

顎反応時間の特徴と関連する脳機能の解析

奥羽大学歯学部口腔機能分子生物学講座

北 見 修 一

(指導教員：宗 形 芳 英)

Characteristics of Jaw Reaction Time and Its
Relationship to Brain Function

Department of Oral Function and Molecular Biology,
Oju University, School of Dentistry

Shuichi Kitami

(Director : Yoshiei Munakata)

Abstract

Motor task performance of the jaw and finger was investigated by comparing simple reaction time (RT) and brain activity relating to contingent negative variation (CNV) in 20 healthy subjects. Movement of the jaw and finger was analyzed by monitoring the motion of LED reference points fixed on the subjects' chin and fingertip with a photo sensor. Electroencephalogram was recorded from Cz referred to the ear. To investigate the effect of voice production on jaw RT, vocal RT was recorded by a microphone. Subjects were asked to respond to a visual signal by opening their jaws with or without voice production, and by flexing their fingers as quickly as possible. The main results were as follows: 1) jaw RT was longer than finger RT, and the amplitude of jaw CNV was smaller than that of finger CNV; 2) the longer the difference between jaw RT and finger RT, the lesser the amplitude of jaw CNV in comparison with that of finger CNV; 3) in subjects who could respond more quickly by voice production, the amplitude of vocal CNV increased more than that of jaw CNV; and 4) learning effect was observed only in jaw RT. These findings suggest that the shortening of RT is significantly related with an increase in CNV amplitude, and that jaw RT is closely related to the subjects' concentration and learning levels. Therefore, the measurement of jaw RT may be useful for examining jaw function.

Key words: reaction time, jaw, examination of jaw function

和文抄録

20名の健常成人を被験者として、単純反応時間（RT）と脳活動である随伴陰性変動（CNV）との比較から、顎と指の運動機能動作について解析した。顎運動と指運動の記録は、被験者のオトガイ部と指先に設置したLEDの動きをフォトセンサでモニターして行った。脳波は頭皮上のCzから耳朶を基準に記録した。顎RTに対する発声の影響を調べるために、マイクロホンを用いて音声RTを記録した。光刺激に対してできるだけ素早く開口、発声を伴う開口、指屈曲のいずれかの動作を行うよう被験者に指示した。結果は次の通りである。1）開口RTが指屈曲RTよりも長く、開口CNVの大きさが指屈曲CNVよりも小さかった。2）指屈曲RTと開口RTの差が大きい被験者ほど、指屈曲CNVに対する開口CNVの減少率が増した。3）発語RTが開口RTより短縮した被験者では、発語CNVが開口CNVよりも増大した。4）学習効果が開口RTにのみ認められた。これらの結果はRTの短縮がCNVの増大と有意に関連することと、顎RTが被験者の集中力や習熟度に密接に関連することを示唆している。それゆえ、顎RT測定が顎機能検査に有用と考えられる。

緒 言

近年の計測機器の発達に伴って随意運動の定量的検査が行われるようになった。対象となる随意運動は示指の屈伸，足関節の屈伸など比較的単純な純粹の随意運動である。随意運動の検査においては運動神経の出力機構のみではなく，意欲，判断，注意，疲労などが関与する¹⁾こととなり，これらを配慮して実験計画を立て，結果の解釈をしなければならない。ヒトの随意運動の研究に用いる要素の1つに反応時間（Reaction time; RT）^{2~20)}がある。音や電球点灯による光刺激など，簡単な感覚刺激に対してボタン押しや手足の屈伸などの単純な動作で素早く反応させる作業において，刺激から反応までの時間を単純 RT という。単純 RT に関わる神経過程は，感覚過程→感覚認知→中枢処理→運動実行というように順序だてて行われる¹⁾。

著者らは RT 測定を顎機能検査の指標として利用することを目的に，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てきた。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していた²¹⁾。開口 RT が延長する原因を探るためには，刺激の感覚過程は指屈曲 RT の場合と共通で除外できるため，中枢処理および運動実行に関わる要因についてそれぞれ解析することが必要である。前報²²⁾では，運動実行に関わる要因に着目した。つまり，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，顎運動が頭頸部運動を伴う複雑な運動であるため，運動実行に要する時間が延長するものと想定し下顎運動と頭頸部運動の同時

測定を行った。その結果，多くの被験者で顎反応運動に先行する頭頸部運動が観察され，ヘッドバンドにより被験者の頭部を枕に固定し頭頸部運動を抑制することで開口 RT が短縮した。

各 RT における標準偏差 (SD) を比較すると，指屈曲よりも開口で大きく，開口 RT の SD が頭部固定で縮小した。RT における SD の大きさは課題遂行における集中度に逆相関する^{1,23,24)}とされ，集中度の指標となりうることから，開口 RT がその発現経路から想定される時間よりも延長した理由として，感覚刺激に対して開口反応動作の遂行時の集中度について検証する必要がある。つまり，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，刺激に反応して下顎を動かすことが非日常的で不慣れであり，的確な判断のために時間を要するために延長した可能性が考えられるからである。一般に頭部固定によって集中力が増大する²⁵⁾といわれており，開口 RT の SD も縮小したことから裏付けられる。

今回は，開口 RT が指屈曲 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要因として，反応動作直前の集中度の差が重要と考えられるため，脳内情報処理過程の指標として随伴性陰性変動 (Contingent Negative Variation; CNV)^{26~37)}を用いて顎反応運動に及ぼす影響について解析した。さらに，反応動作時にかげ声などの自発性発声を伴うと RT が短縮する^{38~41)}ことが報告されていることから，本研究では，光刺激による開口 RT の測定に加えて，発語を伴った開口 RT を測定し，両者の比較から開口 RT に及ぼす発語の影響を解析した。

研究方法

1. 研究対象

健常成人 20 名（男性 18 名，女性 2 名，平均年齢 24.1 歳）を被験者とした。視覚，聴覚，顎・手指運動機能および発語機能に自覚的ならびに他覚的な異常を認めないことを選択基準に，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各被験者に説明し，同意書に署名を受けてから実施した。

