原	著
---	---

人工歯の咬頭傾斜の相違が義歯の安定性と機能に及ぼす影響

羽毛田 匡

東京医科歯科大学歯学部歯科補綴学第1講座(主任・指導: 藍 稔教授)

(1992年12月18日 受付)

Influences of Cusp Inclination on Stability and Function of Removable Partial Dentures

Tadasu Haketa

The First Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry,
Tokyo Medical and Dental University
(Chief and Director : Prof. Minoru Ai)

The influences of cusp inclination on the stability and the function of removable partial dentures were evaluated on 5 subjects with the maxillary unilateral free-end saddle.

An experimental removable partial denture was made with six pressure sensors fixed on to the basal surface. The artificial teeth were replaceable by attachment. Several metal maxillary canine risers were made to change the inclination of the lateral gliding movement. During lateral gliding, the canine risers and the artificial teeth were contacted with the opposing mandibular teeth simultaneously.

The pressures exerted upon the supporting tissues and the mandibular movements were measured during mastication with each artificial teeth of different cusp inclination.

The results were as follows :

1. The steeper cusp caused the reduction of the peak pressures as well as the total pressures in most measuring spots.
2. The time differences of the first and the peak pressure detection between 6 measuring spots extended as the cusp became steeper.
3. The mandibular movements were influenced by the cusp inclination especially in the subjects with tear-drop type masticatory strokes.
4. It was suggested that the moderate cusp of artificial teeth contributed to the denture stability in function.

I. 緒 言

部分床義歯装着により咀嚼などの口腔機能を良好に回復し、それを維持してゆくためには、義歯が周囲組織を障害せず、機能的に調和していることが大切である。これまで義歯の安定に関する因

子として、印象法^{1,2)}、義歯の設計^{3~6)}、人工歯の排列位置^{6,7)}、人工歯の形態^{8~17)}などが検討されてきた。なかでも、人工歯は咀嚼時に食品を介して種々な方向、大きさの力を最初に受け、それを義歯の床下粘膜に伝達することから、その咬合面形態は義歯の動揺に影響を及ぼす重要な因子と考えられ

表 1 被験者の条件

被験者	年齢	性別	欠損歯
A	62	M	76
B	51	M	764
C	67	M	76
D	56	M	67
E	44	F	567

てきた。

Kaires¹¹⁾は部分床義歯の床下粘膜に加わる圧力を測定し、人工歯咬合面面積の縮小によって義歯に加わる垂直力、水平力が減少し、支台歯、床下粘膜への圧力が軽減したと述べている。細見¹⁶⁾は咀嚼時の遊離端義歯の沈下量と浮上量を測定し、人工歯咬合面頬舌径を約30%削減すると、義歯の上下の移動量が大きく減少したと報告している。また、杉山¹⁷⁾はシミュレーター上で食品破壊時の全部床義歯の動きを観察し、臼歯部人工歯の咬頭傾斜角の違いにより義歯の移動様相に変化がみられたと述べている。このように人工歯咬合面形態の相違が機能時の義歯の安定性に及ぼす影響について多くの研究が行われてきたが、人工歯咬合面のうち、特に咬頭傾斜角について部分床義歯の動揺との関係を検討したものは少なく、残存組織の保守を追究していくうえで不十分である。

そこで、本研究では、上顎の片側性遊離端義歯について人工歯の頬側咬頭内斜面の傾斜度を種々変化させ、咀嚼時の義歯床下粘膜に加わる圧力と咀嚼運動路とを測定することにより、咬頭傾斜の相違が義歯の安定性および機能に及ぼす影響を及ぼすか検討することにした。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は上顎に片側性の臼歯部欠損歯列を有し、対咬する下顎歯列は天然歯あるいは適切な修復処置が施されている男性4名、女性1名(表1)で、いずれも義歯の使用には十分慣れており、顎

表 2 被験者の顎堤粘膜被圧変位量

被験者 測定部位	A	B	C	D	E
頬側近心 (BM)	1.65	1.26	0.25	1.25	0.54
頬側遠心 (BD)	0.77	1.18	0.36	1.69	0.91
顎堤頂近心 (CM)	1.43	0.75	1.24	1.12	0.83
顎堤頂遠心 (CD)	1.80	2.18	1.46	1.88	0.58
口蓋側近心 (PM)	1.46	2.09	1.74	2.52	1.05
口蓋側遠心 (PD)	1.36	2.09	1.02	2.13	0.85

単位: mm

口腔系に異常の認められないものである。また、宮下¹⁸⁾の方法に準じて測定した欠損部顎堤粘膜の被圧変位量は、ほとんどが標準的な範囲内にあるものである(表2)。

2. 実験装置

まず、上下顎について通法に従い個人トレーと弾性印象材を用いて印象採得し、超硬石膏により作業模型を製作したのち、欠損部に隣接する2歯を支台歯として双子鉤を維持装置とした部分床義歯のメタルフレームをコバルトクロム合金で鋳造製作した。口腔内にこのメタルフレームを適合させた後、パラフィンワックスによる咬合堤を付着して、FGP法に準じて側方滑走運動路の咬合記録を採得した。次いで、上顎作業模型を顔弓を用いてHanau H2型咬合器にスプリットキャスト法により装着し、これに合わせて下顎歯列模型、および先の側方運動の咬合記録より製作した石膏コアをおのおのマウンティングプレートを介して咬合器下弓に装着した。咬合器の顎路はチェックバイトにより調節した。

1) 上顎犬歯舌面板

下顎の側方滑走運動を規定するために、上顎欠損側犬歯に以下のように舌面板を製作した。

先に上下顎歯列模型を装着したHanau H2型咬合器上で、側方滑走運動をさせた時に、切歯指導板の側方傾斜角を患者固有の傾斜角度(以下Nとする)を最小として、30、40、50°となるように調節し、それぞれの角度における側方運動時に下顎犬歯が接触滑走するように上顎模型犬歯舌面に

表3 各被験者における舌面板装着時の
側方滑走運動の前頭面傾斜角度

舌面板 被験者	N (舌面板なし)	30°	40°	50°
A	19.7	29.8	38.1	52.5
B	19.0	30.6	39.6	49.8
C	36.2	—	41.7	48.9
D	30.0	—	39.0	47.0
E	34.4	—	43.1	52.0

