原 著 論 文

咬合面形態が頬舌側のモーメントに及ぼす影響

岡本 和彦

Effect of the Occlusal Form on the Buccal and Lingual Moment

Kazuhiko Okamoto

Abstract : In order to investigate the effect of the occlusal form on the lateral force transmitted to a tooth during mastication, the buccolingual forces were measured as the moment occurring around the center of tooth rotation. The four following types of occlusal form were adopted : the basic form (type B), the form in which the outer half of the functional cusp was partially eliminated (type OF), and the forms in which the buccal or lingual cusp was totally eliminated from the type B (type FC or type NC). These types had no occlusal contact at the intercuspal position and lateral excursion. Buccal and lingual moments were measured by load cells which were contained in a bridge at the missing lower first molar.

The results obtained were as follows :

1. The buccal moment was observed more frequently than the lingual moment.
2. The interocclusal space, at which the moments occurred, decreased according to the progress of mastication. And the moments were observed near the intercuspal position.
3. Differences were observed in the frequency and the intensity of the moments among subjective foods.
4. The lingual moment was larger and the buccal moment was smaller in the type OF than in the type B.
5. The buccal moment was smaller in the type FC than in the type B. However, little difference was observed between the lingual moments of these two types.

Key words : occlusal form, lateral force, center of the tooth rotation, moment, masticatory force

I. 緒 言

明海大学大学院歯学研究科歯科補綴学専攻（指導：天野秀雄教授）

Meikai University Graduate School of Dentistry, Major in Prosthodontics (Director : Prof. Hideo Amano)

平成6年3月30日受付

歯冠補綴物を製作する上で咬合面形態は咀嚼能率に優れ、かつ歯周組織に対して為害性の少ない形態とする必要がある。そのため、歯冠補綴物の咬合面形態と咀嚼力との関係について多くの研究^{1~29)}が行われてき

た。

咀嚼力の研究は、初期には咬合面に加わる垂直成分の測定^{1~11,13)}が行われたが、歯の支持組織は垂直力よりも側方力に対して弱い¹⁶⁾といわれることから、側方成分の測定¹⁷⁾、さらに垂直成分と側方成分を含めた三次元的測定^{14,20,23,26~29)}が行われるようになった。また、測定方法も模型によるシミュレーション実験^{12,14,18,19,21,23,26)}、口腔内では総義歯^{1,2,9)}、可撤性局部床義歯^{3,5~8,10,11,13,15,17,28)}、ブリッジのポンティック部^{20,22,24,25)}、あるいは天然歯根上^{4,27,29)}などに装置を組み込み測定が行われている。

しかし、これらの咀嚼力の測定では、荷重部位による支持組織への影響が考慮されておらず、測定値と荷重部位との関係について不明確なものが多い。

一方、Morris³⁰⁾は支持組織中に生じる応力分布はモーメントの大きさによって推察でき、また、垂直力であっても荷重点が歯軸から外れるとモーメントを生じると述べている。そして、歯の支持組織に生じる負担は咬合面に加わる荷重が同じベクトルであっても、荷重部位によって異なることが光弾性実験³¹⁾あるいは有限要素法^{32~37)}により報告され、咬合面への荷重によって生じる歯根膜部の応力は荷重の角度や部位にかかわらず、その荷重のモーメントと比例する³⁷⁾と報告されている。したがって、咬合面に加わる咀嚼力を三次元的に測定しても、荷重の中心の位置が不明確であれば支持組織に生じる負担について検討することは困難と思われる。

そこで、下顎第一大臼歯欠損者のポンティック部に荷重計を設置したブリッジを装着し、咀嚼時に咬合面に加わる荷重によって歯の回転中心の周囲に生じるモーメントを測定することにより、咬合面形態が頬舌側のモーメントに及ぼす影響について検討を行った。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は本学の学生および教職員のうち、下顎第一大臼歯欠損のほかは歯列、歯周組織および顎口腔系に異常の認められない年齢 22~42 歳の成年男子で、いわゆる正常被蓋を有する 4 名（以下、正常被蓋者とする）と両側性臼歯部反対咬合の 1 名（以下、反対咬合者とする）とした（表 1）。

2. 実験装置の作製

1) 実験用ブリッジの作製

各被験者の下顎第一大臼歯欠損に対して、ポンティック部に荷重計を設置可能な実験用ブリッジをそれぞれ 12% 金含有銀パラジウム合金で鑄造作製した（図 1）。

2) 荷重計の構造

荷重計は、縦 4.7 mm、横 7.8 mm、深さ 4.0 mm の大きさとし、熱処理を行ったマルテンサイト系合金（シタボックス[®]、双葉電子工業社製）により製作した。荷重計は収納箱部と可動部からなり、可動部が収納箱内に設けた誘導面を頬舌的に滑走できる構造とした（図 2）。可動部が滑走する収納箱の誘導面には歯

図 1 実験用ブリッジの模式図

図 2 荷重計の構造

表 1 被験者

被験者	年齢	欠損部位	咬合様式
A	27	6	片側性平衡咬合
B	42	6	片側性平衡咬合
C	24	6	片側性平衡咬合
D	22	6	犬歯誘導咬合
E	29	6	両側性平衡咬合 (両側性臼歯部反対咬合)

