原著論文

咀嚼時の歯牙滑走運動に関する研究

第1報 咀嚼様空口運動時の歯牙滑走運動と側方滑走運動の比較

水野 亨

A Study on Grinding Movements in Chewing

Part 1. A Comparison between Grinding Movement in Chewing-Like Empty Jaw Movement and Lateral Excursion

Tooru Mizuno

Abstract : The purpose of this study is to clarify the relationship between grinding movements during chewing, and lateral excursions starting from the intercuspal position. For this purpose, I measured two different types of three-dimensional mandibular movement; lateral excursions and empty-jaw movement like chewing in 10 subjects, and compared these paths with each other in the lateral occlusal position, when the incisal point is 2.0 mm distant from the intercuspal position.

The results can be summarized as follows :

1. The two positions of the incisal point were statistically coincident.
2. The position of both working and non-working side molars during chewing tended to be inferior to that during lateral excursion.
3. The moved distance of the working side condyle during chewing was significantly less than that during lateral excursion.
4. The position of the non-working side condyle during chewing tended to be medial to that during lateral excursion.
5. The difference in the condylar position was deeply related to that in the molar position.

The differences mentioned above were considered to be originated from the difference in the masticatory muscle activity and the occlusal contact.

Key words : chewing, grinding movement, lateral excursion, anterior guidance, posterior guidance

I. はじめに

新潟大学大学院歯学研究科歯科補綴学専攻（指導：石岡 靖教授）

Niigata University Graduate School of Dentistry Major in Prosthodontics (Director : Prof. Kiyoshi Ishioka)

昭和63年7月15日受付

本論文では、咀嚼時の閉口相終末期に生じる歯牙滑走運動について述べる。

人工的な咬合は、各患者の顎口腔系のすべてに調和す

ることが理想である。この調和に関して歯科補綴学では、具体的な咬合形態を製作する必要があるため、主として運動学的、形態学的側面から研究が行われてきた¹⁻³⁰⁾。

現在の咬合学やその臨床術式の多くは、側方滑走運動に関する知識を基盤としている。その第 1 の理由は、咀嚼時に生じる臼磨運動の一部が側方滑走運動と類似していることにある。

咬合を論じるとき、本来は、すべての機能的な滑走運動について論じなければならない。しかし、それは現実には不可能であるため、滑走運動の中でなんらかの意味で最も機能的に重要ないくつかの運動を中心に論じる必要がある。側方滑走運動は、先に述べたように咀嚼運動との関係が最も深く、かつ、その臨床的な記録が容易であることから、滑走運動を代表するものとして最も適しているといえる。

しかし、非機能的な側方滑走運動と機能的な咀嚼運動との関係性に関しては、現在でも多くの議論がなされている¹⁻¹⁰⁾。

Hildebrand¹⁾, Jankelson²⁾, 古川⁶⁾, 辛島⁷⁾らは、咀嚼時に歯牙の滑走運動を認めていない。したがって、彼らは、咬合面形態の機能的意義も認めていない。一方、藍⁸⁾, 森⁹⁾, 水野¹⁰⁾は、咀嚼時の切歯点部の運動分析から、その閉口相終末期の一部に側方滑走運動に近似した経路が存在することを確認した。この事実は、少なくとも、側方滑走運動と咀嚼運動の一部との間に密接な関係があることを示している。

しかし、後者の研究は、いずれも切歯点部の運動を分析しているだけであり、咬合学的に特に重要な臼歯部の運動を直接分析してはいない。咬合学における側方滑走運動の運動学的な意義について明らかにするには、まず、咀嚼時の臼磨運動の 3 次元動態について明らかにしなければならない。つぎに、その運動と側方滑走運動との運動学的関係について明らかにしなければならない。しかし、上に述べたように、その両者とも、いまだ完全に明らかにされてはいないのである。それらを明らかにすることにより、咬合論の運動学的側面は、従来の前方や側方運動を基盤としたものから、機能運動を中心としたものへ発展できると考えられる。

本研究は、その第 1 段階として、咀嚼時の臼磨運動と側方滑走運動との関係を、下顎の 3 次元動態の面から明らかにすることを目的とする。

咀嚼時の臼磨運動は、咬合面形態のみならず食片の性状や大きさにも依存するため、その分析は非常に困難で

図 1 測定装置全景

ある。そこで、本研究では、実験条件をできるだけ単純にするために空口状態での咀嚼様の運動を研究対象とする。以下、この運動を咀嚼様空口運動 (chewing-like empty jaw movement) と呼ぶ。

第 II 章では、測定装置、被験者、運動の分析方法について述べる。第 III 章では、側方滑走運動と咀嚼様空口運動における閉口相終末期の下顎運動を分析する。さらに両運動の相違について分析する。第 IV 章では、第 III 章の結果を用いて、両運動間の相違について論じる。

II. 研究方法

1. 測定装置

下顎運動の測定には、当教室で開発した下顎任意点運動測定システムを用いた^{31,32)} (図 1, 2)。

測定システムは、測定装置とミニコンピュータ (三菱電機, MELCOM 70/25) からなる分析システムから構成される。さらに、測定装置は、上下顎に装着する顔弓 (mesurring face-bow) とその運動を検出する 3 台のカメラ (photoelectric camera) から構成される。

各顔弓の切歯前方部および両側の顎関節外側部には、計 3 個の近赤外線発光素子 (東芝 TL N 103; 以下, LED と略す) が固定されている。顔弓は、レジックラッチを介して瞬間接着剤で上下顎歯列唇頬側に固着される (図 2)。クラッチは鋼線で補強されている。顔弓は鋼線部に接続される。

頭部基準座標系の水平基準面は、左右の平均的顎頭点と左側鼻下点の 3 点によって決定される平面とした。ここで、平均的顎頭点は、耳珠最後縁と外眼角を結ぶ線上で耳珠最後縁から 12 mm 前方の点である。

ノイズの影響を除く下顎任意点の測定精度は、測定領域 $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}^3$ では平均 0.04 mm, 最大 0.12 mm で

図2 上下顎顔弓の装着状態

ある。ここで測定領域とは咬頭嵌合位を中心としたLEDの運動領域である。また、ノイズや顔弓の振動を含めた分解能の下限は0.15 mmである。運動のサンプル周波数は10 msである。

2. 被験者

被験者は、顎口腔系に特に異常の認められない正常有歯顎者で、かつ咀嚼様空口運動時の切歯点の運動経路に2.0 mm以上の歯牙滑走運動域が認められた10名とした。被験者の年齢は20~30歳、平均年齢は25.7歳である。

3. 運動の誘導方法

側方滑走運動は、咬頭嵌合位を開始点とし、かつ天然歯列により誘導される側方限界運動とした。また、手指による誘導は行わなかった。

被験者には、左右各方向への側方運動をそれぞれ数回行わせた。測定したデータの中から、咬頭嵌合位が明瞭で、かつ再現性の高いデータを各方向につき3データずつ選択した。

咀嚼様空口運動については、咀嚼側を指定した運動を左右各側につき20秒測定した。測定した全ストロークの中から、咬頭嵌合位と閉口相終末期における歯牙の接触相が明らかに認識でき、かつ再現性の高いデータを左右各側につき3データずつ選択した。

