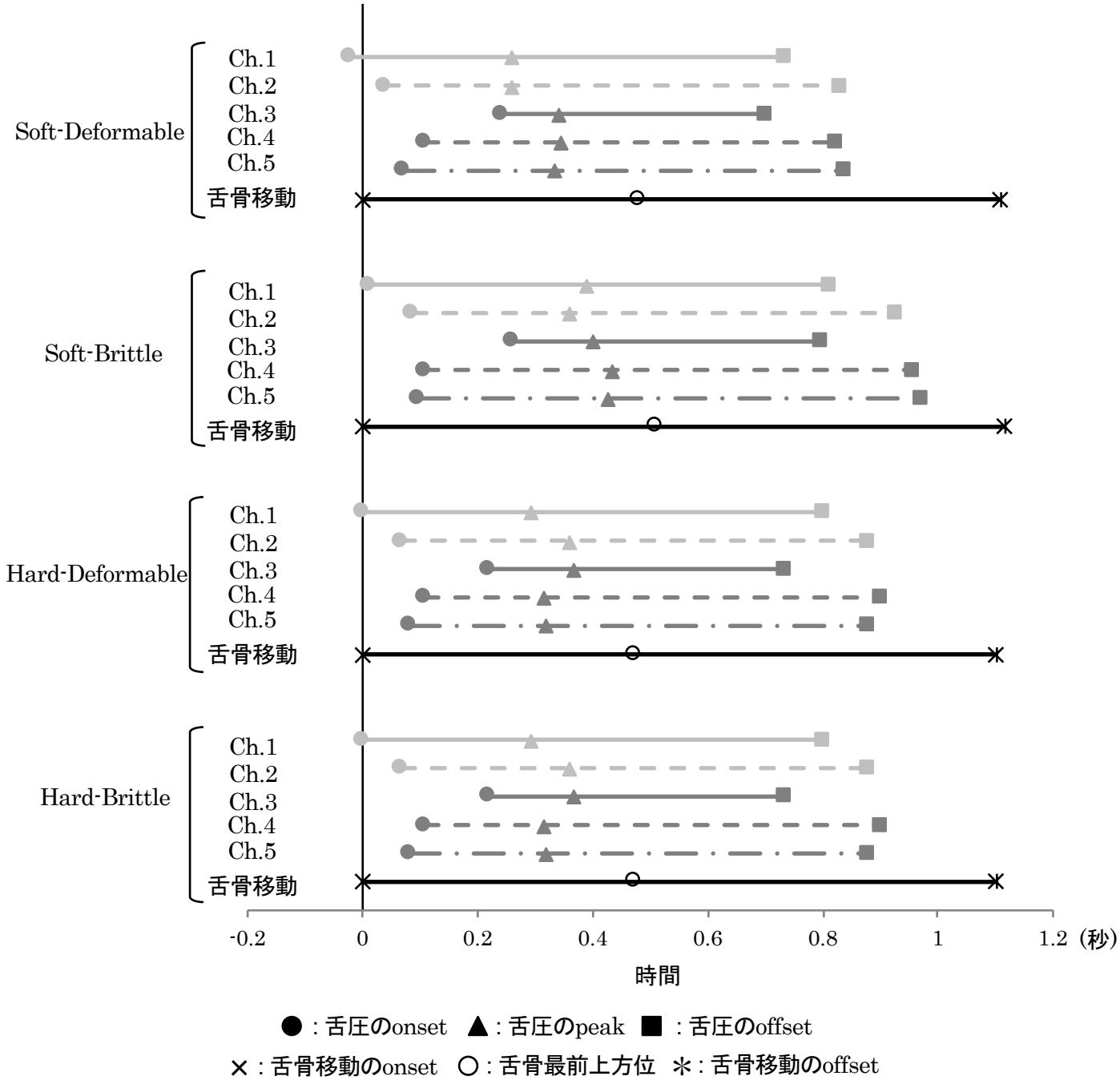


図7　各ゼリーの嚥下区間の舌圧発現と舌骨移動のイベント