単位：度

ワックスアップを行い、金銀パラジウム合金で3種の舌面板を鑄造製作した。ただし被験者C, D, EではNが30°以上であったので舌面板は40, 50°の2種とした。その際、咬頭嵌合位は舌面板を装着しても変化せず、側方滑走運動した時には咬頭嵌合位から犬歯尖頭位まで直線的になるように留意した。

舌面板は口腔内に仮着してサホン・ビジトレーナー（東京歯材社製）により監視しつつ側方滑走運動が滑らか、かつ直線的に行えるよう調整したのち、フランクフルト平面に対する側方滑走運動路の前頭面投影傾斜角度を求めた（表3）。

2) 実験義歯

実験義歯の人工歯咬合面について、Nを含む各傾斜角度に対応した臼歯部人工歯を製作するため、まず、先の咬合器下弓に付けた石膏コアに対咬するような上顎人工歯咬合面を金銀パラジウム合金で鑄造製作した。これは各被験者固有の側方滑走運動時の傾斜角度Nに対応しており、咬合面基底部と呼び、被験者A, Bでは4個、被験者C, D, Eでは3個製作した。

次いで上顎模型を咬合器から取りはずし、実験義歯の床部を床用加熱重合レジンで製作したのち咬合器に再装着し、これに対して下顎の石膏コアを介して先に製作した咬合面基底部を自家製アタッチメントにより可撤式に固定した。

咬合面基底部を固定した義歯を口腔内に装着し、犬歯に舌面板を仮着した。次いで、舌面板に

図1 実験義歯と可撤式金属咬合面

上：ネジ止めによるアタッチメントをもつ実験義歯床

下：可撤式金属咬合面

（左より 前頭面傾斜角度 N, 30, 40, 50°に対応）

沿って下顎の側方滑走運動を行わせ、その際に咬合面基底部の頬側咬頭内斜面が対合する下顎臼歯頬側咬頭と接触滑走するように、咬頭嵌合位での接触状態は変えずに、内斜面に必要なだけのワックスアップを行った。こうした操作を傾斜角度の異なる各舌面板について行い、それぞれの傾斜角度に適合するように咬合面基底部の修正を行った。これら修正した咬合面部について石膏コアを採り、それに従って最終的な咬合面を金銀パラジウム合金で製作した。つまり被験者A, Bでは、固有の傾斜角度N、および30, 40, 50°の舌面板に対応する頬側咬頭内斜面を有する4種の金属咬合面を、また被験者C, D, Eでは、固有の傾斜角度N、および40, 50°の舌面板に対応する3種の金属咬合面を得たことになる。なお、金属咬合面の製作時に頬舌側のコアを設け、おのおのの頬舌径に差が生じないように留意した。

以上により製作した金属咬合面はアタッチメントを介して床部に互換性に固定することにした（図1）。完成した実験義歯は、咬頭嵌合位における咬合接触状態をブラックシリコーンを用いて診査し、各金属咬合面が同等の接触状態であることを確認した。

3) 圧力測定装置

床下粘膜に加わる圧力の測定装置として、直径

図2 実験義歯粘膜面と圧力センサ

BM：頬側近心，BD：頬側遠心，CM：顎堤頂近心，CD：顎堤頂遠心，PM：口蓋側近心，PD：口蓋側遠心

図3 口腔内に装着した実験義歯と犬歯舌面板

6mm，厚さ0.6mmのダイヤフラム型圧力センサ（共和電業社製 PS-5KA，PS-10KA）を用いた。これは義歯床粘膜面の頬側近遠心，顎堤頂近遠心，口蓋側近遠心の6箇所に設置したが，頬側，口蓋側には PS-5KA を，顎堤頂には PS-10KA を粘膜面の石膏コアを介して義歯床粘膜面に埋入した。それぞれ頬側近心を BM，頬側遠心を BD，顎堤頂近心を CM，顎堤頂遠心を CD，口蓋側近心を PM，口蓋側遠心を PD と略す（図2）。埋入に際し圧力センサは金銀パラジウム合金製のハウジングに収めた。センサからのリード線は咀嚼運動を可及的に障害しないように口角部から口腔外に出した。

4）下顎運動測定装置

図4 圧力および下顎運動測定装置と測定状況

咀嚼時の下顎運動の記録にはサホン・ビジトレナーを用い，下顎切歯部前方約10mmに設けた測定点の動きを下顎運動として前頭面で記録した。サホン・ビジトレナーは発光素子（LED）と LED 受光素子を利用した非接触型の下顎運動測定装置で，圧力との同時記録が可能である。なお，発光素子の装着は柴田ら¹⁹⁾の方法に従い，レジンのスプリントにより下顎切歯部に固定した。

3. 実験方法

任意の咬頭傾斜の金属咬合面を選び，それを実験義歯に固定して口腔内に装着させたのち，その咬合面に対応する犬歯舌面板をシアノアクリレート系瞬間接着剤で固定した（図3）。

試験食品は，カマボコ（1×1×1cm），タクアン（1×1×1cm），レーズン（約2g），ピーナツ（1粒）の4種を用いた。これらの食品を義歯装着側で嚙下するまで各5回咀嚼させ，その際の義歯床下粘膜に加わる圧力と下顎運動を同時記録した（図4）。

つづいて，傾斜角度の異なる舌面板および金属咬合面に替え，同様に測定を行った。なお，被験者固有の傾斜角度 N の時には，犬歯舌面板は装着していない。

圧力センサからの出力電圧は動ひずみ測定器（共和電業社製 DPM-13A）で増幅して，また下顎運動はサホン・ビジトレナーからの出力電圧を直接，データレコーダ（ソニーマグネスケール社製 KS-616）上にテープスピード4.8cm/secで収録した。また，サホン・ビジトレナーからの

図5 圧力・下顎運動の測定、分析のブロックダイアグラム

出力電圧はデジタルレコーダ(東京歯材社製 CMT-2)にも記録した。

4. 測定結果の分析と測定項目

データレコーダに収録した圧力と下顎運動は再生し、データアナライザ(共和電業社製 DAA-110A)に入力し、サンプリングレート5msecでA-D変換してフロッピーディスクに記録したのち下顎運動の垂直成分と圧力波形をデータアナライザのモニタ画面に再生表示して数値を読み取った(図5)。

測定項目は、以下のとおりである(図6)。

1) 圧力

サホン・ビジトレナーの垂直成分の記録から波形が水平となる点を求め、これを閉口運動の終末点とし、一つの終末点から次の終末点までを1咀嚼周期とし、咀嚼の前期、中期、後期のなかの連続した5ストロークについて測定を行いその平均値を求めた。

