原	著
---	---

脳性麻痺患者のタッピング運動に関する研究

板 倉 正 義

東京医科歯科大学大学院歯学研究科生体機能制御歯科学系顎顔面補綴学講座（指導：大山喬史教授）

（1997年2月28日 受付）

A Study on Tapping Movements of Patients with Cerebral Palsy

Masayoshi Itakura

Department of Maxillofacial Prosthetics, Life Science of Maxillofacial Systems,
Dental Research Division, Tokyo Medical and Dental University
(Director : Prof. Takashi Ohyama)

The purpose of this study was to examine the deviation of tapping points and electromyographic activity in patients with cerebral palsy.

The subjects in this study were 6 normal subjects as the control group and 4 subjects with cerebral palsy as the patient group.

Twenty tapping movements and electromyographic activities in the bilateral masseter, anterior temporal, anterior digastric, and sternocleidomastoid muscles were recorded simultaneously with Gnatho-Hexagraph.

The results were as follows :

1. The differences of the opening distance and the cycle of tapping movements between the patient group and the control group were not significant, but coefficients of variation of the patient group were greater than those of the control group.

2. The deviations of tapping points in the patient group were significantly greater anteroposteriorly, laterally, and vertically than those in the control group.

3. In the patient group, electromyographic activities of masseter and sternocleidomastoid muscles during tapping movements were significantly greater than those in the control group.

4. In the patient group, electromyographic activities of the anterior temporal muscles were significantly less symmetric than those in the control group.

I. 緒 言

脳性麻痺は脳の発育期間中に起こった脳の障害により、永久的かつ非進行性の中枢性運動障害をみるものであり、1つの疾患単位ではなく症候群と考えられ、小児期までに起こった各種脳侵襲の後遺症で、運動機能に障害をきたしたものといえ

る¹⁾。

四肢・体幹については筋緊張の異常、反射活動の異常、相反性神経支配の不全、協調運動障害によってさまざまな機能障害が生じることが解明されてきた^{2~7)}。

機能障害は四肢・体幹に限らず、顎口腔領域や頸部にも観察され、頭部動揺や筋緊張のため脳性

麻痺患者の歯科治療には困難を伴うことが多い。特に補綴処置においては咬合状態の判断が難しく、咬合採得や咬合調整に困難を極め、その予後に関しては歯冠修復物の脱離、義歯の破折などの問題が多いと報告されている⁸⁻¹⁰⁾。こうした報告においては脳性麻痺患者の下顎運動に異常があるだけでなく、異常な顎運動、クレンチングなどによる異常な咬合接触、早期接触の補綴物に対する外力が歯冠修復物の脱離や義歯の破折の原因とも考えられ、脳性麻痺患者の顎運動や咬合状態の客観的な情報を補綴処置に導入することが必要である。

これまでの脳性麻痺者の咀嚼運動時の筋活動様相を調べた報告¹¹⁻¹⁷⁾から、筋活動のリズム変動が大きいことなどが明らかになっている。しかし、下顎運動についてはこれまでの顎運動記録装置は種々の機器が顔面に接触することが多く、頭部運動に対する規制も多いため脳性麻痺者には違和感があり、下顎運動を記録することが困難であった。そのため、脳性麻痺者の下顎運動に関する報告はきわめて少なく、下顎運動軌跡についてはMKGを用いた観察¹⁸⁾、ビデオ画像を用いた計測¹⁹⁾の報告があるのみである。MKGを用いた観察では脳性麻痺者の咀嚼運動や最大開閉口運動が過開口で、運動軌跡の概形は変形していることが示され、ビデオ画像を用いた計測では脳性麻痺者の咀嚼運動の運動軌跡長が健常者より有意に大きいことが示されている。

下顎運動のなかでタッピング運動は咬合診査、咬合調整、咬合採得といった補綴治療で利用されることが多く、その咬合位の安定性について健常者との差違を明らかにすることは脳性麻痺患者の歯科臨床において重要な意義があると考えられる。しかし、これまで脳性麻痺患者のその咬合位の安定性を調べた報告はない。

そこで今回、フェイスボウ、ヘッドフレームが軽量で装着も簡便で、しかも頭部の運動を規制しない非接触型顎運動測定器を用いて、脳性麻痺患者のタッピング運動について、それに伴う筋活動とともに計測を行い、咬合位の安定性、筋の活動量や協調性について健常者と比較、検討した。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は顎口腔機能に異常が認められず、歯列欠損のない健常者6名(平均年齢28.3歳、男性4名、女性2名)と本学歯学部附属病院障害者歯科治療部に来院した脳性麻痺患者4名(平均年齢41.8歳、男性2名、女性2名)である(表1)。

脳性麻痺患者は精神遅滞がなく研究の内容を十分に理解できる患者であった。また、食事、移動(歩行)、衣服の着脱、排泄などは自立しており、直立座位も可能であり、日常生活において運動障害による支障は比較的少ないと考えられる。しかし、たとえばチェアサイドでは紙コップを持つとき適切な把持ができず握りつぶしてしまう、あ

表1 被験者

健常者群	年齢	性別	歯式	脳性麻痺患者群	年齢	性別	歯式
A	30	男	$\frac{7-1}{7-1} \mid \frac{1-7}{1-7}$	a	53	女	$\frac{7-1}{7-1} \mid \frac{1-7}{1-7}$
B	28	女	$\frac{7-1}{7-1} \mid \frac{1-7}{1-7}$	b	29	男	$\frac{8-6 \ 4-1}{7-1} \mid \frac{1-8}{1-7}$
C	25	女	$\frac{7-1}{7-1} \mid \frac{1-7}{1-7}$	c	54	女	$\frac{7-5 \ 3-1}{7-1} \mid \frac{1-3 \ 5-7}{1-3 \ 5-7}$
D	34	男	$\frac{7-1}{7-1} \mid \frac{1-7}{1-7}$	d	31	男	$\frac{7-1}{7-1} \mid \frac{1-7}{1-7}$
E	25	男	$\frac{7-1}{7-1} \mid \frac{1-7}{1-7}$				
F	28	男	$\frac{8-1}{7-1} \mid \frac{1-8}{1-7}$				

るいは把持できず摘むなどの筋緊張や不随意運動による運動障害が観察された。

本研究の被験者とした脳性麻痺患者は、指示に従った開閉口運動や咬みしめ運動が可能で、歯列欠損が少なく、タッピング運動が脳性麻痺患者のなかでは無理なく行うことができた。また、上下顎歯列に著しい咬耗も認められず、ほぼ安定した咬頭嵌合位を得られる歯列形態であった。しかし、前方および側方への滑走運動、限界運動は不可能であった。顎関節に関してはシューラー氏法によるX線撮影で下顎頭の形態、位置に異常のないことを確認した。また、顎関節部の疼痛、雑音といった自覚症状はなく、開口障害も認められなかった。

