学 位 研 究 紹 介

３次元モーションキャプチャーを用いた咀嚼時舌運動と下顎運動の評価
Tongue and jaw movement assessed by 3D motion capture during gum chewing

朝日大学歯学部口腔病態医療学講座
摂食嚥下リハビリテーション学分野
佐藤理加子
Asahi University School of Dentistry, Department of Dysphasia Rehabilitation, Division of Oral Pathogenesis and Disease Control
Sato Rikako

【目　　的】

舌は，咀嚼・嚥下・構音など非常に重要な役割を担っている。特に，咀嚼時には下顎運動と協調して複雑な運動を行う。摂食嚥下障害の機序を明らかにするためには，嚥下時や咀嚼時の舌運動を調べる必要があるが，舌は口腔内にあるため，直接運動を観察できない。そのため，嚥下造影検査や超音波検査を用いて咀嚼時の舌運動についての研究が行われてきた。嚥下造影検査では咀嚼から嚥下まで食塊の位置を含めて一連の測定が可能だが，放射線被曝のリスクがあること，他の器官と重なると，舌が明瞭に観察できないことが欠点として挙げられる。

電磁アーティキュログラフ（以下 EMA）は，舌表面の複数点の三次元的位置の運動記録が可能なモーションキャプチャシステムである。サンプリング周波数が高く，舌運動を高精度かつ定量的に計測が可能である。舌が咀嚼時に下顎運動と連動して動いていると仮説をたて，EMA を用いて舌運動を詳細に解析することできるのではないか，と考えた。本研究の目的はガム咀嚼時の舌と下顎の三次元的な動きの詳細を明らかにすることである[1)]。

【方　　法】

被験者は健常若年成人 10 名（男性５名，女性５名；26.8±2.1 歳）とした。舌運動および下顎運動の測定には EMA を用いた（図１）。軟組織接合用接着剤を用いて舌上の４か所（舌前方中央 Ant，後方中央 Post，後方左側 Lt，後方右側 Rt）にマーカーを貼付した。導線を噛まないようにするため，EMA のマーカーの導線を束ねる実験用口腔内装置を製作して下顎歯列に装着した。また，下顎運動を測定するために下顎切歯唇側に１か所（Inc），頭部動揺補正のために顔面皮膚３か所にマーカーを貼付した。測定は，導線の通っていない左側のみの咀嚼を指示し，無味無臭のガム１個を舌上に保持させた状態から 50 回咀嚼を記録した。分析対象は安定した下顎運動を示す咀嚼サイクルとし，最終的に 290 サイクルであった。被験者ごとに咀嚼サイクルの運動軌跡を重ね合わせたのち，前頭断および矢状断軌跡の定性的観察を行い，前後，左右，上下成分への移動量，および最大値最小値を示したタイミングを分析した。

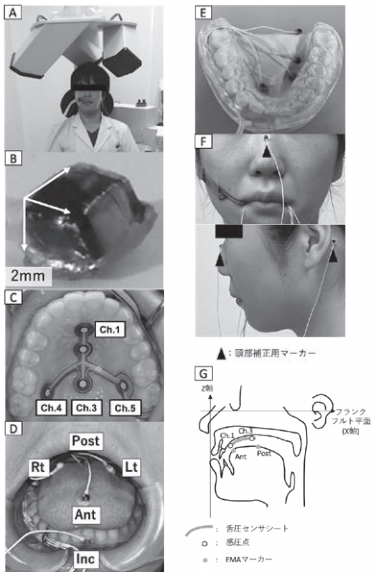

図１　電磁アーティキュログラフおよび使用した測定装置の模式図[1)]
A：測定時の様子，B：電磁アーティキュログラフマーカー，C：舌圧センサシート，D：マーカーの貼付位置，E：実験用口腔内装置，F：頭部補正用マーカー貼付位置，G：３次元座標の構築設定（Ant：舌前方中央 Post：舌後方中央 Lt：舌後方左側 Rt：舌後方右側 Inc：切歯点）

【結　　果】

前頭断軌跡では舌と下顎は咀嚼側下方へと動いたのちに元の位置に戻っていた。矢状断軌跡では，下顎は前方に動かず，後下方のみに動いていたが，舌は主に前方に移動していた。特に咀嚼側の Lt は前後に移動し，下方移動はほとんど認められなかった（図２）。

舌運動のタイミングについて，上下成分では，舌は開口とともに下方へ移動し，最大開口時付近で最下方へ到達した（図３）。舌後方は最大開口時よりやや遅れて最

下方へ到達した。その後舌は上方へ移動し，開口開始時付時付近で最上方をとった。左右成分では，舌はまず咀嚼側（左）へ移動し，閉口相中に最左方へ到達，咬合相中に最右方へ到達した。前後成分において，Ant は開口相中に最前方に到達し，後方のマーカーよりも早く，後方へ移動を開始した。後方のマーカーは閉口相で最前方の位置をとり，舌は咬合相中に最後方へ到達した。

