原著論文

3/4 冠・陶材焼付冠支台の補綴物が歯牙の動揺度と 支持組織の負担力に与える影響

篠原 直幸 嶺崎 良人 自見 忠

The Effect of the 3/4 Crown and Porcelain-Fused Crown Restorations on the Tooth Displacement and the Loading Force of the Supporting Tissues

Naoyuki Shinohara, Yoshito Minesaki and Tadashi Jimi

Abstract : A mechanical simulation model of tooth and alveolar bone in the application of 3/4 crown and porcelain-fused crown restorations was made and analyzed using three-dimensional finite element technique.

The results obtained were as follows.

1. When the physiological tooth mobility was less than 150 μm , the teeth were sufficiently fixed using the splint and the bridge connected with more than two teeth, in the case of 20 percent absorption of the alveolar bone, and more than three teeth in the case of 40 percent absorption. In the case of 60 percent absorption, the teeth were fixed with the splint of six teeth connections, and were fixed with the bridge of five teeth connections.

2. The periodontium supporting force decreased markedly according to the increase of the number of the abutment teeth.

3. The teeth accompanied with the absorption of the alveolar bone were connected, in order to inhibit the tooth mobility and the periodontium supporting force. In this application, it had the inhibitory action when the replacing ratio of metal and ceramics to a crown of the tooth was less than 35 percent.

4. According to the finite element analysis, the design bases of fixed restorations applied in the teeth accompanied with the absorption of the alveolar bone were preferred.

Key words : 3/4 crown, porcelain-fused crown, absorption of alveolar bone, three-dimensional finite element technique

I. 緒 言

多くの異種材料から成る歯牙・歯周組織・補綴物などを全体として 3 次元の数値解析をするには、かなりの困難があり実際に無理であった。そのため、固定性架工義歯などの構造物そのものを FEM によって数値解析するために、前報で 3 次元のモデル化に工夫を施し解析した^{1,2)}。歯牙あるいは支持組織だけでなく補綴物までを 3 次元で、しかも複数歯解析するために、歯牙を変断面複合梁、歯根膜や歯槽骨などの支持組織の一端が空間固定のスプリングのモデルによって再現した。そして、接着性補綴物が歯牙の動揺度と支持組織の負担力に与える影響について報告を行った²⁾。

今回、ブリッジやスプリントの支台に 3/4 冠と陶材焼付冠を用いた場合について、接着性補綴物の場合と同様な解析を行い比較検討したので、報告する。

II. 3 次元有限要素モデルと解析方法

1. 3 次元有限要素モデル

各歯牙は、歯冠部と歯根部のそれぞれ 5 個の梁要素から成る 11 節点変断面複合梁として近似し、モデル化を行った。3/4 冠を支台歯に用いた場合、歯牙を支台歯形成し金属で補綴する部分は、近心・遠心・舌側のすべてを 0.8 mm の厚みとした³⁻⁵⁾。これを図 1-(a) に示す。陶材焼付冠を支台歯に用いた場合、修復物に置換する部分は、唇側 1.2 mm・舌側 0.8 mm とした。近遠心部で置換する部分は、歯牙の頬舌径の中心から 0.3 mm 唇側の部分から唇側では 1.2 mm、舌側では 0.8 mm の厚みと

した⁶⁻⁸⁾。これを図 1-(b) に示す。

欠損修復ダミーは、接着性補綴物の場合と同様なダミーモデルを用いた⁹⁾。歯牙の連結も同様に板要素を用い、梁要素の節点と板要素の節点は、剛体によって連結されていることとした^{1,2)}。

歯牙と歯根膜および歯槽骨との結合、歯槽骨垂直吸収のシミュレートも、接着性補綴物の場合と同様に行った^{1,2)}。

2. 解析方法

1) 解析項目

連結した歯牙の外力に対する挙動に、影響を与える設計パラメータとして選択したスプリントとブリッジの解析項目を、表 1、2 に示す。スプリント・ブリッジの両方のケースとも、3/4 冠および陶材焼付冠を支台装置とした解析ケースは、それぞれ 60、48 の組合せである。接着性補綴物の場合に、同一歯牙での外力の作用部位、連結金属の厚みや位置などの影響について解析したので、これらの設計パラメータは解析項目に入れなかった。

