

## 顎反応時間におよぼす顎-頸協調運動の影響

北見修一 宗形芳英 大須賀謙二 古山 昭

Influence of Jaw-neck Coordinated Movement on the Reaction Time of Jaws

Shuichi KITAMI, Yoshiei MUNAKATA, Kenji OHSUGA and Akira FURUYAMA

Previously we reported that the difference between the actual simple reaction time (RT) to three types of sensory stimuli (sound, light, and electric current) and the estimated RT based on the structure of the neural pathways was slightly greater in the case of lower jaw RT than in the case of finger RT. The purpose of this study was to investigate the head movement accompanying the jaw movement in order to clarify the delay appeared in the jaw RT. The jaw movement of 16 healthy subjects was analyzed by monitoring the motion of the mandibular joint with a potentiometer, and the head movement was analyzed by monitoring the motion of an LED reference point fixed on the subject's forehead with a photo sensor. Subjects were asked to respond to a visual signal by opening or closing their jaws as quickly as possible. The main results were as follows ; 1) Neck retroflexion accompanying the jaw opening and neck anteflexion accompanying the jaw closing were recorded in all the subjects. 2) There was a significant correlation between the jaw opening RT and the neck retroflexion RT. 3) There was a significant correlation between the jaw closing RT and the neck anteflexion RT. 4) The jaw opening RT and the jaw closing RT were both shortened by holding the subject's head. 5) The onset of head movement tended to precede the jaw movement among the subjects who could respond more quickly with their heads held.

From these findings, it was suggested that the jaw RT highly correlated with the head RT in its production mechanism, and that the head movement accompanying the jaw movement was triggered by pre-programmed central commands. Further investigation is needed for applying the jaw RT for examination of jaw function.

Key words : reaction time, jaw, jaw-neck coordinated movement

### 緒 言

反応時間 (Reaction time, RT) の測定は反応動作開始における運動系の機構を解析する有用な手段の1つである<sup>1)</sup>。RTは、刺激から主動筋の筋活動開始までの時間 (Premotor time, PMT) と筋活動開始から運動が開始されるまでの時間

(Motor time, MT) に分けられる。前者は運動発現の中枢過程を、後者は末梢過程を反映するといわれている<sup>2)</sup>。これまでに手指や四肢の運動を対象としたRTに関する多くの知見<sup>3)</sup>があり、RTに影響を与える要因として、前者の中枢過程である測定時の集中力・注意力や加齢、疲労などが挙げられている<sup>4)</sup>。前報<sup>5)</sup>で著者らはこのRT測定が

受付：平成25年12月27日，受理：平成26年2月7日  
奥羽大学歯学部口腔機能分子生物学講座口腔生理学  
分野

Division of Oral Physiology, Department of Oral  
Function and Molecular Biology, Ohu University  
School of Dentistry