(1) 最大圧力：各ストローク中に発現する圧力の最大値

(2) 力積：各ストローク中に作用した圧力の積算値

(3) 圧力発現時期：閉口終末点を0とした時に、各測定部位で圧力が上昇開始する時点を圧力発現時期、また最大圧力を発揮する時点を最大圧力発現時期とし、閉口終末点より前を－、後を＋で表した。

図6 測定項目

Pp : 最大圧力 (kgf/cm²)

Ts : 圧力発現時期 (sec)

Tp : 最大圧力発現時期 (sec)

2) 下顎運動

デジタルレコーダに収録したサホン・ビジトレナーの信号を、X-Yプロッタ(WATANABE社製 DA8400)に3倍の倍率で再生し、咀嚼運動路を観察した。

III. 研究結果

1. 最大圧力

1) 最大圧力の大きさ

最大圧力は被験者間、測定部位間、食品間で異なったが、顎堤頂部において相対的に大きな値を示す被験者が多かった。

すべての被験者、測定部位、咬頭傾斜を通じ、最大圧力は咀嚼前期には、カマボコ0.02~3.12 kgf/cm²、タクアン0.06~4.33 kgf/cm²、レーズン0.04~5.98 kgf/cm²、ピーナツ0.04~9.45 kgf/cm²であった。咀嚼後期には、カマボコ0.03~4.14 kgf/cm²、タクアン0.07~3.40 kgf/cm²、レーズン0.03~3.81 kgf/cm²、ピーナツ0.03~2.70 kgf/cm²であり、測定部位のほとんどにおいて咀嚼の進行に伴って最大圧力は減少する傾向がみられ、特にピーナツで著明であった。

図7、8は咀嚼時の最大圧力について代表的と思われる被験者、食品の値である。

咬頭傾斜の変化に伴う各測定部位での最大圧力の増減を各食品についてみると、カマボコでは、被験者Eを除き、全咀嚼時期とも、咬頭傾斜

図 7 最大圧力 (カマボコ, 被験者 B)

図 8 最大圧力 (ピーナツ, 被験者 A)

が急なほど最大圧力は小さくなる傾向が測定部位の多くにみられた。被験者 E では、咬頭傾斜の相違による最大圧力の変化は測定部位により異なり一定の傾向はみられなかった。

タクアンでは、被験者 A, B, D で全咀嚼時期とも咬頭傾斜が急なほど最大圧力が小さくなる傾向が測定部位のほとんどにおいてみられた。被験者 C, E の場合、咬頭傾斜が急なほど最大圧力は減少する部位と、40°で相対的に大きな最大圧力を発現する部位とがみられた。

レーズンでの最大圧力は、被験者 A, B では、咀嚼前期には咬頭傾斜が急なほど最大圧力は減少する傾向が測定部位のほとんどにおいてみられた。しかし、咀嚼の進行に伴い被験者 D ではその傾向は変わらないものの、被験者 A, B では特に咀嚼後期に N, 30, 40°の順に最大圧力は減少傾向を示したが、50°で40°より大きな圧力を発現する傾向を示す部位が多くみられた。被験者 C, E では最大圧力の咬頭傾斜による変化には一定の傾向はみられなかった。

ピーナツでは、被験者 A, B, D で咀嚼前期には咬頭傾斜が急なほど最大圧力が減少傾向を示す部位と、N, 30, 40°と減少した圧力が50°で40°より大きな最大圧力を発現する傾向を示す部位とがみられた。咀嚼後期には後者の傾向を示す部位がほとんどであった。被験者 C, E では、咬頭傾斜の違いによる最大圧力の変化は測定部位、咀嚼時期により異なり一定の傾向はみられなかった。

2) 最大圧力の部位的な状況

各測定部位における最大圧力の状況を検討するために、最大圧力の総和に対する各部位の最大圧力の比率を求めた (図 9, 10)。

各食品についてみてみると、カマボコでは、被験者 A, B, D で咬頭傾斜が急なほど顎堤頂の比率が減少し、頬側の比率が増加する傾向がみられた。

タクアン、レーズン、ピーナツでは、被験者 A, D では咬頭傾斜の相違による比率の変化はわずかであったが、被験者 B, C ではカマボコと異なり、咬頭傾斜が急なほど頬側の比率が減少し、顎堤頂の比率が増加する傾向がみられた。被験者 E では

図9 最大圧力の部位的状況 (カマボコ, 被験者B)

図10 最大圧力の部位的状況 (ピーナツ, 被験者B)

比率に一定の変化傾向はみられなかった。

2. 力積

1) 力積の大きさ

咀嚼1ストロークにおける力積の平均値を図11, 12に示す。

力積は、咀嚼の進行に伴って減少する傾向が測定部位の多くにみられた。

力積の最大値はカマボコ $0.76\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{sec}$, タクアン $1.00\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{sec}$, レーズン $0.92\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{sec}$, ピーナツ $1.58\text{kgf/cm}^2 \cdot \text{sec}$ であった。

また、各測定部位における咬頭傾斜の変化に伴う力積の増減のパターンは、最大圧力の変化傾向に類似しており、咬頭傾斜が急なほど力積は減少する傾向が多くみられたが、レーズン、ピーナツ咀嚼時には、N, 50° で 30° , 40° より相対的に大きな力積を発現する部位が多くみられた。

2) 力積の部位的な状況

力積についても、各部位における力積の総和に対する比率を求めたが、最大圧力の場合と類似し

図11 力積 (カマボコ, 被験者B)

図12 力積 (ピーナツ, 被験者A)

咬頭傾斜 ○N □40° ×50°

図13 圧力発現時期 (タクアン, 被験者C)

咬頭傾斜 ○N △30° □40° ×50°

図14 圧力発現時期 (レーズン, 被験者B)

た傾向を示した。

すなわち、カマボコでは、被験者 A, B, D で咬頭傾斜が急なほど顎堤頂の比率が減少し、頬側の比率が増加する傾向がみられた。

タクアン、レーズン、ピーナツでは、被験者 A, D では咬頭傾斜の相違による比率の変化はほとんどみられなかったが、被験者 B, C で咬頭傾斜が急なほど頬側の比率が減少し、顎堤頂の比率が増加する傾向がみられた。また被験者 E では、比率の変化に一定の傾向はみられなかった。

