

## 反応時間法を使ったヒト顎運動の解析

北見修一 宗形芳英 大須賀謙二 古山 昭

### An Analysis of Human Voluntary Jaw Movement by Reaction Time Technique

Shuichi KITAMI, Yoshiei MUNAKATA, Kenji OHSUGA and Akira FURUYAMA

The purpose of this study was to investigate the simple reaction time (RT) of jaws and fingers to three types of sensory stimuli (sound, light and current) in 22 healthy subjects. Movement of jaws or fingers was monitored by analyzing the motion of a LED reference point on the subject's chin or fingertip with a photo sensor. The subject was asked to perform the jaw opening task or the finger flexion task as quickly as possible to react the sensory stimulus. The main results were as follows ; 1) The auditory RT was shorter than the visual RT and the electric RT in both tasks. 2) Coefficient variation of the visual RT was the smallest in both tasks. 3) There was a significant correlation between the values of jaw RT and those of finger RT. 4) In the subjects who could respond more quickly, there was no difference between the jaw RT and the finger RT, while in the subjects who responded slowly, the jaw RT was always longer than the finger RT. 5) Motor time for jaw opening was longer than that for finger flexion.

From these findings, it was suggested that the jaw RT was highly correlated with the finger RT in its production mechanism. However, in the subjects who could not respond their jaws quickly, the jaw RT was slightly longer than the time presumed from its neural pathway.

Key words : reaction time, jaw, finger

### 緒 言

音やランプ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反応時間 (Reaction time, RT) という<sup>1-3)</sup>。RTには単純RTと選択RTの2種類あり<sup>4)</sup>、前者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、後者は複数の刺激を

設け各々に対応して反応するように指示した場合のRTである。単純RT測定の代表例として、陸上短距離走の場合の号砲からスタートするまでの測定があり、ヒトの単純RTが100msecを切れないというこれまでの検証結果から、フライングの判定基準として公式に採用されている。

RTに影響を与える要因には、上述の集中力に加えて、注意力、加齢、疲労などがある<sup>5,6)</sup>。そのため、スポーツ科学以外に、認知心理学、精神医学、加齢医学などの分野で盛んに研究が行われて

受付：平成24年12月27日、受理：平成25年2月5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

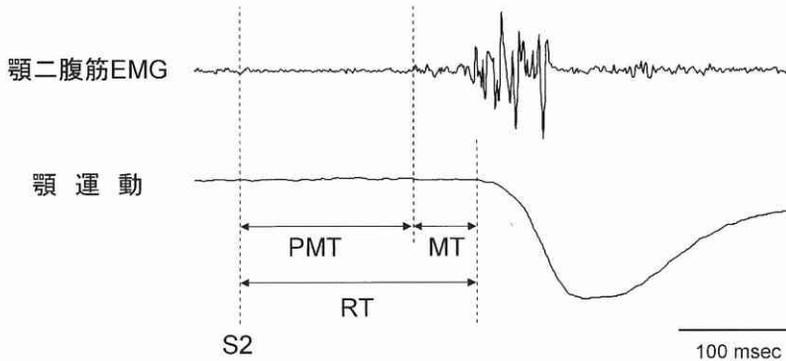


図1 反応時間の測定部位

S2: 刺激時点 PMT: Premotor time

MT: Motor time RT: Reaction time

きており、特に、手指や四肢の屈伸 RT に関する多くの知見が報告されている<sup>7-11)</sup>。一方、歯科領域においては、摂食・嚥下や発音機能との関連から、顎運動、舌運動および口唇などの表情筋の運動など取り扱うことが多いものの、顎運動機能の加齢変化や顎機能および嚥下運動機能の評価への応用を目指した研究報告<sup>12-14)</sup>があるだけである。

本研究では、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指運動 RT との比較を行い、顎運動 RT の生理的な特徴の解析を行った。

## 研究方法

### 1. 研究対象

被験者は、顎口腔系および手指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22名（男性20名、女性2名、平均年齢23.5歳）である。

### 2. 感覚刺激の発生方法

反応を誘発させるための3種類の刺激として、音信号、光信号および皮膚電気刺激を用いた。音信号は1 kHz、持続10 msec の短音を実験者がスイッチを操作した時に発生するようにし、ボリュームを調節して、被験者毎に無理なく聴こえ