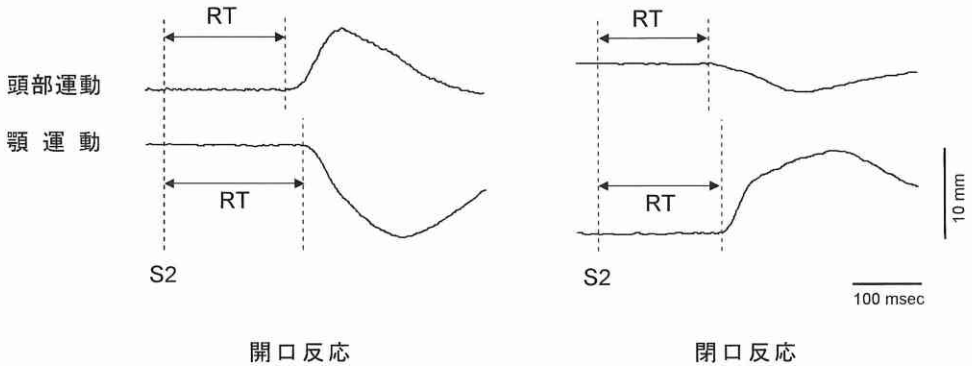


図1 反応時間の測定部位  
 S2: 刺激時点 RT: Reaction time

顎機能検査の指標として利用可能かどうかを検討することを目的に開口 RT の解析を行った。その結果から、多くの被験者で音、光、皮膚刺激に対する開口 RT が同刺激による指屈曲 RT に比べ、その発現経路から想定される時間よりも延長することが分かった。開口 RT が延長する要因の1つとして、顎二腹筋前腹の筋活動開始から開口運動開始までの MT が指屈曲時の MT に比べ約 15msec 長いことを明らかにした。しかしながら、MT の違いだけではなく中枢過程での遅延をも考慮しなければならないほど開口 RT が延長する被験者が多く存在した。運動発現の中枢過程での違いを探るためには、次の2つの要因についての検討が必要と考えられる。第1は上述した測定時の集中度・注意力の違いを測定することである。第2は運動発現に関わる動筋群の挙動を探ること、すなわち手掌を固定して行う指屈曲運動が比較的単純な屈曲運動なのに対して、下顎運動が頭頸部運動を伴う複雑な運動であるため、中枢での運動プログラムの違いが考えられるからである。

そこで、本研究では第2の要因に着目し下顎運動と随伴する頭頸部運動の同時測定を行うことで両者の比較を行うとともに、頭部固定が下顎反応運動に及ぼす影響について検討した。

## 研究方法

### 1. 研究対象

被験者は、顎口腔および頭頸部に機能異常を認

めない者のうち、奥羽大学倫理審査委員会の承認（受付番号：57）のもとで書面により研究の主旨を十分に説明して、理解と同意の得られたボランティアの健常成人16名（男性11名、女性5名、平均年齢23.7歳）である。

### 2. 感覚刺激の発生方法

反応を誘発させるため感覚刺激として LED 点灯による光刺激を用いた。光信号は電気刺激装置（3F46, NEC 三栄, 東京）からの持続時間1 msec の電気信号により LED 光源を点灯させた。被験者毎に光信号が無理なく見える明るさになるように刺激強度を調節した。

### 3. 反応動作の導出方法

頭部運動の記録には、ポジションセンサ（C2399, 浜松ホトニクス, 浜松）を用いた。被験者に装着させた眼鏡フレームのブリッジ部に標点を貼付し、標点からの近赤外光を被験者の前方に設置したセンサーヘッドで捉え、標点の位置変化をコントローラ部で電気信号に変換した。一方、下顎運動の記録には角度トランスデューサ（CP-3M, 緑測器）を利用した。右側顎関節の直上部にこの測定器が位置するよう眼鏡フレームの右テンプルに取り付け、自作の金属アームを介して下顎骨の変位を記録した。導出した2種類の運動出力は A/D コンバータ（PowerLab/8s, AD Instruments, Colorado Springs, USA）にてサンプリングレート1 msec で A/D 変換後、パーソナルコンピュータ（Macintosh PowerBook G3,

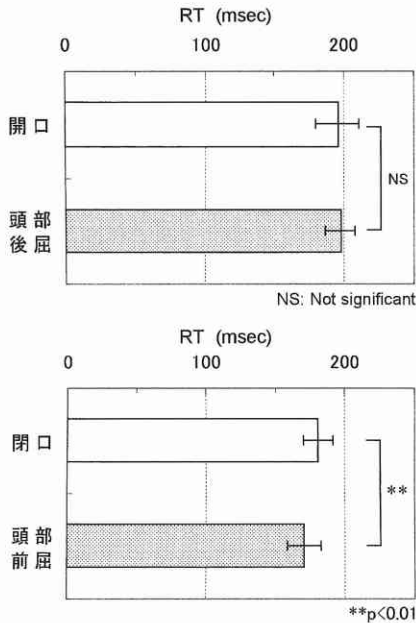
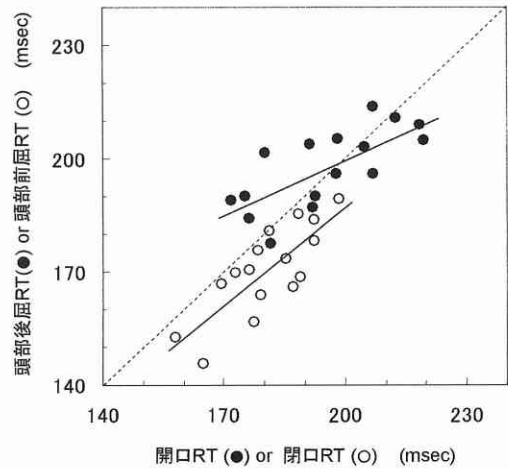


