

個別顎運動表示システムを用いた咀嚼筋群の動態把握

Dynamic profile of masticatory muscles by use of Mandibular Motion Display System

齊藤極^{*1}, 伊能教夫^{*1}, 木村仁^{*1}

小関道彦^{*2}

藤川泰成^{*3}, 浅間雄介^{*3}, 小川尚己^{*3}, 槇宏太郎^{*3}

Kiwamu SAITOU^{*1}, Norio INOU^{*1}, Hitoshi KIMURA^{*1}

Michihiko KOSEKI^{*2}

Taisei FUJIKAWA^{*3}, Yusuke ASAMA^{*3}, Naoki OGAWA^{*3} and Koutaro MAKI^{*3}

Abstract: This study deals with an integrated display system of patient-specific mandibular movements. The display system provides motion trajectory and velocity or accelerations at an arbitrary point of the mandible. We add a new function to the display system. The function is dynamic profile of masticatory muscles showing time series of muscular lengths. The muscular lengths are obtained from a patient-specific model of a person specifying attachment points of muscles, and the time series of lengths are calculated by measured data of mandibular motion of the person. The dynamic profile shows a clear difference between a healthy person and a person who has TMD. This paper also discusses a masticating cycle examining relationship between trajectory pattern at an incisor tooth and the time series of muscular lengths. It is suggested that the bilateral difference of muscular contraction length and the contraction timing affect masticatory type of movement.

Key word: Mandibular movement, Display system, Muscle of mastication

1. はじめに

顎運動は回転とスライドが混在した複雑な動きであり、顎運動機能障害の診断・治療には運動の動態把握を助ける生体情報が必要とされる。顎運動状態を表す生体情報のひとつとして、咀嚼筋群の活動が挙げられる。顎運動は他の骨格筋系と同様に複数の筋肉群が協調して活動することにより成り立っている。そのため顎機能に異常があると筋肉群の協調運動にも影響が出ると予想される。つまり、各咀嚼筋の活動を観察することが可能となれば、咀嚼機能の評価や顎運動機能障害患者の顎運動訓練の指導に有効な情報を得られると期待される。顎運動機能障害の一つである顎関節症の症状は最大開口などの運動中に顕著に現れることから、顎運動機能の評価に有用な情報を得るためには動的な筋肉活動の観察が望ましいと考えられる。

咀嚼筋の活動を測定する手法としては筋電位の測定が一般的であるが⁽¹⁾、筋肉への負荷が小

さい状態では十分な電位が発生しないことから、運動中の筋肉の動的な状態を筋電位から推定することは現状では難しい。また、表皮から遠い外側翼突筋の筋電位測定には針電極の埋め込みなど外科的な手術が必要となるため実施は困難である。著者らは顎運動を個別別に表示するシステムを開発しており⁽²⁾、視覚的にわかりやすい運動情報提示を目指している。同様に顎運動を表示するシステムはいくつか存在するが^(3,4)、表示機能としては下顎骨の動態表示が中心である。しかし、顎運動は本来咀嚼筋群の活動により生じるものであり、この観点からの分析が必要と考えられる。今回、著者らの開発するシステムに筋肉長を表示する機能を付加することにより個別別に咀嚼筋群の動態観察を試みる。また、咀嚼運動における切歯先端の運動軌跡と咀嚼筋群活動の関連について考察する。

2. 顎運動表示システム

筋肉長観察の基礎技術である個別顎運動表示システムについて示す。著者らの開発している顎運動表示システムは光学的運動測定と、X線 CT 画像に基づいた個別顎骨モデリングにより構成される。本システムの流れを図 1 に示す。CT データに基づいた顎骨のモデルと運動

原稿受付日:2010年12月2x日, 受理日:2011年x月x日

*1 東京工業大学大学院理工学研究科
Graduate school of Science and Engineering,
Tokyo Institute of Technology.

*2 信州大学繊維学部
Faculty of Textile Science and Technology,
Shinshu University.

*3 昭和大学歯学部
School of Dentistry, Showa University.