図 3 受感面に生じる分力

r : 回転中心から受感面までの距離
 G : 校正荷重量
 $G \sin (\theta + \theta')$: 受感面に生じる水平分力

の回転中心を、平均的な歯根長³⁸⁾を有する歯根部の根尖側 1/3 として曲率を設定した。そして、収納箱部の誘導面とそれに対応する可動部下面の接触は、摩擦抵抗を可及的に少なくするため直径 0.6 mm のスチールボールを介在させた。

起歪部はステンレス製とし、頬舌側面にひずみゲージ (KFR-02 N-120-C 1[®], 共和電業社製) を貼付した。そして、引張り側のひずみゲージを用い、それぞれ個別にホイートストブリッジを 1 枚ゲージ法にて構成した。なお、防湿はエポキシ樹脂系接着剤を可及的に薄く塗布することにより行い、また、可動部と収納箱部との間隙は RTV シリコンゴム (KE 45[®], 信越化学工業社製) により封鎖した。

3) 荷重計の特性

本荷重計の容量は 80.0 kg・mm, 過負荷 150% full scale とした。荷重計の校正は万能試験機 (INSTRON 4302[®], INSTRON 社製) を用い、荷重角度は 0°~30° を 10° 間隔とし、万能試験機における荷重計固定台の固定角度を変えて行った。また、荷重部位は受感面の中心から頬舌的にそれぞれ 1.0 mm, 2.0 mm 離れた部位とし、各条件について 0~12.0 kg を 0.5 kg 間隔に荷重を加えて行った。

荷重量からモーメント量への変換は図 3 に示すように校正荷重量 G を加えた時に可動部受感面に生じる分力 $G \sin (\theta + \theta')$ に回転中心から受感面までの距離 r を掛けることによって算出した。その結果、荷重点および荷重角度にかかわらず算出されたモーメントと起

図 4 モーメントとひずみ量との関係

歪部の引張り側に生じたひずみ量との関係は図 4 に示すように同一曲線で表すことができた。

荷重計の相対精度は 5.0% full scale 以下であった。また、20~40°C の温度変化時での温度影響試験ならびに 37°C 水中下における 180 分間にわたる水中係留試験を行った結果、それぞれ 1.98% full scale/°C, 3.6% full scale となった。

4) 荷重計のポンティック部への設置規準

荷重計の設置位置は基準平面を咬合平面とし、荷重計受感面の中心を下顎第二小臼歯遠心小窩と下顎第二大臼歯中央小窩とを結ぶ直線上におき、その頬舌的傾斜は反対側下顎第一大臼歯に近似させた。

3. 咬合面形態の設定と種類

基本となる咬合面形態は、下顎第一大臼歯中央小窩と上顎第一大臼歯近心舌側咬頭とを対向させ、両側性平衡咬合様の咬合接触状態を付与したのち、咬頭嵌合位および側方運動時の咬合接触を避けるため、咬合紙 1 枚分の間隙を付与した (以後、これを基本形態とする)。また、反対咬合者では上顎第一大臼歯遠心頬側咬頭と下顎第一大臼歯中央小窩を対向させた。

さらに、基本形態から機能咬頭外斜面を削除した形態 (以下、機能咬頭外斜面削除とする)、咬頭傾斜を減少させた形態すなわち、機能咬頭あるいは非機能咬頭を削除した形態 (以下、それぞれ機能咬頭削除、非機能咬頭削除とする) の 4 形態を設定し、作製した (図 5)。ただし、両側性臼歯部反対咬合者では下顎第一大臼歯の舌側咬頭を機能咬頭、頬側咬頭を非機能咬頭とした。そして、作製した各咬合面形態の鑄造体は荷重計受感面にネジにより固定し、着脱できる構造とした (図 1)。

図5 咬合面形態の設定

4. 頬舌側のモーメントの測定

どの被験者においても実験用ブリッジは同一の荷重計をポンティック部に歯科用仮着セメント (Tempbond®, Kerr 社製) により固定後, 各被験者の支台歯に装着した。そして, 荷重計に生じる頬舌側のモーメントは動ひずみ測定器 (DPM-612 B®, 共和電業社製) を使用し, 下顎切歯点部の前頭面内運動は下顎運動測定器 (Mandibular Kinesiograph K 5 型, Myo-Tronics Research 社製) で測定した。これらの記録はデータレコーダー (RTP-650 A®, 共和電業社製) を介して, サーマルドットレコーダ (オムニコーダー 8 M 14®, 日本電気三栄社製) 上に行った。

被験食品は食品性状の分類²³⁾により植物繊維性食品としてリング, 切断性加工食品としてかまぼこ, 粉碎性食品としてピーナッツ, 抵抗性・延性食品の代用食品としてパテ状シリコン印象材のベース (以後, パテ状シリコンと略す) (Coltoflax®, Coltene 社製) だけを選択した。なお, 被験食品の大きさは, 一辺が約 1 cm の立方体とし, ピーナッツに関しては, 一粒 (約 3 g) とした。

咀嚼部位は実験用ブリッジ側とし, 咀嚼回数は 25 ストロークとして, これを各被験食品について 5 回繰り返して行った。

本荷重計は荷重に対して圧縮側は基準線より下方向, 引張り側は上方向へのモーメントが発現し, また, 回転中心方向への荷重では頬側および舌側モーメントともに基準線より下方向へ発現するため, 頬側および舌側モーメントの大きさは引張り側の基準線より

図6 原波形の測定部位 (被験食品: りんご)

上方向に発現した波形のピーク値を計測し, 25 ストローク咀嚼中におけるピーク値の合計をモーメント合計値, ピーク値のなかで最大のものをモーメント最大値として求めた (図 6)。