2. 測定システム

本研究では非接触型顎運動測定器ナソヘキサグラフ JM-1000 (小野測器社製) を用いた (図1)。

本測定システムはセンサとして2台のCCDカメラ、標識点となるLEDをおのおの3個付けた、頭部に装着するヘッドフレームおよび下顎歯列に装着するフェイスボウとクラッチ、筋活動を測定するアナログ信号測定ユニット、メインユニットとしてA/Dコンバーターと画像処理装置、さらにLED点以外の任意点を計測するための任意点指示装置 (ポインター) からなる (図2)。このポインターを用いて、下顎の任意点を指示し、その

運動軌跡を表すことができる。さらに上顎の任意点3点を指示記録し、これらで構成される基準平面 (たとえば咬合平面) を設定し、それに対する下顎の任意点の運動軌跡を表すことができる。なお測定精度はカメラからの距離が1.1 m、測定領域が30×30×30 cmの範囲において前後方向で $\pm 150 \mu\text{m}$ 以下、上下方向で $\pm 100 \mu\text{m}$ 以下、左右方向で $\pm 50 \mu\text{m}$ 以下であり、分解能は50 μm で

図1 ナソヘキサグラフ JM-1000

図2 本システムのブロックダイアグラム

ある。

筋電図(EMG)導出記録部は直径 10 mm アース付き Ag-AgCl 皿電極(日本光電社製, NE-121 J), 入力箱(日本光電社製, JB-640 J), 高感度増幅器(日本光電社製, AB-610 J), サーマルアレイレコーダー(日本光電社製, RTA-1200)から構成されており, 本測定システムでは最大 8 チャンネルの筋活動を記録処理することが可能である。なお, 高感度増幅器は入力インピーダンス 100 M Ω , S-N 比 80 dB 以上, 内部雑音 5 μ Vpp 以下(high-cut 10 kHz)である。

3. 座標系と下顎解析点の設定

本研究では生体咬合平面を決定する 3 標点を上顎の左右中切歯近心隅角の midpoint (以下, 上顎切歯点とする), 左右第一あるいは第二大臼歯近心頬側咬頭頂の計 3 点とした。これにより上顎切歯点を座標原点とし, 上顎左右第一大臼歯あるいは第二大臼歯近心頬側咬頭頂を結ぶ直線に垂直かつ原点を通る直線を X 軸, 原点を通る生体咬合平面の法線を Z 軸, 両軸に直交する直線を Y 軸とする右手系の生体咬合平面座標系を設定した(図 3)。

下顎歯列上の解析点としては左右中切歯近心隅角の midpoint (以下, 下顎切歯点とする)を用いた。

本システムには 2 台の CCD カメラにより構成される絶対座標系としてのカメラ座標系とヘッドフレームの 3 点の LED で構成される上顎座標系およびフェイスボウの 3 点の LED で構成される

図 3 生体咬合平面座標系

下顎座標系がある。下顎運動計測時のヘッドフレーム, フェイスボウの計 6 点の LED の座標値はカメラ座標系で表される。一方, ポインターによって指示される上顎 3 標点および下顎切歯点の座標値は上顎あるいは下顎座標系のいずれかを選択し, 表すことができる。本研究では下顎座標系を選択した。この場合, 下顎座標系で表された上顎 3 標点および下顎切歯点の座標値は, ポインター指示を行う際のフェイスボウの位置を下顎運動計測開始時のフェイスボウの位置と対応させることによってカメラ座標系に変換され, 上顎 3 標点とヘッドフレームの LED 3 点, 下顎切歯点とフェイスボウの LED 3 点との相対的位置関係が記録される。

本研究では, 下顎切歯点および生体咬合平面を決定する 3 点の座標値を以下の方法で求め, 測定システムに入力した。まず, 既製トレーにアルジネート印象材を用いて被験者の上下歯列の印象採得後, 硬石膏にて歯列模型を作製した。

次いで被験者にヘッドフレーム, フェイスボウを装着し, 計測開始直前に上下歯列が無理なく噛み合う, 任意の位置をとらせ, 基準顎位とし, パラフィンワックスを用いて咬合採得を行った。この状態で 6 点の LED の座標値を記録した後, パラフィンワックスを外し, 引き続きタッピング運動の計測を行った。計測後, クラッチを下顎歯列から取り外し, 下顎歯列模型の前歯部唇側面に再装着し, フェイスボウをネジ止めした。次に上下歯列模型に咬合採得したパラフィンワックスを適合させ, 生体咬合平面を構成する上顎 3 標点, 下顎切歯点をカメラ視野内でポインターで指示し, フェイスボウの 3 点の LED により構成される下顎座標系での座標値を記録した。その後, 本システムに付属する座標変換プログラムにより上顎 3 標点, 下顎切歯点の座標値をタッピング運動計測時に記録したカメラ座標系に変換した。

4. 測定方法

フェイスボウの歯列への固定には, 付属の装着用クラッチを用いた。クラッチはステンレス合金 SUS-316 製で, 装着時, これを常温重合レジン

用いて下顎前歯部唇側面と適合させシアノアクリレート系接着材で下顎歯列と接着し、上顎歯列にクラッチが咬合時に当たらないように調整した。フェイスボウとクラッチはフェイスボウに付いているコネクタによってネジ止めされ、ヘッドフレームは後頭部、頭頂部のバンドで固定される(図4)。

次に筋電図用の表面電極を左右の咬筋、側頭筋前部、顎二腹筋前腹、胸鎖乳突筋に貼付、双極導出した。電極の貼付に際しては、脳波用電極ペースト(日本光電社製、Elefix)およびサージカルテープを使用し、それに先立ってアルコールによる清拭の徹底によりインピーダンスの低下を図った。電極間距離は20 mmとし、アース電極は前額中央部に設置した。なお、各筋の導出に際しては以下の解剖学的 Landmark を基に導出部位の一定化を図った。

a) 咬筋：外眼角と下顎角を結ぶ直線上で、この直線が咬合平面と交わる点の上下²⁰⁾

b) 側頭筋前腹：眼耳平面直上かつ筋腹前縁²⁰⁾

c) 顎二腹筋前部：下顎下面で、正中線と下顎側縁との中間、オトガイ点から下縁1/4後方の部位²¹⁾

d) 胸鎖乳突筋：乳様突起下方1 cmで筋前後幅の中央²²⁾

被験者を背もたれのあるいすに背中を着けて座らせ電極を貼付して、導出記録される筋電図波形が安定したことを確認後、クラッチを歯列に固定し、フェイスボウ、ヘッドフレームを装着し、クラッチおよびフェイスボウが下顎運動の妨げにならないことを確認した。実際の記録を行う前にディスプレイ画面上にリアルタイムで表示された下顎切歯点の運動軌跡を確認しながら、タッピング運動の練習をさせた。タッピング運動は、その頻度、強さ、開口量を特に規定せずに被験者に任意の運動を行わせた。なお、頭部の拘束は行わなかった。約20秒間のタッピング運動を、運動軌跡信号は sampling rate 89.4 Hz で、筋電図信号は sampling rate 2.56 kHz で記録した。