測定データを組み合わせることで、図2に示すように任意の角度から、指定された区間の顎運動を三次元の動画像として表示できる。また、本システムはモデル上の任意の点の運動軌跡と速度、加速度の時系列変化を表示する機能を有している。著者らのこれまでの研究により、本システムは誤差 $\pm 0.1\text{mm}$ の運動測定精度と歯科用CT装置と工業用CT装置を併用した高精度な顎骨モデリングを実現している⁽⁵⁾。

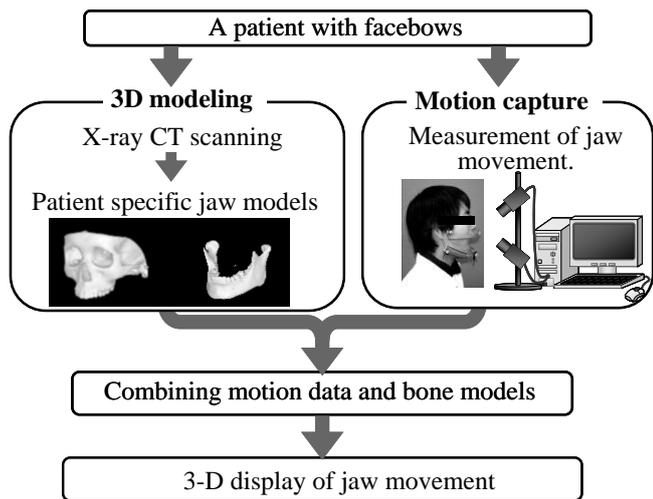


Fig. 1 Diagram of 3D display system.

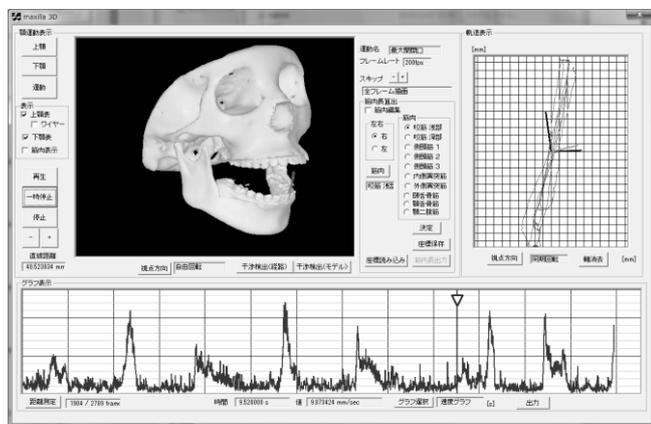


Fig. 2 Snapshot of the display system.

3. 筋肉長の推定手法

顎運動表示システムから得られる情報を用いて咀嚼筋の動態を観察するためには、顎運動時の咀嚼筋長の時系列変化を測定することが有用である。各筋肉は上下顎骨に付着していることで、筋肉の起始と停止を結ぶ直線を筋肉長と捉えることにより、個体別の上下顎骨の形状データと運動データから時系列の筋肉長を容易に求めることができ、咀嚼筋群の動態観察が可能となる。本システムでは骨体を変形しない剛体であると

みなし、顎運動を上顎に対する下顎の相対運動として表示している。以下に筋肉長を算出する手順を示す。

顎運動表示システムで利用する顎モデルは多数の三角形メッシュ（上下顎骨ともに各約1万5千個）からなる表面形状データである。まず顎運動表示システムの画面上で測定する筋肉が上顎と付着する点をマウスポインターを用いて指定することにより、三角形平面状の三次元座標を取得する。同様の手順で筋肉が下顎骨に付着する点の三次元座標が得られる。下顎骨モデルで取得された座標は下顎運動を反映した座標に変換することで、筋付着部2点間の距離が算出される。本手法では顎骨の形状データと運動データのみで筋肉長の算出が可能であるため、外側翼突筋のような外部からの観察が困難な筋肉についても非襲侵で観察可能になるという利点がある。顎運動に寄与している筋肉として、次に示す7種類の筋肉を選択する(図3)。

- (a) 咬筋 浅部 (Superficial masseter muscle)
- (b) 咬筋 深部 (Deep masseter muscle)
- (c) 側頭筋 前部 (Anterior temporal muscle)
- (d) 側頭筋 中部 (Middle temporal muscle)
- (e) 側頭筋 後部 (Posterior temporal muscle)
- (f) 内側翼突筋 (Lateral pterygoid muscle)
- (g) 外側翼突筋 (Medial pterygoid muscle)

