原 著 論 文

咬合高径の変化が発音時の舌運動と下顎運動に及ぼす影響

第1報 正常有歯顎者

薦田 淳司 市川 哲雄* 松本 直之*

Influences of the Vertical Dimension of Articulatory Movements of the Tongue and Mandible

Part 1. Normal Subjects

Junji Komoda, Tetsuo Ichikawa* and Naoyuki Matsumoto*

Abstract : The purpose of this study was to investigate the influence of the vertical dimension on pronunciation.

Tongue pressures, mandibular movements and speech sounds were simultaneously recorded and analyzed for the following sounds : /asa/, /asi/, /ahi/, /aci/, /aki/, /ake/ and /ari/ when the vertical dimension was normal and increased by 4 mm, 8 mm and 12 mm beyond the normal vertical dimension at the incisor.

The results were as follows :

1. The maximum tongue pressures tended to be smaller on for /asa/ than other sounds and be greater in more posterior palate in the normal vertical dimension.
2. The maximum tongue pressures changed differently among subjects, sounds and measuring sites, but tended to decrease in anterior palate for any sounds and increase in posterior palate with increases in vertical dimensions.
3. Tongue contacts usually started from posterior palate to anterior palate before the end of the preceding vowel, and tongue pressures usually came up to maximum between the end of the preceding vowel and the start of the following vowel. But the timings between sounds and tongue pressures were not evidently influenced with increasing vertical dimensions.
4. It was found that changes in maximum tongue pressures with increasing vertical dimensions were related to those of simultaneous mandibular movements.

Key words : vertical dimension, tongue pressure, mandibular movement, speech sound

徳島大学大学院歯学研究科（指導：松本直之教授）

* 徳島大学歯学部歯科補綴学第1講座（主任：松本直之教授）
The University of Tokushima, Graduate School of
Dentistry (Director : Prof. Naoyuki Matsumoto)

* Department of Removable Prosthodontics, School of
Dentistry, The University of Tokushima (Chief : Prof.
Naoyuki Matsumoto)

平成2年8月10日受付

I. 緒 言

全部床義歯製作に際して、発音に適した咬合高径を設定すること¹⁻⁸⁾は重要な課題であり、これまでに、日本語における発音機能と咬合高径の関連についていろいろな角度から、例えば、音響学の立場から、あるいは、下顎、舌、口唇などの調音運動の立場から、それぞれ検討が加えられてきた⁹⁻¹⁴⁾。しかし、調音運動は、調音器官が独立して関与するものではなく、複数の調音器官が協調して目標とする声道の形を構成するものであり、このような現象をとらえるためには各調音器官を総合的に観察する必要がある。

そこで、著者らは、発音時の音声、口蓋への舌接触圧および下顎運動を同時に計測できるシステムを開発し、これを用いて咬合高径の変化に伴う各調音器官の動態の変化について検討を加えている。今回は、全部床義歯装着者に応用する場合の前段階として、正常有歯顎者を対象に発音機能と咬合高径との関連について比較検討したところ、興味ある知見が得られたので報告する。

II. 研究方法

1. 被験者および被験音

被験者は、上下顎永久歯列に欠損および著しい歯列不正のない個性正常咬合を有し、発音および聴覚機能に特に異常の認められない 25～29 歳までの成人 男子 4 名で

図 1 咬合挙上シーネ

ある。

被験音は、/V₁CV₂/ からなる無意味な 2 連続音節とし、第 1 拍目に、子音産生開始時の接触様式を観察でき、かつ、構えを一定にして後続の子音を同一条件で安定して構音できることを条件に、アを置いた¹⁵⁾。第 2 拍目には、全部床義歯装着によって自覚的にも他覚的にも発音障害がでやすく¹⁶⁾、しかも、口蓋に調音点をもつサ、シ、ヒ、チ、キ、ケ、リを選択した。すなわち、アサ、アシ、アヒ、アチ、アキ、アケ、アリの 7 被験音である。

2. 咬合挙上シーネの作製

咬合挙上シーネは、半調節性咬合器 (Hanau 158) に上下顎歯列模型を装着し、中切歯部で 4, 8, 12 mm になるように 3 段階で咬合を挙上したのち、各段階において下顎歯列模型咬合面上に即時重合レジンを盛って咬合挙上シーネを作製した (図 1)。なお、前歯部は、被験者固有の被蓋関係をシーネで再現させると同時に、口腔内でも十分咬合調整を行った。

3. 舌接触圧測定装置の作製

舌の調音運動として、人工口蓋床内に超小型圧力センサを埋入した舌接触圧測定装置を用いて舌の口蓋への接触位置ならびに接触圧を計測することとした。装置の作製にあたっては、まず、加熱重合レジンを用いて厚さ 2 mm の人工口蓋床を作製したのち、この人工口蓋床内にダイヤフラム型圧力センサ (共和電業社製 PS-2KA 直径 6 mm, 厚さ 0.6 mm) を埋入した。埋入位置は、実験に先立って全被験者から採得した静的パトグラムを参考に、また、正常有歯顎者の口蓋への舌接触は左右対称性を示す^{17,18)}ことから、片側に埋入することとした。また、人工口蓋床の歪による圧力センサへの影響を避けるために、各センサを歯科用金銀パラジウム合金で作製し

図 2 舌接触圧測定装置

たキャリアボックスを介してパラフィンワックスで埋入固定した。また、センサからの導線は、最後臼歯後方から臼歯部頬側面上を通して口角部より導出させ、調音に与える影響を可及的に少なくした。

センサの埋入位置は以下の4カ所である(図2)。

- ① 切歯乳頭部 (Ch 1)
- ② 犬歯と第1小臼歯の隣接部口蓋側 (Ch 2)
- ③ 第2小臼歯口蓋側 (Ch 3)
- ④ 第1大臼歯と第2大臼歯の隣接部口蓋側 (Ch 4)

4. 測定方法

測定に際して、まず、舌接触圧測定装置と同じ形態に作製した人工口蓋床をおよそ7日間装着させ、異物感の消失を確認してから測定を開始した。測定は静かな診療室内で行い、記録に先立って被験音を数回発音練習させた。ついで、上記7つの被験音を1組としてそれぞれ5回ずつ、被験者固有の会話時の速さと声の大ききで発音するように指示したのち、咬合高径非挙上時、4, 8, 12 mm 挙上シーネ装着時(以下、それぞれの咬合条件をS1, S2, S3, S4とする)の順に、音声、舌接触圧、下顎運動、および音声のモニター用として前頸部振動を同時記録した。なお、下顎運動については、各咬合条件下における咬頭嵌合位と前方滑走運動時の矢状面運動路についても記録した。