3. 圧力発現時期, 最大圧力発現時期

1) 圧力発現時期

圧力発現時期について代表的と思われる被験者の値を図13, 14に示す。

圧力の発現は咀嚼前期には、カマボコ $-0.23 \sim -0.02\text{sec}$, タクアン $-0.33 \sim -0.08\text{sec}$, レーズン $-0.34 \sim -0.07\text{sec}$, ピーナツ $-0.51 \sim -0.06\text{sec}$ であり、ピーナツで比較的早期に発現する傾向がみられた。咀嚼の進行に伴って閉口終末点に近づき、後期にはカマボコ $-0.13 \sim -0.08\text{sec}$, タクアン $-0.16 \sim -0.04\text{sec}$, レーズン $-0.10 \sim -0.04\text{sec}$, ピーナツ $-0.12 \sim -0.01\text{sec}$ となり、閉口終末点よ

り遅れて発現する測定部位もみられたが食品の違いによる圧力発現時期の差異は小さくなった。

各測定部位間では咀嚼前期に咬頭傾斜の相違による差異が大きかったが、中期以降は小さくなる傾向がみられた。また、各測定部位における咬頭傾斜の変化に伴う圧力発現時期の変化傾向は、食品、被験者、咀嚼時期によって異なり一定の傾向はみられなかった。

測定部位間の圧力発現時期の差異を比較するため、各咬頭傾斜における圧力発現時期の最も早い部位と最も遅い部位との時間差を求めた。測定部位間の時間差は、カマボコで最小 0.03sec , 最大 0.24sec , タクアン $0.01, 0.25\text{sec}$, レーズン $0.03, 0.23\text{sec}$, ピーナツ $0.01, 0.23\text{sec}$ であり、食品差は明瞭でなかった。表4には最大および最小の時間差を示した時の咬頭傾斜を示す。

このうち、最大および最小時間差を示した傾斜角度が2段階以上異なる場合に注目し、最大時間差を示した咬頭傾斜のほうが最小時間差を示した咬頭傾斜より急だった場合と、その逆の場合の頻度を比較した。その結果、いずれの食品においても、最大時間差を示すのは咬頭傾斜が急な場合に、

図15 最大圧力発現時期（カマボコ，被験者B）

図16 最大圧力発現時期（ピーナツ，被験者A）

また最小時間差を示すのは咬頭傾斜が緩い場合に多く、タクアン、レーズンで著明であった。

2) 最大圧力発現時期

閉口終末点を0とした時の最大圧力発現時期について代表的なものを図15, 16に示す。

最大圧力は咀嚼前期には、カマボコ0.01~0.12 sec, タクアン-0.10~0.07sec, レーズン-0.07~0.09sec, ピーナツ-0.07~0.08secに発現した。最大圧力発現時期は咀嚼の進行に伴い遅延し、後期にはカマボコ0.00~0.20sec, タクアン0.03~0.25sec, レーズン0.01~0.22sec, ピーナツ0.01~0.21secとなり、閉口終末点との時間差が大きくなる傾向がみられた。この咀嚼の進行に伴う最大圧力発現時期の遅れは頬側、顎堤頂に比べて口蓋側で大きく、被験者A, B, Cでは、前期に比べ後期において、頬側の発現時期から大きく遅れて口蓋側で最大圧力が発現する傾向を示した。

各測定部位における咬頭傾斜の違いによる最大圧力発現時期の変化は、被験者により異なり一定の傾向はみられなかった。

前項と同様に、測定部位間の最大圧力発現時期の差異を比較するため、各咬頭傾斜ごとの最大圧

力発現時期の最も早い部位と最も遅い部位の時間差を求めた。時間差は、カマボコで最小0.03秒、最大0.18秒、タクアン0.02, 0.17秒、レーズン0.02, 0.17秒、ピーナツ0.01, 0.15秒で、食品差は明瞭でなかった。最大および最小時間差を示した咬頭傾斜を表4に示す。

最大圧力発現時期についても、最大および最小時間差を示した傾斜角度が2段階以上異なる場合に注目すると、最大時間差は咬頭傾斜が急な場合に、また最小時間差を示すのは咬頭傾斜が緩い場合に多く、タクアン、ピーナツ咀嚼時の、特に被験者A, Bで著明であった。

4. 下顎運動

被験者A, B, Dではいわゆる涙滴型を、被験者C, Eではいわゆるchopper型の運動路を呈した。

涙滴型を示した被験者A, B, Dでは、タクアン、レーズン、ピーナツで運動路の側方移動量が大きく、咬頭傾斜が急なほど、閉口相の終末位付近の経路は咬合平面に対してより急な角度で終末位にいたる経路を示した。カマボコでは側方移動量は少なく、咬頭傾斜の相違による運動路の変化は明瞭でなかった。一方、chopper型の運動路を示す被

表 4 圧力発現時期の測定部位間時間差が最大・最小となった時の傾斜角度

			圧力発現時期					最大圧力発現時期				
食品	咀嚼 時期	被験者	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
カマボコ	前期	max.	N	N	50	50	40	40	40	N	40	40
		min.	30	30	40	N	N	30	30	40	N	N
	中期	max.	40	N	N	50	40	50	N	50	50	40
		min.	30	30	40	N	N	40	40	N	N	50
	後期	max.	30	40	40	50	50	30	40	40	50	40
		min.	50	30	50	40	N	40	50	N	N	N
タクアン	前期	max.	50	50	40	50	40	50	N	N	50	N
		min.	N	N	50	N	50	N	40	50	N	50
	中期	max.	50	50	N	40	40	30	50	40	40	50
		min.	N	N	50	N	50	50	N	50	N	N
	後期	max.	50	50	N	40	40	50	50	40	40	50
		min.	N	30	40	50	50	N	30	50	N	N
レーズン	前期	max.	50	40	40	50	40	30	40	50	40	40
		min.	40	N	N	N	N	N	N	40	N	50
	中期	max.	N	50	N	50	40	N	N	40	50	50
		min.	40	N	50	N	N	30	30	N	N	40
	後期	max.	N	40	N	50	40	50	40	50	50	N
		min.	50	N	40	N	50	30	50	40	N	50
ピーナツ	前期	max.	50	30	N	50	40	50	50	50	40	N
		min.	40	N	50	N	50	40	N	N	N	50
	中期	max.	50	30	50	40	40	40	50	50	40	50
		min.	30	N	40	N	N	N	N	N	N	N
	後期	max.	50	30	N	40	40	50	50	N	50	50
		min.	N	N	50	N	50	30	30	40	N	40