5. タッピング運動時の咬合位および周期の検出方法

タッピング運動時の咬合位は顎運動解析用プログラムにより各ストロークごとに下顎切歯点が最も上方に来た時点を検出し、その時点を咬合位と規定し、生体咬合平面における座標値を測定した。また、ストロークの周期は連続するストロークの咬合位間の時間とし、咬合位から最下方点までの時期を開口期、最下方点から咬合位までの時期を閉口期とした(図5)。

基準顎位を計測しパラフィンワックスを外した後、被験者には咬合位をとらせ、タッピング運動を行うよう指示した。しかし脳性麻痺患者ではタッピング運動開始時に不随意運動が見られることがあり、タッピング運動の第1ストロークの開始点である最初の最上方点が不明確であるため、第1ストロークは棄却した。そのため約20秒間のタッピング運動の第2ストロークから第21ストロークの連続20ストロークのデータを解析対象とした。

6. 分析項目

被験者ごとに下顎切歯点における20回のタッ

図4 ヘッドフレーム、フェイスボウを装着した状態

ピング運動について以下の検討を行った。なお、脳性麻痺患者群、健常者群間で比較する場合、検定法には Mann-Whitney U 検定を用いた。

1) 開口量と周期

タッピング1ストロークごとの開口量と周期、開口期、閉口期について健常者群、脳性麻痺患者群で比較した。開口量は下顎切歯点の咬合位から最下方点までの3次元距離とした。

2) タッピング運動時の咬合位の分布幅

脳性麻痺患者のタッピング運動時の咬合位の分布状況を水平面、前頭面、矢状面で検討した。また、タッピング運動時の咬合位のばらつきを健常者群、脳性麻痺患者群で比較するために本研究では咬合位の分布の最大幅を用いた。

3) タッピング運動時の筋活動量

タッピング運動の垂直成分と被験4種筋(咬筋、側頭筋前部、顎二腹筋前腹、胸鎖乳突筋)の筋電図からタッピング運動と筋活動の様相について以下のように検討した。

(1) タッピング1ストロークごとの被験筋の筋活動量

タッピング1ストロークごとの被験4種筋の筋電図波形を全波整流化した後、積分処理し、その積分値を左右同名筋で平均した値を筋活動量とし

健常者群、脳性麻痺患者群間で比較した。

(2) タッピング運動時の筋活動量の左右差の絶対値

筋活動の左右差の指標として、左右同名筋におけるタッピング1ストロークごとの右側筋活動量から左側筋活動量を引いた値の絶対値を、右側筋活動量と左側筋活動量の和で除し、その値の20回のストロークの平均値を求め、健常者群、脳性麻痺患者群間で比較した。

III. 結 果

1. 開口量と周期

表2ならびに図6に各被験者の下顎切歯点における開口量の平均値と標準偏差、および変動係数(C. V.)を示す。また、表3ならびに図7に各被験者の周期、開口期、閉口期の平均値と標準偏差、および変動係数を示す。

その結果、開口量は健常者群で平均±標準偏差(変動係数: %)で 5.94 ± 2.85 (48.0) mm, 脳性麻痺患者群で 5.97 ± 3.28 (54.9) mmで両者の平均値に有意差はなかったが、脳性麻痺患者群で変動係数が大きいことが認められた。

周期については健常者群が 0.54 ± 0.16 (30.4) sであるのに対し脳性麻痺患者群では 0.38 ± 0.15 (38.5) s, 開口期では健常者群が 0.30 ± 0.08 (28.1) sであるのに対して脳性麻痺患者群では 0.18 ± 0.07 (37.5) s, 閉口期では健常者群が 0.24 ± 0.09 (36.2) sであるのに対して、脳性麻痺患者群では 0.20 ± 0.08 (40.7) sで周期、開口期、閉口期に有意差は認められなかったが、変動係数はいずれも脳性麻痺患者群で大きかった。

2. タッピング運動時の咬合位の分布幅

健常者E, 脳性麻痺患者aのタッピング運動時の咬合位の分布をそれぞれ水平面(図8), 前頭面(図9), 矢状面(図10)で示す。X軸, Y軸, Z軸方向について分布の最大幅をみると健常者EでX軸方向1.03 mm, Y軸方向0.59 mm, Z軸方向0.28 mmに対して脳性麻痺患者aではそれぞれ5.84 mm, 15.50 mm, 4.21 mmといずれの方向でも分布幅が大きく、脳性麻痺患者の咬合位の

図5 タッピング運動の咬合位および周囲の検出法

表2 タッピング運動時の開口量 (mm)

健常者群				脳性麻痺患者群			
被験者	Mean	S. D.	C. V.(%)	被験者	Mean	S. D.	C. V.(%)
A	2.58	0.64	24.8	a	10.81	3.29	30.4
B	5.56	1.30	23.4	b	4.53	3.60	79.5
C	5.09	0.92	18.1	c	3.57	1.35	37.8
D	7.79	1.59	20.4	d	4.97	1.48	29.8
E	10.58	1.37	12.9				
F	4.05	0.65	16.0				
Mean	5.94	2.85	48.0	Mean	5.97	3.28	54.9
					N.S.		

(N. S.: 有意差なし)

ばらつきが大きいことが示唆された。

表4は各被験者の分布幅を示したもので、図11は分布幅をX軸、Y軸、Z軸方向について健常者群、脳性麻痺患者群で比較したものである。X軸方向については健常者群は平均±標準偏差で 0.80 ± 0.26 mmであり、脳性麻痺患者群は 3.02 ± 2.43 mmであり、Y軸方向については健常者群で 0.40 ± 0.14 mmに対し、脳性麻痺患者群では 8.50 ± 8.49 mm、Z軸方向については健常者群で 0.37 ± 0.18 mmに対し、脳性麻痺患者群で 1.68 ± 1.74 mmで、いずれの方向においても脳性麻痺患者群で有意に大きく、Y軸方向での分布幅が最も大きかった。

3. タッピング運動時の筋活動量

1) タッピング1ストロークごとの被験筋の筋活動量

表5ならびに図12にタッピング運動時の咬筋、側頭筋前部、顎二腹筋前腹、胸鎖乳突筋の筋活動量を示す。

その結果、咬筋では健常者群が平均値±標準偏差で $4.96 \pm 2.32 \mu V \cdot s$ であるのに対し、脳性麻痺患者群では $16.62 \pm 8.81 \mu V \cdot s$ 、同様に側頭筋前部では健常者群の $5.84 \pm 3.32 \mu V \cdot s$ に対し脳性麻痺患者群は $9.16 \pm 4.26 \mu V \cdot s$ 、顎二腹筋前腹では健常者 $5.25 \pm 2.11 \mu V \cdot s$ に対し脳性麻痺患者群は $22.31 \pm 16.52 \mu V \cdot s$ 、胸鎖乳突筋では健常者群で $2.11 \pm 0.70 \mu V \cdot s$ に対し、脳性麻痺患者群は