音声は、コンデンサマイク (Sony 社製 ECM-23F)、遮断周波数 75 Hz の高域通過フィルタ (NF 社製 E-3201A, 減衰傾度 24 dB/oct)、遮断周波数 5 kHz の低域通過フィルタ (NF 社製 DV-7 FL, 減衰傾度 260 dB/oct) を通過させ、交流増幅器 (Sansui 社製 AU-D607X) で増幅した。舌接触圧は、圧力センサからの出力を動ひずみ測定器 (共和電業社製 DPM-612 A) で増幅した。下顎運動は、サホン・ビジトレナー (佐藤医療電子製作所製 C-II型) を用いて下顎切歯点部の矢状面内での運動を記録した。なお、LED は、各咬合条件とも咬頭嵌合位で上顎中切歯に対して同じ位置関係になるようにコアを用いて設置した。前頸部振動は、前頸部皮膚面上に貼付した圧電形加速度ピックアップ (リオン社製 PV-90 A) からの出力をチャージ増幅器 (リオン社製 VM-27) で増幅した。これらの信号を A/D 変換器 (エヌ・シー・シー社製 Mark-1 b) でもって、音声は 10 kHz で、その他は 1 kHz で標本化し、精度 12 bit で量子化したあと、パーソナルコンピュータ (YHP 社製 HP 9000 モデル 330) に導入して分析を行った。

図3 波形の計測点

5. 分析方法および分析項目

1) 計測点の設定

音声、前頸部振動、舌接触圧のそれぞれの波形をコンピュータの CRT 上に再現したのち、視察により以下の計測点を設定した(図3)。

(1) 音声波形: 声帯の振動を示す前頸部振動波形を参考に、音声波形上で先行母音終了時点を V0、後続母音開始時点を V2、また、アサ、アシ、アヒ、アリの場合は V0 と V2 の中間の子音中央時点を V1、アチ、アキ、アケの場合は破裂開始時点を V1 として設定した。

(2) 舌接触圧波形: 圧力センサからの出力波形上で、接触によって定常状態から立ち上がった舌接触開始時点を P0、最大出力に達した最大舌接触圧発現時点を P1 として設定した。

2) 分析方法

(1) 舌接触圧

P0 と P1 が設定できたものについてはそれぞれ P0 と P1 時の出力差を圧力値に換算し、最大舌接触圧(以下、最大舌圧とする)を求めた。

(2) 時間関係

音声波形と舌接触圧波形上の各計測点から時間関係を以下のように求めた。

① V0-P0: 先行母音終了時点から舌接触開始時点までの時間。

② V1-P0: アチ、アキ、アケの破裂開始時点から舌接触開始時点までの時間。

表 1 舌の接触位置と最大舌圧の平均値と標準偏差

	被験者 A				被験者 B				被験者 C				被験者 D			
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4
ア	S1 3(3)	11(1)	23(3)	20(1)	5(3)	11(1)	13(1)	29(3)	7(2)	14(1)	19(1)	32(2)	1(1)	7(0)	6(0)	5(0)
ア	S2 0(1)	11(1)	35(5)**	36(4)**	1(2)	10(1)	15(3)	26(2)	11(1)**	9(1)**	10(2)**	20(5)**	1(1)	7(0)	6(0)	6(1)*
サ	S3 3(1)	10(0)	37(5)**	40(3)**	0(1)	11(2)	13(3)	27(4)	10(2)*	9(1)**	10(1)**	23(8)	—	8(1)	8(3)	13(6)
サ	S4 4(2)	10(1)	45(5)**	46(6)**	5(6)	10(2)	14(4)	27(2)	7(3)	7(2)**	9(2)**	26(6)	1(1)	6(1)	6(1)	13(1)**
シ	S1 —	21(2)	28(4)	36(6)	—	20(1)	33(2)	44(1)	3(0)	45(2)	44(2)	42(4)	—	7(0)	20(1)	26(2)
シ	S2 —	20(3)	26(3)	35(5)	0(1)	18(2)	27(2)**	35(2)**	4(1)	22(4)**	42(3)	33(2)*	—	8(1)	18(2)	28(4)
シ	S3 —	18(1)*	28(4)	44(8)	1(1)	14(1)**	23(2)**	31(2)**	4(0)	26(6)**	45(4)	37(4)	—	7(1)	20(1)	32(2)**
シ	S4 1(2)	22(2)	38(5)*	55(9)**	1(2)	16(2)*	23(2)**	32(1)**	3(1)	20(4)**	43(3)	39(2)	—	7(0)	19(2)	31(5)
ア	S1 —	31(5)	42(4)	41(2)	—	3(4)	38(4)	51(4)	—	1(1)	43(3)	34(1)	—	7(1)	25(0)	40(3)
ア	S2 —	30(2)	42(3)	43(5)	—	16(5)	43(7)	59(8)	—	2(1)	36(3)*	31(2)	—	2(3)	19(2)**	32(3)**
ア	S3 —	30(4)	47(5)	50(4)**	—	7(4)	32(6)	47(10)	—	2(1)	36(3)*	33(1)	—	—	15(1)**	29(4)**
ア	S4 —	25(6)	47(6)	54(8)*	—	10(2)	30(7)	46(3)	—	1(1)	39(3)	40(4)*	—	1(2)	16(1)**	37(4)
ア	S1 15(7)	31(6)	34(4)	39(3)	6(5)	28(6)	34(5)	44(7)	48(6)	39(2)	41(1)	41(6)	12(1)	11(3)	21(1)	29(2)
ア	S2 7(9)	32(3)	39(4)	46(8)	2(5)	27(2)	31(1)	42(2)	44(15)	32(3)**	38(2)	50(7)	4(2)	9(1)	21(1)	33(0)*
ア	S3 18(15)	39(8)	56(8)**	67(11)**	6(7)	24(3)	31(3)	48(6)	40(10)	34(5)	39(2)	52(7)*	2(2)	14(3)	26(5)	42(5)**
ア	S4 4(5)	35(4)	54(15)	64(7)**	8(7)	27(5)	32(2)	49(7)	31(7)**	31(8)	44(5)	69(7)**	11(10)	16(9)	35(6)*	50(7)**
ア	S1 —	33(5)	48(5)	51(3)	—	1(1)	37(4)	62(5)	—	3(3)	45(8)	36(5)	—	7(2)	27(2)	44(2)
ア	S2 —	31(7)	43(6)	57(2)*	—	4(1)	33(4)	62(6)	—	3(2)	37(5)	35(5)	—	3(4)	20(1)**	43(4)
ア	S3 —	39(7)	52(5)	62(5)**	—	6(3)	31(2)*	59(8)	—	7(4)	38(3)	38(3)	—	1(1)	17(2)**	44(7)
ア	S4 —	38(8)	57(7)	75(2)**	—	5(2)	30(6)	60(10)	—	2(1)	35(3)	43(5)	—	—	19(1)**	45(2)
ア	S1 —	28(7)	43(4)	50(4)	—	2(1)	18(10)	54(9)	—	1(0)	25(5)	33(5)	—	—	18(0)	43(1)
ア	S2 —	34(3)	44(2)	56(3)*	—	5(1)	12(3)	49(3)	—	4(1)	20(4)	32(2)	—	—	13(2)**	46(5)
ア	S3 —	30(5)	43(5)	58(7)	—	4(3)	10(4)	48(6)	—	4(2)	20(1)	31(2)	—	—	11(1)**	42(1)
ア	S4 —	23(10)	38(7)	63(14)	—	5(2)	11(7)	46(12)	—	3(1)	19(3)	31(5)	—	—	11(3)**	40(2)
ア	S1 0(1)	21(4)	40(6)	41(8)	—	4(1)	20(2)	30(3)	7(2)	5(1)	41(4)	46(2)	—	6(1)	25(2)	43(2)
ア	S2 —	15(2)	31(4)*	34(3)	—	5(2)	20(3)	30(3)	7(4)	9(2)**	34(4)*	48(3)	1(1)	6(1)	19(1)**	36(3)**
ア	S3 —	11(3)**	26(2)*	36(3)	—	5(3)	19(5)	32(7)	6(4)	9(3)*	33(4)*	51(4)	1(1)	7(1)	17(1)**	38(4)
ア	S4 —	8(4)**	25(4)**	38(4)	—	6(2)	17(1)*	34(9)	3(2)	10(5)	32(2)**	63(5)**	5(3)	10(3)	19(2)**	40(1)

