原	著
---	---

インプラント適用に伴う片側臼歯欠損症例の咬合力配分の変化

塩 田 真 重 岡 祐 一 入 谷 治
東京医科歯科大学歯学部附属病院インプラント治療部（主任：榎本昭二教授）

（1998年5月6日 受付）

The Occlusal Force Distribution on the Dental Arch Restored with Implants in Uni-Lateral Molars Missing

Makoto Shiota, Yuichi Shigeoka and Osamu Iritani

Clinic for Oral Implant, University Hospital, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University
(Chief : Prof. Shoji Enomoto)

The object of this study was to discuss the occlusal force distribution on the dental arch before and after wearing implant-supported prostheses. The occlusal force was measured on four patients missing uni-lateral molars restored with 14 dental implants. The occlusal force distribution was represented as the occlusal force bearing rate (B.R.) which is the percentage of occlusal force on each portion to the total occlusal force. B.R. of the implant portion, of the non-implant side molar portion and of the anterior portion were calculated on four patients. B.R. of the premolar implant portion and of the molar implant portion were calculated on two patients. The pressure sensitive sheets and the image scanner (Dental Prescale 50H type R and Occluzer FPD 703, Fuji Photo Film Co.) were used in this study. The results were as follows :

1. The corresponding occlusal force was also born with the implant portion. Therefore, the total occlusal force increased, and the occlusal force distribution was extended to the same degree as the natural dentition after wearing the implant-supported prostheses.
2. The occlusal force and B.R. on the molar implant portion were considerably large regardless of wearing premolar implants.
3. The occlusal force and B.R. on the most distal implant in any molar portion were almost constant.

These results suggested that the implant restoration should be useful for recovering occlusal functions, and that the most distal implant on the dental arch should have the sufficient bearing potential.

I. 緒 言

欠損歯列へのインプラントの適用は、総咬合力の増加による機能回復とともに咬合力の歯列への均等配分や残存天然歯の負担軽減などの機能維持にも資することが示唆されている¹⁾。特に臼歯部の咬合接触を回復し顎口腔系に生体力学的な安定を与えることは、顎機能状態の維持に大きく寄与するものである。しかし、インプラントには、天然歯と異なる被圧変位特性があること²⁾、植立位置が顎骨の狭小化に伴って従来天然歯があった位置とは異なること³⁾、そのために咬合面の位置や大きさが天然歯と異なること¹⁾など咬合を再構築する際に検討を要する特殊性が多く存在する。したがって、生体と調和したインプラントを構築するためには、欠損形態に応じたインプラントの咬合力負担状態を把握することが必要とな

る。そこで今回われわれは、欠損側に臼歯部での咬合接触を持たない症例を選択し、インプラント補綴の施術前後における咬合力の負担様相の変化に関して評価検討を行った。さらに一部症例では、インプラント補綴物の装着状態を変え、それに伴った咬合力配分の変化に関して評価、検討を行った。

II. 実験方法

1. 被験者

被験者は顎口腔系に機能異常およびその既往を認めない44～74歳の男性2名、女性2名の計4名であり、下顎片側臼歯欠損症例が3名、上顎片側臼歯欠損症例が1名である。対合歯列と非インプラント側歯列にはともに非固定式の補綴物は装着されておらず、第二大臼歯もしくは第三大臼歯まで天然歯が存在する。インプラント (ITI

表 1 被験症例の歯式

	残存歯列		補綴歯列	
被験者 A 44歳男性	7654321 321	12345678 123456⑦	7654321 ⑦⑥⑤④321	12345678 123456⑦
被験者 B 49歳女性	7654321 7⑥54321	1②345678 123	7654321 7⑥54321	1②345678 123④⑤⑥⑦
被験者 C 74歳女性	7654321 321	12③4567 1234567	7654321 ⑥⑤④321	12③4567 1234567
被験者 D 49歳男性	321 7⑥54321	1②34567 1234⑤⑥⑦	⑦⑥⑤④321 7⑥54321	1②34567 1234⑤⑥⑦

○：ポンティック部，●：インプラント部

インプラント (Institute Straumann) は、下顎片側臼歯欠損症例の 2 名では第一小臼歯部から第二大臼歯部まで 4 本を埋入し、1 名では第一大臼歯部まで 3 本を埋入した。後者では補綴部位も第一大臼歯部までとした。上顎片側臼歯欠損症例では第二小臼歯部から第二大臼歯部までの 3 本を埋入し、橋体を近心側へ延長して第一小臼歯部から第二大臼歯部までの補綴を行った。各被験者の歯列の状況は歯式で表 1 に示すとおりで、橋義歯を装着している被験者ではポンティック部の数字を○で囲んで表示してある。