図6 タッピング運動時の開口量

縦軸はタッピング1ストロークごとの下顎切歯点の咬合位から最下方点までの3次元的距离を示す。

$18.44 \pm 14.74 \mu V \cdot s$ であり、咬筋、胸鎖乳突筋において脳性麻痺患者群で筋活動量は有意に大きかった。

2) タッピング運動時の筋活動量の左右差の絶対値

表6ならびに図13にタッピング運動時の筋活動量の左右差の絶対値を示す。その結果、健常者群では咬筋で平均値±標準偏差が 0.117 ± 0.060 であるのに対し、脳性麻痺患者群では 0.133 ± 0.062 、側頭筋前部では健常者群 0.075 ± 0.036 に対し、脳性麻痺患者群 0.265 ± 0.051 、顎二腹筋前腹では健常者群 0.165 ± 0.076 に対し、脳性麻痺患者群 0.113 ± 0.051 、胸鎖乳突筋では健常者群

表3 タッピング運動時の周期 (S)

健常者群	周 期			開口期			閉口期		
被験者	Mean	S. D.	C. V.(%)	Mean	S. D.	C. V.(%)	Mean	S. D.	C. V.(%)
A	0.26	0.04	15.4	0.15	0.03	19.6	0.11	0.02	18.7
B	0.43	0.08	18.6	0.26	0.05	19.6	0.17	0.05	28.7
C	0.64	0.12	18.8	0.31	0.08	26.1	0.33	0.06	18.1
D	0.59	0.09	15.3	0.33	0.08	24.2	0.26	0.07	26.9
E	0.64	0.07	10.9	0.38	0.07	18.5	0.26	0.07	26.6
F	0.69	0.15	21.9	0.36	0.10	27.8	0.33	0.11	33.3
Mean	0.54	0.16	30.4	0.30	0.08	28.1	0.24	0.09	36.2

脳性麻痺患者群	周 期			開口期			閉口期		
被験者	Mean	S. D.	C. V.(%)	Mean	S. D.	C. V.(%)	Mean	S. D.	C. V.(%)
a	0.58	0.29	50.1	0.26	0.08	30.5	0.32	0.26	81.8
b	0.33	0.14	42.2	0.14	0.05	35.2	0.19	0.11	57.9
c	0.23	0.08	34.6	0.11	0.03	27.5	0.12	0.07	57.4
d	0.39	0.04	10.2	0.20	0.03	14.7	0.19	0.03	15.9
Mean	0.38	0.15	38.5	0.18	0.07	37.5	0.20	0.08	40.7
	N.S.			N.S.			N.S.		

(N. S. : 有意差なし)

図7 タッピング運動時の周期, 開口期, 閉口期
縦軸はタッピング1ストロークごとの周期, 開口期, 閉口期を示す。

0.117±0.094 に対して脳性麻痺患者群 0.369±0.270 で、側頭筋前部において脳性麻痺患者群が

有意に左右差の絶対値が大きかった。

IV. 考 察

1. 被験者

一般に脳性麻痺は臨床所見から病型分類され、下顎運動を検討するときはその分類を基に被験者を区別する必要があるとする報告もある^{17,23,24)}。しかし檜林ら²⁵⁾は臨床的観察による病型分類は筋電図学的所見とは一致しないため、病型分類の再考が必要としている。また、歯科治療に来院する脳性麻痺患者に対して臨床的観察からは運動症状を的確には判断し難い。こうしたことから病型分類は客観性に乏しいと考えられ、また、本研究の趣旨が脳性麻痺患者において中枢性の運動障害が下顎運動および筋活動にどのように現れてくるのかを、健常者との比較によって考察することであるため、本研究では病型分類は行わなかった。

図8 タッピング運動時の咬合位の分布 (水平面)

図9 タッピング運動時の咬合位の分布 (前頭面)

図10 タッピング運動時の咬合位の分布 (矢状面)

2. 研究方法

1) 計測器

本研究で用いたナソヘキサグラフ JM-1000 は顎運動のほかに筋活動、咬合音を同時に記録することが可能な顎口腔機能解析システムである²⁶⁾。このシステムをほかの顎運動解析システムと比較すると、MM-JI が 660 g のフェイスボウと鋳造シーネを被験者に装着する²⁷⁾ため、脳性麻痺患者には重量感、違和感があり筋緊張や不随意運動を招くと考えられる。また、MKG やシロナソグラフは地磁気の影響を受けるため、測定時には頭位を変化させないようにすることが必要であり^{28,29)}、脳性麻痺患者のように頭部動揺が不可避な被験者には適用し難いと考えられる。

こうした顎運動計測システムに対し、本システ

ムはセンサであるカメラが被験者に接していない非接触型計測器であり、ヘッドフレームが 130 g、フェイスボウが 11 g と軽量で装着も簡単で、装着による重量感、違和感が少なく、脳性麻痺患者を対象にした計測も可能である。また、頭部が動揺、傾斜しても下顎運動は上顎の生体咬合平面に対する動きとして計測することが可能であり、本システムは脳性麻痺患者の計測にも適している。

本システムにおいてはセンサが上下に 2 台の CCD カメラであり、左右方向で $\pm 50 \mu\text{m}$ 、上下方向で $\pm 100 \mu\text{m}$ の精度に対して前後方向では $\pm 150 \mu\text{m}$ と、前後方向の精度がやや劣ることなど、改善すべき点もある。また、計測中は上下顎の LED がカメラ視野に常に入っていることが必要であり、頭部の動揺や傾きによっては LED が視野から外れたり、重なってしまい計測が行えないことがある。今後、頭部動揺や傾斜のより大きい脳性麻痺患者で計測を行うに際しては、カメラの配置やヘッドフレーム・フェイスボウの形態を検討する必要がある。

2) タッピング運動

タッピング運動は歯や義歯などを介した上下顎の咬合接触を伴う下顎の単純な開閉口運動といわれ³⁰⁾、限界運動でもなく、機能運動でもないが機能

表 4 タッピング運動時の咬合位の分布幅 (mm)

健常者群				脳性麻痺患者群			
被験者	X	Y	Z	被験者	X	Y	Z
A	0.32	0.29	0.24	a	5.84	15.50	4.21
B	0.78	0.51	0.32	b	4.25	16.20	0.79
C	0.77	0.30	0.74	c	0.94	0.79	1.38
D	0.86	0.26	0.32	d	1.04	1.52	0.34
E	1.03	0.59	0.28				
F	1.01	0.47	0.31				
Mean	0.80	0.40	0.37	Mean	3.02	8.50	1.68
S. D.	0.26	0.14	0.18	S. D.	2.43	8.49	1.74
					*	*	*

(* : $p < 0.05$)

図 11 タッピング運動時の咬合位の分布幅
縦軸はタッピング 20 ストロークの咬合位分布の
各軸における最大幅を示す。

的咬合系の 3 要素である咬合、咀嚼筋、顎関節の情報がこの運動に現れており、これを分析することによって 3 要素の状態の把握が可能な運動といわれている²⁹⁾。

顎運動計測の被験運動としてタッピング運動は歯牙接触があり、咬合接触状態を知るうえで重要な下顎運動である。しかも咀嚼運動にみられるような滑走運動がなく、作業側、平衡側といった、左右の運動様相の違いもないため、赤西ら³¹⁾が述べるように運動に関与する筋群の左右差を検討することが可能である。また、計測中に流涎、嚥下