設定した筋肉の付着点については解剖学の資料^(6,7)に従った。以降のグラフ内の(a)~(g)は上記の筋肉長であること示す。

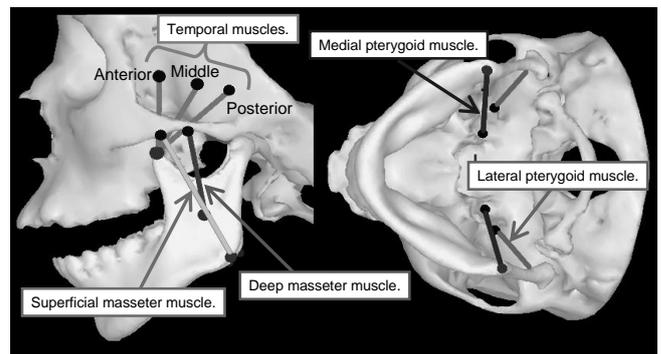


Fig. 3 Masticatory muscles.

4. 筋肉長測定結果

本システムを用いて測定した咀嚼筋群の様子を以降に示す。測定は被験者AからDの4名について行った。被験者AとCは顎関節症の症状が認められない被験者であり、BとDは顎関節

症を有する被験者である。被験者 B, D の症状については、歯科医師によって以下の所見が得られている。

被験者 B

分類 関節円板障害(日本顎関節学会による分類でⅢ型)

左側 復位を伴わない関節円板転位(関節円板が常に下顎頭から外れている状態)

右側 復位を伴う関節円板転位(関節円板が下顎頭から外れたり、再び下顎頭上に戻ったりする状態)

被験者 D

分類 関節円板障害(日本顎関節学会による分類でⅢ型)

左側 正常(関節円板が下顎頭と一致し同時に協調して動く)

右側 復位を伴う関節円板転位(関節円板が下顎頭から外れたり、再び下顎頭上に戻ったりする状態)

咀嚼筋群は被験者ごとに長さが異なり、同一被験者でも左右差がある。したがって以降に示すグラフでは筋肉長の比較を容易にするため、噛み締め時の長さを基準としてそこからの伸縮の大きさを表示している。また、各グラフは黒い線が左側、灰色の線が右側の筋肉長を表す。

被験者 4 名の最大開口運動時の筋肉長変化を図 4 に示す。顎運動測定のスAMPLINGレートは被験者 A,B のデータでは 30Hz、被験者 C,D のデータでは 200Hz である。スAMPLINGレートの違いは測定時期による違いであり、ビデオカメラの性能向上のためであるが、基本的な議論は同じである。下顎は時刻 T_1 で咬合状態にあり、ここから開口動作が始まる。時刻 T_2 において口の開きは最大となり、時刻 T_3 では再び咬合状態になる。縦軸は 1 目盛りあたり 20mm の長さ変化を表している。全ての被験者について、咬筋と側頭筋、内側翼突筋は口を噛み締め時にもっとも短く、最大開口時に最大伸長となっている。逆に外側翼突筋は噛み締め時にもっとも長く、最大開口時に最も短くなっている。この差は外側翼突筋以外の咀嚼筋群が主に上下方向へ向かい走っているのに対し、外側翼突筋は前後方向へほぼ水平に着いているために生じていると考えられる。被験者 A と C では筋肉長が滑らかに変化しており、顎がスムーズに開閉を行

っていること示している。それに対し被験者 B, D では開口が最大となる直前と閉じ始めた直後に急峻な筋肉長の変化が見られる。これは最大開口運動が阻害され、滑らかな顎運動になっていないためである考えられる。

図 5 に被験者 A と B についてタッピング運動の筋肉長変化を示す。また、図 6 に右の歯列でガム、パン片、ピーナッツを咀嚼した場合の筋肉長変化を示す。タッピングのグラフは縦軸の 1 目盛りが 2mm、咀嚼運動のグラフは 10mm で表示している。タッピングでは両被験者とも左右の筋肉がほぼ同じ幅で伸縮しており、最大伸長の時刻にも左右差は認められなかった。ガムの咀嚼運動でも、両被験者ともに筋肉長変化の左右差は認められず、タッピングと類似した様相を示している。パンとピーナッツの咀嚼運動についてみると、被験者 A では咬筋と側頭筋で非作業側である左側の筋肉長変化が右側に比べて大きく、伸縮のタイミングにも左右差が見られる。それに対し、被験者 B では非作業側の筋肉長変化が大きい傾向は見られるが、伸縮のタイミングは左右で一致しており、被験者 A に比べてタッピングに近い運動となっている。

