実験的咬合性外傷が骨接合型インプラントの 周囲組織に及ぼす影響：第一報

宮田 隆 杉本博宣 小林之直
申 基喆 荒木久生 市村 光*
大塚秀春* 須藤洋太郎* 池田克己*

明海大学歯学部歯科臨床研究所

(所長：藤田訓也教授)

(診療所所長：宮田 隆教授)

*明海大学歯学部歯周病学講座

(主任：池田克己教授)

(平成8年8月12日受付)

Experimental Study of Occlusal Trauma to Osseointegrated Implant : Part 1

Takashi Miyata, Hironobu Sugimoto, Yukinao Kobayashi,
Kitetsu Shin, Hisao Araki, Koh Ichimura*,
Hideharu Ohtsuka*, Yotaro Sudo* and Katsumi Ikeda*

Post-Doctoral Institute of Clinical Dentistry, School of Dentistry,
Meikai University

5-1-3 Toyooka, Iruma-shi, Saitama 358, Japan

(Head of Institute : Prof. Kuniya Fujita)

(Head of Clinic : Prof. Takashi Miyata)

*Department of Periodontology, School of Dentistry, Meikai University

1-1 Keyakidai, Sakado-shi, Saitama 350-02, Japan

(Chief : Prof. Katsumi Ikeda)

This study periodontically examined the effect of occlusal trauma on implants. An experiment was conducted on five Crab-Eating Monkeys (*Macaca Fascicularis*) in which trauma with no inflammation in the peri-implant tissues served as the model. Two osseointegrated implants were placed in each monkey. After three months of osseointegration, a superstructure that was excessive in height by about 100 μ m was mounted on the implant, and a traumatic occlusal force was experimentally loaded onto its fixture from the lingual side to the buccal side. This oral procedure was done under conditions of good oral hygiene. The monkeys received

an excessive occlusal force for one to four weeks, and were then sacrificed. According to an established method, perfusive fixation was used to prepare samples. The samples were then used for histopathological examination of the peri-implant tissues. The results showed that the implant integrated firmly with bone, reflecting resorption without bone by the trauma, in all models. The models that received an excessive occlusal force for three to four weeks showed obvious new bone formation on the coronal side and outer-buccal subperiosteal sites of the peri-implant tissues. These results suggest that the conditions of occlusal trauma load-

ing onto non-inflamed peri-implant tissues, and that the occlusal force on an approximately 100 μm in excessive height superstructure may not destroy

peri-implant tissues, but rather may increase the compensatory new bone formation antagonizing the traumatic force.

Key words : Osseointegrated implant, Occlusal trauma, Osseointegration, Histopathological study

要旨 : インプラント周囲に炎症がない状態において実験的な咬合性外傷を、骨接合型インプラントに負荷した場合のインプラント周囲組織の変化を検討した。実験動物として5頭のカニクイザル (*Macaca Fascicularis*) に、Friatec 社から提供を受けた実験用骨接合型インプラントを埋入し、約3カ月の骨接合期間を経たのち、約100 μm の過高な上部構造を装着し、舌側から頬側へ実験的な外傷性咬合力を、それぞれ1週間から4週間負荷した。負荷期間終了後、ただちに屠殺し、通法に従い、灌流固定標本を作製し、インプラント周囲組織を病理組織学的に検討した。その結果、1週~4週間外傷性咬合力を負荷したおのおののモデルにおいて、外傷力の影響と思われるような骨吸収などは認められず、おおむね良好な骨接合が認められた。また、3, 4週間経過モデルでは、インプラント周囲組織の歯冠側の骨や頬側外側骨膜下の周囲に旺盛な骨の新生が認められた。このような結果から、インプラント周囲組織に炎症のない環境下での、約100 μm 程度の過高な咬合負荷では、その周囲組織の破壊という機転は惹起されにくく、むしろ外傷力に対する代償性の骨添加が起こる可能性が示唆された。