がなく、食塊移動のための舌運動がないことからクラッチを装着した状態でも脳性麻痺患者にとって最も運動しやすいと考えられ、タッピング運動を計測対象とした。

また、タッピング運動は開口量、頻度、体位、頭位³²⁾、強さ³³⁾の影響を受けることから、これらの条件を統一し、比較検討することが望ましい。しかし、脳性麻痺患者においては、タッピング運動を術者の指示どおりにコントロールすることは難しく、頭部固定による拘束感や緊張感も、タッピング運動の再現を妨げる可能性があると考えら

表5 タッピング運動1ストロークごとの被験筋の筋活動量 ($\mu V \cdot s$)

健常者群	咬 筋		側頭筋前部		顎二腹筋前腹		胸鎖乳突筋	
被験者	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
A	1.63	0.29	1.29	0.20	3.60	0.81	0.93	0.14
B	2.72	1.13	3.74	1.08	4.85	0.85	1.87	0.34
C	6.86	1.90	4.59	0.80	3.93	0.63	2.88	0.51
D	7.53	2.87	6.71	1.14	4.05	0.82	2.56	0.45
E	5.60	1.16	10.57	2.17	9.25	1.77	2.50	0.36
F	5.40	2.23	8.12	2.57	5.79	1.22	1.92	0.46
Mean	4.96	2.32	5.84	3.32	5.25	2.11	2.11	0.70

脳性麻痺患者群	咬 筋		側頭筋前部		顎二腹筋前腹		胸鎖乳突筋	
被験者	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
a	9.06	3.84	15.50	7.86	19.33	9.84	17.52	10.83
b	23.49	8.56	6.96	4.66	24.14	8.83	38.74	14.32
c	8.95	5.49	6.41	3.90	2.81	1.27	3.69	1.49
d	24.96	6.26	7.78	2.02	42.96	6.65	13.82	1.90
Mean	16.62	8.81	9.16	4.26	22.31	16.52	18.44	14.74
	*		N.S.		N.S.		*	

(* : $p < 0.05$, N.S. : 有意差なし)

図12 タッピング1ストロークごとの筋活動量

縦軸はタッピング1ストロークごとの筋活動量を左右同名筋で平均した値を示す。

れ、本研究では咬頭台を使用せずにタッピング運動を計測することにした。

3) 座標系の設定

タッピング運動時の咬合位の分布幅を健常者群、脳性麻痺患者群で比較をする際、頭部の位置、ヘッドフレームの位置は個人で異なるため共通の

表 6 タッピング運動時の筋活動量の左右差の絶対値

健常者群	咬 筋		側頭筋前部		顎二腹筋前腹		胸鎖乳突筋	
被験者	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
A	0.207	0.042	0.036	0.030	0.125	0.087	0.033	0.035
B	0.072	0.070	0.051	0.037	0.186	0.047	0.030	0.020
C	0.060	0.040	0.120	0.034	0.195	0.025	0.239	0.059
D	0.168	0.088	0.118	0.066	0.256	0.043	0.102	0.035
E	0.124	0.066	0.057	0.038	0.036	0.029	0.228	0.076
F	0.070	0.059	0.068	0.037	0.194	0.046	0.072	0.033
Mean	0.117	0.060	0.075	0.036	0.165	0.076	0.117	0.094

脳性麻痺患者群	咬 筋		側頭筋前部		顎二腹筋前腹		胸鎖乳突筋	
被験者	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
a	0.148	0.095	0.340	0.159	0.161	0.075	0.641	0.093
b	0.213	0.113	0.235	0.191	0.152	0.075	0.162	0.081
c	0.096	0.060	0.246	0.188	0.072	0.071	0.560	0.064
d	0.075	0.064	0.237	0.078	0.066	0.111	0.113	0.072
Mean	0.133	0.062	0.265	0.051	0.113	0.051	0.369	0.270
	N.S.		*		N.S.		N.S.	

(* : $p < 0.05$, N.S. : 有意差なし)

図 13 タッピング運動時の筋活動量の左右差の絶対値

縦軸は $| \text{右側筋活動量} - \text{左側筋活動量} | / (\text{右側筋活動量} + \text{左側筋活動量})$ を示す。

基準平面を設定することが必要であり、本研究では各個人の生体標点による咬合平面を基準にした。本システムでは生体咬合平面を計測システム

に記録するにはポインターを 3 標点に接触させ、その 3 次元座標値を読み込む必要がある。その際、上顎座標系か下顎座標系のいずれかを選択するこ

とが可能である。しかし、脳性麻痺患者では上顎座標系を用いて生体標点をポインターで直接指示した場合、記録中に頭部の動揺、口唇や頬部の緊張があるうえに、ポインターが上口唇や鼻に当たり、指示したい位置にポインターを接触することが困難である。また、ポインターを持つ手がカメラ視野でLEDと重なるなどの理由から記録が難しく、計測時間が長くなり被験者の負担が大きくなる。そこで、本研究では被験者の負担を少なくし、標点の指示を正確に行うために下顎座標系を用いて、模型上で上顎歯列上の3標点の座標値を入力した。

4) 解析点

下顎切歯点は下顎のなかで最前方に位置するので下顎運動はそこで最大の形をとって現れる。この下顎運動の大きさ、下顎切歯点がほぼ正中線上にあることによる下顎運動の左右対称性、さらに口腔外からの観察が比較的容易であることによる下顎運動の把握しやすさから下顎切歯点は解析点として使われている³⁴⁾。本研究の被験者の下顎には著しい変形がなく、下顎切歯点が下顎の最前方に位置し、ほぼ正中線上にあることから本研究でも解析点として下顎切歯点を選択した。

5) 座標系との対応

本システムでは下顎切歯点の運動経路を算出するために、咬合平面を構成する上顎3標点と下顎切歯点の座標値を記録する必要があるが、その前に基準顎位を設定し、その顎位における上下顎の3次元的位置関係を記録する必要がある。基準顎位の採用には再現性の高い顎位を用いることになるが、石渡³⁵⁾の報告した下顎半側切除患者と同様に、脳性麻痺患者においても結果に示されたように咬合位のばらつきが大きく、再現性のある下顎位は見いだしにくいため、計測開始時に無理なく咬み合う位置を基準顎位として採用した。基準顎位の咬合採得に石渡³⁵⁾は比較的精度の高い咬合採得用ポリエーテル系印象材であるRamitecを用いている。しかし脳性麻痺患者はRamitecが硬化するまで下顎位を一定に維持することが困難であり、本研究では短時間で咬合採得ができるパラ

フィンワックスを使用した。

3. 結果

1) 開口量と周期の変動

これまで脳性麻痺者において下顎運動を定量的に評価した報告は、向井がビデオ画像を用いて2次元的に評価した報告¹⁹⁾があるのみであり、3次元的に定量的に評価した報告はない。

向井は脳性麻痺者のクッキー咀嚼時のオトガイ中央部の前頭面における運動軌跡長(3ストローク)について健常者と比較検討し、運動軌跡長の平均値±標準偏差は成人健常者が 76.2 ± 8.0 mmであるのに対し脳性麻痺者では 117.7 ± 10.0 mmと有意に大きいことを示している。