る大きさに設定した。光信号は実験者がスイッチを操作した時にLED光源が点灯するようにし、被験者毎に無理なく見える明るさに調節した。皮膚電気刺激は前額部皮膚を刺激部位とした。皮膚表面をアルコール綿で拭き、よく乾いてから表面電極（F-150S、日本光電、東京）を2枚貼った。電極からのリード線を電気刺激装置（3F46、日本電気三栄、東京）のアイソレータの出力端子に接続した。実験者がスイッチを操作した時に持続1 msec の矩形波が発生するようにし、被験者がある刺激を無理なく感じ取れる刺激強度に設定した。

### 3. 反応動作および筋活動の導出方法

指屈曲運動および開口運動の記録には、ポジションセンサ（C2399、浜松ホトニクス、浜松）を用いた。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。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。また、8名の被験者では利き腕の示指屈筋および左側顎二腹筋前腹の筋活動を筋電図として反応動作とともに同時記録した。記録には各筋とも表面電極（F-150S、日本光電、東京）2枚を用いて双極導出した。接地電極は耳朶に取り付けた。導出した筋活動はポリグラフ(360

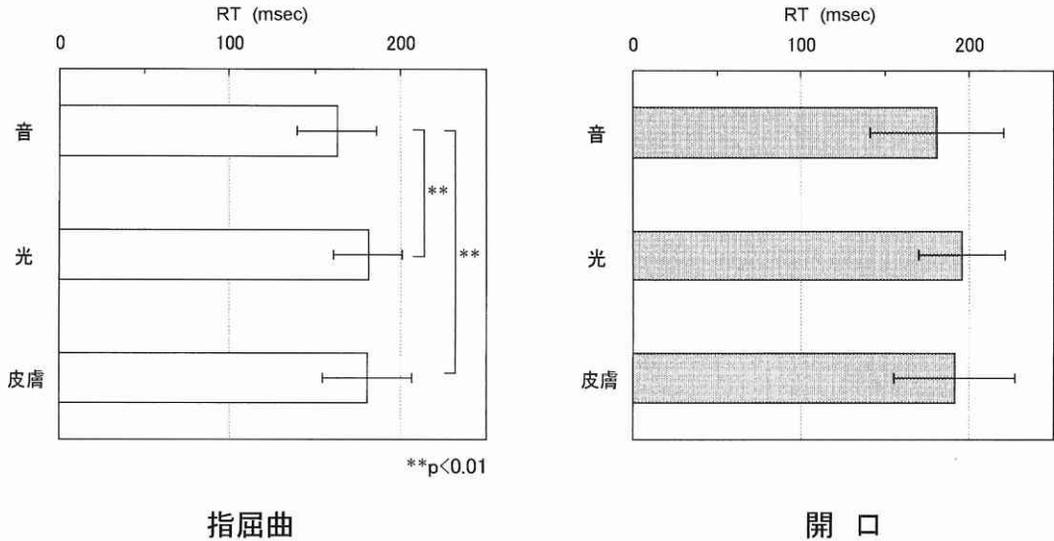


図2 3種類の刺激によるRTの比較

システム、日本電気三栄、東京)の生体電気用増幅ユニットで増幅した。設定条件は high cut frequency 1kHz, 時定数0.03秒である。増幅された筋電情報は同時記録した反応動作とともに 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, 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

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。音信号、光信号、皮膚電気刺激による3種類の RT の測定順序はランダムに各10回ずつ測定した。測定に際して、被験者には「やります」の予告合図 (S1) の2~4秒後の刺激 (S2) に対して、できるかぎり速く反応動作を行うことを指示した。反応動作の順番は指屈曲運動、開口運動の順である。それぞれの測定に際し、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。試行と試行の間隔は20~30秒とした。また、被

験者に刺激の時点が予知されないように、時々予告だけで刺激を与えない試行を挿入しながら、刺激の前に誤って反応動作が行われるのを防いだ。

#### 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。2群の平均値の差の検定には対応のある *t*-検定を用いた。3群の平均値の差の検定では一元配置分散分析を行い、次いで Scheffe の多重比較検定を行った。2群の対応関係の分析には直線回帰を用いた。

### 結 果

#### 1. 3種類の刺激による単純 RT の比較

図1は音刺激による反応動作 (開口) の代表例で、上から顎二腹筋 EMG の原波形と顎運動波形を表している。図中、S2は刺激時点を表し、RTはS2の提示から開口運動開始までの単純 RT である。さらに RTはS2から顎二腹筋の筋放電開始までの時間 (Premotor time, PMT) と顎二腹筋の筋放電開始から開口運動開始までの時間 (Motor time, MT) とに分けられる<sup>5)</sup>。