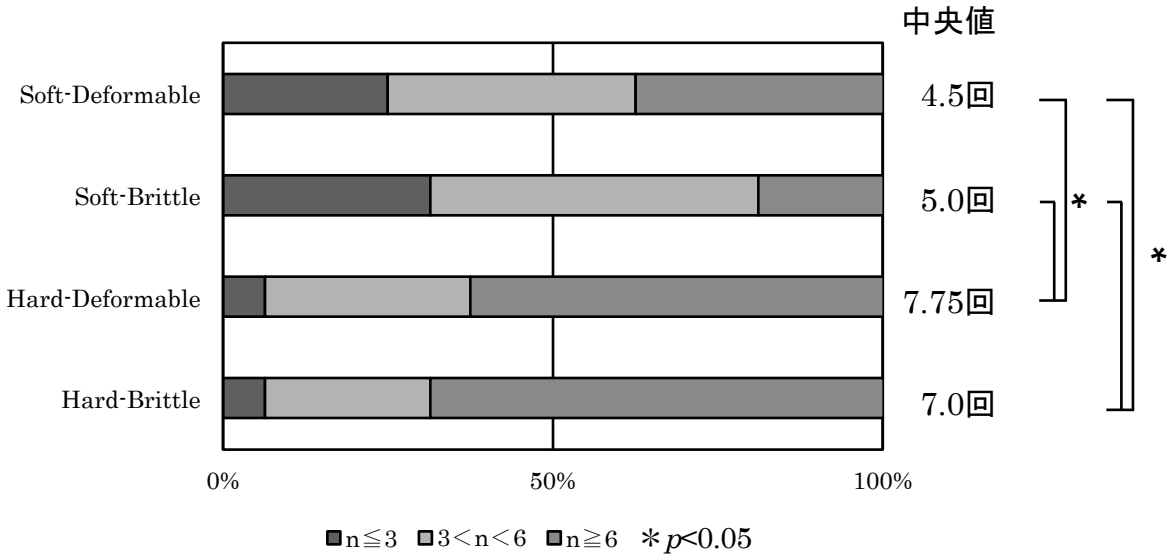
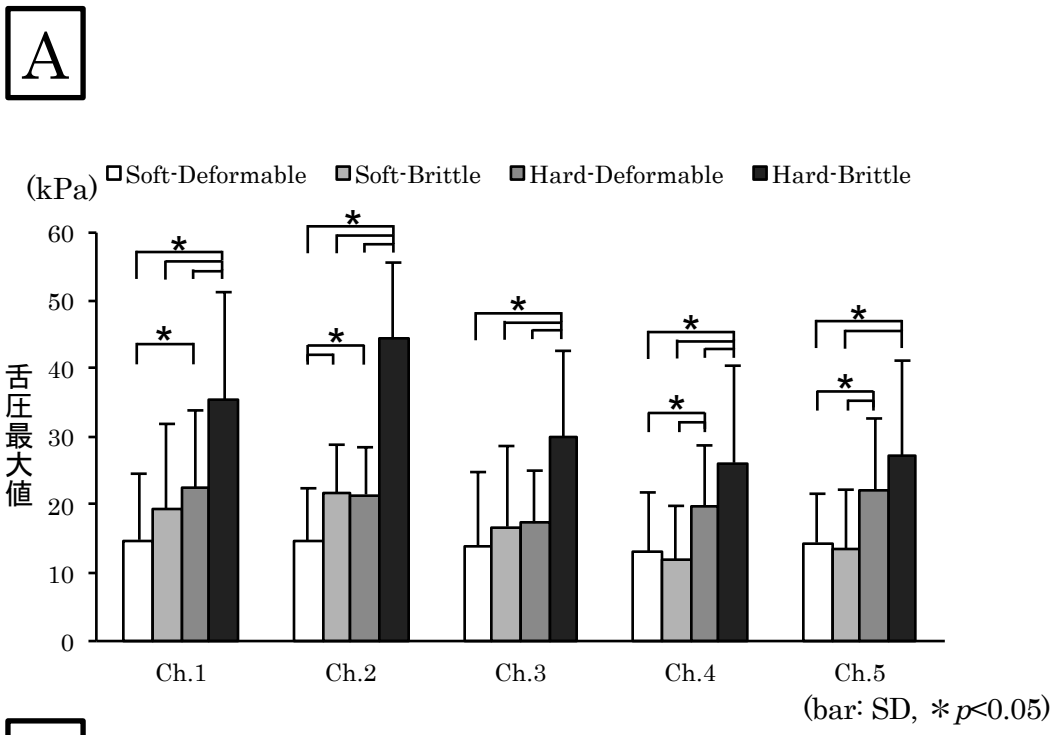