III. 結 果

1. 頬舌側のモーメントの発現様相

図 7 は正常被蓋者について咬合面を基本形態としたときの各被験食品の咀嚼初期から中期におけるモーメント発現様相の代表例を示す。縦軸は切歯点の上下的位置で赤線は開口相, 白線は閉口相を表す。また, 横軸には右側, 左側にそれぞれ頬側および舌側モーメントの大きさを示す。

頬舌側のモーメントはかまぼこあるいはパテ状シリコン咀嚼において, 閉口相の咬頭嵌合位付近で頬側モーメント, 開口相初期に舌側モーメントが発現した。また, りんごでは閉口相の咬頭嵌合位付近で頬側モーメント, 閉口相中期に頬側および舌側モーメントが発現した。ピーナッツでは閉口相中期から頬側および舌側モーメントが多く発現し始め, 開口相初期に舌側モーメントが発現した。

しかし, 閉口相におけるモーメントは咀嚼の進行とともに発現時期が咬頭嵌合位付近へ移動し, また, モーメントの方向も頬側方向に集中するようになった。

頬舌側のモーメントの発現様相はパテ状シリコンのような軟らかい被験食品では各咀嚼ストロークでモーメントの発現方向, 発現時期ともにばらつきが少

図 7 正常被蓋者におけるモーメントの発現様相の一例 (基本形態)

図 8 反対咬合者におけるモーメントの発現様相の一例 (基本形態)

なく、開口相初期に舌側モーメント、咬頭嵌合位付近で頬側モーメントが発現する傾向を示した。

しかし、ピーナッツのような硬い被験食品では閉口相の比較的早い、咬合面間距離が離れている場合においてもモーメントが発現し、閉口相に舌側モーメント、次いで頬側モーメントが現れるものと頬側モーメントが2相に現れるものがみられた。

また、いずれの被験食品においても咀嚼の進行に伴いモーメントは咬頭嵌合位付近で多く発現した。

図 8 は反対咬合者について、基本形態としたときのモーメント発現様相の代表例を示す。モーメントの発現時期は正常被蓋者とほぼ同様であったが、モーメントの発現方向は舌側モーメントが頬側モーメントより多く発現し、正常被蓋者とは逆の傾向が認められた。

2. 各被験食品咀嚼時における頬舌側のモーメント

1) モーメント合計値

図 9 は基本形態における各被験食品を咀嚼した時に発現した頬側および舌側モーメント合計値を示す。

正常被蓋者において頬側モーメントの大きさは、ピーナッツ>りんご≧かまぼこ>パテ状シリコーンの順に小さくなる傾向が認められた。また、舌側モーメントでは、ピーナッツ≧パテ状シリコーン>りんご>かまぼこの順に小さくなる傾向がみられた。一方、反対咬合者Eにおける頬側モーメントの大きさではピーナッツ>パテ状シリコーン>りんご>かまぼこの順に小さくなる傾向が認められた。また、舌側モーメントではピーナッツ>りんご>かまぼこ>パテ状シリコーンの順に小さくなる傾向がみられた。

このように、モーメント合計値においては、粉碎性食品であるピーナッツが被験食品のなかではどの被験

図 9 基本形態におけるモーメント合計値

者においても頬側および舌側モーメントとともに最も大きな値を示した。

2) モーメント最大値

図 10 は基本形態で各被験食品を咀嚼させた時の頬側および舌側モーメント最大値を示す。

正常被蓋者において頬側モーメントの大きさは被験者B以外でピーナッツ>りんご>かまぼこ>パテ状シリコーンの順に小さくなる傾向がみられ、舌側モーメントではピーナッツ≧パテ状シリコーン≧りんご>かまぼこの順に小さくなる傾向が認められた。

図 10 基本形態におけるモーメント最大値

一方、反対咬合者Eにおける頬側モーメントの大きさではピーナッツ>パテ状シリコン>りんご>かまぼこの順に小さくなる傾向がみられ、舌側モーメントではピーナッツ>りんご>かまぼこ>パテ状シリコンの順に小さくなる傾向が認められた。

3. 咬合面形態と頬舌側のモーメント

1) モーメント合計値

図 11 は各咬合面形態におけるモーメント合計値を表し、左側に頬側モーメント、右側に舌側モーメントを示す。モーメントの大きさは発現方向、被験食品、咬合面形態によって、それぞれほぼ同様の傾向を示したが、各被験者間による差が大きかった。そこで、咬合面形態ごとに各被験食品を咀嚼させた時の頬側および舌側モーメント合計値を算出し、各正常被蓋者について各被験食品のモーメント合計値を平均値が2、標準偏差が1となるように規準化したのち、モーメント合計値と、その標準偏差を求めた。

図 12 は各咬合面形態のうち機能咬頭の条件すなわち、基本形態、機能咬頭外斜面削除および機能咬頭削除とを比較するため、モーメント合計値について規準化を行ったものである。上段に頬側モーメント、下段

図 11 各咬合面形態におけるモーメント合計値

に舌側モーメントを示す。

機能咬頭外斜面削除は基本形態と比較して、被験食品にかかわらず頬側モーメントが小さくなり、舌側モーメントではピーナッツ以外の被験食品で大きくなり、ともに有意差が認められた。

