



## ジルコニア・ダブルクラウンの可撤性補綴装置への応用

### —基礎研究から—

大阪歯科大学 有歯補綴咬合学講座 講師

鳥井 克典 (大45)

#### 1.はじめに

ダブルクラウンは支台歯に装着される内冠および内冠に適合する外冠から構成されている。なかでも内冠の軸面に角度が付与された円錐型のコーヌステレスコープクラウン<sup>1)</sup>は部分床義歯や可撤性ブリッジ(図1)の支台装置として用いられている<sup>4-6)</sup>。部分床義歯の支台装置にコーヌステレスコープクラウンを用いることで、支台歯と義歯床との一体化を図ることができ、支台歯の負担を軽減することができる<sup>5)</sup>。また機能性および装着感ともに良好であり、清掃性にも優れているなど多くの利点が挙げられている<sup>6,7)</sup>。



図1 コーヌステレスコープクラウンを支台装置とした可撤性ブリッジ(文献4より)

現在、ダブルクラウンには金合金が一般に用いられているが、金属アレルギーおよび金属価格の高騰などの問題があり、臨床での使用に制限がある。とりわけ、歯科用金属による金属アレルギーが近年問題となっており、メタルフリーでの修復を行うことが望ましく、金属アレルギーへの対応が歯科でも求められている<sup>8)</sup>。

近年、歯科用金属の代替材料としてジルコニアが広く使用されるようになってきた。ジルコニアは価格が安定しており、金属イオンの溶出が少ないため、これらの問題を解決できる材料として注

目されている<sup>9)</sup>。また、CAD/CAMによってデザインし切削加工されるため、ロストワックス法のような煩雑な技工操作を必要としない。

Zafiroopoulos Gら<sup>10)</sup>は内冠および外冠に歯科で一般的に使用されているイットリア安定化ジルコニア(以下Y-TZP)を用いたダブルクラウンを支台装置としたオーバーデンチャーの臨床例を報告している。この外冠内面には内冠との適合性を高めるためにエレクトロフォーミングによって製作された金合金製の薄いクラウンを接着している。一方、Tasaka Aら<sup>11)</sup>は内冠にY-TZPを外冠にはファイバーコンポジットレジンを使用したダブルクラウンを応用した義歯の臨床例を報告している。いずれの症例においても内冠または外冠にはY-TZPが使用されているが、ジルコニア同士での摩擦や面抗力による維持機構ではない。

近年、歯科用ジルコニアの1つとしてセリア安定化ジルコニアにアルミナを配合し高靱性を獲得したナノ複合セラミックス(以下Ce-TZP/A)が開発された<sup>12)</sup>。Ce-TZP/Aは現在、歯科で多く使用されているY-TZPに比べ約3倍の破壊靱性値と曲げ強度を有し、また低温劣化が生じない<sup>13,14)</sup>と報告されている。そこで我々の講座ではCe-TZP/Aのダブルクラウンへの臨床応用を目指し、模型実験による基礎研究を行ってきた<sup>15-22)</sup>。本稿ではこれらの実験結果をもとに臨床応用に向けて考えてみたい。

#### 2.外冠の維持力および沈み込み量<sup>15,16)</sup>

まず、ダブルクラウンで問題となるのが内冠に対する外冠の維持力であろう。維持力に影響を及ぼす因子として、

- ・内冠軸面の角度（テーパ角）
- ・内冠と外冠との適合性
- ・荷重
- ・材料の静止摩擦係数

が挙げられる<sup>1)</sup>。なかでも内冠のテーパ角および内冠と外冠との適合性、すなわち内冠と外冠とのスペース量はCADソフトで制御できる因子である。そこで、内冠のテーパ角と内外冠のスペース設定が維持力および沈み込み量に及ぼす影響について実験した。

### 1) 実験材料

内冠および外冠には、Ce-TZP/A (C-Pro ナノジルコニア、パナソニックヘルスケアのちにKZR-CAD ナノジルコニア、YAMAKIN) を用いた。

### 2) 内冠の製作

内冠は小臼歯を想定した支台歯と一体型とした。内冠のテーパ角は2、4、6°の3条件とし、CAD/CAMシステムを用いて1個ずつ製作した。その後、メーカー指示に従いシンタリングを行った後、通法に従い内冠の鏡面研磨まで行った。