図2 閉口RTと頭部後屈RTおよび閉口RTと頭部前屈RTの比較



Apple Computer Inc., Cupertino, USA) に入力した。データ解析は PowerLab 付属の解析用ソフトウェア (Scope 3.9.2, AD Instruments, Colorado Springs, USA) で行った。

#### 4. 単純 RT の測定

単純 RT とは、感覚刺激に特別な意味を持たせず、単に刺激に対して簡単な動作で反応するように指示した場合の RT である。

実験者が被験者の視野に入らないように位置し、被験者が気を散らさない環境で測定を行った。実験中は被験者の正面に設置した LED 光源を凝視し、光が点灯したら素早く反応するように指示した。反応課題は閉口、閉口の2種類で、前者の課題では軽く咬合した状態での待機を、後者の課題では10mm程度開口しての待機を指示した。また、正面の光源の位置を上下に調整しながら、無理のない頭位姿勢で実験できるように配慮した。さらに、頭位を前後的に規制した際の影響を調べるために、被験者前方に設置した固定台にゴム製の円形枕 (直径30mm) 2個を並べて配置し、前額部をこの枕にしっかりと押し付け頭位を固定するように指示した。この際、固定前後で実験時の頭位

が変化しないように固定台の位置を調整した。

単純 RT の測定には心理学実験用の刺激呈示プログラム (EXPLAB, 八千代出版, 東京) による予期的反応時間課題を利用した。予告のための第1刺激として小さなピーブ音を、反応指示のための第2刺激として上記の光刺激を用い、第1刺激と第2刺激の間隔は1~2秒の間でランダムに設定した。光刺激による単純 RT の測定は、10秒間隔で各シリーズ12回ずつ測定した。測定に際し、測定方法に慣れるために5回程度予備的に練習してから本実験に移った。2種類の反応課題について頭位を規制しない条件と、頭位を固定した条件のそれぞれで、合計で4シリーズの測定を行った。各シリーズの順序は被験者間でランダムとした。

#### 5. データ解析

統計処理には、統計用解析ソフト (StatView 4.5, SAS JAPAN, 東京) を使用した。対応のある2群の平均値の差の検定には Paired *t*-test を用いた。2群の対応関係の分析には直線回帰を用いた。

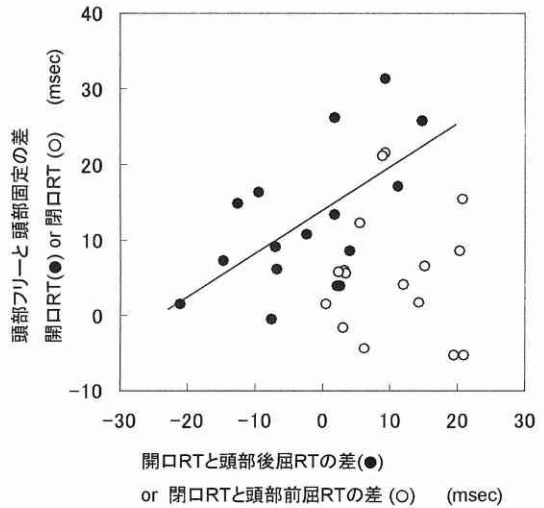
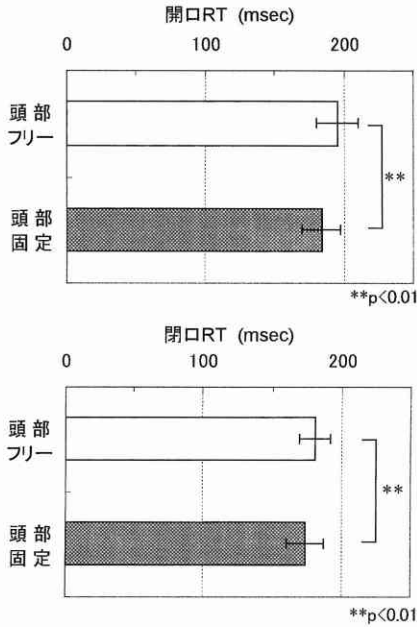


