原 著 論 文

局部床義歯の維持歯に伝達される 回転モーメント測定用トランスデューサー

松永 匡司 尾形 和彦 佐藤 隆志

A Transducer for the Measurement of Torque Transmitted to Abutment Teeth of Removable Partial Dentures

Tadashi Matsunaga, Kazuhiko Ogata and Takashi Sato

Abstract: A transducer for the measurement of torque transmitted to abutment teeth of removable partial dentures was newly developed.

The transducer was composed of a right cylinder (12.0 mm×3.5 mm ϕ) made of phosphor bronze as the torsion bar, to the surface of which two strain gauges (KFC-2-D2-11, KYOWA) are adhered symmetrically about the axis of the bar. Torque transmitted to the transducer was detected and evaluated as tensile strain and compressive strain on the torsion bar surface by means of strain gauges.

The transducer was small enough to be easily applied to removable partial dentures for the measurement of torque transmitted to crowns of abutment teeth, and showed satisfactory precision (The instrumental error in measurement was within 3%).

In the present study, the newly developed transducer was revealed to be useful for the measurement of torque transmitted to crowns of abutment teeth by removable partial dentures.

Key words: removable partial denture, abutment teeth, force, torque, transducer

I. 緒 言

局部床義歯の設計に際して義歯の安定や残存組織の保全を図るためには、維持歯に作用する力を正確に把握し、これを適切にコントロールしなければならない¹⁾。局部床義歯から維持歯に伝達される力は力学的観点から、垂直力や側方力などのベクトルと回転モーメントに

大別される。これらの力のうち、垂直力や側方力に関してはこれまでに多くの研究が行われてきた^{2~8)}。しかし、局部床義歯の維持歯や橋義歯の支台歯に伝達される回転モーメントに関しては、回転モーメントを理論的に算出した研究^{9,10)}や、維持歯の傾斜度の変化に基づいて算出した研究^{11~13)}は認められるものの、維持歯に伝達される回転モーメントを直接測定できないので、十分な検討が加えられているとはいえない。

局部床義歯の維持歯に大きな回転モーメントが伝達された場合は、側方力の場合と同様に維持歯を回転、傾斜させて維持歯の歯周組織に対して過剰な応力を生じさせて為害作用を及ぼす。したがって、局部床義歯の維持歯

岡山大学歯学部歯科補綴学第二講座（主任：佐藤隆志教授）
Department of Removable Prosthodontics, Okayama University Dental School (Chief: Prof. Takashi Sato)
平成元年 8 月 4 日受付

図1 トルクセンサの構造と大きさ
M: 回転モーメント

図2 ストレーン・ゲージ(a)とトルクセンサ(b)

図3 回転モーメント検出の原理
M: 回転モーメント
G1~4: ストレーン・ゲージ

に伝達される回転モーメントについて検討を加えることは、義歯の安定や維持歯の保護にとって重要である。しかし現在、局部床義歯の維持歯冠部に伝達される回転モーメントの測定に適したトランスデューサーを入手することができない。

本研究は、局部床義歯の維持歯冠部に伝達される回転モーメントに関する検討を目的として、回転モーメント測定用トランスデューサー（以下、トルクセンサという）を考案、自作し、その性能および実用性について検討を加えた。

II. 方 法

1. トルクセンサの構造

本研究で考案したトルクセンサの構造は、トーション・バーとして用いた磷青銅製の円柱(12.0mm×3.5

図4 ストレーン・ゲージ4枚を用いて構成したブリッジ回路

G1~4: ストレーン・ゲージ

図5 荷重装置

mmφ)の表面に2枚の2軸トルク用箱フェステルゲージ(KFC-2-D2-11, 共和電業社)を円柱の軸に対して線対称に、かつゲージの長辺と円柱の軸が平行になるように接着した(図1, 2)。このような構造を与えることにより、トーション・バーに作用した回転モーメントを、その軸に対して45度の方向に生じるトーション・バー表面の引張応力と圧縮応力(図3)に変換し、これをストレーン・ゲージ4枚を用いて構成したブリッジ回路(図4)によって電気信号として検出できる機能を与えた。

2. トルクセンサの性能に関する検討

このトルクセンサについて、トルクセンサに加えた回転モーメントの理論値とトルクセンサによる検出値の間の直線性、検出値の精度およびトルクセンサの耐久性について検討するために、以下の測定を行った。

