

幼児の咀嚼機能と顎顔面形態との関連性に関する研究

三條 勲

岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座

(主任 : 石川 富士郎 教授)

(受付 : 1997年2月14日)

(受理 : 1997年4月14日)

Abstract : This study was aimed to clarify the hypothesis that the reduction of masseter muscle activity induces insufficient growth of the jaw bones. From this viewpoint, relationship between the skeletal structure on roentgenographic cephalograms and both the thickness of the masseter muscle and electromyograms were investigated.

Subjects and methods : Subjects were 74 children (39 males and 35 females) aged from 4 years 9 months to 6 years 7 months, who live in Aomori prefecture. The analysis of 31 linear and 23 angular items of dentofacial structure was made on the traces from lateral roentgenographic cephalograms. The masseter muscle thickness was measured from the image obtained from an ultrasonic scanner (Aloka : Echo Camera SSD 500, Probe : 7.5 MHz), and electromyograms of the masseter muscle were analyzed. The dental diseases were also examined and recorded.

Results :

1. The incidence of normal occlusion in these children was 66.2%, and malocclusion was classified into 3 types (crowding 18.9%, anterior cross bite 8.1%, and maxillary protrusion 6.8%). The prevalence of the dental caries was 95.9 %, and the gingivitis was 62.2 %.
2. Electromyogram indicated that the dentofacial morphology was related to the muscle activity based on electromyograms. Especially the size and shape of maxillofacial structure, such as measured items of Y-axis, mandibular plane angle, superficial masseter muscle insertion width, ramus height and inclination of masseter muscle axis in male, the gonial angle, mandibular plane angle and masseter muscle length in female were significantly correlated.
3. The masseter muscle thickness was related to some morphological characteristics, such as well as masseter insertion width, masseter length, gonial angle, ramus angle, mandibular plane angle and alveolar bone height in both male and female.
4. The maximum bite force was 20.1 kg in male and 25.9 kg in female. Their bite force was related to the skeletal structure, such as masseter insertion width in male, and ramus height, gonial angle and mandibular body length in female.

These results indicated that the muscle thickness, electromyogram and bite force had significant correlation with the maxillofacial skeleton. Hence, it was suggested that the masseter muscle shape was one of the indicators of masticatory capability related closely to the size and shape of mandibular bone.

Key word : children, electromyograms, thickness of the masseter muscle, dentofacial morphology, bite force

Relationship between masticatory ability and dentofacial structure in children.

Isao SANJO

(Department of Orthodontics, School of Dentistry, Iwate Medical University, Morioka, 020 Japan)

結 言

身体の成長に関わる後天的な要因として、古くから栄養と身体の運動機能の両者が挙げられており、特に機能の発達には骨格の形態形成に直接影響を与えると考えられている。このことに関して Graber¹⁾ は、大腿骨に付着する筋の機能が骨組織に及ぼすという Meyer の説を引用している。さらに、顔面頭蓋の骨格については、Sicher による縫合性成長、Scott による軟骨性成長、および Moss の functional matrix (機能母体説) などの諸説があり、現在では周辺組織の機能と分離しては考えられないことを指摘している¹⁾。中でも Moss²⁾ の理論は、顎顔面複合体は骨の構造と関連するすべての軟組織系の機能発達によって生じる反応が骨の形態形成を促すというものであり、これは歯科矯正学の領域では基礎、臨床の両面における成長の基本的概念となっている。また、この理論の延長線上で捉えた成長期における咀嚼筋の活動は咀嚼器官の形態的特徴として現れ、特に筋突起における側頭筋の影響、あるいは下顎角における咬筋や内側翼突筋の影響に関する報告³⁾もある。

咀嚼器官系の運動機能は咀嚼、嚥下、構音、呼吸であるが、これらの中で顎骨形態の形成には、咀嚼運動が直接関与し、これに対して構音や呼吸は顎骨の基本的形態に影響を与えるものではない。換言すると、咀嚼運動が顎骨形成を修飾する鍵となる。このことについて井上ら⁴⁾ は、日本における最近の食生態の変化が人の発達期における咀嚼機能量の低下を生じ、弥生時代以降のおよそ 1800 から 2000 年におよぶ歴史時代と比較して、現代日本人にみられる顎顔面

形態の発育不全は急速に増加していることを指摘している。

本研究はこのような観点から、特に幼児期の咀嚼機能と顎骨形態との関連性を総合的に評価し、特に咬筋筋厚が咬筋発達の指標として有効であることを検証する目的で行った。

対象および方法

対象は、青森県五所川原市郊外にある保育園児、男児 39 名、女児 35 名の計 74 名である。年齢は男児、女児とも 4 歳 9 か月から 6 歳 7 か月で、平均年齢はともに 5 歳 9 か月 (S. D.; 男児: ± 6 か月, 女児: ± 7 か月) であった。これら対象児に対して保護者の理解と協力のもとに以下の各項について調査を行った。各調査項目における資料数は Table 1 に示した。

1. 食事調査: 3 日間に摂取した全食品、飲料の記録を採取した。

2. 歯科疾患診査: 咬合、齲蝕、歯肉炎について診査した。

3. 咬筋表面筋電図: 可搬型筋電図記録装置⁵⁾を用い、習慣性咀嚼側の咬筋活動を表面電極 (LecTrode 日本電気三栄) により記録した。記録系の仕様は以下のとおりである。増幅器は、周波数特性: 10 ~ 2000 Hz; - 3 dB, 入力レベル: 20 μV ~ 10 mV, 増幅率: 600, 1,000, 5,000, 10,000 倍固定, 時定数: 0.03 s, 出力レベル: 最大 2 V, 使用電源: 9 V 積層乾電池である。また、波形は、波形モニター (DMM / SCOPE 30 MS/s 300 リーダー電子) で確認しながらデータレコーダー (HR-30, MU-30 TEAC 社) に記録した。また、活動電位は双極誘導とし、電極は咬筋筋腹中央相当部の皮膚上

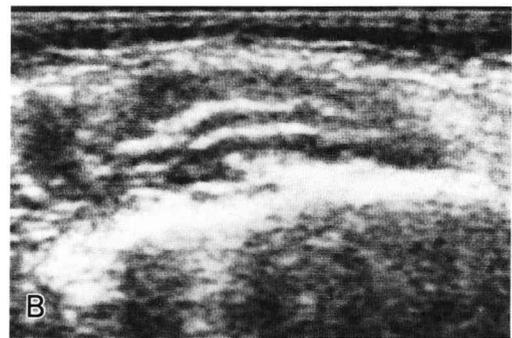
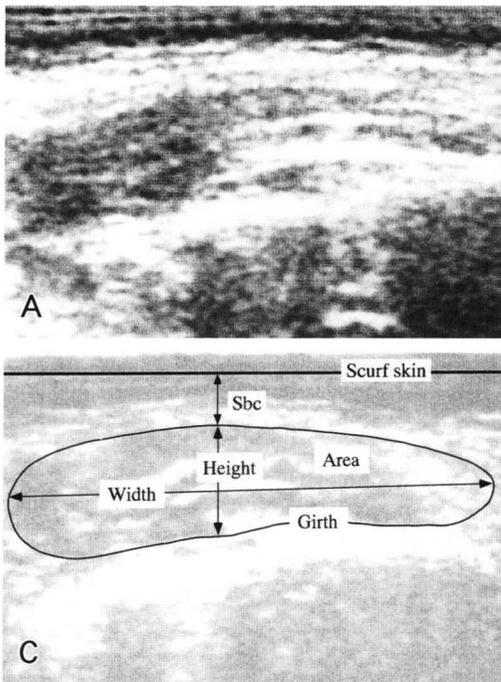
Table 1. Number of subjects for each investigated item.

