マルチストロボ装置を応用した下顎運動の研究

—ア音発音時の下顎頭について—

長島 信也

A Study of the Mandibular Movement with Multiple Stroboscope Apparatus

— The Mandibular Condyle Movement during
the [a:] Sound was Pronounced —

Shinya Nagashima

第1章 緒 言

下顎運動の研究は、1889年 Luce¹⁾ が初めて生体の運動を測定して以来、多くの報告がなされている。これらの研究の多くは、矢状面内における下顎の習慣的開閉運動、咀嚼運動あるいは限界運動時の切歯点および下顎頭部の対応する運動様相をそれぞれの目的により種々な計測法によって解析報告^{2~29)}したものである。そして下顎頭部の運動は、移動と回転という2つの運動要素に分けられる^{30,31)}ことが明らかとなっている。しかし、この2つの要素が生理的な下顎運動時にどのように組合さって発現しているかという研究は少ない。また開口量との関連や側方運動と関連させた研究^{32~34)}は散見されるのみである。

生理的な機能運動時、特に発音時の下顎運動についてみると、切歯点に関しては[s][f][m]音発音時の下顎切歯点の位置や前歯部の垂直・水平被蓋度との関連および咬頭嵌合位（中心咬合位）や中心位における咬合高径との関連については関心が持たれ詳細に研究されているが^{12,22,23,35~42)}、発音時の下顎頭部の運動様相について詳細な検討を加えている研究はほとんど¹²⁾見当たらない。しかし、このことについて検討することは、顎口腔系機能

異常者の鑑別診断上、非常に益するところ大であると考えられる。

そこで著者は発音時の下顎頭部の運動のうち、咬合関係や前歯部の垂直・水平被蓋度の影響をほとんど受けず⁴¹⁾、開口を伴って発音する日本語母音のア音発音時の下顎頭部の運動に注目し、マルチストロボ装置を応用した写真撮影法により発音時の下顎頭部の運動を記録解析し、生理機能的発音時の下顎頭部の移動と回転の様相を時間的対応をもって検討した。

第2章 実験方法

1. 被験者

被験者は日常時の談話に異常が認められず、最大咬頭嵌合位（以下 C.O. と略す）が明確でしかもア音発音時に側方偏位の少ない健常有歯顎者の、本学学生7名を選んだ。

2. 計測装置および計測方法

計測装置ならびに計測方法は第1報⁴³⁾に準じた。以下その概要を記する。

1) マルチストロボ装置

マルチストロボ装置の本体には、菅原研究所製ストロボスコープ MS-230 およびランプハウス SL-230を使用した。本装置は閃光周波数を無段階に選択することができるが、本研究においては5,000 r.p.m. すなわち0.012秒間隔にて閃光時間 1.6×10^{-6} 秒で繰返し閃光させ標識点として、連続瞬間写真を得ることができる。

日本大学大学院歯学研究科歯科臨床系専攻（指導：五十嵐孝義教授、中澤 靖教授）

Nihon University Graduate School of Dentistry at Tokyo
(Major in Prosthodontics), (Director: Prof. Takayoshi Igarashi, Prof. Yasushi Nakazawa)

昭和59年1月17日受付

図1 頭部と標識点、座標軸の関係

また、発音位とそれに対応する下顎頭部の運動の様相を明らかにするため、発音時の位置を確認することが必要となる。そこで発音と同時にもう1つのストロボスコープを作動させるため、発声音をプリモ社製コンデンサーマイク EM-4000 (感度 $-68 \text{ dB} \pm 3 \text{ dB}$) により集音すると同時に電気信号に変え、この信号によりクセノン管を自動発光させるスイッチ装置を開発し使用した。これによりクセノン管は発音と同時に発光することになる(以後、この位置をア音開始位と略す)。

これら2つのランプハウスより谷⁴⁴⁾らが応用した直径 0.2 mm の光ファイバーをとおり、8つの点光源を標識点とした。

2) 頭部の固定および標識点の設定 (図1)

被験者を歯科用治療椅子に背すじを直ぐにした姿勢で座らせた。頭部を左右の耳軸と安頭台にて固定し、標識点固定用上弓は FH 平面に一致するように耳軸とノーズピースにより固定した。この上弓上で耳軸より前方 20 mm の位置に F1 をさらにその前方 20 mm に F2 を標識点として設定した。下弓はレジン製シーネを介して下顎歯列に固定した。あらかじめ Hinge-axis をもとめ、この位置に標識点 TH を下顎頭の位置として設定した。さらに下顎の移動および回転の関係をj知るため、TH より前方 35 mm 下方 30 mm の位置に標識点 MT を設定した。この上弓と下弓上の4標識点、F1, F2, TH, MT には、ストロボスコープに内蔵の発振回路により連続発光するランプハウスから光ファイバーにより光を導びいた。すなわち 0.012 秒ごとの繰返し閃光を発光する。

また、発音開始を示す標識点として、さきに上弓上に設定した標識点 F1, F2 の中間点をとり FH 平面に直行する線上でそれぞれ FH 平面の上方 10 mm と下方 50 mm の位置に標識点 F3, F4 を、下弓上の標識点 TH, MT の中間点に標識点 M1 を、FH 平面に垂直で TH を

とおる線上で FH 平面に平行かつ M1 をとおる線の交点に標識点 M2 をそれぞれ設定した。この F3, F4, M1, M2 の4点には、発音と同時に発光するランプハウスよりの光を導びいた。

3) 撮影装置

撮影には、日本光学社製 F2 カメラにマイクロニッコール 105 mm F-4 レンズを取り付け、左右の耳軸にレンズの光軸を一致させ、標識点より 750 mm 離れた位置より発音時の下顎運動を撮影した。フィルムはコダック社製 Try-X (ASA 400, 27 DIN) を使用した。

4) ストリーク装置

連続瞬間写真では1枚のフィルム上に多重撮影すると、移動量が少ない場合や後戻りがあると像が重なり、その判別が困難になる。これを防ぐため約 1 m/sec の速度でフィルムを流す菅原研究所製ストリーク3型 C-0315 高速ユニットを使用した。

5) 撮影方法

撮影に先だち被験者の頭部を固定し上・下弓を取り付けた状態で生理的に楽な発音で [a:] を十分発音練習させた。発音確認のためには、菊水電子社製オシロスコープ 5520 型を使用した。

その後暗室内で C.O. にてストロボを発光させ、各標識点の関係をフィルム上に記録した後、シャッターを開放にしストリーク装置を作動させ、ア音発音時の下顎運動を撮影した。なお運動の出発点は C.O. とし、また運動の終了はア音発音を続けられる位置(以後、停止位と略す)とした。

6) 解析装置について

前記装置により8つの標識点はそれぞれ点としてフィルム上に連続撮影記録される。この点を、ナック社製スポーティアス Model 100 によって読み取り、ア音発音時の下顎頭運動解析を行った。

7) 座標軸の決定と移動量、回転量および所要時間の算出法

下顎頭部標識点 TH の移動を求めるための座標は C.O. の標識点 TH の位置を原点として、x 軸は FH 平面に相当する標識点 F1, F2 をとおる線に平行な軸、y 軸は x 軸に垂直でかつ標識点 TH をとおる軸とした(図1)。

移動量は C.O. の標識点 TH から 0.012 秒ごとのそれぞれの標識点 TH の位置の間を直線で結び、その距離より求めた。すなわち、C.O. を T_1 、 0.012 秒後の位置を T_2 、 T_1T_2 間の直線距離を d_1 、さらに 0.012 秒後の位置を T_3 、 T_2T_3 間の直線距離を d_2 とすると、 T_n までの総移動量は $d_1 + d_2 + \dots + d_{n-1}$ となる。