一方、本研究での脳性麻痺患者群のタッピング運動時の3次元の開口量の平均値は健常者群と有意差がなかった。この違いは被験運動の違いによると考えられる。向井が被験運動に用いた咀嚼運動は咬断、粉碎、臼磨の3つの機能が交代性にあるいは混合して行われ、舌運動との協調が必須の下顎運動である³⁶⁾。一方、本研究の被験運動であるタッピング運動は空口時の比較的単純な開閉口運動である³⁰⁾。すなわち、機能性や舌との協調性からより複雑な運動である咀嚼運動においては、脳性麻痺者は、食物の性状、形状に合わせた調節が適切に行えず非能率的になり、軌跡長が有意に大きくなったと考えられる。それに対し、食物や舌運動が関与せず、開口量の調節の必要性が少ないタッピング運動では脳性麻痺患者群の開口量に有意差がなかったと考えられる。

吉安の報告では¹¹⁾、咬合音によるタッピング運動の周期の平均値±標準偏差は健常者群が 631 ± 107 msであるのに対し脳性麻痺者群では 813 ± 345 msと有意に大きいことを示した。また、ガム自由咀嚼運動時の筋活動による周期の平均値±標準偏差(変動係数:%)は右側側頭筋前部の場合、健常者群が 583 ± 129 (22.1) msであるのに対し脳性麻痺者群では 875 ± 231 (26.4) ms、左側側頭筋前部の場合、健常者群が 587 ± 130 (22.1) msであるのに対し脳性麻痺者群では 845 ± 199 (23.6) ms、右側咬筋の場合、健常者群が 584 ± 133 (22.8)

msであるのに対し脳性麻痺者群では $866 \pm 206 (23.8)$ ms, 左側咬筋の場合, 健常者群が $586 \pm 128 (21.8)$ msであるのに対し脳性麻痺者群では $836 \pm 183 (21.9)$ ms, と被験4筋すべてにおいて脳性麻痺者群が有意に大きいことを示している。

本研究ではタッピング運動時の脳性麻痺患者群の周期の平均値は健常者群と有意差がなく, 吉安の報告とは異なっている。吉安の報告では, 対象とした脳性麻痺者20名に8名の全介助者が含まれているのに対し, 本研究の脳性麻痺患者群は全員が自立していた。すなわち, 吉安の報告の被験者には重度の機能障害を持つ者が含まれているのに対して, 本研究の被験者は比較的軽度の機能障害を持つ者で構成されていた。吉安の報告と異なり, 本研究で脳性麻痺患者群のタッピング運動の周期に有意差がなかったのは開口量が健常者群とほぼ同じであったためだけでなく, 被験者の機能障害が軽度であり, タッピング運動への影響が比較的少なかったためと考えられる。

本研究では開口量および周期のばらつきの指標として変動係数を用いた。脳性麻痺患者群の変動係数は開口量, 周期, 開口期, 閉口期において健常者群よりも大きな値を示した。したがって, 脳性麻痺患者群において開口量, 周期は健常者群と有意差を認めなかったが, 変動係数については健常者群より大きく, 脳性麻痺患者の下顎運動には不規則性があると考えられる。

2) タッピング運動時の咬合位の分布幅

健常者において直立位や直立座位で, 特別な条件を与えることなく任意なタッピング運動をさせると, タッピング運動時の最閉口位は, 水平的下顎位の自由度は比較的大きく, おおよそ直径0.3 mm程度の範囲に散在するとされている³⁰⁾。

本研究において, タッピング運動時の咬合位の分布幅は表4に示すように, 健常者群の場合, 前後方向で平均 0.80 ± 0.26 mm, 左右方向で 0.40 ± 0.14 mm, 上下方向で 0.37 ± 0.18 mmであり, 従来の報告より, 前後方向の分布幅が広く, 左右方向の分布幅はほぼ同様であった。

一方, 脳性麻痺患者群では前後方向で $3.02 \pm$

2.43 mm, 左右方向で 8.50 ± 8.49 mm, 上下方向 1.68 ± 1.74 mmで, いずれの方向においても健常者群よりも有意に大きく, 特に左右方向においてばらつきの大きいことが示された。そのため水平面での咬合位の分布は健常者群では前後方向に広がりを持つ楕円形になるのに対して, 脳性麻痺患者群では左右方向に広がりを持つ楕円形になり, 分布の様相に差が認められた。

3) タッピング1ストロークごとの被験筋の筋活動量

これまで, 脳性麻痺者の下顎運動に関する筋電図学的研究としては咀嚼筋筋電図に関する臨床的研究¹¹⁻¹⁷⁾がある。中島ら^{15,16)}は脳性麻痺者群の右側側頭筋前部の筋電図のリズムの変動が大きいほど咀嚼能力は低い傾向にあることを示している。吉安¹¹⁾は左右咬筋, 左右側頭筋前部の咀嚼運動時の筋放電持続時間において脳性麻痺者群が健常者群より有意に大きいことを示している。また, 岩田¹²⁾, 大西ら¹⁷⁾も左右側頭筋前部の咀嚼運動時の筋放電持続時間において脳性麻痺者群が健常者群より有意に大きいことを示している。

図14に示す健常者Bと比較して, 図15に示す脳性麻痺患者dにおいてはタッピング運動時の筋活動の筋放電持続時間および間隔時間に明確なリズムは認められず, 閉口筋である咬筋, 側頭筋前部と開口筋である顎二腹筋前腹が同時に活動している。筋放電持続時間において筋放電が増大し, 間隔時間においても筋放電が認められることから脳性麻痺患者の筋活動量が大きくなっていると考えられる。

大西ら^{13,17)}は咀嚼運動時に, 脳性麻痺者群の左右咬筋, 左右側頭筋前部の4筋の総活動量が健常者群より有意に大きいことを示している。本研究ではタッピング運動において脳性麻痺患者群は健常者群と比較して被験4種筋すべてにおいて筋活動量が大きく, 特に咬筋, 胸鎖乳突筋の筋活動量は有意に大きかった(図12)。

以上のように脳性麻痺患者群のタッピング運動において咀嚼筋の筋活動には明確なリズムが認められず, 開閉口の拮抗筋が同時に活動し, しかも

図 14 タッピング運動と筋活動 (健常者B)

図 15 タッピング運動と筋活動 (脳性麻痺患者d)

筋活動量が健常者群と比較して大きいことから、脳性麻痺患者ではタッピング運動がきわめて効率悪く行われていると考えられる。

4) タッピング運動時の筋活動量の左右差の絶

対値

顎機能異常者でタッピング運動時の咬合位のばらつきが大きい場合、筋活動は不安定で、協調性が欠如することが指摘され、その際の左右的バラ

ンス、各筋間のバランスを見ることで筋活動の異常が示されることが報告されている³⁷⁻³⁹⁾。脳性麻痺患者でもタッピング運動時の咬合位が不安定であることから筋活動のバランスについて検討した。

