ジルコニアオールセラミック修復物の適合精度に関する研究

公 田 有 子

東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科 口腔機能再構築学系

摂食機能保存学講座 摂食機能保存学分野

(主任・指導：三浦宏之教授)

(2003 年 3 月 4 日 受付)

Evaluation of the Marginal Fitness of
Tetragonal Zirconia Polycrystal All-ceramic Restorations

KOHTA Ariko

Fixed Prosthodontics, Department of Restorative Sciences, Division of Oral Health Sciences,

Graduate School, Tokyo Medical and Dental University

(Chief and Director : Prof. MIURA Hiroyuki)

Tetragonal zirconia polycrystals stabilized with 3 mol-% yttria (TZP) exhibit good mechanical properties, favorable esthetic appearance and translucency. Despite this, zirconia has not been widely used for all-ceramic restorations due to the difficulty of shaping it. A new process called the cercon smart ceramics® system overcomes this limitation by milling ceramic blanks in a porous, presintered and yet easily machinable state which are afterwards sintered to full density. The sintering shrinkage is compensated for by enlarging the shape prior to machining. Not only the fracture resistance but also the marginal fitness are important for all-ceramic restorations to produce satisfactory results.

In this comparative *in vitro* study, the marginal fitness of TZP all-ceramic crowns and fixed partial dentures (FPDs) were examined.

The marginal discrepancies of the FPDs (29.3 μm) were not significantly different from those of the crowns (31.3 μm).

The results of this work suggest that

1) The marginal fitness of all-ceramic restorations fabricated by the Cercon® system was satisfactory for clinical use.

2) The dimensional stability of the Cercon® substructure was maintained during firing of the porcelain and successive glazing.

I. 緒 言

近年、患者の審美性に対する要求が高まり、また金属アレルギー患者への対応策としても、オールセラミック修復に大きな関心が集まっている。オールセラミック修復の特徴として、優れた生体親和性ととともに、天然歯に類似した色調と光の透過性を兼ね備えた高い審美性が挙げられる。しかし、これらの長所とともに、強度への懸念、ロングスパンブリッジに適用できない、技工の難しさといった問題点が論じられてきた。これらの欠点を改善するためにセラミック材料の改良が繰り返し行われ、強度の優れたアルミナスポーセレンやマイカ系、リン酸

カルシウム系などのキャストブルセラミックなどが次々と開発されてきた。しかし、これらも臼歯部における力学的要求に対応するには、強度不足であった¹⁻⁷⁾。

酸化ジルコニウム（以下ジルコニアと略す）は 1,000 MPa を超す曲げ強さと高い破壊靱性をもち、陶材焼付金属冠に並ぶ唯一のオールセラミック材料であり⁸⁾、生体親和性にも優れている⁹⁾。本研究で用いた cercon smart ceramics® (DeguDent, 以下セルコン® システムと略す) は、この高強度材料として定評のあるジルコニアをフレームに採用したオールセラミックシステムである。このシステムの大きな特徴は、従来のオールセラミックシステムでは禁忌であった臼歯部におけるロングスパン

図1 A 臼歯部ブリッジモデル金型

図1 B 金型にセットした割型

ンブリッジ修復をも可能にした点である¹⁰⁾。

臨床において、オールセラミック修復物が術後長期にわたり良好な経過を得るためには、高い強度とともにマージンの適合精度も重要な要素である¹¹⁾。今までにさまざまなオールセラミックシステムのマージンの適合に関する研究がなされてきているが^{12~26)}、その多くは上顎前歯部をモデルとしており、大臼歯部の適合に関する検討は少なく、しかも単冠に関する研究がほとんどである^{12~19)}。ジルコニアは高い曲げ強さを有していることから、臼歯部ブリッジへも応用可能である。また、もう一つ大きな特性として、シンタリング時の収縮が一方向でなく、厚みに関係なく全体的に均一に収縮するため、ブリッジのように多数歯にわたる修復物でも高い精度の適合を得ることができるといわれている。

そこで本研究では、臼歯部クラウンおよび臼歯部3ユニットブリッジを想定した金型を設計し、セルコン®システムを用いて作製したクラウン、ブリッジの辺縁適合精度ならびに内面適合精度について、従来の金合金クラウン、ブリッジと比較し、検討を行った。

II. 材料と方法

1. 金属原型

ブリッジの装着頻度が最も多い下顎第一大臼歯欠損の3ユニットブリッジ²⁷⁾を想定して、図1Aのような金属原型(以下、金型とする)を18-8ステンレス鋼(SUS 303, 304)にて作製した。支台歯金型においては、第二小臼歯は歯頸部直径8 mm, 第二大臼歯は歯頸部直径11 mmとし、高さはともに5 mm, ショルダー幅1 mm, 軸面テーパは片側6°, 両支台歯距離は11 mmとした。本金型のマージン形態はラウンデッドショルダータイプで、歯頸部辺縁および軸壁と咬合面との線角に曲率半径0.8 mmのラウンド形態を与えた。また、歯頸側辺縁下の外形軸壁に、測定の際に原型となる金型と測定対象修復物の位置関係を一致させるため、全周を45°ずつに分割する8