表 1 被験者 1 における，下頭頭の移動，回転および所要時間（S：開始位）

單位：移動：mm
回轉：度

1 回目				2 回目				3 回目				4 回目				5 回目			
	移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転
	X	Y			X	Y			X	Y			X	Y			X	Y	
1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00
2	0.03	-0.05	0.13	2	-0.07	-0.17	0.36	2	-0.07	-0.01	0.15	2	-0.01	-0.06	0.17	2	0.03	0.04	0.10
3	0.13	-0.09	0.28	3	0.11	-0.33	0.60	3	0.03	-0.12	0.68	3	0.17	-0.24	0.67	3	0.06	0.02	0.18
4	0.29	-0.27	0.36	4	0.41	-0.65	1.22	4	0.17	-0.40	1.24	4	0.37	-0.46	1.35	4	0.12	-0.08	0.42
5	0.40	-0.55	0.59	5	0.76	-0.90	1.09	5	0.25	-0.60	1.91	5	0.55	-0.86	2.11	5	0.20	-0.16	0.74
6	0.58	-0.72	0.91	6	1.05	-1.20	2.79	6	0.45	-0.73	2.64	6	0.69	-1.19	2.85	6	0.26	-0.27	1.12
7	0.80	-1.02	1.30	7	1.24	-1.56	3.51	7	0.59	-0.87	3.28	7	0.86	-1.51	3.62	7	0.26	-0.42	1.45
8	1.05	-1.31	1.85	8	1.42	-1.72	4.33	8	0.66	-1.04	3.86	8	1.02	-1.71	4.41	8	0.28	-0.56	1.87
9	1.24	-1.52	2.50	(S)	(1.48	-1.81)	(4.62)	9	0.82	-1.19	4.59	9	1.17	-1.95	4.99	9	0.33	-0.58	1.80
10	1.43	-1.75	3.11	9	1.52	-1.89	4.86	10	0.89	-1.32	5.07	10	1.22	-2.06	5.56	10	0.43	-0.80	2.14
11	1.55	-1.93	3.66	10	1.76	-2.10	5.00	(S)	(0.96	-1.39)	(5.31)	(S)	(1.25	-2.09)	(5.68)	11	0.51	-0.88	2.59
12	1.67	-2.24	4.14	11	1.74	-2.14	5.35	11	1.01	-1.44	5.48	11	1.37	-2.20	6.05	12	0.53	-0.98	2.94
13	1.91	-2.37	4.73	12	1.70	-2.29	5.46	12	1.10	-1.56	5.77	12	1.43	-2.31	6.37	13	0.60	-1.04	3.45
14	1.95	-2.47	5.37	13	1.75	-2.30	5.67	13	1.21	-1.65	6.05	13	1.45	-2.34	6.65	14	0.66	-1.13	3.87
(S)	(1.96	-2.49)	(5.41)	14	1.75	-2.36	5.83	14	1.30	-1.85	6.21	14	1.50	-2.39	6.84	15	0.65	-1.16	4.50
15	2.08	-2.68	5.76	(CO-S 0.090 SEC) (CO-14 0.156 SEC)				15	1.38	-1.91	6.45	15	1.51	-2.42	7.03	(S)	(0.70	-1.20)	(4.93)
16	2.15	-2.74	6.27					16	1.45	-1.97	6.59	16	1.57	-2.46	7.06	16	0.71	-1.21	4.96
17	2.23	-2.90	6.60					(CO-S 0.114 SEC) (CO-16 0.180 SEC)				(CO-S 0.114 SEC) (CO-16 0.180 SEC)				17	0.80	-1.28	5.36
18	2.30	-3.03	6.68	18	0.84	-1.36	5.66												
19	2.38	-3.02	7.36	19	0.90	-1.44	5.95												
20	2.38	-3.09	7.29	20	0.96	-1.56	6.23												
21	2.41	-3.13	7.46	(CO-S 0.162 SEC) (CO-21 0.240 SEC)				(CO-S 0.162 SEC) (CO-21 0.240 SEC)				21	1.08	-1.68	6.34				
															(CO-S 0.174 SEC) (CO-21 0.240 SEC)				

表 2 被験者 2 における，下顎頭の移動，回転および所要時間（S：開始位）

單位：移動：mm
回轉：度

1 回目				2 回目				3 回目				4 回目				5 回目			
	移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転
	X	Y			X	Y			X	Y			X	Y			X	Y	
1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00
2	0.06	-0.07	0.17	2	-0.05	-0.08	0.00	2	0.02	-0.12	0.00	2	0.04	-0.09	0.30	2	0.19	-0.10	0.07
3	0.28	-0.37	0.34	3	0.04	-0.30	0.02	3	0.22	-0.36	0.10	3	0.14	-0.22	0.71	3	0.34	-0.31	0.11
4	0.53	-0.60	0.86	4	0.22	-0.67	0.03	4	0.43	-0.61	0.34	4	0.28	-0.49	1.07	4	0.56	-0.49	0.38
5	0.79	-0.80	1.57	5	0.49	-0.86	0.03	5	0.47	-0.74	0.60	5	0.47	-0.68	1.69	5	0.84	-0.57	0.87
6	1.00	-1.09	2.40	6	0.72	-1.12	0.30	6	0.53	-0.83	1.24	6	0.62	-0.92	2.44	6	1.10	-0.79	1.32
7	1.36	-1.39	3.18	7	0.77	-1.15	1.51	7	0.78	-1.05	1.99	7	0.87	-1.22	3.39	7	1.36	-0.88	2.05
8	1.68	-1.68	4.10	8	1.10	-1.18	2.56	8	0.97	-1.21	2.89	8	1.27	-1.56	4.47	8	1.67	-1.10	2.74
9	2.12	-2.15	4.54	9	1.28	-1.49	3.39	9	1.15	-1.45	3.83	9	1.65	-1.93	5.67	9	1.92	-1.27	3.60
(S)	(2.12	-2.15)	(4.54)	10	1.38	-1.61	4.22	10	1.41	-1.79	4.53	(S)	(1.84	-2.14)	(6.24)	10	2.06	-1.53	4.01
10	2.34	-2.40	5.12	(S)	(1.62	-1.79)	(4.68)	11	1.59	-1.99	5.37	10	1.98	-2.30	6.68	(S)	(2.08	-1.71)	(4.25)
11	2.54	-2.60	5.63	11	1.69	-1.83	4.93	12	1.78	-2.24	6.09	11	2.41	-2.73	7.54	11	2.10	-1.88	4.50
12	2.68	-2.91	5.93	12	1.78	-2.15	5.22	(S)	(1.94	-2.39)	(6.38)	12	2.91	-3.07	8.38	12	2.12	-2.27	4.81
13	2.59	-3.10	5.93	13	1.84	-2.20	5.63	13	1.99	-2.41	6.50	13	3.24	-3.47	8.93	13	2.16	-2.62	4.64
14	2.65	-3.32	5.83	14	1.74	-2.63	5.78	14	2.21	-2.70	6.66	14	3.34	-3.61	9.12	14	2.14	-2.83	4.94
(CO-S 0.096 SEC) (CO-14 0.156 SEC)				15	2.20	-2.54	5.72	15	2.40	-2.84	6.86	15	3.29	-3.54	9.23	15	2.14	-3.09	4.91
				16	2.23	-2.60	5.66	16	2.58	-3.00	6.85	(CO-S 0.102 SEC) (CO-15 0.168 SEC)				16	2.15	-3.28	5.04
				17	2.30	-2.67	5.51	17	2.70	-3.15	6.78					17	2.20	-3.41	4.95
				18	2.38	-2.64	5.55	18	2.80	-3.20	6.80					18	2.07	-3.53	4.96
(CO-S 0.120 SEC) (CO-18 0.204 SEC)				19	3.04	-3.34	6.78	19	3.04	-3.34	6.78					19	2.12	-3.81	4.77
				20	3.12	-3.34	6.79	20	3.12	-3.34	6.79	(CO-S 0.144 SEC) (CO-20 0.228 SEC)				(CO-S 0.114 SEC) (CO-19 0.216 SEC)			

表 3 被験者 3 における, 下顎頭の移動, 回転および所要時間 (S : 開始位)

単位: 移動: mm
回転: 度

1 回目				2 回目				3 回目				4 回目				5 回目			
	移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転
	X	Y			X	Y			X	Y			X	Y			X	Y	
1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00
2	-0.01	0.02	0.08	2	0.01	-0.13	0.06	2	0.03	-0.06	0.07	2	0.00	0.01	0.07	2	0.00	-0.25	0.18
3	0.06	0.08	0.24	3	0.04	-0.15	0.32	3	0.05	-0.15	0.19	3	0.01	0.00	0.11	3	0.00	-0.33	1.02
4	0.12	-0.12	0.22	4	0.12	-0.26	0.61	4	0.10	-0.19	0.61	4	0.02	-0.04	0.19	4	0.00	-0.38	1.90
5	0.18	-0.23	0.30	5	0.18	-0.37	1.07	5	0.15	-0.32	1.15	5	0.04	-0.07	0.41	5	0.01	-0.68	2.57
6	0.27	-0.43	0.85	6	0.28	-0.59	1.56	6	0.18	-0.43	1.96	6	0.10	-0.12	0.62	6	-0.04	-0.80	3.62
7	0.29	-0.47	1.55	7	0.44	-0.88	2.25	7	0.23	-0.64	2.72	7	0.18	-0.34	1.21	7	-0.09	-0.94	4.62
8	0.39	-0.72	2.15	8	0.65	-1.06	3.29	8	0.34	-0.89	3.35	8	0.19	-0.53	2.02	8	0.00	-1.13	5.56
9	0.56	-1.14	2.53	9	0.75	-1.42	4.15	9	0.35	-1.01	4.25	9	0.32	-0.72	2.77	9	0.16	-1.54	6.26
10	0.67	-1.38	3.19	10	0.84	-1.62	5.38	10	0.36	-1.19	6.28	10	0.39	-0.98	3.68	10	0.28	-1.65	7.54
11	0.85	-1.61	3.86	11	0.91	-1.83	6.00	11	0.39	-1.40	5.61	11	0.52	-1.29	4.44	11	0.30	-2.10	8.17
12	1.01	-1.83	4.49	12	1.06	-2.01	6.31	12	0.49	-1.60	5.87	12	0.61	-1.46	5.09	12	0.45	-2.26	9.09
13	1.13	-2.09	4.98	(S)	(1.07	-2.08)	(6.37)	13	0.49	-1.66	6.43	13	0.69	-1.70	5.38	13	0.65	-2.63	9.49
(S)	(1.14	-2.10)	(5.00)	13	1.09	-2.26	6.53	(S)	(0.58	-1.71)	(6.64)	14	0.76	-1.59	5.96	14	0.86	-2.94	10.05
14	1.23	-2.23	5.36	14	1.22	-2.38	6.83	14	0.64	-1.73	6.75	(S)	(0.76	-1.62)	(5.99)	(S)	(0.94	-2.98)	(10.26)
15	1.39	-2.25	5.83	15	1.32	-2.43	7.00	15	0.75	-1.95	6.89	15	0.78	-1.81	6.22	15	1.06	-3.04	10.56
16	1.49	-2.32	6.04	16	1.48	-2.60	6.90	16	0.79	-2.06	7.04	16	0.92	-2.01	6.48	16	1.37	-3.12	10.57
17	1.47	-2.38	6.29	17	1.58	-2.93	6.75	17	0.92	-2.09	7.20	17	1.02	-1.98	6.91	17	1.56	-2.99	10.98
18	1.62	-2.61	6.00					18	1.02	-2.23	7.10	18	1.02	-2.06	7.00	18	1.72	-3.03	11.25
19	1.57	-2.47	5.70	(CO-S 0.136 SEC)				19	1.02	-2.18	7.43	(CO-S 0.157 SEC)				19	1.80	-3.11	11.23
20	1.64	-2.50	5.72	(CO-17 0.192 SEC)								(CO-18 0.204 SEC)				(CO-S 0.160 SEC)			
								(CO-S 0.152 SEC)								(CO-19 0.216 SEC)			
(CO-S 0.144 SEC)																			
CO-20 0.228 SEC)																			