5. 考察

ここでは咀嚼運動による筋肉長変化について考察する。咀嚼運動は大きくチョッピングとグライディングの 2 つに分けられる^(8,9)。チョッピングが単純な開閉口により食物を切断する動作であるのに対し、グライディングは側方運動を含み食物を磨り潰す動作である。健常者では食品によりこれらの運動型を使い分けて咀嚼を行っている^(10,11)。これに対し、咬合異常患者では咀嚼時の切歯先端の軌跡が健常者とは異なるパターンを示すとされている⁽¹²⁾。これは、健常者は食物の物性に適した咀嚼運動を選択することで効率よく咀嚼を行うのに対し、咬合異常患者では適切な運動ができないためであると考えられる。これらの運動型の違いは切歯の運動軌跡により議論されてきたが、運動型の差は咀嚼筋群の活動状態として捉えるべきである。したがって、種々の運動型を生み出す筋肉長変化の特徴を把握することは、咬合機能診断の有益な情報になると考えられる。ただし、咀嚼筋 7 種類、左右で合計 14 本の筋肉長変化を単にグラフとして表示しただけでは、運動軌跡の表示に比べ煩雑となり運動型の理解が難しくなる。そのため、筋肉長変化の特徴と咬合機能の関係を押さ

えた情報提示が必要となる．ここではこの点を考慮して以下のように考察を行った．

図 5, 6 に示した被験者 A, B の顎運動に注目すると, ピーナッツ咀嚼運動で両者の顎運動に大きな差が見られる．図 7 はピーナッツ咀嚼運動のグラフから 1 サイクル分に相当する 0.8 秒間の筋肉長変化を取り出したものである．また各サイクルごとに, 正面から見た中切歯先端の運動軌跡も示す．ここで, サイクルとは口を閉じた状態から, 口を開き再び閉じた常態になるまでの一連の動作とする．中切歯の軌跡を見ると被験者 A の咀嚼には図 7 の(2), (3)に見られるような膨らんだ軌道が含まれており, グライディングの動きに対応していることが推察される．それに対し被験者 B の咀嚼は往路と復路の軌道が細くチョッピングの運動のみで構成されている．両被験者について特徴的な軌跡を描いたサイクルの筋肉長変化のグラフを示す．

被験者 A のサイクル(1)は往復の経路が近く細い軌跡を描くチョッピングタイプの運動である．サイクル(1)では左側の咬筋と側頭筋が右側に比べ大きく伸長しているが, 最大伸長のタイミングは左右ともにほぼ一致している．サイクル(2)は, 往路と復路の差が大きいグライディングタイプの運動であり, 中切歯は右回りの軌道を描いている．サイクル(2)では咬筋と側頭筋において右の筋肉が先に最大長となった後, 左側が遅れて最大長となっている．サイクル(3)も往路と復路の差が大きい運動であるが, サイクル(1), (2) と異なり中切歯は左回りに運動する．サイクル(3)では左の筋肉のほうが先に最大長となっている．

被験者 B のサイクル(4)は中切歯が作業側へ移動する往路と復路の差が少ない運動である．筋肉長変化は非作業側の方が作業側より大きくなっているが, 伸縮のタイミングは左右で一致している．サイクル(5)も往路と復路の差が少ない運動であるが, 中切歯はほぼ真下へと動く．サイクル(5)では伸縮幅やタイミングに左右差は見られず, 左右の咀嚼筋群はほぼ一致した動きをしている．サイクル(6)は往復の経路に差が見られる運動であり, 作用側への振れ幅はサイクル(4)と(5)の中間に位置している．筋肉の伸縮幅には左右差が生じているがサイクル(4)ほど顕著ではない．また, 側頭筋の中・後部で伸縮のタイミングに差が見られるが往復の経路が大きく異なる被験者 A のサイクル(2)や(3)のタイミングの差ほどは明確ではない．以上の結果から,

筋肉伸縮幅の左右差は開口時の顎の側方変異に影響しており, 最大伸長のタイミングのずれは, 往路と復路の経路差に影響していることが推察される．

6. 結論

著者らが開発する顎運動表示システムを用いて咀嚼筋群の動態観察を行う手法を開発した．顎関節症患者を含む 4 名の被験者について最大開口運動時の筋肉の動態観察を行った結果, 顎関節症を有していない被験者では筋肉長が滑らかに変化しているのに対し, 顎関節症患者では開口量が最大となる直前と口を閉じ始めた直後に不連続な筋肉長変化が生じる特徴が見られた．