Items	Male	Female	Total
Questionnaire of dietary style	39	35	74
Examination of dental diseases	39	35	74
Electromyogram of masseter muscle	35	33	68
Scanning of masseter muscle thickness	39	35	74
Analysis of roentgenographic cephalogram	39	35	74
Bite force	36	30	66

Table 2. Means and standard deviations of electromyogram of msseter muscle and bite force.

Items	Male		Female		Total	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Electromyogram (EMG)						
STR (n)	42.6	24.57	45.5	23.79	44.0	24.06
TIM (sec)	40.1	22.50	39.6	17.73	39.9	20.18
DUR (sec)	0.4	0.12	0.4	0.12	0.4	0.12
INT (sec)	0.6	0.56	0.5	0.17	0.6	0.42
CYC (sec)	1.0	0.56	0.9	0.16	1.0	0.42
TITG (V)	0.3	0.21	0.3	0.30	0.3	0.26
ITG (mV)	7.4	5.00	5.3	4.54	6.4	4.87
Bite force						
PEM (μ V)	131.2	112.62	165.8	189.77	146.4	151.30
BFM (kg)	20.1	9.93	25.9	17.61	22.8	14.19

STR, chewing stroke ; TIM, sum of each chewing time ; DUR, duration in each burst ; INT, interval between bursts ; CYC, chewing cycle ; TITG, sum of integration ; ITG, average integration in each burst ; PEM, peak EMG at maximum bite force ; BFM, maximum bite force

**Fig.1.** Measurements of cross-sectional image of masseter muscle and thickness of subcutaneous tissue.

A, resting status ; B, clenching status ; C, method of measurements ; Area, area of muscle band (mm^2) ; Girth, girth of muscle band (mm) ; Width, width of muscle band (mm) ; Height, thickness of muscle band (mm) ; Sbc, thickness of subcutaneous tissue (mm)

で筋の走行と平行に 20 mm の間隔で貼付し、基準電極は前額部に貼付した。咀嚼時の筋活動はゼリー（カムゾーゼリー、1 粒平均±標準偏差 2.68 ± 0.08 g 生活協同組合）一個を自由に咀嚼させ嚥下するまでの全咀嚼運動を記録した。

波形の分析は Table 2 の項目群について、三

輪⁶⁾による音声分析プログラムを筋電図解析用に改変したもので行った。分析は 450 Hz の low pass filter を通した後、sampling 周波数 1000 Hz で 16 bits digital data に変換後行った。

4. 咬筋筋厚：汎用型超音波診断装置（SSD - 500 Aloka 社）を用いた。本装置の電子リニア型探触子（UST - 5512 U - 7.5, 7.5 MHz Aloka 社）を咬筋筋層相当部の頬部皮膚上に置

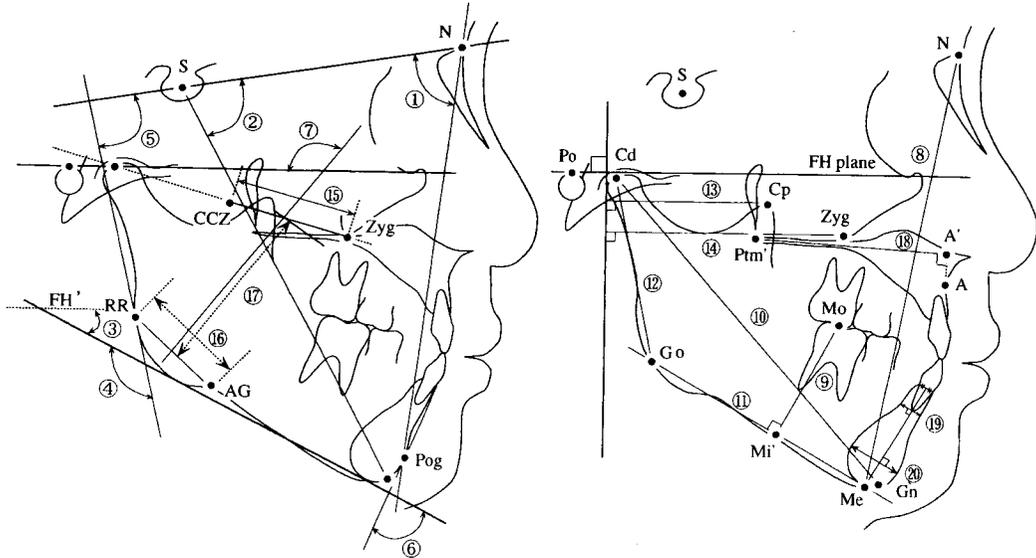


Fig. 2. Method of roentgenographic cephametric analysis.

Angular measurements

- ① SNP, sella-nasion-pogonion ; ② YxSN, nasion-sella-gnathion (Y-axis) ; ③ MpA, mandibular plane angle ; ④ GoA, gonial angle ; ⑤ RaSN, ramus inclination ; ⑥ SymA, symphysis angle ; ⑦ FH-Mu, inclination of masseter muscle

Linear measurements

- ⑧ N-Me, anterior total facial height (nasion-menton) ; ⑨ Mo-Mi, mandibular posterior dental height (Mo-Mi') ⑩ Gn-Cd, mandibular length (gnathion-condyilion) ; ⑪ MBL, mandibular body length ; ⑫ RamL, ramus length ⑬ Cd-Cp, Cd line to coronoid process ; ⑭ Cd-Zyg, Cd line to masseter muscle ; ⑮ UWM, upper width of masseter muscle ; ⑯ LWM, lower width of masseter muscle ; ⑰ MML, masseter muscle length ; ⑱ A'-Pm, maxillary length (A'-Ptm') ; ⑲ Alv1, thickness of alveolar process ; ⑳ Alv2, thickness of symphysis

き、起始相当部（頬骨弓下縁）、中央部（珠間切痕と口角を結ぶ頬部皮膚上）および停止相当部（下顎下縁上部）の3箇所を記録した。記録時の条件は安静時および最大噛みしめ時とし、横断面の画像を確認しながら、プリンター（SSZ-305, Aloka社）で印刷した。画像として得た咬筋横断面の計測はFig.1に示すように横断面面積、周長、最大横径と縦径、および表皮から筋層上面までの距離について行った。

5. 側面頭部X線規格写真：可搬型頭部X線規格写真装置（T-3型 東京エンジン）により撮影した。側面頭部X線規格写真計測は、通法による角度および距離分析^{7,8)}に、Kasaiら⁹⁾の方法を加え45項目について行った。これらのうち①から⑳を解析に用いた（Fig.2）。本研究で別に設定した計測法は次の通りである。

a) 咬筋の起始部横径（UWM）：下顎頭（Cd）と頬骨突起下端（Zyg）の点を結ぶ線上の中点（CCZ）と、Zyg点間の距離（Fig.2, ⑮）。

b) 咬筋の停止部横径（LWM）：下顎枝平面と下顎角後縁の接点（RR）と下顎下縁切痕部の最深点（AG）の2点間の距離（Fig.2, ⑯）。

c) 咬筋長径（MML）：CCZとZygの中点とRRとAGの中点間の距離（Fig.2, ⑰）。

d) 咬筋の傾斜度（FH-Mu）：a)のCCZとZygの中点と、b)のRRとAGの中点を結ぶ直線とFH平面との角度（Fig.2, ⑦）。

6. 咬合力：乳臼歯部における咬合力の測定は、中野ら¹⁰⁾によって考案された集団を対象としても測定可能な装置を使用した。本装置の受圧機構は水圧を利用しており、全体は受圧部、増幅機および表示部からなる。受圧部はポリア

Table 3. Basic statistics of investigation.