表 4 被験者 4 における, 下顎頭の移動, 回転および所要時間 (S : 開始位)

単位: 移動: mm
回転: 度

1 回目				2 回目				3 回目				4 回目				5 回目			
移 動		回 転		移 動		回 転		移 動		回 転		移 動		回 転		移 動		回 転	
	X	Y		X	Y			X	Y			X	Y			X	Y		
1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00
2	0.10	0.29	0.88	2	0.00	0.19	0.81	2	0.00	0.00	0.69	2	-0.10	-0.44	0.00	2	0.15	0.15	0.10
3	0.05	-0.15	0.48	3	0.10	0.05	0.79	3	0.10	-0.05	1.20	3	0.05	-0.54	0.07	3	0.15	0.05	0.48
4	0.24	0.10	1.38	4	0.20	0.00	0.72	4	0.30	0.09	1.93	4	0.15	-0.49	0.78	4	0.05	0.20	1.15
5	0.20	0.00	1.69	5	0.30	0.00	0.97	5	0.15	-0.20	1.61	5	0.19	-0.49	1.73	5	0.25	0.40	2.10
6	0.25	-0.10	2.44	6	0.59	-0.30	1.63	6	0.54	-0.30	1.95	6	0.34	-0.79	2.38	6	0.25	-0.20	2.72
7	0.39	-0.10	3.06	7	0.54	-0.20	2.10	7	0.64	-0.75	2.47	7	0.29	-0.84	2.72	7	0.15	-0.24	3.31
8	0.59	-0.50	2.95	8	0.59	-0.20	2.33	8	0.64	-0.50	3.11	8	0.49	-0.79	3.26	8	0.54	-0.05	5.53
9	0.73	-0.60	3.67	9	0.79	-0.21	3.25	9	0.74	-0.40	4.08	9	0.49	-0.84	3.87	9	0.54	-0.54	5.21
10	0.98	-0.70	4.13	10	0.94	-0.35	4.19	10	1.13	-1.09	3.35	10	0.49	-1.23	3.35	10	0.79	-0.99	5.93
11	0.93	-0.74	4.38	11	1.08	-0.70	3.92	(S)	(1.18	-1.19)	(3.54)	11	0.83	-1.18	4.29	11	0.88	-1.24	6.35
12	1.27	-0.75	5.29	12	1.13	-0.70	4.82	11	1.22	-1.29	3.73	12	0.73	-1.43	4.77	12	0.98	-1.34	6.31
(S)	(1.30	-0.90)	(5.45)	(S)	(1.13	-0.70)	(4.82)	12	1.47	-1.29	5.12	13	0.73	-1.58	4.02	13	1.18	-1.58	6.73
13	1.32	-1.04	5.61	13	1.38	-0.95	5.02	13	1.76	-1.64	4.87	(S)	(0.73	-1.58)	4.02	14	1.18	-1.48	6.94
14	1.42	-1.14	5.76	14	1.62	-0.90	5.99	14	1.96	-1.84	5.08	14	0.98	-1.87	5.49	(S)	(1.40	-1.63)	(7.32)
15	1.61	-1.24	6.24	15	1.82	-1.05	6.41	15	2.10	-2.13	6.06	15	0.98	-1.97	5.28	15	1.62	-1.78	7.70
16	1.91	-1.54	6.45	16	2.01	-1.40	6.59	16	2.35	-1.99	6.84	16	1.17	-1.87	6.25	16	1.57	-1.88	7.70
17	1.81	-1.49	6.31	17	2.16	-1.30	7.32	17	2.59	-2.14	7.11	17	1.51	-2.17	5.97	17	2.02	-1.88	8.54
18	2.15	-1.64	6.30	18	2.31	-1.69	7.10	18	2.69	-2.09	7.81	18	1.61	-2.42	6.89	18	2.11	-2.23	8.11
19	2.10	-1.68	6.76	19	2.36	-1.74	7.28	(CO-S 0.114 SEC) (CO-18 0.204 SEC)				19	1.66	-2.56	6.80	19	2.16	-2.18	8.65
20	2.20	-2.03	6.72	20	2.50	-1.69	6.62					20	1.91	-2.57	6.74	20	2.16	-2.53	8.68
21	2.25	-1.98	6.47	21	2.70	-1.99	7.05	(CO-S 0.144 SEC) (CO-20 0.228 SEC)				21	2.36	-2.58	8.75	(CO-S 0.162 SEC) (CO-21 0.240 SEC)			
22	2.49	-1.93	6.72	22	2.70	-1.99	6.76					22							22
				23	2.65	-1.89	6.80												
(CO-S 0.138 SEC) (CO-22 0.252 SEC)				(CO-S 0.132 SEC) (CO-23 0.264 SEC)															

表 5 被験者 5 における、下顎頭の移動、回転および所要時間 (S : 開始位)

単位：移動：mm
回転：度

1 回目				2 回目				3 回目				4 回目				5 回目				
移 動		回 転		移 動		回 転		移 動		回 転		移 動		回 転		移 動		回 転		
X Y				X Y				X Y				X Y				X Y				
1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00		
2	0.05	-0.10	0.00	2	0.10	0.15	0.96	2	0.39	0.09	0.79	2	0.05	0.19	0.95	2	0.44	-0.10		
3	0.34	0.04	0.24	3	0.15	-0.05	0.63	3	0.77	-0.15	0.09	3	0.48	-0.05	1.07	3	0.44	-0.05		
4	0.44	-0.15	0.31	4	0.25	-0.09	0.01	4	1.01	-0.20	1.44	4	0.66	-0.34	1.00	4	0.53	-0.15		
5	0.78	-0.30	0.21	5	0.34	-0.09	0.33	5	1.63	-0.30	2.94	5	1.28	-0.44	1.92	5	0.58	-0.05		
6	1.07	-0.65	0.93	6	0.49	-0.29	0.62	6	1.87	-0.83	3.10	6	1.70	-0.91	2.52	6	0.87	-0.05		
7	1.45	-1.14	1.17	7	0.73	-0.19	0.72	7	2.11	-0.97	4.37	7	2.22	-1.39	3.42	7	1.30	-0.44		
8	2.18	-1.39	2.82	8	0.88	-0.24	1.29	8	2.54	-1.07	5.76	8	2.70	-1.39	5.32	8	1.69	-0.59		
9	2.57	-1.73	4.29	9	1.07	-0.53	1.73	(S)	(2.80	-1.41)	(6.33)	9	3.17	-1.77	5.91	9	2.41	-1.22		
10	3.01	-2.02	4.61	10	1.31	-0.92	1.82	9	3.06	-1.74	6.90	10	3.64	-2.01	6.69	10	3.08	-1.27		
11	3.44	-2.47	5.42	11	1.46	-0.78	2.11	10	3.69	-2.08	7.42	11	4.40	-2.49	7.22	11	3.51	-1.66		
12	4.03	-2.62	6.01	12	1.65	-1.02	1.77	11	4.31	-2.56	8.11	(S)	(4.71	-2.71)	(8.19)	12	4.28	-2.39		
(S)	(4.18	-2.84)	(6.45)	13	1.89	-1.12	2.62	12	4.93	-2.71	9.63	12	5.01	-2.92	9.16	(S)	(4.59	-2.49)		
	13	4.32	-3.06	6.88	14	2.23	-1.16	2.95	13	5.60	-2.86	10.74	13	5.72	-3.49	9.14	13	4.90	-2.59	
	14	4.66	-3.21	7.54	15	2.42	-1.60	3.08	14	5.79	-3.39	10.94	14	6.14	-3.59	10.35	14	5.43	-2.93	
	15	5.10	-3.45	8.39	16	2.76	-1.55	3.38	15	6.32	-3.58	10.81	15	6.85	-3.74	11.14	15	5.91	-3.08	
	16	5.58	-3.80	8.40	17	3.44	-2.28	3.93	16	6.56	-3.92	10.98	16	7.37	-4.45	11.39	16	6.44	-3.32	
	17	5.77	-4.04	8.73	18	3.97	-2.53	4.79	17	6.99	-3.87	11.41	17	7.75	-4.36	12.11	17	6.82	-3.52	
	18	6.26	-4.29	9.11	(S)	(4.38	-2.58)	(5.64)	18	7.08	-4.49	10.77	18	8.37	-4.46	12.71	18	7.25	-3.95	
	19	6.50	-4.44	8.75	19	4.79	-2.62	6.50	19	7.37	-4.30	11.66	19	8.65	-4.84	12.57	19	7.35	-3.95	
	20	6.84	-4.54	9.67	20	5.61	-3.16	7.41	20	7.66	-4.35	11.96	20	8.98	-4.89	13.36	20	7.83	-4.10	
	21	7.09	-4.74	9.92	21	6.68	-3.36	8.69	21	7.51	-4.83	11.07	21	9.03	-5.17	13.12	21	8.02	-4.25	
	22	7.38	-4.98	10.04	22	7.26	-3.70	8.89	22	7.99	-4.64	11.39	22	9.17	-5.41	13.11	22	8.22	-4.20	
	23	7.52	-4.93	10.50	23	7.74	-3.99	9.62	(CO-S 0.090 SEC) (CO-22 0.252 SEC)				23	9.26	-5.31	13.82	23	8.21	-4.44	
	24	7.72	-5.03	10.24	24	8.13	-3.99	10.75					24	9.41	-5.22	14.42	24	8.45	-4.64	10.77
	25	7.82	-4.98	11.16	25	8.47	-3.99	10.57					25	9.59	-5.60	13.56	25	8.74	-4.59	11.90
	26	8.01	-5.33	10.49	26	8.57	-4.14	10.15					26	9.59	-5.32	14.13	26	8.69	-4.97	11.20
	27	7.86	-5.18	11.12	27	8.71	-4.09	10.72	(CO-S 0.126 SEC) (CO-27 0.312 SEC)				27	9.31	-5.22	14.09	27	8.74	-5.17	
	28	8.11	-5.38	11.03	28	8.66	-4.18	11.09					28	8.84	-4.98	11.59	28	8.84	-4.98	11.59
	29	8.30	-5.18	10.94	29	8.86	-4.33	10.90					29	8.98	-5.12	11.16	29	8.98	-5.12	11.16
				30	8.86	-4.48	10.49	30					8.88	-5.07	11.57	30	8.88	-5.07	11.57	
(CO-S 0.138 SEC) (CO-29 0.336 SEC)				(CO-S 0.210 SEC) (CO-30 0.348 SEC)												31	9.08	-5.12	11.77	
																32	9.12	-5.27	11.24	
																33	9.12	-5.41	11.25	
																(CO-S 0.138 SEC) (CO-33 0.384 SEC)				