2. 測定方法

咬合力の測定には咬合力測定フィルム、デンタルプレスケール R タイプ 50 H (以下、プレスケールと記す) および専用評価装置 OCCLUZER FPD 703 (以下、オクルーザーと記す) を使用し、インプラント補綴物の装着前と装着後に記録を行った。さらに下顎の第一小臼歯部から第二大臼歯部まで 4 本のインプラントを埋入した 2 症例 (被験者 A, B) では補綴物の装着条件を変えて記録を行った。

装着条件は、小臼歯部補綴物装着時 (以下、小臼歯部補綴時と記す)、大臼歯部補綴物装着時 (以下、大臼歯部補綴時と記す)、小臼歯部および大臼歯部補綴物装着時 (以下、小臼歯大臼歯部補綴時と記す) の 3 種類とした。

記録時には被験者に直立位をとらせ、プレスケールを口腔内に挿入した状態で開口状態横指まで徐々に閉口させ、その後「ぎゅうっと噛んでください」と指示を与え、約 2 秒間噛みしめを持続させた。記録はそれぞれ 3 回以上行った。記録後プレスケールは冷蔵庫内に保管し、12 時間以内にオクルーザーにて解析を行った。サーマルフィルムにプリントされた記録をチェックバイトならびに口腔内模型と照合し、下顎各歯およびインプラント部に作用した咬合力を測定した。

計測項目は咬合面積と咬合力であり、さらに各咬合力を

総咬合力で除して咬合力負担率とした。また、画像データは支援ソフト (オクルーザーグラフ、富士写真フイルム社製) を用いてパーソナルコンピュータに転送し、保存した。

III. 結 果

1. 咬合力

補綴前と補綴後における平均総咬合力、インプラント部、非インプラント側臼歯部、前歯部の平均咬合力を表 2 に示す。

平均総咬合力は補綴前が 455.5 N、補綴後が 497.3 N と増加を示した。非インプラント側臼歯部の平均咬合力は補綴前が 351.2 N、補綴後が 300.9 N と減少したが、前歯部の平均咬合力は 104.3 N から 18.4 N へと大きく減少した。インプラント部の平均咬合力は 180.0 N と補綴後の非インプラント側臼歯部平均咬合力の 2/3 程度であった。

2. 咬合面積

補綴前と補綴後における平均総咬合面積、インプラント部、非インプラント側臼歯部、前歯部の平均咬合面積を表 3 に示す。

平均総咬合面積は補綴前が 10.6 mm²、補綴後が 9.7 mm² とやや減少した。非インプラント側臼歯部の平均咬合面積は補綴前が 7.7 mm²、補綴後が 6.4 mm² と同じくやや減少したが、前歯部の平均咬合面積は補綴前の 2.8 mm² から補綴後の 0.3 mm² へと大きく減少した。インプラント部の平均咬合面積は 3.0 mm² で、非インプラント側臼歯部の平均咬合面積の約半分であった。

3. 咬合力負担率

補綴前と補綴後におけるインプラント部、非インプラント側臼歯部、前歯部の平均咬合力負担率を表 4 に示す。非インプラント側臼歯部の平均咬合力負担率は補綴前が 77.2%、補綴後が 59.8%、前歯部の平均咬合力負担率は補綴前が 22.8%、補綴後が 4.6% と双方とも大きく減少した。インプラント部の平均咬合力負担率は 35.6% であった。

4. 装着条件を変えた際の咬合力

各装着条件における被験者 A と B の咬合力を表 5 に示す。

被験者 A では総咬合力が、インプラント補綴なしで 448.8 N、小臼歯部補綴で 472.4 N、大臼歯部補綴で 505.5 N、小臼歯大臼歯部補綴で 560.1 N と順次増加した。また、小臼歯部補綴時のインプラント部咬合力は 123.0 N、大臼歯部補綴時のインプラント部咬合力は 142.2 N でほぼ同じ値を示した。

被験者 B では総咬合力が、インプラント補綴なしで 400.4 N、小臼歯部補綴で 401.7 N、大臼歯部補綴で 397.4 N、小臼歯大臼歯部補綴で 375.3 N でほとんど同