図 1 モデル歯牙の歯冠部断面

表 1 スプリントの解析ケース

支台装置 Cr		歯槽骨吸収率 P		支台歯 T		荷重部位 F		連結部位 C		解析ケース	ケース数
装置	略号	%	略号	数と種類	略号	歯牙部位	略号	部位	略号		
3/4冠	3/4Cr	0	P6	②①	T2	1 切縁	F1U	切端側 3/5	CU	3/4 Cr・P6~3・T2・F1U~3U・CU	12
										T3	12
		20	P5	③②①	T3	2 切縁	F2U			T4	12
										T5	12
				③②① ①	T4	3 切縁	F3U			T6	12
陶材 焼付冠	MBCr	40	P4	③②① ①	T4	3 切縁	F3U			MBCr・P6~3・T2・F1~3U・CU	12
										T3	12
		60	P3	③②① ①②	T5					T4	12
										T5	12
				③②① ①②③	T6					T6	12

表 2 ブリッジの解析ケース

支台装置 Cr		歯槽骨吸収率 P		支台歯 T		荷重部位 F		連結部位 C		解析ケース	ケース数
装置	略号	%	略号	数と種類	略号	歯牙部位	略号	部位	略号		
3/4冠	3/4Cr	0	P6	③2①	T3	1 切縁	F1U	切端側	CU	3/4Cr・P6~3・T3・F1U~3U・CU	12
			P5	③2①①	T4	2 切縁	F2U	3/5		T4	12
		20	P5	③2①①	T4	2 切縁	F2U			T5	12
			P5	③2①①	T4	2 切縁	F2U			T6	12
陶材 焼付冠	MBCr	40	P4	③2①①②	T5	3 切縁	F3U			MBCr・P6~3・T3・F1U~3U・CU	12
			P4	③2①①②	T5	3 切縁	F3U			T4	12
		60	P3	③2①①②③	T6					T5	12
			P3	③2①①②③	T6					T6	12

2) 解析方法

接着性補綴物の場合と同様に、歯牙の動揺度と支持組織の負担力に注目して計算—図形処理を行い、結果を比較検討した。

III. モデルを用いての解析結果

1. スプリントを用いた場合の歯牙の動揺度（歯牙変位）

スプリントにより歯牙を連結固定した場合の歯牙変位の変化を、歯槽骨吸収率 20% と 60% の場合について解析した結果を図 2, 3 に示す。荷重は 1 切縁中央に舌側より 500 g の水平荷重として加えた。図の縦軸は各歯牙モデルの切縁部節点の変位、横軸は歯牙の種類である。

歯槽骨吸収率が大きくなると歯牙変位は増大し、吸収率が 40% を超えると急激に増加する傾向がみられた。また、どの歯槽骨吸収条件下でも、連結歯数が増加するに伴い歯牙変位は減少した。また、陶材焼付冠を支台とした場合に 3/4 冠を支台にした場合より歯牙変位は減少したが、その傾向は連結歯数が増加するに伴い減少し、各歯牙の変位の差も小さくなる傾向がみられた。

2. スプリントを用いた場合の歯根膜負担力

スプリントによる歯根膜負担力の変化を、歯槽骨吸収率ごとに解析した。歯槽骨吸収率 20% と 60% のモデルについて、1 切縁中央部に舌側より 500 g 水平荷重を加えた場合の荷重歯ならびに連結歯の歯根膜負担力を図 4, 5 に示した。

歯槽骨吸収の増加に伴い、歯根膜負担力は増加した。また、いずれの歯槽骨吸収条件下でも、連結歯数の増加に伴い歯根膜負担力は減少することがわかる。また、陶

図 2 モデルでの連結歯数と歯牙変位の関係
(スプリント—歯槽骨吸収率 20%)

図 3 モデルでの連結歯数と歯牙変位の関係
(スプリント—歯槽骨吸収率 60%)

図 4 モデルでの連結歯数と歯根膜負担力の関係
(スプリントー歯槽骨吸収率 20%)

図 6 モデルでの支台歯数と歯牙変位の関係
(ブリッジー歯槽骨吸収率 20%)

図 5 モデルでの連結歯数と歯根膜負担力の関係
(スプリントー歯槽骨吸収率 60%)

図 7 モデルでの支台歯数と歯牙変位の関係
(ブリッジー歯槽骨吸収率 60%)

材焼付冠を支台とする場合が 3/4 冠を支台とする場合より歯根膜負担力の最大値は低下する傾向がみられたが、その傾向は連結歯数が増すに伴い減少した。

3. ブリッジ (2欠損) を用いた場合の歯牙の動揺度 (歯牙変位)