なお、すべての移動量計測点は 0.012 秒ごとになっているので、総計することにより所要時間も算定できる。

回転量は、C.O. の標識点 TH-MT の角度を 0° とし、時計回りの方向を (+) 方向として表示し、単位時間ごとの角度として表示した。

3. 計測精度について

本研究において誤差を生じると考えられるものは、
(1) マルチストロブ装置、(2) 頭部の動揺、(3) 下顎の側方偏位、(4) 光学系の収差、(5) ストリーク装置によってフィルムを流す際のフィルムのゆれおよび (6) スポーティマスでの座標読み取り時に生じるものが考えられる。

(1) のマルチストロブ装置については、今回使用した装置は、オイルコンデンサ、SCR によって閃光時間を短

くし、水晶発振によって周波数の精度を向上させたものであり、閃光時間は 1.6×10^{-6} 秒と非常に短く、周波数の精度も $\pm 1\%$ である。

また発音と同時に発光するスイッチ装置は、マイクロホンに音が入ってから発光するまでの時間は 10^{-6} 秒の単位であり、ほとんど無視しても良い。そこで本装置の使用上での誤差は、声帯からマイクロホンまでの音の伝わり方に影響されると考えられるので、FH 平面を基準にした頭部固定装置に、口唇の前方 50 mm にマイクロホンが位置するよう固定した。

(2) (5) の頭部の動揺およびフィルムのゆれがあった場合、撮影したフィルム上において、フィルムの外縁に対して、上弓上に固定した標識点 F1, F2, F3, F4 の位置関係が変化すると考えられる。そこで撮影した後にフィ

表 6 被験者 6 における、下顎頭の移動、回転および所要時間 (S : 開始位)

単位: 移動: mm
回転: 度

1 回目				2 回目				3 回目				4 回目				5 回目							
移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転					
X	Y			X	Y			X	Y			X	Y			X	Y						
1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00				
2	0.15	0.00	0.28	2	0.10	-0.35	0.38	2	0.10	0.15	1.21	2	0.05	-0.15	0.00	2	0.40	-0.01	0.11				
3	0.40	-0.25	0.03	3	0.29	-0.65	0.75	3	0.14	0.15	1.62	3	0.40	-0.65	0.13	3	0.20	-0.00	0.55				
4	0.74	-0.54	0.47	4	0.44	-1.00	0.81	4	0.10	0.10	1.73	4	0.69	-0.70	0.86	4	0.40	-0.15	0.64				
5	1.04	-0.89	1.06	5	0.84	-1.44	1.12	5	0.15	-0.20	1.77	5	1.09	-0.99	2.03	5	0.59	-0.25	1.02				
6	1.48	-0.89	2.79	6	1.29	-1.39	2.91	6	0.50	-0.50	1.99	6	1.28	-1.39	2.20	6	0.74	-0.45	1.65				
7	1.78	-1.24	3.81	7	1.73	-1.79	3.75	7	0.74	-0.79	2.48	7	1.63	-1.44	3.01	7	1.08	-0.79	2.16				
8	2.13	-1.98	3.73	8	2.38	-2.39	4.02	8	0.94	-1.04	3.79	8	1.63	-1.74	3.31	8	1.33	-1.28	3.35				
9	2.82	-2.62	3.86	9	2.97	-3.08	4.98	9	1.73	-1.63	4.33	9	2.07	-1.98	4.62	9	1.52	-1.53	4.10				
10	3.36	-2.92	6.04	10	3.52	-3.43	6.20	10	2.27	-2.03	5.16	10	2.71	-2.53	5.73	10	2.01	-1.92	4.24				
11	4.05	-3.21	7.16	11	4.41	-3.68	7.12	11	3.06	-2.33	6.35	11	3.55	-3.02	6.40	11	2.26	-1.97	5.52				
12	4.84	-3.51	8.23	(S)	(4.79	-3.90)	(7.38)	12	3.61	-2.92	7.26	(S)	(3.97	-3.32)	(6.56)	12	2.60	-2.47	6.14				
(S)	(5.11	-3.66)	(8.67)	12	5.16	-4.12	7.64	(S)	(4.10	-3.17)	(7.88)	12	4.39	-3.62	6.72	13	3.14	-3.11	6.52				
13	5.38	-3.81	9.12	13	5.60	-4.52	8.69	13	4.59	-3.41	8.51	13	5.08	-3.67	8.37	14	3.83	-3.21	7.85				
14	5.93	-4.20	9.89	14	6.30	-4.87	9.28	14	5.14	-3.51	8.76	14	5.67	-4.16	8.62	(S)	(4.25	-3.46)	(8.18)				
15	6.67	-4.25	9.83	15	6.99	-4.82	9.85	15	5.53	-3.76	10.00	15	6.41	-4.46	9.50	15	4.66	-3.70	8.52				
16	7.21	-4.55	10.08	16	7.59	-5.26	10.27	16	6.12	-4.16	10.33	16	7.05	-4.56	9.52	16	5.01	-3.75	7.99				
17	7.65	-4.55	10.67	17	8.23	-5.36	10.16	17	6.72	-4.11	10.70	17	7.70	-4.76	10.15	17	5.99	-4.05	9.90				
18	8.25	-5.04	10.54	18	8.73	-5.36	11.08	18	7.26	-4.35	10.74	18	8.24	-4.56	10.95	18	6.09	-4.44	10.40				
19	8.54	-5.19	11.07	19	9.13	-5.46	11.10	19	7.60	-4.50	10.11	19	8.83	-5.01	11.06	19	6.58	-4.54	10.22				
20	9.13	-5.04	11.54	20	9.52	-5.71	11.19	20	8.29	-4.70	11.09	20	9.33	-5.06	10.90	20	7.22	-4.54	11.08				
21	9.58	-5.24	11.64	21	10.17	-5.71	12.02	21	8.79	-4.60	11.77	21	9.87	-5.21	11.40	21	7.51	-4.89	11.30				
22	10.02	-5.34	11.79	22	10.27	-5.86	11.95	22	8.94	-4.75	11.54	22	10.11	-5.36	11.36	22	7.95	-4.79	12.23				
23	10.27	-5.24	11.93	23	10.96	-5.66	12.78	23	9.28	-4.75	11.72	23	10.31	-5.26	11.43	23	8.10	-5.08	12.15				
24	10.71	-5.24	12.55	24	11.01	-5.91	12.70	24	9.73	-5.05	11.93	24	10.86	-5.16	11.34	24	8.59	-5.33	12.06				
				25	11.56	-5.86	13.16	25	10.17	-5.00	12.06					25	11.00	-5.21	11.86	25	8.93	-5.33	11.79
								26	10.47	-4.75	12.86					26	11.15	-5.26	11.59	26	9.23	-5.23	12.70
(CO-S 0.138 SEC)																(CO-S 0.138 SEC)							
(CO-24 0.276 SEC)				(CO-S 0.126 SEC)				(CO-S 0.138 SEC)				(CO-S 0.138 SEC)				(CO-S 0.138 SEC)							
				(CO-25 0.288 SEC)				(CO-26 0.300 SEC)															

表 7 被験者 7 における、下顎頭の移動、回転および所要時間 (S : 開始位)