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図 1 A に示すように光刺激を用いた。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. 反応動作の記録方法

手指屈曲運動および開口運動の記録は，既報²¹⁾での記録法に準じポジションセンサ（C2399，浜松ホトニクス，浜松）を用いて行った。この装置は，標点 LED，受光素子を内蔵したセンサーヘッド部およびコントローラ部から構成されている。図 1 A に示すように，被験者の利き腕の示指先端部とオトガイ中央部に標点を貼付し，標点からの近赤外光を被験者の右側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。

4. 発語時の音声記録方法

発語時の音声を，ダイナミック型マイクロホン（DM-H500，AIWA，東京）で採集し，音声増幅器（MX-70E，SONY，東京）によって増幅した。ポップノイズを軽減するためにポップガードを使用した（図 1 A）。本研究では、

予備実験で「カ」、「タ」、「ナ」3語のうち、最も RT の短縮が大きかった「カ」を発語音として選択した。

5. 脳波の記録方法

国際 10-20 法に従い、頭皮上の Cz に Ag/AgCl 電極を装着し、両耳朶連結を基準電極として、脳波計 (Neurofax, EEG-5410, 日本光電, 東京) により導出した (図 2 A)。CNV (随伴陰性変動) 測定のための設定条件は、high cut frequency 30Hz, 時定数 0.3 秒とした。

6. 単純 RT の測定方法

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動作を行うように指示した。反応課題は指屈曲、開口および発語の3種で、指屈曲課題では示指を伸展させ手置台から約 50mm 離れた位置で、開口課題および発語課題では軽く咬合した状態での待機を指示した。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。単純 RT 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、予告のための第 1 刺激 (S1) として持続 10 ミリ秒の小さなピープ音を、反応指示のための第 2 刺激 (S2) として上述の光刺激を用いた。最初に単純 RT の記録を行った。被験者に光刺激の時点 (S2) が予知されないように、S1 と S2 の間隔を 1 ~ 2 秒の間でランダムに設定し 5 秒間隔で連続 20 回記録した。発語課題では発語時の音声を同時記録した。3 種類の反応課題の順序は被験者間でラ

ンダムとした。記録を始める前に、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。

3 課題の単純 RT の記録終了後 10 分間休憩した。休憩後、脳波測定用の電極を装着し単純 RT 測定中の CNV を記録した。CNV の記録には、同一区間の複数回の加算が必要なことから、S1 と S2 の間隔を 1 秒に固定し、5 秒間隔で連続 30 回試行した。3 種類の反応課題の順序は被験者間でランダムとした。

導出した運動、音声および脳波出力は 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 G4, Apple Computer Inc., Cupertino, USA) に入力した。データ収集および演算処理は 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。

7. データ解析方法

図 1 B は RT 測定部位を「カ」発語時の一例で表した。上から順に音声波形と顎運動波形であり、図中の S2 は反応指示のための光刺激時点である。音声出現時点および開口の開始時点をそれぞれ音声 RT, 発語 RT とした。JV は音声 RT と発語 RT との時間差である。なお、発語を伴わない場合での開口開始時点は、既報^{21, 22)}と同様に開口 RT と表記した。

図 2 B は光刺激による指屈曲反応動作と随伴する脳波の測定例である。上から順に脳波と運動波形を、それぞれ 30 回平均加算処理後の波形で表した。図中の S1 は予告音で、S2 は光刺激時点を表している。CNV の評価は通法に従い、S1 で惹起される P300 成分の影響を受けない、S1 から 450msec 後の時点から S2 開始時までの区間の、

図中で塗りつぶした領域の面積の大きさから行った。指屈曲 CNV と開口 CNV および開口 CNV と発語 CNV の比較には CNV 変化率を利用した。すなわち，指屈曲 CNV と開口 CNV 間の CNV 変化率では開口 CNV から指屈曲 CNV を引いた値を指屈曲 CNV で割った値から，開口 CNV と発語 CNV 間の CNV 変化率は発語 CNV から開口 CNV を引いた値を開口 CNV で割った値からそれぞれ算出し % 表示した。

8. データ処理

平均値を代表値として用いる分析を行うとき，1つの大きな外れ値で平均値が大きく変わることがあり，実験の効果が代表値に正確に反映されなくなる。RT における外れ値の取り扱いでは従来より標準偏差を基準にした外れ値の棄却が最も多く用いられている^{42,43)}ので，本研究では標準偏差の3倍を基準に外れ値の棄却を行った。

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。対応の無い被験者群間の差の検定には，Mann-Whitney の U 検定を用い 5 % を有意水準とした。対応のある被験者群間の差の検定には，対応のある *t*-検定を用い 5 % を有意水準とした。

結 果

1. 反応動作の違いによる RT と CNV の比較

図 3 A 左は，光刺激による指屈曲 RT と開口 RT について 20 名から得られた測定値の平均値と標準偏差を表した棒グラフである。各被験者での測定値は 20 回試行の平均値である。すべての被験者で開口 RT の方が指屈曲 RT よりも長く 20 名の平均値に有意な差が認められた

(対応のある t -検定, $p < 0.01$, $N = 20$)。一方, CNV の大きさについては, 図 3 B に示すように, すべての被験者で指屈曲動作前に現れた CNV (指屈曲 CNV) の方が開口動作前の CNV (開口 CNV) よりも大きく 20 名の平均値に有意な差が認められた (対応のある t -検定, $p < 0.01$, $N = 20$)。次に, 指屈曲 RT と開口 RT との差を算出し, 図 3 A 右のヒストグラムで示した結果から, 20 名の被験者を差の小さい群 (Small 群) 10 名と大きい群 (Large 群) 10 名の 2 群に分け, 指屈曲 CNV から開口 CNV への CNV 変化率を比較した。図 3 C に示すように Large 群の減少率が Small 群のそれよりも大きく有意な差が認められた (Mann-Whitney の U 検定, $p < 0.05$, $N = 10$)。