図3 開・閉口RTにおよぼす頭部固定の影響

### 結果

#### 1. 開口RTと閉口RTの比較

図1は、光刺激による反応動作の代表例で、左が開口反応時、右が閉口反応時を表している。上段の波形は頭部運動波形で、上方が後屈方向を下方が前屈方向を表している。下段の波形は下顎運動波形で、上方が閉口方向を下方が開口方向を表している。図中のS2は反応指示のための刺激時点を表し、RTはそれぞれS2の提示から運動開始までの単純RTを示している。すべての被験者で開口反応時に頭部後屈運動が随伴し、閉口反応時に頭部前屈運動が随伴したため、開口反応時には頭部後屈RTを、閉口反応時には頭部前屈RTをそれぞれ測定対象とした。

図2左上は、開口RTと頭部後屈RTの16名の平均値と標準偏差を表した棒グラフである。9名の被験者では開口RTが頭部後屈RTよりも長く、残り7名の被験者では逆に頭部後屈RTが開口RTよりも長いため、両RTの平均値に有意な差は認められなかった (Paired *t*-test,  $p>0.05$ ,

$N=16$ )。図2左下は、閉口RTと頭部前屈RTの16名の平均値と標準偏差を表した棒グラフである。すべての被験者で頭部前屈RTの方が閉口RTよりも短く、両RTの平均値に有意な差が認められた (Paired *t*-test,  $p<0.01$ ,  $N=16$ )。開口RTと閉口RTの比較では、11名の被験者で開口RTが長く、残り5名で閉口RTの方が長く個人差が認められたが、16名の平均値では開口RTが閉口RTよりも14.2 msec長く、有意な差が認められた (Paired *t*-test,  $p<0.01$ ,  $N=16$ )。頭部後屈RTと頭部前屈RTの比較では、すべての被験者で頭部後屈RTの方が長く、16名の平均値で頭部後屈RTと頭部前屈RTの差が27.2msecとなり、有意性が認められた (Paired *t*-test,  $p<0.01$ ,  $N=16$ )。

図2右は、横軸に開・閉口RTを縦軸に頭部後・前屈RTを、16名の被験者についてプロットしたグラフである。図中の黒丸は開口反応時の開口RTと頭部後屈RTとの対応関係を、白丸は閉口反応時の閉口RTと頭部前屈RTとの対応関係を表している。また、図中の破線は開・閉口RTと

頭部後・前屈 RT が等値になる直線を表している。開口 RT が長い被験者ほど頭部後屈 RT も長く、両者の間で有意な正の相関関係 ( $r=0.729$ ,  $p<0.01$ ,  $N=16$ ) が認められた。同様に、閉口 RT が長い被験者ほど頭部前屈 RT が長くなり、両者の間で有意な正の相関関係 ( $r=0.799$ ,  $p<0.01$ ,  $N=16$ ) が認められた。

## 2. 頭部固定による影響

図3は、開口 RT と閉口 RT が頭部固定の有無でどのように変化するかを比較した結果である。図3左上の開口 RT では、頭部固定により RT が短縮する者が16名中15名、延長する者が1名で、16名の平均値に有意な差が認められた (Paired  $t$ -test,  $p<0.01$ ,  $N=16$ )。図3左下の閉口 RT においても、頭部固定により RT が短縮する者が16名中12名、延長する者が4名で、16名の平均値に有意な差が認められた (Paired  $t$ -test,  $p<0.01$ ,  $N=16$ )。頭部固定による RT 短縮は、16名の平均値で開口 RT が11.6 msec, 閉口 RT が7.1 msec となり、開口 RT の短縮傾向が著しかったが有意な差は認められなかった (Paired  $t$ -test,  $p>0.05$ ,  $N=16$ )。