4. 分析方法

歯牙上の分析点は、切歯点、犬歯尖頭、第1大臼歯近心頬側咬頭頂、第2大臼歯遠心頬側咬頭頂とした。また、顎頭点は、頭部X線規格写真から求めた顎頭中央点³²⁾(図3)と全運動軸点とした。全運動軸点は、林らの自動探索法³³⁾を用いて、矢状面限界運動から決定した。

図3 顎頭中央点の決定方法

本論文では、切歯点が咬頭嵌合位から2.0 mm離れた側方咬合位について、各分析点の移動量と移動距離を分析する。

ただし、測定データは、離散的であるため、切歯点の移動距離が厳密に2.0 mmとなる運動サンプル点は存在しない。そこで、切歯点の移動距離が2.0 mm前後となる2つのサンプル点を用いて、つぎの方法で側方咬合位での各点の座標を求めた。

切歯点の運動データを $\{a(n); n=0, 1, 2, \dots, N\}$ とする。ここで $a(n)$ は n 番目のサンプルにおける切歯点の位置ベクトルである。 $n=0$ における下顎位が咬頭嵌合位である。切歯点の咬頭嵌合位からの直線距離が2 mm前後になるサンプル番号をそれぞれ $m, m+1$ とする。すなわち、

$$\|a(m) - a(o)\| \leq 2,$$

$$\|a(m+1) - a(o)\| \geq 2 \dots \dots \dots (1)$$

とする。ここで $\|\cdot\|$ は $\|\cdot\| \equiv (\cdot, \cdot)^{1/2}$ で定義されるベクトルのEuclidノルムである。 $(\cdot, \cdot)$ はベクトルの内積を表す。補間後の切歯点ベクトルを a とする。 a は咬頭嵌合位からの距離が2 mmであるから、

$$\|a - a(o)\| = 2 \dots \dots \dots (2)$$

を満たす。 a を補間パラメータ t を用いて、

$$a = (1-t)a(m) + ta(m+1) \quad (1 \geq t \geq 0) \dots (3)$$

で表すことにすれば、パラメータ t は、式(2)、(3)から、2次方程式：

$$t^2 \|a(m+1) - a(o)\|^2 - 2t(a(m+1) - a(o),$$

$$a(o) - a(m)) + \|a(m) - a(o)\|^2 - 4 = 0 \dots (4)$$

の解で、かつ $1 \geq t \geq 0$ を満たすものとして求めることができる。

下顎の任意の点の運動データを $\{r(n); n=0, 1, 2, \dots, N\}$ とする。 $r(n)$ は n 番目のサンプルにおけるその点の位置ベクトルである。任意の点の側方咬合位での位置ベクトル r は、式(4)から得られたパラメータ t を用いて、

$$r = (1-t)r(m) + tr(m+1) \dots \dots \dots (5)$$

から求めることにする。

分析に用いたパラメータは移動方向と移動量である。

図 4 移動方向の表示角度
N. 作業側, N.W. 非作業側

これらを以後、分析パラメータと呼ぶ。ここで移動方向とは、咬頭嵌合位から側方咬合位までの方向である。その表示法は、栗山、長谷川らが用いた各基準面への投影角とした(図4)。

移動量は、咬頭嵌合位を基準とした内外側、前後、上下方向の移動量とした。符号に関しては、咬頭嵌合位に対して側方咬合位が外側、後方、上方にあるときを正とした。また、本実験結果を従来の研究報告と比較するために、咬頭嵌合位から側方咬合位までの直線距離も求めた。

各被験者の各分析パラメータの代表値は3回の運動データの平均とした。

本研究の目的の1つは、同一被験者の両運動において、これらの分析パラメータがどの程度異なるかを統計的に明らかにすることにある。それは、同一被験者の各分析パラメータの差から評価できる。両運動における分析パラメータの差を以後、移動方向差、移動量の差と呼ぶことにする。その符号が正のときは、咀嚼様空口運動時の分析値が側方滑走運動時の値よりも大きいことを示す。

III. 実験結果

1. 側方滑走運動

II-4 で示した方法で規格化した側方咬合位における、各分析点の咬頭嵌合位からの移動方向と移動量を表1~4に示す。

移動方向に関しては、本実験に近い切歯点移動距離で

表 1 側方滑走運動時の各点の移動方向(作業側)
移動方向(図3)は、咬頭嵌合位を基準とした側方咬合位の各基準面への投影角とする

分析点	投影面	平均(標準偏差)	最小値	最大値
切歯点	sag.	71.6 (13.07)	29.3	85.7
	fro.	38.4 (11.71)	13.5	54.6
	hor.	75.9 (7.73)	57.5	85.4
犬 歯	sag.	77.5 (14.49)	30.0	93.4
	fro.	35.8 (12.15)	10.0	52.1
	hor.	81.0 (8.19)	59.2	91.3
第1大臼歯	sag.	84.1 (18.62)	27.8	109.6
	fro.	32.7 (11.71)	7.7	49.3
	hor.	85.7 (9.48)	61.2	97.7
第2大臼歯	sag.	86.2 (22.37)	23.3	123.4
	fro.	30.9 (11.75)	6.3	48.5
	hor.	86.5 (11.05)	60.9	103.3
顎頭中央点	fro.	-4.8 (31.76)	-51.7	66.5
	hor.	-0.7 (36.53)	-51.4	74.8
全運動軸点	fro.	-1.5 (38.93)	-57.4	103.3
	hor.	-2.1 (43.22)	-61.7	95.9
咬合器 顎頭球位置	fro.	4.2 (39.52)	-42.3	103.0
	hor.	15.0 (44.24)	-54.3	103.8

(°)

表 2 側方滑走運動時の各点の移動方向(非作業側)

分析点	投影面	平均(標準偏差)	最小値	最大値
切歯点	sag.	71.6 (13.07)	29.3	85.7
	fro.	38.4 (11.71)	13.5	54.6
	hor.	75.9 (7.73)	57.5	85.4
犬 歯	sag.	66.5 (12.61)	28.4	28.4
	fro.	40.7 (10.86)	18.0	56.0
	hor.	70.3 (8.00)	53.0	81.0
第1大臼歯	sag.	62.1 (12.73)	27.2	83.6
	fro.	42.5 (9.66)	22.6	58.4
	hor.	64.8 (8.43)	50.9	80.7
第2大臼歯	sag.	57.7 (12.59)	26.1	80.3
	fro.	44.7 (8.95)	29.1	60.9
	hor.	58.2 (9.51)	41.3	75.9
顎頭中央点	sag.	35.9 (11.71)	13.9	60.8
	hor.	16.0 (10.06)	2.8	40.4
全運動軸点	sag.	35.5 (11.58)	13.1	60.4
	hor.	14.9 (10.45)	-1.0	38.6
咬合器 顎頭球位置	sag.	36.5 (12.51)	12.5	64.6
	hor.	16.1 (11.39)	1.6	44.7