索引用語 : 骨接合型インプラント, 咬合性外傷, 骨接合, 病理組織学的検討

緒 言

1965年, Brånemark がはじめて臨床応用を試みたいわゆる歯根タイプの骨接合型インプラント^{1,2)}は、現在、歯科領域の欠損補綴で広く応用されるようになり、インプラント治療のシェアを急速に伸ばしてきている。しかしそのシェアの拡大に伴い、臨床的な失敗例の報告^{3,4)}も少なくない。その多くは、インプラント周囲骨の吸収、破壊によるもので、インプラント周囲の炎症や咬合性外傷など歯周病学的問題にかかわる症例も多い^{5~7)}。

特に咬合性外傷においては、インプラント周囲組織に生理的限界を越える咬合ストレスが持続して加わると、インプラント支持骨はその局所で骨吸収を惹起し、結果として非可逆的な骨破壊を起こすと考えられる。

しかし、インプラント周囲で失われる骨や骨結合の再生は、歯根膜やセメント質の介在する歯周組織の場合とは異なることはいうまでもない。

本研究は、カニクイザルに、インプラント周囲組織に炎症のない状態を設定し、咬合力が上部構造へ側方力として働きそこに一定の荷重が加わるようにした時の、インプラント周囲骨の動態を以下に述べる方法で病理組織学的に検討した。

材料と方法

1. 実験動物

実験動物は、推定年齢2~3歳、体重2.7~3.7 kg

の雄・カニクイザル (*Macaca fascicularis*: 日本クレア社, 東京) 5頭を用いた。実験動物センターにて金属製ゲージ内で1頭ずつ飼育し、恒温および恒湿条件 ($28 \pm 1^\circ\text{C}$, 50~60%) 下で、サル用固形飼料 (日本クレア社) および水道水を十分に与えた。また、1週間に1回、全身麻酔下で歯ブラシによる口腔清掃を行い、可及的に健康な歯周組織を維持するように努めた。

被験部位は、下顎右側第二小臼歯および第一大臼歯で、使用したインプラント材は、Friatec 社 (ドイツ) から提供を受けた直径2.8 mm、長さ10 mmの実験用 IMZ[®] (Intramobiles Zylinder) インプラントである。

2. インプラントの植立

1) インプラント埋入部位の抜歯とインプラントの埋入

前投薬としてアトロピン0.1 ml/kg およびセラクタール0.05 ml/kg を混合し、筋肉内へ注射投与⁸⁾、さらにその15分後、塩酸ケタミン0.15 ml/kg の筋肉内注射による全身麻酔を行った。

そして、エピネフリン含2% リドカインによる局所麻酔下で抜歯、その後3カ月間の骨の再生を待ち、肉眼的およびX線的にみて異常を認めないことを確認ののち通法に従い、頬側から舌側に全層弁のフラップを形成、2本のインプラントをほぼ平行になるよう骨頂部から埋入 (図1)、のち全層弁を閉鎖した。

2) 2次手術および印象採得

インプラント埋入手術から約3カ月間骨接合期間を経た後 (図2)、通法に従い2次手術を行った。さらに2次手術から2週間、歯肉の術後改善を待ち (図

図 1 抜歯後3カ月経過ののち、2本のインプラント体をほぼ平行に埋入

図 2 1次手術後3カ月を骨接合期間とし、X線的に骨接合状態を確認

A：2次手術後2週間放置し、歯肉の改善を待つ

B：印象用ポストを利用し、上部構造の印象採得

図 3

3-A)、印象用ポストを利用して上部構造の印象採得を行った(図3-B)。

3) 上部構造の作製

上部構造は機能咬頭が嵌合する位置で、舌側から頬側に向かって側方力が加わるように模型上で作製した(図4)。まず、上部構造を模型上でブラックシリコン法にて咬合採得し、その咬合接触部を画像解析装置(イメージPC: edec社, 東京)で輝度レベルを測定し、それを宮田の方法^{9,10)}に準じ、約100 μ mの過高になるよう調整した(図5)。印象採得から1週間後に、印象用ポストを鋳造したアバットメントを支台歯にした上部構造のセメンティングを行った。