表2 平均咬合力

	インプラント補綴前	インプラント補綴後
平均総咬合力	455.5±114.8 N	497.3±139.6 N
インプラント部		180.0± 59.2 N
非インプラント側臼歯部	351.2±105.5 N	300.9± 98.5 N
前歯部	104.3± 49.4 N	18.4± 27.6 N

表3 平均咬合面積

	インプラント補綴前	インプラント補綴後
平均総咬合面積	10.6±2.7 mm ²	9.7±2.8 mm ²
インプラント部		3.0±1.0 mm ²
非インプラント側臼歯部	7.7±2.2 mm ²	6.4±2.1 mm ²
前歯部	2.8±1.4 mm ²	0.3±0.5 mm ²

表4 平均咬合力負担率

	インプラント補綴前	インプラント補綴後
インプラント部		35.6%
非インプラント側臼歯部	77.2%	59.8%
前歯部	22.8%	4.6%

表5 装着条件を変えた際の咬合力

	インプラント補綴なし	小臼歯部補綴	大臼歯部補綴	小臼歯・大臼歯部補綴
被験者 A				
総咬合力	448.8±263.0 N	472.4±216.4 N	505.5±227.0 N	560.1±214.7 N
前歯部	53.3± 46.7 N	51.4± 10.3 N	30.5± 23.2 N	29.0± 24.6 N
非インプラント側臼歯部	395.6±224.7 N	296.8±152.2 N	332.8±126.7 N	339.0±137.9 N
小臼歯部インプラント	0.0 N	123.0± 55.4 N	0.0 N	72.8± 23.4 N
大臼歯部インプラント	0.0 N	0.0 N	142.2±100.8 N	119.3± 65.2 N
被験者 B				
総咬合力	400.4± 31.7 N	401.7± 17.4 N	397.4± 33.0 N	375.3± 43.2 N
前歯部	122.6± 29.0 N	29.8± 18.3 N	29.8± 18.3 N	41.0± 35.8 N
非インプラント側臼歯部	277.8± 23.2 N	244.6± 16.5 N	240.3± 23.7 N	192.0± 36.2 N
小臼歯部インプラント	0.0 N	127.1± 16.9 N	0.0 N	44.0± 10.5 N
大臼歯部インプラント	0.0 N	0.0 N	127.3± 9.6 N	98.4± 16.5 N

じであった。また、小臼歯部補綴時のインプラント部咬合力は 127.1 N、大臼歯部補綴時のインプラント部咬合力は 127.3 N ではほぼ同じ値を示した。

5. 装着条件を変えた際の咬合力負担率

各装着条件における被験者 A と B の咬合力負担率を表 6 に示す。

被験者 A では、小臼歯部補綴時の小臼歯部インプラント咬合力負担率と大臼歯部補綴時の大臼歯部インプラント咬合力負担率はともに 26.3%であった。被験者 B でも小臼歯部補綴時の小臼歯部インプラント咬合力負担率は 31.6%、大臼歯部補綴時の大臼歯部インプラント咬合力負担率は 32.2%とはほぼ同じ比率を示した。また、小臼歯

表 6 装着条件を変えた際の咬合力負担率

	インプラント補綴なし	小白歯部補綴	大白歯部補綴	小白歯・大白歯部補綴
被験者 A				
前歯部	10.1%	11.9%	6.6%	6.7%
非インプラント側臼歯部	89.9%	61.8%	67.1%	59.6%
小白歯部インプラント	0.0%	26.3%	0.0%	13.4%
大白歯部インプラント	0.0%	0.0%	26.3%	20.3%
被験者 B				
前歯部	30.0%	7.3%	7.4%	10.9%
非インプラント側臼歯部	70.0%	61.1%	60.4%	51.0%
小白歯部インプラント	0.0%	31.6%	0.0%	11.8%
大白歯部インプラント	0.0%	0.0%	32.2%	26.3%

大白歯部補綴時の小白歯部インプラント咬合力負担率は被験者 A で 13.4%，被験者 B で 11.8%と小白歯部補綴時と比べて大きく減少した。小白歯・大白歯部補綴時の大白歯部インプラント咬合力負担率は被験者 A で 20.3%，被験者 B で 26.3%と小白歯部補綴時と比べて若干の減少にとどまった。