(°)

運動を規格化した林¹⁸⁾、塩沢¹⁹⁾の報告とほぼ等しかった。

移動量に関しては、切歯点の移動量に対する作業側顎頭の移動量の比が22%と従来の報告¹⁸⁻²¹⁾に比べやや大きい値を示した。作業側顎頭は、側方滑走運動の初期に速く移動することが知られている¹⁸⁾。したがって、移動量の比が大きかったのは、切歯点の移動距離が小さかつ

表 3 側方滑走運動時の各点の移動量（作業側）

移動量は、咬頭嵌合位を基準とした側方咬合位の各方向への移動量とする。

符号については、外側、後方、上方を正とする

分析点	方向	平均（標準偏差）	最小値	最大値	直線距離（標準偏差）
切歯点	内外	1.50 (0.236)	1.14	1.82	2.00 (0.000)
	前後	0.37 (0.209)	0.12	0.78	
	上下	-1.19 (0.319)	-1.62	-0.43	
犬 歯	内外	1.45 (0.231)	1.11	1.79	1.85 (0.043)
	前後	0.23 (0.212)	-0.04	0.78	
	上下	-1.05 (0.312)	-1.47	-0.31	
第1大臼歯	内外	1.26 (0.176)	0.95	1.55	1.55 (0.066)
	前後	0.09 (0.209)	-0.19	0.60	
	上下	-0.81 (0.260)	-1.22	-0.19	
第2大臼歯	内外	1.06 (0.142)	0.78	1.30	1.28 (0.100)
	前後	0.06 (0.209)	-0.29	0.55	
	上下	-0.64 (0.231)	-1.08	-0.12	
顎頭中央点	内外	0.30 (0.172)	0.06	0.69	0.44 (0.233)
	前後	0.06 (0.309)	-0.59	0.59	
	上下	-0.05 (0.188)	-0.47	0.24	
全運動軸点	内外	0.28 (0.183)	-0.03	0.70	0.43 (0.229)
	前後	0.08 (0.291)	-0.57	0.60	
	上下	-0.05 (0.189)	-0.44	0.23	
咬合器顎頭球位置	内外	0.30 (0.196)	-0.05	0.71	0.47 (0.226)
	前後	-0.01 (0.309)	-0.66	0.60	
	上下	-0.02 (0.206)	-0.50	0.30	

(mm)

表 4 側方滑走運動時の各点の移動量（非作業側）

分析点	方向	平均（標準偏差）	最小値	最大値	直線距離（標準偏差）
切歯点	内外	1.50 (0.236)	1.14	1.82	2.00 (0.000)
	前後	0.37 (0.209)	0.12	0.78	
	上下	-1.19 (0.319)	-1.62	-0.43	
犬 歯	内外	1.45 (0.236)	1.10	1.80	2.03 (0.049)
	前後	0.52 (0.234)	0.18	1.05	
	上下	-1.25 (0.287)	-1.63	-0.57	
第1大臼歯	内外	1.27 (0.180)	0.96	1.55	1.87 (0.077)
	前後	0.61 (0.243)	0.18	1.18	
	上下	-1.17 (0.248)	-1.56	-0.61	
第2大臼歯	内外	1.07 (0.145)	0.80	1.32	1.69 (0.087)
	前後	0.68 (0.249)	0.25	1.29	
	上下	-1.07 (0.218)	-1.43	-0.63	
顎頭中央点	内外	0.32 (0.165)	0.07	0.69	1.56 (0.184)
	前後	1.21 (0.275)	0.64	1.77	
	上下	-0.86 (0.254)	-1.49	-0.40	
全運動軸点	内外	0.30 (0.178)	-0.03	0.69	1.58 (0.190)
	前後	1.23 (0.281)	0.67	1.79	
	上下	-0.86 (0.255)	-1.49	-0.40	
咬合器顎頭球位置	内外	0.32 (0.191)	-0.05	0.72	1.61 (0.186)
	前後	1.23 (0.295)	0.61	1.86	
	上下	-0.90 (0.275)	-1.52	-0.39	

(mm)

たことによるものと思われる。

表 5 咀嚼様空口運動時の各点の移動方向（作業側）

移動方向（図 3）は、咬頭嵌合位を基準とした側方咬合位の各基準面への投影角とする

分析点	投影面	平均（標準偏差）	最小値	最大値
切歯点	sag.	71.9 (14.38)	30.1	89.8
	fro.	38.7 (11.21)	15.7	55.2
	hor.	77.0 (7.65)	64.1	89.9
犬 歯	sag.	77.8 (14.97)	29.9	95.5
	fro.	36.1 (11.66)	11.7	53.0
	hor.	82.7 (7.13)	70.2	94.3
第 1 大臼歯	sag.	84.7 (18.05)	26.4	105.6
	fro.	33.5 (11.23)	9.1	50.4
	hor.	87.9 (8.28)	72.0	100.9
第 2 大臼歯	sag.	87.2 (20.80)	20.9	115.2
	fro.	32.5 (11.40)	7.5	48.9
	hor.	89.1 (9.41)	71.0	105.9
顎頭中央点	fro.	-13.8 (52.94)	- 86.7	116.4
	hor.	0.9 (46.57)	- 83.2	66.2
全運動軸点	fro.	-10.5 (59.14)	- 90.2	125.4
	hor.	- 3.2 (57.14)	-136.4	71.9
咬合器 顎頭球位置	fro.	- 3.8 (55.08)	- 86.2	113.6
	hor.	22.8 (51.16)	- 91.3	138.2

(°)

2. 咀嚼様空口運動

咀嚼様空口運動時の側方咬合位における、各分析点の咬頭嵌合位からの移動方向と移動量を表 5～8 に示す。

切歯点における咀嚼運動経路に関しては多くの報告がみられる。しかし、水平基準面の設定方法、分析方法が

表 6 咀嚼様空口運動時の各点の移動方向（非作業側）

分析点	投影面	平均（標準偏差）	最小値	最大値
切歯点	sag.	71.9 (14.38)	30.1	89.8
	fro.	38.7 (11.21)	15.7	55.2
	hor.	77.0 (7.65)	64.1	89.9
犬 歯	sag.	66.8 (14.05)	29.8	87.8
	fro.	41.3 (10.45)	20.7	56.5
	hor.	70.8 (8.59)	56.5	87.0
第 1 大臼歯	sag.	62.7 (14.25)	28.7	87.0
	fro.	43.9 (9.41)	25.9	58.6
	hor.	64.5 (9.97)	48.4	85.8
第 2 大臼歯	sag.	58.5 (13.92)	27.6	83.8
	fro.	47.0 (8.99)	33.1	60.8
	hor.	57.1 (11.54)	38.8	80.6
顎頭中央点	sag.	37.5 (10.85)	15.6	64.4
	hor.	11.6 (10.79)	1.0	37.8
全運動軸点	sag.	37.1 (11.00)	14.7	63.9
	hor.	10.6 (10.87)	- 3.1	35.9
咬合器 顎頭球位置	sag.	38.1 (11.52)	13.8	67.4
	hor.	11.9 (11.90)	- 3.1	41.8