機能咬頭削除は基本形態と比較して被験食品にかかわらず頬側モーメントが小さくなり有意差が認められた。舌側モーメントはりんごで大きくなり、ピーナッツでは逆に小さくなりともに有意差がみられた。また、機能咬頭外斜面削除と比較して、頬側モーメントが被験食品にかかわらず小さくなり有意差が認められ、舌側モーメントではりんご以外の被験食品で小さくなり有意差がみられた。

図 13 は各咬合面形態のうち咬頭削除の条件すなわち、基本形態、機能咬頭削除および非機能咬頭削除とを比較するため、モーメント合計値について規準化を行ったものである。

機能咬頭削除は基本形態と比較して、頬側モーメントが被験食品にかかわらず小さくなり有意差が認められ、舌側モーメントではりんごで大きくなり有意差が

図 12 機能咬頭外斜面削除と咬頭削除におけるモーメント合計値の比較

** : $P < 0.01$, * : $P < 0.05$

図 13 機能咬頭削除と非機能咬頭削除におけるモーメント合計値の比較

** : $P < 0.01$, * : $P < 0.05$

みられた。

非機能咬頭削除は基本形態と比較して、頬側モーメントがりんごとかまぼこにおいて小さくなり有意差が認められた。機能咬頭削除は非機能咬頭削除と比較して、頬側モーメントが被験食品にかかわらず小さくなり有意差が認められた。舌側モーメントでは被験食品にかかわらず、わずかに小さくなる傾向がみられたが、有意差は認められなかった。

2) モーメント最大値

図 14 は各咬合面形態におけるモーメント最大値を表し、左側に頬側、右側に舌側モーメントを示す。

図 15 は各咬合面形態のうち機能咬頭の条件について、モーメント合計値の規準化と同様の方法でモーメント最大値の規準化を行ったものである。上段に頬側モーメント、下段に舌側モーメントを示す。

機能咬頭外斜面削除は基本形態と比較して、頬側モーメントが被験食品にかかわらず小さくなり、有意差が認められた。舌側モーメントでは被験食品にか

わらず大きくなり、かまぼこでは有意差が認められた。

機能咬頭削除は基本形態と比較して、頬側モーメントが被験食品にかかわらず小さくなり有意差が認められ、舌側モーメントは被験食品がりんご、かまぼこの場合に大きくなり有意差がみられた。しかし、パテ状シリコーンでは逆に小さくなり有意差が認められた。機能咬頭削除は機能咬頭外斜面削除と比較して、頬側モーメントではパテ状シリコーン以外の被験食品において小さくなり有意差が認められた。そして、舌側モーメントではりんご以外の被験食品で小さくなり、ピーナッツ、パテ状シリコーンでは有意差がみられたが、逆にりんごでは大きくなり有意差が認められた。

図 16 は各咬合面形態のうち咬頭削除の条件についてモーメント最大値の規準化を行ったものである。

機能咬頭削除は基本形態と比較して、頬側モーメントが被験食品にかかわらず小さくなり有意差が認められた。そして、舌側モーメントではりんご、かまぼこ

図 14 各咬合面形態におけるモーメント最大値

図 15 機能咬頭外斜面削除と咬頭削除におけるモーメント最大値の比較

** : $P < 0.01$, * : $P < 0.05$

で大きくなり、りんごでは有意差がみられたが、逆にピーナッツ、パテ状シリコンでは小さくなり、それぞれ有意差が認められた。

非機能咬頭削除は基本形態と比較して、頬側モーメントがピーナッツ以外の被験食品を用いた場合に小さくなり、かまぼこで有意差が認められた。そして、舌側モーメントではパテ状シリコンを用いた場合に小さくなり有意差が認められた。しかし、りんご、かまぼこでは大きくなり、りんごで有意差が認められた。

機能咬頭削除は非機能咬頭削除と比較して、頬側モーメントが被験食品にかかわらず小さくなり有意差が認められた。そして、舌側モーメントでは被験食品にかかわらず機能咬頭削除で小さくなり、ピーナッツにおいては有意差が認められた。

IV. 総括と考察

歯の支持組織に対して負担過重とならない歯冠補綴物を製作するため、咀嚼力と咬合面形態との関係につ

いての研究が行われてきた。

しかし、咬合面へ加わる咀嚼力を測定する場合、その咀嚼力を支える歯の支持組織への負担の検討も必要であると考えられる。そこで、歯に加わる咀嚼力をモーメントとして測定する装置を製作し、咬合面形態が咀嚼時における頬舌側のモーメントに及ぼす影響について検討を行った。

1. 研究方法について

1) 荷重計について

Morris³⁰⁾は歯の支持組織に生じる応力の分布はモーメントに比例し、また、歯軸と平行な荷重であっても加わった位置が歯軸から偏位していると、側方力と同様にモーメントが生じると述べている。そして、光弾性実験³¹⁾あるいは有限要素法³²⁻³⁷⁾による解析から、荷重の加わる位置が偏位したときに偏位側の歯頸部に応力が集中することや、同じベクトルを有する荷重であっても、加わる位置によって支持組織内の応力

図 16 機能咬頭削除と非機能咬頭削除におけるモーメント最大値の比較

** : $P < 0.01$, * : $P < 0.05$

が異なることが報告されている。また、高橋ら³⁵⁾は歯の回転中心に対して算出したモーメントと歯根膜内の応力は比例するがモーメント算出時の回転中心は荷重角度や荷重の位置によって変化すると報告している。しかし、猪野ら³⁷⁾は同様に回転中心の移動について報告しているものの、モーメント算出時の回転中心を歯軸に対して垂直な方向から加えた側方力によって生じる回転中心に固定することにより、モーメントと歯根膜内に生じる応力との比例関係はより明確にすることができると述べている。