また 2 名の被験者について右歯列での咀嚼運動時の筋肉長変化を測定し, 咀嚼のタイプと筋肉長変化の様子について検討を行った．その結果, 咀嚼筋群の伸縮幅と伸縮のタイミングの左右差が咀嚼の運動型を決定する要因であることが示唆された．

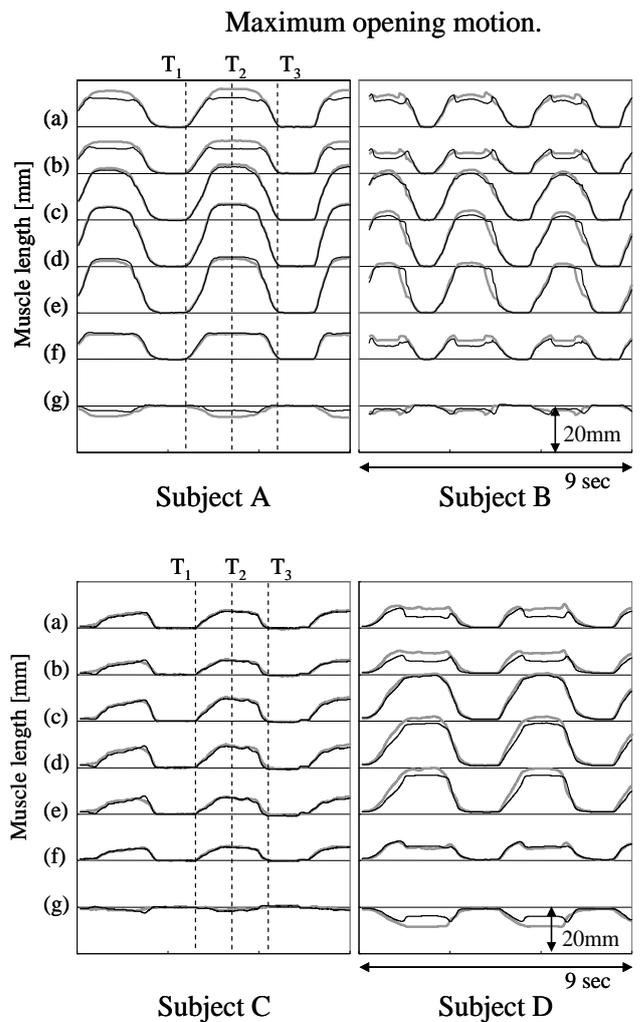
顎関節症の有無や咀嚼のタイプにより筋肉長変化の特徴が異なることから, 顎運動時の筋肉長の情報から咀嚼訓練やリハビリに有用な情報が得られると期待される．

参考文献

- (1) 泉本勝利, 弘津聖也, 内藤一郎, 米原万紀子, 宮本拓, ペトロ ピペック: 連続咀嚼筋電位の測定と解析, 岡山大学農学部学術報告 96 pp.59-63 2007-02
- (2) 小関道彦, 中村基司, 小川尚己, 木村仁, 伊能教夫, 槇宏太郎: 三次元顎運動表示システムを用いた個別顎運動の観察; 顎顔面バイオメカニクス学会誌, Vol.13, No.1, pp.11-17, 2008.
- (3) 大竹義人, 鈴木直樹, 服部麻木, 重田優子, 小川匠, 福島俊士, 小林馨, 内山明彦: 四次元頭部骨格モデルを用いたリアルタイム顎運動解析システム; 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol.88-D-II, No.7, pp.1216-1226, 2005.
- (4) 寺嶋雅彦, 遠藤みずき, 青木義満, 祐田京子, 早崎治明, 後藤多津子, 徳森謙二, 中島昭彦: 口腔機能の四次元的解析システム; 日本顎口腔機能学会誌, Vol.12, No.2, pp.100-109, 2006.
- (5) 齊藤極, 木村仁, 伊能教夫, 小関道彦, 藤川泰成, 浅間雄介, 小川尚己, 槇宏太郎: 個別顎運動表示システムの開発(顎運動の経時