2. 開口 RT に及ぼす発語の影響

開口反応動作の際に発語を伴った場合の影響を, 発語なし開口反応動作との比較から検討した。図 4 A は「カ」発語時の発語 RT と図 3 A に示した開口 RT について, 20 名の被験者から得られた結果である。図中の太線は 20 名の平均値を結んだ直線である。開口 RT の平均値と発語 RT のそれとの間に有意な差は認められなかった (対応のある t -検定, $p > 0.05$, $N = 20$)。被験者内の比較では, 発語 RT が開口 RT より短縮する被験者 (図中, 細い直線で表示) が 10 名で, 残りの 10 名 (図中, 細い破線で表示) では発語 RT が開口 RT より延長した。図 4 B は「カ」発語時の CNV (発語 CNV) と図 3 B に示した開口 CNV について, 20 名の平均値と標準偏差を表した棒グラフである。発語 CNV の方が開口 CNV よりも大きく 20 名の平均値に有意な差が認められた (対応のある t -検定, $p < 0.01$, $N = 20$)。次に, 発語 RT が開口 RT より短い被験者 10 名を短縮群とし, 発語 RT が開口 RT より長い被験者 10 名を延長群として, この 2 群の間で開口 CNV から発語

CNV への CNV 変化率を比較した。図 4 C に示すように、短縮群の増加率が延長群のそれよりも大きく有意な差が認められた (Mann-Whitney の U 検定, $p < 0.05$, $N = 10$)。

3. 試行経過による RT, CNV の推移

RT では、全 20 回の試行を前半 10 回 (Ant) と後半 10 回 (Post) の 2 期に分け、CNV では、全 30 回の試行を前半 15 回 (Ant) と後半 15 回 (Post) の 2 期に分けそれぞれ比較した。表 1 左の RT は指屈曲 RT, 開口 RT および発語 RT についてそれぞれ 20 名ずつの平均値と標準偏差を表した結果である。三者ともに Ant よりも Post で短縮傾向が見られたが、指屈曲 RT と発語 RT では有意差が認められず (対応のある t -検定, $p > 0.05$, $N = 20$)、開口 RT でのみ有意差が認められた (対応のある t -検定, $p < 0.05$, $N = 20$)。表 1 右の CNV は指屈曲 CNV, 開口 CNV および発語 CNV について、20 名の平均値と標準偏差を表した結果である。三者ともに Ant よりも Post で増大傾向が見られたが、指屈曲 CNV と発語 CNV では有意差が無く (対応のある t -検定, $p > 0.05$, $N = 20$)、開口 CNV でのみ有意差が認められた (対応のある t -検定, $p < 0.05$, $N = 20$)。

4. 発語 RT と音声波形との比較

図 5 A は、開口 RT, 発語 RT および音声 RT について、図 4 での発語 RT が開口 RT より短い短縮群と発語 RT が開口 RT より長い延長群における各 10 名の平均値と標準偏差を表した棒グラフである。開口 RT では短縮群と延長群との間に有意差を認めなかった (Mann-Whitney の U 検定, $p > 0.05$, $N = 10$) のに対して、発語 RT では短縮群が延長群よりも有意に短くなった (Mann-Whitney の U 検定, $p < 0.05$, $N = 10$)。音声 RT においては同様に短縮群と延長群との間に有意差が認められ (Mann-Whitney の U 検定, $p < 0.01$, $N = 10$)、両群の差は発語 RT よりも拡大した。そ

の結果，図 5 B に示すように発語 RT と音声 RT との時間差である JV においても，短縮群が延長群よりも有意に短くなった（Mann-Whitney の U 検定， $p < 0.05$ ， $N = 10$ ）。

考 察

1. 反応動作の違いによる RT と CNV の比較

高次中枢内での反応・出力が行われるまでの準備状態を反映する指標として運動関連脳電位（movement-related cortical potentials: MRCP）^{44,45)}や事象関連電位の CNV^{26 ~ 37)}がこれまで調べられてきた。CNV は一定間隔で一対の刺激を与え，第 2 刺激（反応刺激）に対して一定の反応（本研究では指屈曲，開口，発語）をさせる予期的反応課題を行わせることにより，第 1 刺激（予告刺激）と第 2 刺激の間に出現する陰性緩電位である。CNV は前期成分と後期成分に大別でき，前期成分は第 1 刺激に対する定位反応を反映し，後期成分は反応刺激に対する注意・予期や運動に対する準備を反映すると考えられている。前期成分は前頭部優位に出現するのに対して，後期成分は中心・頭頂部優位に出現する³³⁾ことから，本研究で Cz から導出したのは主に後期成分である。反応時間（RT）と CNV 振幅との関係の先行研究によると，CNV 振幅と RT に逆相関関係があるといわれている^{27,33,34)}。つまり，素早く反応する際にはその直前の CNV が大きくなり，逆に，反応が遅れると CNV が小さくなる。本研究結果では，開口 RT が指屈曲 RT よりも有意に長く，開口 CNV が指屈曲 CNV よりも有意に小さかった。さらに，指屈曲 RT と開口 RT の差が大きい被験者ほど，指屈曲 CNV に対する開口 CNV の変化率が大きく減少した。CNV

の減少は，光刺激に対する注意・予期や運動に対する準備といった集中力が，不十分であったことを示しており，開口反応動作時の集中力低下が，その発現経路から想定される時間よりも開口 RT が延長した一因と考えられる。

2. 開口 RT に及ぼす発語の影響

反応動作時に発声を伴うと RT が短縮するという報告³⁸⁻⁴¹⁾がある。本研究では，半数の被験者で発語 RT が開口 RT より短縮した。これらの被験者では，同時に発語 CNV の有意な振幅増大が認められた。この結果は反応動作時に発声を伴うことが被験者の集中力を増すことになり RT が短縮したことを示している。それに対して，発語 RT が開口 RT より延長する被験者では，CNV 増大が僅かであり，反応動作時の発声が被験者を集中させる効果は小さく，RT 短縮につながらなかったと考えられる。しかしながら，これらの被験者の中で発語反応動作直前の CNV が減少したのは 2 名だけで，発語 RT の延長を CNV すなわち集中力の要因だけで説明することはできない。後述の発語機能の獲得過程における他の要因について考慮する必要がある。