その後、再度口腔内でブラックシリコン法にて咬合採得を行い、前述の方法で過高量を確認した。

3. 実験モデル

実験モデルはインプラントに与える咬合負荷の期間から以下に分類した。屠殺はそれぞれ咬合負荷期間終了後ただちに実施した。

なお、モデルA(コントロール)は2次手術から6週目、すなわちモデルEと同期間経過後に屠殺した。

モデルA：コントロール(咬合負荷を与えない)

モデルB：1週間の咬合負荷

モデルC：2週間の咬合負荷

モデルD：3週間の咬合負荷

モデルE：4週間の咬合負荷

4. インプラントおよび隣接歯の歯周組織の診査

インプラントおよび隣接歯の歯周組織の診査は、上部構造物装着時と負荷期間終了時、すなわち屠殺直前

図4 模型上で上部構造の作製

の2回実施した。診査内容は4点法による Probing depth (プロービングデプス: PD), プロービング時の出血 (BOP) およびペリオテスト (シーメンス社, U.S.A.) による動揺度の測定の3つである。表1に負荷期間終了時の診査結果を示した。

5. 光学顕微鏡標本の作製

1) 屠殺および灌流固定

屠殺は、明海大学実験動物ガイドラインに従い、ベントバルビタールの腹腔内への過量な注射投与によった。また、ベントバルビタールの投与後、大腿静脈からヘパリンを300単位/kgで投与し、その後5分間放置した。その後、通法に従い灌流固定を行った。固定液は3% 蔗糖加リン酸バッファー2% グルタルアルデヒドを用いた。

2) 標本の作製

灌流固定終了後、被験部位を解剖用バンドソーを用いて切り出し、10% 中性ホルマリンで固定したのち、通法に従い研磨標本作製、コールのヘマトキシリン・エオジンで染色、検鏡した。

結 果

1. 肉眼的観察

実験期間終了時では、いずれの実験モデルにおいてもインプラント周囲の歯肉に発赤、腫脹などの炎症およびインプラント体の動揺などは認められず、また上部構造に損傷や破折などは認められなかった。

図5 咬合過高を100 μ mにコントロールし、舌側から頬側へ側方力が加わるようにする

表1 インプラントおよび隣接歯の歯周組織診査 (負荷期間終了後、屠殺直前)

		第一小白歯				第二小白歯				I-1				I-2			
		B	M	L	D	B	M	L	D	B	M	L	D	B	M	L	D
モデルA	PD	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1
	BOP	—				—				—				—			
	Mo	-4				+3				-6				-4			
モデルB	PD	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
	BOP	—				—				—				—			
	Mo	+3				+2				-3				-4			
モデルC	PD	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
	BOP	—				—				—				—			
	Mo	+2				+2				-2				-6			
モデルD	PD	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1
	BOP	—				—				—				—			
	Mo	+4				+2				-2				-2			
モデルE	PD	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1
	BOP	—				—				—				—			
	Mo	± 0				-2				± 0				-2			

2. 組織学的観察

1) モデルA (コントロール)

弱拡大において歯冠側1/3~2/3にかけてインプラント体との接触部およびその外周の骨に染色の不良な所見が認められるが、その部分も良好な骨接合が得られている。また、インプラント全周にわたって骨の吸収、破壊あるいは上皮の侵入といった所見は認められなかった (図6)。

2) モデルB (1週間過高装着)

インプラント体の頬側・歯冠側のおよそ2/3および舌側根尖側1/4に、わずかな非骨接合部が観察されるが、明瞭な骨吸収像や上皮の侵入は認められなかった。一方、骨頂部では頬・舌側ともに、歯冠側に向

図6 コントロール：尖端部の一部に骨髓腔の拡大が認められるが、骨質は良好で、旺盛な骨改造機転がうかがえる。特に、インプラント体の頬舌側周辺部に注目。薄い皮質骨で囲まれているが、吸収像は認められない。