方位に「けがき線」を0.1 mm幅で刻印した。また、蠟型作製のために、金属割型も同時に設計した。図1Bはこの割型を金型にセットしたところである。

2. オールセラミック試料の作製

3ユニットブリッジを想定した金型上でフレームの蠟型採得を行い、その形状をセルコン®システムにより読み取り、切削加工を行い、ジルコニアフレームを作製した。そのフレーム上に通法に従いポーセレンを築盛、焼成し、試料とした。

1) 蠟型採得

蠟型採得はインレーワックス(グレイインレーワックスソフト, ジーシー)を用いて行った。クラウン作製部位は第二大臼歯部とし、クラウン、ブリッジそれぞれについて1個の蠟型を作製した。作製方法は、金型を付加型弾性ビニルシリコーン印象材(エグザファイン, ジーシー)にて印象採得し、超硬質石膏(ニューフジロック, ジーシー)にて作業用石膏模型を作製した。この作業用模型に専用スパーサー(Distanzlack, デグサ)を、クラウンモデルには軸面および咬合面に1層(約40 μm), その線角となるラウンド形態を付与した肩部に2層塗布した。一方、ブリッジモデルには軸面から咬合面まで2層(約80 μm)塗布した。この上からワックスを軟化圧接し、加熱モデリングロッド(Wax-Tec, Cendres & Metaus SA)を装着したミリングマシン(PFG 200, Cendres & Metaus SA)にて軸面および辺縁の厚みが0.4 mmとなるよう形成した。クラウンモデルにはレディキャストイングワックス(R 25, ジーシー)にてノブを取り付けた。これは陶材焼成時の保持の目的と同時に測定時の位置設定の目安も兼ねているため、けがき線にくるように設定した。ブリッジモデルのポンティック部蠟型については、連結部が支台装置蠟型と隙間なく続くような枠を付加型弾性ビニルシリコーン印象材(エグザファインパテならびにレギュラータイプ, ジーシー)にて新たに作製し、これに60°Cに熔融したワックスを流

図 2
A：セルコン® システム全景，B：a；スキャンニング部，b；ミリング部

表 1 焼成条件 (オストロマット 3001)

	陶材	減圧設定値 (mmHg)	昇温率 (°C/min)	開始温度 (°C)	最終温度 (°C)	係留時間 (sec)
Opaque	LC 2	740	60	450	830	60
Dentin 1st	CDC 2	740	60	450	830	60
Dentin 2nd	—	740	60	450	825	60
Glaze	—	0	60	450	820	90

し込んで蠟型を採得し、割型上で瞬間接着剤（アロンアルファ，東亜合成）にて接着固定した。

2) セルコン® システム

CAM システムには、倣い加工を応用したセルコン® システムを用いた。本装置は、非接触式三次元形状計測と切削加工作業を行う Cercon® brain およびシンタリング用ファーンズ Cercon® heat から構成されている (図 2)。蠟型作製後、蠟型を作業用模型ごとミリングマシーン F 3 Ergo (デグサ) 上に設置する。引き抜き角度を調整した後に、蠟型を 2 方向以上からスキャンニングフレームに固定してフレームごと模型から撤去した。レーザーの透過を防ぐため、酸化チタンを配合した専用のスキャンニングパウダーを細筆で蠟型表面に均一に塗布し、レーザーで非接触式三次元形状計測を行った。ミリングは径の異なるボールエンドミル (粗：2.4 mm，細：1.0 mm) で粗加工と仕上げ加工の 2 段階切削を行い、クラウンおよびブリッジ各 5 個ずつ加工した。スキャンニングおよびミリング作業に要した時間は、クラウン用 (12 mm)，ブリッジ用 (38 mm) の Cercon® base それぞれで各 30 分，55 分であった。ミリング後のジルコニアフレームをサンドブラスターを用いて枠から切断し、カーバイトバーおよびサンドペーパーコーンでフレーム表面の調整をした。Cercon® heat による焼結は最高温度 1,350°C に 2 時間係留する計 6 時間のプログラムに従い、

行った。

3) 陶材築盛と焼成

ジルコニアフレームの辺縁適合精度を測定した後に、専用低溶陶材 Cercon® ceram S の築盛を行った。被着面の表面処理を、粒子径 100 μm のハイアルミナを用いて 0.4 MPa の空気圧でサンドブラスト処理 (ハイブラスター III，松風) し、スチーマーをかけた後に良く乾燥させた。

陶材の焼成は焼成炉 (オストロマット 3001，デケマ) を用いて、表 1 に示す焼成プログラムに従い、まずオペクを 2 回焼成し、次いで一次デンチン，さらに二次デンチン，最後に付加型シリコーン印象材 (エグザファインパテおよびレギュラータイプ，ジーシー) にて作製した枠に試適して厚みや形態を一定にした後にグレージングを行った (図 3 A，3 B)。

3. 対照群試料の作製

対照群として、大白歯クラウン，ブリッジを各 5 個ずつ金合金 (キャストینگゴールド MC Type IV，ジーシー) にて作製した。

1) 蠟型

蠟型採得にはインレーワックス (バイオレットインレーワックスソフト，ジーシー) を用いた。作製方法は、分離材 (シーサーバリア，デンタルアルファ) を塗布後、割型をセットした金型にワックスを軟化圧接し、凝固後