図8　各ゼリーの舌押し潰し回数

（Friedman test and Wilcoxon signed rank test with Bonferroni's multiple comparison）



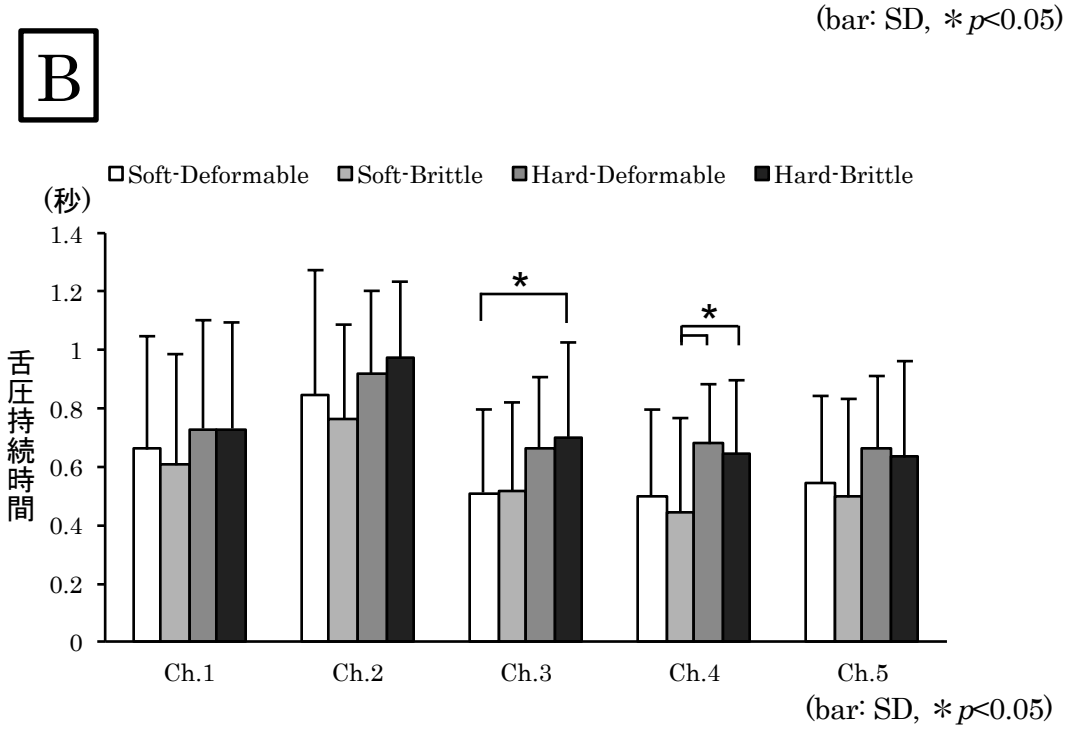


図9　舌押し潰し1回目のゼリー試料間の
舌圧最大値(A)ならびに舌圧持続時間(B)の比較

(Repeated one-way ANOVA test and Tukey's post hoc test)