(°)

表 7 咀嚼様空口運動時の各点の移動量（作業側）

移動量は、咬頭嵌合位を基準とした側方咬合位の各方向への移動量とする。
符号については、外側、後方、上方を正とする

分析点	方向	平均（標準偏差）	最小値	最大値	直線距離（標準偏差）
切歯点	内外	1.49 (0.214)	1.13	1.82	2.00 (0.000)
	前後	0.36 (0.231)	0.00	0.85	
	上下	-1.20 (0.315)	-1.63	-0.49	
犬 歯	内外	1.44 (0.217)	1.09	1.76	1.83 (0.034)
	前後	0.19 (0.194)	-0.11	0.61	
	上下	-1.05 (0.298)	-1.45	-0.35	
第 1 大臼歯	内外	1.24 (0.177)	0.90	1.52	1.52 (0.052)
	前後	0.05 (0.187)	-0.23	0.45	
	上下	-0.82 (0.239)	-1.15	-0.22	
第 2 大臼歯	内外	1.02 (0.159)	0.71	1.32	1.25 (0.094)
	前後	0.02 (0.174)	-0.29	0.37	
	上下	-0.65 (0.198)	-0.97	-0.14	
顎頭中央点	内外	0.20 (0.173)	-0.01	0.65	0.29 (0.119)
	前後	-0.04 (0.173)	-0.37	0.31	
	上下	-0.06 (0.121)	-0.27	0.14	
全運動軸点	内外	0.18 (0.177)	-0.10	0.60	0.29 (0.123)
	前後	-0.02 (0.165)	-0.37	0.29	
	上下	-0.06 (0.126)	-0.27	0.15	
咬合器顎頭球位置	内外	0.20 (0.195)	-0.11	0.63	0.32 (0.144)
	前後	-0.11 (0.166)	-0.44	0.18	
	上下	-0.02 (0.134)	-0.24	0.26	

(mm)

表 8 咀嚼様空口運動時の各点の移動量（非作業側）

分析点	方向	平均（標準偏差）	最小値	最大値	直線距離（標準偏差）
切歯点	内外	1.49 (0.214)	1.13	1.82	2.00 (0.000)
	前後	0.36 (0.231)	0.00	0.85	
	上下	-1.20 (0.315)	-1.63	-0.49	
犬 歯	内外	1.44 (0.222)	1.08	1.80	2.04 (0.051)
	前後	0.52 (0.272)	0.06	1.12	
	上下	-1.27 (0.279)	-1.63	-0.64	
第1大臼歯	内外	1.24 (0.182)	0.91	1.52	1.89 (0.090)
	前後	0.62 (0.295)	0.08	1.25	
	上下	-1.20 (0.235)	-1.57	-0.68	
第2大臼歯	内外	1.03 (0.162)	0.73	1.32	1.73 (0.120)
	前後	0.69 (0.301)	0.16	1.36	
	上下	-1.11 (0.202)	-1.43	-0.71	
顎頭中央点	内外	0.21 (0.166)	0.02	1.66	1.64 (0.247)
	前後	1.24 (0.317)	0.57	1.84	
	上下	-0.93 (0.248)	-1.63	-0.45	
全運動軸点	内外	0.19 (0.178)	-0.10	0.64	1.66 (0.250)
	前後	1.26 (0.327)	0.59	1.87	
	上下	-0.93 (0.250)	-1.64	-0.44	
咬合器顎頭球位置	内外	0.22 (0.191)	-0.11	0.65	1.69 (0.245)
	前後	1.26 (0.335)	0.55	1.94	
	上下	-0.97 (0.259)	-1.68	-0.43	

(mm)

表 9 各分析点の移動方向差（作業側）

移動方向（図3）は、咬頭嵌合位を基準とした側方咬合位の各基準面への投影角とする。符号が正のときは、咀嚼様空口運動の分析値が側方滑走運動の分析値よりも大きいことを示す

分析点	投影面	平均（標準誤差）	最小値	最大値
切歯点	sag.	0.3 (1.64)	-15.7	10.4
	fro.	0.3 (0.36)	- 3.4	2.5
	hor.	1.0 (1.36)	-11.9	12.5
犬 歯	sag.	0.3 (2.11)	-20.4	13.6
	fro.	0.3 (0.32)	- 3.1	1.8
	hor.	1.7 (1.55)	-12.0	15.7
第1大臼歯	sag.	0.6 (2.82)	-26.4	17.1
	fro.	0.8 (0.35)*	- 2.5	3.3
	hor.	2.2 (1.87)	-13.6	18.9
第2大臼歯	sag.	1.0 (3.52)	-31.9	21.1
	fro.	1.6 (0.47)**	- 1.7	5.6
	hor.	2.7 (2.22)	-16.2	22.1
顎頭中央点	fro.	-9.0 (6.32)	- 57.9	59.3
	hor.	1.7 (10.57)	-115.7	87.6
全運動軸点	fro.	-8.9 (6.67)	- 59.3	68.4
	hor.	-1.1 (15.79)	-232.3	115.3
咬合器顎頭球位置	fro.	-8.1 (5.61)	-55.7	39.5
	hor.	7.9 (5.76)	-54.2	52.8

*: p<0.05, **: p<0.01

(°)

表 10 各分析点の移動方向差（非作業側）

分析点	投影面	平均（標準誤差）	最小値	最大値
切歯点	sag.	0.3 (1.64)	-15.4	10.4
	fro.	0.3 (0.36)	- 3.4	2.5
	hor.	1.0 (1.36)	-11.9	12.5
犬 歯	sag.	0.3 (1.47)	-13.4	8.0
	fro.	0.6 (0.53)	- 3.5	3.9
	hor.	0.4 (1.18)	-12.5	8.5
第1大臼歯	sag.	0.6 (1.17)	-11.8	7.7
	fro.	1.4 (0.56)*	- 3.3	6.3
	hor.	-0.2 (1.25)	-14.2	8.0
第2大臼歯	sag.	0.9 (1.10)	-10.1	7.1
	fro.	2.2 (0.76)**	- 4.9	9.1
	hor.	-1.0 (1.28)	-15.8	7.8
顎頭中央点	sag.	1.6 (1.21)	- 8.6	14.7
	hor.	-4.4 (1.61)*	-23.8	8.3
全運動軸点	sag.	1.6 (1.21)	- 9.1	14.5
	hor.	-4.3 (1.60)*	-23.5	8.4
咬合器顎頭球位置	sag.	1.6 (1.21)	- 8.4	14.8
	hor.	-4.3 (1.52)*	-21.9	8.0

*: p<0.05, **: p<0.01

(°)

は、Gibbs ら¹⁴⁾が報告した閉口終期（final closure）の平均値に非常に近い値を示した。

3. 2つの側方咬合位間の比較

II-4 で述べた移動方向差、移動量の差の平均と標準誤差を表9～12に示す。表中の*と**は、t検定によって

本研究とは異なるため、本実験結果と比較できなかった。

作業側顎頭の咬頭嵌合位からの内外側方向の移動量

表 11 各分析点の移動量の差 (作業側)

