原著論文

インプラントオーバーデンチャーの荷重支持能力に関する実験的研究
—磁性アタッチメントのくさび状間隙の状態が荷重支持能力に及ぼす影響—

菅原 孝 佐藤 裕二 北川 昇 内田圭一郎

Experimental Studies on Load Supporting Ability of
Implant-retained Overdentures
—Influence of Triangular Gaps' State of Magnetic Attachment
for Implant-retained Overdentures on Load Supporting Ability—

Sugawara Takashi, Sato Yuji, Kitagawa Noboru and Uchida Keiichiro

歯科補綴学的意義

インプラントオーバーデンチャーへの磁性アタッチメントの応用は種々試みられている。これまでに磁石構造体とキーパーとの接触状態が義歯の維持力へ及ぼす影響は報告されている。しかし、咬合力に対する影響に関しての報告は十分ではなく、検討が必要である。本研究により、磁性アタッチメントの頬側に間隙がある場合、インプラントオーバーデンチャーの荷重支持能力が大幅に低下することが明らかとなった。

抄 録

目的：磁性アタッチメントの磁石構造体が傾斜し、キーパーとの間にくさび状間隙を生じた場合には吸引力が低下すると考えられる。さらに、インプラントオーバーデンチャーの回転離脱軸の位置が変化することから、咬合面外側に咬合力が加わった際には荷重支持能力も低下すると推定される。そこで本研究では、このくさび状間隙の状態が、荷重支持能力に及ぼす影響を引張試験および三次元幾何学解析を用いて明らかにすることを目的とした。

方法：くさび状間隙が生じた場合の吸引力を測定するため、アルミ箔を用いて傾斜角度 0° から 10.0° の間隙を設定し、磁性アタッチメントの最大引張り強さを測定した。得られた結果を用いて、上顎無歯顎模型の両側第一大臼歯、犬歯相当部にインプラントを4本埋入したと想定し、インプラントオーバーデンチャーの荷重支持能力について三次元幾何学解析を行った。

結果：吸引力は、傾斜角度が増すにつれ減少した。 0° ～ 1.0° の間で低下が著しく、 2.0° で半減し、その後は緩やかな低下を示した。荷重支持能力は、口蓋側に間隙がある場合は傾斜角度に応じて減少したが、頬側に間隙がある場合には、間隙のない場合と比較し、大臼歯荷重で $1/7$ 、中切歯荷重で $1/3$ に減少した。

結論：磁性アタッチメントのわずかなくさび状間隙により吸引力は大きく低下し、特に頬側に間隙がある場合には荷重支持能力の大幅な低下を招くことが明らかとなった。

和文キーワード

磁性アタッチメント、間隙、吸引力、オーバーデンチャー、荷重支持能力

昭和大学歯学部高齢者歯科学教室（主任：佐藤裕二）

Department of Geriatric Dentistry, School of Dentistry, Showa University

受付：2006年8月12日 / 受理：2007年1月18日

Received on August 12, 2006 / Accepted on January 18, 2007

I. 緒 言

無菌顎患者へ補綴処置を行う際には、これまで全部床義歯が基本とされてきた。しかし、近年ではインプラントを用いた補綴処置も多く行われている。その代表としてボーンアンカーブリッジによる固定性の上部構造や可撤性のインプラントオーバーデンチャーがあげられる¹⁻⁴⁾。ボーンアンカーブリッジは多数のインプラントの埋入が必要であり、患者の負担を考慮すると少数のインプラントで機能回復が可能なインプラントオーバーデンチャーは有用であると考えられる。さらにオーバーデンチャーの利点として、食物を舌や頬、口唇で咬合面に運びやすいためスムーズな食事が可能であるとの報告もあり⁵⁾、現在、インプラントを用いたオーバーデンチャーは無菌顎補綴の標準的治療法の1つになりつつある⁶⁾。