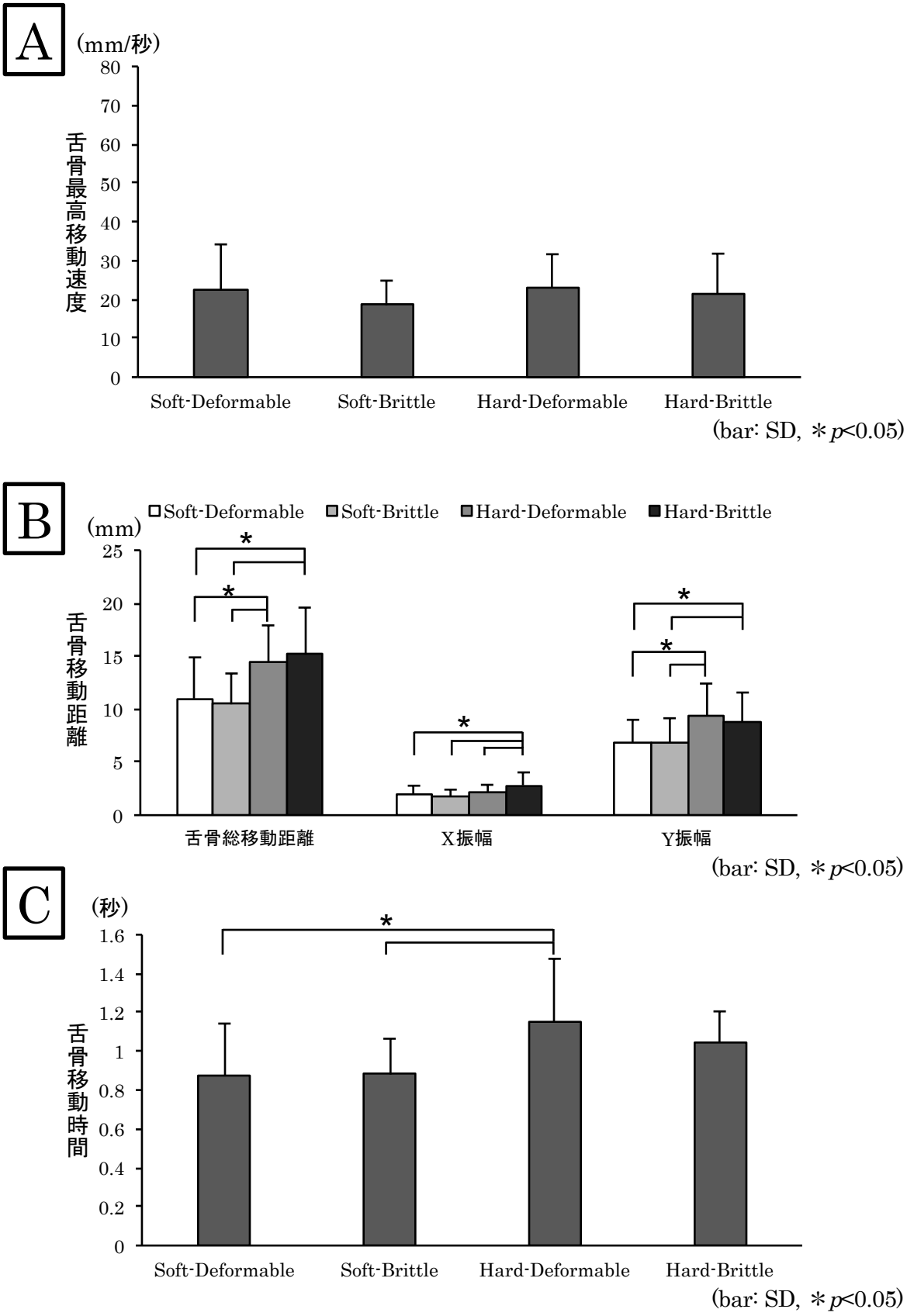
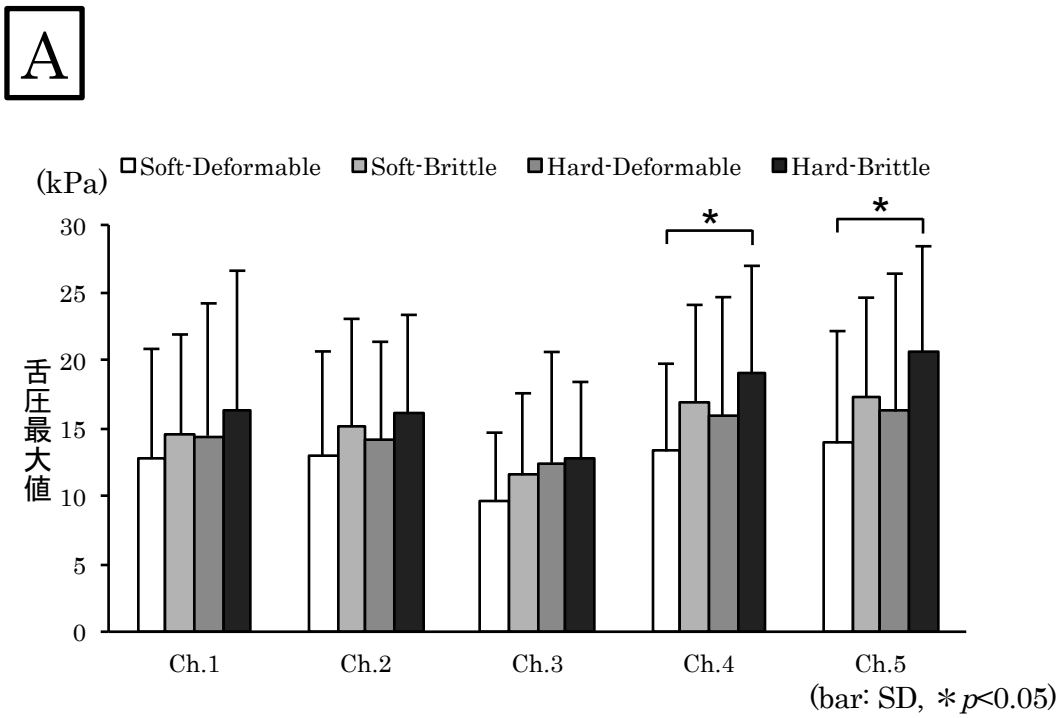