移動量は、咬頭嵌合位を基準とした側方咬合位の各方向への移動量とする。符号が正のときは、咀嚼様空口運動時の外側、後方、上方への移動量が大きいことを示す

分析点	方向	平均 (標準誤差)	最小値	最大値	直線距離 (標準誤差)
切歯点	内外	0.00 (0.012)	-0.13	0.12	0.00 (0.000)
	前後	-0.02 (0.036)	-0.29	0.34	
	上下	-0.01 (0.008)	-0.07	0.08	
犬 歯	内外	-0.01 (0.010)	-0.09	0.08	-0.01 (0.007)
	前後	-0.03 (0.041)	-0.45	0.33	
	上下	-0.00 (0.010)	-0.06	-0.14	
第 1 大臼歯	内外	-0.03 (0.010)**	-0.10	0.07	-0.03 (0.011)*
	前後	-0.04 (0.041)	-0.41	0.32	
	上下	-0.01 (0.009)	-0.06	-0.08	
第 2 大臼歯	内外	-0.04 (0.011)**	-0.15	0.06	-0.04 (0.017)*
	前後	-0.04 (0.042)	-0.44	0.32	
	上下	-0.01 (0.014)	-0.08	0.12	
顎頭中央点	内外	-0.11 (0.035)**	-0.50	0.12	-0.13 (0.050)*
	前後	-0.10 (0.047)*	-0.56	0.24	
	上下	-0.01 (0.031)	-0.18	0.32	
全運動軸点	内外	-0.10 (0.035)**	-0.49	0.13	-0.13 (0.048)*
	前後	-0.11 (0.047)*	-0.58	0.23	
	上下	-0.01 (0.031)	-0.18	0.33	
咬合器顎頭球位置	内外	-0.10 (0.034)**	-0.49	0.12	-0.14 (0.050)*
	前後	-0.11 (0.047)*	-0.56	0.24	
	上下	-0.01 (0.032)	-0.20	0.31	

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

(mm)

表 12 各分析点の移動量の差 (非作業側)

分析点	方向	平均 (標準誤差)	最小値	最大値	直線距離 (標準誤差)
切歯点	内外	0.00 (0.012)	-0.13	0.12	0.00 (0.000)
	前後	-0.02 (0.036)	-0.29	0.34	
	上下	-0.01 (0.008)	-0.07	0.08	
犬 歯	内外	-0.01 (0.011)	-0.09	0.09	0.01 (0.006)
	前後	-0.00 (0.034)	-0.21	0.35	
	上下	-0.02 (0.013)	-0.12	0.09	
第 1 大臼歯	内外	-0.02 (0.010)*	-0.11	0.07	0.01 (0.013)
	前後	-0.01 (0.033)	-0.19	0.36	
	上下	-0.03 (0.018)	-0.21	0.12	
第 2 大臼歯	内外	-0.04 (0.011)**	-0.16	0.06	0.01 (0.019)
	前後	0.01 (0.032)	-0.17	0.36	
	上下	-0.04 (0.022)	-0.26	0.16	
顎頭中央点	内外	-0.10 (0.035)**	-0.50	0.10	0.04 (0.033)
	前後	0.03 (0.026)	-0.13	0.32	
	上下	-0.07 (0.041)	-0.48	0.30	
全運動軸点	内外	-0.10 (0.035)**	-0.49	0.11	0.04 (0.032)
	前後	0.03 (0.025)	-0.13	0.31	
	上下	-0.07 (0.041)	-0.48	0.30	
咬合器顎頭球位置	内外	-0.10 (0.033)**	-0.48	0.11	0.04 (0.034)
	前後	0.03 (0.026)	-0.13	0.33	
	上下	-0.07 (0.042)	-0.47	0.31	

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

(mm)

図5 第2大臼歯の運動経路の相違 (前頭面観)

5, 1% の危険率で統計的有意差の認められたことを示す。3-1)~3-5) では、それぞれ切歯点、犬歯、大臼歯、非作業側顎頭、作業側顎頭における2つの側方咬合位の相違について示す。

1) 切歯点

移動方向差の平均と標準誤差は、矢状面、前頭面、水平面投影角でそれぞれ 0.3 ± 1.64 , 0.3 ± 0.36 , $1.0 \pm 1.36^\circ$ であった。

移動量の差の平均および標準誤差は、内外側、前後、上下方向でそれぞれ 0.00 ± 0.012 , -0.02 ± 0.036 , -0.01 ± 0.008 mm であった。

切歯点の移動方向と移動量に関しては、2つの側方咬合位間に統計的有意差は認められなかった。これは、咀嚼運動と側方滑走運動を比較した従来の報告^{8~10)}と一致している。

2) 犬歯

作業側の移動方向差の平均と標準誤差は矢状面、前頭面、水平面投影角でそれぞれ 0.3 ± 2.11 , 0.3 ± 0.32 , $1.7 \pm 1.55^\circ$ であった。移動量の差の平均および標準誤差は内外側、前後、上下方向でそれぞれ -0.01 ± 0.010 , -0.03 ± 0.041 , 0.00 ± 0.010 mm であった。

非作業側の移動方向差の平均と標準誤差は、矢状面、前頭面、水平面投影角でそれぞれ 0.3 ± 1.47 , 0.6 ± 0.53 , $0.4 \pm 1.18^\circ$ であった。移動量の差の平均と標準誤差は内外側、前後、上下方向でそれぞれ -0.01 ± 0.011 , 0.00 ± 0.034 , -0.02 ± 0.013 mm であった。

移動方向に関しては、作業側、非作業側ともに2つの側方咬合位間に統計的有意差は認められなかった。また、移動量に関しても統計的有意差は認められなかった。

3) 大臼歯

作業側の移動方向に関しては、第1と第2大臼歯前頭面投影角に統計的有意差が認められた。第1、第2大臼歯の危険率は、それぞれ5%と1%であった。前頭面投影角の差の平均と標準誤差は、それぞれ $0.8 \pm 0.35^\circ$ と

図6 非作業側顎頭の運動経路の相違 (水平面観)

$1.6 \pm 0.47^\circ$ であった。

作業側の移動量に関しては、第1と第2大臼歯の内外側方向の移動量とともに1%の危険率で統計的有意差が認められた。内外側方向の移動量の差の平均と標準誤差は第1大臼歯で -0.03 ± 0.010 mm, 第2大臼歯で -0.04 ± 0.011 mm であった。

非作業側の移動方向に関しては、第1と第2大臼歯の前頭面投影角に統計的有意差が認められた。危険率はそれぞれ5%と1%であった。第1と第2大臼歯の前頭面投影角の差の平均と標準誤差は、それぞれ $1.4 \pm 0.56^\circ$ と $2.2 \pm 0.76^\circ$ であった。