従来から、インプラントオーバーデンチャーへの磁性アタッチメントの応用は種々試みられており^{7,8)}、特に無菌顎患者及び口蓋裂、顎欠損患者など通法の義歯では維持が困難な症例に対する利用価値は高い^{9,10)}。しかし、磁性アタッチメントによる吸引力は磁石構造体とキーパーが緊密に接触していないと得ることができない¹¹⁻¹³⁾。したがって、取り付けには細心の注意が必要であり、多数の磁性アタッチメントを同じ状態で付与するのは大変困難である。また、磨耗等の経時的変化¹⁴⁾により磁石構造体とキーパーとの間にくさび状の間隙が生じる可能性もあり、その際には吸引力が低下する。

現在、磁性アタッチメントの接触状態が義歯の維持力に及ぼす影響は報告されている^{11,15)}。しかし、磁性アタッチメントの接触状態が義歯の咬合力に及ぼす影響に関しては十分な検討がなされているとは言えない。

そこで本研究では、義歯が回転離脱する際の荷重を荷重支持能力とし、くさび状間隙の大きさや方向が、荷重支持能力に及ぼす影響を引張試験および三次元幾何学解析¹⁶⁻¹⁸⁾を用いて明らかにすることを目的とした。

図1 Setting of triangular gap by aluminum foil
アルミ箔によるくさび状間隙の設定

II. 研究方法

1. 磁性アタッチメントの吸引力の測定

1) 試料の製作

インプラントレプリカ（ブローネマルクシステム、レギュラープラットホーム、ノーベル・バイオケア・ジャパン社）に磁性アタッチメント（マグフィット IP-BR、ベーシックタイプ、愛知製鋼社）のキーパーリングおよびキーパースクリュー（以下、キーパー）を連結し、その上面と一致するように铸造用リング（铸造用リング No.2, GC 社）内に硬石膏（タイガーストーン、吉野石膏）で固定した。なお、試料は、5セット用意した。

2) 計測条件の設定

キーパーと磁石構造体の接触面にくさび状間隙を付与した。くさび状間隙は、キーパーと磁石構造体が接触した状態から、磁石構造体の一端を支点として傾斜、離開させ、アルミ箔（サンホイル、厚さ 12 μm 、サン・アルミニウム工業社）を積層させることにより規定した。なお、アルミ箔挿入位置は、キーパーの直径 4.4 mm の中心を通る線（以下、中心線）より 1.0 mm 外側に中心線と平行な線を記入することにより規定した（図 1）。

実体顕微鏡下でキーパーの中心に磁石構造体を装着後、磁石構造体の中心点に鋼鉄針（Y-7, クローバー社）を即時重合レジン（ユニファスト[®] II, GC 社）を用いて固定した。ナイロン糸（PB14-40N3, 秋山製作所社）を鋼鉄針上部とプッシュプルゲージ（AWF-10, アイコーエンジニアリング社、測定精度 0.1 N, 分解能 0.1 N）に結んだ。

くさび状間隙の傾斜角度はアルミ箔の枚数を変えることにより 0°, 0.2°, 0.5°, 0.7°, 1.0°, 2.0°, 4.0°, 7.0°, 10.0°, 15.0°, 20.0°, 25.0°, 30.0°, 35.0°, 40.0°, 45.0°, 50.0°, 55.0°, 60.0°, 65.0°, 70.0°, 75.0°, 80.0°, 85.0°, 90.0° とした。

図2 Simulation model
シミュレーションモデル

図3 A section of implant-retained overdentures with magnetic attachment
磁性アタッチメントを用いたインプラントオーバーデンチャーの断面

図4 The condition that state of magnetic attachment
Arrow A : Triangular gap
磁性アタッチメントの接触状態の条件
矢印 A : くさび状間隙

10.0°の全9通りに設定した。アルミ箔を用いた間隙は、電子ノギス (DIGIMATIC MICROMETER, Mitutoyo 社), キーパーと磁石構造体間の間隙量はマイクロスコープ (デジタル HF マイクロスコープ VH-8000, キーエンス社) を用いて確認した。