験者 C, E では、食品および咬頭傾斜の違いによる運動路の変化は比較的少なかった。代表的な傾向を示す被験者 A, C の運動路を図 17, 18 に示す。

IV. 考 察

臼歯部人工歯の咬頭傾斜について、義歯の推進現象を少なくするためにはその傾斜は緩やかなほうがよいとする考えや、傾斜した咬合小面に発生

する側方ベクトルは、相対する小面によって相殺されて小さくなる¹²⁾との報告がある。

部分床義歯の臼歯部人工歯は、対合歯の形態や残存歯の誘導要素などに基づいて咬頭傾斜が決定されるが、実際の程度の咬頭傾斜が義歯の安定に有利であるのかまだ不明な点が多い。

著者は、本研究に先立ち臼歯部人工歯咬頭傾斜の床下粘膜の圧力分布に及ぼす影響についてシ

図17a 前頭面運動路 (カマボコ, 被験者A)

図18a 前頭面運動路 (カマボコ, 被験者C)

図17b 前頭面運動路 (ピーナツ, 被験者A)

図18b 前頭面運動路 (ピーナツ, 被験者C)

ミュレーター上で検討を行った。下顎片側臼歯部欠損を想定し、部分床義歯人工歯の咬頭傾斜を変えて食品破壊を行った時の床下粘膜に加わる圧力を本研究と同様の圧力測定装置を用いて測定した。それによると、咬合平面に対し垂直に咬頭嵌合位へ直線的に閉口させた場合には、咬頭傾斜が急なほど食品破壊時に生じる最大圧力は減少する傾向を示したが、斜め65°方向から閉口させた場合には、ピーナツでは咬頭傾斜が急なほど床下粘膜に加わる圧力は大きくなり、カマボコでは咬頭傾斜角10°で圧力が大きくなる傾向が認められた(図19, 20)。このことから食品破壊時に床下粘膜に加わる圧力は、咬頭傾斜および閉口路の影響を受けて変化することが確かめられた。

そこで、本研究では口腔内で咬頭傾斜の相違による床下粘膜に加わる圧力および咀嚼運動路の変化を測定し、機能時の義歯の安定性について検討した。

1. 研究方法

本研究では犬歯部における側方滑走運動の傾斜角度を数種に変化させ、それに調和した咬頭傾斜を臼歯部人工歯に与えた。4種の食品を咀嚼させ、そのときの床下粘膜に加わる圧力と下顎運動を記録し、圧力の量的、時間的変化および咀嚼運動路に及ぼす咬頭傾斜の影響について検討を行った。

1) 被験者

被験者の欠損部顎堤は極度の骨吸収や骨隆起はみられず、ほぼ標準的な形態を有している。また、対合関係については水平面投影で上顎顎堤頂は、被験者Aでは対合下顎臼歯頬側咬頭内斜面中央より頬側に位置し、被験者B, C, D, Eでは近心で下顎歯列より頬側、遠心で舌側に位置していた。粘膜の被圧変位量は、宮下¹⁸⁾によると0.2~2.0 mmと報告されているが、それと比較すると被験

図19 模型実験での食品破壊時の最大圧力 (カマボコ)

図20 模型実験での食品破壊時の最大圧力 (ピーナツ)

者 B, D の口蓋側でやや大きいほかは、ほぼその範囲内に収まっていた。

2) 実験義歯

実験義歯は人工歯の咬頭傾斜のみ変えて、咬合高径、粘膜とセンサとの位置関係等は変化しないように人工歯を可撤式とした。

維持装置の設計と義歯の動態については、片側性遊離端義歯において両側性の設計が側方力に対する抵抗や床の変位を効果的に抑制するといわれているが^{5,6)}、本実験では人工歯咬頭傾斜の相違による義歯の動揺をできるだけ明瞭な形で観察するため片側性の設計とした。また被験者により欠損歯数に差があるが、維持装置などの違いによる影響を避けるため同一の設計とした。

遊離端義歯の咬合様式は、側方運動時に作業側歯列を同時接触させるべきであるとするものや²⁰⁾、残存歯の誘導状態により接触状態を変える^{21,22)}という考えがあるが、本実験では咀嚼時の

咬頭傾斜の影響を調べる目的から、犬歯舌面板と臼歯部咬頭の傾斜度とが一致するように規定し、作業側での同時接触とした。

3) 圧力測定方法

機能時の義歯床下粘膜に加わる圧力については古くから種々の方法で検討がされてきた。

1970年に Fitzgerald ら²³⁾が、ダイヤフラム型圧力センサが床下粘膜などの粘弾性体の圧力測定に有効であると唱えて以来広く用いられるようになった^{7,24~26)}。

本実験では小型で、口腔内温度、湿度による影響を受けにくい直径6mm、厚さ0.6mmのダイヤフラム型圧力センサを使用した。機能時の義歯床の歪みによる影響を避けるため金銀パラジウム合金製のハウジングに収めて義歯床に埋入した。圧力センサは顎堤粘膜の比較的平坦な部位に設置し、センサ受圧面と粘膜面が可及的に同一平面となるようにした。圧力センサからの出力電圧は規

定の較正值をもとに圧力に換算した。

2. 研究結果

1) 最大圧力, 力積

(1) 最大圧力の大きさについて

本研究では上顎人工歯の頬側咬頭内斜面の傾斜角度を種々変化させて咀嚼運動を行わせたが、床粘膜面の測定部位の多くにおいて咬頭傾斜が急なほど最大圧力は減少する傾向がみられた。

人工歯の咬頭傾斜と食品破壊に要する力量について、関根ら^{14,15)}は、模型実験により食品破壊時の垂直方向の力量は、咬合小面の頬舌側の傾斜角度が0, 10, 20°より30°のほうが著明に減少したと報告しており、咬合小面の傾斜が急なほど咬頭が食品破壊の起始点として効果的に作用するためと考察している。また、田嶋¹²⁾は食品の切断に必要な垂直ベクトルは咬合小面の傾斜角度が20, 30°で比較的小さく、さらに側方ベクトルを減少させるには20°が好ましいと述べている。

先に述べたシミュレーター上での実験では、咬合平面に対して斜め65°方向から閉口では、咬頭傾斜角と最大圧力の変化傾向は食品により異なったが、垂直方向からの閉口では咬頭傾斜角の増加に伴い最大圧力は減少する傾向を示した。