### 3) 外冠の製作

製作された内冠をスキャンし、得られた内冠のデータから、CADソフトウェアを用いて外冠の設計を行った（図2）。内冠および外冠とのスペースを0または10 μmに設定し（図3）、各条件5個ずつ製作した。その後、シンタリングを行い実験試料に供した。なお、外冠の研磨は行わなかった。



図2 内冠および外冠のSTLデータ

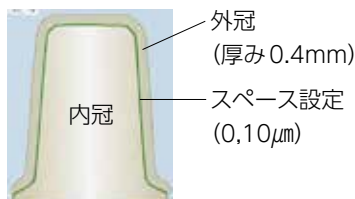


図3 内冠および外冠とのスペース設定

### 4) 維持力の測定

内冠に外冠を復位した後に、卓上形精密万能試験機 (EZTest、島津) を用い、外冠咬合面に50 Nで15秒間の荷重を行った。その後、外冠を垂直方向に牽引し、その最大値を維持力とした（図4）。



図4 維持力試験

### 5) 沈み込み量の計測

まず、内冠に外冠を復位し、荷重なしの条件と50Nの荷重を行った条件で、マイクロフォーカスX線CT (SMX-130CT、島津) を用いて内外冠のCT撮影を行った。次に断像を表示し、内冠咬合面中央部から外冠内面中央部までの2点間距離を計測した（図5）。沈み込み量は荷重なしでの2点間距離から荷重50 Nの2点間距離を減じた値とした。

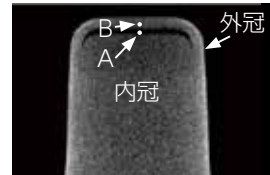


図5 CT画像 (A: 内冠咬合面中央部, B: 外冠内面中央部)

### 6) 維持力および沈み込み量の結果

荷重50 Nでの維持力を図6に示す。テーパ角による影響が認められ、角度が小さいクラウンほど維持力が有意に高くなった。ただしテーパ角6°では維持力は生じなかった。またスペース設定値による影響は認められなかった。

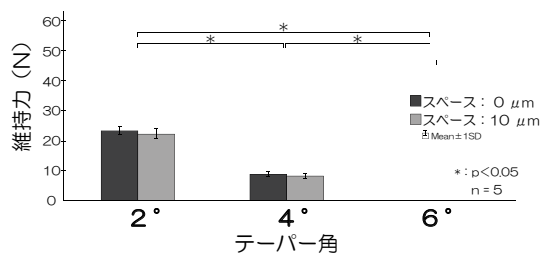


図6 テーパ角および内外冠のスペース設定における維持力

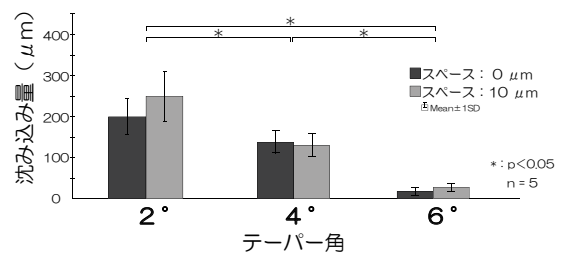


図7 テーパ角および内外冠のスペース設定における沈み込み量

外冠の沈み込み量に関してもテーパ角による影響が認められ、角度が小さいクラウンほど沈み込み量が有意に大きくなった。またスペース設定値による影響は認められなかった(図7)。

以上の結果から、荷重によって外冠は外側に変形することによって沈み込み、軸面に発生する面抗力すなわち、外冠が内冠を挟み込む力によって維持力が発現している。これは小さいテーパ角では、より深く沈み込むことによって高い維持力が発現したと推察された。また、10 $\mu$ m程度のスペース変化では維持力や沈み込み量に差が出ないことが分かった。

臨床的に適切なテレスコープクラウンの維持力は5-9 N<sup>1)</sup>とされていることから、本実験の条件ではテーパ角4°が適していることが明らかとなった。