Items	Male		Female		Total	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Physical conditions						
Height (cm)	112.4	7.60	111.9	6.62	112.1	7.11
Weight (kg)	20.3	3.98	20.7	4.53	20.5	4.22
KIDX (Kaup index)	15.9	1.64	16.4	2.53	16.2	2.10
Nomal Occlusion (%)						
	66.7		65.7		66.2	
Malocclusion (%)						
	33.3		34.3		33.8	
Maxillary protrusion	10.3		2.9		6.8	
Anterior crossbite	5.1		11.4		8.1	
Crowding	17.9		20.0		18.9	
Pathogenic factors of malocclusion (%)						
Skeletal factor	5.1		8.6		6.8	
Functional factor	7.7		14.3		10.8	
Discrepancy factor	61.5		82.9		71.6	
Habitual factor	2.6		0.0		1.4	
Dental caries						
Persons with caries (%)	92.3		100.0		95.9	
df rate (%)	37.5		43.7		40.4	
Treated teeth (%)	33.1		43.8		38.6	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Number of present teeth	20.7	1.28	20.7	1.72	20.7	1.50
Number of dft	7.7	4.90	9.1	4.35	8.4	4.66
Gingivitis (%)	53.8		71.4		62.2	
Dietary styles (index)						
MDS	229.1		226.1		227.7	
BDIT	58.9		62.9		60.8	
DIT	288.0		289.0		288.5	
LDIT	92.1 *		74.6		83.9	

MDS, main and side dishes in each daily meal; BDIT, between meals;

DIT, sum of MDS, BDIT (Index) ; LDIT, liquid diet (ml/10)

Significance by Student's t-test *p<0.05

ロマー遠沈管（5 PA シールチューブ 日立工機社）をビニール管（内径 12 mm, 外径 16 mm, 厚さ 2 mm）で二重に被覆した構造で、これが圧力センサー（流体圧力センサー、PS-A, 温度補償型 共和電業社）を内在したシリンジと結合される。受圧部とシリンジは一体となった閉鎖系でこの中に水道水を満たし、受圧部が加圧され水圧が上昇すると、増幅機によって圧の変動が指数としてデジタル表示される。計測は、受圧部を対象者の第一乳臼歯と第二乳臼歯の間に置き、最大噛みしめ時の値を記録した。また、同時にその状態における筋電図も記録した。

各計測値の分析結果については正規性と等分

散性を確認後、平均値、標準偏差、平均値の差の検定等の統計処理とあわせて相関分析、因子分析を行った。

結 果

1. 食事調査

調査の一部は Table 3 に示した。主食と副食（MDS）の摂取量および液体状の食物を総称した液状食（LDIT）は、いずれも男児が女児より多く摂取しており、なかでも液状食では明かな差を示していた。

2. 歯科疾患診査

(1) 咬合

Table 4. Means and standard deviations of thickness of masseter muscle, and distance between subcutaneous tissue and masseter at clenching and resting status.

Items	Male				Female				Total			
	Resting		Clenching		Resting		Clenching		Resting		Clenching	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Origin												
Area (mm ²)	225.9	48.16	226.6	45.79	206.7	39.58 *	220.9	46.93	216.8	45.05 *	223.9	46.11
Girth (mm)	74.0	5.86 *	75.3	6.33	73.6	5.50	74.0	6.23	73.8	5.66 *	74.7	6.27
Width (mm)	33.7	2.63 *	34.3	2.85	33.7	2.45	33.6	2.74	33.7	2.53	34.0	2.80
Height (mm)	9.1	1.48	8.9	1.24	8.7	1.43	9.1	1.46	8.9	1.46	9.0	1.34
Sbc (mm)	12.6	3.03 *	12.7	3.09	14.5	3.66	14.1	3.95	13.5	3.45	13.4	3.56
D-Y (mm)	0.1	1.68			-0.4	1.99			-0.2	1.84		
Middle region												
Area (mm ²)	237.9	48.93	238.2	51.70	232.2	50.91 *	249.2	57.31	235.2	49.61 *	243.4	54.33
Girth (mm)	74.1	5.46	74.8	4.96	75.7	5.65	75.8	6.10	74.8	5.57	75.3	5.51
Width (mm)	33.5	2.39	34.0	2.02	34.4	2.49	34.0	2.49	33.9	2.46	34.0	2.24
Height (mm)	9.7	1.59	9.5	1.68	9.4	1.74 *	10.3	1.91	9.6	1.66	9.8	1.83
Sbc (mm)	11.6	3.29	11.1	2.66	13.4	4.60 *	12.3	4.01	12.4	4.04 ***	11.6	3.40
D-Y (mm)	-0.2	1.27			0.9	1.42			0.3	1.44		
Insertion												
Area (mm ²)	221.1	47.83	206.6	60.14	209.1	42.65	207.7	46.97	215.4	45.55	207.1	53.95
Girth (mm)	75.2	4.61	76.2	5.13	74.4	5.41	75.2	4.60	74.8	4.98 *	75.7	4.88
Width (mm)	34.0	2.01 ***	35.0	2.18	33.9	2.47	34.3	1.81	33.9	2.23 ***	34.7	2.03
Height (mm)	9.5	1.87 *	8.4	2.34	9.1	1.34	9.1	1.71	9.3	1.64 *	8.7	2.08
Sbc (mm)	8.6	2.85	7.8	2.61	10.3	4.00 *	9.3	4.45	9.4	3.53 **	8.5	3.66
D-Y (mm)	1.0	1.68			0.5	1.96			0.7	1.82		

D-Y (mm), difference height between clenching and resting status

Significance by Student's t-test *p<0.05 **p<0.01 ***p<0.001

男女児全体の咬合は、正常咬合者は66.2%であった。不正咬合は、叢生18.9%、反対咬合8.1%、上顎前突6.8%であった。これら不正咬合の要因別頻度は、骨格型6.8%、機能型10.8%、不調和型71.6%であった。

(2) 齶蝕および歯肉炎

齶蝕診査からは、df 歯率40.4%、一人平均現在歯数20.7歯、一人平均齶蝕歯数8.4歯であった。歯肉炎1度と2度の者は62.2%であった。

3. 咬筋表面筋電図

女兒は咀嚼回数のみが多く、筋活動の持続時間、総活動電位量は男女児とも等しく、他項目の咀嚼時間、筋活動の休止時間、咀嚼周期、活動電位量は、男児が大きい値 (Table 2) を示していたが明かな差はなかった。

4. 咬筋筋厚

起始相当部、中央部、停止相当部の3部位について行った。しかし、これら3部位では特に

大きな差を認めなかったため、中央部(珠間切痕と口角を結ぶ頬部皮膚上)の計測値を咬筋筋厚の代表値として示した (Table 4)。その結果、安静時の横断面積と縦径は男児が大きく、噛みしめ時の横径は男女児とも等しかった。その他の安静時噛みしめ時の各項目群は、女兒が大きかったが性差は認められなかった。安静時と噛みしめ時の比較では、女兒における横断面積と縦径 (p<0.05) に明かな差が認められたが、男児にはいずれにおいても差はなかった。

5. 頭部 X 線規格写真分析

顎顔面形態は、角度計測では性差はなかったが (Table 5)、距離計測では男児が、歯槽部幅径 (Alv 1) を除いた他の全項目で女兒より大きかった。とくに顔面高 (N-Me)、乳臼歯歯槽高径 (Mo-Mi)、下顎枝長 (RamL)、咬筋長径 (MML) に差 (p<0.01) があり、また、下顎頭

Table 5. Means and standard deviations of rentogenographic cephalometric analysis.