また、咀嚼時の下顎運動路の観察から、カマボコ咀嚼時に側方移動量は小さく、タクアン、レーズン、ピーナツでは側方移動量は大きくなる傾向を示した。

これらより、咬頭傾斜による最大圧力の差異を考察すると、カマボコでは下顎歯頬側咬頭が垂直的に上顎歯に向かって咬みこむことで切断されるが、上顎歯頬側咬頭内斜面の傾斜が急になることで、同じ下顎の運動であっても歯面の滑走が起りやすくなり、これが切断に効果的に作用したため圧力としては減少したと考えられる。その他の食品では側方移動量の大きな運動をすることにより、対咬歯面での滑走を積極的に行っており、その臼磨作用により効率よく粉碎されるため結果として圧力は減少したと推察される。しかし、これには他にも種々な要因が関係しているためさらに検討が必要であろう。

咀嚼の進行に伴う最大圧力の変化をみると、各被験者、各咬頭傾斜ともほとんどの部位で最大圧力は減少する傾向がみられた。

咀嚼時の咬合力の変化については、全部床義歯^{27,28)}や一本義歯^{29,30)}、全部被覆冠³¹⁾などに装置を組み込んで測定が行われているが、咬合力は咀嚼前期から徐々に増加して中期に最大となり、後期に減少したとの報告^{27,28)}や、前期から大きな咬合力を発揮し徐々に減少したという報告^{29~31)}もある。全部床義歯の咀嚼時の咬合力について長尾³²⁾の報告では、咬合力は咀嚼の進行に伴って減少し、それはピーナツにおいて著明で、タクアン、カマボコでは小さかったと述べている。本研究でも同様の傾向を示す被験者が多くみられた。その代表的な傾向を示す被験者Aの咬頭傾斜Nの時の顎堤頂近心の測定部位について、咀嚼前期の最大圧力に対する後期の最大圧力の比率を求めると、カマボコ65%, タクアン61%, レーズン60%, ピーナツ23%であり、ピーナツにおいて著明な減少を示した。

このような咀嚼時期による圧力の変化は、食品の性状に関係するものと思われる。粉碎性食品のピーナツは、咀嚼前期には比較的大きな硬い食塊で粉碎に大きな力が必要であるが、後期には食塊も小さくなり唾液との混和により湿潤となって性状も変化し、床下粘膜に加わる圧力は小さくなったものと思われる。これに対してカマボコ、タクアン、レーズンは、その性状から初期より切断されやすく、唾液と混和されてもその性状がピーナツほど変化しないため、咀嚼時期による変化が少なかったと考えられる。

(2) 最大圧力の部位的な状況について

大貫²⁵⁾は下顎片側性遊離端義歯の咬合面の数箇所垂直荷重を加えた場合、咬合面の頬舌的、近遠心的中央部の荷重により床下粘膜の圧力の均等化が得られ、荷重点を中央から偏心させると偏心側の床下粘膜に局所的な負担過重を生じたと述べている。また、作間ら²⁶⁾は同様な方法により、床下粘膜の圧力分布の割合から咬合力作用点の位置の推定が可能であったと報告している。

本研究では、カマボコでは咬頭傾斜が急なほど顎堤頂の圧力の比率が減少し、頬側の比率が増加する傾向を示す被験者がみられた。タクアン、レーズン、ピーナツでは、咬頭傾斜が急なほど頬側の比率が減少し、顎堤頂の比率が増加する傾向を示す被験者がみられた。

咀嚼時の運動路が涙滴型に近い被験者 A, B, D においては、軟性食品のカマボコ咀嚼では運動路の側方移動量が少なく、咬頭傾斜が緩い時でも閉口路は比較的垂直的に終末位にいたる傾向がみられた。このため、傾斜が急なほど食品が遁出できる頬側のスペースが狭まって頬側咬頭内斜面に相対的に大きな力が加わり頬側の圧力の比率が増加したものと考えられる。一方、タクアン、ピーナツはもとより、軟性食品のレーズンでも運動路は比較的側方へ変位し、咬頭傾斜の変化の影響は明瞭であった。そのため、カマボコの場合より閉口路初期に強く頬側咬頭内斜面に圧力が加わるが、終末位においてさらに強く咬みしめが生じるため相対的に垂直的な圧力が大きくなり、結果として顎堤頂での最大圧力の比率が大きくなったと推測される。

(3) 力積について

力積の大きさおよび力積の部位的な状況は、最大圧力と類似した結果を示した。これは、圧力の発現過程は咬頭傾斜が異なっても大きな差異は認められなかったこと、また、咬合相時間には咬頭傾斜に伴う変化傾向は認められず時間的要素が均一であったことから、力積は最大圧力の大きさおよび比率をそのまま反映した変化傾向を示したものと思われる。

2) 圧力発現時期、最大圧力発現時期

(1) 圧力発現時期について

咀嚼の進行に伴う圧力発現時期の変化について、河野⁷⁾は全部床義歯で、咀嚼前期には咀嚼側の床下粘膜に加わる圧力は閉口終末点より早期に発現し、咀嚼の進行に伴って徐々に閉口終末点に近づき、測定部位間の時間差も減少したと報告している。

本研究においても、各食品とも咀嚼前期には圧

力は閉口終末点より早期に発現し、中・後期には圧力の発現時期は相対的に遅延し閉口終末点に近づいた。また、各測定部位では前期に咬頭傾斜の相違による発現時期の差異が大きく、中・後期に小さくなる傾向がみられた。これは、咀嚼前期には上下咬合面間に介在する食片が大きく、また切断、粉碎された食片の大きさもさまざまであるため、圧力は相対的に早期に発現しその時期も種々であるが、咀嚼の進行に伴い介在する食片は切断、粉碎されて小さくなり一様になるため、圧力の発現は閉口終末点に近づき、発現時期の差異も小さくなったと推察される。

一方、圧力発現時期の測定部位間の時間差は、タクアン、レーズン、ピーナツで咬頭傾斜が急なほどその差が大きくなる傾向を示した。

運動路の側方移動量が比較的大きく、カマボコに比べ切断されにくいタクアン、レーズン、ピーナツでは咬頭傾斜が急なほど閉口時に食片を介して上顎歯頬側咬頭内斜面を強く圧迫するために、潜在的に床の傾きが生じるようになり、測定部位の圧力発現時期に差異が生じたものと思われる。つまり、測定部位間の圧力発現時期の時間差が大きいことは、義歯床下粘膜への加圧時期が部位によって異なり床が不安定な状態に近いこと、また時間差が小さいほど義歯床は均等に粘膜を加圧して安定していると考えられる。