### 3. ジルコニアの静止摩擦係数とクラウンの維持力<sup>20)</sup>

次にダブルクラウンの維持力に影響を及ぼすとされるジルコニアの静止摩擦係数について実験した。

ジルコニアには、Y-TZP (KZR-CAD Zr, YAMAKIN) およびCe-TZP/Aを、参考として金合金 (YP GOLD Type4, YAMAKIN) についても調べた。

実験試料の表面粗さをsmooth (Ra 0.08  $\mu$ m) およびrough (Ra 1.0  $\mu$ m) に加工し(図8)、それぞれの条件で同一材料同士を滑らせることによって計測した。

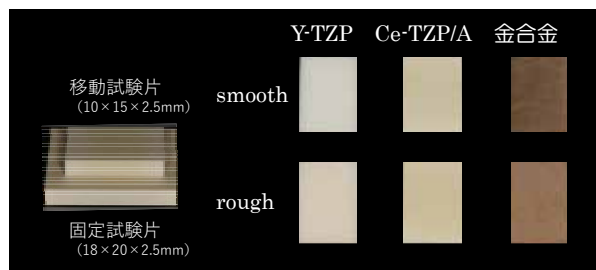


図8 静止摩擦係数測定用の試験片

その結果(図9)、いずれの表面処理条件でもY-TZPおよびCe-TZP/Aには有意な差が無く、金合金よりも有意に低い値を示した。金合金はsmooth同士、smooth対rough、rough同士の順

に静止摩擦係数は上昇したが、Y-TZPおよびCe-TZP/Aではsmooth同士、smooth対roughでは変化せず、rough同士で静止摩擦係数は上昇した。以上の結果からも、一般に使用されている金合金製のコーヌス角(6°)よりもジルコニアでは小さなテーパ角に設定する必要があることが検証された。

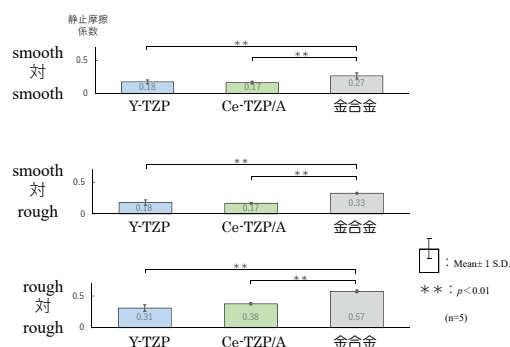


図9 静止摩擦係数

次に臨床的な形態で、内冠表面および外冠内面の表面性状をアルミナブラスト処理によって変化させた場合の維持力の変化を調べた。

内冠および外冠は先の実験で使用したテーパ角4°の同一形態の試料とし、内冠研磨あり-外冠研磨なし、内冠研磨あり-外冠ブラスト処理、内冠ブラスト処理-外冠ブラスト処理の3条件とした。

その結果を図10に示す。内冠研磨あり-外冠研磨なしでは平均9.9 Nの維持力を示したが、外冠にブラスト処理さらに内冠にもブラスト処理を行うことによって、徐々に維持力が増加した。これは臨床でCe-TZP/Aを用いたダブルクラウンの維持力が低下した場合、外冠内面や内冠外面へのアルミナブラスト処理を行うことによって、一時的な対応として維持力向上に有効であることが示唆された。

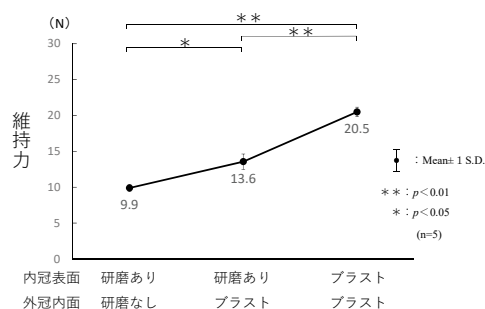


図10 内冠表面および外冠内面の表面性状をアルミナブラスト処理によって変化させた場合の維持力

#### 4. 水中での維持力<sup>19)</sup>

これまで述べた維持力測定は乾燥状態での値である。ダブルクラウンは口腔内に装着され、常に唾液と触れていることから、同様の実験を37℃の水中で実験した。

その結果を図11、12に示す。テーパ角2°および4°それぞれにおいて、乾燥状態よりも水中での維持力はそれぞれ約2.5 Nおよび1.0 N有意に増加していた。臨床においてダブルクラウンを製作する際、維持力の調整時には唾液の影響も考慮する必要があると考えられた。