3) 測定方法

吸引力の測定は、プッシュプルゲージを使用して引張試験を行い、磁石構造体がキーパーから離脱した瞬間の最大引張り強さを測定した。各計測条件ごとに1つの磁性アタッチメントにつき5回の測定を行い、その平均値を吸引力の値とし、これを5セットの磁性アタッチメントについて行った。牽引は0.1 N/secで磁石構造体に対して可及的に垂直となるようにした。なお、引張試験の順番については、計測条件をラテン方

表1 Contact conditions of magnetic attachments
磁性アタッチメントの接触条件

		loading side		
		a. no gap	b. palatal gap	c. buccal gap
non loading side	(1) no gap	(1)-a	(1)-b	(1)-c
	(2) gap	(2)-a	(2)-b	(2)-c

格法を用いて規定した。

4) 統計分析

統計処理方法として、傾斜角度と磁性アタッチメントを因子とする二元配置分散分析を用いた。

2. 三次元幾何学解析による荷重支持能力の比較

1) 解析モデル

上顎無歯顎模型 (G2-402F, ニッシン社) の両側第一大臼歯、犬歯相当部にインプラントを4本埋入した (図2)。インプラント体には磁性アタッチメントのキーパーを装着し、上部構造は磁性アタッチメントを用いたインプラントオーバーデンチャーを想定した (図3)。上顎無歯顎模型と無歯顎模型にて製作した義歯を規格撮影して、重ね合わせをし、解析モデルとした。

解析モデルにおいて、咬合荷重を、オーバーデンチャー人工歯部の右側第一大臼歯近心頬側咬頭内斜面、右側中切歯切端に、それぞれ咬合平面と垂直に負荷したと想定した (以下、大白歯荷重、中切歯荷重とする)。大白歯荷重の際には、荷重側は右側犬歯相当部および右側第一大臼歯相当部の磁性アタッチメントとし、非荷重側は左側犬歯相当部および左側第一大臼歯相当部の磁性アタッチメントとした。中切歯荷重の際には、荷重側は両側犬歯相当部の磁性アタッチメントとし、非荷重側は両側第一大臼歯相当部の磁性アタッチメントとした。磁性アタッチメントの吸引力は、引張試験により得られた傾斜角度0°, 0.2°, 0.5°, 1.0°の値に設定し、各傾斜角度における荷重支持能力について比較検討した。

2) 接触条件 (図4, 表1)

インプラントオーバーデンチャーに用いた磁性アタッチメントのキーパー、磁石構造体間の接触条件は、

- (1) 非荷重側のキーパー、磁石構造体間に間隙がない場合 (以下、非荷重側間隙なし)
- (2) 非荷重側のキーパー、磁石構造体間に荷重側と同条件のくさび状間隙がある場合

図5 Analysing of load supporting ability of implant-retained overdenture by 3-D geometric analysis (no gap and palatal gap, molar loading)
三次元幾何学解析を用いたインプラントオーバーデンチャーの荷重支持能力の解析
(間隙なしおよび口蓋側間隙, 大臼歯荷重)

図6 Analysing of load supporting ability of implant-retained overdenture by 3-D geometric analysis (buccal gap, molar loading)
三次元幾何学解析を用いたインプラントオーバーデンチャーの荷重支持能力の解析
(頬側間隙, 大臼歯荷重)

(以下, 非荷重側間隙あり)

の各々について,

- 荷重側のキーパー, 磁石構造体に間隙がない場合 (以下, 間隙なし)
- 荷重側のキーパー, 磁石構造体の口蓋側にくさび状間隙がある場合 (以下, 口蓋側間隙)
- 荷重側のキーパー, 磁石構造体の頬側にくさび状間隙がある場合 (以下, 頬側間隙)

の計6条件とした。なお, 同側の磁性アタッチメントは, 同条件とした。

3) 解析方法

大臼歯荷重時, 義歯が荷重側キーパーの辺縁を支点とし回転離脱する際の荷重を荷重支持能力 F (N) とした (図5)。荷重側磁性アタッチメントの吸引力を f_1 (N), 非荷重側磁性アタッチメントの吸引力を f_2 (N) とした。荷重側のキーパー頬側辺縁を支点とした回転軸から第一大臼歯近心頬側咬頭内斜面までの距離を m_1 (mm), 回転軸から荷重側キーパーの中心までの