(2) 最大圧力発現時期について

咀嚼の進行に伴う最大圧力発現時期は、咀嚼前期には閉口終末点とほぼ同じかわずかに遅かったが、咀嚼の進行に伴いその発現時期はさらに遅延した。特に、後期において口蓋側の測定部位でより著明に遅延する傾向がみられた。

Gysi³³⁾は咀嚼運動路について臼磨運動を含む4相からなる経路を唱えた。また、中澤³⁴⁾はGysiの第4相に続く第5相を指摘し、これによって臼磨運動が増強されるものと考えた。藍³⁵⁾によれば正常者の咀嚼運動路のうち、第5相を示す経路が65%にみられたと報告している。

本研究でみられた咀嚼後期の口蓋側測定部位における最大圧力発現時期の遅延は、義歯による床

下粘膜への加圧部の移動によるものと考えられる。各咀嚼時期の咬合相時間をみると、各被験者とも咬頭傾斜、食品にかかわらず咀嚼の進行に伴って延長する傾向が認められた。これは、いわゆる第5相に相当する臼磨運動が増加したことが考えられ、それに伴う義歯の頬舌側的な回転により口蓋側の最大圧力発現時期が相対的に遅延したものと推察される。

最大圧力発現時期の測定部位間の時間差は、軟性食品のカマボコでは運動路が上下方向に近いため、咬みしめ時にも咬頭傾斜の違いによる影響が少なかったことが考えられる。タクアン、ピーナツでは、咬頭傾斜が緩い場合に時間差が小さく、咬頭傾斜が急なほど時間差は大きくなった。この傾向は特に被験者 A, B において明瞭で、運動路が涙滴型を呈し側方移動量が大きかったことから、圧力発現時期の場合と同様の機序が働いたものと思われる。

3) 下顎運動

咀嚼運動路について藍³⁵⁾はピーナツ等の硬い食品の特に咀嚼初期に側方運動が多くみられ、ヌガー、チューインガムでは滑走運動が著明であったが、カマボコでは開口路と閉口路が近く、上下的な運動が多かったと報告している。本研究においても同様の傾向が認められ、カマボコ咀嚼時に側方移動量は少なく、レーズンでやや大きくなりタクアン、ピーナツでは側方移動量はさらに大きくなった。この傾向は涙滴型経路を示す被験者 A, B, D で明瞭であった。

また、今村³⁶⁾は、作業咬合小面の側方傾斜を変化させても、運動路は短時間で順応し、新しい傾斜角に対応した円滑な経路を示すと報告している。本研究においても涙滴型を示す運動路では、咬頭傾斜の変化に対応して閉口路の終末位付近の経路が変化しているが、側方移動量の小さい chopper 型では経路の変化は明瞭でなく、咬頭傾斜の運動路への影響は少なかった。

以上のことより、咬頭傾斜の相違はそれに伴う運動路の変化と相まって、義歯床下粘膜に加わる圧力についてその大きさ、部位的な状況、発現時

期に明らかな影響を及ぼしていることが示された。床下粘膜に加わる圧力の状態には個人差がみられたが、顎堤粘膜の被圧変位性や対合歯との位置関係との間には明瞭な関係はみられなかった。また、圧力は食品の性状により大きく異なることがうかがわれた。

なお、本研究では義歯人工歯の咬頭傾斜は残存犬歯舌面および舌面板の傾斜に合わせており、いわゆるグループ接触に相当するものである。つまり咬頭傾斜の緩急は人工歯だけのことではない。しかし、人工歯は咬頭傾斜が急なほうが床下粘膜に加わる圧力は小さくなる傾向があるが、圧力の均等化の点からはむしろ緩いほうが優れていることが示された。実際上は、このように残存歯の傾斜に人工歯を合わせるにしても残存歯の傾斜自体が緩やかであり、さらに人工歯をそれ以下に緩くすることが多いことからすると、床下粘膜への圧力の軽減というよりも均等化を期待していることになるといえる。

V. 結 論

部分床義歯の人工歯咬頭傾斜の相違が機能時の義歯の動態に及ぼす影響を検討するため、上顎の片側性臼歯部欠損歯列を有する5人の被験者について、遊離端義歯人工歯の頬側咬頭内斜面の傾斜度を種々変化させ、咀嚼時の義歯床下粘膜に加わる圧力を測定した結果、以下の結論を得た。

1. 咀嚼時の各ストローク中に発現する最大圧力および力積は咀嚼の進行に伴って減少した。また、咬頭傾斜が急なほど、最大圧力および力積は小さくなる傾向を示す被験者が多くみられた。

2. 最大圧力および力積の床下粘膜における部位的な状況は、軟性食品のカマボコでは咬頭傾斜が急なほど顎堤頂の比率が減少し頬側の比率が増加する傾向を示したが、それより硬性の食品では咬頭傾斜が急なほど顎堤頂の比率が増加し頬側の比率が減少する傾向を示した。

3. 圧力発現時期は閉口終末点より早期に発現し、咀嚼の進行とともに閉口終末点に近づいた。また比較的硬性の食品で、咬頭傾斜が急なほど測

定部位間の圧力発現時期の差異が大きくなる被験者が多くみられた。咬頭傾斜の違いによる各測定部位における圧力発現時期の時間的順序には一定の傾向は認められなかった。

4. 最大圧力発現時期は咀嚼の進行とともに遅延し、特に口蓋側で相対的に大きく遅れて発現する傾向がみられた。また、比較的硬性の食品で咬頭傾斜が急なほど測定部位間の最大圧力発現時期の差異が大きくなり、義歯が不安定な状態になることが示唆された。

5. 咀嚼運動路は咬頭傾斜の影響を受けて変化し、それは側方移動量の多い涙滴型の経路を示す被験者、また比較的硬性の食品において著明であった。

6. 総体的に、緩い咬頭傾斜が機能時の義歯の安定には有利であることが示唆された。

謝 辞

稿を終えるに臨み、ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました藍 稔教授に謹んで感謝の意を表します。