図2は3種類の感覚刺激による RT を、指屈曲運動と開口運動のそれぞれについて、22名の平均値と標準偏差を表した棒グラフである。図2左

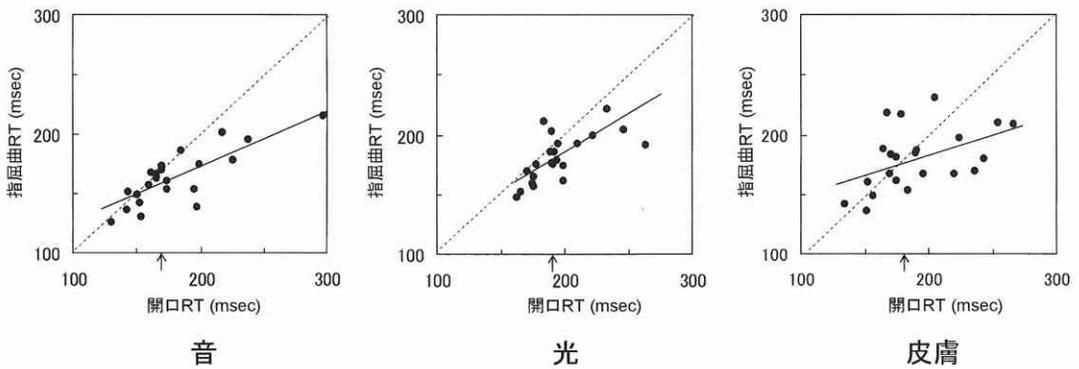


図3 指屈曲RTと開口RTの比較

表 CVの比較

	刺激	CV	
指屈曲 RT	音	12.5 ± 5.1	**
	光	9.0 ± 2.8	
	皮膚	14.0 ± 5.9	
開口 RT	音	14.3 ± 5.4	*
	光	10.7 ± 4.3	
	皮膚	12.9 ± 5.6	

mean±s.d. \*\*p<0.01 \*p<0.05

は指屈曲 RT の結果で、3種類の刺激による RT の平均値に有意な差が認められた (一元配置分散分析,  $p < 0.01$ ,  $N = 22$ )。さらに、音刺激による RT が他の2種類の刺激による RT に比べ有意に短いことが示された。図2右は開口 RT の結果で、3種類の刺激による RT 間の差は指屈曲運動のそれに比べわずかであった。3種類の刺激による RT の平均値に有意な差は認められなかった (一元配置分散分析,  $p > 0.05$ ,  $N = 22$ ) が、音刺激による RT が他の2種類の刺激による RT に比べ短縮する傾向がみられた。

次に、RT の平均値と標準偏差から変動係数 (Coefficient Variation, CV) を算出し、3種類の感覚刺激による RT の安定性を比較し表に示した。指屈曲 RT における CV の平均値は、音刺激 12.5, 光刺激 9.0, 皮膚刺激 14.0 となり、3種類の刺激による CV の平均値に有意な差が認められ (一元配置分散分析,  $p < 0.01$ ,  $N = 22$ )、さらに、光

刺激による CV が他の2種類の刺激による CV に比べ有意に小さかった。一方、開口 RT の CV の平均値は、音刺激 14.3, 光刺激 10.7, 皮膚刺激 12.9 となり、3種類の刺激による CV の平均値に有意な差が認められ (一元配置分散分析,  $p < 0.01$ ,  $N = 22$ )、さらに、光刺激による CV と音刺激による CV との間で有意な差が認められた。

### 2. 指屈曲 RT と開口 RT の比較

図3は指屈曲 RT と開口 RT の分布範囲を22名の被験者についてプロットしたグラフで、左から順に音刺激、光刺激、皮膚刺激による RT の結果である。縦軸が指屈曲 RT を横軸が開口 RT を表している。開口 RT の分布を眺めると、音刺激が 177.4msec, 光刺激が 100.2msec, 皮膚刺激が 132.6msec の範囲に分布し、光刺激による RT の分布範囲が最も狭かった。指屈曲 RT では、それぞれ 88.7msec, 74.1msec, 95.2msec の範囲に分布し、開口 RT の場合と同様に光刺激による RT の分布範囲が最も狭かった。さらに、3種類の感覚刺激による指屈曲 RT すべてで開口 RT より分布範囲が狭かった。