図7 Analysing of load supporting ability of implant-retained overdenture by 3-D geometric analysis (no gap and palatal gap, incisor loading)
三次元幾何学解析を用いたインプラントオーバーデンチャーの荷重支持能力の解析
(間隙なしおよび口蓋側間隙, 中切歯荷重)

距離は犬歯部と大臼歯部とも同一のためどちらも m_2 (mm) とした。また, 回転軸から非荷重側犬歯部及び臼歯部キーパーの中心までの距離をそれぞれ M_1 , M_2 (mm) とした。

大臼歯荷重時の間隙なし及び口蓋側間隙の場合, 回転軸は荷重側キーパーの頬側辺縁を支点とし, 計算式は, $m_1 F = 2m_2 f_1 + (M_1 + M_2) f_2$ が成り立ち,

$$F = \{2m_2 f_1 + (M_1 + M_2) f_2\} / m_1$$

となった。

頬側間隙の場合 (図6), 回転軸は荷重側キーパーの口蓋側辺縁を支点とし,

$$m_1 F + 2m_2 f_1 = (M_1 + M_2) f_2 \text{ が成り立ち,}$$

$$F = \{(M_1 + M_2) f_2 - 2m_2 f_1\} / m_1$$

となった。

中切歯荷重時, 回転軸から中切歯切端までの距離を m_1 (mm), 両側犬歯部及び臼歯部キーパーの中心までの距離をそれぞれ m_2 , M_1 (mm) とした。

中切歯荷重時の間隙なし及び口蓋側間隙の場合 (図7) では,

$$m_1 F = 2m_2 f_1 + 2M_1 f_2 \text{ が成り立ち,}$$

$$F = 2(m_2 f_1 + M_1 f_2) / m_1$$

頬側間隙の場合 (図8) では,

$$m_1 F + 2m_2 f_1 = 2M_1 f_2 \text{ が成り立ち,}$$

$$F = 2(M_1 f_2 - m_2 f_1) / m_1$$

となり, 各条件における荷重支持能力の値 F を各々の式を用いて求めた。

図8 3次元幾何学解析を用いたインプラントオーバーデンチャーの荷重支持能力の解析
(頬側間隙, 中切歯荷重)

図9 磁性アタッチメントの吸引力の変化

III. 結 果

1. 磁性アタッチメントの吸引力の測定

5セットの磁性アタッチメントにおいて、傾斜角度 0° で 6.06 ± 0.24 N, 0.2° で 5.23 ± 0.06 N, 0.5° で 4.37 ± 0.03 N, 1.0° で 3.37 ± 0.11 N とほぼ同様の結果を示し、5つのデータとも近似した値となった。

くさび状間隙がある状態の吸引力 (図9) は、傾斜角度の増加に伴い減少した。傾斜角度 0° から 1.0° の間で吸引力の低下が著しく、 2.0° で半減し、その後は緩やかな低下を示した。

二元配置分散分析の結果、傾斜角度が有意な因子であり ($p < 0.01$)、磁性アタッチメントの製品のばらつきは有意ではなかった (表2)。

2. 三次元幾何学解析による荷重支持能力の比較

解析には、今回の実験により得られた磁性アタッチ

表2 Two way ANOVA
(Change of attractive force of magnetic attachment)
二元配置分散分析表
(磁性アタッチメントの吸引力の変化)

Source	df	Sum of squares	Mean square	F-value	P-value
Inclined angle: A	8	587.19	73.40	1889.35	$p < 0.01$
Magnetic attachments: B	4	0.14	0.03	0.87	0.48
Error	212	8.24	0.04

図10 荷重支持能力の比較
(大臼歯荷重時, 非荷重側間隙なし)

メントの吸引力である傾斜角度 0° の平均値 6.06 N, 0.2° の平均値 5.23 N, 0.5° の平均値 4.37 N, 1.0° の平均値 3.37 N の4種類を用いた。