舌および Inc は上方への移動量が少なく，下方への移動量が大きかった。切歯点は舌のマーカーよりも有意に大きく下方へ移動した。舌および Inc は共に非咀嚼側への移動量が大きかった。Inc は後方への移動量が大きいのに対し，舌マーカーは前方への移動量が大きかった。

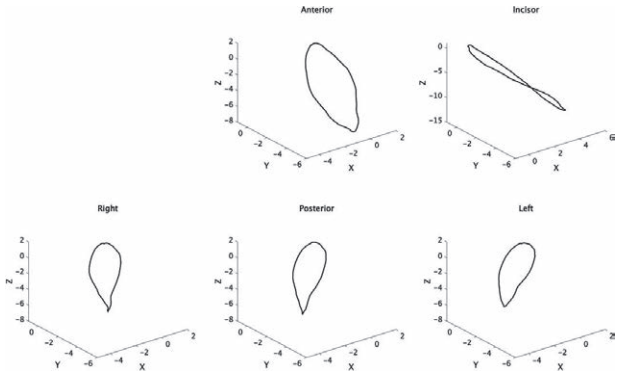

図２　３次元的舌および顎運動軌跡。すべての参加者の波形を正規化し、重ね合わせ処理を行った[1)]

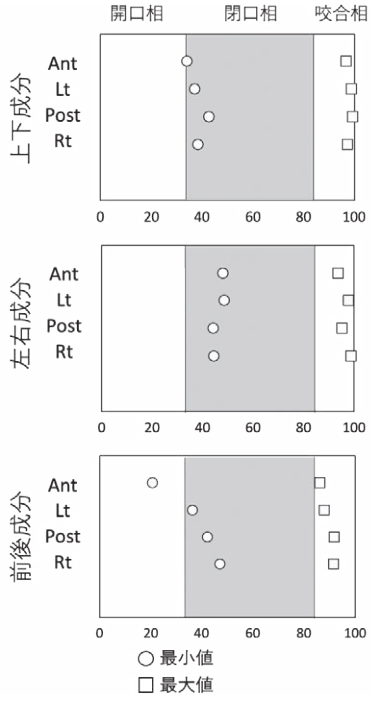

図３　咀嚼サイクル中の舌運動の時間経過の模式図。時間０は開口相の開始に設定し，100 は咬合相の終了として設定した。○：最小値となったタイミング　□：最大値となったタイミング[1)]。

【考　　察】

本研究では，EMA を用いてガム咀嚼時の舌運動を計測した。舌上の複数点の動きを三次元的に高頻度で計測した研究はほとんどない。ガム咀嚼時の舌運動の詳細を解析することは，咀嚼嚥下のメカニズムや疾患の病態を解明する上で有用であると考えられる。器具や導線が自然な運動を阻害した可能性はあるものの，咀嚼中の舌や下顎の動きを経時的かつ定量的に分析できたことが今回の研究の新規性であり優位性である。

舌は下顎にあるため，舌の動きは下顎の動きと非常に似ていた。Palmer らは，咀嚼中の舌の動きを嚥下造影検査で二次元的に観察し，口が開くと舌は前方と下方に移動し，開口相では最前方に移動し，閉口相で舌は後方に移動すると報告した[2)]。本研究では，舌の動きを三次元的に記録することができ，開口相で舌は前方，下方，咀嚼側へと移動していた。前後の動きを見ると，舌は前方へ移動したのに対し，下顎は後方へと移動していた。これらの動きは前のサイクルで歯列によって押しつぶされたガムを舌ですくい上げていると考えられた。最大開口時に舌は最下方に到達し，このとき有意差はないものの咀嚼側のマーカー（Lt）は他のマーカーよりも高い位置にあり，舌が歯列の上のガムを落ちないように壁の働きをしていると考えられた。閉口後舌は上方，後方，非咀嚼側に移動し，次の咀嚼サイクルの開始前に元の位置に戻っていた。このように，咀嚼時の舌運動の詳細を明らかにすることで，舌運動機能障害の評価やリハビリテーションに役立つと考えられる。

【結　　論】

本研究では EMA を用いて舌と下顎の動きを三次元的に計測した。舌は下顎と同じように下方に，咀嚼側へと移動していた。しかし，下顎は後方へと移動したのに対し，舌は後方よりも前方へと大きく移動していた。今回の結果より，ガム咀嚼時の一連の舌運動のパターンが明らかになった。

【文　　献】

１）Sato R et al. (2024) Tongue and jaw movement assessed by 3D motion capture during gum chewing. *Front. Physiol.* 15:1409005. doi: 10.3389/fphys.2024.1409005（図は全て参考文献より改変して引用）

２）Palmer J. B. et al. (1997). Tongue-jaw linkages in human feeding: a preliminary videofluorographic *study*. *Arch. Oral Biol.* 42 (6), 429–441. doi:10.1016/s0003-9969 (97) 00020-4