指屈曲 RT と開口 RT の対応関係は、図3左の音刺激の結果に示されるように、開口 RT が長い被験者ほど指屈曲 RT も長くなり、両者の間で有意な正の相関関係 ( $r = 0.805$ ,  $p < 0.01$ ,  $N = 22$ ) が認められた。図3中の光刺激による結果においても同様に、指屈曲 RT と開口 RT との間に有意な正の相関関係 ( $r = 0.662$ ,  $p < 0.01$ ,  $N = 22$ ) が認められ、図3右の皮膚刺激による結果でも、有意な

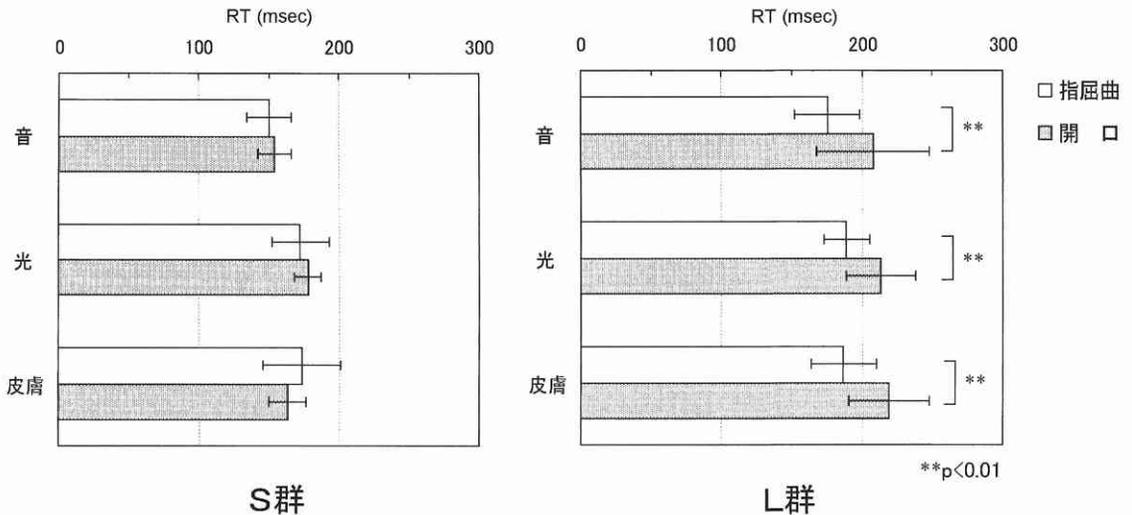


図4 開口RTの長短による2群の比較

S群：開口RTの短い11名 L群：開口RTの長い11名

正の相関関係 ( $r=0.477$ ,  $p<0.05$ ,  $N=22$ ) が認められた。図中の実線は回帰直線を、破線は指屈曲RTと開口RTが等値になる直線を表している。回帰直線の傾きは左から順に0.489, 0.513, 0.345であり、すべて1より小さい値であった。すなわち、3種類の感覚刺激による結果すべてで、開口RTが短い被験者ほど開口RTと指屈曲RTの値が近似し、開口RTが長い被験者ほど開口RTと指屈曲RTの値の差が拡大する傾向を示した。

次に、開口RTの長さが22名の中央値(図4横軸上の↑)より短い11名をS群、中央値よりも長い11名をL群に分け、指屈曲RTとの比較を行った。図4左はS群の結果で、3種類の感覚刺激による結果すべてにおいて、指屈曲RTと開口RTとの間に有意な差は認められなかった (Paired  $t$ -test,  $p>0.05$ ,  $N=11$ )。図4右はL群の結果で、3種類の感覚刺激による結果すべてにおいて開口RTの方が指屈曲RTよりも有意に長かった (Paired  $t$ -test,  $p<0.01$ ,  $N=11$ )。