大臼歯荷重時

(1) 非荷重側間隙なし (図10)

a. 間隙なし

全ての磁性アタッチメントの磁石構造体、キーパーに間隙がない状態であり、荷重支持能力は最大値を示した。

b. 口蓋側間隙

0.2° , 0.5° , 1.0° と傾斜角度が増加するにつれて、わずかな低下を示した。(1)-aと比較して、荷重支持能力の低下は少なかった。

c. 頬側間隙

傾斜角度の増加とともに、わずかな上昇を示した。

(1)-aと比較して、荷重支持能力は約1/7に低下した。

(2) 非荷重側間隙あり (図11)

a. 間隙なし

0.2° , 0.5° , 1.0° と傾斜角度が増加するにつれて、

図 11 Comparison of load supporting ability (molar loading, gap in non loading side)
荷重支持能力の比較
(大白歯荷重時, 非荷重側間隙あり)

図 13 Comparison of load supporting ability (incisor loading, gap in non loading side)
荷重支持能力の比較
(中切歯荷重時, 非荷重側間隙あり)

図 12 Comparison of load supporting ability (incisor loading, no gap in non loading side)
荷重支持能力の比較
(中切歯荷重時, 非荷重側間隙なし)

荷重支持能力は順次低下し, 0.2°と比較すると 1.0°では約 2/3 に低下した。

b, 口蓋側間隙

傾斜角度が増加するにつれて, 荷重支持能力は順次低下した。(2)-aと比較して, 低下は少なかった。

c, 頬側間隙

(2)-a, (2)-bと同様に, 傾斜角度が増加するにつれて, 荷重支持能力は順次低下した。

(2)-aと比較して, 荷重支持能力は約 1/8 に低下した。

中切歯荷重時

(1) 非荷重側間隙なし (図 12)

a, 間隙なし

全ての磁性アタッチメントの磁石構造体, キーパーに間隙がない状態であり, 荷重支持能力は最大値を示した。

b, 口蓋側間隙

0.2°, 0.5°, 1.0°と傾斜角度が増加するにつれて, わずかな低下を示した。(1)-aと比較して, 荷重支持能力の低下は少なかった。

c, 頬側間隙

傾斜角度の増加とともに, わずかな上昇を示した。

(1)-aと比較して, 荷重支持能力は約 1/3 に低下した。

(2) 非荷重側間隙あり (図 13)

a, 間隙なし

0.2°, 0.5°, 1.0°と傾斜角度が増加するにつれて, 荷重支持能力は順次低下し, 0.2°と比較すると 1.0°では約 2/3 に低下した。

b, 口蓋側間隙

傾斜角度が増加するにつれて, 荷重支持能力は順次低下した。(2)-aと比較して, 低下は少なかった。

c, 頬側間隙

(2)-a, (2)-bと同様に, 傾斜角度が増加するにつれて, 荷重支持能力は低下した。

(2)-aと比較して, 約 1/3 の低下が認められた。

IV. 考 察

1. 研究方法について

1) 実験条件について

間隙の設定には, 石川らの報告¹¹⁾に基づいてアルミ箔を使用した。アルミ箔の挿入位置をキーパーの中心線より 1.0 mm 外側に規定したのは, 磁石構造体が傾斜した状態でも安定を保てるようにするためである。

2) 測定方法について

磁性アタッチメントは、50 μm という間隙で吸引力が半減するとの報告¹⁴⁾もあり、わずかな間隙で離脱してしまう。したがって、引張試験を速度 (mm/min) により規定することは難しく、本実験では単位時間あたりの牽引力の増加 (N/sec) により規定することとした。そのため、万能引張試験機やテクスチャーアナライザーではなく、プッシュプルゲージによる牽引とした。

3) 解析モデルについて

上顎無歯顎堤において両側犬歯部及び両側第一大臼歯部へのインプラント埋入により、広い支持領域を確立することが可能である⁸⁾。また、磁性アタッチメントを使用することにより義歯の維持安定は向上する¹⁵⁾。これらのことより、解析モデルの設定は妥当と考えられる。