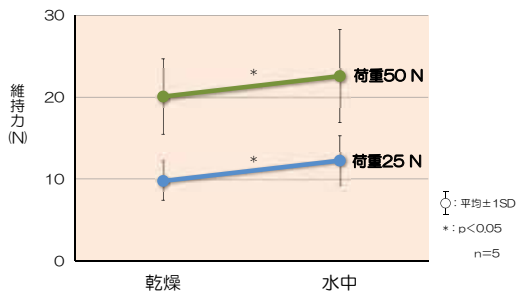


図11 テーパ角2°における乾燥および水中での維持力の比較

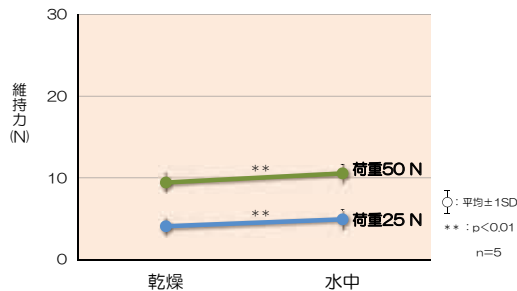


図12 テーパ角4°における乾燥および水中での維持力の比較

#### 5. 着脱を繰り返すことによる維持力と沈み込み量の推移<sup>17,18)</sup>

初期維持力については先の通りであるが、外冠を繰り返し着脱することによって、維持力の低下と沈み込み量の増加が予想された。そこで、Ce-TZP/A製のダブルクラウンの外冠を50 Nの荷重下で繰り返し着脱し、2,500回ごとの維持力および沈み込み量を10,000回まで測定した。

その結果、維持力において(図13)、テーパ角2°および4°ともに最初の2,500回では有意に低下したが、その後10,000回までは変化しなかった。テーパ角2°および4°それぞれの初期維持力は20.1 Nおよび7.8 N、10,000回後のそれぞれ

の維持力は19.5 Nおよび6.7 Nであり、テーパ角2°では臨床上高い値であったが、4°では臨床的維持力の範囲内であった。

沈み込み量においては(図14) 徐々に増加傾向があるものの、10,000回後で初めて有意な差が認められた。着脱2,500回以内の初期では内外冠の接触の強い部位が主に磨耗し維持力が減少したが、次第に接触面積が安定し維持力の減少が緩徐になると考察した。1日あたりの平均的な義歯の着脱回数は4回とされており<sup>23)</sup>、着脱回数10,000回は約7年の使用に相当する。

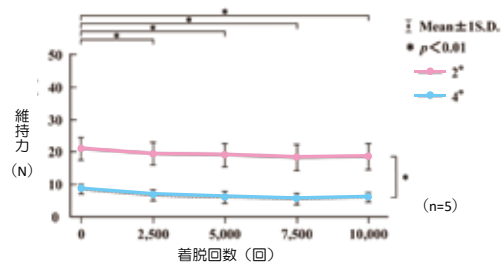


図13 着脱試験による維持力の推移

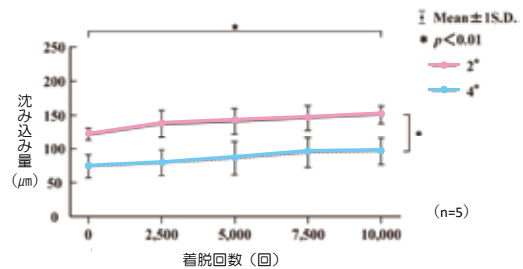


図14 着脱試験による沈み込み量の推移

#### 6. 咬合力によって外冠は割れないのか?<sup>21, 22)</sup>

次に外冠の破折強度についてY-TZP (Aadva Zirconiumディスク、GC) およびCe-TZP/Aの材料を用いて実験した。

図15に示す内冠と厚みが0.5 mmおよび1.0 mmの異なる外冠を製作し、内冠に復位した外冠の咬合面にステンレス球を介して荷重をかけ(図16)、外冠が破折した際の荷重値を破折強度とした。