単位: 移動: mm
回転: 度

1 回目				2 回目				3 回目				4 回目				5 回目					
移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転		移 動		回転			
X	Y			X	Y			X	Y			X	Y			X	Y				
1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00	1	0.00	0.00	0.00		
2	-0.10	0.10	0.77	2	-0.05	0.05	0.61	2	-0.11	-0.05	0.17	2	0.31	0.41	1.60	2	-0.11	-0.05	0.00		
3	0.16	-0.26	0.78	3	0.11	-0.26	0.92	3	0.21	0.00	0.26	3	0.31	-0.36	1.03	3	-0.11	-0.16	0.37		
4	0.10	-0.42	1.42	4	0.52	-0.57	1.29	4	0.21	-0.11	0.30	4	0.36	-0.42	1.53	4	0.00	-0.31	0.23		
5	0.36	-0.84	2.28	5	0.73	-0.77	2.37	5	0.21	-0.16	0.69	5	0.72	-0.99	1.88	5	0.25	-0.21	0.94		
6	0.36	-1.05	2.40	6	0.47	-1.03	3.18	6	0.37	-0.16	1.38	6	0.67	-1.14	2.53	6	0.15	-0.77	0.82		
7	0.36	-1.31	2.88	7	0.99	-1.55	3.59	7	0.52	-0.42	1.86	7	1.08	-1.24	3.16	7	0.20	-0.98	0.90		
8	0.93	-1.78	3.56	8	1.30	-1.91	4.76	8	0.47	-0.68	2.38	8	1.29	-1.61	3.98	8	0.51	-1.24	1.00		
9	1.09	-2.36	4.47	9	1.72	-2.32	5.54	9	0.52	-0.94	1.15	9	1.65	-1.66	4.28	9	0.40	-1.60	1.70		
10	1.09	-2.25	5.06	10	1.87	-2.57	6.48	10	0.47	-1.15	3.64	10	1.75	-2.02	4.85	10	0.92	-1.86	2.28		
11	1.50	-2.72	5.68	11	2.08	-2.83	7.99	11	0.84	-1.41	4.56	11	2.06	-2.33	4.31	11	1.17	-2.22	2.78		
12	1.87	-3.19	6.96	12	2.44	-2.93	9.11	12	1.15	-1.67	5.24 (S)	(2.24 -2.72) (5.21)	12	1.48	-2.63	3.71	12	1.48	-2.63	3.71	
13	1.92	-2.98	7.46	13	2.55	-3.55	10.16	13	1.05	-1.78	6.01	12	2.42	-3.11	6.12	13	1.58	-2.99	3.91		
14	2.23	-3.24	7.85	14	3.01	-3.76	10.54	14	1.31	-2.25	6.50	13	2.42	-2.90	5.34	14	1.74	-3.09	4.84		
15	2.54	-3.76	7.38 (S)	(3.07 -3.87) (10.68)	15	1.46	-2.30	6.94	14	1.46	-2.30	6.94	14	2.42	-2.95	5.99	15	1.89	-3.45	4.84	
(S) (2.67 -3.89) (7.65)	15	3.12	-3.97	10.82	16	1.72	-2.77	7.50	15	2.78	-3.27	6.52 (S)	(2.05 -3.30) (5.51)	15	2.78	-3.27	6.52	15	2.78	-3.27	6.52
16	2.80	-4.02	7.93	16	2.86	-3.97	11.55	17	1.73	-2.98	7.51	16	2.68	-3.21	7.07	16	2.20	-3.15	6.18		
17	2.85	-3.97	8.74	17	3.12	-4.02	11.82	18	1.93	-2.92	8.51	17	3.04	-3.27	7.82	17	2.35	-3.45	6.13		
18	3.06	-4.23	9.66	18	3.38	-4.17	12.64	19	2.30	-3.13	8.59	18	2.83	-3.58	7.46	18	2.50	-3.66	6.35		
19	3.06	-4.13	10.43	19	3.38	-4.53	12.33	20	2.25	-3.45	8.46	19	3.30	-3.63	8.08	19	2.50	-3.76	6.77		
20	3.32	-4.65	10.07	20	3.64	-4.58	13.17 (S)	(2.30 -3.40) (8.67)	20	3.40	-3.78	8.47	20	3.40	-3.78	8.47	20	2.56	-3.97	5.92	
21	3.63	-4.49	11.13	21	3.38	-4.74	13.27	21	2.35	-3.34	8.89	21	3.29	-3.99	8.65	21	2.66	-3.87	6.50		
22	3.58	-4.75	11.45	22	3.69	-5.00	13.68	22	2.67	-3.34	9.12	22	3.29	-3.94	9.40	22	2.76	-4.07	6.04		
23	3.89	-4.91	12.54	23	3.59	-4.89	14.21	23	2.67	-3.45	9.18	(CO-S 0.126 SEC)			23	3.02	-4.07	6.35			
24	4.00	-4.91	12.76	24	3.95	-5.25	13.75	24	2.82	-3.71	9.37	(CO-22 0.252 SEC)			24	3.07	-4.02	7.24			
25	4.36	-5.12	13.67	25	4.00	-5.31	14.30	25	2.98	-3.81	9.84	(CO-S 0.174 SEC)			(CO-24 0.276 SEC)						
26	4.31	-5.33	13.45	26	4.06	-5.51	14.08	26	3.19	-4.12	9.46	(CO-S 0.234 SEC)			(CO-26 0.300 SEC)						
27	4.41	-5.54	13.75	27	4.42	-5.36	15.06	(CO-S 0.162 SEC)			(CO-27 0.312 SEC)			(CO-S 0.174 SEC)							
28	4.62	-5.49	13.88	(CO-S 0.162 SEC)			(CO-27 0.312 SEC)			(CO-S 0.174 SEC)			(CO-33 0.384 SEC)								
29	4.67	-5.54	14.22	(CO-S 0.162 SEC)			(CO-27 0.312 SEC)			(CO-S 0.174 SEC)			(CO-33 0.384 SEC)								
30	4.93	-5.59	13.98	(CO-S 0.162 SEC)			(CO-27 0.312 SEC)			(CO-S 0.174 SEC)			(CO-33 0.384 SEC)								
31	5.14	-5.49	14.44	(CO-S 0.162 SEC)			(CO-27 0.312 SEC)			(CO-S 0.174 SEC)			(CO-33 0.384 SEC)								
32	5.09	-5.64	14.91	(CO-S 0.162 SEC)			(CO-27 0.312 SEC)			(CO-S 0.174 SEC)			(CO-33 0.384 SEC)								
33	5.24	-5.70	14.30	(CO-S 0.162 SEC)			(CO-27 0.312 SEC)			(CO-S 0.174 SEC)			(CO-33 0.384 SEC)								

秒後の 21 で停止している。この停止位は引き続き ア 音を発音している位置である。

図 2~8 は、それぞれの被験者の 5 回のア音発音時の出発点 (C.O.) から停止位までの TH の移動状態をグラフに示したものである。

表 8-a, b, c と図 9-a, b, c に、各被験者の C.O. から開始位および C.O. から停止位までの下顎頭の移動量と、回転量および所要時間のそれぞれ 5 回の平均値と 95% 信頼区間を、表 9~12 に統計学的に有意差を検討した結果を示す。

第 4 章 総括および検討

1. 実験方法について

下顎運動の様相を知るために従来から、描記法^{2-4,16,20)}、写真撮影法^{1,5,9-13,19,28)}、X線撮影法^{6-8,18,23,35,36)}および電気的測定法^{14,15,17,21,22,24-27,29)}等が応用されている。いずれも切歯点の運動様相を測定し、その後計算により下顎頭付近の運動パターンを求めているものが多い。一般に発音時の下顎頭の運動は、移動量が小さくかつ高速であるので、解析が困難であり詳細に解明されていない。この運動を解析するためには、測定部を下顎頭部に設定し、非接触的に運動を測定記録できるものが要求され、写真撮影法の応用が考えられる。この写真撮影

図 2 被験者 1 における, 下顎頭の移動

図 6 被験者 5 における, 下顎頭の移動

図 3 被験者 2 における, 下顎頭の移動

図 7 被験者 6 における, 下顎頭の移動

図 4 被験者 3 における, 下顎頭の移動

図 8 被験者 7 における, 下顎頭の移動

図 5 被験者 4 における, 下顎頭の移動

法の光源として, 著者は閃光時間が 1.6×10^{-6} 秒と短い, マルチストロボ装置を応用し, 0.012 秒間隔で繰返し発光し, 連続写真を撮影する装置を開発した. これを用い, C.O. を出発点としてア音発音時の下顎頭運動様相を記録できるものとした. さらに発音時の下顎頭の移動, 回転および所要時間を知るために, マイクにより集音すると同時にストロボ装置を自動発光させるスイッチ装置を開発した. 以上により, ア音発音時の下顎頭の移動, 回転, そしてその所要時間の全体像を明らかにすることができ, 十分なる精度をもって, 機能運動の様相を解析可能とした.