4) 解析について

今回行った三次元幾何学解析法は、磁性アタッチメントの吸引力及びインプラントオーバードンチャーにおける荷重支持能力のつり合いを幾何学的な作図により評価する方法^{16,17)}である。他の解析法と比較して正確な解析が可能であり、条件の設定、変更が容易である。しかし、複雑な力のつり合いは計算不可能な場合もある¹⁹⁾。また、計測誤差がないため統計処理には不向きである。

咬合荷重を負荷した部位に関しては、上顎第一大臼歯近心頬側咬頭内斜面は、非機能咬頭であるが、食物を介した際、咬合荷重が負荷され義歯を回転離脱させる。中切歯切端については、天然歯列では、食物の切断、咬断の役目を果たしているが、全部床義歯では、前歯部に咬合圧が集中すると上顎義歯が前上方に突き上げられ、後縁が下がって粘膜と離れ、維持不良となる部位であり²⁰⁾、義歯の回転離脱時の荷重である荷重支持能力を求めるには妥当と考えられる。

回転軸の位置に関して、大臼歯部キーパーの中心より犬歯部キーパー中心間における咬合荷重については、荷重側の大臼歯部および犬歯部キーパーを支点に回転軸が生じる。同様に両側犬歯部キーパーの中心間における咬合荷重については、両側犬歯部キーパーを支点に回転軸が生じる。今回解析は行っていないが、大臼歯部キーパーの中心よりも遠心に咬合荷重が負荷された際には、両側大臼歯部キーパーを支点に回転軸

が生じる。本研究はインプラント支持によるオーバードンチャーを想定し、粘膜による影響に関して一切除外してある。そのため、回転軸は上記のようになるが、実際の臨床においては、より複雑な要因が含まれてくることが考えられる。

2. 結果について

1) 磁性アタッチメントの吸引力の測定について

キーパーと磁石構造体間の水平的に均一な間隙での吸引力の変化や¹⁴⁾、くさび状間隙がある状態での吸引力の変化について報告¹²⁾はされている。どちらもわずかな間隙により吸引力の低下が認められている。中村らの行った有限要素解析の結果¹²⁾では、磁性アタッチメントの吸引力は、傾斜角度 5° で約 $1/2$ に減少した。しかし本実験において、実際に引張試験を行った結果では、吸引力が約 $1/2$ に減少したのは傾斜角度 2° であった。中村らの解析結果と比較し、より小さなくさび状間隙で吸引力が大きく低下することが示された。

また、荷重側の大臼歯部における傾斜角度 1.0° の頬側間隙は、間隙量 72 μm に相当し、義歯回転時に非荷重側の大臼歯部において 720 μm という浮き上がりになり、この時点ですでに非荷重側の吸引力は失われるため注意が必要と考えられる。

しかし、今回用いた磁性アタッチメントは、1種類であり、水平的に均一な間隙での吸引力を測定した平沼らの報告¹⁴⁾にあるように、他の磁性アタッチメントとの比較検討が今後の課題である。

2) 三次元幾何学解析による荷重支持能力の比較について

荷重支持能力は、間隙の増加に伴い低下を示したが、特に頬側にくさび状間隙がある場合では、顕著な低下を示した (図 10~13)。また、荷重支持能力は、くさび状間隙が口蓋側、頬側のどちらにあるかによる回転離脱軸の変化による影響が大きかった。

大臼歯荷重時および中切歯荷重時の (1)-c において、傾斜角度の増加とともに荷重支持能力が、わずかに上昇を示した。これは、頬側間隙時において、荷重側の磁性アタッチメントの吸引力が咬合荷重と同側に作用するためである。傾斜角度の増加とともに吸引力は低下するため、結果として荷重支持能力の低下を招くこととなる。

3. 臨床的意義

本研究の結果から、磁性アタッチメントの磁石構造体とキーパーとの間に生じたわずかなくさび状間隙でさえ、吸引力を大きく低下させることが示された。そのため、磁性アタッチメントの接触状態について、適合試験材による適合診査やキーパー辺縁部に磨耗がみられないかを確認する必要がある。また、接触状態を診査する際には、間隙の有無による吸引力の低下のみでなく、頬側もしくは口蓋側のどちらの向きに間隙が生じているかを確認し、インプラントオーバーデンチャーの荷重支持能力の低下を考慮する必要がある。特に、食物を介さない咬合時において、義歯の回転離脱は生じないが、食物を介した咬合時に義歯の回転離脱が生じる患者においては、磁性アタッチメントの頬側に間隙があることによる荷重支持能力の低下の可能性を疑う必要があろう。