2欠損に対し修復した場合の歯牙変位の変化を、歯槽骨吸収率 20% と 60% について解析した結果を図 6, 7 に示した。荷重条件は 1) 切縁中央に 500 g 水平荷重である。縦軸は各歯牙モデルの切縁中央部節点の水平方向変位、横軸は歯牙の種類を示す。

歯槽骨吸収率が増加するに伴い、歯牙変位は増加し

た。また、いずれの歯槽骨吸収条件下でも、支台歯数の増加に伴い歯牙変位は減少した。また、支台装置による違いは大きくないが、歯槽骨吸収率が大きくかつ連結歯数が多い時、陶材焼付冠支台の場合が 3/4 冠支台の場合より歯牙変位は減少した。

4. ブリッジ (2欠損) を用いた場合の歯根膜負担力

歯槽骨吸収率が異なる歯牙モデルにおける歯根膜負担力の変化を調べた。図 8, 9 は歯槽骨吸収率を 20% と 60% にした場合である。荷重は 500 g で 1) 切縁中央に舌

図 8 モデルでの支台歯数と歯根膜負担力の関係 (ブリッジ-歯槽骨吸収率 20%)

図 9 モデルでの支台歯数と歯根膜負担力の関係 (ブリッジ-歯槽骨吸収率 60%)

側から水平荷重として加えた。図の縦軸は歯根膜負担力最大値、横軸は歯牙の種類を示す。

歯槽骨吸収率の増加に伴い、歯根膜負担力は増加した。また、いずれの歯槽骨吸収条件下でも、支台歯数の増加に伴い歯根膜負担力は減少した。また、支台装置による違いは大きくないが、歯槽骨吸収率が大きくかつ連結歯数が多い時、陶材焼付冠を支台とする場合が 3/4 冠を支台とする場合より歯根膜負担力は減少した。

図 10 モデルでの連結歯数と荷重歯の歯牙変位の関係 (スプリントによる歯牙変位の減衰)

図 11 モデルでの連結歯数と荷重歯の歯根膜負担力の関係 (スプリントによる歯根膜負担力の減衰)

IV. 考 察

1. スプリントを用いた場合の歯牙の動揺度 (歯牙変位)

前報²⁾と同様、150 μm と 250 μm を歯牙の生理的動揺度¹⁰⁻¹³⁾とし、連結歯の動揺度がこの範囲内に留まれば連結固定の意味があるとした。そして、これらの動揺度の値をもとにスプリントの連結条件を求めた。

スプリントの各連結条件下での 1 切縁中央部の水平変位を、図 2, 3 をもとにして書き換えたものを図 10 に示した。縦軸は 1 切縁中央部の水平変位、横軸はスプリントの連結条件である。単独歯の生理的動揺度に近い 150 μm の条件では、歯槽骨吸収率 20% の場合 2 歯以

上の連結が必要である。吸収率 40% では 3 歯以上, 60% では 6 歯以上の連結が必要である。また, 中等度の動揺度とされる $250\mu\text{m}$ を条件にとると, 吸収率 40% では 2 歯以上, 60% では 5 歯以上の連結がそれぞれ必要となる。陶材焼付冠と 3/4 冠の支台装置の違いによる影響はほとんどみられなかった。

2. スプリントを用いた場合の歯根膜負担力

前報と同様, 連結歯の生理的に許容できる歯根膜負担力が単独歯で得られた 565g 相当のレベルまでに留まれば, 連結固定の意味があるとして考察した。

図 11 は図 4, 5 をもとにして, 歯根膜負担力と連結歯数との関係を図示したものである。 565g を条件にとると, 歯槽骨吸収率 60% では 5 歯以上, 40% では 3 歯以上, 20% では 2 歯以上の連結が必要となる。また, 陶材焼付冠と 3/4 冠の支台装置の違いによる影響はみられなかった。

3. ブリッジ (2 欠損) を用いた場合の歯牙の動揺度 (歯牙変位)

1. 生理的動揺度を $150\mu\text{m}$ と $250\mu\text{m}$ に仮定し¹⁰⁻¹³⁾ブリッジを議論する。1) 切縁中央部の水平変位とブリッジの支台歯数の関係を図 12 に示す。 $150\mu\text{m}$ を条件とした場合, 歯槽骨吸収率 60% では, 支台歯数 5 歯で支台装置も陶材焼付冠の場合のみ許容できることがわかる。また, 吸収率 40% では 2 歯までがブリッジとして不十分, 3 歯が許容限度線上にあることが示される。