** : S1 に比べ危険率 1 % で有意な差を認めたもの

* : S1 に比べ危険率 5 % で有意な差を認めたもの

— : 舌接触を全く認めなかったもの

アンダーライン : 5 回のうち 1 回でも接触のみならなかったもの

単位 : g/cm², () : 標準偏差

③ V0-P1: 先行母音終了時点から最大舌圧発現時点までの時間。

④ V1-P1: 子音中央時点あるいは破裂開始時点から最大舌圧発現時点までの時間。

⑤ P1-V2: 最大舌圧発現時点から後続母音開始時点までの時間。

⑥ P0-P1: 舌接触開始時点から最大舌圧発現時点までの時間。

なお、アリについては、V0とV2を明確に設定できないことが多かったため分析から除外した。

(3) 下顎運動

V1時点での下顎中切歯相当部の矢状面内における位置(以下、V1時下顎位とする)を、それぞれの咬合高径における咬頭嵌合位を原点に、咬合平面に平行な線をX軸(前方を+とする)、これに垂直な線をY軸(下方を+とする)としてその座標値を求めた。

III. 結果と考察

1. 咬合高径の変化と舌の接触位置について

各咬合高径における被験音発音時の舌の接触位置ならびに最大舌圧の5回の平均値と標準偏差を表1に示した。

舌の接触位置には、各被験者とも、接触のみられる部位のうち最前方部については接触の不安定なもの(アンダーライン)が多く、また、被験者Bのアケ調音時のCh2、被験者Cのアシ調音時のCh1、アヒ、アキ、アケ調音時のCh2のように最大舌圧が小さくセンサの誤差範囲内に含まれるものも数多く認められた。

その結果、総合的にみた場合、アサ、アシ、アチ、アリ調音時には被験者全員にCh2からCh4まで、被験者Cのみ、アサ、アチ調音時のCh1から常に接触が認められた。アヒ、アキ、アケ調音時には、被験者AのみCh2から、その他の被験者はCh3とCh4で常に接触が認められた。このように舌の接触位置は、被験者によって若干異なっていたが、標準的パラトグラム¹⁹⁾から予測されるような被験音特有の範囲を示した。

全体的にみた場合、咬合高径の増加に伴って、舌の接触位置に大きな変化が認められなかった。しかし、被験者Dのアヒ、アキ調音時のCh2のようにS1時で常に接触があったものが、咬合高径の増加に伴って接触が不安定になったり、全く接触がみられなくなったり、また逆に、アリ調音時のCh1のようにS1時で全く接触が認められなかったものが、咬合高径の増加に伴って接触

がみられるようになったりといった、若干の変化はあるようであった¹¹⁾。今後、セバメや前方変曲点の位置の変化等についてより詳細な観察を行う場合は、現在よりも小型の圧力センサを開発して数多く用いるか、あるいはパラトグラムの併用が必要と考える。

2. 咬合高径の変化と最大舌圧について

最大舌圧は、被験者、被験音、測定部位によって異なる値を示したが、各測定部位内では比較的安定しており、島²⁰⁾、山田¹⁸⁾の報告とほぼ一致する(表1)。同一被験者内では、アサ調音時の各測定部位の最大舌圧が他の被験音調音時と比較して小さい値を示した。これは、他の被験音の後続母音が、先行する子音が口蓋化しやすい、あるいは、半開き母音で、かつ、前母音のエであるために舌の位置が比較的高くなることから、最大舌圧が大きくなること、逆に、口蓋と接触のない大開き母音アを後続母音にもつアサ調音時には舌の位置が他の被験音と比べて低くなることから、最大舌圧が小さくなったと考えられる。また、測定部位間の比較では、各被験音とも口蓋の前方から後方に行くに従って最大舌圧が大きくなる傾向を示した。

咬合高径の増加に伴う最大舌圧の変化は、被験者、被験音、測定部位によって、有意に大きくなったもの、有意に小さくなったもの、変化しなかったものの3通りがみられた。Kaires⁹⁾は、義歯装着者について計測し、適正な咬合高径の場合に至適な舌接触圧が達成されることを報告しているが、本実験の場合、咬合高径の増加に伴って最大舌圧は各測定部位で異なる変化を示しており、必ずしもS1時が最大値を示すといった一定傾向は認められなかった。そこで、各測定部位での咬合高径の増加に伴う最大舌圧の変化の様子を観察するために、縦軸に最大舌圧を、横軸に咬合高径の挙上量を取り、回帰係数を求め、グラフにしたのが図4である。その結果、接触の認められる部位では全体的に口蓋の後方から前方に向かって回帰係数がだんだんと小さくなる傾向がみられた。つまり、咬合高径の増加に伴う最大舌圧の変化は、口蓋前方部では後方に比べて減少傾向に、口蓋後方部では前方に比べて増加傾向にあることが判った。