図3右は、横軸に開・閉口 RT から頭部後・前屈 RT を引いた差を縦軸に頭部固定による RT の変化を、16名の被験者についてプロットしたグラフである。横軸のプラス方向は頭部運動が顎運動より先行することを、マイナス方向は逆に顎運動が頭部運動より先行することを意味する。また、縦軸のプラス方向は頭部固定によって RT が短縮したことを、マイナス方向は頭部固定によって RT が延長したことを意味する。図中の黒丸は開口反応時の開口 RT と頭部後屈 RT の差と頭部固定による開口 RT の変化との対応関係を、白丸は閉口反応時の閉口 RT と頭部前屈 RT の差と閉口 RT の変化との対応関係を表している。頭部後屈が開口に先行する被験者ほど頭部固定によって開口 RT が短縮し、両者の間で有意な正の相関関係 ( $r=0.577$ ,  $p<0.05$ ,  $N=16$ ) が認められた。同様に、頭部前屈が閉口よりも大きく先行する被験者ほど頭部固定による閉口 RT の短縮傾向がわずかに認められるが、両者の間で有意な相関関係は認められなかった。

## 考 察

反応時間 (RT) とは、生体に刺激が与えられてからその刺激に対する外的に観察可能な反応が生じるまでの時間である。特に、ヒトが何らかの知覚・認知課題を遂行する際の、随意的行動による反応であり、RT は刺激の入力から反応の出力までに起こる種々の処理過程を総体として反映する指標である。それらの処理過程は刺激の知覚、判断や反応選択、反応の運動実行の3段階に分けられ、いずれもが RT に影響を及ぼしうる。前報<sup>9)</sup>で著者らは RT 測定が顎機能検査の指標として利用可能かどうかを検討することを目的に、これまでに他分野で明らかにされてきている手指 RT との比較を行い、顎 RT の生理的な特徴の解析を行った。その結果、多くの被験者で音、光、皮膚刺激に対する開口 RT が同刺激による指屈曲 RT に比べ、その発現経路から想定される時間よりも延長することが確かめられた。開口 RT が延長する理由として、上記の刺激の知覚過程は共通で除外できるため、判断と運動実行に関わる要因を想定した。第1は各種刺激に反応して手指を動かすことは日常的で慣れているのに対して、ある刺激に反応して下顎を動かすことは非日常的で不慣れであること、つまり的確な判断のために時間を要する点について、第2に手掌を固定して行う指屈曲運動が比較的単純な運動なのに対して、開口運動が頭部運動を伴う複雑な運動であること<sup>9)</sup>、つまり運動実行に時間を要する点についてである。本研究では、第2の要因に着目し下顎運動と頭頸部運動の同時測定を行うことで両者を比較するとともに、頭部固定が下顎反応運動に及ぼす影響について検討した。

### 1. 開口反応運動時の結果について

図2右 (黒丸) の結果から、開口 RT と頭部後屈 RT との間に有意な相関を認めた。この結果は、開口 RT が長い被験者ほど頭部後屈 RT が長くなっていることを意味し、開口運動の開始が頭部後屈運動の開始と密接に関連していることを示している。音刺激に対する下顎随意反応運動について運動時の顎二腹筋筋腹と胸鎖乳突筋の筋活動開始時期を比較した研究<sup>7)</sup>においても同様に、すべ

ての被験者内で強い相関を認めている。また、急速な随意開口運動に随伴する頭部後屈運動の役割を調べた研究<sup>9)</sup>では、頭部後屈運動の動筋である胸鎖乳突筋の活動開始が開口運動開始よりも先行するという結果から、随伴する頭部後屈運動が開口運動に伴った末梢からの感覚情報による反射性活動ではなく、中枢において予めプログラムされた筋活動であると推察している。