今回、同側の磁性アタッチメントを同条件に設定したが、各々のアタッチメントに条件を設定すること、インプラント埋入の位置及び磁性アタッチメントの種類の設定を変更することで、より口腔内に一致した詳細な解析が期待できる。

本研究は解析モデル上での幾何学解析であり、実験用模型を用いた計測が今後必要と思われる。その際には、本研究の結果をふまえたうえで研究計画を立案することで、大幅に実験条件を削減できるとと思われる。また、磁性アタッチメントを用いたインプラントオーバーデンチャーを使用している患者の口腔内における、磁石構造体とキーパー間の間隙の実態調査、および荷重支持能力の測定は、今後の課題であろう。

V. 結 論

くさび状間隙がある場合での、磁性アタッチメントの吸引力の測定により、わずかな間隙でさえ吸引力が大きく低下することが示された。

また、三次元幾何学解析によるインプラントオーバーデンチャーの荷重支持能力の比較検討により、その値は、磁性アタッチメントの吸引力の低下に応じて低下を示すこと、特に荷重側の頬側に間隙がある場合には、荷重支持能力の大幅な低下を招くことが明らかとなった。

以上の結果より、磁性アタッチメントの接触状態を

診査する際には、間隙の有無のみでなく、どちらの向きに間隙が生じているのかを診査することも重要であることが示唆された。

謝 辞

ご援助ご協力頂きました本学高齢者歯科学教室の諸先生方に謹んで感謝の意を表します。

本研究の一部は、昭和大学歯学部研究科ハイテクリサーチセンター整備事業費の補助を受け、また本論文の要旨の一部は、第24回日本口腔インプラント学会関東甲信越支部学術大会（2004年7月18日、東京）、11th meeting of the International College of Prosthodontists（2005年5月25～28日、ギリシャ）において発表した。

文 献

- 1) Burns R, Unger W, Elswick K Jr et al. Prospective clinical evaluation of mandibular implant overdentures : Part I—retention, stability, and tissue response—. J Prosthet Dent 73 : 354-363, 1995.
- 2) Burns R, Unger W, Elswick K Jr et al. Prospective clinical evaluation of mandibular implant overdentures : Part II—patient, satisfaction and preference—. J Prosthet Dent 73 : 364-369, 1995.
- 3) Davis DM. Implant supported overdentures—the King's experience—. J Dent 25 : S33-S37, 1997.
- 4) 前田芳信. 臨床に生かすオーバーデンチャー. 12-23, 東京: クインテッセンス出版, 2003.
- 5) Feine JS, Maskawi K, Grandmont P de et al. Within subject comparisons of implant-supported mandibular prostheses - evaluation of masticatory function. J Dent Res 73 : 1646-1656, 1994.
- 6) Feine JS, Carlsson GE. Implant overdentures—The standard of care for edentulous patients—. Quintessence Publishing Co. Inc. Chicago, 2003.
- 7) 田中謙治, 星野和正, 鳥居秀平ほか. インプラントにおける磁性アタッチメントの応用—第3報 各種インプラント対応 オーバーデンチャー用 MACS の検討—. 日口腔インプラント誌 13 : 661-671, 2000.
- 8) 前田芳信, Walmsley AD. マグネットを用いたインプラントの臨床. 14-15, 40-42 東京: クインテッセンス出版, 2005.
- 9) 金 修澤, 山縣健佑, 山縣徹哉. インプラントを利用したオーバーデンチャーと口蓋裂補綴治療. 昭歯誌 19 : 257-259, 1999.