また、アチ調音時のCh4では、被験者Bに有意差は認められなかったものの全被験者で最大舌圧が大きくなっており、S1からS4への増加量も他の被験音と比較して大きいようであった。これは、チの子音部が、今回採用した被験音の中で唯一前舌での破裂を伴うこと、しかも、破裂後に一定の摩擦を必要とする複雑な調音を必

図 4 咬合高径の増加に伴う最大舌圧の変化 (回帰係数) の測定部位間での比較

表 2 S1 時の時間関係の平均値と標準偏差

a. V0-P0					d. V1-P1				
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4		Ch1	Ch2	Ch3	Ch4
アサ	—	-35(10)	-36(9)	-40(14)	アサ	—	-36(16)	-34(26)	-20(29)
アシ	—	-31(11)	-35(11)	-45(16)	アシ	—	- 9(43)	12(32)	1(32)
アヒ	—	—	-43(16)	-59(15)	アヒ	—	—	19(36)	-22(29)
アチ	-23(13)	-31(9)	-36(12)	-44(16)	アチ	-115(42)	-98(37)	2(61)	-47(46)
アキ	—	—	-10(23)	-32(10)	アキ	—	—	16(54)	-33(59)
アケ	—	—	1(28)	-25(7)	アケ	—	—	-36(26)	-37(50)

b. V1-P0					e. P1-V2				
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4		Ch1	Ch2	Ch3	Ch4
アチ	-150(45)	-156(41)	-160(38)	-169(34)	アサ	—	99(23)	96(39)	83(39)
アキ	—	—	-133(27)	-155(41)	アシ	—	89(48)	68(30)	80(32)
アケ	—	—	-131(24)	-158(44)	アヒ	—	—	52(23)	92(40)
					アチ	189(50)	172(44)	73(53)	121(45)
					アキ	—	—	46(50)	95(56)
					アケ	—	—	63(24)	65(48)

c. V0-P1					f. P0-P1				
	Ch1	Ch2	Ch3	Ch4		Ch1	Ch2	Ch3	Ch4
アサ	—	26(18)	29(17)	42(24)	アサ	—	61(20)	65(21)	82(28)
アシ	—	71(41)	92(37)	80(37)	アシ	—	102(43)	127(36)	126(38)
アヒ	—	—	89(56)	49(32)	アヒ	—	—	132(48)	108(28)
アチ	12(9)	27(20)	126(88)	78(72)	アチ	35(15)	58(17)	162(79)	122(61)
アキ	—	—	139(86)	90(76)	アキ	—	—	149(70)	122(74)
アケ	—	—	97(63)	95(83)	アケ	—	—	96(44)	120(85)

単位: ms, (): 標準偏差

表 3 咬合高径の増加に伴う時間関係の変化

a. 被験者DのV0-P0					c. アチ調音時のV1-P1				
	Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4		Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4
ア サ	—	↓	×	×	被験者A	—	×	×	×
ア シ	—	↓	×	↓	被験者B	—	×	↓	↓
ア ヒ	—	—	×	↓	被験者C	×	×	↓	×
ア チ	×	↓	×	↓	被験者D	—	×	↓	↓
ア キ	—	—	↑	↓					
ア ケ	—	—	×	↓					

b. アチ調音時のV0-P1					d. アチ調音時のP1-V2				
	Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4		Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4
被験者A	—	↑	×	×	被験者A	—	×	×	×
被験者B	—	↑	↓	↓	被験者B	—	×	↑	↑
被験者C	×	×	↓	↓	被験者C	×	↑	↑	↑
被験者D	—	×	↓	↓	被験者D	—	×	↑	↑

e. アチ調音時のP0-P1				
	Ch 1	Ch 2	Ch 3	Ch 4
被験者A	—	×	×	×
被験者B	—	↑	↓	↓
被験者C	×	↓	↓	×
被験者D	—	×	↓	↓

↑: S1に比べS4で有意に増加(危険率5%)

↓: S1に比べS4で有意に減少(危険率5%)

×: S1に比べS4で有意差なし

—: 時間関係の分析から除いたもの

要とすることから、咬合高径の増加に対して、大臼歯部での舌接触圧を大きくし、より強い側方閉鎖を達成することによって調整しているものと考えられる。

3. 咬合高径の変化が発音時の時間関係について

咬合高径の増加に伴う時間関係の変化は、全被験者の平均値でみた場合、ほとんどS1時と差は認められなかった。そこで、時間関係についてはS1時を代表値として、各計測点間の時間関係の平均値と標準偏差を表2に示した。しかし、被験者によって、また、特定の被験音において時間関係に微妙な変化が現れていたため、特徴のあるものについては個別に変化を分析した(表3)。

V0-P0(表2-a)は、先行母音終了時点と舌接触開始時点間の時間差であり、平均値でみた場合、舌接触は、接触の認められるほとんどの部位で先行母音終了前の約20~60msまでの間に接触を開始していた。しかも、全被験音とも口蓋の後方から前方へ移動していく様相を示し、ダイナミック・パラトグラフィーで単音節を観察した奥田の報告¹⁷⁾とよく似た傾向を示した。

しかし、アキ、アケ調音時のCh3は、平均値が-10msと1msというように比較的短かく、標準偏差も大きかった。これは、被験者Dの影響、すなわち、被験者D個人の平均値が23msと42msというように先行母

音終了後に舌接触を開始しており、他の3被験者の平均値-21ms(標準偏差12ms)と-13ms(同13ms)と比較した場合、多少とも異なる調音運動を行っていたためである。そこで、被験者Dについて、咬合高径の増加に伴う時間関係の変化を各測定部位ごとに比較検討したところ(表3-a)、全被験音のCh2とCh4の大部分において、咬合高径挙上後のV0-P0はS1時よりもマイナス方向に有意に変化していた。このことは、被験者Dの場合、咬合高径の増加に伴う調音運動の変化は、被験音とは関係なく、先行母音終了時点よりも舌の接触開始を早くすることによって調節していたと考えられる。

V1-P0(表2-b)は、アチ、アキ、アケ調音時の破裂開始時点と舌接触開始時点間の時間差であり、破裂開始時点の約130~170ms前に舌接触を開始していた。標準偏差はV0-P0に比べ大きかった。しかし、各被験者ごとの標準偏差は比較的小さかったことから、破裂を伴う音の場合、舌の接触開始から子音開始までの時間は個人差が比較的大きいと考えられる。