	Male		Female		Total	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.	Mean	S. D.
Angular measurements (degree)						
SNP	75.8	3.06	76.9	2.43	76.4	2.82
YxSN	70.9	2.90	69.8	2.68	70.4	2.83
MpA	29.3	3.94	29.9	3.36	29.6	3.66
GoA	126.3	6.16	126.7	5.83	126.5	5.96
RaSN	90.0	4.62	90.2	4.88	90.1	4.71
SymA	77.8	4.05	78.2	4.18	78.0	4.09
FH-Mu	122.5	3.15	123.4	3.20	122.9	3.18
Linear measurements (mm)						
N-Me	106.0	6.04 **	102.3	4.02	104.3	5.48
Mo-Mi	30.0	2.13 **	28.8	1.63	29.4	2.00
Gn-Cd	97.1	5.62	95.2	4.10	96.2	5.02
MBL	57.5	3.75	56.9	3.16	57.2	3.48
RamL	45.8	3.12 **	43.9	2.97	44.9	3.18
Cd-Cp	32.7	2.84	31.7	2.06	32.2	2.54
Cd-Zyg	51.0	3.29 *	49.5	2.61	50.3	3.07
UWM	35.8	2.20 *	34.9	1.71	35.4	2.02
LWM	27.1	2.92	26.4	2.36	26.8	2.68
MML	47.5	3.21 **	45.5	2.89	46.6	3.22
A'-Pm	43.4	2.14	42.9	2.11	43.1	2.39
Alv1	7.5	1.71	7.7	1.76	7.6	1.72
Alv2	14.0	1.33	13.8	1.35	13.9	1.33

Significance by Student's t-test *p<0.05 **p<0.01

頬骨間距離 (Cd-Zyg), 咬筋起始部横径 (UWM) においても性差 (p<0.05) が認められた。

6. 咬合力

最大噛みしめ時のピーク電位および最大咬合力とも女児が大きかった (Table 5)。

考 察

1. 対象者の歯科疾患について

対象者の身体状況と歯科疾患および食行動の概要は Table 3 に示した。平均年齢が5歳9か月である本対象者の身長と体重は、平成6年度における5歳時の全国平均値¹¹⁾と比較すると、男児では身長1.9 cm, 体重1.2 kg, 女児では身長2.4 cm, 体重2.4 kg大きかった。しかし、カウプ指数は男児15.9, 女児16.4で全国平均値との差は特に認められなかった。

歯科疾患のうち齲蝕は、df 歯率でみると男児が37.5%, 女児が43.7%の罹患率を示し、5歳児の全国平均値¹²⁾である男児の32.1%, 女児の

31.9% に対して男女児ともに高い齲蝕罹患状態にあった。幸地ら¹³⁾の分類による歯頸部周辺に炎症をもつ歯肉炎スコア1度, 2度で表されるものが男児53.8%, 女児71.4%で、齲蝕とともに歯肉炎も女児において高い罹患状態が認められた。咬合は正常咬合が66.2%であるにもかかわらず、不調和型の咬合の頻度が高かった。これは対象者の歯列に発育空隙の認められるものが少ないことを示すもので、永久歯の萌出とともに将来かなり高頻度で叢生歯列になることが予測される。

歯科疾患は食事行動との関連が高く、特に幼児期あるいは学童期の歯肉炎では、摂食パターンを変えることによって変動することが報告¹⁴⁾されており、対象者の歯科疾患の特質を知るためには、対象者それぞれの食行動との関連性を解析する必要があるであろう。いずれにしても高い齲蝕の罹患率、あるいは歯肉炎の高発症率をみると食生活に間食や、液状食の占める割合に偏りがあることが推察される。井上ら¹⁵⁾による咀嚼

Table 6-a. Correlation coefficients between roentgenographic cephalometric variables and electromyogram in male.

Variables	STR	TIM	DUR	INT	CYC	TITG	ITG	PEM	BFM
SNP	.142	.140	.135	-.038	-.018	.337 *	.387 *	-.070	.032
YxSN	-.277	-.146	.095	.136	.151	-.496 **	-.356 *	-.019	-.088
MpA	-.277	-.149	.260	.051	.093	-.371 *	-.182	-.107	-.064
GoA	-.105	.098	.278	.171	.207	-.312	-.239	-.099	.025
RaSN	-.093	-.203	-.240	-.126	-.157	-.063	-.097	.005	-.117
SymA	.135	.001	-.252	-.107	-.144	.166	.043	.200	-.052
FH-Mu	.225	.002	-.172	-.358 *	-.346 *	.405 *	.163	.140	-.008
N-Me	-.282	-.071	.170	.281	.308	-.521 **	-.214	-.049	.038
Mo-Mi	-.124	.051	-.005	.262	.263	-.292	-.128	-.030	-.091
Gn-Cd	-.179	.066	.247	.298	.335 *	-.401 *	-.113	-.022	.162
MBL	-.031	.112	.014	.213	.217	-.207	-.068	-.131	.088
RamL	-.198	.032	.098	.369 *	.371 *	-.326	-.003	.037	.055
Cd-Cp	-.092	-.016	.109	.142	.160	-.218	.008	.008	.298
Cd-Zyg	.029	.089	.048	.059	.079	-.104	.027	.133	.330
UWM	-.005	.070	.095	.062	.090	-.117	.072	.163	.347 *
LWM	-.264	-.336 *	-.031	-.022	-.015	-.073	.208	.166	.209
MML	-.160	-.146	-.123	.111	.101	-.099	.103	.075	.089
A'-Pm	-.073	-.036	-.146	.022	-.004	-.306	-.169	.086	-.054
Alv1	-.005	.092	.141	.101	.127	-.216	-.043	-.112	-.093
Alv2	-.235	-.273	.101	-.050	-.021	-.254	-.019	-.066	.203

Significance of correlation coefficients *p<0.05 **p<0.01

量については、全飲食物の摂取を表す総咀嚼量 (DITT) として女兒が男児より僅かに多く、これには間食の量が影響していることが伺われる (Table 3)。本研究における食生活の調査結果の詳細な検討は今後の課題としたい。

2. 顎顔面形態と咬筋筋電図との関連性

表面筋電図における筋活動の全体像は、一般に言われている成人男子が女子よりまさることが、本調査の幼児においても同様の傾向を示していた (Table 2)。

日本人幼児の咀嚼機能について筋電図的に検討した塩野¹⁶⁾、塩野ら¹⁷⁾は、咀嚼時において側頭筋が咬筋より大きな電位を示したのに対して、咬筋は側頭筋に比べ未発達で、咀嚼運動の主体は側頭筋にあり、従属的に咬筋が働き咀嚼回数で機能を補償していると述べている。そして加齢とともに協調し成人では咬筋の作用が強くなると報告している。Yuen ら¹⁸⁾は波形を周波数分析し、小児は成人より高いところにあると報告しているが、この点については今後解析をす