表 8-a 各被験者における, C.O. から開始位, 停止位までの移動量

	CO-開始位	CO-停止位
Sub. 1	2.31 (1.49~3.13)	3.02 (2.12~ 3.92)
Sub. 2	2.89 (2.65~3.13)	4.69 (4.26~ 5.12)
Sub. 3	2.44 (1.72~3.15)	3.31 (2.45~ 4.17)
Sub. 4	2.85 (1.99~3.72)	4.90 (4.31~ 5.48)
Sub. 5	5.29 (3.97~6.60)	11.68 (10.59~12.77)
Sub. 6	6.15 (5.57~6.71)	13.37 (12.68~14.06)
Sub. 7	5.23 (4.71~5.75)	8.07 (6.29~ 9.85)

5 回の平均, (): 95%信頼区間 単位: mm

表 8-b 各被験者における, C.O. から開始位, 停止位までの回転量

	CO-開始位	CO-停止位
Sub. 1	5.19 (4.67~ 5.71)	6.66 (5.87~ 7.44)
Sub. 2	5.22 (3.96~ 6.47)	6.42 (4.26~ 8.57)
Sub. 3	6.85 (4.36~ 9.34)	7.60 (4.97~10.22)
Sub. 4	5.03 (3.20~ 6.86)	7.36 (6.25~ 8.48)
Sub. 5	6.51 (5.28~ 7.74)	11.63 (9.87~13.39)
Sub. 6	7.73 (6.73~ 8.74)	12.81 (12.27~13.34)
Sub. 7	7.54 (4.72~10.37)	11.09 (6.86~15.32)

5 回の平均, (): 95%信頼区間 単位: 度

表 8-c 各被験者における, C.O. から開始位, 停止位までの所要時間

	CO-開始位	CO-停止位
Sub. 1	0.131 (0.087~0.175)	0.197 (0.153~0.241)
Sub. 2	0.115 (0.092~0.138)	0.194 (0.156~0.233)
Sub. 3	0.150 (0.138~0.162)	0.211 (0.194~0.228)
Sub. 4	0.138 (0.116~0.160)	0.238 (0.209~0.266)
Sub. 5	0.140 (0.086~0.195)	0.326 (0.265~0.387)
Sub. 6	0.140 (0.124~0.157)	0.310 (0.271~0.348)
Sub. 7	0.174 (0.126~0.222)	0.305 (0.243~0.367)

5 回の平均, (): 95%信頼区間 単位: 秒

表 9 各被験者における, C.O. から開始位までの変位量・所要時間と, 停止位までの変位量・所要時間との間の有意差の検定

Sub.	1	2	3	4	5	6	7
移動量		..		..	..	..	..
回転量	..			.	..	..	
所要時間	.	..	..	..	..	..	..

注 . : 危険率 5% で有意
.. : 危険率 1% で有意

図 9-a 各被験者における, C.O. から開始位, 停止位までの移動量

図 9-b 各被験者における, C.O. から開始位, 停止位までの回転量

図 9-c 各被験者における, C.O. から開始位, 停止位までの所要時間

このことは, 今までの諸研究を発展させた新しい下顎運動のアプローチであろうと推察する。

2. 計測結果について

1) 移動量, 回転量および所要時間について

下顎運動の研究の中で, 機能時, 特に発音時の下顎運動については, 義歯作製時の咬合高径の設定や前歯部の排列位置, 被蓋関係の決定を目的として, その多くが前歯部の運動について研究解明されている^{12, 22, 23, 35~42)}。特

表 10 移動量における，被験者間の有意差の検定

CO-開始位								CO-停止位							
2	3	4	5	6	7	Sub.		2	3	4	5	6	7	Sub.	
			**	**	**	1		**		**	**	**	**	1	
			**	**	**	2			**		**	**	**	2	
			**	**	**	3				**	**	**	**	3	
			**	**	**	4					**	**	**	4	
						5						**	**	5	
					*	6							**	6	

注：表 9 の注を参照

表 11 回転量における，被験者間の有意差の検定

CO-開始位								CO-停止位							
2	3	4	5	6	7	Sub.		2	3	4	5	6	7	Sub.	
			*	**		1					**	**	*	1	
				**		2					**	**	*	2	
						3						**		3	
				**		4					**	**		4	
						5								5	
						6								6	

注：表 9 の注を参照

表 12 所要時間における，被験者間の有意差の検定

CO-開始位								CO-停止位							
2	3	4	5	6	7	Sub.		2	3	4	5	6	7	Sub.	
	**			*	*	1				*	**	**	**	1	
						2				*	**	**	**	2	
						3					**	**	*	3	
						4					**	**	*	4	
						5								5	
						6								6	

注：表 9 の注を参照

に子音については S 音で多くの研究がみられ，S 発音位は全発音位中最も下顎の位置安定性が高く^{22,23,38,41)}，しかも上下顎前歯が最も接近し^{12,23,38,40,41)}，前歯部被蓋度と関係^{23,37,38,40)}も深いことが知られている。また，S 発音時に下顎は移動しており，その移動量は後続母音の影響を受けていると報告されている^{23,42)}。さらに実験的に前歯部被蓋度や咬合高径を変化させると，S 発音に歪みが生じる^{23,37,41)}などと報告されている。また，母音については，切歯点の調音運動は上下運動が前後運動よりはるかに優勢で明瞭であり³⁹⁾，ア音は顎間距離が 5 mm 以下になると，口腔容積の減少のために音色が変化する³⁷⁾

などと報告されている。

一方下顎運動の中で，下顎頭部の移動と回転という運動についてみると，限界運動や習慣的開閉運動における研究^{9,19,30,32)}がみられ，下顎頭部の運動路は測定点のわずかな位置の違いにより大きく変化することが知られている^{9,19)}。また前方滑走運動では下顎頭部はほとんど回転せず¹⁹⁾，習慣的な開口運動時の下顎頭は，移動と回転との割合がともに一様に変化した³²⁾と報告されている。しかし，生理的機能運動時，特に発音時の下顎頭部の移動と，回転という運動に関する研究はみられない。

そこで今回著者は，生理的な下顎頭部の運動を解明す

る第1段階として、前歯部の被蓋や咬合高径の影響を受けにくく、その運動様相を把握しやすいア音をとりあげ、マルチストロボ装置を応用した写真撮影法により、ア音発音時の下顎頭部の移動量、回転量および所要時間について計測し、さらに移動と回転という要素の関係を時間的な対応をもたせて検討を行った。

ア音発音時のC.O.からア音開始位までと、C.O.から停止位までとの間の下顎頭部の移動量の有意差を検定したところ、Sub. 1と3を除き他の5例で有意差を認めた(表9)。これによりア音発音時の両者の位置における、下顎頭部の移動量に差があることが判明した。被験者間の有意差検定の結果(表10)では、C.O.からア音開始位までは、Sub. 1~4とSub. 5~7との移動量の異なる2グループに分れる傾向が認められた。またC.O.から停止位までは、Sub. 1と3、2と4の間を除き他の被験者間の移動量に有意差が認められた。

ア音発音時のC.O.からア音開始位までと、C.O.から停止位までとの間の下顎頭部の回転量の有意差を検定したところ、Sub. 2, 3, 7を除き他の4例で有意差を認めた(表9)。これによりア音発音時の両者の位置における、下顎頭部の回転量に差があることが判明した。被験者間の有意差検定の結果(表11)では、C.O.からア音開始位までは一定の傾向はみられなかったが、C.O.から停止位までは、Sub. 1~4とSub. 5~7との回転量の異なる2グループに分れる傾向が認められ。

ア音発音時のC.O.からア音開始位までと、C.O.から停止位までとの間の所要時間の有意差を検定したところ、すべての被験者で有意差を認めた(表9)。これにより、ア音発音時の両者の位置における下顎頭変位の所要時間には、時間的に差があることが判明した。被験者間の有意差検定の結果(表12)では、C.O.からア音開始位までは、Sub. 2と3, 6, 7との間を除いて有意差を認めず、C.O.から停止位までは、Sub. 1~4とSub. 5~7との所要時間の異なる2グループに分れる傾向が認められた。

ア音発音時の下顎運動に関する過去の研究をみると、三谷³⁹⁾は5名の被験者の切歯点での発音時の下顎運動に関する研究において、ア音発音時の開口量は、発音開始位が最小であった被験者では16.0mmでその時の最大開口量は17.0mmであり、発音開始位が最大であった被験者では30.9mmで、その時の最大開口量は32.9mmであったと報告している。著者の研究では、切歯点部の開口量を計測していないため、直接開口量として比較できないが、矢状面での下顎頭と切歯点との距離を

90mmと仮定し、本研究の下顎頭部の回転量と、前下方への移動量のうちの下方向、すなわちy成分の変位量の平均値により、切歯点部の開口量を計算して求めると、最小はSub. 4で、C.O.からア音開始位までが8.9mm、停止位までが13.7mmであり、最大はSub. 6でC.O.からア音開始位までが15.6mm、停止位までが25.5mmであった。この値と先の三谷³⁹⁾の結果を比較すると、著者の値は、開口量がやや小さい傾向であった。

またア音開始位と停止位という位置について考察してみると、音声が始まる位置をア音開始位とし、ア音を継続して発音できる位置を停止位と設定したので、両位置はともにア音を発音できる。三谷³⁹⁾の研究においても、ア音発音時下顎切歯点の位置が上下的に変化したとしており、古屋²³⁾は子音に続く後続母音においては同じ母音でも下顎位の範囲は大きく変化したし、その先行子音によっても位置が大きく変化したと報告している。本研究においても切歯点の運動量に大きく影響する回転量は、被験者ごとにばらつきが大きく、一定の傾向も明瞭ではなく、ア音発音時の下顎位が特に上下方向で広い範囲に存在していることを示している。

また下顎頭の移動量、回転量および所要時間についてみると、各被験者ごとにそれぞればらつきはみられるものの、C.O.から停止位までの変位に比べC.O.からア音開始位までの変位量のばらつきは小さく、特にア音発音時の所要時間では被験者7名をとおして一定の値となる傾向を示した(図9-c)。

このことより、発音時にほぼ同距離の開口移動をもって発音するというパターンが存在することが明らかとなった。

2) C.O.から停止位までの変位量に対する、ア音開始位までの変位量の比率について

C.O.から停止位までの下顎頭の移動量、回転量および所要時間に対する、ア音開始位までの移動量、回転量および所要時間の比率の5回平均値、95%信頼区間および統計学的検討結果を表13~15に示した。この表をグラフに示したのが図10である。