さらに、図2右(黒丸)の結果は開口RTが長い被験者の多くで開口RTが頭部後屈RTよりも長くなる傾向があり、逆に開口RTが短い被験者の多くで開口RTが頭部後屈RTよりも短くなる傾向があることを示している。半数の被験者でみられた開口直前に出現する頭部後屈が、スムーズな開口を行う上で必須であり、中枢において頭部を後屈してから次に開口するというプログラムが予め決められていると仮定したならば、頭部固定によって開口RTが短縮する可能性がある。図3右(黒丸)の結果は頭部後屈が開口に先行する被験者の多くで頭部を固定することで開口RTが大きく短縮したことから、上記の考えが支持される。しかしながら、開口が頭部後屈に先行する被験者でも同様に頭部の固定で開口RTの短縮が認められることから、他の要因の関与も考慮しなければならない。

## 2. 閉口反応運動時の結果について

図2右(白丸)の結果から、閉口RTと頭部前屈RTの間に有意な相関が認められた。閉口反応時にはすべての被験者で頭部前屈が閉口よりも先行し、16名の平均値において両者の間で有意な差が認められた(図2左下)。光刺激の合図でゴムブロックを咬合させた際にも、同様に閉口運動に先行した頭部前屈運動が観察されている<sup>9)</sup>。閉口反応と同様に、中枢において予め頭部前屈から閉口というプログラムが決められていると仮定したならば、頭部固定による影響は、閉口RTと頭部前屈RTの差が大きいほど大きくなり閉口RTが大きく短縮すると想定される。しかしながら図3右(白丸)に示されるように、閉口RTと頭部前屈RTの差と頭部固定による閉口RT短縮度との間には相関が認められなかった( $r=0.215$ ,  $p>0.05$ ,  $N=16$ )。この結果は、頭部固定による閉

口RTの短縮が、先行する頭部前屈の影響以外の別の要因も関係することを示している。

## 3. 急速な下顎運動時に随伴する頭部運動の生理的意義について

意図したとおりに運動が実現されるためには、目標に向かって身体各部からの感覚入力によりフィードバック制御が行われることが不可欠であり、多くの運動制御がこのような反射機構によって行われている。ところが、立位で可能な限り素早く上肢挙上運動を行うような場合には、主動筋の筋活動開始に先行して下肢の筋に筋活動がしばしば認められる<sup>9,10)</sup>。このような動筋活動に先行する姿勢筋の活動は中枢において予めプログラムされた活動と考えられている。本実験のような短時間で終了するような急速運動では、運動開始に先立って予め運動過程を決めておくフィードフォワード補償の必要性があり、中枢での運動プログラムによって遂行されると考えられる。顎機能時の頭位調節機構に中枢における運動プログラムによるフィードフォワードが存在することが報告されている<sup>11)</sup>。運動プログラムとは過去の経験(運動学習)に基づき、姿勢調整と運動を生じさせる中枢神経系内部の通信であり、意図的運動に伴う姿勢変化に必要な協同筋活動もプログラムされている。本研究における下顎運動に先行した頭部運動は、意図した下顎運動を敏速にかつ円滑に遂行しうるように頭位のフィードフォワード制御を行なうためのものであると考えられる。ただ、日常あまり行われていない運動については運動学習が行われていないために円滑な筋活動パターン(運動プログラム)が構成されていないという報告がある<sup>11)</sup>。閉口反応運動ではすべての被験者で先行する頭部前屈運動が認められたのは、タッピング運動や咀嚼運動に代表されるように日常的な運動であり、運動学習が進んだ運動であることによると考えられる。それに対して、閉口反応運動は日常あまり行われる運動ではないために頭位調節のための協同筋活動が確実に中枢においてプログラムされている被験者が少なかったのではないかと推察される。これらの点を明らかにするためには、前述の第1の要因である慣れや判断といった脳内プロセスについて検討する必要がある。

## 結 論

顎口腔および頭頸部に機能異常を認めない健康成人16名を被験者として、光刺激による RT を下顎運動と随伴する頭部運動との同時測定で比較するとともに、頭部固定による開・閉口 RT への影響について検討を行った結果、以下の結論を得た。