外冠の破折様相を図17に示す。材料、テーパ角および外冠の厚みに関係なく、ほぼすべての試料で咬合面から軸面にかけて2つに破折していた。図18にそれぞれのテーパ角における値を平均した破折強度の結果および成人の最大咬合力

(857 N<sup>24</sup>)を示す。外冠の厚み0.5 mmよりも1.0 mmで破折強度が約1,000 N有意に増加した。また、Ce-TZP/AはY-TZPよりも約100~300 N有意に高い破折強度を示した。外冠が最大咬合力に耐えるためには、Y-TZPで約0.8 mm、Ce-TZP/Aで約0.6 mmの厚さが必要であることが推定された。ジルコニアを用いた外冠の最低厚みはCe-TZP/Aの方がY-TZPより約0.2mm薄く、臨床においてクリアランスの確保が難しい症例では、Ce-TZP/Aの方が有利であると考えられた。

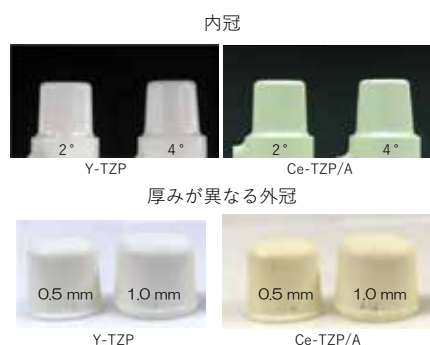


図15 内冠および厚みが異なる外冠



図16 外冠の破折強度試験



図17 外冠の破折様相

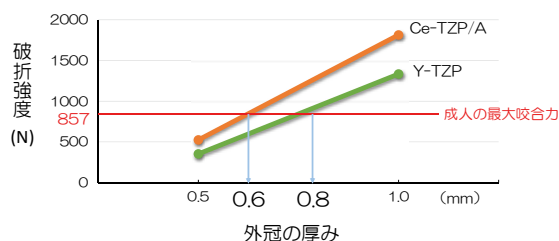


図18 外冠の破折強度および成人の最大咬合力

## 7. ジルコニア・ダブルクラウンを応用した可撤性ブリッジの1症例

ここで、上顎右側臼歯部の中間欠損に対し、Ce-TZP/Aを用いたダブルクラウンを応用した可撤

性ブリッジを装着した症例を紹介する。

患者：71歳、女性

主訴：3] 咬むと痛い

現病歴：約15年前に他院にて、⑦65④③]ブリッジを装着された。1週間前から3]に咬合痛が生じてきた。

既往歴：特記事項なし

初診時のデンタルエックス線写真および臨床所見から、3]の歯根破折が確認されたためブリッジを切断後、3]を抜歯した。抜歯後の口腔内写真を図19に示す。④]には不適合なクラウンが装着され、対合歯には部分床義歯が装着されていた。

ブリッジの除去を行い、⑦④]の歯内治療後、支台築造を行った。次に⑦④]の支台歯形成を行い(図20)、印象採得、咬合採得を行い、作業用模型を製作した(図21)。模型をスキャンしテーパ角4°のCe-TZP/A製の内冠の設計を行った(図22)。次に完成した内冠(図23)を口腔内に試適し(図24)適合を確認した。次に内冠のピックアップ印象を行い、Ce-TZP/A製の外冠フレームを完成した(図25)。ここで、コーヌスクラウン維持力計(コニメーター)で維持力を測定したところ、⑦]で12 N、④]で6 Nであった(図26)。フレームの試適とシェードテイキングを行った後、頬側に陶材を築盛し完成した(図27)。内冠を接着性レジンセメントで支台歯に装着した後、ブリッジ(外冠)を装着した(図28)。ブリッジの着脱練習の際、手指で外す事が困難であったが、内面の調整は行わず、数日おきに経過観察を行った。その結果、1週間後には患者自身で着脱できるようになり、患者は機能的にも審美的にも大変満足され、清掃性も向上したと喜んでおられた。