ここでは、ア音開始位が下顎頭部の全体の変位量のどの位置に存在するか、ア音開始位の前後で移動と回転がどのように関連しているかを検討するため、それぞれ比率を求めた。

各被験者の平均についてみると(表13)、移動では最小0.45から最大0.76、回転では0.56から0.90、所要時間では0.427から0.711であった。このことから、ア音開始位という位置は全体の下顎頭の運動中の後半に位

表 13 各被験者における、C.O. から停止位までの変位量に対する開始位までの変位量の比率

	移 動	回 転	所 要 時 間
Sub. 1	0.76 (0.70~0.82)	0.78 (0.74~0.82)	0.656 (0.580~0.732)
Sub. 2	0.62 (0.54~0.69)	0.83 (0.70~0.96)	0.594 (0.544~0.644)
Sub. 3	0.71 (0.62~0.80)	0.90 (0.86~0.94)	0.711 (0.647~0.775)
Sub. 4	0.58 (0.47~0.69)	0.68 (0.48~0.88)	0.583 (0.496~0.670)
Sub. 5	0.45 (0.35~0.55)	0.56 (0.53~0.59)	0.427 (0.301~0.553)
Sub. 6	0.46 (0.41~0.51)	0.60 (0.53~0.68)	0.455 (0.413~0.496)
Sub. 7	0.66 (0.54~0.77)	0.69 (0.49~0.89)	0.576 (0.414~0.739)

5 回の平均, () : 95%信頼区間

表 14 各被験者における、C.O. から停止位までの変位量に対する開始位までの変位量の比率における、移動と回転との間の分散比の検定

Sub.	1	2	3	4	5	6	7
移動—回転					*		

表 15 各被験者における、C.O. から停止位までの変位量に対する開始位までの変位量の比率における、移動と回転との間の有意差の検定

Sub.	1	2	3	4	5	6	7
移動—回転		**	**		*	**	

注：表 9 の注を参照

置していることが明らかとなった。

比率によって無単位化した移動と回転との間の分散比を検定した結果(表 14)では、Sub. 5 以外のすべての被験者において差を認めなかった。このことから移動と回転との間で有意差検定して良いと考えられる。移動と回転との間の有意差検定結果(表 15)では、Sub. 1, 4, 7 で差が認められなかったが、平均値(表 13)で比較すると、すべての被験者において回転が大である傾向であった。この結果よりア音開始位まででは、下顎頭部の回転の要素が移動に先行しているものと推察される。しかし福島³²⁾は、習慣的開閉運動の研究において、開口運動時の移動と、回転の割合がともに一様に変化したと報告している。このことは、本研究とは測定点が異なるため直接比較できないが、習慣的開口運動と発音時の開口運動とは、その様相が異なることを示しており、両者の間には生理学的な反射機構に違いが存在するのではないかと考えられる。

図 10 各被験者における、C.O. から停止位までの変位量に対する、開始位までの変位量の比率

3) 停止位までの所要時間に対応する変位量の比率

発音時の下顎頭の停止位までの総所要時間を前期・中期・後期とに 3 等分し、全体の総変位量に対するこれらの各期における変位量の比率について、5 回の平均値および 95% 信頼区間を表 16-a, b に示した。この表をグラフに示したのが図 11-a, b である。

前期・中期・後期を平均値で比較すると、移動・回転ともに前期・後期に比べ中期で大きな値を示した。すなわち、運動の速度はその運動の中期が最も速いことを示している。この傾向は、三谷³⁹⁾の研究でも同様なことを報告しており、また習慣的開閉運動に関する報告^{1, 30~32)}とも一致している。移動では中期の移動量が大きいことは共通に認められるが、後期が小さい傾向は認められない。しかし回転においてはすべて中期の回転量の比率が大きく、常に前期に比べ後期が小さな傾向を示した。このことは、回転はその多くはア音発音時の前期・中期に起こっていることになり、その速度変化は動きはじめて比較的早期に最高速度になり、所要時間の中間点でほぼ停止位に近づき、比較的低速で徐々に速度を減じながら停止位に向かうという傾向であると推察される。

表 16-a 各被験者における、C.O. から停止位までの移動量に対する
前期・中期・後期の移動量の比率

	前期/CO-停止位	中期/CO-停止位	後期/CO-停止位
Sub. 1	0.37 (0.28~0.46)	0.40 (0.35~0.45)	0.23 (0.14~0.32)
Sub. 2	0.28 (0.19~0.36)	0.41 (0.38~0.44)	0.32 (0.25~0.38)
Sub. 3	0.19 (0.10~0.28)	0.46 (0.38~0.55)	0.34 (0.29~0.40)
Sub. 4	0.28 (0.20~0.36)	0.36 (0.28~0.43)	0.36 (0.32~0.40)
Sub. 5	0.30 (0.21~0.38)	0.45 (0.41~0.48)	0.26 (0.19~0.33)
Sub. 6	0.27 (0.23~0.31)	0.46 (0.42~0.50)	0.27 (0.22~0.33)
Sub. 7	0.33 (0.24~0.41)	0.39 (0.33~0.46)	0.28 (0.22~0.34)

5 回の平均, () : 95%信頼区間

表 16-b 各被験者における、C.O. から停止位までの回転量に対する
前期・中期・後期の回転量の比率

	前期/C O -停止位	中期/C O -停止位	後期/C O -停止位
Sub. 1	0.31 (0.18~0.44)	0.46 (0.37~0.54)	0.23 (0.10~0.35)
Sub. 2	0.25 (0.08~0.41)	0.62 (0.44~0.81)	0.13 (-0.01~0.27)
Sub. 3	0.27 (0.12~0.43)	0.57 (0.45~0.69)	0.16 (0.08~0.24)
Sub. 4	0.36 (0.27~0.45)	0.42 (0.23~0.61)	0.22 (0.02~0.41)
Sub. 5	0.40 (0.23~0.57)	0.48 (0.39~0.57)	0.12 (-0.05~0.28)
Sub. 6	0.36 (0.28~0.45)	0.47 (0.39~0.54)	0.18 (0.12~0.23)
Sub. 7	0.29 (0.11~0.47)	0.51 (0.27~0.74)	0.21 (0.13~0.28)

5 回の平均, () : 95%信頼区間

図 11-a 各被験者における、C.O. から停止位までの移動量に対する、前期・中期・後期の移動量の比率

図 11-b 各被験者における、C.O. から停止位までの回転量に対する、前期・中期・後期の回転量の比率

移動と回転を比較すると、前期では一定の傾向はみられないが、中期では回転が大きく、後期では移動が大きい傾向であった。以上により回転の要素は常に移動に先行して起こると考えられる。

以上を総括すると、一般に発音時の下顎運動は反射的な運動と考えられており、その機構は複雑で知覚系と運動系との間の相互作用により、自分の表現したい言葉を合成し、発音し、しかもその音を聞きながら、開口量を調節するような複雑な筋運動が生じる⁴⁵⁾といわれてい

る。このことは、本研究において被験者内および被験者間のばらつきが大きく表れていることによっても明らかである。しかし、ア音発音時の下顎運動は、習慣的開口運動と異なり、まず回転を主体に比較的一定なア音開始位へと運動し、その後ア音発音位へと移動を主体として運動していると考えられる。

さらに、本研究における被験者は顎口腔系に機能異常特に発音、談話に異常のみられない者のみを対象としているが、顎関節症患者のような顎口腔系に機能異常を有

する者に対して同様に測定し、移動と回転の関連について検討すれば診断の一助ともなり得ると考えられる。

第5章 結 論

今回著者は、顎口腔系に異常が認められず、日常談話に異常のみられない7名の被験者に対して、2組のマルチストロボ装置を応用し、一方を0.012秒間隔の繰返し閃光させ、他方を発音と同時に発光させ、それぞれの閃光を光ファイバーにて8つの標識点とした。写真撮影法により最大咬頭嵌合位を出発点として、歯および咬合関係の影響を受けにくいア音発音時の下顎運動を撮影記録し、解析した結果、以下の結論を得た。

1) ア音発音開始位までの下顎頭の移動量、回転量および所要時間は、7名の被験者においてほぼ一定の値を示す傾向であった。

2) 最大咬頭嵌合位からア音発音開始位までの下顎頭の移動量は、2.31 mm から 6.15 mm、回転量は 5.03 度から 7.73 度および所要時間は 0.115 秒から 0.174 秒であった。

3) 最大咬頭嵌合位からア音発音時に下顎運動を停止する位置までの移動量は 3.02 mm から 13.37 mm、回転量は 6.42 度から 12.81 度および所要時間は 0.194 秒から 0.326 秒であった。

4) ア音発音開始位の前・後で比較すると、下顎頭の回転は移動に比べ、早期に起こる傾向であった。

5) ア音発音時の下顎運動全体を3期に分けて比較すると、移動・回転ともにその変化する速度は中期が速い傾向であった。また回転においては前期に比べ後期の回転量が小さい傾向であった。

6) 本研究の結果からすると、ア音発音時の下顎頭の運動は、まず回転を主体に、比較的一定な位置へと運動し、その後、ア音発音に最適な位置へと移動を主体として、運動していると考えられる。

稿を終るにあたり、本研究に際しご校閲を賜りました日本大学五十嵐孝義教授ならびに本研究に直接ご指導賜った日本大学中澤 靖教授と実験に直接ご指導いただいた日本大学工藤忠男講師に深甚なる感謝の意を表します。またご専攻の立場からご指導を賜りました日本大学大木一三教授、戸田善久教授、森谷良彦教授に深く感謝の意を表します。

あわせて、日頃ご助言ご鞭撻を頂きました歯科補綴学第3講座医局員各位、大学院生各位ならびに本研究にご協力を頂きました被験者各位に対し感謝の意を表します。

Summary

Many reports have been made by researchers in the past on the study of the mandibular movement, which is a matter of primary concern in prosthodontics. It has been made clear by these reports that the movements of mandibular condyle can be divided into two kinetic elements of translation and rotation. However, almost no report has been made so far concerning in what temporal process these two elements occur at the time of physiologic condyle movement, especially when phonation is made.