筋活動の左右差をみるために、タッピング1ストロークごとの筋活動量を左右同名筋の右側筋活動量から左側筋活動量を引いたものを、右側筋活動量と左側筋活動量の和で除した値を用いて左右同名筋の協調性について調べた。

図16に健常者E、図17に脳性麻痺患者aの各ストロークの4種筋の筋活動量の左右差を示す。健常者E、脳性麻痺患者aのいずれも筋活動の優位側が左右に変動しているが、健常者Eにおいて

は咬筋、側頭筋前部、顎二腹筋前腹で全ストロークにわたって左右差が ± 0.23 以内にあるのに対し、脳性麻痺患者aでは最小 -0.60 を越えることもあり、左右への変動幅が大きかった。胸鎖乳突筋に関しては健常者E、脳性麻痺患者aともに左側優位であったが左右差は脳性麻痺患者aが大きかった。このように脳性麻痺患者群では優位側が左右に大きく変動する傾向が見られた。そこで本研究では筋活動の左右差を明確にするため左右差の絶対値を指標に比較検討した。

図13に示すように脳性麻痺患者群では咬筋、側頭筋前部、胸鎖乳突筋において健常者群より左右差の絶対値が大きく、側頭筋前部では有意差が認められた。閉口筋の左右のアンバランスな筋活動

図16 タッピング運動における1ストロークごとの筋活動量の左右差(健常者E)
縦軸は $(\text{右側筋活動量} - \text{左側筋活動量}) / (\text{右側筋活動量} + \text{左側筋活動量})$ を示す。

図17 タッピング運動における1ストロークごとの筋活動量の左右差(脳性麻痺患者a)
縦軸は $(\text{右側筋活動量} - \text{左側筋活動量}) / (\text{右側筋活動量} + \text{左側筋活動量})$ を示す。

がタッピング運動時の下顎運動方向のばらつき、特に左右方向のばらつきの増大と関連していると考えられる。

以上より脳性麻痺患者では四肢・体幹と同様に顎口腔領域にも運動障害が認められ、タッピング運動時の咀嚼筋、胸鎖乳突筋の筋活動量が健常者群と比較して大きく、また、特に側頭筋前部において左右の筋活動の協調性が乏しく、タッピング運動時の咬合位がばらつくことが示された。

4. 臨床的意義と今後の課題点

咬合診査、咬合調整ではタッピング運動によって咬合紙で印記された咬合接触像をみることが多い。脳性麻痺患者の場合、咬合位は不安定で咬合接触像を咬頭干渉部として安易に削合することは誤った咬合位で調整する可能性が高く、咬合位を不安定にしたり、Centric stop を消失し咬合高径の低下を招いたりする可能性が高い⁴⁰⁾。

タッピング運動による咬合調整はCentric stopの獲得に有効な方法であり、その際咬頭頂と中心窩の接触は咬合力を歯の長軸に向けるのが原則⁴¹⁾である。本研究から脳性麻痺患者のタッピング運動時の咬合位は特に左右方向の偏位が大きく、咬合位は点状ではなく、幅を持つものと考えられる。したがって脳性麻痺患者の咬合調整においては左右的な中心窩の平坦化を行い、Wide Centric を設けて咬合力の側方成分を少なくする必要があると考えられる。

咬合調整ではこのほかに側方、前方のガイダンスや咬頭斜面の修正も重要な過程であるが、タッピング運動ではこうした調整は困難である。しかし脳性麻痺患者では滑走運動は不可能なことが多く、ファセットや機能運動である咀嚼運動によって調整する方法も考えられ、咀嚼運動時の咬合位への収束路やファセットの形態などを今後検討する必要がある。

V. 結 論

障害が比較的軽度な脳性麻痺患者のタッピング運動において、咬合位の分布と筋活動の様相にどのような特徴があるのか、顎運動計測システムを

用いて計測を行い、健常者と比較検討し、以下のことが明らかになった。

1. 脳性麻痺患者群のタッピング運動時の開口量と周期に有意差はなかったが、脳性麻痺患者群の変動係数は大きかった。

2. タッピング運動時の咬合位の分布幅において脳性麻痺患者群は前後、上下、左右方向で有意に大きかった。

3. タッピング運動時の筋活動量は咬筋、胸鎖乳突筋で脳性麻痺患者群が有意に大きかった。

4. タッピング運動時の筋活動量の左右差の絶対値は側頭筋前部で脳性麻痺患者群が有意に大きかった。

以上の結果より、障害が比較的軽度な脳性麻痺患者のタッピング運動において下顎運動を担う筋の、筋活動量の増大や左右での協調性の欠如が見られ、不安定な咬合位の要因の1つとなっていることが示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始懇切なご指導とご校閲を賜った東京医科歯科大学大学院歯学研究科生体機能制御歯科学系顎顔面補綴学講座・大山喬史教授に深く感謝いたします。また、ご教示、ご援助いただきました本学歯学部障害者歯科学講座・山崎統資助教授に謹んで感謝の意を表します。さらに、親身なご助力、ご鞭撻をいただきました本学歯学部附属病院障害者歯科治療部・篠塚 修講師に深く感謝いたします。

また、数々のご教示、ご助言をいただきました本学歯学部附属病院顎口腔機能治療部・谷口 尚講師に謝意を表すとともに、研究方法ならびに解析に懇切なご教示、ご協力をいただきました本学歯学部附属病院顎口腔機能治療部・秀島雅之助手に謹んで感謝の意を捧げます。

また、本研究にご協力を惜しまれなかった本学歯学部障害者歯科学講座の諸先生方に感謝いたします。加えて技術的協力をいただきました(株)小野測器・大橋正尚氏に厚く御礼申し上げます。