また、モーメントとして測定した場合は回転中心方向に加わった荷重でモーメントは発現しないため、測定は不可能であるが、歯根膜内に生じる応力はこの方向の荷重のときに最も小さい³⁷⁾ことから、支持組織内の応力が小さいと考えられる。そこで、モーメントの大きさを測定することは歯の支持組織に生じる咀嚼力の負担をより正確に把握できるものと考えた。

本荷重計では平均的な歯根長³⁸⁾を有する歯根部の根

尖側 1/3 に回転中心を設定し、歯に加わる咀嚼力のうち頬舌側の側方力をモーメントとして測定できるようにしたが、モーメントとひずみ量との関係は校正の結果、荷重部位、荷重角度の条件にかかわらずほぼ比例関係を示した (図 4)。

また、本荷重計は起歪部の表裏の同一部位にひずみゲージを貼付し、2 枚アクティブ法、圧縮側のひずみゲージおよび引張り側のひずみゲージについてそれぞれに校正を行った結果、モーメントとひずみゲージにおけるひずみ量とが最も良好な比例関係を示した引張り側のひずみゲージだけを用いることにした。そして、相対精度は尾形³⁹⁾の報告値 $\pm 6.0\%$ よりわずかに小さく、口腔内での測定は可能であると考えられた。

2) 咬合面形態の設定について

咀嚼時に咬合面に生じる力には、切断、臼磨する際の食塊の抵抗によるものと、対合歯が直接接触することによって生じる力が考えられる。これらのうち、本実験では咀嚼時の歯の接触によるものではなく、食塊を介した咀嚼力だけによって生じる頬舌側力を測定するために、咬合状態は咬頭嵌合位において対合歯との接触を避ける形態とした。

咬合面形態と咀嚼力に関するこれまでの研究では、咀嚼力の大きさ、方向は一般に咬合面の各斜面に垂直なベクトルを有する咀嚼力が加わり、その合力が咬合面、すなわち歯に加わるとされている^{12,17,23)}。したがって、咬合面形態と咀嚼力との関係を解明するには各斜面の影響を検討する必要があると考えられる。そこで、これらのことを考慮し、咬合面形態は基本形態、そして、この形態から機能咬頭外斜面だけを削除した形態、すなわち、機能咬頭外斜面削除、機能咬頭全体を削除した形態すなわち、機能咬頭削除、また、非機能咬頭については外斜面の頬舌径が狭いこと、対合歯による被蓋のないことから咬頭全体を削除した形態、すなわち、非機能咬頭削除の 4 形態を設定した。そして、特に機能咬頭の影響を比較検討するために反対咬合者 1 名を被験者に選択した。

2. 結果について

1) 頬舌側のモーメントの発現様相について

正常被蓋者では、頬側モーメントの発現頻度が舌側モーメントに比べて著しく多かった。そして、モーメントの発現はりんご、かまぼこおよびピーナッツ咀嚼時には 25 ストロークのなかの咀嚼初期において、咬合面間距離が大きい閉口相の中期からみられたが、咀

嚼の進行とともに咬頭嵌合位付近で多くみられるようになった。これらの被験食品では、咀嚼開始時には大きな塊であるが、咀嚼の進行に伴って小片へと変化するため、モーメントが発現するときの咬合面間距離が減少し、発現は咬頭嵌合位付近になると考えられた。また、モーメントの方向はモーメントが咬頭嵌合位付近で生じた場合にはほとんど頬側を示したのに対して、咬合面間距離が大きな時期に発現した場合では頬側と舌側の両方向がみられた。

田中¹⁷⁾は咀嚼時の頬舌側側方力は、頬側方向の力が発生したのち舌側方向の力が発生する場合、舌側方向の力が発生したのち頬側方向の力が発生する場合、さらに、そののちに舌側方向の力が発生する場合など、さまざまな側方力の発生があり、その理由として咬合面間における食塊の介在部位の違いが原因であると考察している。また、大平²⁹⁾も咀嚼力の方向にはさまざまなパターンのあることを報告している。

パテ状シリコーン以外の被験食品では閉口相の咬合面間距離が大きな時点で発現したモーメントにおいて、舌側モーメントののちに頬側モーメントが現れるものと頬側モーメントが2相に現れるものなど、さまざまなモーメントの発現がみられ、これまでの報告と同様な傾向が認められた。この時期には、食塊はまだ大きな塊であることから、咬合面と食品との接触状態は均等ではなく、モーメントの方向が一定しなかったものと考えられた。

一方、パテ状シリコーン咀嚼時には、咀嚼初期から後期まで咬頭嵌合位付近でモーメントが発現した。このモーメントの発現様相は他の被験食品における咀嚼中期から後期でモーメントが発現した状態と類似しており、他の被験食品における食塊形成が進行した状態に似た咬合面への接触状態が生じているものと思われる。これは、パテ状シリコーンが、塑性変形を示し、咀嚼の進行による性状の変化はあまりみられないために、食塊と咬合面とは均等に接触し、その接触状態も咀嚼サイクルによって一定であるため、モーメントの発現時期および方向が安定していたものと考えられる。