図3

A: セルコン® 陶材焼付クラウン, B: セルコン® 陶材焼付ブリッジ

そのまま室温まで放置した。蠟型連結部の熔融は可及的に少なくした。

このようにして作製した蠟型を金型に保持したまま24時間室温に放置し、内部応力を除去してから抽出した。蠟形成後約30分経過し、硬化した蠟型の辺縁適合精度を調べたところ、浮き上がりはなかった。

2) 埋没

得られた蠟型は、急速加熱型クリストバライト埋没材(クリストバライト PF, 松風)を標準混水比(0.35)で、真空練和装置(パキュウムミキサーVM-1, ジーシー)を用いて練和し、埋没した。クラウンは直径30 mm, ブリッジは直径48 mmの铸造用リングに、リングライニング材(ニューキャストリングライナー, 松風)を1重巻いて、乾アスベスト法にて埋没した。

3) 铸造

铸造リングは埋没から30分後に700°Cに予熱していた加熱炉に入れ、直線的に昇温、30分係留し、铸造した。铸造は真空加圧铸造機(CL-G, ヘラウス)を使用して、金合金(キャストイングゴールド MC Type IV, ジーシー)にて行い、铸込み温度は1,025°Cとした。铸造リングは室温中で徐冷し、铸造体はアズキャストの状態に酸処理剤(ニアシッド, デンツプライ三金)にて酸処理を行った。

4. 辺縁および内面の適合度の測定方法

1) 測定装置

適合精度の計測には、ミクロン深さ高さ測定機(KY-60型, 日商精密光学製作所)を用いた。本機は光切断方式の三次元非接触型測定装置であり、投射スリット幅80 μm, 投射角度60°, ハーフミラー式, 総合倍率100倍, 測定範囲は0~25 mmであり、2平行線のスリット基準線を採用している。微動載物台の移動は3チャンネルカウンタ(尾崎製作所)にて読み取った²⁸⁾。

2) 測定方法

セルコン® クラウンについては、陶材焼成操作が辺縁適合度に及ぼす影響も検討するために、ジルコニアフレーム焼結後と、陶材焼成後にそれぞれ辺縁適合精度の測定を行った。

作製した修復物内面に、仮着材としてブラックシリコン(バイトチェッカー, ジーシー)を重量比でペース4対キャタリスト1として練和、少量注入後、10 kgfの荷重で圧接した。計測部位は、クラウンモデルにおいては第二大臼歯近遠心ならびに頬舌側の4カ所とし、ブリッジモデルにおいては連結部側を除く、第二小臼歯近心および頬舌側面と第二大臼歯遠心および頬舌側面の6カ所(図4)とした。金型上に刻印したけがき線から修復物冠縁までの垂直距離の値を辺縁間隙として定め(図5), 1測定ごとに金型を90°回転させながら測定部位1カ所について計6回測定を行った。数回の測定練習を行い、安定した読み取りが可能なことを確認した後、同日中にすべての読み取りを行った。

内面の適合度については、辺縁の適合測定時と同じ重量比でブラックシリコンを圧接し、金型から撤去した後、ホワイトシリコン(フィットチェッカー, ジーシー)でさらに裏打ちした。その後、シリコンを頬舌的に切断し、各計測部位でブラックシリコン厚さを3回繰り返し計測し、平均値を測定値とした。計測部位は近遠心ラウンドショルダー部と近遠心軸面中央部、咬合面部では近遠心隅角部と中央部の計7カ所とした。ブリッジに関しては両支台歯の位置関係が重要になってくるため、小臼歯の近心側から1~7, 続いて大臼歯の近心側から8~14と番号をふり、計14カ所とした(図6)。

5. 分析方法

クラウンについてはジルコニアフレームと、この上に陶材を築盛、焼成したセルコン® クラウン、金合金クラウン各5試料、計15試料について、一元配置分散分析を

図4 辺縁間隙の測定部位
A～D：クラウン，1～6：ブリッジ

図6 内面の適合の測定部位
ブラックシリコンの厚さを高さ深さ測定機で測定した。
1～7：小臼歯における測定部位，8～14：大臼歯における測定部位

用いて1試料内の各4測定部位間における辺縁間隙量の平均値の差の検定を行った。次いで、同じ材料で作製したクラウン各5試料間における辺縁間隙量の差の検定を一元配置分散分析を用いて行った。その後、上記3種類の方法で作製したクラウン間の辺縁間隙量の差の検定を一元配置分散分析を用いて行った。この際に有意差が認められた場合には、Tukey HSD法を用いて多重比較分析を行った。ブリッジについても同様に、検定を行った。

内面の適合については、計測部位ごとのブラックシリコンの厚さの平均値と標準偏差から検討を行った。いずれも有意水準 $\alpha=0.05$ とした。

III. 実験結果

1. 辺縁の適合

1) クラウンについて

ジルコニアフレームクラウン、陶材焼成終了クラウン、金合金クラウン各5個ずつについて、測定部位間による有意差は認められず(表2A～C)、クラウン辺縁は金型に均等に適合していることが確認された。また、それぞれの材料について、同じ材料で作製したクラウン各5試