B：頬側，L：舌側

かってわずかではあるが、層板構造を伴わない Woven Bone 様の骨の新生が認められた（図7）。

3) モデルC（2週間過高装着）

インプラント体の周囲はおおむね全体にわたって、軽度ではあるが、不規則な形状を示す骨接合状態が一樣に認められた。また、頬側骨頂部の一部ではモデルBで認められる部位にほぼ一致して、歯冠側へ向かうモデルBと同様の骨の新生が認められた（図8）。

4) モデルD（3週間過高装着）

インプラント周囲のすべてにわたって、良好な骨接

図7 1週間過高装着：骨頂部で骨の吸収を認める。舌側のインプラント体中央部からは尖端部にわたって新生骨の添加像を認める。インプラント体壁側では認められない。

B：頬側，L：舌側，NB：新生骨

合が認められた。また、骨頂部では頬・舌側ともモデルCでみられるような、歯冠側へ向かう柵状の骨の新生が認められた（図9）。

5) モデルE（4週間過高装着）

インプラント周囲はほぼすべて、コントロールで認められるような良好な骨の接合状態が認められた。また骨頂部から、頬側外側にかけて層板構造を伴わない Woven Bone 様の柵状構造の旺盛な骨の新生が認められた（図10）。

なお、モデルAからモデルEにおけるインプラント周囲の病理学的所見については図11にまとめて示した。

図 8 2週間過高装着：インプラントの全周でほぼ良好な骨接合が認められる。頬舌側の骨頂部，外傷骨膜下で軽度の骨の新生が認められる。

B：頬側，L：舌側，NB：新生骨

図 9 3週間過高装着：頬舌側で既存の骨と明瞭な境界が認められる新生骨の添加。舌側とくらべ頬側で骨の添加が旺盛である。

B：頬側，L：舌側，NB：新生骨

考 察

Lekholm ら¹¹⁾は、フィクスチャーに動揺が生じてくる原因の第一は咬合接触関係にあるとし、特に適切な咬合関係の設定が必要であると述べ、インプラントにおける咬合関係の重要性を強調している。一方、Jemt¹²⁾もインプラントでは、咬頭嵌合位での咬合接触の安定、それに偏心位での咬頭干涉の回避は天然歯のそれに比べ、さら重要であると述べている。ところで、ヒトの天然歯に発症する咬合性外傷は、臨床的には、歯周組織に炎症を認めない状態で、原発的に発症する一次性咬合性外傷と、歯周組織の炎症に併発した

二次性咬合性外傷に分類できる¹³⁾。特に、一次性咬合性外傷では、歯周組織の炎症性変化を伴わない骨の破壊、吸収を特徴とするが、この状況をインプラントに投影した場合、組織学的に幾つかの差異が指摘されよう。その一つが歯根膜の存在の有無であり、もう一つは周囲組織の付着の違いである。

咬合に関しては特に歯根膜の存在が重要となる。天然歯に過剰な咬合力が負荷された場合、歯根膜は咬合ストレスによる歯の移動に対応し、その負荷方向は圧迫され、その対側は牽引されることが知られている¹⁴⁾。

しかし、咬合ストレスが回避されると歯周組織は直ちに修復され、多くの場合問題とはならない。一方、

図 10 4週間過高装着：インプラントの外側骨表面をおおう旺盛な放射状の骨新生を認める。舌側尖端1/3で緻密な骨接合像を認める。尖端部ではインプラントの外形に沿って新生骨の形成機転がうかがえる。
B：頬側，L：舌側，NB：新生骨

そのような異常な咬合ストレスが長期間持続した場合、歯根膜はその圧迫側において生体に必要とされる歯根膜の幅を持続するため骨の吸収を起こすようになる。結果として、そのような骨吸収が持続的となり、非可逆的な病変に移行する¹⁵⁾。

インプラントでは、インプラント体が、直接骨と緊密に接触し骨とインプラント体間は、機能的骨性癒着で維持されていることから、おそらく、一部の骨誘導因子が咬合ストレスに何らかの形で反応しているものと想像できる¹⁶⁾。