これらのことから、モーメントの発現時期、方向は食品性状および咬合面における食塊の介在部位による影響が大きいものと考えられた。

2) 頬舌側のモーメントに対する被験食品の影響について

被験食品ではモーメントの方向を機能咬頭側と非機

能咬頭側に分けると、いずれの被験者においても、機能咬頭側方向のモーメントはピーナッツが最大で、パテ状シリコーンで最小であった。そして、非機能咬頭側のモーメントでもピーナッツが最大であったが、パテ状シリコーンにおけるモーメント合計値はりんごやかまぼこよりも大きかった。この傾向はモーメント最大値においても同様であった。

岡崎²⁷⁾は各種被験食品のなかでも、ピーナッツは比較的大きな咀嚼力を示し、咀嚼力の大きさは食品の固さに比例すると述べている。今回の測定においても、同様にピーナッツは機能咬頭側、非機能咬頭側のいずれにおいて最も大きなモーメントを示した。松原²³⁾は模型を使用したシミュレーション実験を行い、咬合面に作用する力は食塊の性状や大きさに伴う咬合面との接触状態によって異なると述べている。また、田中¹⁷⁾は咬合面に生じる頬舌側側方力は各側方力の合力として生じ、破砕性食品であるピーナッツのように不均質な食塊は咬合面との接触部位が偏り、咬合面に頬舌的な力を生じると報告している。これらのことから、ピーナッツでは咬合面との接触部位が偏り、さらに食品粉碎にも大きな力を生じるため、モーメントが大きく、また、発現方向にも一定の傾向が認められなかったと考えられた。

これに対して、パテ状シリコーンでは機能咬頭側のモーメントは、被験食品のなかで最小であったが、非機能咬頭側のモーメントではりんごやかまぼこよりも大きく、ピーナッツに次ぐ大きさを示した。このように、被験食品によって頬舌側のモーメントの大きさに差を生じたが、田中¹⁷⁾は均等に咬合面と接触する食品では、各咬頭斜面に加わる力の合力は舌側方向を示すと述べている。パテ状シリコーンは塑性を示し、また、そのモーメントの発現時期は小さな咬合面間距離であることから、咬合面全体に均等に接触すると考えられ、舌側方向すなわち、非機能咬頭側方向に力が働きやすく、りんごやかまぼこよりも大きなモーメントが生じたものと考えられた。

3) 咬合面形態が頬舌側のモーメントに及ぼす影響について

(1) 咬頭削除における機能咬頭削除と非機能咬頭削除の影響

正常被蓋者における機能咬頭削除では基本形態と比較して、頬側モーメントが被験食品の種類にかかわらず小さくなった。しかし、舌側モーメントでは被験食品および被験者によって異なり、一定の傾向はみられ

なかった。また、反対咬合者では機能咬頭削除において舌側モーメントが小さくなったが、これは反対咬合者の場合は、機能咬頭が舌側咬頭となるため、機能咬頭削除で機能咬頭側方向のモーメントが減少したと思われる。

正常被蓋者では機能咬頭の外斜面に舌側方向の荷重が、また、内斜面には頬側方向の荷重が加わる²³⁾。しかし、内斜面に加わる頬側方向への荷重はその外斜面および非機能咬頭の内斜面に加わる舌側方向荷重と均衡しており、機能咬頭の内斜面に加わる頬側方向の荷重のほうがその外斜面に加わる荷重よりも大きい¹²⁾と報告されている。このことから、機能咬頭を削除すると内斜面に加わる頬側方向の荷重と外斜面に加わる舌側方向の荷重が減少するために、頬側モーメントの減少として現れたものと考えられた。

りんご、かまぼこでは食品破壊がおこっても咬合面へ食塊が残留しやすく、おもに臼磨することで咀嚼が進行するが、ピーナッツ、パテ状シリコンでは食品破壊時に食塊が咬合面より溢出しやすいと考えられる。機能咬頭を削除することで対合歯との間隙が大きくなると、食塊が咬合面より溢出しやすい被験食品では舌側方向へも溢出しやすく、咬頭斜面との接触が少なくなるため、舌側モーメントが小さくなったものと思われた。これに対して、りんご、かまぼこではピーナッツ、パテ状シリコンと比較して、食塊が溢出しにくく、咬合面へ食塊が残留して頬側モーメントの減少によって均衡がくずれ、舌側モーメントが大きくなったと考えられた。

非機能咬頭削除では、基本形態に比較して頬側モーメントはりんごとかまぼこで小さかったが、舌側モーメントでは被験食品によって異なり、りんごとかまぼこで大きく、パテ状シリコンで小さくなった。正常被蓋者では舌側咬頭が非機能咬頭であり、この咬頭は内斜面だけが対合歯と嵌合する。そして、この内斜面には舌側方向の荷重が加わる¹⁷⁾といわれている。したがって、非機能咬頭削除では同部位に加わる荷重の方向を舌側方向から歯軸方向へ変化させるため、舌側荷重が減少すると考えられる。しかし、今回の測定結果では被験食品がパテ状シリコンの場合には、基本形態よりも舌側モーメントが小さく、岡崎²⁷⁾の報告と同じ結果となったものの、りんごとかまぼこでは大きかった。パテ状シリコンは咬合面全体を覆いやすく、食塊が咀嚼時に溢出しやすいが、他の被験食品では食塊が小片となることから、必ずしも咬合面の各咬