図5 ミクロン深さ高さ測定機による測定辺縁間隙の測定
AC：All-ceramic Crown，MD：Metal Die

表2 A 金合金クラウンの測定部位間の比較

試料	n	平均値 (μm)	F 値	P 値
1	24	28.38 (4.71)	2.53	0.09
2	24	27.21 (4.17)	0.81	0.50
3	24	25.46 (4.47)	0.82	0.50
4	24	26.63 (3.57)	0.62	0.61
5	24	26.00 (3.89)	0.67	0.58

() : SD

表2 B ジルコニアフレームの測定部位間の比較

試料	n	平均値 (μm)	F 値	P 値
1	24	31.58 (5.24)	1.22	0.33
2	24	31.58 (4.17)	1.12	0.37
3	24	30.08 (5.91)	1.31	0.30
4	24	27.71 (4.20)	0.90	0.46
5	24	27.79 (4.13)	0.97	0.38

() : SD

表2 C 陶材焼成クラウンの測定部位間の比較

試料	n	平均値 (μm)	F 値	P 値
1	24	29.54 (4.50)	0.58	0.63
2	24	29.79 (5.65)	0.87	0.48
3	24	34.04 (7.48)	2.07	0.14
4	24	33.96 (8.41)	13.78	0.06
5	24	29.38 (2.32)	1.43	0.27

() : SD

料間における辺縁間隙の差の検定を一元配置分散分析を用いて行ったところ、有意差は認められなかった(表2D)。この3種類のクラウン辺縁間隙の全測定値の分布を図7に示す。続いて一元配置分散分析を用いてこの3水

表2 D 同じ材料で作製した修復物間の辺縁間隙の比較

Material	n	F 値	P 値
金合金クラウン	120	2.53	0.14
ジルコニアフレーム	120	3.46	0.07
陶材焼成クラウン	120	3.40	0.05
陶材焼成ブリッジ	180	0.62	0.61

表3 3種クラウンの辺縁間隙の一元配置分散分析表

変動要因	平方和	自由度	平均平方	F 値	P 値
グループ間	54.714	2	27.357	7.537	0.008*
グループ内	43.557	12	3.630		
合計	98.271	14			

*:有意差あり

表4 3種クラウンの辺縁間隙の多重比較結果

Material	n	平均値 (μm)
タイプIV金合金	5	26.73 (1.13)
ジルコニアフレーム	5	29.74 (1.92)
陶材焼成終了後	5	31.34 (2.43)

(): SD, *:有意差あり ($p < 0.05$)

表6 金合金ブリッジの測定部位間の辺縁間隙の比較

試料	n	平均値 (μm)	F 値	P 値
1	36	27.7 (6.46)	29.72	0.00*
2	36	33.5 (8.86)	39.30	0.00*
3	36	28.8 (11.20)	24.25	0.00*
4	36	29.9 (8.40)	56.87	0.00*
5	36	30.0 (10.79)	64.12	0.00*

(): SD, *:有意差あり

準間における辺縁間隙の差の検定を行ったところ、有意差が認められた(表3)。そこで Tukey HSD 法を用いて多重比較を行った結果、陶材焼成終了クラウンと金合金の組み合わせにおいてのみ、それらの平均値間に有意差が認められたものの、ジルコニアフレームへの陶材焼成の前後では有意差は認められなかった(表4)。

2) ブリッジについて

セルコン® ブリッジの辺縁間隙量については、測定部位間における有意差は検出されず(表5)、ブリッジ辺縁が金型に均等に適合していることが確認された。しかし金合金ブリッジの辺縁間については、隙量測定部位間で有意差が検出された(表6)ため、両ブリッジ間で測定部

図7 3種クラウンにおける辺縁間隙量

箱は25パーセンタイル値から75パーセンタイル値を表し、水平線は中央値(50パーセンタイル値)を示す。ヒゲは最大値と最小値を示す。

表5 オールセラミックブリッジの部位別辺縁間隙

試料	n	F 値	P 値
1	36	0.41	0.84
2	36	2.51	0.05
3	36	1.76	0.15
4	36	0.73	0.61
5	36	0.32	0.90

表7 2種ブリッジの部位別辺縁間隙(μm)の比較

部位	金合金ブリッジ	オールセラミックブリッジ	P 値
1	25.94 (3.98)	28.80 (2.88)	0.18
2	26.90 (4.20)	28.13 (1.56)	0.55
3	25.40 (5.79)	30.33 (0.79)	0.13
4	27.13 (5.34)	29.66 (1.24)	0.36
5	47.63 (4.95)	29.03 (0.84)	0.00*
6	25.00 (5.91)	29.60 (0.72)	0.15

(): SD, *:有意差あり

位ごとの辺縁間隙量を母集団として、対応のない t 検定 ($\alpha = 0.05$) にて平均値の差の検定を行った。大臼歯遠心側(図4: 部位5)で有意差が検出された(表7, 図8)。