図10　舌押し潰し1回目のゼリー試料間の
舌骨最高移動速度(A)、舌骨移動距離(B)、舌骨移動時間(C)の比較
(Repeated one-way ANOVA test and Tukey's post hoc test)



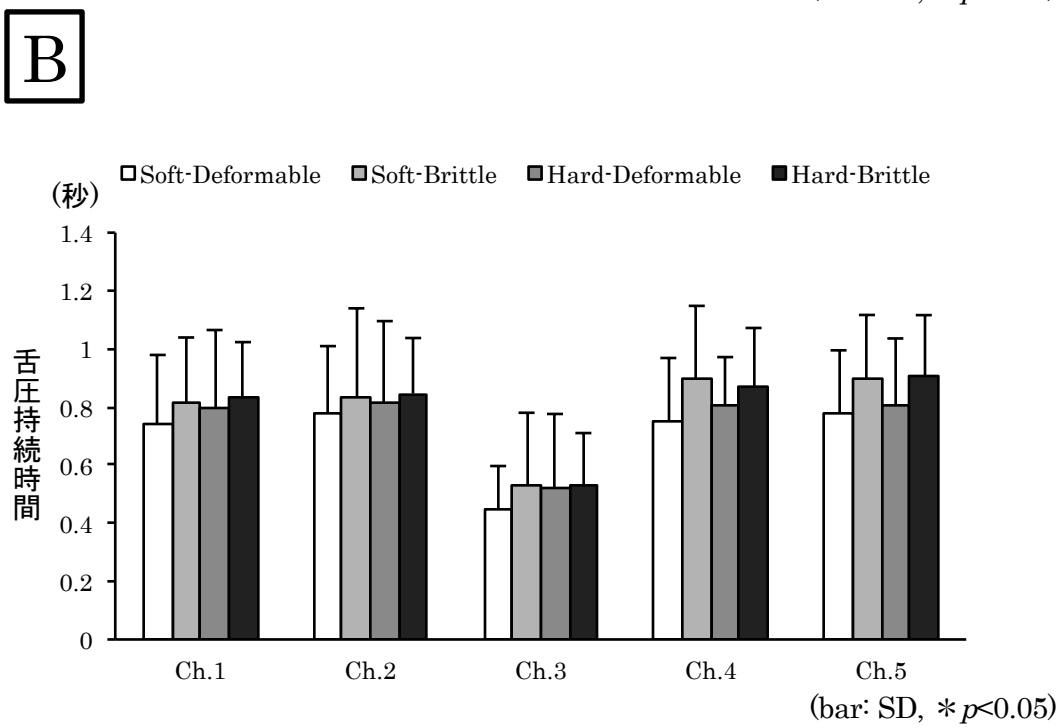


図11　嚥下区間のゼリー試料間の
舌圧最大値(A)ならびに舌圧持続時間(B)の比較
(Repeated one-way ANOVA test and Tukey's post hoc test)