Therefore, the author particularly took up the phonation of the [a:] sound, which is least influenced by occlusion and the vertical and horizontal overlap of the anterior. The author then paid attention to the movement of mandibular condyle when the [a:] sound was pronounced. And in order to serve for the diagnosis of dysfunction of the stomatognathic system, the subjects used for the present experiment were limited to those who had no abnormality in their stomatognathic system. By photographic analysis using a multiple stroboscope apparatus, and considering the time element, the author recorded and analyzed the translation and rotation of mandibular condyle, and reached the following conclusion.

1) All the seven subjects tended to show very little difference in the amount of translation and the degree of rotation of their mandibular condyle, as well as in the time required until it came to the position ready to pronounce the [a:] sound.

2) The amount of translation of mandibular condyle from the position of maximal intercuspal occlusion to that when the [a:] sound was ready to be pronounced was between 2.31 mm and 6.15 mm; the degree of rotation was between 5.03° and 7.73°; and the time required was between 0.115 and 0.174 seconds.

3) The amount of translation from the position of the maximal intercuspal occlusion to that when the mandibular movement stopped with the pronunciation of the [a:] sound was between 3.02 mm and 13.37 mm; the degree of rotation was between 6.42° and 12.81°; and the time required was between 0.194 and 0.326 seconds.

4) When compared before and after the [a:] sound was pronounced, the rotation of mandibular condyle tended to occur earlier than translation.

5) When comparison was made by dividing the entire movement of mandibular condyle into three periods, the

speed of change, both in translation and rotation, tended to be quickest in the second period; as for rotation, the degree of rotation tended to be smaller in the third period compared to that in the first.

6) From the result of the present research, it is presumed that the mandibular condyle first moves, featuring rotation, to a comparatively fixed position, and later moves, featuring translation, to the position most appropriate for the pronunciation of the [a:] sound.

文 献

- 1) Sönstebö, H.R. : C.E. Luce's Recordings of Mandibular Movements. J. Prosth. Dent., 11 : 1068~1073, 1961.
- 2) McCollum, B.B. : Fundamentals involved in Prescribing Restorative Dental Remedies, D. Items of Int., 61 : 733~736, 852~863, 1939.
- 3) 中澤 勇 : 下顎運動ノ補綴学的研究, 口病誌, 13 : 81~98, 1939.
- 4) 松本政雄 : 人ノ咀嚼運動ヲ正確ニ描記スル方法, 口病誌, 14 : 73~84, 1940.
- 5) Kurth, L.E. : Mandibular Movements in Mastication, J.A.D.A., 29 : 1769~1790, 1942.
- 6) Jankelson, B. : The physiology of the stomatognathic system, J.A.D.A., 46 : 375~386, 1953.
- 7) 兼子尚道 : 発音における下顎, 口唇, 舌の運動の研究 (母音の部), 音声の研究, 8 : 1~18, 1957.
- 8) 西連寺永康, 柳沢定勝 : 頭部体軸方向レントゲン規格撮影法について, 歯科月報, 32 : 16~19, 1957.
- 9) 佐久間孔毅 : マルチフラッシュ装置による有歯顎の前後および開閉運動の研究, 口病誌, 26 : 1511~1536, 1958.
- 10) Ulrich, J. : The Human Temporomandibular Joint : Kinematics and Actions of the Masticatory Muscles, J. Prosth. Dent., 9 : 399~406, 1959.
- 11) 加藤吉昭 : ストロボ撮影法による下顎運動, 殊に補綴学的見地からみた運動に関する研究, 日大医誌, 19 : 1451~1487, 1960.
- 12) 末次恒夫 : マルチフラッシュ装置による無歯顎の前後, 開閉運動並びに下顎位の研究, 補綴誌, 5 : 131~169, 1961.
- 13) 竹花 一 : ストロボ撮影法による総義歯患者の顎路および切歯路に関する研究, 歯科月報, 36 : 501~534, 1962.
- 14) 大石司郎 : アーム型運動分解器とコンデンサー法による下顎運動の研究, 第1報 測定装置について, 口病誌, 29 : 164~180, 1962.
- 15) 三谷春保, 山下 敦, 川畑 衛, 戸田外穂, 小川晴彦 : 電気的下顎運動記録の一新法, 歯科医学, 26 : 415~420, 1963.
- 16) Aull, A.E. : Condylar Determinants of Occlusal Patterns, J. Prosth. Dent., 15 : 826~846, 1965.
- 17) Messerman, T. : A means for studying mandibular movements, J. Prosth. Dent., 17 : 36~43, 1967.
- 18) 河野正司 : 下顎の矢状面内運動に対応する顎頭運動の研究, 第1報 断層X線規格写真による観察, 補綴誌, 12 : 337~349, 1968.
- 19) 河野正司 : 下顎の矢状面内運動に対応する顎頭運動の研究, 第二報 マルチフラッシュ装置による矢状面運動軸の解析, 補綴誌, 12 : 350~380, 1968.
- 20) Lee, R.L. : Jaw movements engraved in solid plastic for articulator controls. Part 1. Recording apparatus, J. Prosth. Dent., 22 : 209~224, 1969.
- 21) Knap, F.J., Richardson, B.L. and Bogstad, J. : A Study of Mandibular Motion in Six Degrees of Freedom, J.D. Res., 49 : 289~292, 1970.
- 22) 坂東永一 : 下顎位のテレメータリングによる経時的観察, 補綴誌, 14 : 183~203, 1970.
- 23) 古屋紀一 : X線映画法による発音時の下顎位に関する研究, 補綴誌, 15 : 221~238, 1971.
- 24) Jankelson, B., Swain, C.W., Crane, P.F., Radke, J.C. : Kinesiometric instrumentation : a new technology, J.A.D.A., 90 : 834~840, 1975.
- 25) 太田勝美 : 口外記録法による顎関節顎頭運動の分析, 第1報, 口病誌, 42 : 192~201, 1975.
- 26) 三浦不二夫, 近藤勝義 : XY-tracker を利用した新しい顎運動記録装置について, 口病誌, 43 : 177~183, 1976.
- 27) 野村修一, 平野秀利, 木竜 徹, 石岡 靖, 斉藤義明 : 非接触型下顎運動測定装置の試作, 補綴誌, 21 : 511~519, 1977.
- 28) 坂東永一, 栗山 實, 河野正司, 中野雅徳, 長谷川成男 : 写真撮影による下顎運動測定法, 補綴誌, 23 : 677~690, 1979.
- 29) 丸山剛郎, 西尾公一, 古屋昌昭, 藤井康伯, 宮内修平, 下総高次 : 下顎位が習慣的下顎開閉運動経路に及ぼす影響に関する研究, 補綴誌, 26 : 30~35, 1982.
- 30) Hickey, J.C., Allison, M.L., Woelfel, J.B., Boucher, C.O., Stacy, R.W. : Mandibular Movements in Three Dimensions, J. Prosth. Dent., 13 : 72~92, 1963.
- 31) 石原寿郎, 河村洋二郎 : 臨床家のためのオクルーション, 石原咬合論, 医歯薬出版, 東京, 1978.
- 32) 福島俊士 : 習慣の開閉運動における顎頭運動の研究, 補綴誌, 15 : 267~290, 1971.
- 33) 舟久保太, 根本一男 : 半調節性咬合器の運動経路に関する理論的研究, 補綴誌, 25 : 259~274, 1981.

- 34) 真柳昭絃：側方滑走運動における顎頭運動に関する研究，補綴誌，14：158～182，1970.
- 35) 懸田克躬：日本語音の構音に関する研究，第三報 母音の構音姿勢の「レントゲン」撮影的研究 その1，口病誌，11：410～425，1937.
- 36) 日比野勉：日本語構音に関する「レ」線的研究第二篇正常人の構音時に於ける発声器官並に所謂附属管腔の系統的観察，阪大歯誌，1-2：203～215，1956.
- 37) 関根 弘：調音時の下顎運動に関する研究，第2報 日本語調音時の下顎運動について，歯科学報，59：1265～1274，1959.
- 38) Pound, E. : The Mandibular Movements of Speech and Their Seven Related Values, J. Prosth. Dent., 16 : 835～843, 1966.
- 39) 三谷 卓：両唇音と歯音ならびに母音発声時の下顎切歯点矢状面運動について，歯科医学，30：1081～1116，1967.
- 40) Murrell, G.A. : Phonetics, function, and anterior occlusion, J. Prosth. Dent., 32 : 23～31, 1974.
- 41) 立岩達治：前歯部被蓋度と発音との関係，補綴誌，22：113～134，1978.
- 42) 田中 収：日本語S発音時の下顎運動に関する研究，補綴誌，24：628～646，1980.
- 43) 長島信也，小泉政幸，富田 豊，石塚 亨，羽田京太郎，棧 淑行，服部嘉郎，工藤忠男，中澤 靖：マルチストロボ装置を応用した下顎運動の研究，第1報 マルチストロボ装置について，補綴誌，26：943～947，1982.
- 44) 谷 正明：オブティカルグラスファイバー点光源撮影法による側方運動の研究，日大口腔科学，8：187～206，1982.
- 45) 河村洋二郎：口腔生理学，339～367，永末書店，京都，1982.