さて、この実験の前提として、埋入された骨接合型

図 11 インプラントの病理組織学的所見

インプラントが組織学的に満足いく骨接合が得られている必要がある。結果として、咬合負荷を与えなかったコントロールにおいて、インプラント周囲に、良好な骨接合の組織像が観察されたことから、一応、実験の前提が整ったものと思われた。次に、約 100 μm という過高量の設定の根拠についてだが、ヒトの場合、上下顎咬合面間距離が 36 μm より狭くなると歯根膜の弾性応力が限界に近づき、10 μm 前後で外傷力として作用すると考えられている¹⁷⁾。臨床的には 36 μm の過高 (Articulating paper: GC, 東京) では歯根膜の弾性の対応範囲内であり、約 100 μm (Darex dental type: Darex, U.S.A.) の過高ではそれを越え、かなり咬合が高く感じられる。したがって、カニクイザルの歯根膜の弾性応力は不明なものの、ヒトに外傷力として作用し、かつ臨床的に診査可能な過高量として約 100 μm を設定した。さて、約 100 μm の過高な上部構造物を装着し、1~4 週間負荷させたモデル群において、1 週間過高装着モデルでわ

ずかな非骨接合部位が認められたものの、顕著な外傷性の骨破壊あるいは骨吸収と思われる所見は認められず、むしろ良好な骨接合が維持されていたことは大変興味深い。つまり、前述したとおり常識的な見解からすると過剰な咬合負荷によってインプラント周囲組織は、そのストレスの負荷方向へ圧迫され、その部分は緩衝機能を欠くため、義歯床粘膜下の歯槽骨の収収と同様の圧迫刺激機転により周囲骨組織は吸収を起こすと考えられる¹⁸⁾。しかしこのような所見はこの実験では認められなかった。著者らは、この理由について次の2点を考察した。すなわち、約100 μm という過高距離がインプラント体周囲骨の破壊をきたす限界の許容範囲内である可能性がこと。そして、もう一つは、インプラント体周囲の維持は皮質骨に局限し、海綿骨内では、ある程度の咬合負荷に対して、むしろ緩衝効果に働く可能性があることの2点である。特に、3週間および4週間過高装着モデルにおいて、歯冠側のインプラント周囲骨や側方咬合負荷を与えた頬側外側の骨膜下に顕著な新生骨の添加が認められたことは、Schroeder ら¹⁹⁾の、咬合負荷によって、骨とチタンとの接触密度や密着度が増加したという報告や、機械的負荷に対するひずみ値が大きくなると骨量の増大が認められる、という Taylor²⁰⁾ や Carter ら²¹⁾の研究と合わせ、長期間の咬合によるストレスが、いわゆる骨内の骨誘導因子である血液循環系を刺激し²⁰⁾、旺盛な骨の代謝を促し、結果としてそれらのストレスに対応する幅を獲得するための代償性の骨添加反応が起きたものと考えられる。しかし、このような現象に対する過高距離の限界は、この実験系だけで断言できないことは言うまでもない。つまり、ある骨誘導因子への刺激が、骨の添加として作用するか、あるいは骨吸収として作用するかの範囲を明らかにすることはできない。ただ、この結果から論ずる限り、咬合によるストレスが全て骨吸収に機転することはないことが示唆されたと言える。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究にご助言ご協力いただきました本学口腔解剖学第2講座、時岡孝夫教授、中島敏明助教授、および東京歯科大学病理学、下野正基教授に謹んで感謝の意を表します。