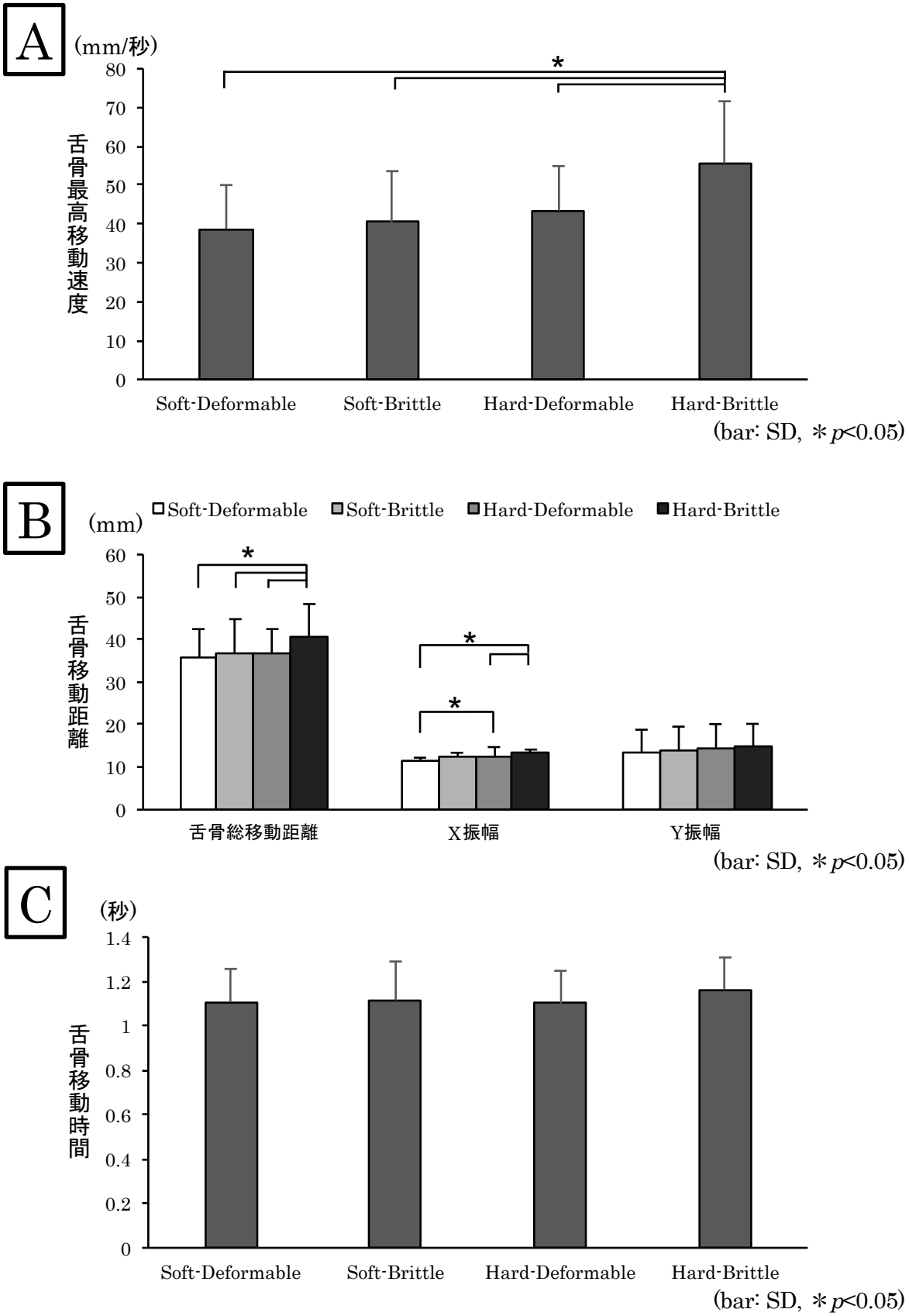


図12　嚥下区間のゼリー試料間の
舌骨最高移動速度(A)、舌骨移動距離(B) 、舌骨移動時間(C)の比較

(Repeated one-way ANOVA test and Tukey's post hoc test)

表 1　実験に使用したゼリー試料の初期物性（破断荷重，破断歪，UDF区分）

試料名	破断荷重 (N)	破断歪 (%)	UDF区分
Soft-Deformable	9.73 ± 0.94	74.34 ± 1.67	区分3
Soft-Brittle	9.71 ± 0.13	43.31 ± 0.34	区分2
Hard-Deformable	29.40 ± 0.99	78.71 ± 1.19	区分2
Hard-Brittle	28.70 ± 1.00	46.16 ± 1.08	区分1

試料形状・サイズ: 円柱（直径20mm×高さ10mm）

プローブ: 直径50mm（アルミニウム製）

圧縮速度: 10mm/s

測定温度: 20℃

ユニバーサルデザインフード(UDF) 区分[7]

区分1：容易にかめる
区分2：歯ぐきでつぶせる
区分3：舌でつぶせる