める必要があろう。顎顔面形態との関係では、Takada ら¹⁹⁾によって報告されているように、咬筋の走行は下顎角および下顎下縁の形態との関連が高く、垂直方向の者では下顎角は小さく、前方傾斜が大きくなるに従って下顎角が開大することを指摘している。また、筋の活動状態が下顎骨の形態に反映するとする見解は、成人についてのものであるが Ingervall ら²⁰⁾、田部²¹⁾、守光ら²²⁾によっても報告されている。

本研究の結果では、Table 6-a, 6-b に示すように男児では総積分値 (TITG) は、Y 軸角や下顎下縁平面角と負の相関を示した。また、これらの計測部位と関連する顔面高、あるいは下顎長とも負の相関を示していた。このことは成人における咬筋機能の良好なものは下顎角が小さく、いわゆる短顔の形態を示すことと同様の傾向がすでに発達の初期にみられることが示唆された。さらに咀嚼周期および活動休止時間から判定される咀嚼のリズムでは、下顎長および

Table 6-b. Correlation coefficients between roentgenographic cephalometric variables and electromyogram in female.

Variables	STR	TIM	DUR	INT	CYC	TITG	ITG	PEM	BFM
SNP	-.215	-.261	.063	-.001	-.043	.076	.175	-.030	.056
YxSN	.236	.319	.081	.029	.148	.016	-.144	-.044	-.086
MpA	-.298	-.289	-.486 **	.312	.056	-.104	.026	-.096	-.023
GoA	-.474 **	-.443 **	-.393 *	.396 *	.161	-.219	-.049	-.382 *	.034
RaSN	.392 *	.419 *	.252	-.205	-.009	.199	.039	.218	-.202
SymA	.203	.137	.004	-.156	-.133	-.144	-.275	-.214	-.038
FH-Mu	.376 *	.307	.064	-.334	-.292	.082	-.017	.314	-.030
N-Me	-.079	-.040	.157	.043	.137	-.110	-.153	.068	.223
Mo-Mi	.253	.258	.049	-.055	-.046	.026	-.155	-.016	-.029
Gn-Cd	-.252	-.261	.132	.054	.099	-.202	-.145	.099	.238
MBL	-.118	-.193	.113	-.221	-.160	-.043	.008	.292	.078
RamL	-.088	-.076	.148	.065	.122	-.127	-.136	.101	.378 *
Cd-Cp	.326	.265	.279	-.315	-.161	-.167	-.309	.066	.181
Cd-Zyg	.124	.150	.239	-.041	.065	-.219	-.446 **	-.044	.165
UWM	.100	.102	.177	-.067	-.007	-.210	-.376 *	.066	.272
LWM	.011	-.057	.176	-.260	-.168	.050	.048	.121	-.106
MML	.233	.259	.362 *	-.115	.108	-.006	-.211	.139	.085
A'Pm	-.010	-.035	.187	-.066	-.012	-.069	-.119	-.196	.229
Alv1	-.016	-.037	.105	.009	.070	-.069	-.112	-.024	.329
Alv2	.088	.062	.013	.048	.040	-.116	-.182	-.135	.070

Significance of correlation coefficients * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

下顎枝長の大きさと正の相関を示したが、咬筋走行の傾斜とは負の相関を示していた。咬筋の走行が頬骨弓に対して垂直方向になり、下顎下縁平面が頬骨弓と平行となるに従って強い力を発揮する事が可能となることは力学的にも考えられることである。このように咬筋の活動は下顎骨の形態形成に影響することが推察された。

女兒においては咀嚼運動時にみられる burst の持続時間が、下顎下縁平面角 ($p < 0.01$) および下顎角と負の相関を示したが、咬筋長径とは正の相関を示し、男児と同様に咬筋の活動性が下顎角およびそれを形成する下方、後方の両平面角、さらに咬筋の長さに関わる骨格部の大きさなどに関連性の高いことが認められた。

このような結果は、成人における下顎骨の形態に反映するという報告と同様の傾向を示すものである。このことは幼児期においてすでに顎骨形態の基本的パターンが形成されることが示唆された。

3. 顎顔面形態と咬筋筋厚との関連性

咬筋筋厚は、Table 7-a に示すように男児では、安静時、噛みしめ時ともに咬筋停止部横径、咬筋長径および乳臼歯歯槽高径が、筋厚の全ての計測値と正の相関を示し、下顎角とは負の相関を示した。また、オトガイ歯槽部の傾斜度 (SymA) は安静時の筋厚と正の相関を示していた。一方、女兒では Table 7-b に示すように咬筋停止部横径、咬筋長径および下顎角が男児と同様の関係を示し、下顎枝長、下顎体長および下顎長は、安静時および噛みしめ時の筋厚と正の相関を示していた。また、歯槽部幅径、オトガイ部幅径が噛みしめ時の筋厚と正の相関を示した。

このように咬筋筋厚と顎骨形態との関係は、下顎下縁平面角、下顎角、咬筋停止部横径、咬筋長径、乳臼歯歯槽高径、下顎枝傾斜角、下顎枝長、下顎体長、顔面高、下顎長、下顎頭頬骨間距離、咬筋起始部横径などに関連が高く現れていた。特に、安静時および噛みしめ時の咬筋筋厚と下顎下縁平面角、下顎角の間の負の相関、

Table 7-a. Correlation coefficients between roentgenographic cephalometric variables and thickness of masseter muscle in male.

Variables	Resting					Clenching					D-Y
	Area	Girth	Width	Height	Sbc	Area	Girth	Width	Height	Sbc	
SNP	-.037	-.070	-.089	-.169	-.036	-.045	-.064	-.051	-.103	-.020	.076
YxSN	.004	-.017	.016	.132	.140	.010	-.011	-.029	.053	.110	-.097
MpA	-.259	-.229	-.198	-.234	.039	-.268	-.250	-.260	-.239	-.014	-.024
GoA	-.444**	-.361*	-.330*	-.476**	-.031	-.367*	-.383*	-.387*	-.298	.029	.203
RaSN	.346*	.301	.305	.480**	.070	.302	.355*	.368*	.248	.002	-.275
SymA	.330*	.328*	.344*	.319*	.151	.289	.255	.213	.260	.056	-.057
FH-Mu	.246	.252	.258	.244	.196	.144	.108	.055	.132	.120	-.132
N-Me	.194	.089	.062	.246	.142	.080	.060	.042	.090	.156	-.191
Mo-Mi	.377*	.285	.235	.434**	.357*	.350*	.350*	.326*	.342*	.239	-.092
Gn-Cd	.130	.030	-.002	.135	.090	.067	.015	.005	.083	.177	-.059
MBL	.241	.194	.176	.233	.067	.133	.138	.179	.109	.137	-.148
RamL	.237	.064	.024	.266	.051	.132	.079	.046	.167	.069	-.113
Cd-Cp	.228	.093	.032	.188	.012	.152	.042	.007	.142	.183	-.049
Cd-Zyg	.346*	.246	.186	.309	.289	.306	.116	.015	.309	.434**	.021
UWM	.367*	.243	.184	.321*	.266	.292	.092	-.022	.316	.413**	.015
LWM	.508**	.476**	.413**	.554**	-.025	.434**	.470**	.453**	.375*	-.004	-.198
MML	.552**	.383*	.312	.618**	.218	.416**	.361*	.319*	.359*	.174	-.300
A'-Pm	.288	.194	.157	.303	.219	.293	.229	.158	.305	.184	.024
Alv1	.145	-.110	-.170	.149	.393*	.070	-.112	-.206	.105	.397*	-.047
Alv2	.179	.016	-.054	.201	.198	.183	.007	-.086	.223	.235	.043

Significance of correlation coefficients *p<0.05 **p<0.01

Table 7-b. Correlation coefficients between roentgenographic cephalometric variables and thickness of masseter muscle in female.