装着3年後の口腔内写真(図29)および可撤性ブリッジ(図30)を示す。内冠には特に問題なく、周囲歯肉も健康な状態であった。④]の歯肉退縮による前装陶材と歯肉とのギャップが認められたが、内冠と外冠の適合性は良好であり清掃もできていることから修正の必要性は認めなかった。ブリッジには破折やクラックなど認められず、ブリッジ内面やポンティック基底面にはプラークは認められずきれいに清掃されていた。また、ブリッジの維持力は良好で、開口時はもちろん咀嚼中にも脱

離せず十分機能しているとのことだった。ブリッジの対合歯は硬質レジン製の人工歯であったため、長期使用による咬耗や摩耗が懸念される。そのため今後も定期的に経過観察を行う予定である。



図19 3| 抜歯後の ⑦65④ |ブリッジ



図20 ⑦④ |の支台歯形成



図21 作業用模型

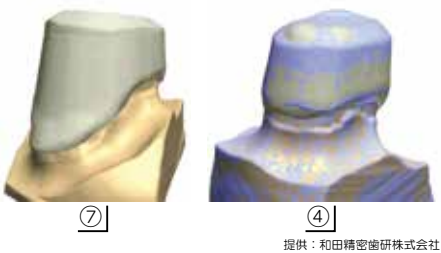


図22 内冠の設計 (テーパ角4°)



図23 Ce-TZP/A製の内冠



図24 内冠の試適



図25 Ce-TZP/A製の外冠フレーム (頬側の前装部にはワックスを付与)



図26 コーヌスクラウン維持力計 (コニメーター) を用いた維持力の測定



図27 頬側に陶材を築盛し完成した外冠



図28 装着された内冠およびブリッジ



図29 装着3年後の口腔内写真



図30 装着3年後の可撤性ブリッジ(外冠)

## 8. 今後の展望

超高齢社会を迎えた現在、認知症や寝たきりの高齢者に対する歯科医療サービスは大変重要である。高齢者の欠損歯列に対しダブルクラウンをアタッチメントとした可撤式の補綴装置は装着感に優れ、要介護者となった場合、介護者にも容易に着脱、清掃でき、さらに追補綴などの修理も行いやすい。そのため今後の欠損補綴のオプションのひとつとして積極的にダブルクラウンを応用した可撤式の補綴装置を検討する必要があるのではないだろうか。

前述した研究はシングルクラウンでの基礎研究である。臨床を想定した場合、複数歯で応用することがほとんどであり、複数歯で使用する場合、支台歯間の距離が離れていることが多く、特に全顎に及ぶ場合には、ジルコニアは一塊で製作するため外冠の位置関係に微妙な誤差が生じる可能性がある。そのため、安定した維持力を得ることが非常に困難であると考えられる。

そこで、今後は複数歯でのジルコニア・ダブルクラウンの維持力の検討、ジルコニアの内冠と外冠の間に位置ずれを補正し、さらに維持力が低下した場合に交換可能な機構や材料の研究を進めていく予定である。