また、同じセルコン® システムで作製した陶材焼成終了クラウンとブリッジ、金合金クラウンの辺縁間隙量には有意差は認められなかった(表8)。

2. 内面の適合

1) クラウンについて

金合金クラウン内面の適合度は、ショルダー部で $18.4 \pm 7.0 \mu\text{m}$ 、軸面中央部で $11.6 \pm 8.0 \mu\text{m}$ 、軸面と咬合

図8 ブリッジ各測定部位での辺縁適合精度

図10 内面の適合 (ブリッジ)

面の線角にあたるラウンド肩部は $20.6 \pm 9.7 \mu\text{m}$ 、咬合面中央部で $46.5 \pm 3.7 \mu\text{m}$ であり、過去に報告されている値²⁹⁾とほぼ同じ値だった。一方、オールセラミッククラウンの内面適合度はショルダー部で $37.4 \pm 13.7 \mu\text{m}$ 、軸面中央部で $57.9 \pm 17.3 \mu\text{m}$ 、軸面と咬合面の線角にあたるラウンド肩部は $38.3 \pm 13.4 \mu\text{m}$ 、咬合面部で $132.8 \pm 42.5 \mu\text{m}$ となり、金合金クラウンに比較して全体的に大きな値を示したが、咬合面中央を除いては $70 \mu\text{m}$ 以下であった (図9)。

2) ブリッジについて

ブリッジ内面の各測定点 14 カ所におけるブラックシリコンの厚みを示したのが図 10 である。

金合金ブリッジでは、両支台歯において咬合面中央部が全測定部位中最大値をとり、それぞれ $60.5 \pm 6.2 \mu\text{m}$ 、 $74.5 \pm 25.6 \mu\text{m}$ であった。小白歯近心軸面部と大白歯遠心軸面部においては約 $10 \mu\text{m}$ と間隙量は著しく減少し、小白歯近心側辺縁付近のラウンドショルダー部で再び $41.3 \pm 10.8 \mu\text{m}$ まで増加した。 $34.4 \pm 8.3 \mu\text{m}$ を示す小白歯近心隅角部から咬合面、連結部側測定点を越えて大白歯の遠心隅角部 ($49.2 \pm 15.3 \mu\text{m}$) にいたる範囲では、間隙量は常に $50 \mu\text{m}$ 以下の値を示した。

オールセラミックブリッジについてもクラウンと同じく、間隙量はほとんどの部位で金合金より大きかった。オールセラミックブリッジの平均値が金合金ブリッジより小さかったのは大白歯遠心側のラウンドショルダー部

表8 セルコン® クラウンとブリッジの比較

Material	n	平均値
金合金クラウン	5	26.73 (1.13)
セルコン® クラウン	5	31.34 (2.43)
セルコン® ブリッジ	5	29.27 (0.31)

() : SD

図9 内面の適合 (クラウン)

($43.0 \pm 19.8 \mu\text{m}$) のみで、小白歯近心軸面部 ($100.7 \pm 31.0 \mu\text{m}$) と大白歯遠心軸面部 ($91.5 \pm 28.2 \mu\text{m}$) では、金合金とは逆に著しく増加した。金合金と同等の値を示したのは小白歯近心側のラウンドショルダー部 ($43.2 \pm 19.1 \mu\text{m}$)、両支台歯咬合面中央部 ($71.9 \pm 29.9 \mu\text{m}$ と $65.7 \pm 23.4 \mu\text{m}$)、大白歯遠心隅角部 ($58.4 \pm 40.9 \mu\text{m}$) であった。

IV. 考 察

1. 実験方法について

オールセラミック修復物に限らず、歯冠修復物の適合については辺縁の適合、内面の適合が問題となり、さまざまな研究が行われているが、なかでも辺縁の適合状態は歯周病³⁰⁾や二次カリエス、セメントの溶解³¹⁾などクラウンブリッジの術後経過を大きく左右するものとして特に重要視されている。歯冠修復物の辺縁不適合の程度は、その水平成分であるオーバーハング量と、垂直成分である辺縁間隙量によって表現できる。

本研究では、ジルコニアオールセラミッククラウンおよびブリッジの辺縁適合性の評価方法として、修復物辺縁と支台歯形成限界との辺縁間隙を測定する方法を採った。従来よりオールセラミック修復物の辺縁適合度の検討を行うに際し、垂直的距離である辺縁間隙量が広く用いられており、セラミック修復システムの適合精度をほかのシステムと比較する指標となっている¹³⁾ためである。

また、本研究では支台歯に金型を用いた。支台歯の材質については、金型のほかに、エポキシ樹脂歯型、石膏

模型、抜去歯などがあるが、金型は、標準的な形成デザインを可能にし、エポキシ樹脂や石膏模型より寸法精度が高く、測定時の摩擦によって表面が削れることもなく、また抜去歯のように個体差や保存方法の違いなどによる影響がないなどの利点がある。