3. 試行経過による RT, CNV の推移

試行の前半よりも後半の方で RT の短縮傾向があり，特に開口動作でその差が著しいことが解った。また，CNV の推移では，前半よりも後半の方で振幅の増大傾向があり，特にこの傾向は開口動作で著しかった。このことは何らかの刺激や合図に対して俊敏に開口しようとする動作が指屈曲動作に比べて日常的な経験が不足しているため，試行が進んだ後半で練習による短縮効果^{46,47)}が現れてきたと考えられる。つまり前述の集中力に加え習熟度が RT 遅速の要因として挙げられる。発語 RT については，開口動作で共通しているものの，開口 RT と違って試行

経過での有意な変化がなく，発語 CNV でも有意な変化がなかった。発声発語器官は元来，摂食のための器官であり，咀嚼・嚥下に関わる運動パターンを基盤として，これを高次中枢が再編成することによって，構音運動が成立していると考えられている⁴⁸⁾。つまり発語機能は生後獲得した機能であるため，発語機能を獲得する過程で十分に練習を重ねたため，試行経過での練習効果が現れにくかったと考えられる。

4. 発語 RT と音声波形との比較

発語 RT が開口 RT より延長する被験者ほど発語 RT と音声 RT の時間差である JV が有意に延長した。これらの被験者では，運動性言語中枢からの発語運動に関係する喉頭筋群と開口筋群への運動指令に大きなずれがあり，開口開始と発声開始のタイミングが大きくずれたことによると考えられる。発語・発話は生後獲得した機能であるため，発語習得過程での被験者固有の発語運動パターンの相違が発語 RT の長短に影響した可能性が大きいからである。一方，発語 RT が開口 RT より短縮する被験者では JV が短かった。これらの被験者では，開口開始と発声開始のタイミングが接近し，構音に要する喉頭筋と開口筋活動の同期が発語 RT の延長を抑止したものと推察される。さらに，これらの被験者では CNV の増大が著しく，集中力を増したことも発語 RT 短縮の大きな要因でもある。

RT を測定する際，多くの被験者は速く反応しようとするために，命令刺激に対して集中して待ち構えるか，あるいは素早く動かせるように運動の準備に集中するかのどちらかに偏重していることが多い。一般的には，後者の運動性に集中した方が，前者の感覚性に集中するよりも RT がより短縮する⁴⁹⁾ことが知られている。開口 RT

測定とは異なり，発語 RT 測定時には被験者自身が発する音声新たに加わってくるため，開口 RT 測定時には運動性に注意を集中して反応していた被験者でも，発語 RT 測定の際には自身が発する音声に影響をうけ感覚性の集中法に変えてしまうことも予想される。発語 RT が開口 RT より延長した被験者での RT 延長のさらなる要因として運動性から感覚性への集中法のチェンジも想定される。この点については，発語を想起するだけで実際には発語しない条件での RT 測定を新たに行い比較解析する必要がある。

5. 顎機能検査応用への可能性と課題

顎口腔系において営まれる諸機能のほとんどは下顎を動かすことによって行われる現象であり，顎機能の臨床的診査にあたっては，これらの情報が多く含まれている顎運動を正確に把握することは特に重要である。顎運動関連検査として，現在，下顎運動路描記法（MMG），ゴシックアーチ描記法，パントグラフ描記法及びチェックバイト検査が歯科臨床の現場で実施されている。高齢社会の到来から，運動機能の加齢変化，特に敏捷性に着目した検査項目の必要性が高まってきている。RT 測定は客観的に敏捷性を測定する代表的な測定法であり，全身反応時間の測定は定期健康診断における健康測定の一項目である運動機能検査に採用され，健康増進の意識向上の指標となっている⁵⁰⁾。

加齢などに伴う敏捷性の低下は，咀嚼や嚥下機能に直接的に影響を及ぼすことになり，歯科臨床で患者の敏捷性の変化について把握することは極めて重要である。本研究で示した顎 RT 測定は単純な反復運動であるため，治療開始前に実施することで，患者をリラックスさせる効果も期待でき，患者の心身状態の大まかな判定が可能

である。また，特に神経質な患者に対しては治療効果判定の際の客観的指標として利用できる。

光や音刺激による RT が簡易に測定できる PC ソフトが公開されている。PC からの合図でできるだけ早くマウスをクリックするかキーを押すことで指屈曲 RT が簡単に測定できる。顎運動をこれらの運動に変換できる装置を組み込むことができれば，これらの PC ソフトを応用した顎 RT の測定が可能であり，今後の研究課題としたい。

結 論

顎口腔系，手指および発語機能の異常を認めない健常成人 20 名を被験者として，光刺激による RT と各反応動作直前に出現する CNV を測定し比較した結果から，以下の結論を得た。

- 1) 開口 RT が指屈曲 RT よりも長く，開口 CNV の大きさが指屈曲 CNV よりも小さかった。
- 2) 指屈曲 RT と開口 RT の差が大きい被験者ほど，指屈曲 CNV に対する開口 CNV の減少率が大きかった。
- 3) 発語 RT が開口 RT より短縮した被験者では，発語による CNV の増大が著しく，延長した被験者では CNV 増大が僅かであった。
- 4) 試行前半と後半との比較では，開口 RT にのみ有意な短縮とその時の CNV の有意な増大が認められた。

以上の結果から，集中力と習熟度に関係した脳活動を反映する顎 RT の測定が継時的な顎機能検査の指標となりうることが示された。

謝 辞

稿を終えるに際し，多大なご助言，ご協力を頂きました奥羽大学歯学部口腔生理学分野の教室員各位に深謝いたします。そして，終始快くご協力を頂きました被験者各位に厚く御礼申し上げます。

本論文の要旨は第 60 回奥羽大学歯学会（平成 27 年 11 月 14 日 郡山市）において発表した。

利益相反

本論文に関して，開示すべき利益相反は無い。

文 献

- 1) 柳澤信夫，柴崎 浩：I．動作学的検査．神経生理を学ぶ人のために；115-121 医学書院 東京 1990.
- 2) Weiss, A.D.: The locus of reaction time change with set, motivation and age. *J. Grontol.* 20; 60-64 1965.
- 3) 鈴木 清，松田岩男，近藤充夫，杉原 隆：単純反応時間と弁別反応動作の練習効果との関係．*Jap. Soc. Physic. Educ.* 13; 32-38 1968.
- 4) 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.
- 5) 南 吉昇：聴性反応時間の基礎的研究．*日耳鼻* 76; 347-363 1972.