また、本研究に際し、ご助言、ご協力をいただきました本学歯科補綴学第1講座の諸先生方、ならびに被験者の方々に心よりお礼申し上げます。

本研究の要旨の一部は、平成3年9月、第4回国際歯科補綴学会議 WCP 学術大会（広島）、平成3年11月、第56回口腔病学会学術大会において発表した。

文 献

- Hindels, G. W. : Load distribution in extension saddle partial dentures. J. Prosthet. Dent. 2 : 92-100, 1952.
- 黒田昌彦：義歯床下粘膜の負担圧分布状態に関する実験的研究. 歯科学報 71 : 1445-1474, 1971.
- Frechette, A. R. : The influence of partial denture design on distribution of force to abutment teeth. J. Prosthet. Dent. 6 : 195-212, 1956.
- Kaires, A. K. : Effect of partial denture design on unilateral force distribution. J. Prosthet. Dent. 6 : 526-533, 1956.
- Matsumoto, M. and Goto, T. : An experimental investigation in design and force distribution with unilateral mandibular distal extension removable partial dentures. Bull. Tokyo Med. Dent. Univ. 17 : 113-121, 1970.
- 安達 康：咬合と設計の条件と遊離端義歯の安定性との関係. 歯科学報 82 : 1109-1158, 1982.
- 河野文昭：機能時における下顎全部床義歯の負担圧に関する研究 特に人工歯排列位置との関係について. 補綴誌 31 : 726-739, 1987.
- Gysi, A. : Modifikation des Artikulators und der Aufstellregeln für Vollprothesen. Bern und Stuttgart, 1958, Verlag Hans Huber, 39-44.
- Frechette, A. R. : Masticatory forces associated with the use of various types of artificial teeth. J. Prosthet. Dent. 5 : 252-267, 1955.
- Stromberg, W. R. : A method of measuring forces of denture bases against supporting tissues. J. Prosthet. Dent. 5 : 268-288, 1955.
- Kaires, A. K. : Partial denture design and its relation to force distribution and masticatory performance. J. Prosthet. Dent. 6 : 672-683, 1956.
- 田嶋繁男：咬合面の条件が咀嚼力の側方ベクトルの発現状態に及ぼす影響に関する研究. 歯科学報 69 : 440-469, 1969.
- Matsumoto, M. : Evaluation of the occlusal table pattern in removable partial denture with unilateral distal extension saddle. Bull. Tokyo Med. Dent. Univ. 18 : 339-351, 1971.
- 関根 弘、大沢一博、多田集一、岸 正孝、田島篤治、高橋諄吉：咬合面の条件が食品破砕所要力量に及ぼす影響に関する研究（第1報）咬合面の頬舌径および側方斜面の傾斜角と食品破砕所要力量との関係について. 歯科学報 74 : 1685-1690, 1974.
- 関根 弘、大沢一博、多田集一、岸 正孝、田島篤治、笠井 裕：咬合面の条件が食品破砕所要力量に及ぼす影響に関する研究（第2報）咬合小面の側方傾斜角と食品破砕所要力量との関係について. 歯科学報 74 : 1927-1931, 1974.
- 細見洋泰：下顎両側性遊離端義歯の人工歯形態が咀嚼時の義歯動態に及ぼす影響. 補綴誌 24 : 284-300, 1980.
- 杉山哲也：臼歯部人工歯咬合面の形態が咀嚼時の義歯の動きに及ぼす影響に関する基礎的研究. 歯科学報 89 : 409-454, 1989.
- 宮下恒太：顎粘膜の局所被圧変位度と咬合力による義歯床の沈下度とに関する研究. 歯科学報 70 : 38-68, 1970.
- 柴田孝典、中沢勝宏、尾崎佳孝、増田 健、小鹿典雄：ビジブル・バイオフィードバック機能を持つ下顎運動解析装置サホン・ビジトレナーC II について. 補綴臨床 14 : 101-116, 1981.
- McGivney, G. P. and Castleberry, D. J. : McCracken's removable partial prosthodontics (eighth edition). St. Louis, 1989, The C.

- V. Mosby Co., 339-360.
- 21) Colman, A. J. : Occlusal requirements for removable partial dentures. J. Prosthet. Dent. 17 : 155-162, 1967.
 - 22) 松元 誠 : 遊離端義歯 咬合構成の臨床. 東京, 1980, 医歯薬出版, 61-74.
 - 23) Fitzgerald, J. E. and Hufferd, W. L. : Interaction of a diaphragm pressure gage with a viscoelastic halfspace. Exp. Mech. : 257-265, 1970.
 - 24) Roedema, W. H. : Relationship between the width of the occlusal table and pressure under denture during function. J. Prosthet. Dent. 36 : 24-34, 1976.
 - 25) 大貫昌理 : 下顎義歯床下粘膜の局所負担圧分布に関する研究. 鶴見歯学 12 : 35-67, 1986.
 - 26) 作間靖信, 石川佳和, 米山喜一, 大貫昌理, 細井紀雄 : 義歯床下粘膜の局所負担圧分布と咬合力の作用点の推定について. 補綴誌 31 : 1174-1185, 1987.
 - 27) Yurkstas, A. and Curby, W. A. : Force analysis prosthetic appliances during function. J. Prosthet. Dent. 3 : 82-87, 1953.
 - 28) 深水皓三 : 総義歯の第一大臼歯部における咀嚼力および咬合力に関する研究. 補綴誌 17 : 491-516, 1974.
 - 29) 三浦不二夫, 角田正明 : 咬合圧 (咀嚼圧) に関する研究. 日歯医師会誌 7 : 293-298, 1954.
 - 30) 坂東永一 : 口顎機能のテレメータリング. 医用電子と生体工学 7 : 281-288, 1969.
 - 31) 岡崎正史 : 咀嚼力の三次元的解析に関する研究. 歯科学報 88 : 1643-1666, 1988.
 - 32) 長尾正憲 : テレメータリングによる全部床義歯の咀嚼時咬合力に関する研究. 昭和63年度科学研究費補助金 一般研究(B)研究成果報告書, 1990.
 - 33) Gysi, A. : Handbuch der Zahnheilkunde IV. Scheff, Berlin u. Wein, 1929, Urban u. Schwarzenberg, 1-171.
 - 34) 中澤 勇 : 下顎運動ノ補綴學的研究 有齒顎ノ運動. 口病誌 13 : 81-98, 1939.
 - 35) 藍 稔 : 切歯点部における咀嚼運動の解析. 補綴誌 6 : 164-200, 1962.
 - 36) 今村嘉宣 : 作業咬合小面傾斜の変化が咀嚼ストローク終末相の下顎運動路に及ぼす影響に関する実験的研究. 歯科学報 84 : 1-82, 1984.