頭斜面と接触するとは限らない。田中¹⁷⁾は食塊が主としてどの斜面に接触したかによって咀嚼圧の方向が異なると報告しているが、基本形態において食塊は機能咬頭と非機能咬頭との間に介在するのに対して、非機能咬頭を削除した場合には食塊が基本形態の時よりも舌側に偏った可能性が考えられる。このような偏った位置に荷重が加わった場合、荷重の方向が歯軸と平行であってもモーメントを生じる³⁰⁾ことから、舌側モーメントが大きくなったものと考えられた。

(2) 機能咬頭における機能咬頭外斜面と機能咬頭削除の影響

機能咬頭削除は基本形態と比較して、頬側モーメントは小さかったが、舌側モーメントはりんご、かまぼこで大きく、ピーナッツとパテ状シリコンで小さくなり、被験食品によってモーメントの大きさが異なった。しかし、機能咬頭外斜面削除では基本形態よりも頬側モーメントは被験食品にかかわらず小さくなったものの、機能咬頭削除よりも大きくなった。また、舌側モーメントはりんごを除く他の被験食品において、機能咬頭外斜面削除で機能咬頭削除よりも大きくなった。すなわち、機能咬頭の外斜面だけを削除すると、頬側モーメントは機能咬頭全体を削除した場合ほどは減少しないが、基本形態より減少し、また、舌側モーメントは増加を示した。

咀嚼圧は咬合面の各斜面に生じる荷重の合力として働くといわれている^{12,17,23)}。したがって、機能咬頭の外斜面だけの削除で生じる頬側モーメントの減少あるいは舌側モーメントの増加は荷重の頬側方向の分力の減少あるいは舌側方向の分力の増加によるものと考えられる。

正常被蓋を有する下顎第一大臼歯の機能咬頭外斜面には舌側方向の荷重が作用すると報告^{17,23)}されている。したがって、頬側咬頭外斜面を削除すると、同部における対合歯との間隙が大きくなるため、生じる咀嚼圧は減少すると思われる。しかし、機能咬頭外斜面削除は同斜面の傾斜角を大きくするため、荷重の方向はより舌側に生じやすくなり、舌側モーメントが大きくなったものと考えられた。

以上のことから、咬合面形態が頬舌側のモーメントに及ぼす影響は非機能咬頭よりも機能咬頭の形態のほうが大きく、そして、機能咬頭の形態は外斜面よりも内斜面のほうが影響を及ぼしやすと考えられた。

したがって、機能咬頭、特に内斜面を含んだ形態的考慮を行うことがモーメントを減少させ、支持組織に

対する負担を軽減させるのに有効であることが示唆された。

V. 結 論

咬合面形態が歯の支持組織への負担に及ぼす影響を検討するため、下顎第一大臼歯欠損者に対してポンティック部に荷重計を設置したブリッジを装着し、咬合面形態を基本形態、その形態から機能咬頭外斜面、機能咬頭あるいは非機能咬頭を削除した4形態として、咀嚼時に咬合面へ加わる頬舌側のモーメントの大きさを測定し、以下の結論を得た。

1. モーメントの発現頻度は頬側モーメントが舌側モーメントより著しく多かった。
 2. モーメントの発現時期は、咀嚼の進行に伴って咬頭嵌合位付近に多く認められた。
 3. モーメントの発現頻度、方向、大きさは被験食品により異なった。
 4. 機能咬頭外斜面削除における頬舌側のモーメントの大きさは基本形態と比較して頬側モーメントが小さく、舌側モーメントが大きくなる傾向が認められた。
 5. 機能咬頭削除における頬舌側のモーメントの大きさは基本形態と比較して頬側モーメントが小さくなったが、舌側モーメントには一定の傾向が認められなかった。
- 以上のことから、咀嚼時に生じる頬舌側のモーメントの大きさは咬合面形態に影響を受け、特に機能咬頭の形態による影響が大きいことが示唆された。

稿を終えるにあたり、ご指導、ご校閲をいただいた明海大学歯学部歯科補綴学第二講座天野秀雄教授に深甚なる謝意を表します。また、終始、ご助言をいただいた猪野照夫助教授ならびに歯科補綴学第二講座の諸先生方に厚くお礼申し上げます。

なお、本研究の要旨の一部は第88回日本補綴歯科学会学術大会（1992年10月23日、東京都）、平成4年度日本補綴歯科学会関東支部学術大会（1993年2月20日、新潟市）において発表した。

文 献

- 1) Howell, A.H. and Manly, R.S.: An electronic strain gauge for measuring oral forces, J Dent Res, 27: 705~712, 1948.