非作業側の移動量に関しては、第1と第2大臼歯の内外側方向の移動量に統計的有意差が認められた。危険率はそれぞれ5%と1%であった。内外側方向の移動量の差の平均と標準誤差は、第1大臼歯で -0.02 ± 0.010 mm, 第2大臼歯で -0.04 ± 0.011 mm であった。

図5は、第2大臼歯の2つの運動経路の相違を模式的に示したものである。側方滑走運動時の経路は破線で、咀嚼様空口運動時の経路は実線で表されている。臼歯部の運動は、非作業側、作業側ともに、咀嚼様空口運動時の方が側方滑走運動時よりも下方よりの経路をとる傾向が認められた。

4) 非作業側顎頭

移動方向に関しては、水平面投影角に1%の危険率で2つの側方咬合位間の有意差が認められた。水平面投影角の差の平均と標準誤差は $-4.4 \pm 1.61^\circ$ であった。

移動量に関しては、内外側方向の移動量に1%の危険率で2つの側方咬合位間の有意差が認められた。内外側方向の差の平均と標準誤差は -0.10 ± 0.035 mm であった。

図6は非作業側顎頭の運動経路の相違を模式的に示したものである。側方滑走運動時の経路は破線で、咀嚼様

図 7 側方咬合位における作業側顎頭中央点の位置

■は咀嚼様空口運動, □は側方滑走運動を示す。表示原点は咬頭嵌合位

空口運動時の経路は実線で表されている。非作業側顎頭は、咀嚼様空口運動時の方が側方滑走運動時よりも内側よりの経路をとる傾向が認められた。

5) 作業側顎頭

移動方向に関しては、移動方向差の分散が大きいいため、いずれの投影角においても2つの側方咬合位間に統計的有意差は認められなかった。

一方、移動量に関しては、内外側方向と前後方向に統計的有意差が認められた。危険率はそれぞれ1%と5%であった。移動量の差の平均と標準誤差は、内外側方向では -0.11 ± 0.035 mm、前後方向では -0.10 ± 0.047 mm であった。咀嚼様空口運動時の歯牙滑走運動では側方滑走運動時よりも、作業側顎頭の外側、後方への移動量が小さくなる傾向が認められた。図7に2つの側方咬合位での作業側顎頭の位置を示した。

IV. 考 察

1. 咀嚼様空口運動について

本節では、咀嚼様空口運動を側方滑走運動との比較の対象に用いた理由について述べる。

側方滑走運動と咀嚼運動は、主としてつぎの3つの点で明らかに異なっている：1) 食品の有無、2) 咀嚼力の有無、3) 運動方向の相違、以下、各要因について具体的に述べる。

咀嚼運動では側方滑走運動時と異なり、上下歯牙間に食品が介在する。森⁹⁾、瑞森¹⁶⁾は、咀嚼運動時の歯牙の経路が、食品の性状、大きさによって影響を受けると報告している。水野¹⁰⁾は、食品の粉碎の進行に伴い、歯牙の滑走頻度が変化すると報告している。

咀嚼運動時の歯牙滑走域では、食物を粉碎するために、咬合力が発起される³⁴⁾。咬合力は、歯牙の動揺³⁵⁾、顎骨の変形³⁶⁾、下顎全体の変位^{37,38)}を生じさせる。したがって、同じ種類の運動でも、咬合力の大小によって、歯牙や下顎骨の運動経路は異なることになる。

咀嚼運動では、開口から閉口し、閉口相の末期に歯牙接触滑走が生じる。一方、側方滑走運動は咬頭嵌合位から側方への運動である、ある1つの下顎位を決定するのは、筋と歯牙および顎関節の指導要素である。2つの運動では、作用する筋と個々の指導要素の関与の仕方が異なっている。

以上の3つの要因1)～3)は、いずれも無視できない大きな問題である。すなわち、咀嚼運動と側方滑走運動を本当に比較するためには、各時刻において各要因がどの程度関与しているかを明らかにする必要がある。しかし、下顎の3次元運動のデータだけを用いて、これらの要因を分離することはできない。したがって、分析を可能にするためには、咀嚼運動をより単純にしなければいけないことがわかる。要因の1), 2)を分析するには、明らかに食片の性状、大きさと咬合力を同時測定しなければならない。したがって、運動だけから分析できるのは、要因3)だけであることがわかる。そこで、要因1), 2)の関与ができるだけ小さく、かつ咀嚼運動に類似した運動である咀嚼様空口運動を採用することにした。

咀嚼様空口運動は、完全には生理的な運動ではない。しかし、下顎が周期的に運動し、開口相を経てから閉口相、歯牙接触滑走運動が生じるという意味では、咀嚼運動に最も類似した下顎運動と考えられる。また、1) 閉口相における変曲点が明瞭であるため、滑走域の認識が容易である、2) 接触域での運動の再現性が高い、という分

析上の2つの利点がある。

2. 切歯路の類似性

切歯点の咀嚼運動経路と側方滑走運動の類似性に関しては、藍、森、水野が報告している⁸⁻¹⁰⁾。藍は、咀嚼時の切歯点部の滑走運動経路が側方滑走運動経路から0.3~0.7 mm以内の範囲にあることを確認した⁸⁾。また、水野は、両運動経路が0.3 mm以内で一致すると報告した¹⁰⁾。IV-1で述べたように上記の相違は、食品の有無、咀嚼力の有無、運動方向の相違のすべてによるものである。

著者らの実験結果では、2つの側方咬合位間における切歯点の位置の間の直線距離は平均 0.15 ± 0.089 mmであった。本実験では、食品の介在と咀嚼力による影響はほとんど無視できる。したがって、この相違は、運動方向の相違だけによるものと考えられる。これらの結果と藍、水野の結果を比較すると、従来いわれていた相違の約半分近くは、運動方向の相違だけによっても生じることがわかる。

3. 顎頭位の相違

本実験では、作業側、非作業側顎頭ともに側方滑走運動と咀嚼様空口運動で異なった動態を示した。側方咬合位における非作業側顎頭の位置は、咀嚼様空口運動時には、側方滑走運動時よりも内側よりに位置していた(表10, 12)。また、側方咬合位における作業側顎頭の位置は、咀嚼様空口運動時には、側方滑走運動時よりも前内方に位置していた(表11)。

従来、限界運動と咀嚼運動における顎頭運動の違いを比較した研究は非常に少ない。Lundeen and Gibbsは、正常咬合者の非作業側顎頭について比較した¹⁴⁾。その結果、非作業側顎頭は咀嚼運動時に側方限界運動時よりも内側よりに直線的に咬頭嵌合位に復帰するとしている。これは、本実験の結果と一致する。

咀嚼様空口運動時と側方滑走運動時の顎路が異なった原因について論じる。

IV-1で述べたように、著者らが今回行った実験では、食物を実際に咀嚼させていないことから、食品の介在と咀嚼力による影響は無視できる。したがって、顎路の相違は、主として運動方向の相違によるものと考えられる。