V0-P1(表2-c)は、先行母音終了時点と最大舌圧発現時点間の時間差であり、全被験音とも先行母音終了後に最大舌圧に達していた。すなわち、アサ調音時は、子音/s/が大開き母音アによって挟まれているため舌接触時間が短く、それがために比較的早期に最大舌圧に達し

ていたと考えられる。同様に、アチ調音時の Ch 1 と Ch 2 でも早期に最大舌圧に達していたが、この場合は、この部位に接する舌が破擦音 /c/ 調音のための役割を、つまり、前舌部で声道を閉鎖して口腔内圧を高めたあと、破裂とそれに続く摩擦を行うため、後続母音イ調音の影響を受けなかったと考えられる。しかし、その他の調音については、後続母音イあるいはエ調音の影響を受けて最大舌圧へ到るまでの時間が遅くなったと考えられる。

咬合高径の増加に伴う変化は(表 3-b)、アチ調音時の Ch 3 と Ch 4 において、被験者 A を除く全被験者の挙上後の時間差が S 1 時に比べて有意に減少していた。これは、咬合高径の増加によって、また、複雑な調音を必要とするチ子音部の調音のために、舌は最大舌圧による側方閉鎖を口蓋後方で早期に達成しようとしていたものと考えられ、後述の V 1-P 1, P 0-P 1 が負の方向に、P 1-V 2 が正の方向に変化していたことから推測できる(表 3-c-e)。

V 1-P 1 (表 2-d) は、アサ、アシ、アヒの子音中央時点あるいはアチ、アキ、アケの破裂開始時点と最大舌圧発現時点間の時間差であり、被験音ごとに異なる値を示した。すなわち、子音部が摩擦音であるアサ調音時では、子音中央時点の 20~36 ms 前に最大舌圧に達しており、子音部が同じように摩擦音であるアシ、アヒ調音時では、子音中央時点の 22 ms 前~19 ms 後の間に最大舌圧に達しており、アサ調音時よりもアシ、アヒ調音時に遅くなっていた。これは、後続母音の違いによるものと考えられる。破擦を伴うアチ調音時では、Ch 1 と Ch 2 で破裂開始時点より約 100 ms 前に最大舌圧に達しており、これは、比較的早期に口腔内圧を高めたあと、閉鎖を開放しながら破裂と摩擦を形成しているものと考えられる。破裂を伴うアケ調音時では、口蓋後方で破裂開始時点の 36~37 ms 前の間で最大舌圧に達しており、アキ調音時ではさらに遅く、Ch 3 で破裂開始時点の 16 ms 後に最大舌圧に達していた。これは後続母音イ調音の影響と考えられる。

P 1-V 2 (表 2-e) は、最大舌圧発現時点と後続母音開始時点間の時間差であり、平均値でみた場合、すべてプラス値を示した。つまり、舌接触圧は後続母音が開始するまでにすでに最大に達していたことになるが、被験者 D のアキ調音時の Ch 3 の場合、5 回のうち 4 回までは後続母音開始の約 30 ms 後に最大舌圧に達していた。これは、後続母音イ調音の影響を強く受けやすい被験者 D 特有の調音と考えられる。

P 0-P 1 (表 2-f) は、舌接触開始時点と最大舌圧発現

時点間の時間差であり、アサ調音時では Ch 2 と Ch 3 で、アチ調音時では Ch 1 と Ch 2 で比較的早期(35~65 ms)に最大舌圧に達していた。

以上の結果から時間関係をまとめると、舌は、被験者、被験音に関係なく、すべて先行母音終了時点の数ミリ秒手前で口蓋後方から接触を開始し、ほとんどの場合、先行母音終了時点から後続母音開始時点までの間に最大舌圧に達していた。一方、破裂を伴うアチ、アキ、アケ調音時の場合は、舌の接触開始が破裂開始時点よりもむしろ先行母音終了時点に対して個人差もなく一定の時間関係をもつようであった。また、最大舌圧発現時点は、後続母音や調音法の違いによって異なる時間関係を示すことが判明した。

咬合高径の増加に伴う時間関係の変化は、特定の被験者、被験音で若干の変化が認められたが、全体的には特記すべき変化は見出すことができなかった。

そのほか、アリ調音時の場合、V 0 と V 2 を明確に設定できないことが多く、今回の時間関係の分析から除外したが、音声と舌接触圧との関連を直接波形上で観察したところ、図 5-a の被験者 A のように、他の被験音とは異なり、最大舌圧発現時点が明らかに後続母音上にあることがしばしばみられた。また、図 5-b の被験者 D のように比較的発音が遅い場合は、音声波形上に語頭の /r/ にみられる弱い破裂部が認められ²¹⁾、その直前付近に最大舌圧が現れるものも見受けられた。このように、アリ調音時の時間関係は個人差が大きく、平均値でもって比較するのは困難であると考えられる。

4. 咬合高径の変化と下顎運動について

V 1 時点での下顎位の平均座標値と標準偏差を被験者、被験音、咬合高径別に表 4 に示した。しかし、下顎は子音調音中も絶えず移動していることから、その途中の経路についても、特に、アサ、アシ、アヒ、アリでは V 0 から V 2 の間で、アチ、アキ、アケでは V 1 から V 2 の間で上下歯が接触したか否かについて分析し(表 5)、V 1 時下顎位と併せて検討を加えた。

アサ、アシ、アチ調音時の場合、前歯部での上下の開口量を示す V 1 時下顎位の Y 座標値は、全被験者とも他の被験音に比べて小さく、また、咬合高径を増加させても Y 座標値は、被験者によって多少の差はあるが、変化は少なかった。これは、サの子音部は歯音、シとチの子音部は歯茎音であり、いずれも調音点上顎切歯付近にあるため、個人差はみられるものの、上下の開口量は少なく、また、咬合高径を増加させてもその影響は少