- 6) 宮崎義徳：敏捷性の要因に関する検討　－特に，全身反応時間との関係について－．東京学芸大学紀要 30; 265-275 1978.
- 7) 本郷利憲：反応時間の測定．生理学実習書（日本生理学会編）；375-380 南江堂 東京 1983.
- 8) 雨宮 政：精神遅滞児の単純反応時間，選択反応時間の分析． Jap. J. Educ. Psychol 33; 273-277 1985.
- 9) 大山 正：反応時間研究の歴史と現状．人間工学 21; 57-64 1985.
- 10) 永井大介，長谷川賢一：聴覚・視覚刺激反応時間に関する研究．昭医会誌 46; 27-34 1986.
- 11) Welford, A.T.: Reaction time, speed of performance, and age. Ann. N.Y. Academy Sci. 515; 1-17, 1988.
- 12) Nagasawa, T., Yuasa, Y., Tamura, H. and Tsuru, H.: Mandibular reaction time to auditory and visual signals in young and elderly subjects. J. Oral Rehabil. 18; 69-74 1991.
- 13) Brodin, P., Miles, T.S. and Turker, K.S.: Simple reaction-time responses to mechanical and electrical stimuli in human masseter muscle. Archs, Oral Biol. 38; 221-226 1993.
- 14) 笠井達哉：反応時間法とH反射法を使ったヒト随意運動の解析． Jpn. J. Sports Sci. 13; 131-142 1994.
- 15) 藤原勝夫：構え姿勢と反応動作の速さ． Jap. J. Sports Sci. 13; 739-749 1994.
- 16) 荒木啓伸，吉田昌史，高橋康男，駱 嘉鴻，内田 淳，山口武人，中島一郎：脳性麻痺者における下顎運動反応時間に関する研究．小児歯誌 36; 818-822 1998.

- 17) 井上仁郎，津村尚志：反応時間を学習速度とした周波数弁別閾測定の実験について－高齢未経験被験者に対する検討－ *Auditory Japan* 41; 746-754 1998.
- 18) 荒木啓伸：脳性麻痺者の反応時間課題における下顎運動反応時間と咀嚼筋筋放電量との関連性．*日大歯学* 73; 551-557 1999.
- 19) 時任真一郎，西平賀昭，八田有洋，秋山幸代，和坂俊昭，金田健史，麓正樹：前期高齢者の反応時間低下のメカニズムに関する研究－課題遂行による差異から－．*体力科学* 50; 303-312 2001.
- 20) 吉村喜信，大島正明，福味廣員：咬合挙上の運動効果に関する研究(5)－手指反応速度について－．*福井工業大学研究紀要* 36; 187-192 2006.
- 21) 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.
- 22) 北見修一，宗形芳英，大須賀謙二，古山昭：顎反応時間におよぼす顎－頸協調運動の影響．*奥羽大歯学誌* 41; 15-21 2014.
- 23) 岡本一真：加齢，課題への集中度と事象関連電位．*北関東医学* 43; 237-244 1993.
- 24) 青木伸一郎，伊藤孝訓，長野裕行，井田聡子，鈴木義孝，大沢聖子，會田雅啓，笹原廣茂：咀嚼と認知情報処理過程との関連性－異なる最大咬合力グループにおける比較－．*日補綴会誌* 48; 583-591 2004.
- 25) 竹村憲太郎，小橋優司，末永剛，高松淳，小笠原司：頭部自由運動状況下における三次元注視点推定と注視軌跡の可視化手法．*ヒューマンインタフェース学会論文誌* 13; 83-89 2011.

- 26) Walter, W. G., Cooper, R., Aldridge, V. G., Mc-Callum, W. C. and Winter, A. L.: Contingent negative variation: an electric sign of sensorimotor association and expectably in the human brain. *Nature* 203; 380-384 1964.
- 27) 佐々木高伸：多動症候群における CNV 後期成分と反応時間の検討．岡山医学会雑誌 95; 1281-1297 1983.
- 28) 投石保広：陰性緩電位 (CNV, 準備電位) に対する注意散逸 (Distraction) の効果．大阪大学人間科学部紀要 16; 133-153 1990.
- 29) 有藤平八郎，高橋正也：随伴陰性変動と反応時間の加齢影響．産業医学 33; 170-178 1991.
- 30) 矢部博興，佐藤泰治，佐々木俊徳，石山 哲，斎藤文男，福島 裕，小山内隆生：2 警告刺激 contingent negative variation (CNV) パラダイムにおける event-related potentials (ERP) と反応時間．弘前医学 42; 447-454 1991.
- 31) 船越正也，佐橋喜志夫：咀嚼と学習効果．日歯評論 620: 73-84 1994.
- 32) 佐橋喜志夫：ガム咀嚼が事象関連電位に及ぼす影響．歯基礎誌 46; 116-124 2004.
- 33) 西平賀昭：2 章 運動と事象関連電位．運動と高次神経機能 — 運動の脳内機能を探検する — (西平賀昭，大築立志編)；29-83 杏林書院 東京 2005.
- 34) 時任真一郎：前期高齢者の随意運動準備期における随伴性陰性変動 (CNV) について．専修大学体育研究紀要 31; 1-8 2008.
- 35) 中野英樹，芝田都季子，川見清豪，藤田浩之，吉田慎一，河村章史，森岡 周：随意運動および運動観