1. すべての被験者で開口反応時に頭部後屈運動が随伴し、閉口反応時に頭部前屈運動が随伴した。

2. 開口 RT が頭部後屈 RT よりも長い被験者が9名、逆に頭部後屈 RT が開口 RT よりも長い被験者が7名で、両 RT の平均値に有意な差は認められなかった。

3. すべての被験者で頭部前屈 RT の方が閉口 RT よりも短く、両 RT の平均値に有意な差が認められた。

4. 開口 RT が長い被験者ほど頭部後屈 RT も長く、両者の間で有意な正の相関関係が認められた。

5. 閉口 RT が長い被験者ほど頭部前屈 RT も長く、両者の間で有意な正の相関関係が認められた。

6. 開口 RT、閉口 RT とともに頭部固定で短縮する被験者が多く、16名の平均値で有意な差が認められた。

7. 頭部後屈が開口に先行する被験者ほど頭部固定による開口 RT の短縮が著しく、頭部後屈 RT と開口 RT の差と頭部固定による開口 RT 短縮度との間に有意な相関関係が認められた。

8. 頭部前屈 RT と閉口 RT の差と頭部固定による閉口 RT 短縮度との間には有意な相関関係は認められなかった。

以上、多くの被験者で観察された下顎反応運動に先行する頭部運動が、意図した下顎運動を敏速にかつ円滑に遂行しうるように頭位のフィードフォワード制御を行うためのものであることが確

かめられた。

## 文 献

- 1) Chocholle, R. (萬代敬三訳)：反応時間. 現代心理学Ⅲ；87-185 白水社 東京 1971.
- 2) 佐々木和夫, 本郷利憲：運動の生理学. 新生理学大系 (星 猛, 伊藤正男総編集) 第10巻；93-101 医学書院 東京 1988.
- 3) 中村隆一：3. 反応時間. 臨床運動学 (中村隆一編) 第3版；250-312 医歯薬出版 東京 2002.
- 4) Weiss, A. D. : The locus of reaction time change with set, motivation and age. *J. Grontol.* **20** ; 60-64 1965.
- 5) 北見修一, 宗形芳英, 大須賀謙二, 古山 昭：反応時間法を使ったヒト顎運動の解析. *奥羽大歯学誌* **40** ; 45-52 2013.
- 6) 宗形芳英, 辻 満, 鈴木勝人：咬合部位の違いが咬合時の頭部運動におよぼす影響. *奥羽大歯学誌* **28** ; 337-348 2001.
- 7) 長砂 孝, 田中昌博, 鍋島竜将, 柏木宏介, 川添亮彬：急速な下顎随意運動時における胸鎖乳突筋の筋活動開始時期について. *顎機能誌* **1** ; 141-150 1994.
- 8) Torisu, T., Yamabe, N., Hashimoto, T., Yoshimatsu, T. and Fujii, H. : Head movement properties during voluntary jaw movement in humans. *J. Oral Rehabil.* **28** ; 1144-1152 2001.
- 9) Lee, W. A. : Anticipatory control of postural and task muscles during rapid arm flexion. *J. Motor Behavior.* **12** ; 185-196 1980.
- 10) 小宮山伴与志, 笠井達哉：上肢拳上反応動作に伴う大腿および腰部筋群の筋放電開始順序. *姿勢研究* **9** ; 15-23 1989.
- 11) Christensen, L. V., Carr, A. B. and Donegan, S. J. : Observations on the motor control of brief teeth clenching in man. *J. Oral Rehabil.* **18** ; 15-29 1991.

著者への連絡先：宗形芳英, (〒963-8611) 郡山市富田町字三角堂31-1 奥羽大学歯学部口腔機能分子生物学講座口腔生理学分野

Reprint request : Yoshie MUNAKATA, Division of Oral Physiology, Department of Oral Function and Molecular Biology, Ohu University School of Dentistry 31-1 Misumido, Tomita, Koriyama, 963-8611, Japan