測定に用いたミクロン深さ高さ測定機は非接触での三次元測定が可能で、試料への接触圧や測定子の形状などの影響を受けやすいという接触型の測定機のもつ欠点がない。この装置では、光切断を応用したスリット基準線と投射スリットによる輝線の重ね合わせを利用しているので、観察者の視覚だけに依存する従来型非接触型測定機に比べて測定精度は高い。

本研究の実験誤差については、このミクロン高さ深さ測定機の測定点の読み取り誤差と修復物の支台歯への戻り精度が考えられる。予備実験でノギスの1 mm 目盛りを30回繰り返して測定した結果、最大値1.008 mm、最小値1.004 mm、中央値1.006 mm、標準偏差1.31 μm で、読み取り誤差は1.31 μm 、最大読み取り誤差は真の値の期待値である中央値と最大離れ値の差の絶対値である2 μm となった。戻り精度については、作製したオールセラミッククラウンの金型への試適を10回行い、同一部位の測定を行った結果、標準偏差は2.0 μm と小さかった。

以上より、本研究における実験誤差は、最大見積もっても、中央値と最大離れ値の差の絶対値と戻り精度の誤差の和の4 μm と考えられ、金合金とセルコン® クラウンの比較の際のHSD (Tukey法の限界値)4.60 μm よりも小さかった。したがって、この2水準間で検出された有意差は実験誤差によるものとはいえず、実験精度は本研究の結果を得るのに十分であったと考えられる。

2. 辺縁の適合について

本研究で得られたセルコン® クラウンおよびブリッジの辺縁適合精度は、それぞれ31.3 μm 、29.3 μm ときわめて良好な値を示した。

セルコン® クラウンは、金合金クラウンの辺縁適合度には有意差が検出されたものの、従来より報告されているオールセラミッククラウンの適合度よりもきわめて良好な値を示している。また、長谷川ら³²⁾が修復物の適合度が100 μm 以下であれば歯周組織への影響は少なく、臨床的に問題がないと報告していることから考えても、セルコン® システムは臨床においてきわめて有用な修復物といえる。さらに、セルコン® クラウンとセルコン® ブリッジ辺縁間隙間に有意差が認められなかったことから、シンタリング時の加熱による収縮が30%程度あるものの、その様相は金合金ブリッジとは異なり、異方性がないことが明らかとなった。

本研究では陶材焼成が辺縁適合精度に及ぼす影響を検討するために、ジルコニアフレーム焼結後と陶材焼成後

に辺縁間隙の測定を行ったが、この2水準間に有意差は認められなかった。これは、セルコン® ジルコニアがシンタリング温度(1,350°C)で一度完全な正方晶安定化多結晶構造を示すと、低溶陶材焼成温度(830°C)では辺縁適合度に影響を与えないことを示している。

3. 内面の適合について

内面の適合度を測定したところ、クラウンモデルにおいては金合金とセルコン® クラウンにおける内面シリコンの厚さはともに咬合面中央部で内面の間隙が最大値を示す近遠心対称な形となり、咬合面中央部を除く部位では平均値70 μm 以内であった。その一方で、金合金クラウンでは最小値を示す軸面部の内面の間隙はセルコン® クラウンではマージン部や隅角部よりも大きな値を示していた。これはブリッジにもあてはまる。オールセラミック修復物において、鑄造冠の内面では間隙量が減少する軸面部で間隙量が増加している要因として、スペーサー塗布による影響が考えられる。本研究で用いた専用のスペーサーの厚さを測定したところ、1層で42 μm 、2層で79 μm と、通常使われるスペーサーよりも厚かった。このスペーサーを2層重ねたにもかかわらず、咬合面と軸面の線角に当たるラウンド部はジルコニアフレーム焼成後の試適で金型との接触像が確認された。このような早期接触点を調整した後も、内面適合度の測定で咬合面と軸面の線角に当たるラウンド部はクラウンにおいてもブリッジにおいても軸面より値が小さいことから、本実験において金型の軸面隅角部曲率半径を、メーカーの指示した曲率半径($R>0.65\text{ mm}$)よりも大きく設計してはいるが、ミリングバーが一部で奥まで届かなかった可能性も考えられる。

4. 金合金ブリッジとセルコン® ブリッジの特徴

対照群として作製した5個の金合金ブリッジは、すべて大臼歯部遠心側がほかの5カ所よりも30 μm 前後大きい間隙量を示した。これは両支台装置が近遠心方向に変位し、他方の支台歯側へ傾くため^{27,33,34)}、浮き上がったものと考えられる。従来よりワンピースキャストブリッジでは、支台歯が近遠心方向に変位し、他方の支台歯側へ傾く^{27,33,34)}という報告がなされているように、この浮き上がりは鑄造収縮によるものと考えられる。次いで、ブリッジ内面の適合を検討したところ、小臼歯、大臼歯ともに非連結側近遠心部軸面中央部では著しい間隙量の減少が認められ、なおかつ非連結側ラウンドショルダー部もクラウンに比べて大きな値を示していることから、連結側へ傾いていることが推測される。また、この非連結側ラウンドショルダー部の浮き上がりは、小臼歯よりも大臼歯に如実に現れており、咬合面中央部の厚さもそれに準じて、大臼歯部の方が厚い結果となった。一方セルコン® ブリッジは、内面の適合性については、軸面部