## 参考文献

- 1) Körber KH. Konuskronen: Das rationelle teleskopsystem einföhrung in klinik und technik. 5th ed. Heidelberg: Dr. Alfred Hüthig Verlag GmbH; 1988, 74-99.
- 2) 南 一郎. 上顎コーヌスローネ義歯の5年経過症例. 日本補綴歯科学会誌 2016; 8: 309-312.
- 3) 高井智之. 上顎前歯部審美障害ならびに両側遊離端欠損による咀嚼障害に対して補綴処置を行った症例. 日本補綴歯科学会誌 2016; 8: 317-320.
- 4) 田中雅章. 歯周病患者に対して可撤性ブリッジを用いた症例. 日本補綴歯科学会誌 2023; 15: 603-606.
- 5) 後藤忠正, 五十嵐順正. コーヌステレスコープの優位性 - 確実な装着効果と良好な長期経過 -. 日本補綴歯科学会誌 2004; 48: 2-9.
- 6) 後藤忠正, 五十嵐順正, 渋谷隆司. Konuskronen-Telescopeによる部分床義歯の臨床例. 日本補綴歯科学会誌 2010; 2: 275-278.
- 7) 後藤忠正, Körber, K. H. のKonuskronen-Telescope. 補綴臨床別冊 ミリングテクニックによるパーソナルデンチャー1. 東京: 医歯薬出版株式会社, 1979; 171-214.
- 8) 末瀬一彦. CAD/CAM活用による歯冠修復治療 メタルフリーの歴史と展望. 東京: 医歯薬出版株式会社, 2023; 11.
- 9) 岡崎義光. 生体材料. 東京: 日本工業新聞社, 2008; 219-227.
- 10) Zafiroopoulos G, Rebbe J, Thielen U, Deli G, Beaumont C, Hoffmann O. Zirconia removable telescopic dentures retained on teeth or implants for maxilla rehabilitation. Three-year observation of three Cases. J Oral Implantol, 2010; 36: 455-465.
- 11) Tasaka A, Shimizu T, Ito K, Wadachi J, Odaka K, Yamashita S. Digital technology for fabrication of removable dental prosthesis with double crowns combining fiber-reinforced composite and zirconia. J Prosthodont Res, 2023; 67: 487-492.
- 12) Niihara K. New design concept of structural ceramics-ceramic nanocomposites. J Ceram Soc Japan 1991; 99: 974-82.
- 13) 伴 清治. オールセラミックスの可能性を開く. 補綴臨床別冊 最新CAD/CAMレストレーション クラウン・ブリッジ&インプラントの臨床. 三浦宏之・宮崎隆 編. 東京: 医歯薬出版株式会社, 2008: 26-34.
- 14) 栗副直樹, 山田清高, 末廣康彦, 中西秀雄, 名和正弘. ナ

ノ複合化セラミックスの強靱性メカニズム. パナソニック電工技報 2011; 59: 71-75.

- 15) Nakagawa S, Torii K, Tanaka J, Tanaka M. Retentive force of the cone crown telescope prosthesis using ceria-stabilized zirconia/alumina nanocomposite with a CAD/CAM system. J Osaka Dent Univ, 2017; 51: 55-62.
- 16) Nakagawa S, Torii K, Tanaka M. Effects of taper and space settings of telescopic Ce-TZP/A crowns on retentive force and settling. Dent Mater J, 2017; 36: 230-235.
- 17) 吉川佑輔, 鳥井克典, 藤木 傑, 柴田駿亮, 中島俊輝, 池内慶介, 杉立尚城, 田中順子, 田中昌博. シルコニアを用いたコーヌステレスコープクラウンの着脱回数と維持力との関係. 歯科審美 2018; 30: 97-103.
- 18) Yoshikawa Y, Torii K, Tanaka M. Influence of the number of insertions and removals of telescopic zirconia/alumina crowns on retentive force and settling. Dent Mater J, 2019; 38: 671-677.
- 19) Nakajima T, Torii K, Fujii T, Tanaka J, Tanaka M. Retentive force of telescopic Ce-TZP/A crowns in water. J Osaka Dent Univ, 2019; 53: 171-177.
- 20) Fujiki S, Torii K, Sato M, Tanaka J, Tanaka M. Influence of the surface roughness of zirconia on the coefficient of static friction and retentive force of telescopic crowns. J Osaka Dent Univ, 2020; 54: 51-60.
- 21) Torii K, Shibata S, Fukumoto T, Yamamoto M, Tanaka J, Tanaka M, Kawazoe T. Fracture strength of telescopic Ce-TZP/A secondary crowns of different taper and thickness. J Osaka Dent Univ, 2020; 54: 245-249.
- 22) Shibata S, Torii K, Tanaka J. Fracture strength of secondary crown with different taper and thickness in zirconia double crown attachments. Dent Mater J, 2021; 40: 1303-1308.
- 23) Geckili O, Bilhan H, Mumcu E, et al. Comparison of patient satisfaction, quality of life, and bite force between elderly edentulous patients wearing mandibular two implant-supported overdentures and conventional complete dentures after 4 years. Spec Care Dentist 2012; 32: 136-141.
- 24) 佐藤智昭, 猪狩洋平, 田中恭恵, 服部佳功. 新 よくわかる顎口腔機能咬合・摂食嚥下・発音を理解する. 日本顎口腔機能学会編. 東京: 医歯薬出版株式会社, 2017: 47-48.