本節の以降では2つの運動の運動方向の違いが具体的にどのように顎路に影響するかについて述べる。

その準備として、まず歯牙接触滑走運動における1つの下顎位を決定する要素について述べる。

下顎位を決定する要素には、解剖学的制約と咀嚼筋群による位置ぎめの2つがある。解剖学的制約とは、顎関節および歯牙接触による下顎位の制約であり、運動学的には後方指導 (posterior guidance), 前方指導 (anterior guidance) と呼ばれている。ただし、両者とも完全には強固な制約ではなく、若干の自由域があることが知られている^{40, 41)}。自由域とは、咬合力や筋などによる力によって容易に変化する範囲のことである。この2つの制約の下において、筋による下顎の位置ぎめが行われる。

2つの側方咬合位、すなわち、側方滑走運動時と咀嚼様空口運動時の側方咬合位における顎頭位間の距離は、作業側が平均 0.27 ± 0.183 mm, 非作業側が平均 0.25 ± 0.150 mmであった。ただし、顎頭点は顎頭中央点である。従来、顎頭安定位以外における顎頭位の自由域については、報告されていない。しかし、川畑⁴⁰⁾が計測した顎頭安定位内の自由域約0.3 mmと比較すると、本実験結果による顎頭位の相違は、主として自由域の範囲内での変化と考えられる。したがって、他の決定要素、すなわち、前方指導と筋による位置ぎめによる変化と考えられる。

本実験では、咬合力による影響は無視できる。そこで、自由域の範囲内において顎頭位が具体的にどのように決定されるかについて考える。以後、自由域内における顎頭位をミクロな顎頭位と呼ぶ。また、解剖学的な制約で規制された顎頭位をマクロな顎頭位と呼ぶ。

上で述べたように、ミクロな顎頭位を決定する要素は前方指導と筋群である。まず、前方指導について考える。

咬頭嵌合位付近の側方咬合位では、歯牙接触が1点であることは少なく、作業側、非作業側ともに多点での接触があることが知られている²⁷⁾。したがって、歯牙接触が決まれば他の要素によってさらに下顎位が変化することはない。これは、側方滑走運動の初期においては、前方指導が他の下顎位の場合よりも下顎位の決定に多く関与することを示している¹⁸⁾。したがって、側方滑走運動の初期における顎頭位は、マクロな位置は関節固有の解剖学的制約、すなわち後方指導により決まり、ミクロな位置は主として前方指導により決まると考えられる。

咀嚼様空口運動における歯牙滑走運動について述べる。側方滑走運動と最も異なる下顎位として、閉口相から歯牙が最初に接触する瞬間の下顎位について考える。側方滑走運動のときとは違って、この下顎位の決定には、前方指導は全く関与しない。したがって、そのときの顎頭位は後方指導と筋群により決まる。すなわち、マ

図 8 非作業側第2大臼歯の移動方向差と非作業側顆頭の移動方向差の関係

クロな顆頭位は後方指導により決まり、ミクロな顆頭位は、筋の作用だけにより決まると考えられる。

つぎに、筋の作用の違いについて述べる。

側方滑走運動では、主として作業側の外側翼突筋、側頭筋後部筋束が作用する。一方、咀嚼様空口運動では、主として、非作業側の側頭筋後部筋束、顎二腹筋後腹、咬筋深部が作用する⁴¹⁾。

側方滑走運動の初期におけるミクロな顆頭位は、前述のように、主として前方指導により決まる。しかし、側方変位量が増加するに従って、歯牙接触面積は減少するため、ミクロな顆頭位に与える筋の影響は相対的に増大するものと考えられる。一方、咀嚼様空口運動では、ちょうど逆のことがいえる。すなわち、咬頭嵌合位に近づくにつれて、前方指導の影響が増大し、筋の影響は相対的に減少するものと考えられる。しかし、前述したように、主として作用する筋は、側方滑走運動とは、全く異なるのである。このように、2つの運動では、少なくとも下顎を牽引する方向は全く異なるため、筋の牽引方向がミクロな顆頭位に与える影響は、それらの運動間で異なると考えられる。

以上まとめれば、本実験結果で認められた2つの側方咬合位における顆頭位の違いは、主として顆頭位の自由域の範囲内における変化と思われた。また、その変化は、前方指導と作用する筋群の違いによるものと思われた。

4. 臼歯部位置の相違

3-3) で示したように、第1、第2大臼歯の前頭面投影角において、2つの側方咬合位間の有意差が認められた。相違の方向は、咀嚼様空口運動時では、側方滑走運動時よりも下方より位置する傾向があった(表9~12)。また、内外側方向の移動量にも有意差が認められた。

その原因としては、筋の作用の相違による咬合位自身の变化と顆頭位の変化を考えることができる。側方滑走

図 9 作業側第2大臼歯の移動方向差と作業側顆頭の移動量の差の関係

運動時と咀嚼様空口運動時のミクロな顆頭位の変化については、前節で述べた。この顆頭位の変化は、明らかに咬合位を変化させることになる。また、筋の作用の相違による咬合位自身の変化は、ミクロな顆頭位を変化させる。本実験にみられた顆頭位と咬合位の2つの側方咬合位間の相違は、それら相互の影響の仕方が変化したために生じたものと考えられる。

上記の考察から、顆頭位と咬合位に認められた2つの側方咬合位間の相違は、互いに独立なものではないと考えられる。そこで、両者の関係を明らかにするために、有意差が認められた臼歯部と顆頭のパラメータの関係を相関分析によって検討した。

図8に、2つの側方咬合位間の有意差の認められた非作業側の第2大臼歯前頭面投影角の差と、非作業側顆頭の水平面投影角の差との関係を示した。相関係数は-0.676で1%の危険率で相関が認められた。

図9に、作業側の第2大臼歯の前頭面投影角度の差と作業側顆頭の後方移動量の差との関係を示した。相関係数は0.521で5%の危険率で相関が認められた。

以上のことから、2つの側方咬合位間における臼歯部の移動方向の相違は、顆頭の相違と密接に関係していることが明らかになった。

V. 結 論

本論文では、空口状態での咀嚼様の運動(咀嚼様空口運動)と咬頭嵌合位からの側方滑走運動との関係について分析した。被験者は、正常有歯顎者10名である。両運動の比較には、切歯点が咬頭嵌合位から2.0mm離れた側方咬合位を用いた。その結果、以下の結論を得た。

1. 切歯点および犬歯の移動方向と移動量には、両運動間に統計的有意差は認められなかった。
2. 臼歯部の移動方向には、両運動間の統計的有意差

が認められた。咀嚼様空口運動時における側方咬合位の位置は、側方滑走運動時に比べ、作業側、非作業側ともに平均的に下方に存在した。

3. 作業側顎頭の移動量は、咀嚼様空口運動時の方が有意に小さい値を示した。成分別では、外方、後方への移動量が小さかった。

4. 側方咬合位における非作業側顎頭の位置は、咀嚼様空口運動時の方が側方滑走運動よりも内側よりに位置していた。

5. 臼歯部において有意差の認められた分析パラメータと顎路において、有意差の認められた分析パラメータの間には相関が認められた。

側方滑走運動と咀嚼運動の関係を完全に明らかにするためには、さらに実際の咀嚼運動時における食片の介在と咬合力による影響について分析する必要がある。

稿を終るに臨み、ご指導ならびにご校閲の労を賜りました石岡 靖教授、林 豊彦講師に慎んで感謝の意を表すとともに、本研究に種々のご助言をいただきました野村修一、加藤一誠の諸先生に厚くお礼申し上げます。また、本研究にご協力いただきました被験者の皆様、新潟大学歯学部付属病院ならびに歯科補綴学第1教室の諸先生方に深謝致します。