一端を固定したトルクセンサを水平に設置し、他端には荷重杆をトーション・バーの長軸に対して垂直に固定した(図5)。荷重杆上でトーション・バーの長軸から異なる方向にそれぞれ20.0mm離れた2点に対して荷重変換器(LM-10 KA, 共和電業社)を用いて0.0~5.0kgfの鉛直下向きの荷重を加えることによって、トルクセンサに0.0~0.1kgf・mの回転モーメントを加えた。

荷重変換器によって検出した荷重量(kgf)とトルク

図6 測定装置のブロック・ダイアグラム

図7 局部床義歯シミュレーター

センサの検出値 ($\mu\epsilon$) を同時に測定し、ブリッジ・ボックス (DB-120, 共和電業社) および動ひずみ測定器 (DPM-602 A, 共和電業社) を用いてアナログ信号 (電圧) に変換した。このアナログ信号をシグナル・プロセッサ (7T18, 日本電気三栄社) を用いてデジタル信号に変換し、フロッピー・ディスクに収録した (図6)。

トルクセンサによる検出値の精度を検討するため、各トルクセンサについて上記の測定を10回行うとともに、トルクセンサ個々のばらつきを検討するために10個のトルクセンサについて測定、記録を行った。また、トルクセンサの耐久性について検討する目的で、上記のトルクセンサの中から1個を任意に選び、パーソナル・コンピュータ (PC-98 XL MODEL 2, 日本電気社) を用いてステッピング・モーターをフィード・バック制御することにより $0.02 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ のくり返し荷重を20万回加えたのち、上記と同様の測定を行った。

得られた各検出値について、荷重変換器による荷重量の測定値に基づいて算出したトルクセンサの軸のまわりの回転モーメントの理論値と、トルクセンサによる検出値の間の相関係数、ならびに各トルクセンサの検出値の最大誤差と平均誤差を求めた。

3. トルクセンサの実用性に関する検討

シリコン製の人工粘膜を有する下顎右側第2小臼歯および第1、第2大臼歯欠損のレンジ製の顎模型上に、右側第1小臼歯を維持歯とし、金属製の平坦な咬合面をも

図8 トルクセンサに加えた回転モーメントの理論値とトルクセンサによる検出値との相関の1例

つ下顎片側遊離端義歯を装着して、これをシミュレーターとした。義歯と維持歯はトルクセンサを介して連結し、トルクセンサはその軸が維持歯歯冠の頬舌的・上下の中央を通り、歯槽頂線と平行になるよう設置した (図7)。義歯の第1大臼歯咬合面の近遠心的、頬舌的中央から頬側に 5.0 mm の点に対して 20 kgf までの垂直方向の一点集中荷重を加え、その荷重量と義歯から維持歯に伝達される回転モーメントを同時に測定、記録した。得られた測定値に基づいて咬合面に加えた荷重量とトルクセンサによる測定値 ($\text{kgf} \cdot \text{mm}$) の間の相関や、トルクセンサによって検出された測定値の基線のドリフトについて検討した。

III. 結 果

荷重変換器による荷重量の測定値に基づいて算出したトルクセンサの軸のまわりの回転モーメントの理論値と、トルクセンサによる検出値の間の相関の1例を図8に示した。この結果は、トルクセンサによる検出値はトルクセンサに加えた回転モーメントと高い比例関係にあることを示している。また、この両者の相関係数を求めて表1に示した。この結果は、被検トルクセンサのいずれにおいても、トルクセンサに加えられた回転モーメントの理論値が $-0.1 \sim 0.1 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ の範囲では、回転モ

表 1 トルクセンサに加えた回転モーメントの理論値 ($-0.1 \sim 0.1 \text{ kgf} \cdot \text{m}$) とトルクセンサによる検出値の間の相関係数と測定誤差

センサ番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
相関係数	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999
最大誤差 (%)	2.81	1.68	2.67	1.95	1.48	0.51	0.39	1.34	1.99	1.26
平均誤差 (%)	1.49	0.71	1.60	1.39	0.66	0.30	0.23	0.71	1.03	0.87