表 4 V1 時下顎位の平均座標値と標準偏差

被験者 A				被験者 B				被験者 C				被験者 D			
	X座標	Y座標		X座標	Y座標			X座標	Y座標			X座標	Y座標		
ア	S1	0.8(0.3)	0.6(0.2)	3.4(0.2)	3.1(0.2)			-0.1(0.1)	2.4(0.2)			2.3(0.2)	1.5(0.1)		
	S2	1.5(0.8)	0.7(0.5)	2.5(1.2)	1.4(0.8)*			0.3(0.6)	3.0(0.5)			3.3(0.5)**	1.6(0.1)		
サ	S3	1.8(0.3)**	0.6(0.2)	1.4(0.6)**	1.2(0.8)**			0.2(0.3)	3.6(0.7)*			4.1(0.6)**	1.7(0.0)**		
	S4	1.1(0.4)	0.4(0.3)	1.1(0.4)**	1.0(0.7)**			0.8(0.1)**	4.0(0.5)**			5.5(0.6)**	1.5(0.3)		
ア	S1	1.4(0.6)	1.3(0.3)	3.1(0.3)	2.8(0.1)			-0.2(0.2)	2.6(0.2)			1.7(0.2)	1.6(0.0)		
	S2	1.6(0.3)	1.3(0.3)	1.7(0.2)**	0.9(0.4)**			0.0(0.7)	3.9(0.4)**			3.0(0.2)**	1.5(0.1)*		
シ	S3	2.0(0.3)	1.4(0.4)	0.7(0.1)**	0.1(0.1)**			0.1(0.2)	3.3(0.5)*			3.8(1.4)*	1.8(0.3)		
	S4	1.5(0.4)	1.6(0.7)	0.4(0.2)**	0.4(0.4)**			0.9(0.4)**	4.3(1.0)*			5.3(0.6)**	1.6(0.2)		
ア	S1	-0.9(0.6)	2.9(0.7)	0.7(0.5)	7.1(0.8)			-2.6(0.3)	5.8(0.2)			0.4(0.2)	2.2(0.6)		
	S2	0.3(0.5)*	2.8(0.7)	1.3(0.8)	5.8(1.1)			-0.9(0.3)**	6.0(0.5)			1.3(0.1)**	2.7(0.3)		
ヒ	S3	0.8(0.2)**	3.3(0.8)	2.8(0.5)**	4.4(0.7)**			-0.2(0.8)**	5.8(0.4)			2.1(0.4)**	2.0(0.2)		
	S4	-0.2(0.8)	3.4(0.9)	1.9(1.4)	4.3(0.6)**			0.4(0.3)**	6.4(1.4)			4.0(0.9)**	2.6(0.5)		
ア	S1	1.2(0.6)	1.1(0.4)	2.6(0.4)	2.7(0.1)			-0.2(0.2)	2.6(0.2)			1.6(0.4)	1.6(0.1)		
	S2	1.0(0.4)	1.0(0.6)	1.9(0.6)	1.6(0.5)*			0.1(0.4)	4.9(0.7)**			2.7(0.2)**	1.4(0.1)**		
チ	S3	2.1(0.5)	1.1(0.2)	2.1(1.3)	1.8(0.7)			0.5(0.2)**	4.4(1.1)*			2.9(0.7)**	1.5(0.2)		
	S4	0.7(0.6)	1.5(1.1)	1.9(1.6)	1.8(0.8)			0.7(0.3)**	4.5(1.0)*			4.9(0.8)**	1.6(0.1)		
ア	S1	-0.9(0.4)	3.4(0.3)	1.0(0.5)	8.0(0.5)			-1.7(0.1)	4.7(0.3)			0.6(0.1)	1.6(0.0)		
	S2	0.7(0.3)**	1.6(0.6)**	0.9(0.6)	6.8(0.7)*			-0.5(0.4)**	5.2(0.4)			1.5(0.2)**	1.4(0.2)		
キ	S3	1.0(0.2)**	1.6(0.5)**	2.2(1.0)	4.3(0.8)**			0.0(0.3)**	4.3(0.4)			2.0(0.6)**	1.7(0.4)		
	S4	-0.1(0.4)*	2.3(1.3)	1.7(1.3)	3.6(1.1)**			0.9(0.4)**	4.6(0.8)			3.5(0.3)**	1.7(0.2)		
ア	S1	-1.1(0.5)	4.7(0.4)	-1.0(0.6)	13.2(1.0)			-3.0(0.4)	10.3(0.4)			-0.4(0.3)	9.0(0.6)		
	S2	0.5(0.2)**	2.0(0.5)**	0.6(0.4)**	11.9(1.1)			-1.1(0.3)**	9.3(0.6)*			1.6(0.2)**	7.3(0.6)**		
ケ	S3	0.9(0.5)**	2.8(0.6)**	1.8(0.6)**	9.5(1.1)**			-0.1(0.2)**	7.9(0.6)**			2.8(0.2)**	7.1(0.3)**		
	S4	-0.3(0.6)*	1.9(1.0)**	1.6(0.6)**	8.5(1.7)**			0.8(0.3)**	7.8(1.0)**			3.5(0.3)**	6.3(0.4)**		
ア	S1	-1.3(0.5)	7.2(0.9)	-0.3(0.3)	13.6(0.6)			-2.3(0.3)	7.2(0.3)			0.7(0.1)	2.1(0.2)		
	S2	0.7(0.7)**	4.7(0.6)**	0.4(0.5)	11.7(1.1)*			-0.6(0.1)**	6.5(0.3)*			2.0(0.2)**	1.9(0.6)		
リ	S3	1.2(0.2)**	3.6(0.9)**	2.1(1.0)**	8.8(2.0)**			0.6(0.8)**	5.3(0.5)**			2.8(0.2)**	1.9(0.4)		
	S4	0.7(0.9)**	4.5(0.6)**	2.1(0.9)**	7.3(1.3)**			1.2(0.5)**	5.7(0.5)**			4.2(0.4)**	1.8(0.1)*		

単位: mm, () : 標準偏差

** : S1 に比べ危険率 1% で有意な差を認めたもの

* : S1 に比べ危険率 5% で有意な差を認めたもの

図 5 アリ調音時の音声波形と舌接触圧波形の関係

なかったものと考えられる。しかし、咬合高径の増加に伴う V1 時下顎位的位置変化は被験者によって特徴的であり(図 6), 被験者 C では, S1 時の V1 時下顎位は, X 座標値が $-0.2 \sim -0.1$ mm, Y 座標値が $2.4 \sim 2.6$ mm であったのに対して, S4 時には X 座標値が $0.7 \sim 0.9$ mm, Y 座標値が $4.0 \sim 4.5$ mm となり(表 4), 咬合高径の増加に伴って S1 時に比べやや前方下に位置するようになり, しかも, 調音時, ほとんど上下歯の接触が起きなかった(表 5)。このことは, 山縣¹⁰⁾が報告した下顎の即時的な適応によって, 下顎切歯は上顎切歯に対してある一定の距離を保って発音しようとしていたと考えられる。しかし, 被験者 B の場合, 咬合高径の増加に伴って V1 時下顎位は S1 時に比べてやや上後方に位置し, 咬頭嵌合位に比較的近くになっている。同様に, 被験者 D についても, V1 時下顎位は上下的に変化はしていないものの, 前方へ位置して切歯路に近接しており, しかも, 被験者 B, D ともに咬合高径を 4 mm 挙上した場合から