的变化を観察するための画像マッチング手法); 第20回 バイオエンジニアリング講演会 講演論文集, No.09-10, pp.77-78, 2009

- (6) 上条 雍彦: 図説 口腔解剖学 1 骨学(頭蓋学), アナトーム社, 1965.
- (7) 上条 雍彦: 図説 口腔解剖学 2 筋学, アナトーム社, 1966.
- (8) 保母 須弥也 羽賀 通夫, 高山 寿夫: 咬合学, クインテッセンス出版, 1995
- (9) B. Rilo, J. Fernandez, L. Da Silva, A. Martinez Insua, U. Santana; Frontal-plane lateral border movements and chewing cycle characteristics, *Journal of Oral Rehabilitation*, Vol. 28, Issue 10, pp 930-936, 2001
- (10) S. Yamashita, J. P. Hatch, J. D. Rugh; Does chewing performance depend upon a specific masticatory pattern?, *Journal of Oral Rehabilitation*, 26, pp 547-553, 1999
- (11) P Pröschel and M Hofmann; Frontal chewing patterns of the incisor point and their dependence on resistance of food and type of occlusion, *The Journal of Prosthetic Dentistry* Vol. 59, Issue 5, pp 617-624, 1988
- (12) Charles H. Gibbs, Theodore Messerman, James B. Reswick, Harry J. Derda; Functional movements of the mandible, *The Journal of Prosthetic Dentistry*, Vol. 26, Issue 6, pp 604-620, 1971



T₁, T₃: Occlusal position, T₂: maximum opening.

Fig. 4 Muscle length of maximum opening movement. Gray lines show left side muscles and black lines show right side muscles. Subject B and D are diagnosed as having TMD. While subject A and C do not have TMD.

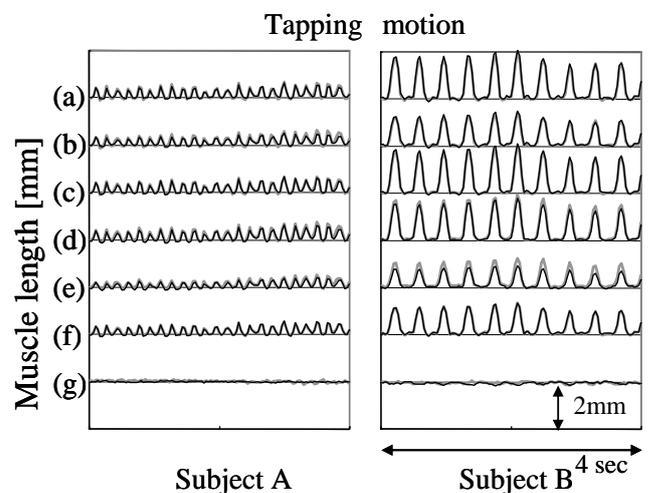


Fig. 5 muscle length of tapping motion.

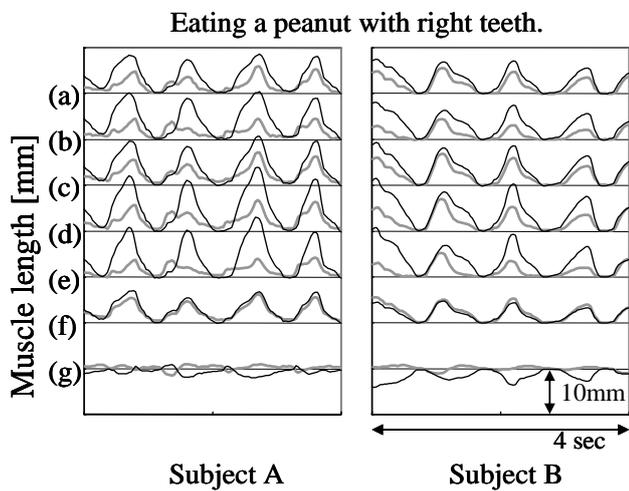
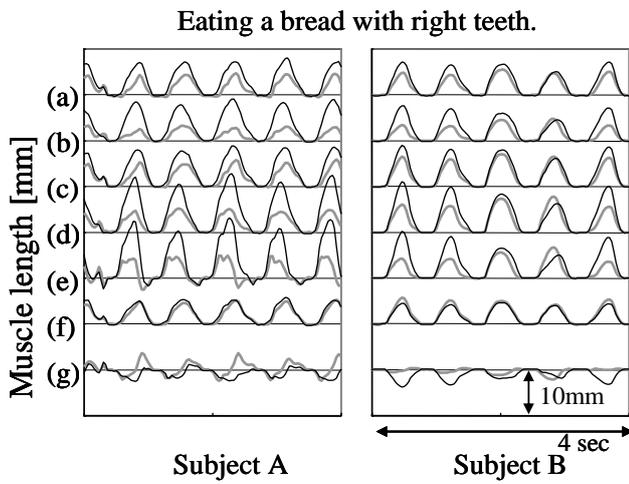
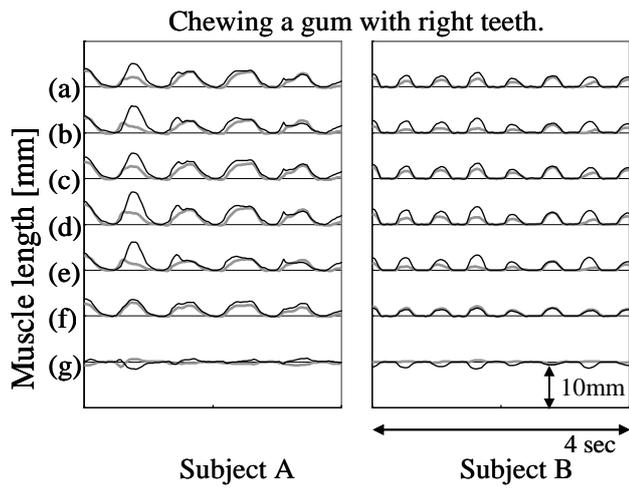