図 9 シミュレーターにおいて義歯に加えられた荷重量とトルクセンサによる測定値

ーメントの理論値とトルクセンサによる検出値との間の相関係数は 0.999 以上であり、両者の間には高い直線性があることが判明した。

つぎに、トルクセンサに加えられた回転モーメントの理論値が $-0.1 \sim 0.1 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ の場合の検出値の最大誤差ならびに平均誤差を求めて表 1 に示した。被検トルクセンサのいずれにおいても検出値の誤差は最大誤差においても 3% 未満を示し、トルクセンサは高い精度を有することが判明した。

トルクセンサに $0.02 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ のくり返し荷重を 20 万回加えた疲労試験の後、トルクセンサに加えられた $-0.1 \sim 0.1 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ の範囲の回転モーメントの理論値とトルクセンサによる検出値の間の相関係数および誤差を求めた結果、相関係数、誤差ともに疲労試験前と変化が認められず、 $0.02 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ の回転モーメントが 20 万回加えられた後にも同一の測定精度が維持できることが判明した。

シミュレーターにおいて義歯に加えられた荷重量と、トルクセンサによる回転モーメントの測定値の変化とは密接な相関を示し、動特性は良好であるとともに、トルクセンサによる測定値の基線はドリフトが認められず安定しており (図 9)、このトルクセンサは義歯に装着した場合にも十分な精度と実用性を示した。

IV. 考 察

局部床義歯から維持歯に伝達される回転モーメントは

維持歯を回転、傾斜させる力として作用し、その回転モーメントが大きい場合には維持歯の歯周組織に対して為害作用を及ぼす。したがって、維持歯に伝達される回転モーメントを正確に把握するとともに、これに影響を与える諸因子との関連について検討を加えることによって、この回転モーメントを適切に制御することは、義歯の安定と維持歯の保護にとって重要である。そのためには、局部床義歯から維持歯歯冠部に伝達される回転モーメントを正確に測定できるトルクセンサが必要であるが、これに適したトルクセンサはみあたらないのが現状である。そこで、本研究では局部床義歯の維持歯に伝達される回転モーメント測定用のトルクセンサを考案、自作し、その性能と実用性について検討を加えた。

1. トルクセンサの構造について

産業界におけるトルクセンサとしては、従来からストレイン・ゲージ式トルクセンサ、差動変圧器形トルクセンサ、位相差検出形トルクセンサならびに磁歪式トルクセンサなどが使用されている^{14),15)}が、これらはいずれも大型であるので局部床義歯の維持歯に伝達される回転モーメントの測定には応用できない。局部床義歯の維持歯に伝達される回転モーメントの測定用トルクセンサは、義歯床内に設置する必要からできるだけ小型にし、かつセンサ自体の発生する雑音を最小限に抑えるため単純な構造を与えなければならないので、ストレイン・ゲージを応用したトルクセンサとした。

一般的に弾性変形を示す棒 (トーション・バー) に回転モーメントが作用してその軸がねじれた場合、軸に対して 45 度の方向に引張応力と圧縮応力が生じる。この応力によるトーション・バー表面の歪の大きさは、トーション・バーの比例限度内においては回転モーメントの大きさに比例するので、このねじり歪をストレイン・ゲージを用いて電気信号として検出すれば回転モーメントの測定が可能である。そこで、ストレイン・ゲージをトーション・バーの表面に、その軸に対して ± 45 度の方向に各 2 枚ずつ、合計 4 枚接着してブリッジ回路を構成することにより、温度補償を可能とすると同時にトーション・バーの曲げによる影響を打ち消して、ねじり歪の

みを効率よく電気信号として検出できるので、本研究のトルクセンサはこの原理¹⁴⁻¹⁶⁾に基づいた構造を与えた。

トーション・バーの素材としては、弾性材料としての性質、機械的性質および成形加工性に優れている 磷青銅¹⁷⁾を使用した。ストレイン・ゲージとして用いた 2 軸トルク用箔フェステルゲージ (KFC-2-D2-11, 共和電業社) は、グリッドの長さ 2.0 mm, 幅 3.2 mm, ベースの長さ 12.0 mm, 幅 7.0 mm と小型であり、ねじり歪の検出を容易にするために 2 本の軸はベースの各辺に対して 45 度の角度をもって互に直交する構造を有している。したがって、このゲージを 2 枚用いることにより 4 枚ゲージのブリッジ回路を構成することができる。