IV. 考 察

咬合力は、咀嚼筋活動の最終的な出力であることから、顎口腔系の機能を評価するための有力な指標の一つと考えられている⁴⁾。インプラントを適用した患者でも、インプラント部で相応の咬合力が負担され、総咬合力が増加することからインプラントによっても機能回復が行われることが示唆されている。しかし、インプラントのように植立形態が天然歯と異なるものを用いて顎口腔系の再構築を行う場合には、十分な機能回復とその維持を図るために、欠損形態や補綴条件に応じた咬合力の発現様式を正しく理解しておく必要がある。そこで今回、欠損側に臼歯部の咬合接触を有していない症例を選択し、インプラント補綴の施術前後における咬合力の負担様相の変化と、インプラント補綴物の装着条件に伴う咬合力配分の変化に関して評価、検討を行った。

1. 咬合力の変化

インプラント補綴後の平均総咬合力は 497.3 ± 139.6 N であり、服部らによる 42 名の健常者におけるほぼ同条件での測定値 879 ± 388 N の約半分であった⁵⁾。また、Lundgren らによって 41 歳から 58 歳までの 12 名の被験者についてフルアーチブリッジにストレインゲージを組み込んで測定された最大咬合力は 320 ± 117 N と本研究よりもやや低い値であった⁶⁾。これは、服部らの被験者が青年健常者であるのに対して、本研究や Lundgren らの被験者が中高年者であり咀嚼筋力が減少していること、また口腔内状態が健全天然歯列とはかなり異なるこ

となどによると考えられる。

インプラント補綴後の平均総咬合力の増加は、補綴前の値の 10%程度にとどまった。これは、補綴後にインプラント部で負担される咬合力が加わったが、前歯部で負担される咬合力が大きく減少したことと関連すると考えられる。さらにインプラント補綴前では、片側の臼歯がないために、噛みしめ時の顎位が補綴後と若干異なることも考えられる。平林は下顎の全運動範囲内における種々な顎位で最大咬合力を測定したところ、開口量 2.0～5.0 mm では正中矢状面より左右側方 1.0 mm で最大値が示され、側方へやや偏位した顎位で咬合力が最大になるとしている⁷⁾。また、佐藤による健常者の総咬合力の最大値は、左・右側噛みしめ時に 843～1,983 N、両側噛みしめ時に 1,248～1,874 N であり、両側噛みしめ時の値が必ずしも片側噛みしめ時より大きくないことを示している⁴⁾。崎間らは、咬頭嵌合位付近での前方、後方、左右側方への意識的な噛みしめ時の顎位の偏位は、咀嚼運動路の終末位としてみなされる範囲であると報告している⁸⁾。そこでインプラント補綴前の噛みしめでは、顎位が咬頭嵌合位から非インプラント側方向へ若干偏位し、インプラント補綴前の平均総咬合力が比較的大きくなったと推察される。

インプラント部の平均咬合面積は非インプラント側臼歯部の約半分であった。これは、インプラント体の直径が天然大白歯歯冠部近遠心幅径と比較して小さくインプラント上部構造の近遠心径も天然歯と比べて小さくなること、インプラントの埋入位置が舌側寄りに偏位するためにインプラント上部構造の頬舌径も天然歯歯冠部より小さくなること、インプラント体に加わる側方応力を軽減させるために咬合面形態の調整を行い、上部構造の咬頭傾斜を緩やかにしていることによるものである。しかしながら、インプラント部の平均咬合力と平均咬合力負担率はともに非インプラント側臼歯部の約 2/3 であり、

インプラント部では相応の咬合力負担が行われていることがわかる。

歯列全体の咬合力配分をみると、インプラント補綴前の非インプラント側臼歯部咬合力負担率は77.2%であったが、補綴後は非インプラント側臼歯部とインプラント部の合計が95.4%へと上昇した。戸田らによる健常歯列における咬合力配分のプレスケールでの測定では、大臼歯群と小臼歯群の合計が95%であり⁹⁾、インプラント補綴によって咬合力配分は改善したとみなすことができよう。また、前歯部の咬合力負担率は、インプラント補綴前に22.8%であったが、補綴後に4.6%と大きく減少した。羽賀らは、歯の荷重負担能力の重要因子として歯根表面積を挙げており、区分求積法による計測から上下顎とも切歯の歯根表面積は大臼歯よりかなり小さいことを報告している¹⁰⁾。したがって、インプラント補綴後の前歯部咬合力負担率の減少は、咬合力の適正配分の観点からも妥当であると考えられる。

2. 小臼歯部と大臼歯部との咬合力負担様相に関して

小臼歯部インプラントの咬合力負担率は、大臼歯部の補綴があるときには小臼歯部のみ補綴されたときより大きく減少した。しかし、大臼歯部インプラントの咬合力負担率は、小臼歯部の補綴の有無にほとんど影響されなかった。したがって、大臼歯部では常に相当程度の咬合力が負担されることが考えられ、同部には十分な負担能力を有するインプラントの適用が必要となる。