表 5 子音調音時の上下歯の接触回数

		被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D
ア	S 1	3	0	0	0
	S 2	5	4	1	5
	S 3	5	5	0	5
	S 4	4	5	0	5
サ	S 1	0	1	0	0
	S 2	2	5	0	5
	S 3	1	5	0	5
	S 4	1	4	0	4
ア	S 1	0	0	0	0
	S 2	0	0	0	1
	S 3	0	0	0	0
	S 4	0	0	0	0
ヒ	S 1	0	0	0	0
	S 2	0	0	0	0
	S 3	0	0	0	0
	S 4	0	0	0	0
ア	S 1	0	1	0	0
	S 2	3	5	0	5
	S 3	3	4	0	5
	S 4	1	1	0	5
チ	S 1	0	0	0	0
	S 2	1	0	0	1
	S 3	0	0	0	2
	S 4	0	0	0	3
ア	S 1	0	0	0	0
	S 2	0	0	0	0
	S 3	0	0	0	0
	S 4	0	0	0	0
ケ	S 1	0	0	0	0
	S 2	0	0	0	0
	S 3	0	0	0	0
	S 4	0	0	0	0
ア	S 1	0	0	0	0
	S 2	0	0	0	2
	S 3	0	0	0	1
	S 4	0	0	0	5
リ	S 1	0	0	0	0
	S 2	0	0	0	2
	S 3	0	0	0	1
	S 4	0	0	0	5

単位: 回 (測定回数 5 回)

上下歯の接触がみられるようになった。また, 被験者 A のアシ, アチ調音時の場合, 咬合高径が増加しても V1 時下顎位はほとんど変化せず, 一定の位置を保っているが, 上下歯の接触は, 咬合高径の増加に伴ってみられるようになった。このように, 咬合高径の増加に対して下顎の調音運動は, 被験者それぞれが独自に対応しているものの, 被験者 C 以外は 4 mm 以上の咬合挙上量に対して上下歯が一定の距離を保つという即時的な適応が行われにくかったと考えられる。

一方, 被験者 A のアサ調音時の場合は, S1 時の V1 時下顎位は, XY 座標値とも他の被験者, 被験音と比較しても小さく, また, 咬合高径の増加に伴う位置の変化もほとんどみられなかった。しかも, 上下歯の接触は S1 時に 5 回測定のうち 3 回に認められ, 咬合高径の増加に伴って上下歯はほとんど毎回接触していた。調音時,

上下歯に接触がみられる場合は咬合高径が高いという通説に従えば¹⁰⁾, 被験者 B と D, また, 被験者 A のアシ, アチ調音時の場合はその適用範囲内にあるが, 被験者 A のアサ調音時のように咬合高径を変化させないときでも上下歯の接触がみられ, しかも, 正常な発音を行っていること, 加えて, Closest speaking space は 0~10 mm まで比較的広範囲にあるという Silverman¹⁾ の報告からも, 調音時, 上下歯の接触があるからといって必ずしも咬合高径が高過ぎるとは断言できないようである。なお, この件については, 長期的な観察が必要かと考える。

アヒ調音時は, 子音部がアシと同じ摩擦音であり, しかも後続母音が同じであるが, 子音の調音点が硬口蓋にあるため, S1 時の V1 時下顎位では, Y 座標値 (上下的開口量) がアシと比べて全被験者とも大きかった, また, 咬合高径の増加に伴って V1 時下顎位は S1 時に比べて, 被験者 B では前上方へ, その他の被験者では前方へ位置するようになったが, 上下的開口量が比較的大きかったため, 咬合高径を増加させても上下歯の接触はほとんど認められなかった。

アケ調音時は, 子音部が軟口蓋音, つまり, 調音点が口蓋後方に, また, 後続母音が半開き母音であるため, S1 時の V1 時下顎位では, Y 座標値 (上下的開口量) が全被験者とも 4.7~13.2 mm と大きかった。そのため, 咬合高径の増加に伴って V1 時下顎位が S1 時に比べて全被験者とも前上方へ位置するようになり, 開口量を減少させていたが, 上下歯の接触は全く認められなかった。

アキ調音時は, 同じ軟口蓋音 /k/ をもつアケ調音時と比較した場合, S1 時の V1 時下顎位では, Y 座標値 (上下的開口量) が全被験者とも小さかった。これは, 後続母音がアキの場合は小開き母音, アケの場合は半開き母音というように, 後続母音の違いによるものと考えられる。また, S1 時, 比較的開口量の少なかった被験者 D では, 咬合高径の増加に伴って V1 時下顎位は S1 時に比べ前方に位置するようになり, 切歯路に近接することによって上下歯に接触が認められるようになった。しかし, その他の被験者では, S1 時の開口量が被験者 D と比べて大きかったため, 上下歯はほとんど接触しなかった。

アリ調音時は, 子音部が歯茎音であるが, 舌尖で歯茎を弾き打って氣息を破出させるという弾き音であるため, 同じ歯茎音をもつアシ, アチ調音時と比べて S1 時の V1 時下顎位では, Y 座標値 (上下的開口量) が大きかった。しかし, S1 時, 比較的開口量の少なかった被験

図 6 咬合高径の増加に伴う V1 時下顎位の変化の 1 例 (アサ調音時)

者 D では, 咬合高径の増加に伴って V1 時下顎位は S1 時に比べ前方に位置するようになり, 切歯路に近接することによって上下歯に接触が認められるようになった。その他の被験者では, S1 時の開口量が被験者 D と比べてかなり大きかったため, 上下歯の接触は全く認められなかった。

以上, 咬合高径の増加に伴う子音調音時の下顎運動の変化は, 被験者 D のように全被験音で前方に位置するようになるなど, 被験者それぞれに特徴的な変化を示した (図 6)。また, 子音部の調音法あるいは調音点の違いから, また, 後続母音の違いから被験音によって S1 時の上下的開口量がそれぞれ異なったが, 咬合高径増加後はその開口量に応じた変化を示していた。特に, アサ, アシ, アチ調音時のように S1 時の上下的開口量が小さい被験音の場合は, 咬合高径の増加に伴う上下的な変化は少なく, アケ調音時のように上下的開口量が大きい被験音の場合は, 咬合高径の増加に伴って開口量が減少した。その結果, 咬合高径の増加に伴って V1 時下顎位の上下的分布範囲は全被験者ともだんだんと狭くなる傾向にあった (図 7)。しかし, 各被験音とも, 咬合高径の増加に伴って下顎位はばらつく傾向にあり, 生来習得してきた下顎の調音運動が咬合高径の増加によって混乱を生じ, 子音調音のための目標が曖昧になったためと考える。