- 10) 石田恵未, 金 修澤, 佐藤裕二ほか. 下顎再建症例に応用したインプラント支持のパーシャルデンチャーを用いて口腔機能を回復した一例. 昭歯誌 22 : 398-403, 2002.
- 11) 石川 晋. 歯科用磁性アタッチメントの力学的研究. 口病誌 60 : 98-120, 1993.
- 12) 中村好徳. 有限要素法によるオーバーデンチャーと磁性アタッチメントの力学解析. 補綴誌 42 : 234-245, 1998.
- 13) Tegawa Y, Kinouchi Y. Approximation of gap-force characteristics for dental magnetic attachments. J J Mag Dent 12 : 29-33, 2003.
- 14) 藍 稔, 平沼謙二. 磁性アタッチメントの臨床応用 国際シンポジウム抄録版. 29-36, 52-59, 東京:クインテッセンス出版, 2000.
- 15) 有田正博, 竹屋克昭, 鱒見進一ほか. 磁性アタッチメントを応用した義歯の維持力に関する実験的研究. 補綴誌 38 : 284-290, 1994.
- 16) Sato Y, Shindori N, Hosokawa R et al. A biomechanical effects of wide implants in the posterior partially edentulous region. J Oral Rehabil 27 : 15-21, 2000
- 17) Sato Y, Shindori N, Hosokawa R et al. Biomechanical effects of double or wide implants for single molar replacement in the posterior mandibular region. J Oral Rehabil 27 : 842-845, 2000
- 18) 瀬沼壽尉, 金 修澤, 佐藤裕二ほか. インプラントオーバーデンチャー用磁性アタッチメントの最適上面形態のバイオメカニクス解析. 日口腔インプラント誌 18 : 549-562, 2005
- 19) 佐藤裕二. インプラントとカーインプラント研究におけるバイオメカニクスの進歩一. 補綴臨床 32 : 400-405, 1999.
- 20) 山縣健佑. 無歯顎補綴学. 178-204, 東京:デンタルフォーラム, 2000.

著者連絡先: 菅原 孝

〒145-8515 東京都大田区北千束 2-1-1

TEL : 03-3787-1151 内線 236

FAX : 03-3787-3971

E-mail : sugawara@senzoku.showa-u.ac.jp

Experimental Studies on Load Supporting Ability of
Implant-retained Overdentures
—Influence of Triangular Gaps' State of Magnetic Attachment
for Implant-retained Overdentures on Load Supporting Ability—

Sugawara Takashi, Sato Yuji, Kitagawa Noboru and Uchida Keiichiro

Department of Geriatric Dentistry, School of Dentistry, Showa University

J Jpn Prosthodont Soc 51 : 270-279, 2007

ABSTRACT

Purpose : A triangular gap between the keeper and magnetic assembly caused by the inclination might weaken the attractive force of the overdenture. Furthermore, the load supporting ability may be compromised with a change in the position of the fulcrum line when occlusal force is loaded on the outer side of the occlusal surface.

Therefore, in this study, the influence of a triangular gap in the magnetic attachment for implant-retained overdentures on load supporting ability was evaluated by tensile test and 3-D geometric analysis.

Methods : The inclined angle of the gap was set at 0 to 10.0 degrees with aluminum foil to measure the attractive force when triangular gaps existed, and the maximum tensile strength of magnetic attachment was measured. Based on these results, overdentures on four implants placed at bilateral first molar and canine regions on an edentulous model of the upper jaw were simulated, and the load supporting ability of implant-retained overdentures was calculated with 3-D geometric analysis.

Results : The attractive force decreased with an increase in the angle of inclination. The attractive force decreased remarkably from 0 to 1.0 degrees, and it was reduced to half at 2.0 degrees and showed a moderate decrease thereafter.

When there was a gap on the palatal side, the load supporting ability decreased depending on the inclined angle, however when the gap was on the buccal side, it decreased to 1/3 on incisor loading and 1/7 on molar loading compared to that with no gap.

Conclusion : Attractive force decreased significantly when a triangular gap existed in the magnetic attachment, and in particular, it clearly caused a large decrease of load supporting ability when the gap was on the buccal side.

Key words

magnetic attachment, gap, attractive force, overdenture, load support ability