文 献

- 1) Brånemark, P.L., Breine, U., Adell, R., Hansson, B.O., Lindstrom, J. and Olsson, A.: Intra-osseous anchorage of dental prosthesis. I. Experimental studies. *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg.*, 3: 81-100, 1969.
- 2) Adell, R., Hansson, B.O., Brånemark, P.I. and Breine, U.: Intraosseous anchorage of dental prosthesis. II. Review of clinical approaches. *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg.*, 4: 19-34, 1970.
- 3) Albrektsson, T.R., Zarb, G.A., Worthington, P. and Ericsson, R.A.: The long term efficacy of currently used dental implants: A review and proposed criteria of success. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, 1: 11-25, 1986.
- 4) Adell, R., Lekholm, U. and Brånemark, P.L.: A 15 years study of osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. *Int. J. Oral Surgery*, 10: 387-416, 1981.
- 5) Hobkirk, J.A. and Psarros, K.J.: The influence of occlusal surface material on peak masticatory forces using osseointegrated implant supported prosthesis. *Int. J. Maxillofac. Implants*, 7: 345-352, 1992.
- 6) Bauman, G.R., Mills, M., Rapley, J.W. and Hallmon, W.W.: Plaque induced inflammation around implants. *Int. J. Oral. Maxillofac. Implants*, 7: 330-337, 1992.
- 7) Albrektsson, T.R.: A multicenter report on osseointegrated oral implants. *J. Prosthet. Dent.*, 60: 75-84, 1988.
- 8) 日本実験動物協会編: 実験動物の基礎と技術 II 各論, 丸善, 東京, 1989, 68-85.
- 9) 池田克己, 宮田 隆, 荒木久生, 申 基詰: 画像解析法による咬合性外傷の診査. *歯科ジャーナル*, 28: 537-580, 1988.
- 10) 宮田 隆: 咬合調整に伴う接触面積の動態に関する研究 1. 咬頭嵌合位における早期接触領域の形態的解析. *日歯周誌*, 27: 1-11, 1985.
- 11) Lekholm, U. and Zarb, G.A.: Patient selection and preparation. In: Brånemark, P.I., Zarb, G.A. and Albrektsson, T.: *Tissue-integrated Prosthesis: Osseointegration in clinical dentistry*, Chicago, Quintessence, 1985, 199-209.
- 12) Jemt, T.: Modified single and short-span restorations supported by osseointegrated implant. *J. Prosthet. Dent.*, 55: 245-247, 1986.
- 13) 池田克己, 宮田 隆: 咬合治療, 歯周疾患のために, 第一版, 医歯薬出版, 東京, 1990, 37-40.
- 14) Melcher, A.H.: The periodontal ligament, S.N. Bhalken ed., *Oral Histology and Embryology*, 10th ed., Mosby, St. Louis, 1956, 198-231.
- 15) Hösl, E., Zachrisson, B.U. and Baldauf, A.: 山村 武夫, 瀬端正之, 下野正基, 古賀正忠 (監訳): 歯周と矯正, クインテッセンス出版, 1986, 128-156.
- 16) 西原克成: セメント芽細胞分化の生体力学要因, ハ

- イブリッド型人工歯根の歯周支持組織の誘導. 日本機械学会バイオエンジニアリングシンポジウム講演論文集, 110-111, 1994.
- 17) Tryde, G. : An assessment of the tactile sensibility in human teeth. *Acta. Odontol. Scand.*, 20 : 233-256, 1962.
- 18) Brånemark, P.L., Breine, U., Adell, R., Hansson, B.O., Lindstrom, J. and Olsson, A. : Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-years period. *Scand. J. Plast. Reconstr. Surg.*, 11 (Suppl 16) : 1-132, 1977.
- 19) Schroeder, A., Pohler, O. and Sutter, F. : Gewebereaktion auf ein Titan-Hohl-Zylinder implant und Titan - Spritzschichtoberfläche. *Schweiz. Mschr. Zahnheilk.*, 86 : 713, 1976.
- 20) Taylor, T.D. : Osteogenesis of the mandible associated with implant reconstruction : A patient report. *Int. J. Oral Maxillofac. Implants*, 4 : 227, 1989.
- 21) Carter, D.R., Caler, W.E., Spengler, D.M. and Frankel, V.H. : Fatigue behavior of adult cortical bone -the influence of mean strain and strain range. *Acta. Ortho. Scand.*, 52 : 481, 1981.
- 19) Schroeder, A., Pohler, O. and Sutter, F. :

連絡先 :

明海大学歯学部歯科臨床研究所

〒 358 埼玉県入間市豊岡 5-1-3