- 察が運動関連脳電位に及ぼす影響．理学療法科学．
25; 329-332 2010.
- 36) 高橋圭三：視覚刺激により生起される随伴性陰性変動(CNV)の振る舞いについて - SD法への移行についての研究ノート．松山東雲女子大学人文科学部紀要 20; 155-175 2012.
- 37) 望月芳子，田中秀明，竹内成生，高澤則美，山崎勝男：若年者と比較した中高年者の運動反応と前期・後期 CNV．スポーツ科学研究 9; 17-28 2012.
- 38) Ikai, M. and Steinhaus, A. H. : Some factors modifying the expression of human strength. J. Appl. Physiol. 16; 157-163 1961.
- 39) 藤田正明，中村隆一：他動運動中の発声反応時間．リハビリテーション医学 30; 481-484 1993.
- 40) 林 和哉，脇田裕久：反応動作時における自発的「掛け声」の影響．三重大学教育学部研究紀要 55; 75-84 2004.
- 41) 川下香織，河辺章子：動作前の発声による反応時間への影響．身体行動研究 2; 39-44 2013.
- 42) Miller, J.: A warning about median reaction time. J. Exp. Psychol. : Human perception and performance. 14; 539-543 1988.
- 43) 大久保街亜 反応時間分析における外れ値の処理．専修人間科学論集 心理学篇 1; 81-89 2011.
- 44) 森 茂美，山村剛康：大脳皮質誘発電位の記録．生理学実習書（日本生理学会編）；387-393 南江堂 東京 1983.
- 45) 時任真一郎：前期高齢者の自発的随意運動における運動関連脳電位(MRCP)について．専修大学体育研究紀要 32; 1-9 2009.

- 46) 鈴木 清, 松田岩男, 近藤充夫, 杉原 隆: 単純反応時間と弁別反応動作の練習効果との関係. 体育学研究 13; 32-38 1968.
- 47) 井上由紀子, 山根一人, 大河俊博: 反応時間の学習効果について - 特に健常人に対する検索 -. 運動生理 6; 1-4 1991.
- 48) 山田好秋: 第4章 嚥下に関連する機能 II 発声. よくわかる摂食・嚥下のメカニズム; 103-114 医歯薬出版 東京 2004.
- 49) 真島英信: 第9章 運動および緊張 10 反応時間. 生理学 改訂第16版; 246-247 文光堂 東京 1974.
- 50) 川久保清, 下光輝一, 荒尾孝: 「健康日本21」と自治体 5 - 身体活動・運動. 公衆衛生 64; 583-587 2000.

図表の説明

図 1 : 反応時間の測定方法と測定部位

A : 光刺激方法と運動記録方法の模式図

B : 発語反応時の音声波形と顎運動波形

RT : 反応時間, JV : 音声 RT と発語 RT の差, S2 :
光刺激

図 2 : 脳波の記録方法と測定部位

A : 脳波の記録方法の模式図

B : 指屈曲反応時の脳波と運動波形

S1 : 予告音, S2 : 光刺激

図 3 : 反応動作の違いによる RT と CNV の比較

A : (左) RT の比較 (対応のある t -検定, $N=20$)

(右) 開口 RT と指屈曲 RT の差 (ヒストグラム表示)

Small : 差の小さい群 (10 名), Large : 差の大きい群 (10 名)

B : CNV の比較 (対応のある t -検定, $N=20$)

C : CNV 変化率の比較 (Mann-Whitney の U 検定, $N=10$)

図 4 : 開口 RT に及ぼす発語の影響 (I)

A : RT の比較 (対応のある t -検定, $N=20$)

短縮 : 発語 RT が開口 RT より短い群 (10 名)

延長 : 発語 RT が開口 RT より長い群 (10 名)

B : CNV の比較 (対応のある t -検定, $N=20$)

C : CNV 変化率の比較 (Mann-Whitney の U 検定, $N=10$)

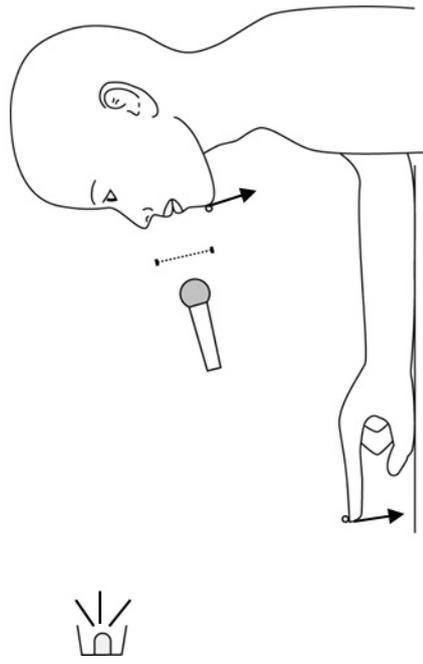
図 5 : 開口 RT に及ぼす発語の影響 (II)

A : 各 RT における短縮群と延長群の比較
(Mann-Whitney の U 検定 , N=10)

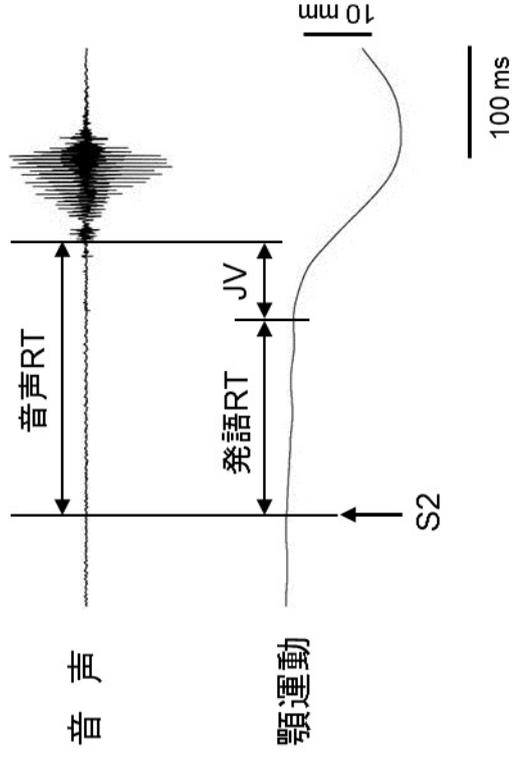
B : JV における短縮群と延長群の比較
(Mann-Whitney の U 検定 , N=10)