本研究において考案したトルクセンサのトーション・バーの寸法は、義歯床内への設置が可能であり、かつストレイン・ゲージが接着できる大きさ (12.0 mm×3.5 mm φ) とした。このトルクセンサの大きさは既製のストレイン・ゲージを応用したトルクセンサとしては最小の部類に属するものと考えられる。

2. 回転モーメントの測定範囲について

局部床義歯から維持歯の歯冠部に伝達される回転モーメントの大きさについては実測例がないので、トルクセンサの測定範囲については下記の事項を参考にして決定した。

最大咬合力の大きさについては、多くの検討が行われ、性別、歯種、天然歯と人工歯、あるいは補綴物の種類などによって異なることが知られている¹⁸⁻²¹⁾。局部床義歯の最大咬合力は 14.5~42.0 kgf と報告されており¹⁹⁾、最大咀嚼力は最大咬合力の 1/2 である²²⁾ことを考慮すれば、局部床義歯の最大咀嚼力は 21.0 kgf 以下と考えられる。一方、局部床義歯の人工歯の排列位置は、対合歯の制約を受けて歯槽頂からはずれる場合もあるが、多くの場合、人工歯は歯槽頂に排列される。人工歯の排列位置や人工歯の頬舌径を考慮すれば、歯槽頂から咬合力の作用点までの頬舌的距離は、最大 5.0 mm とみなすことができる。以上のことから、局部床義歯を義歯床下粘膜の支持を全く受けない片持梁と仮定した場合、咀嚼圧の作用時に維持歯に伝達される回転モーメントは最大 0.105 kgf・m と算出できる。実際の局部床義歯においては、維持歯歯根膜や義歯床下粘膜による支持、あるいは義歯と維持歯との連結様式などの影響によって維持歯に伝達される回転モーメントは、上記の計算値よりも大幅に減少することが予想される。したがって、局部床義歯の維持歯に伝達される回転モーメント測定用のト

ルクセンサの測定範囲は $-0.1 \sim 0.1 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ であれば十分であると判断し、この範囲の回転モーメントについてトルクセンサの性能の検討を行った。

平均咀嚼力は食品の種類によるばらつきは認められるものの 0.3~1.8 kgf²³⁾ と報告されている。この値と、上記の人工歯の排列位置を考慮に入れると、咀嚼時に局部床義歯の維持歯に伝達される平均的回転モーメントの大きさは 0.009 kgf・m 以下と考えられる。一方、平均咀嚼力は最大咀嚼力の 1/3 以下と小さい値を示す²²⁾ことから、食品咀嚼時に最大咀嚼力が発揮される頻度は少ないと考えられるものの、平均咀嚼力の 2 倍程度の咀嚼力は高頻度に発揮され得るものとして、疲労試験においてトルクセンサに加えた回転モーメントは 0.02 kgf・m/回とした。また、1 日の咀嚼時間を 60 分間²⁴⁾、1 分間の咀嚼回数を 80 回²⁵⁾とすると、1 日あたりの咀嚼回数は約 5,000 回である。一方、義歯装着ののち義歯床下粘膜の被圧縮性が安定するのに 1 カ月を要する²⁶⁾ことや、維持歯に伝達される咬合力の大きさが安定するまでに 1~1.5 カ月を要する²⁷⁾ことなどを考慮すれば、維持歯に伝達される回転モーメントに関する検討においても、約 40 日以上での検討期間を要することが予想されることから、20 万回の疲労試験を行った。

3. 測定結果について

トルクセンサに加えられた回転モーメントの理論値と、トルクセンサによる検出値の間の相関については、相関係数は 0.999 以上を示して良好な直線性が得られた。各トルクセンサの示した最大誤差は 0.39~2.81% の範囲、最大誤差の平均値は 1.61%、標準偏差は 0.80% であり、各トルクセンサの誤差に多少のばらつきは認められるが、いずれのトルクセンサにおいても最大誤差は 3% 未満であった。この値は、測定に用いた荷重変換器の精度 ($\pm 1\%$) や、ブリッジ・ボックス、動ひずみ測定器およびシグナル・プロセッサの感度変化の影響などを含んだ値であることを考慮すれば、本研究において考案したトルクセンサ自体は高い精度を有するものといえる。