から咬合面部まで一様に 2 層のスペーサーを塗布しているため、50 μm を超える間隙量を示しているが、金合金で鑄造収縮により浮き上がったと考えられる両支台歯の非連結側辺縁ラウンドショルダー部においては、金合金と同等かまたはそれより良い値を示した。よって大臼歯遠心部においては、辺縁適合精度および内面適合精度いずれについてもセルコン® ブリッジのほうが金合金よりも良好な値を示すことから、ブリッジの症例においては異方性収縮のないセルコン® ブリッジのほうが、一般に辺縁精度が高いといわれている金合金よりも高い辺縁適合精度を示すことが明らかとなった。

これまでのオールセラミックシステムについての報告では、陶材焼付金属冠に強度の面だけでなく、適合精度の面でも勝る結果のものは少なく^{14,20)}、臨床において実用に耐えうる範囲内であるとするものがほとんどである³²⁾。本研究では、強度においては陶材焼付金属冠に匹敵するとして、臼歯部ブリッジにも適用可能な歯科用材料となる期待が高いジルコニアを応用したオールセラミックシステムが、適合精度においてもクラウンとブリッジの両方において金合金に匹敵する結果を示しており、内面の調整を必要としないスペーサーの厚みの決定など、今後さらに改善の余地があるものの、非常に将来性の高いシステムだといえる。

V. 結 論

歯科用 CAM システム (セルコン® システム) を用いてジルコニアフレームに低溶陶材を焼付けた修復物を作製し、金型上での修復物辺縁間隙量によって適合精度を検討した結果、以下の結論を得た。

1. セルコン® システムを用いて作製したオールセラミック修復物の辺縁適合度は、クラウンで 31.3 μm 、ブリッジでは 29.3 μm と臨床で使用するに十分な、優れた辺縁適合度を示した。
2. セルコン® ブリッジは同システムクラウンと比較して、辺縁の適合度に有意差が認められないことから、本システムを用いて作製したジルコニアフレームは大きさや形態にかかわらず、均等な焼結収縮が得られたと考えられる。
3. ジルコニアフレームと陶材焼成後で、オールセラミックの辺縁適合性に有意差が認められないことから、本研究で用いた低溶陶材の焼成によって辺縁適合性は変化しないと考えられる。

謝 辞

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました三浦宏之教授に深甚なる感謝の意を表します。また、本研究に際して終始ご指導、ご教示いただきました本学歯学

部附属歯科技工士学校 土平和秀講師に謹んで感謝の意を表します。さらに、本研究を遂行するにあたり、終始惜しみないご指導、ご協力をいただきました本学摂食機能保存学講座 吉田恵一助手に心より感謝いたします。最後になりましたが、終始温かいご支援をいただきました摂食機能保存学講座の皆様には厚く御礼を申し上げます。

本研究の要旨の一部は、第 6 回日本歯科補綴学会東京支部学術大会 (2003 年 3 月、東京) にて発表した。また、本研究の一部は、平成 14 年度科学研究費補助金 (課題番号: 14657497) で行われた。

文 献

- 1) Kelly, J. R. and Sorensen, J. A.: Failure of all-ceramic fixed partial dentures *in vitro* and *in vivo*: Analysis and modeling. J. Dent. Res. 74: 1253-1258, 1995.
- 2) Brunton, P. A., Cattell, P., Burke, F. J. T. and Wilson, N. H. F.: Fracture resistance of teeth restored with onlays of three contemporary tooth-colored resin-bonded restorative materials. J. Prosthet. Dent. 82: 167-171, 1999.
- 3) Campbell, S. D. and Sozio, R. B.: Evaluation of the fit and strength of an all-ceramic fixed partial denture. J. Prosthet. Dent. 59: 301-306, 1988.
- 4) Esquivel-Upshaw, J. F., Chai, J., Sansano, S. and Shonberg, D.: Resistance to staining, flexural strength, and chemical solubility of core porcelains for all-ceramic crowns. Int. J. Prosthodont. 14: 284-288, 2001.
- 5) Morgano, S. M. and Brakett, E.: Foundation restorations in fixed prosthodontics, Current knowledge and future needs. J. Prosthet. Dent. 82: 643-657, 1999.
- 6) Tinschert, J., Natt, G., Mautsch, W., *et al.*: Fracture resistance of lithium disilicate-, alumina-, and zirconia-based three-unit fixed partial dentures: A laboratory study. Int. J. Prosthodont. 14: 231-238, 2001.
- 7) Magne, P., Perakis, N., Belser, U. C. and Krejci, I.: Stress distribution of inlay-anchored adhesive fixed partial dentures: A finite element analysis of the influence of restorative materials and abutment preparation design. J. Prosthet. Dent. 87: 516-527, 2002.
- 8) Filser, F.: Reliability and strength of all-ceramic dental restorations fabricated by direct ceramic machining (DCM). Int. J. Comput. Dent. 4: 89-106, 2001.
- 9) Ichikawa, Y., Akagawa, Y., Nikai, H. and Tsuru, H.: Tissue compatibility and stability of a new zirconia ceramic *in vivo*. J. Prosthet. Dent. 68: 322-326, 1992.
- 10) Filser, F., Lühy, H., Schäfer, P. and Gauckler, L. J.: All-ceramic restorations by new direct ceramic machining process (DCM). J. Dent. Res. 77 (Special Issue), 762, 1998.
- 11) McLean, J. W. and von Fraunhofer, J. A.: The estimation of cement film thickness by an *in vivo* technique. Br. Dent. J. 131: 107-111, 1971.
- 12) Rinke, S., Huels, A. and Jahn, L.: Marginal accuracy and fracture strength of conventional and copy-milled all-ceramic crowns. Int. J. Prosthodont. 8: 303-310, 1995.