表 1 : 試行経過による RT と CNV の推移

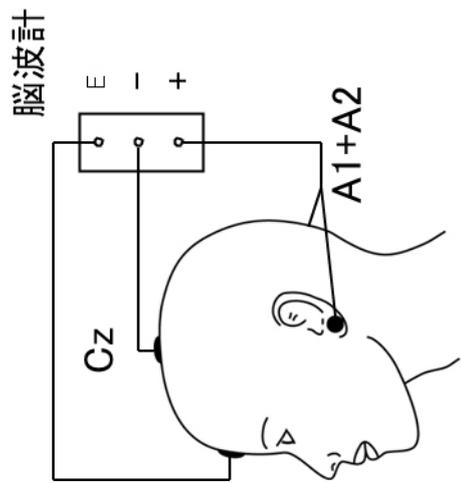
Ant : 前半の試行 , Post : 後半の試行
(対応のある *t*-検定 , N=20)



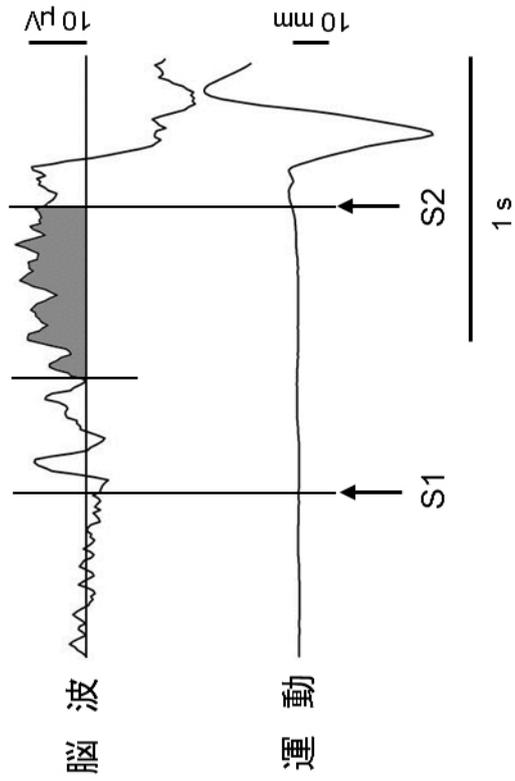
A



B

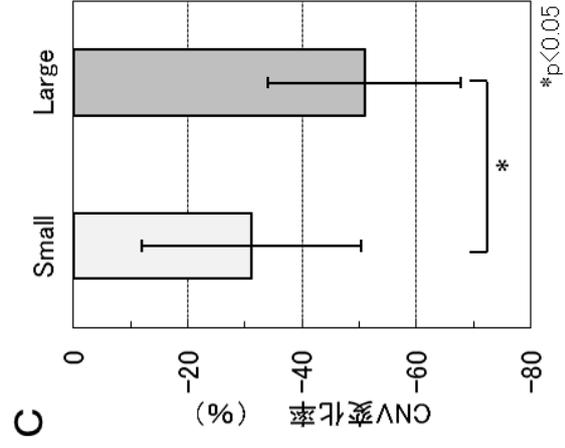
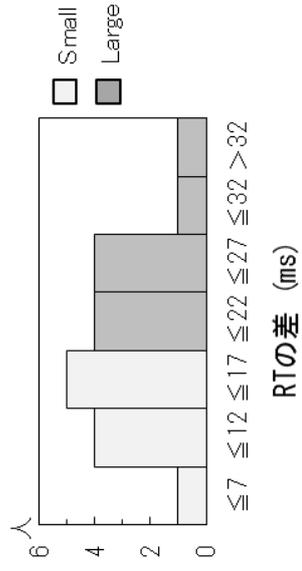
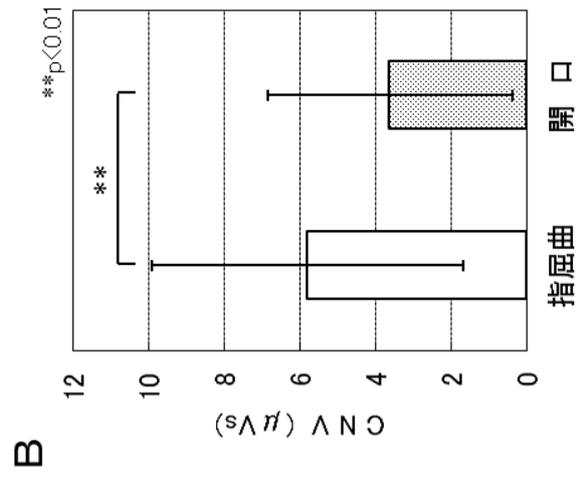
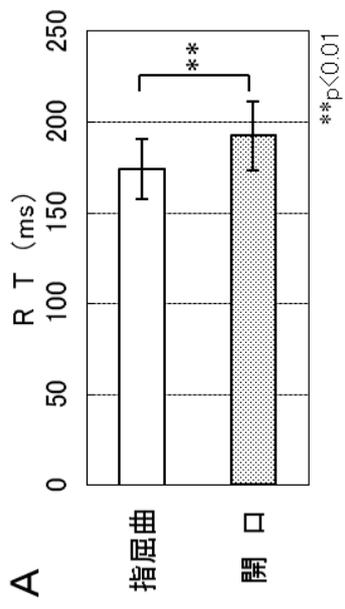