耐久性に関わる因子としてはトーション・バーの疲労、ストレイン・ゲージの疲労および両者を接着している接着剤の疲労が考えられる。トーション・バーは直径 5.0 mm の磷青銅製の円柱を旋盤を用いて加工したものであり、材質は均一で形態は単純であるため、他の二者に比較して疲労しにくいと考えられる。また、一般にストレイン・ゲージ (箔ゲージ) の疲労限界は $\pm 1,500 \mu$

ε の大きさの歪に対して 1.5×10^6 回であるといわれている¹⁶⁾。本研究において考案したトルクセンサに $0.02 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ の回転モーメントが作用したときに、トーション・バーの表面に生ずる歪の大きさを動歪測定器の校正値とトルクセンサの出力電圧に基づいて算出したところ、約 $1,000 \mu\varepsilon$ であった。しかし、このトルクセンサにおいては4枚ゲージ法を用いているので、出力は実際の歪の4倍になっている。したがって、実際にストレーン・ゲージに作用した歪は約 $250 \mu\varepsilon$ であり、仮に $0.1 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ の回転モーメントが作用したとしてもストレーン・ゲージに作用する歪は $1,250 \mu\varepsilon$ となり $1,500 \mu\varepsilon$ よりも小さいので、20万回の使用には十分耐え得るものと考えられる。接着剤の疲労は問題となるところであるが、本研究における疲労試験の結果、平均咀嚼力がトルクセンサに加わった場合に20万回以上の耐久性のあることが判明した。

本研究ではトルクセンサ単体の性能の他に、実測例としてシミュレーターを用いてトルクセンサの実用性について検討した。その結果、実用に際してもこのトルクセンサの測定値は安定しており、再現性の高いことが判明した。以上のことから、このトルクセンサは目的に叶う実用性を十分に備えたものといえる。

以上のように本研究において考案したトルクセンサは、小型化と構造の単純化を実現し、精度、直線性および耐久性などの点で良好な成績を示した。また、局部床義歯シミュレーターへの応用に際しても、このトルクセンサは適用の容易さ、優れた動特性と安定性を示した。

被験者の口腔内における測定に際してはトルクセンサの防水が問題になるが、この点に関しては、口腔内において維持歯に伝達される垂直力や側方力の測定用トランスデューサーに対して著者らが行っている防水法^{4,8)}を応用することによって、局部床義歯の維持歯に伝達される回転モーメントの口腔内における経時的変化の観察にも適用できるものと考えられる。

V. 結 論

局部床義歯から維持歯に伝達される回転モーメントを測定するために、加えられた回転モーメントをトーション・バー表面の引張応力と圧縮応力に変換し、これをストレーン・ゲージを用いたブリッジ回路によって検出するトランスデューサーを考案、自作した。

このトランスデューサーの測定精度、耐久性および実用性について検討した結果、このトランスデューサーは

下記の成績を示した。

1. $-0.1 \sim 0.1 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ の範囲の回転モーメントの測定において、回転モーメントの理論値とトランスデューサーによる検出値の間の相関係数は0.999以上、また検出値の最大誤差は3%未満であり、高い直線性と優れた測定精度を示した。

2. $0.02 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ のくり返し荷重を20万回加えた疲労試験によっても、その直線性と測定精度に変化をきたさないだけの耐久性を示した。

3. 小型であるため局部床義歯への適用が容易であり、その測定値は優れた動特性と安定性を示した。

以上のことから、このトランスデューサーは測定精度、耐久性ならびに実用性のいずれの点においても、局部床義歯の維持歯に伝達される回転モーメントの測定に適していることが判明した。