- 13) Pera, P., Gilodi, S., Bassi, F. and Carossa, S. : *In vitro* marginal adaptation of alumina porcelain ceramic crowns. J. Prosthet. Dent. 72 : 585-590, 1994.
- 14) Sulaiman, F., Chai, J., Jameson, L. M. and Wozniak, W. T. : A comparison of the marginal fit of In-Ceram, IPS Empress and Procera crowns. Int. J. Prosthodont. 10 : 478-484, 1997.
- 15) Weaver, J. D., Johnson, G. H. and Bales, D. J. : Marginal adaptation of castable ceramic crowns. J. Prosthet. Dent. 66 : 747-753, 1991.
- 16) Beschmidt, S. M. and Strub, J. R. : Evaluation of the marginal accuracy of different all-ceramic crown systems after simulation in the artificial mouth. J. Oral. Rehabil. 26 : 582-593, 1999.
- 17) Nakamura, T., Nonaka, M. and Maruyama, T. : *In vitro* fitting accuracy of copy-milled alumina cores and all-ceramic crowns. Int. J. Prosthodont. 13 : 189-193, 2000.
- 18) Clark, M. T., Richards, M. W. and Meiers, J. C. : Seating accuracy and fracture strength of vented and nonvented ceramic crowns luted with three cements. J. Prosthet. Dent. 74 : 18-24, 1995.
- 19) Celik, C. and Gemalmaz, D. : Comparison of marginal integrity of ceramic and composite veneer restorations luted with two different resin agents : An *in vitro* study. Int. J. Prosthodont. 15 : 59-64, 2002.
- 20) Grey, N. J., Piddock, V., Wilson, M. A. : *In vitro* comparison of conventional crowns and a new all-ceramic system. J. Dent. 21 : 47-51, 1993.
- 21) Abbate, M. F., Tjan, A. H. L. and Fox, W. M. : Comparison of the marginal fit of various ceramic crown systems. J. Prosthet. Dent. 61 : 527-531, 1989.
- 22) White, S. N., Yu, Z., Tom, J. and Sangsurasak, S. : *In vivo* marginal adaptation of cast crowns luted with different cements. J. Prosthet. Dent. 74 : 25-32, 1995.
- 23) Hung, S. H., Hung, K-S., Eick, J. D. and Chappell, R. P. : Marginal fit of porcelain-fused-to-metal and two types of ceramic crown. J. Prosthet. Dent. 63 : 26-31, 1990.
- 24) Schiffleger, B. E., Ziebert, G. J., Dhuru, V. B., *et al.* : Comparison of accuracy of multiunit one-piece castings. J. Prosthet. Dent. 54 : 770-776, 1985.
- 25) Ziebert, G. J., Hurtado, A., Glapa, C. and Schiffleger, B. E. : Accuracy of one-piece castings, preceramic and postceramic soldering. J. Prosthet. Dent. 55 : 312-317, 1986.
- 26) Mou, S. H., Chai, T., Wang, J-S. and Shiau, Y. Y. : Influence of different convergence angles and tooth preparation heights on the internal adaptation of cerec crowns. J. Prosthet. Dent. 87 : 248-255, 2002.
- 27) 羽賀通夫 : 固定架工義歯の臨床統計的研究. 歯科学報 66 : 575-587, 1966.
- 28) 小椋直樹 : ブリッジの精度に関する研究—支台装置の位置関係と適合度による評価—. 補綴誌 34 : 953-967, 1999.
- 29) 吉田恵夫 : 歯科鑄造法の実用的精度について. 補綴誌 2 : 159-190, 1958.
- 30) 佐藤尚弘 : 歯冠補綴物の適合状態が辺縁歯肉に及ぼす影響. 口病誌 50 : 30-63, 1983.
- 31) 安藤正明 : 合着用セメントの有機酸による溶解性について. 補綴誌 32 : 203-217, 1988.
- 32) 長谷川成男, 望月 洋, 佐藤尚弘, 三浦宏之 : マージン・チェッカーにて診査した歯冠補綴物の辺縁適合状態. 補綴誌 32 : 1331-1335, 1988.
- 33) 真坂信夫 : ワンピースキャストブリッジの鑄造精度に関する研究. 歯科学報 70 : 725-758, 1970.
- 34) 宇野光乗, 古谷昌義, 石神 元, 倉知正和 : CAD/CAM システムによって作製した純チタンクラウンの適合精度. 補綴誌 46 : 34-43, 2002.