- 2) Howell, A.H. and Brudevold, F.: Vertical forces used during chewing of food, J Dent Res, 29: 133~136, 1950.
- 3) 石河圭介: 日本人咬合圧の研究, 歯科学雑誌, 7: 316, 1950.
- 4) Anderson, D.J.: A method of recording masticatory load, J Dent Res, 32: 785~789, 1953.
- 5) Yurkstas, A. and Curby, W.A.: Force analysis of prosthetic application during function, J Prosth Dent, 3: 82~87, 1953.
- 6) 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.
- 7) Rohrbach, C. und Eichner, K.: Messung der Kräfte beim Kauvorgang mit Widerstandsmessdosen von Molarengrosse ohne Behinderung der Okklusion und Artikulation, Dtsch Zahnärztl Z, 13: 146~155, 1958.
- 8) Eichner, K.: Messung der Kraft bei Kauvorgängen, Dtsch Zahnärztl Z, 18: 915~924, 1963.
- 9) 溝上隆男: 臼歯部における咀嚼圧の時相と負担機構とに関する研究, 歯科学報, 66: 217~272, 1966.
- 10) Atkinson, H.F. and Shepherd, R.W.: Masticatory movement and the resulting force, Archs Oral Biol, 12: 195~202, 1967.
- 11) 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.
- 12) 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およぼす影響に関する研究, 歯科学報, 69: 440~469, 1969.
- 13) Ahlgren, J. and Owall, B.: Muscular activity and chewing force: A polygraphic study of human mandibular movement, Arch Oral Biol, 5: 271~280, 1970.
- 14) 山中喜男: 食品遁出路と咀嚼圧との関係, 歯科学報, 71: 966~994, 1971.
- 15) 遠藤義弘: 臼歯部における咀嚼時の下顎運動と咀嚼力の発現様相との関係についての実験的研究, 歯科学報, 71: 1671~1711, 1971.
- 16) Glickman, I.: Clinical periodontology, 4th Ed., 328~343, W.B. Saunders, Philadelphia, 1972.
- 17) 田中貴信: 頬舌側側方咬合力について, 補綴誌, 16: 321~349, 1972.
- 18) 関根 弘, 大沢一博, 多田集一ほか: 咬合面の条件が食品破碎所要力量に及ぼす影響に関する研究 (第一報) 咬合面の頬舌径および側方斜面の傾斜角と食品破碎所要力量との関係について, 歯科学報, 74: 1685~1690, 1974.
- 19) 関根 弘, 大沢一博, 多田集一ほか: 咬合面の条件が食品破碎所要力量に及ぼす影響に関する研究 (第二報) 咬合小面の側方傾斜角と食品破碎所要力量との関係について, 歯科学報, 74: 1927~1931, 1974.
- 20) Graf, H., Grassl, H. and Aeberhard, H.J.: A method for measurement of occlusal forces in three directions,

- Helv Odont Acta, 18 : 7~11, 1974.
- 21) 関根 弘, 大沢一博, 多田集一ほか: 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 (第三報) 食品破砕所要力量に関する下顎の側方変位の意義について, 歯科学報, 75 : 300~305, 1975.
- 22) De Boever., J.A., McCall, W.D., Holden, S. et al : Functional occlusal forces : An investigation by telemetry, J Prosthet Dent, 40 : 326~333, 1978.
- 23) 松原秀憲: 食品破壊時に発現する応力が歯牙に及ぼす影響に関する実験的研究, 歯科学報, 81 : 611~677, 1981.
- 24) Lundgren, D. and Laurell, L. : Occlusal forces in prosthetically restored dentitions : A methodological study, J Oral Rehabil, 11 : 29~37, 1984.
- 25) Lundgren, D. and Laurell, L. : A standardized programme for studying force pattern during chewing and biting in prosthetically restored dentitions, J Oral Rehabil, 11 : 39~44, 1984.
- 26) 武田孝之, 高橋俊之, 飯島俊一ほか: 咬合面形態と食品破壊時に発現する応力との関係について—インプラント上部構造体のあり方について—, 歯科学報, 85 : 687~692, 1985.
- 27) 岡崎正史: 咀嚼力の三次元的解析に関する研究—下顎第一大臼歯における検討—, 歯科学報, 88 : 1643~1666, 1988.
- 28) 豊田浩之: 咀嚼力の三分力動態に関する基礎的研究, 歯科医学, 54 : 88~102, 1991.
- 29) 大平洋志: 咬合面形態の違いが咀嚼力に及ぼす影響に関する研究—特に下顎第一大臼歯について—, 歯科学報, 92 : 1233~1259, 1992.
- 30) Morris, M.L. : The diagnosis, prognosis, and treatment of the loose tooth, Oral Surg Oral Med Oral Pathol, 6 : 957~964, 1037~1046, 1953.
- 31) 黒崎公絵, 右近晋一, 自見 忠ほか: 荷重下における歯牙および支持組織の応力分布について 第1報 二次元光弾性実験, 補綴誌, 17 : 104~109, 1973.
- 32) 後藤建機: 歯牙の生理的動揺に関する実験的研究, 歯科学報, 71 : 1415~1444, 1971.
- 33) 野首孝祠, 堤 定美, 山賀 保ほか: 有限要素法による歯, 歯根膜および歯槽骨の力学的解析 (第1報)—二次元非線型解析—, 歯材器誌, 33 : 369~378, 1976.
- 34) 鬼頭政勝, 近藤 晃, 水上 深ほか: 有限要素法による歯, 歯根膜および下顎骨の力学挙動に関する基礎的研究 第1報 弾性学的にみた歯根膜の力学的特性と歯根膜, 下顎骨への応力分布, 補綴誌, 19 : 693~701, 1976.
- 35) 高橋典章, 奥田 健, 北上徹也ほか: 荷重下での天然歯の挙動, 補綴誌, 21 : 352~359, 1977.
- 36) 新井 泉: 咬合力の歯牙・歯周組織に及ぼす応力に関する力学的研究, 補綴誌, 22 : 865~874, 1978.
- 37) 猪野照夫, 岡本和彦, 天野秀雄: 咬合面荷重時における歯根膜部の応力解析, 補綴誌, 37 : 1344~1351, 1993.
- 38) 上條雍彦: 日本人永久歯解剖学, 229~230, アナトーム社, 東京, 1962.
- 39) 尾形和彦: 筋圧形成時の条件が下顎義歯床頬側辺縁部に及ぼす影響について, 阪大歯学誌, 26 : 1~21, 1981.