Variables	Resting					Clenching					D-Y
	Area	Girth	Width	Height	Sbc	Area	Girth	Width	Height	Sbc	
SNP	.116	.247	.266	.132	.191	.251	.310	.238	.283	.160	.218
YxSN	.012	-.152	-.216	.002	-.057	-.063	-.212	-.203	-.126	-.036	-.172
MpA	-.322	-.376*	-.321	-.386*	-.231	-.289	-.370*	-.336*	-.273	-.237	.105
GoA	-.532**	-.545**	-.468**	-.453**	-.124	-.453**	-.455**	-.416*	-.331	-.131	.110
RaSN	.390*	.332	.255	.278	-.041	.307	.278	.269	.164	-.020	-.119
SymA	.032	.152	.240	-.184	-.075	.112	.120	.153	.000	-.047	.225
FH-Mu	.163	.088	.077	.041	-.226	.136	.058	.069	.039	-.193	.003
N-Me	.218	.154	.074	.266	.449**	.316	.222	.137	.302	.459**	.081
Mo-Mi	.320	.299	.255	.205	.003	.219	.203	.216	.096	.079	-.121
Gn-Cd	.254	.319	.264	.314	.490**	.424*	.440**	.327	.493**	.483**	.276
MBL	.332	.421*	.367*	.330	.319	.429*	.541**	.460**	.404*	.335*	.138
RamL	.285	.328	.271	.342*	.507**	.351*	.279	.174	.419*	.506**	.144
Cd-Cp	.148	.297	.299	.020	.230	.262	.267	.224	.234	.162	.289
Cd-Zyg	.049	.189	.199	.013	.345*	.173	.156	.131	.230	.363*	.292
UWM	.096	.219	.223	.056	.372*	.221	.180	.135	.292	.390*	.323
LWM	.378*	.467**	.429*	.317	.051	.438**	.510**	.448**	.343*	.117	.073
MML	.444**	.489**	.413*	.381*	.354*	.473**	.425*	.376*	.405*	.357*	.077
A'-Pm	.047	.014	.012	.115	.253	.077	.131	.134	.114	.312	.012
Alv1	.164	.251	.253	.087	.495**	.481**	.341*	.191	.487**	.359*	.546**
Alv2	.311	.295	.281	.212	.175	.391*	.340*	.350*	.315	.213	.164

Significance of correlation coefficients *p<0.05 **p<0.01

あるいは下顎枝長と正の相関を示していた。Bakke²³⁾は、成人を対象に安静時と噛みしめ時の咬筋横断面積の計測を行い、噛みしめ時の厚さと前顔面高および下顎下縁平面角の間に負の相関を認めている。これらに共通する所見は、咬筋筋厚と下顎角および下顎下縁平面角の間に密接な関係があることを示している。一方、小児、幼児についての報告では、Rasheed²⁴⁾は咬筋、側頭筋について、筋電図と超音波診断法の観察から筋厚と筋活動が、咬合型でみると開咬より過蓋咬合で強く現れることを指摘している。また、Raadsheer²⁵⁾は筋厚が加齢で増加すること、男子が女子より優性に現れること、さらに顎顔面形態では前顔面高と下顎長との相関は負であるが、下顎幅、頬骨弓幅と正の相関を示すことを述べている。このように成人にみられる筋と顎骨形態の関係は、すでに小児において現れることを意味するもので、咬筋の発達が下顎骨の形態形成に大きい影響を与えることを裏付けるものと考えられる。

咬筋筋厚の形成に関する因子について Weijs と Hillen²⁶⁾ は食行動をあげているが軟食の傾向は、咀嚼器官の発達に影響を与えることが飼料の物理的性状を変えた動物実験によって指摘されている。それは Watt と Williams²⁷⁾、Barber²⁸⁾、Moore²⁹⁾、Ito³⁰⁾、Kiliaridis³¹⁾、黒江³²⁾、添野³³⁾などによっても報告されているように、軟性飼料あるいは液状飼料飼育群の顎顔面形態の特徴として、頭蓋の容積や長径および幅径の減少、咬筋や側頭筋重量の減少、上顎歯列弓の幅径の減少、下顎枝長の減少、関節頭の前後径と幅径の減少、あるいは粗造な骨梁構造などが観察されている。これらは飼料の性状によって下顎の運動量が減少し咀嚼筋と顎顔面骨の発育不全を生じたものと考えられている。特に咬筋重量の減少と下顎枝長の減少の所見は、本研究における筋厚の測定結果および頭部 X 線規格写真の所見と同様の傾向を示すもので、咀嚼筋の運動量が咬筋筋厚に影響し、同時に下顎骨形態にも影響を及ぼしていると解釈することができる。

本研究で行った対象者の食行動についての解析はまだ十分ではないが、概要は Table 3 です で述べた通りである。

4. 咬合力と表面筋電図、咬筋筋厚、顎顔面形態の関係について

男子の最大咬合力は平均 20.1 ± 9.9 kg で、女子は 25.9 ± 17.6 kg であった。咬合力測定時に得た筋電図の最大電位は男児 $131.2 \pm 112.6 \mu$ V、女児 $165.8 \pm 189.8 \mu$ V で、咬合力と筋電図の両者の間には高い相関性が得られた。五所川原地区の 3 歳児を対象とした 1991 年の調査³⁴⁾では、咬合力は男児 25.8 ± 4.2 kg、女児 23.5 ± 3.8 kg で男女間に有意の差を認めたが、今回の調査では性差は認められなかった (Table 2)。

5 歳児の最大咬合力は、前田³⁵⁾によると男児 27.8 ± 7.97 kg、女児 21.2 ± 5.80 kg、牧³⁶⁾の報告では男児 21.3 kg、女児 20.4 kg である。これらの値は本研究結果との間に大きな差として認められるものではない。しかし、咬合力に関して中野¹⁰⁾は、測定装置、測定方法による誤差が大きく単純には比較できないことを指摘しており、この点も考慮しておく必要がある。

咬合力と咬筋筋厚の関係は、男児では安静時の面積および縦径と正の関わりのある傾向にあった。女児では噛みしめ時の横径と正の相関を示し、縦径とも相関傾向を示した。このことは Spronsen³⁷⁾、Sasaki³⁸⁾が成人の咬筋と内側翼突筋の面積と、前歯臼歯の最大咬合力ないしは咬合力との間に、正の相関があるとする報告と同様の傾向を示すものであった。

咬合力と顎顔面形態との関連性では、男児では咬筋起始部横径と、女児では下顎枝長と正の相関を示した。佐橋³⁹⁾は、咬合力は身長および体重との間に有意な相関関係はないが、顔面形態では Ricketts⁴⁰⁾のいう短顔型、中顔型、長顔型の順に平均咬合力は弱くなると述べている。特に頭部 X 線規格写真の計測では、下顔面高、顔面軸、下顎下縁平面、顔面高、後顔面高、下顎枝長などとの関連が強いと指摘している。これと同様の傾向について Kiliaridis⁴¹⁾は、7 歳から 24 歳を対象に前顔面高の発育の小さ

Table 8. Three factors and each value of load obtained from method of varimax rotations of principal components analysis.