Fig. 6 muscle length of right side mastication.

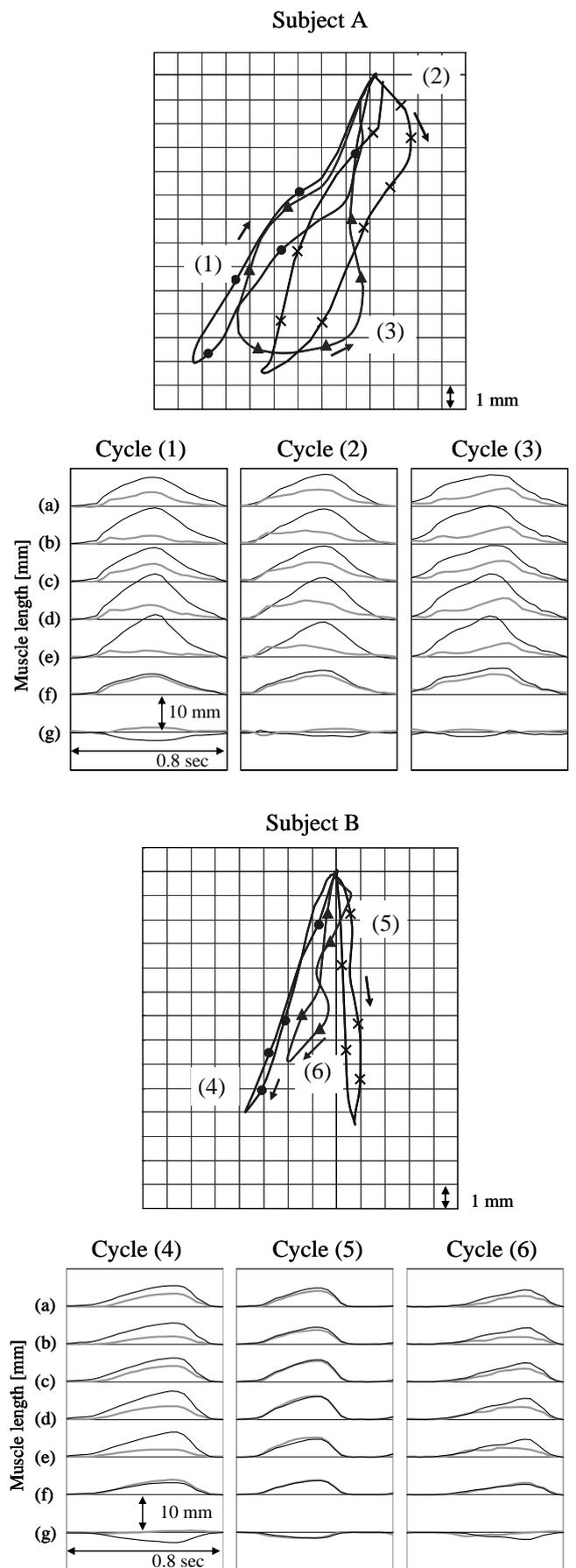


Fig. 7 Motion trajectory an incisor point and muscle length during eating peanuts.