図 7 全被験音発音時における V1 時
下顎位の上下的分布範囲

5. 咬合高径の変化に伴う舌運動と下顎運動の関連について

発音時、複数の調音器官は、目標とする声道を形成するためにそれぞれ解剖的拘束のもとに協調して働いており、舌と下顎も相補的な運動を行っている²²⁾。そのため、咬合高径が増加し、下顎の上下的運動範囲が制限されて調音への寄与が規制されるようになると、代わりに自由度の大きい舌がその補償を行うようになると考えられる。事実、咬合高径を増加させたときの V1 時下顎位の上下的位置の変化量は、実際に挙上した咬合高径と比較して少なかったことから、その分、下顎自体は S1 時に比べ下方に位置するようになるが、舌の接触位置および時間関係には顕著な変化は現れなかった。つまり、目標とする声道形を得るために、舌は同じ時間関係のうちに被験音に特有な接触を得ようと努力していたと考えられる。また、最大舌圧は、口蓋前方では後方に比べて減少しやすく、口蓋後方では前方に比べて増加しやすい傾向が認められた。これは、今回採用した被験音の調音に際しては、口蓋後方での側方閉鎖が重要であるため、まず、口蓋後方での接触を確実なものとする必要があること、そのためには、下顎とともに下方に位置する舌の後部を S1 時よりも挙上させる必要があり、その後、舌を前方へ延ばすにしても口蓋前方部での舌接触に無理が生じることから、最大舌圧が減少しやすくなったものと考え

えられる。

IV. 結 論

咬合高径と発音機能との関連を明らかにするために、発音時の音声、舌接触圧および下顎運動を同時に観察するシステムを開発し、今回、正常有歯顎者を対象に、咬合高径を段階的に増加させたときの調音器官の動態について比較検討したところ、以下の結論を得た。

1. 咬合高径を変化させないときの最大舌圧は、全被験音中、アサ調音時に最も小さくなり、また、口蓋の前方から後方に向かって最大舌圧は大きくなる傾向を示した。
2. 咬合高径の増加に伴う最大舌圧の変化は、被験者、被験音、測定部位によって異なるが、全被験音とも、口蓋前方部では後方に比べて減少傾向、口蓋後方部では前方に比べて増加傾向にあった。
3. 一般に、舌接触は先行母音終了前に口蓋後方から前方へと開始し、最大舌圧は先行母音終了と後続母音開始の間で発現していた。しかし、咬合高径の増加に伴う音声と舌接触圧の時間関係については、全体として顕著な変化は認められなかった。
4. 咬合高径の増加に伴う最大舌圧と下顎運動の変化との間に相補的な関連を認めることができた。

なお、本研究の要旨の一部は平成元年 5 月、第 81 回日本補綴歯科学会学術大会において発表した。

文 献

- 1) Silverman, M.M.: Accurate measurement of vertical dimension by phonetics and the speaking centric space, part 1, part 2, Dental Digest, 57: 261~265, 308~311, 1951.
- 2) Silverman, M.M.: Vertical dimension must not be increased, J Prosthet Dent, 2: 188~197, 1952.
- 3) Silverman, M.M.: Determination of vertical dimension by phonetics, J Prosthet Dent, 6: 465~471, 1956.
- 4) Pound, E.: The mandibular movements of speech and their seven related values, J Prosthet Dent, 16: 835~843, 1966.
- 5) Pound, E.: Utilizing speech to simplify a personalized denture service, J Prosthet Dent, 24: 586~600, 1970.
- 6) Pound, E. and Murrell, G.A.: An introduction to denture simplification, J Prosthet Dent, 26: 570~580, 1971.
- 7) Murrell, G.A.: Phonetics, function, and anterior occlu-

- sion, J Prosthet Dent, 32 : 23~31, 1974.
- 8) Pound, E. : Controlling anomalies of vertical dimension and speech, J Prosthet Dent, 36 : 124~135, 1976.
- 9) Kaires, A.K. : Palatal pressures of the tongue in phonetics and deglutition, J Prosthet Dent, 7 : 305~317, 1957.
- 10) 山縣健佑, 高林成日己, 土田 裕ほか : 義歯の咬合高径の変化が発音時下顎位に及ぼす影響, 補綴誌, 26 : 1108~1117, 1982.
- 11) 積田正和 : 咬合高径の変化がパラトグラムと発音明瞭度に及ぼす影響, 補綴誌, 27 : 1~19, 1983.
- 12) 土田 裕, 高林成日己, 山縣健佑ほか : 咬合高径の増加が発音に及ぼす影響—口蓋裂を伴うオーパークロージャーの症例について—, 補綴誌, 27 : 1040~1048, 1983.
- 13) 山縣健佑, 高林成日己, 土田 裕ほか : 発音法による義歯咬合高径の設定に関する研究, 補綴誌, 28 : 622~629, 1984.
- 14) 山村 理 : 咬合高径の挙上に伴う音声パターンの音響学的観察, 補綴誌, 30 : 1250~1263, 1986.
- 15) 鈴木規子 : 軟口蓋ダイナミック・パラトグラフィーによる構音時舌運動様式の観察方法について, 日口外誌, 30 : 44~54, 1984.
- 16) 松木教夫 : 全部床義歯患者の発音の研究 (その1) 自覚的障害について, (その2) 他覚的障害について, 口病誌, 38 : 252~265, 333~362, 1971.
- 17) 奥田貫之, 山下 敦, 井上 宏ほか : 日本語単音のダイナミック・パラトグラフィーについて, 補綴誌, 18 : 143~151, 1974.
- 18) 山田昭治 : 調音時の舌圧変動に関する実験的研究, 歯科医学, 47 : 68~87, 1984.
- 19) 森田啓一 : 正常者のパラトグラム, 口病誌, 34 : 279~309, 1967.
- 20) 島 保幸 : 日本語語音発音時の口蓋に対する舌圧について, 日科誌, 17 : 376~387, 1968.
- 21) 金田一春彦 : 共通語の発音とアクセント, 日本放送協会編集, NHK 編 日本語発音アクセント辞典, 18, 日本放送出版協会, 東京, 1986.
- 22) 有泉 均, 高田正治 : X線映画による調音運動の分析 : 唇, 舌, 顎の協調関係, 音声総合研究委員会資料, S73-28, 1974.