Variables	Male				Variables	Female			
	I	II	III	Communality		I	II	III	Communality
RamL	.859	.076	.008	.743	Gn-Cd	.930	.148	-.167	.915
Gn-Cd	.848	-.389	-.001	.871	RamL	.835	.115	.079	.716
Mo-Mi	.839	.159	.149	.751	MBL	.808	.251	.026	.716
MML	.742	.471	.318	.873	LWM	.702	.307	.138	.606
UWM	.661	-.515	.379	.846	MML	.611	.311	.533	.755
RaSN	.047	.900	.096	.822	ACR	.140	.923	.151	.894
GoA	-.012	-.826	-.358	.811	ACC	.282	.887	.020	.867
ACC	.196	.197	.827	.761	GCR	.246	.854	.172	.820
ACR	.296	.253	.820	.824	STR	-.201	-.009	.888	.830
TITG	-.498	-.029	.634	.651	GoA	-.376	-.407	-.735	.846
Contribution	3.523	2.266	2.164	7.953	Contribution	3.421	2.823	1.720	7.965
Proportion (%)	35.2	22.7	21.6	79.5	Proportion (%)	34.2	28.2	17.2	79.7

いものでは咬合力の増加が大きいことを指摘し、また、加齢に伴って咬合力は増加することを報告している。親里ら⁴²⁾も乳歯列期の咬合力は加齢的に大きくなることを指摘している。このことに関して川村ら⁴³⁾は、平均咬合力が3歳児から5歳児の間では200%以上の増加を認めているが、個人差も大きく最小値は最大値の1/2であるとしている。以上のような報告にみられるように咬合力については絶対量として検討するには、なお方法論的な問題を含むと思われた。

5. 変数間の関係

噛む能力と咀嚼器官の形態の相互の関連性は、各調査項目から得られた55項目の変数について検討した。本研究課題に沿って個々の変数が、どの程度で共通因子の影響を受けているか、情報の圧縮を得るため多変量解析の中で因子分析を行った。調査項目の食事記録、歯科疾患、咬筋筋電図、咬合力、咬筋筋厚、顎顔面形態の各項目群を変数とした。共通性の推定値を決定するために主成分分析を行い、固有値から分析の繰り返しにより3因子の抽出が妥当となり、さらに因子を解釈するため因子軸を回転するバリマックス法で行った (Table 8)。

その結果、男児では、第I因子に属したものは顎顔面形態の下顎枝長、乳臼歯歯槽部高径、咬筋長径、咬筋起始部横径が含まれた。この変数群は下顎骨の大きさを表す項目群であった。第II因子は下顎枝傾斜角および下顎角が含まれ、下顎骨の形態を表すものであった。第III因子は咬筋筋厚面積および総活動電位量が含まれ筋厚と筋電図の機能に関する項目であった。女児では第I因子には下顎長、下顎枝長、下顎体長、咬筋停止部横径、咬筋長径が所属し男児と同じように下顎骨の大きさを表していた。第II因子は咬筋筋厚面積および筋厚周囲長で筋厚などの機能についての項目が、また、第III因子には咀嚼回数、下顎角が含まれ、筋電図と負の因子負荷量を示す下顎骨形態であった。これら変数の累積因子寄与率は男児が79.5%、女児が79.7%で抽出された因子の明瞭さを示している。共通性からは、男児は下顎骨の大きさや形態、咬筋筋厚が、女児は下顎骨の大きさ、咬筋筋厚、そして筋電図項目が3因子によって説明される比率の高いことを表していた。さらに男児、女児ともに抽出された変数は、下顎枝長、下顎長、咬筋長径、下顎角そして咬筋筋厚面積であった。55全変数の中でこの5変数は、本調

査から得られた情報の中で最も関係の深い項目と考えられた。

結 論

幼児期における顎顔面形態と咀嚼機能に関する表面筋電図、咬筋筋厚、咬合力との関連性について検討した。その結果以下のことが明らかとなった。

1. 筋電図による筋活動の指標は、男児がY軸角、下顎下縁平面角、顔面高、下顎長、咬筋の傾き、下顎枝長、咬筋停止部幅、女児が下顎角、下顎枝傾斜角、下顎下縁平面角、咬筋長径と関わりがあった。

2. 咬筋筋厚からは、男児が咬筋停止部横径、咬筋長径、下顎角、乳臼歯歯槽高径、オトガイ歯槽部の傾斜度、下顎枝傾斜角、下顎頭頬骨間距離、咬筋起始部横径、女児が咬筋停止部横径、咬筋長径、下顎角、下顎体長、下顎長、下顎枝長、下顎枝傾斜角、歯槽部幅径、オトガイ部幅径、下顎下縁平面角と関わりがあった。

3. 最大咬合力からは男児が咬筋起始部横径、女児が下顎枝長と関わりがあった。

4. 咀嚼機能の指標として間接的、あるいは直接的に表現される咬筋の形態(筋厚)、表面筋電図および咬合力は、顎顔面形態との関連性が高く、下顎骨の形態と位置を決定する要因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、ご指導、ご校閲を賜りました岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座石川富士郎教授、岩手医科大学歯学部歯科放射線学講座坂巻公男教授、ならびに岩手医科大学歯学部予防歯科学講座米満正美教授に謹んで感謝の意を表します。また、本研究を進めるにあたり終始ご指導頂きました岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座亀谷哲也助教授に深く感謝致します。

さらに、歯科矯正学講座の皆様にも厚くお礼申し上げます。

本研究の概要は、第42回岩手医科大学歯学会例会(1996年7月6日)、第55回日本矯正歯科学会大会(1996年10月18日:福岡市)および第75回国際歯科学会大会(1997年3月21日:オーランド市,アメリカ)において発表した。

文 献

- 1) Graber, T. M.: Orthodontics, principles and practice, 3rd ed., W. B. Saunders Co., Philadelphia, London, Toronto, pp 27-134, 1972.
- 2) Moss, M. L.: The functional matrix, in Vistas in orthodontics, Ed. by Kraus, B. S. and Reidel, R. A., Lea & Febiger, Philadelphia, pp 85-98, 1962.
- 3) Moss, M. L.: Functional cranial analysis of the coronoid process in the rat. *Acta anat.* 77: 11-24, 1970.
- 4) 井上直彦, 伊藤学而, 亀谷哲也: 咬合の小進化と歯科疾患, 『ディスクレパンシーの研究』, 医歯薬出版, 東京, 1-234 ページ, 1986.
- 5) Inoue, N., Sakashita, R., and Kamegai, T.: Reduction of masseter muscle activity in bottle-fed babies. *Early human development.* 42: 185-193, 1995.
- 6) 三輪譲二; パソコン音声処理, 昭晃堂, 東京, 1-179 ページ, 1991.
- 7) 飯塚哲夫: 頭部 X 線規格写真による日本人の小児の顔の成長に関する研究, 『口病誌』, 25: 260-272, 1958.
- 8) 坂本敏彦, 三浦不二夫, 飯塚哲夫: 頭部 X 線規格写真法による日本人顔面頭蓋の成長に関する研究, 実測長分析, 成長率分析, 実測長百分率分析成績, 『口病誌』, 30: 169-182, 1963.
- 9) Kasai, K., Richards, L. C., Kanazawa, E., Ozaki, T., and Iwasawa, T.: Relationship between attachment of the superficial masseter muscle and craniofacial morphology in dentate and edentulous humans. *J. Dent. Res.* 73: 1142-1149, 1994.
- 10) 中野錦吾, 亀谷哲也, 中野廣一, 清野幸男, 田附敏良, 佐藤和朗, 石川富士郎, 山田好秋: ヒトの咬合力の測定に関する研究 - 水圧を利用した咬合力計の開発とその歯科健康診断への適応 -, 『日矯歯誌』, 53: 35-42, 1994.
- 11) 厚生省保険医療局健康増進栄養課: 平成8年版, 国民栄養の現状(平成6年国民栄養調査成績), 第一出版, 東京, 129 ページ, 1996.
- 12) 厚生省健康政策局歯科衛生課編, 平成5年歯科疾患実態調査報告, 『口腔保健協会』, 東京, 66-67 ページ, 1995.
- 13) 幸地省子, 井上直彦, 亀谷哲也, 桑原未代子, 井上昌一, 小椋 正, 伊藤学而: 乳幼児歯科健診の方法論に関する検討, 『口腔衛生会誌』, 33: 16-17, 1983.
- 14) 伊藤学而: 咀嚼機能と咬合の発達に関する基礎的、臨床的考察, 『東北矯歯誌』, 1-17, 1993.
- 15) 井上直彦, 伊藤学而, 井上昌一, 幸地省子, 塩野幸