本論文の要旨は第80回日本補綴歯科学会学術大会（昭和63年10月22日、岐阜）において発表した。

文 献

- 1) 中沢 勇：部分床義歯学 増補版，39～56，永末書店，京都，1962。
- 2) Kydd, W.L., Dutton, D.A. and Smith, D.W.: Lateral forces exerted on abutment teeth by partial dentures, J Am Dent Assoc, 68: 859～863, 1964.
- 3) Matsumoto, M. and Goto, T.: Lateral force distribution in partial denture design, J Dent Res, 49: 359～364, 1970.
- 4) 尾形和彦，前田芳信，西川悟郎ほか：有床義歯の維持歯に作用する側方力，第1報 測定方法について，補綴誌，27: 1035～1039, 1983.
- 5) 西川悟郎，脇田慎一，前田芳信ほか：局部床義歯の間接維持歯に作用する力に関する実験的研究，阪大歯学誌，28: 262～268, 1983.
- 6) 青木孝朗，金隅 毅，内田欣臣ほか：中間義歯の維持歯に伝達される力に関する研究—歯槽骨の吸収および義歯床翼の長さの影響—，岡山歯学会雑誌，7: 29～36, 1988.
- 7) Ogata, K., Nishigawa, G. and Aoki, T. et al.: Lateral forces exerted on the abutment tooth of complete mandibular overdentures, J Oral Rehabil, 15: 429～438, 1988.
- 8) Ogata, K., Matsunaga, T. and Sato, T.: Vertical and lateral forces transmitted from denture to abutment teeth, J Dent Res, 67: 738, 1988.
- 9) 宮入裕夫，村松篤良：橋義歯に関する力学的研究 第1報

- 橋脚歯の支持負担能力, 歯理工誌, 11 : 231~238, 1970.
- 10) 宮入裕夫, 村松篤良 : 橋義歯に関する力学的研究 (第 10 報) 橋義歯の荷重分担に及ぼす橋体の曲げ剛性と支持および負荷方法に関する検討, 歯理工誌, 16 : 218~225, 1975.
 - 11) 澤 潤 : 遊離端義歯における義歯床の被圧変位による支台歯の回転力負担に関するクラスプの咬合力伝達特性について, 歯科学報, 76 : 1645~1670, 1976.
 - 12) 佐久間重雄 : 遊離端義歯における維持装置の軸面設定条件が支台歯の回転力負担に及ぼす影響に関する実験的研究, 歯科学報, 79 : 2241~2270, 1979.
 - 13) 法花堂治 : 多数歯欠如症例における可撤性局部義歯の支台装置の咬合力伝達特性が支台歯歯周組織の圧負担状態に及ぼす影響に関する実験的研究, 歯科学報, 88 : 1013~1068, 1988.
 - 14) 渡辺 理 : ひずみゲージとその応用 (改訂版), 1~98, 298~321, 日刊工業新聞社, 東京, 1977.
 - 15) 森村正直, 山崎弘郎 : センサ工学 初版, 1~131, 朝倉書店, 東京, 1982.
 - 16) 竹内 均編 : センサのすべて, Newton 別冊, 84~95, 教育社, 東京, 1985.
 - 17) 佐藤 朗 : 計測概論 初版, 270~288, コロナ社, 東京, 1972.
 - 18) 山崎 健 : 各種補綴物における咬合力の比較に関する研究, 日歯医師会誌, 12 : 1~10, 1960.
 - 19) 佐々川明 : 局部床義歯の設計と同義歯の咀嚼力との関係について, 補綴誌, 12 : 53~75, 1968.
 - 20) 河野修己 : 維持装置の異なる遊離端義歯の咬合力, 日歯評論, 349 : 1495~1527, 1971.
 - 21) Lassila, V., Holmlund, I. and Koivumaa, K.K. : Bite force and its correlations in different denture types, Acta Odontol Scand, 43 : 127~132, 1985.
 - 22) Brudevold, F. : A basic study of the chewing forces of a denture wearer, J Am Dent Assoc, 43 : 45~51, 1951.
 - 23) Yurkstas, A. and Curby, W.A. : Force analysis of prosthetic appliances during function, J Prosthet Dent, 3 : 82~87, 1953.
 - 24) Sheppard, I.M. and Markus, N. : Total time of tooth contacts during mastication, J Prosthet Dent, 12 : 460~463, 1962.
 - 25) Neill, D.J. : Studies of tooth contact in complete dentures, Br Dent J, 123 : 369, 1967.
 - 26) 佐藤 裕 : 下顎部分床義歯装着者の顎堤変化に関する研究, 口病誌, 35 : 34~57, 1968.
 - 27) 青木孝朗, 尾形和彦, 西川悟郎ほか : 有床義歯装着者の歯および粘膜への咬合力の負担配分に関する経時的変化について 第 4 報 維持歯の負担率, 補綴誌, 30 : 903~907, 1986.