$250\mu\text{m}$ を条件とした場合, 吸収率 60% では, 4 歯以下のブリッジでは支台装置の違いにかかわらず不十分であることがわかる。

支台装置の違いによる影響は, 吸収率が 60% で連結歯数も 4 歯以上の場合のみにみられた。

4. ブリッジ (2 欠損) を用いた場合の歯根膜負担力

歯根膜負担力と支台歯数との関係を図 13 に示した。歯槽骨吸収率 60% では 5 歯以上, 吸収率 40% では 4 歯以上が許容限度内, 吸収率 20% では 2 歯以上のブリッジが許容限度線上にあることがわかる。

5. 接着性補綴物との比較

前報で報告した接着性補綴物の場合²⁾と, 支台歯数の増加による歯牙変位と歯根膜負担力の減衰の図 12, 13 から比較して議論する。スプリントの場合, 金属厚み 1.5mm の接着性補綴物の場合とほぼ同じかそれ以上の支台

図 12 モデルでの支台歯数と荷重歯の歯牙変位の関係 (ブリッジの支台歯数の増加による歯牙変位の減衰)

図 13 モデルでの支台歯数と荷重歯の歯根膜負担力の関係 (ブリッジの支台歯数の増加による歯根膜負担力の減衰)

歯数の増加による減衰傾向を, 歯牙変位と歯根膜負担力の両方ともに示した。ブリッジの場合も, 金属厚み 1.5mm の接着性補綴物の場合とほぼ同じかそれ以上の支台歯数の増加による減衰傾向を示した。

これらの比較から, 歯牙を支台歯形成し剛性のより高い金属や陶材に置き換え連結固定しても, これらの材料への置換率がある程度以上になると, 連結固定による歯牙変位と歯根膜負担力の抑制には効果がないと思われる。表 3 にこれらの解析に用いた歯冠部と歯冠部に占める金属および陶材の体積と割合を示す。表 3 と支台装置の違いによる考察の比較から, 歯牙の金属や陶材への置

表 3 モデル解析における歯髄を除く歯冠部の金属と陶材への置換の割合

支台装置 部位		歯牙自体 (歯髄除く)	接着性補綴物			3/4冠	陶材 焼付冠
			金属厚み				
			0.5 mm	1.0 mm	1.5 mm		
<u>1</u>	体 積 (mm ³)	293.22	25.45	58.65	95.70	103.40	180.03
	置換率 (%)	100	8.7	20.0	32.6	35.3	61.4
<u>2</u>	体 積 (mm ³)	151.54	17.08	39.96	64.51	65.77	108.77
	置換率 (%)	100	11.3	26.4	42.6	43.4	71.8
<u>3</u>	体 積 (mm ³)	290.28	18.62	40.88	67.72	96.12	154.38
	置換率 (%)	100	6.4	14.1	23.3	33.1	53.1
<u>1・2・3</u> の場合	体 積 (mm ³)	735.04	61.15	139.49	227.93	265.29	443.18
	置換率 (%)	100	8.3	19.0	31.0	36.1	60.3

表 4 モデル解析によるスプリントの設計条件への試み

支台装置	歯槽骨 吸収率 (%)	支台歯数					
		1	2	3	4	5	6
		①	②①	③～①	③＋①	③＋②	③＋③
接着性 補綴物	0						
	20				良		
	40						
	60	不可					可
3/4冠	0						
	20		可		良		
	40						
	60	不可					可
陶材 焼付冠	0						
	20		可		良		
	40						
	60	不可					可

換率が 35% 程度を超えると、置換率を増加させても連結固定された歯牙の歯牙変位と歯根膜負担力の抑制には寄与しないことが示された。いい換えると、歯牙を削合し剛性の高い材料でいくら置換し剛性を高めて連結固定しても、置換率 35% 程度以上は効果がないと考えられた。

6. 歯槽骨吸収を伴う歯牙への固定性補綴物の設計基準への応用

歯槽骨の吸収した歯牙を修復する場合、術者は主にそれまでの経験に基づいて、補綴物の形状・連結歯数・連結金属の厚みや位置などの設計条件を決定している。こ

の際、その設計が適切なものであるかどうかの定まった指標は確立されていないように思われる。そこで、モデル解析の結果からではあるが、このような場合の修復物の設計条件について、歯牙変位と歯根膜負担力からのデータを基にして考察した。