- 一：人類の食生活と咀嚼器官の退化に関する研究，昭和62年度科学研究費補助金（総合研究A）研究成果報告書，15-31 ページ，1988。
- 16) 塩野幸一：幼児の咀嚼筋活動様相に関する筋電図学的研究，小児歯誌，16：275-295，1978。
- 17) 塩野幸一，柴崎貞二，吉元辰二，山田 宗，小椋正：幼児と成人の顎・顔面の形態と咀嚼筋機能に関する研究，小児歯誌，16：535-543，1978。
- 18) Yuen, S. W. H., Hwang, J. C. C., and Poon, P. W. F. : EMG power spectrum patterns of anterior temporal and masseter muscles in children and adults. *J. Dent Res.* 68 : 800-804, 1989.
- 19) Takada, K., Lowe, A. A., and Freund, V. K. : Canonical correlations between masticatory muscle orientation and dentoskeletal morphology in children. *Am. J. Orthod.* 86 : 331-341, 1984.
- 20) Ingervall, B., and Thilander, B. : Relation between facial morphology and activity of the masticatory muscles. *J. Oral Rehabil.* 1 : 131-147, 1974.
- 21) 田部孝治：咀嚼筋活動と顎・顔面形態に関する研究，日矯歯誌，35：255-265，1976。
- 22) 守光 孝，野首孝祠，長島 正，吉田 実，池邊一典，奥野善彦：顎顔面頭蓋の形態的要素と閉口筋筋活動との関係，日顎誌，1：162-171，1989。
- 23) Bakke, M., Tuxen, A., Vilmann, P., Jensen, B. R., Vilmann, A., and Toft, M. : Ultrasound image of human masseter muscle related to bite force, electromyography, facial morphology and occlusal factors. *Scand. J. Dent. Res.* 100 : 167-171, 1992.
- 24) Rasheed, S., Prabhu, N., and Munshi, A. : Electromyographic and ultrasonographic observations of masseter and anterior temporalis muscles in children. *J. Clin. Pediatr. Dent.* 20 : 127-132, 1996.
- 25) Raadsheer, M., Kiliaridis, S., van Eijden, T., van Ginkel, F., and Prahl Andersen, B. : Masseter muscle thickness in growing individuals and its relation to facial morphology. *Archs Oral Biol.* 41 : 323-332, 1996.
- 26) Weijs, W. A., and Hillen, B. : Correlations between the cross-sectional area of the jaw muscles and craniofacial size and shape. *Am. J. Phys Anthropol.* 70 : 423-431, 1986.
- 27) Watt, D. G., and Williams, C. H. M. : The effects of the physical consistency of food on the growth and development of the mandible and maxilla of the rat. *Am. J. Orthod.* 73 : 895-928, 1951.
- 28) Barber, C. G., Green, L. J., and Cox, C. J. : Effects of the physical consistency of diet on the condylar growth of the rat mandible. *J. Dent. Res.* 42 : 848-851, 1963.
- 29) Moore, W. J. : Masticatory function and skull growth. *J. Zool.* 146 : 123-131, 1965.
- 30) Ito, G., Mitani, S., and Kim, J. H. : Effect of soft diets on craniofacial growth in mice. *Anat. Anz.* 165 : 151-166, 1988.
- 31) Kiliaridis, S. : Muscle function as a determinant of mandibular growth in normal and hypocalcaemic rat. *Eur. J. Orthd.* 11 : 298-308, 1989.
- 32) 黒江和斗：下顎頭と下顎窩の加齢変化に及ぼす咀嚼の影響，日矯歯誌，50：196-209，1991。
- 33) 添野一樹：固形飼料ならびに粉末飼料飼育ラットの咀嚼筋機能および下顎枝の成長発育に関する研究，岩医大歯誌，17：1-15，1992。
- 34) 田附敏良，三橋春紀，福士孝裕，中嶋和郎，工藤勝久：北五地区における3歳児の口腔の実態と今後の保健指導，青森県歯科医師会北五支部会編，青森，1-102 ページ，1991。
- 35) 前田隆秀，今井 麗，樋口直人，斎藤健志，赤坂守人：小児の摂食機能と行動（食べ方）に関する研究，第1報 咬合力，咀嚼能力について，小児歯誌，27：1002-1009，1989。
- 36) 牧 憲司，高江州旭，上田秀朗，加来昭典，児玉昭資，高峯昭彦，山野博文，木村光孝：小児の咬合力，咀嚼能力の測定に関する研究，小児歯誌，30：590-597，1992。
- 37) van Spronsen, P. H., Weijs, W. A., Valk, J., Prahl-Andersen, B., and van Ginkel, F. C. : Comparison of jaw-muscle bite-force, cross-sections obtained by means of magnetic resonance imaging and high-resolution CT scanning. *J. Dent. Res.* 68 : 1765-1770, 1989.
- 38) Sasaki, K., Hannam, A. G., and Wood, W. W. : Relationships between the size, position, and angulation of human jaw muscles and unilateral first molar bite force. *J. Dent. Res.* 68 : 499-503, 1989.
- 39) 佐橋喜志夫，加藤 哲：幼児の咬合力と顎顔面形態との関連性，小児歯誌，31：919-926，1993。
- 40) Ricketts, R. M., Bentsch, R. M., Gugino, C. F., Hilgers, J. J., and Schulhof, R. J. : Bioprogressive therapy, Book 1, 1st ed., Rocky Mountain, California, pp35-54, 1979.
- 41) Kiliaridis, S., Kjellberg, H., Wenneberg, B. and Engström, C. : The relationship between maximal bite force, bite force endurance, and facial morphology during growth. A cross-sectional study. *Acta Odontol. Scand.* 51 : 323-331, 1993.
- 42) 親里嘉之，親里嘉健：小児の咬合力について，歯科医学，56：211-226，1993。
- 43) 川村 広，吉原正彦：長期の歯科的健康管理下におかれた乳歯列期の咬合型と咬合力の年齢的变化について，歯科医学，56：65-80，1993。