A



B

図2



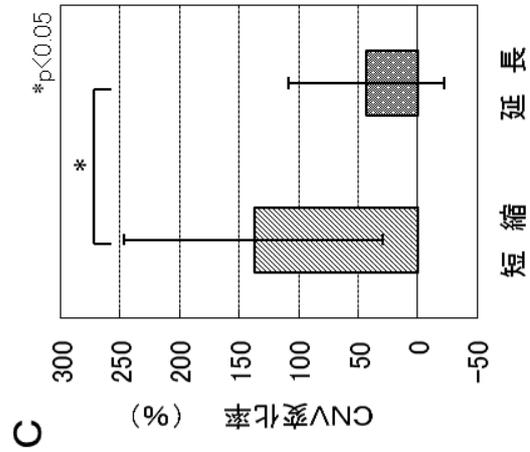
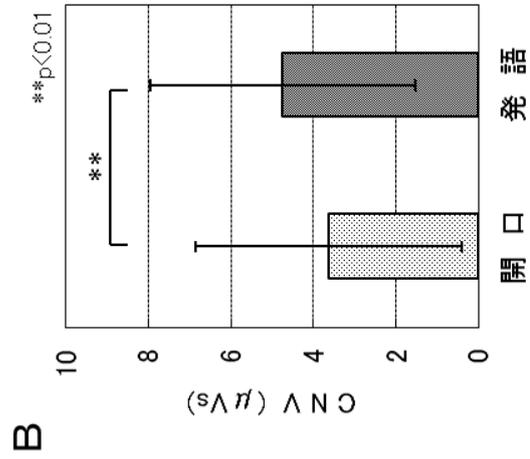
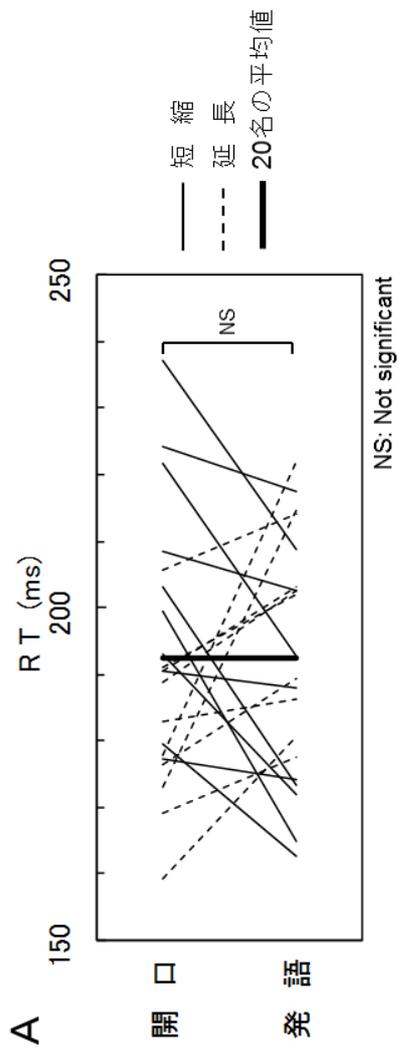


図4

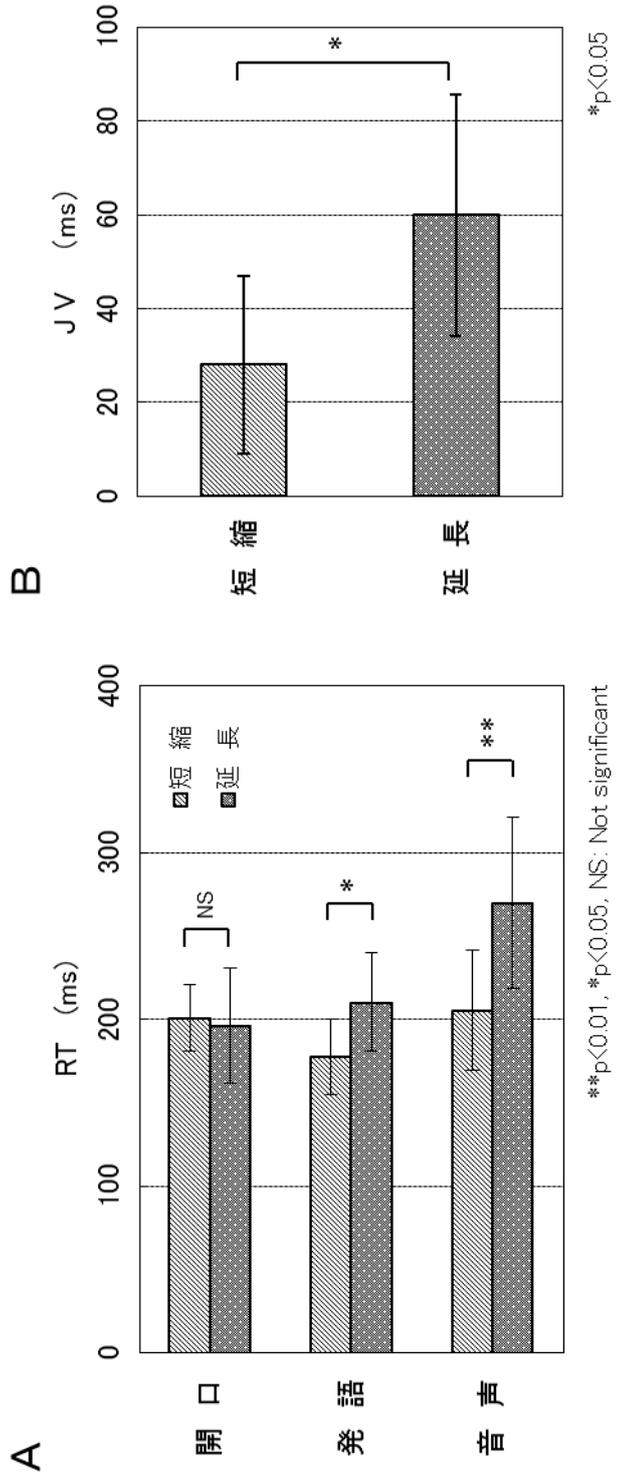


図5

	RT (ms)		CNV (μV)	
指屈曲	Ant	178.2 \pm 17.7	5.82 \pm 2.99	NS
	Post	175.2 \pm 19.0	6.46 \pm 4.73	
開口	Ant	196.2 \pm 22.1	2.81 \pm 2.77	*
	Post	192.6 \pm 19.4	4.33 \pm 3.78	
発語	Ant	193.6 \pm 19.0	4.18 \pm 3.86	NS
	Post	191.5 \pm 20.8	4.99 \pm 3.29	

mean \pm s.d. NS: Not significant

表1