歯牙や歯根膜への害害度は歯牙変位や歯根膜負担力に比例すると考えられるので、荷重歯¹⁾についての今までの考察から固定性補綴物の設計基準を推定した。修復物の設計条件の評価は、歯牙変位が 150 μm 以下でかつ歯根膜負担力が 565 g 以下の場合は良、歯牙変位が 150～250 μm でかつ歯根膜負担力が 565 g 以下の場合は可、両方ともそれ以上の値の場合は不可の 3 段階とした。こ

表 5 モデル解析によるブリッジ (2|欠損) の設計条件への試み

支台装置	支台歯数 歯槽骨 吸収率 (%)	2	3	4	5
		③ 2 ①	③ 2 ① ①	③ 2 ① + ②	③ 2 ① + ③
接着性 補綴物	0	良			
	20				
	40	不 可			
	60				可
3/4冠	0	良			
	20	可			
	40	不 可			
	60				可
陶材 焼付冠	0	良			
	20	可			
	40	不 可			
	60				

の評価基準を基にして固定性修復物の設計をまとめると、表 4、5 が得られる。これらの表はあくまでもモデル解析から得られた設計基準であるが、歯槽骨吸収のみられる症例への固定性修復物の設計を考える際の 1 つの参考とすることはできると思われる。

V. 結 論

接着性補綴物の場合と同様な 3 次元有限要素法を用いて、歯槽骨吸収を伴う歯牙への修復物の支台装置として 3/4 冠と陶材焼付冠を用いた場合について、モデル歯牙の動揺度と歯根膜負担力を求めた。その結果、以下のような結論を得た。

1. 歯牙の動揺度が 150 μ m の場合、スプリント、ブリッジとも歯槽骨吸収率 20% では 2 歯以上、吸収率 40% では 3 歯以上で固定できる。吸収率 60% では、スプリントの場合 6 歯の固定が必要であり、ブリッジの場合 5 歯以上の連結でも許容線上である。
2. 歯根膜負担力は支台歯数の増加に伴って、著しく減少した。
3. 歯牙を削合し金属や陶材などの剛性の高い材料で置換し連結固定する場合、金属や陶材への置換率が 35% 程度までは歯牙の動揺度と歯根膜負担力の抑制に効果があるが、それ以上では効果がなかった。
4. モデル歯牙の動揺度と歯根膜負担力の解析から、

歯槽骨吸収を伴う歯牙への固定性修復物の設計基準を提示した。

文 献

- 1) 篠原直幸, 高雄善裕, 古賀洋治: 変断面梁とスプリングによる単独歯牙のモデル化, 九大応用力学研究所所報, 66: 273~284, 1988.
- 2) 篠原直幸: 接着性補綴物が歯牙の動揺度と支持組織の負担力に及ぼす影響, 補綴誌, 33: 158~169, 1989.
- 3) 保母須弥也: オーラルリハビリテーション, 593~599, 医歯薬出版, 東京, 1974.
- 4) Tylman, S.D. and Malon, W.F.P.: ティルマン クラウン・ブリッジ, 160~168, 医歯薬出版, 東京, 1982.
- 5) Herbert, T., Shillingburg, Sumiya Hobo and Donald, W. Fisher: キャスト・ゴールド・プレパレーション, 75~89, 医歯薬出版, 東京, 1988.
- 6) 保母須弥也: オーラルリハビリテーション, 476~480, 医歯薬出版, 東京, 1974.
- 7) Tylman, S.D. and Malon, W.F.P.: ティルマン クラウン・ブリッジ, 149~159, 医歯薬出版, 東京, 1982.
- 8) Herbert, T. Shillingburg, Sumiya Hobo and Donald, W. Fisher: キャスト・ゴールド・プレパレーション, 127~139, 医歯薬出版, 東京, 1988.
- 9) 保母須弥也: 金属焼付ポーセレン, 52~54, 医歯薬出版, 東京, 1977.
- 10) Mühlemann, H.R.: Tooth Mobility (I) The Measuring

- Method. Initial and Secondary Tooth Mobility, J Periodont, 25 : 22~29, 1954.
- (Ⅲ) The Mechanism of Tooth Mobility, J Periodont, 25 : 128~137, 1954.
- 11) Mühlemann, H.R. : Tooth Mobility (Ⅱ) The Role of Interdental Contact Points and of Activation on Tooth Mobility, J Periodont, 25 : 125~127, 1954.
 - 12) Mühlemann, H.R. and Zander, H.A. : Tooth Mobility
 - 13) Mühlemann, H.R. and Rateitschak, K.H. : Mechanische und Elektronische Zahnbeweglichkeitsmessungen, DDZ, 18 : 1352~1359, 1963.