### 3. 指屈曲MTと開口MTの比較

図5は光刺激による各反応動作時の開口MTと指屈曲MTを8名の被験者から測定した結果である。開口MTが指屈曲MTに比べ有意に長

く (Paired  $t$ -test,  $p<0.01$ ,  $N=8$ )、平均値の差は15.5msecであった。

## 考 察

反応時間 (RT) は一般に「ある与えられた刺激によって決定される一つの意識的応答の最小の時間遅れ」と定義される<sup>1,15)</sup>。RTは中枢神経機構での刺激—反応に要する処理時間を表すものとみなされ、従来、中枢の情報処理過程の解析手段として多用されてきた。RTの遅速は運動系の状態をも反映することから、刺激の情報処理過程を一定とみなすことができれば、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となりうると考えられる。そこで本研究では、RTの測定により反応動作開始における顎運動系の機構を解明することを目的に、これまでに他分野で明らかにされてきている手指のRTとの比較から顎運動におけるRTの生理的な特徴の解析を行った。

音刺激による反応動作を例にして、ヒトが身体を動作するまでの過程を分解すると次のように表される。①音が内耳に届くと機械的に有毛細胞が興奮させられ、②その信号が内耳神経を伝わって

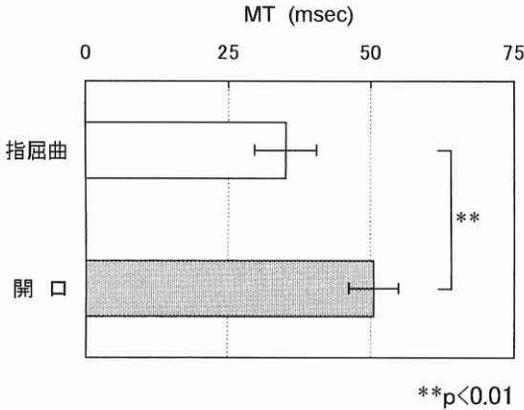


図5 指屈曲MTと開口MTの比較

側頭部の聴覚野に伝わり音がしたことを脳に知らせる。③その信号は前頭部にある前頭連合野に伝わり、ある動作を行うことを要求されていたという記憶を元に「動作する」という判断がなされ、その情報を頭頂部の運動野に送る。④運動野からの運動指令が運動神経を通じて主動筋に伝わり、⑤筋が収縮して目的の動作が遂行される。刺激の違いは①②および③の前半部に差を生じ、反応動作の違いは④⑤に差を生じさせることになる。RTの個人差や練習による短縮効果はおそらく③の過程が最も関係すると考えられる。

図2左の3種類の刺激による指屈曲RTの結果に示されるように、これまでの報告<sup>1,8)</sup>と同様に音刺激によるRTが最も短かった。音刺激によるRTが光刺激によるRTより短い理由として、視覚情報が網膜での化学反応を要するのに比べ聴覚情報の処理時間(上述の①のプロセス)が短いことが挙げられている。一方、皮膚刺激によるRTが音刺激によるRTより長く、光刺激によるRTにはほぼ等しいという結果は、触覚刺激によるRTが聴覚刺激によるそれと類似性があり、聴覚と触覚のRTが近接するとしたこれまでの報告<sup>9)</sup>とは異なった結果である。その理由として、被験者の電気刺激に対する慣れや苦手意識が考えられる。すなわち、上述の③のプロセスに要する時間には個人差があり、慣れや苦手意識が処理時間を延長させてしまったと推察されるからである。事実、図3の分布図に認められるように、皮膚感覚刺激

によるRTの分布範囲が指屈曲RT、開口RTともに光刺激によるRTの分布範囲に比べかなり広く、平均値で類似する光刺激によるRTに認められない140msec未満の被験者が複数存在していることから支持される。

開口RTの結果(図2右)は、3種類の刺激すべてで指屈曲RTよりも長いものの、音刺激によるRTが最も短く、皮膚刺激、光刺激の順に長くなる点では指屈曲RTに類似していた。反応動作の安定性の指標である変動係数の大きさでは、3種類の刺激すべてで指屈曲RTよりも大きくなるものの、光刺激によるCVが最も小さいという点で類似していた。これらの結果は、開口RTと指屈曲RTの違いが、共通部分である①②を除く③④⑤のプロセスの差に起因することを示している。

反応動作の違いに関わる④⑤のプロセスのうち、頭頂部の運動野から主動筋までの運動神経の長さ④に着目すると、開口動作に関係する運動神経の長さは指屈曲動作に関係するそれよりも約1m短い。そのため運動神経の伝導速度を100m/secとすると運動神経を伝導する時間が約10msec短縮することになる。さらに、⑤のプロセスを表した図5の結果では、8名の被験者の平均で開口MTの方が指屈曲MTよりも約15msec長く、これまでの報告<sup>11,12)</sup>と近似した値であった。これらの結果は④⑤に要する開口動作の時間が指屈曲動作のそれよりも約5msec程度延長することを示している。