なお、本研究の一部は、第13回日本障害者歯科学会(1996年：大阪)において発表した。

文 献

- 1) 遠城寺宗徳, 梁井 昇: 脳性小児麻痺 (現代小児科学大系, 第 10 巻). 東京, 1968, 中山書店, 105-129.
- 2) 齋藤 宏, 中村隆一: 脳性麻痺の神経生理 (小児科 Mook, 第 7 巻). 東京, 1979, 金原出版, 16-27.
- 3) 青山正征: 脳性麻痺の神経生理学. 脳と発達 11: 208-217, 1979.
- 4) Abroms, I. F. and Panagakos, P. G.: The child with significant developmental motor disability (cerebral palsy). Scheiner, A. P., Abroms, I. F., The Practical Management of the Developmentally disabled child. St. Louis, 1980, Mosby Company, 145-166.
- 5) Twitchell, T. E.: The Neurological Examination in Infantile Cerebral Palsy. Develop. Med. Child Neurol. 5: 271-278, 1963.
- 6) Knutsson, E.: Muscle Activation Patterns of Gait in Spastic. Scand. J. of Rehabil. Med. 7 (suppl.): 47-52, 1980.
- 7) Milner-Brown, H. S. and Penn, R.: Pathophysiological mechanisms in cerebral palsy. J. of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry 42: 606-618, 1979.
- 8) 緒方克也: 障害者における有床義歯症例の検討. 障歯誌 3: 49-57, 1982.
- 9) 小笠原正, 笠原 浩, 平出吉範, 川島信也, 西山孝宏, 伊沢正彦, 渡辺達夫: 心身障害者の有床義歯に関する臨床的研究 第 3 報 有床義歯の予後. 障歯誌 9: 25-34, 1988.
- 10) Leonard, R. C. and Towson: Dentistry for the cerebral palsied. J. A. D. A. 41: 152-157, 1950.
- 11) 吉安高左郎: 脳性麻痺児の咀嚼筋活動と咀嚼機能障害の分類評価に関する研究. 小児歯誌 26: 336-359, 1988.
- 12) 岩田夏彦: 脳性麻痺者の筋電図学的研究—再現性の検討および健常者との比較について—. 日大歯学 63: 18-43, 1989.
- 13) 大西敏雄: 脳性麻痺者の咀嚼能力および咀嚼筋活動に関する筋電図学的研究—物性の異なる食品の咀嚼回数, 筋活動量による検討—. 日大歯学 64: 65-74, 1990.
- 14) 渋井尚武, 大出祥幸, 河野寿一, 杉山 久, 関本恒夫, 間下喜一, 齋木 隆, 上原正美, 菊池 進, 大竹邦明, 成田寛治, 前田隆秀, 山田 博, 芳賀定, 高梨 登, 深田英朗: 心身障害児の咀嚼機能回復法ならびに口腔疾患の予防と再発抑制に関する基礎的研究 第 4 報 筋電図学的解析による摂食機能の発達状況について. 小児歯誌 24: 146-153, 1986.
- 15) 中島一郎, 大西敏雄, 金岡雅浩, 長澤 篤, 関みつ子, 高梨 登, 武井謙司, 前田隆秀, 赤坂守人: 脳性麻痺の咀嚼能力と咀嚼筋活動の關係の検討. 日大歯学 62: 596-605, 1988.
- 16) Nakajima, I., Ohnishi, T., Nagasawa, A., Seki, M., Takanashi, N., Takei, K., Maeda, T., Ogura, T. and Akasaka, M.: Relationship between the Values of Masticatory Efficiency and Biting Pressure in Children with Cerebral Palsy—Inter-relationship between the Maximum Biting Pressure, Chewing Cycle and the Value of Masticatory Efficiency—. J. Nihon Univ. Sch. Dent. 30: 244-260, 1988.
- 17) 大西敏雄, 武井謙司, 長澤 篤, 関みつ子, 中島一郎, 高梨 登, 小倉孝夫, 前田隆秀, 赤坂守人: Spastic 型脳性麻痺者の咀嚼筋活動に関する筋電図学的研究, 咀嚼リズム・咀嚼筋活動量について. 小児歯誌 28: 153-159, 1990.
- 18) 緒方克也: 脳性麻痺患者における MKG による下顎運動の解析. 障歯誌 7: 27-41, 1986.
- 19) 向井美恵: 咀嚼運動時における口唇の動きに関する研究—ビデオ画像による運動解析—. 障歯誌 10: 3-25, 1989.
- 20) 上野俊明: 噛みしめと上肢等尺性運動の関連性に関する研究. 口病誌 62: 212-253, 1995.
- 21) 塩野幸一, 柴崎貞二, 坂田憲昭, 川越信行, 荒木良子, 大竹邦明, 深田英朗: 小児の咀嚼筋電図の再現性に関する実験的研究—小児と成人とを比較して—. 小児歯誌 14: 349-361, 1976.
- 22) 吉田恵一: 咬合機能時における胸鎖乳突筋の機能に関する筋電図学的解析. 口病誌 55: 53-70, 1988.
- 23) 渡辺安典: 脳性麻痺の歯科学的研究—Spastic type と Athetose type の口腔機能の発達の比較—. 小児歯誌 17: 149-157, 1979.
- 24) 杉本友夫: 脳性麻痺児における口腔機能と咀嚼能力および運動能力の関連性について. 日大歯学 58: 795-804, 1984.
- 25) 檜林博太郎, 長畑正道: 脳性小児麻痺の臨床および分類の再考. Clinical Neurology 4: 89-99, 1964.
- 26) 長谷川成男, 栗山 實: ナソヘキサグラフ. 補綴臨床別冊 (口腔ケアのためのフォローアップシステム): 239-244, 1996.
- 27) 藤村哲也, 坂東永一: デジタル方式顎運動測定器の開発. 補綴誌 35: 830-842, 1991.
- 28) 右近晋一: 咀嚼時における下顎運動と筋電図の同時記録の分析の自動化について. 九州歯会誌 36: 1059-1085, 1982.
- 29) 丸山剛郎: 臨床生理咬合. 東京, 1988, 医歯薬出版, 17-147.
- 30) 藤井弘之: タッピング運動 (石岡 靖, 小林義典, 長谷川成男, 河野正司, 林 豊彦編), 顎口腔機能分析の基礎とその応用. 東京, 1991, デンタルダイヤモンド社, 78-87.

- 31) 赤西正光, 丸山剛郎: 咬合・顎筋・顎関節についての補綴修復(その2). *Dental Diamond* 10: 30-31, 1985.
- 32) 林 甫: 下顎の小開閉運動時の各種姿勢と開閉条件とが前後的な歯牙接触位に及ぼす影響に関する研究. *歯科学報* 80: 1-31, 1980.
- 33) 尾松素樹, 溝上隆男: タッピング時の力がタッピング・エリアの左右的位置に及ぼす影響に関する研究. *補綴誌* 36: 1141-1147, 1992.
- 34) 長谷川成男: 咬合学序説. 東京, 1988, 医歯薬出版, 69.
- 35) 石渡寿夫: 下顎半側切除患者の開閉口運動時の咬合位に関する研究—開口量の違いが咬合位に及ぼす影響—. *口病誌* 59: 307-330, 1992.
- 36) 歯科医学大事典編集委員会編: 歯科医学大事典. 東京, 1989, 医歯薬出版, 1626.
- 37) 渡辺 誠, 佐々木啓一, 鹿沼晶夫: 顎口腔機能異常者の咬合診断法. 下顎運動機能と EMG 論文集 5: 103-108, 1986.
- 38) 石垣尚一, 吉川健司, 仲谷江美子, 大前泰三, 西塔 治, 井上俊二, 石井弘二, 奥田眞夫, 中村隆志, 赤西正光, 丸山剛郎: 筋電図診査の臨床応用に関する研究 第一報: 筋活動の評価方法について. 下顎運動機能と EMG 論文集 7: 139-146, 1988.
- 39) 野首孝祠, 吉田 実, 守光 隆, 長島 正, 池邊一典, 山本 誠, 渡邊久仁恵, 奥野善彦: バイトプレーンの装着が咀嚼筋筋電図に及ぼす影響 第一報: タッピング運動時の筋活動について. *補綴誌* 33: 323-336, 1989.
- 40) Ash, M. M. and Ramfjord, S.: *Occlusion*. Philadelphia, 1995, Saunders, 291.
- 41) Okeson, J. P.: *Fundamentals of Occlusion and Temporomandibular Disorders*. St. Louis, 1985. Mosby, 369-464.