野村らは、咬合器関節部の固定の程度を変えて上下顎間の接触力の測定を行い、均一な厚さのプレスケールが上下咬合面間に介在することが、咬合力が歯列後方で大きく出ることの原因の一つと指摘しているが¹¹⁾、咬合力の分布には、歯、咀嚼筋、顎関節などの形態と位置関係、噛みしめ時の咀嚼筋活動、顎骨の変形などの多くの要因が関与すると考えられ、本研究における咬合力の分布も顎口腔系の物理的要素や筋活動などを総合的に反映したものと考えられる。また、小臼歯部のみが補綴されたときの小臼歯部インプラントの咬合力と咬合力負担率は、大臼歯部のみが補綴されたときの大臼歯部インプラントの咬合力と咬合力負担率にほぼ等しかった。したがって、インプラントが歯列内の最後方に位置する場合は、インプラントの位置が小臼歯部にあるか、大臼歯部にあるかにかかわらず、インプラントで負担される咬合力はほぼ同じであることがわかる。下顎管の走行や上顎洞底の位置などによって大臼歯部へのインプラント埋入が不可能な症例では、小臼歯部インプラントに上述のような負担が加わることが予測されるので、咬合力に対する十分な配慮が必要と考えられる。近年、直径の太いインプラントなども開発供給されており、インプラントの負担能力

を向上させるためにはそれらの適正な使用を考慮することが必要となろう。

V. 結 論

欠損側に臼歯部での咬合接触を持たない患者にインプラント補綴を適用し、その前後にデンタルプレスケールを用いて咬合力測定を行い、以下の結論を得た。

1. インプラントの適用によりインプラント部では相応の咬合力負担が行われ、総咬合力は増加し、咬合力配分は健常歯列者と同程度まで回復した。
2. 大臼歯部に位置するインプラントでは、小臼歯部補綴の有無にかかわらず相当程度の咬合力が負担されていた。
3. 歯列内の最後方に位置するインプラントでは、その位置が臼歯部領域内のどこであろうとも一定の咬合力が負担されていた。

以上のように、インプラントによる欠損補綴で咬合機能は回復されるが、歯列内の最後方に位置するインプラントには十分な負担能力を有するインプラント体の適用が必要となることが示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり本研究にご協力くださいましたインプラント治療部ならびに歯科補綴学第二講座の諸先生方に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 塩田 真, 大野真一: インプラント適用患者の咬合力測定. 口病誌 64: 405-412, 1997.
- 2) 堀田宏巳: 下顎Osseointegrated implant 症例におけるFixtureの被圧変位特性に関する実験的研究. 歯科学報 92: 1-43, 1992.
- 3) 一條 尚: 下顎骨の一生. 日本歯科評論 490: 143-159, 1983.
- 4) 佐藤智昭: 正常者の歯列における咬合力分布に関する研究. 補綴誌 41: 634-644, 1997.
- 5) 服部佳功, 佐藤智昭, 渡辺 誠: 噛みしめ時の歯列における咬合力分布. 顎機能誌 2: 111-117, 1996.
- 6) Lundgren, D. and Laurell, L.: Occlusal force pattern during chewing and biting in dentitions restored with fixed bridges of cross-arch extension. J. Oral Rehabil. 13: 57-71, 1986.
- 7) 平林健彦: 種々な下顎位における咬合力に関する研究. 補綴誌 18: 337-360, 1975.
- 8) 崎間 徹, 田中泰弘, 松元 誠, 渡辺 功: 咀嚼中心の力学的考察. 補綴誌 38 (91 回特別号): 128, 1994.
- 9) 戸田 聡, 袖山亜紀, 篠ヶ谷龍哉, 松元 誠: 歯列内咬合力配分とその重心の位置的な変化の観察. 口病誌 65: 126, 1998.
- 10) 羽賀通夫, 腰原 好, 山中喜男, 黒須 誠, 佐藤正行, 佐々木康, 五十嵐栄: 永久歯歯根表面積の研究(第2報). 補綴誌 18: 250-259, 1975.
- 11) 野村修一, 金谷 貢, 河野正司, 加茂剛介, 中野周二, 宮川修: デンタルプレスケールを用いた前後の咬合力分布測定に関する模型実験的考察. 補綴誌 41: 710-718, 1997.