図4左のS群では、統計学的には有意な差は認められなかったものの、音刺激と光刺激による開口RTがそれぞれの刺激による指屈曲RTよりも平均値で3.8msec, 5.2msec長くなった。この結果は、①から⑤の全過程から予想されるRTとそれらの実測値がほぼ一致することを示唆している。一方、図4右のL群では、3種類の刺激すべてで開口RTが指屈曲RTよりも大きく延長した。この延長の要因を解明するためには、共通部分である①②以外の③④⑤のプロセスを精査することが必要となり、次に示す2つの要因について今後詳細に検討する必要があると考えられる。その第一は、③に関わる脳内プロセスを探ることである。俊敏さ、敏捷性の向上が③の短縮に最も関係<sup>4,6,9)</sup>

し、反応動作を行う際の集中度合いが大きく影響すると考えられるからである。第二に、④⑤のプロセスから開口 RT 延長の要因を探ることである。つまり、開口動作中の下顎骨の運動だけに着目するのではなく、開口動作時に顎運動に随伴する頸部後屈運動<sup>16)</sup>について考慮することである。顎-頸協調運動パターンには個人差が大きいことが知られており<sup>17)</sup>、開口 RT が延長する被験者の多くに共通する特徴的な協調運動パターンの存在が想定されるからである。

## 結 論

顎口腔系および手指に機能異常を認めない健康成人22名を被験者として、音刺激、光刺激、皮膚電気刺激の3種類の刺激による開口 RT を測定し、同刺激による指屈曲 RT との比較検討を行った結果、以下の結論を得た。

1. 3種類の刺激による開口 RT のうち音刺激による RT が最も短く、指屈曲 RT の結果と一致した。

2. 3種類の刺激による開口 RT の平均値と標準偏差から、変動係数 (CV) を算出し比較したところ、光刺激による CV が最も小さく、指屈曲 RT の結果と一致した。

3. 3種類の刺激による RT すべてで、開口 RT が長い被験者ほど指屈曲 RT も長くなる傾向が見られ、両者の間で有意な正の相関関係が認められた。

4. 開口 RT と指屈曲 RT との差について比較した結果、開口 RT の短い被験者では、指屈曲 RT との差が小さく、開口 RT の長い被験者ほど指屈曲 RT との差が大きく、RT が延長した。

5. 運動主動筋の筋放電開始から運動開始までの MT について比較した結果、開口 MT の方が指屈曲 MT より長かった。

以上、開口 RT の短い被験者は、運動神経と MT の長さから想定される RT の中枢処理時間が指屈曲 RT のそれにほぼ一致するのに対して、開口 RT の長い被験者では中枢処理時間が指屈曲 RT に比べより遅延す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) 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.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) Weiss, A. D. : The locus of reaction time change with set, motivation and age. J. Grontol. **20** ; 60-64 1965.
- 6) 宮崎義徳 : 敏捷性の要因に関する検討 一特に, 全身反応時間との関係について一. 東京学芸大学紀要 **30** ; 265-275 1978.
- 7) 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. Cpsychol. **33** ; 273-277 1985.
- 8) Welford, A. T. : Reaction time, speed of performance, and age. Ann. N. Y. Academy Sci. **515** ; 1-17 1988.
- 9) 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.
- 10) 藤原勝夫 : 構え姿勢と反応動作の速さ. Jap. J. Sports Sci. **13** ; 739-749 1994.
- 11) 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 一課題遂行による差異から一. 体力科学 **50** ; 303-312 2001.
- 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) 宗形芳英, 大須賀謙二, 古山 昭, 北見修一 : ヒト反応時間からみた顎運動の特徴. 日本実験力学会講演論文集 **9** ; 116-119 2009.
- 15) 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.
- 16) Torisu, T., Yamabe, N., Hashimoto, T., Yoshi-

- matsu, T. and Fujii, H. : Head movement properties during voluntary jaw movement in humans. *J. Oral Rehabil.* 28 ; 1144-1152 2001.
- 17) 宗形芳英 : 頭部運動の変化が咀嚼値および最大咬合力に及ぼす影響. *日補綴会誌* 47 ; 643-651 2003.
- 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 requests : Yoshiei 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