文 献

- Hildebrand, G.Y.: Studies in the Masticatory Movement of the Human Lower Jaw, Scand Arch of Physio, Suppl, 61: 1~190, 1931.
- Jankelson, B.: The Physiology of the Stomatognathic System, JADA, 29: 375~386, 1953.
- Adams, S.H. and Zander, H.A.: Functional tooth contacts in lateral and in centric occlusion, JADA, 69: 465~473, 1964.
- Graf, H., et al.: Tooth contact during mastication, J Prosthet Dent, 13: 1055~1066, 1963.
- Anderson, D.J., et al.: Tooth contact during chwing, J Dent Res, 36: 21~26, 1957.
- 古川清博: 空口時並びに咀嚼時における下顎骨並びに付属歯牙各部の運動について, 歯科学雑誌, 3: 71~78, 1946.
- 辛島清澄: 咀嚼初期における下顎運動路の精密測定, 九州歯会誌, 14: 400~417, 1960.
- 藍 稔: 切歯点部における咀嚼運動の解析, 補綴誌, 6: 164~200, 1962.
- 森 隆司: 咀嚼運動経路の研究—空口側方滑走運動路および食品の影響—, 補綴誌, 26: 274~296, 1982.
- 水野起良廣: 咬頭底合位付近の咀嚼運動経路に関する研究, 愛院大歯誌, 17: 259~283, 1980.
- Gibbs, C.H., Lundeen, H.C. and Fujimoto, J.: Chewing movements in relation to border movements at the first molar, J Prosthet Dent, 46: 308~322, 1981.
- Gibbs, C.H., Messerman, T., Reswick, J.B. and Derda, H.J.: Functional movements of the mandible, J Prosthet Dent, 26: 604~620, 1971.
- Gibbs, C.H., Lundeen, H.C., Mahan, P.E., et al.: Movements of the mandibular condyles during chewing, abstracted, J Dent Res, 59: Special Issue B, 915, 1980.
- Lundeen, H.C. and Gibbs, C.H.: Advances in occlusion, 15, John Wright, PSG Inc, Boston, 1982.
- 瑞森崇弘, 丸山剛郎, 他: 咀嚼運動の恒常性に関する臨床的研究 同一食品における運動経路について, 補綴誌, 29: 647~656, 1985.
- 瑞森崇弘, 丸山剛郎, 他: 咀嚼運動に関する臨床的研究 食品の大きさ・固さの影響について, 補綴誌, 29: 1062~1069, 1985.
- 加藤 均, 長谷川成男, 他: 多現象同時測定による咀嚼運動の解析法, 補綴誌, 28: 836~846, 1984.
- 林 豊彦: 側方滑走運動の三次元動態に関する研究 第1報 下顎代表点の運動路と運動初期の動態について, 補綴誌, 30: 1136~1149, 1986.
- 塩沢恭郎: 下顎任意点の運動解析 第2報 下顎限界運動の立体的解析, 補綴誌, 26: 148~164, 1981.
- 中野雅徳: 側方滑走運動における顎路と歯牙路に関する研究, 補綴誌, 22: 239~244, 1978.
- 真柳昭絏: 側方滑走運動における顎頭運動の研究, 補綴誌, 14: 158~182, 1970.
- 真柳昭絏, 新井 泉: 側方滑走運動における顎頭運動とPantographic Tracingに関する研究, 補綴誌, 25: 61~67, 1981.
- 長谷川成男, 真柳昭絏, 中野雅徳, 新井 泉: 側方運動の運動論的分類, 補綴誌, 22: 239~244, 1978.
- 長谷川成男, 真柳昭絏, 新井 泉: 下顎運動要素の歯牙路への影響 その1 算法, 補綴誌, 24: 55~58, 1980.
- 栗山 實: 歯牙指導要素が平衡側顎路に与える影響について, 補綴誌, 23: 126~147, 1979.
- 篠塚裕康: 歯牙滑走運動における接触状態の観察, 歯科学報, 72: 605~646, 1972.
- 中尾勝彦: 正常天然歯列における咬合小面と歯牙接触に関する研究, 補綴誌, 16: 45~75, 1970.
- 稲川英史: 天然歯列における上下顎咬合面間の接触状態に関する研究, 歯科学報, 70: 69~92, 1970.
- 加部光毅: 歯牙滑走運動時における上下歯列の対合関係に関する研究, 歯科学報, 73: 264~309, 1973.
- 内田智幸: 歯牙滑走運動時における上下顎臼歯部の接触に関する研究, 歯科学報, 73: 233~263, 1973.

- 31) 林 豊彦, 塩澤恭郎, 加藤一誠, 野村修一, 石岡 靖: 下顎運動の 3 次元測定システムの開発, 信学技報, MBE 82-32: 55~62, 1982.
- 32) 加藤一誠: 切歯路傾斜度の顎頭運動に与える影響について 第 1 報 矢状切歯路傾斜度, 補綴誌, 30: 108~129, 1986.
- 33) 林 豊彦, 加藤一誠, 石岡 靖: 非線形最適化アルゴリズムによる全運動軸の自動探索法について, 下顎運動機能と EMG 論文集, 昭和 59 年度, 27~35, 1985.
- 34) Gibbs, C.H., Mahan, P.E., Lundeen, H.C., et al.: Occlusal force during chewing-Influences of biting strength and consistency, J Prosthet Dent, 46: 561~567, 1981.
- 35) 加藤 均: 歯周組織の機能状態に関する研究 第 2 報 臼歯の機能時の変位と安静時の脈動, 補綴誌, 26: 133~147, 1982.
- 36) Omar, R. and Wise, M.D.: Mandibular flexure associated with muscle force applied in the retruded axis position, J Prosthet Dent, 8: 209~221, 1981.
- 37) Ito, T., Lundeen, H.C. and Mahan, P.E., et al.: Loading on the temporomandibular joints with five occlusal conditions, J Prosthet Dent, 56: 478~484, 1986.
- 38) 飯島俊一: 咬合点および咬合力の変化が下顎頭部の変位に及ぼす影響に関する研究, 歯科学報, 83: 841~865, 1983.
- 39) 大石忠雄: 下顎運動の立場からみた顎関節構造の研究, 補綴誌, 11: 197~220, 1967.
- 40) 川畑博昭: 矢状面における各種顎頭位の研究 特に顎頭安定位について, 補綴誌, 15: 403~429, 1971.
- 41) 保母須弥也: 咬合学辞典, 248, 書林, 東京, 1979.