

Q2 ジルコニアを使うことの利点・欠点は？

A2 ・比較的安価に、歯冠色で強度の高い修復が可能となる。

◎ 阿部倫一郎、山崎長郎（原宿デンタルオフィス）

POINT

- ① 審美性、高強度、高韌性にすぐれ、臼歯部のみならず前歯部にも適用可能である。
- ② ジルコニアのモノリシッククラウン（単一構造）を使用すれば、比較的安価である。
- ③ 国民皆保険では適用外なため自由診療のみでの使用材料である。
- ④ 金属の裏打ちのある補綴装置に起因する審美的な問題も改善できる。

現在、国民皆保険制度のなかで製作できる補綴装置は、金属鑄造冠やCAD/CAM冠が保険収載され、広く臨床で用いられている。歴史的に長く使用されてきた12%金銀パラジウム合金は、患者の白い歯への欲求や金属の価格高騰により使用量は減少、メタルフリーの需要が高くなり、CAD/CAM冠への移行も高まってきている¹⁾。

近年、CAD/CAM冠の適用も前歯部まで拡大され、われわれ臨床医には福音であるが、咬合力が強いケースでは長期的な耐久性や強度的な不安が残るのも事実であろう。保険治療の範疇では最後臼歯の使用や、より高強度のマテ

ルを望まれた場合は金属修復となる。

自由診療となるが、ジルコニアのモノリシッククラウン（単一構造）を使用すれば、比較的安価で高強度な、金属色でない歯冠色補綴装置が提供できる（図2）。また、自由診療で広く普及しているPFM（porcelain-fused-to-metal）の金属に起因するメタル色によるブラックマージンや歯頸部のディスカラー、そして金属アレルギーなどの種々の問題も、ジルコニアをコーピング、フレームに代用することで克服することも可能である（図3、4）。

欠点としては高強度であるがゆえに、再治療に際しての補綴装置の撤去が困難であること。また研磨が不十分な場合、対合歯の摩耗が著しくなるので注意が必要である。しかし、この欠点をはるかに上回る利点があるため、ジルコニアはメタルの代替えとなる高強度、高韌性の歯冠色のマテリアルとして注目を浴びている。

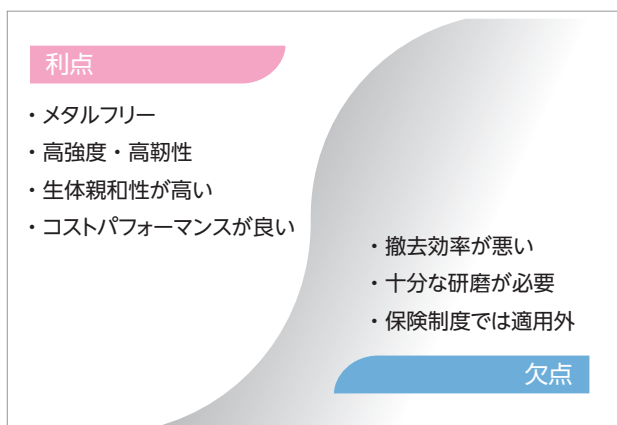


図1 ジルコニアを使用する利点・欠点



図2 約20年前、「7」に装着されたPFMの陶材部のチッピング。歯冠色で、割れずに安価なものにしてほしいという希望があり、モノリシックジルコニアが選択された一症例。経年的変化により、陶材部のチッピングが起こることがあるが、陶材築盛のないモノリシックジルコニアを用いることでチッピングを回避できる。またいかなる材料であっても、咬合の経年的変化を確認し、必要があれば調整していくことが重要である。



図3 11 PFMのブラックマージンが気になると来院された患者。金銭的な面からモノリシックジルコニア（ステイン法）が選択され、審美的改善を行なった一症例。メタルの裏打ちのないジルコニアを選択することで、歯周組織の経年的変化による審美的障害のリスクを軽減させられる。



図4 前歯をきれいにしたいとの主訴で来院された患者。ジルコニアコーピングに陶材築盛（レイヤリング法）し、審美的・機能的に改善した一症例。咬合やガイド部は強度の高いジルコニア、審美的な部分は陶材をレイヤリングすることで、機能と審美的確立を図ることが可能である。

参考文献

- 1) 新谷明一, 三浦貴子, 小泉寛恭, 疋田一洋, 峯篤史. CAD/CAM冠の現状と将来展望. 日補綴会誌 2017;9:1-15.

Q6 モノリシックジルコニアは審美性に劣るのではないか？

A6 ・コア材として用いられている従来型TZPをモノリシックデザインで使用すると審美性に劣るが、高透光性PSZの使用により、症例を選べば前歯部にも適用可能である。

◎ 山崎 治 (原宿デンタルオフィス)

POINT

- ①高透光性PSZは従来型TZPより透光性が高く、審美性が向上し、前歯部、小臼歯部にも応用可能である。
- ②単色のディスクの場合はステイン法による着色や、歯頸部から切縁まで色調のグラデーションがある積層ディスクの使用で、審美性を向上させることができる。
- ③モノリシックジルコニアの応用は、患者の審美的欲求度、修復部位、本数によって総合的に判断する。

歯科材料としてのジルコニアの応用を遡ると、PFM (porcelain-fused-to-metal)のメタルの代替えとして応用されたのが始まりである。よってコア材として必要な強度が優先され、かつ支台歯のディスクカラーを遮蔽する目的もあったため、透光性が低いものが一般的であった。

しかし審美的なニーズの拡大もあいまって、高強度で歯冠色での対応ができるジルコニアの可能性を見出し、コア材の使用のみではなくクラウンやブリッジなどの補綴装置として使用する、いわゆるモノリシック(単一構造)の応用が待望された。

その当時は、本来コア材として使用するものを流用して、かつCAD/CAMシステムのソフト(デザインソフト)

とハード(加工装置)も精度が低く、色調や咬合面形態は満足いくものではなかった(図1、2)。

このような背景のなか、審美性が高くモノリシッククラウンとして小臼歯、前歯にも対応できるように、各社から高透光性PSZのディスクが登場した。これにより不自然なオパーキー感がなくなり前歯部、小臼歯部への応用が拡大した。単独歯修復・補綴の場合は、積層のディスクの使用や、単色のディスクの場合はステイン法による着色を行うことで、隣在歯との調和を獲得することもできる(図3、4)。また、修復歯が多数歯の場合は審美性が要求される前歯部の応用でも、全体の色調のバランスがとりやすく、患者の審美的欲求度に応じてモノリシッククラウンでも対応できる(図5、6)。



図1 従来型TZPのモノリシックのクラウン、ブリッジの臨床応用例。本来コーピング、フレームに適したジルコニアをモノリシックとして用いたため、審美性は決して良いとは言えない。当初は金属色ではないという優位性のみでの臨床応用例であった。

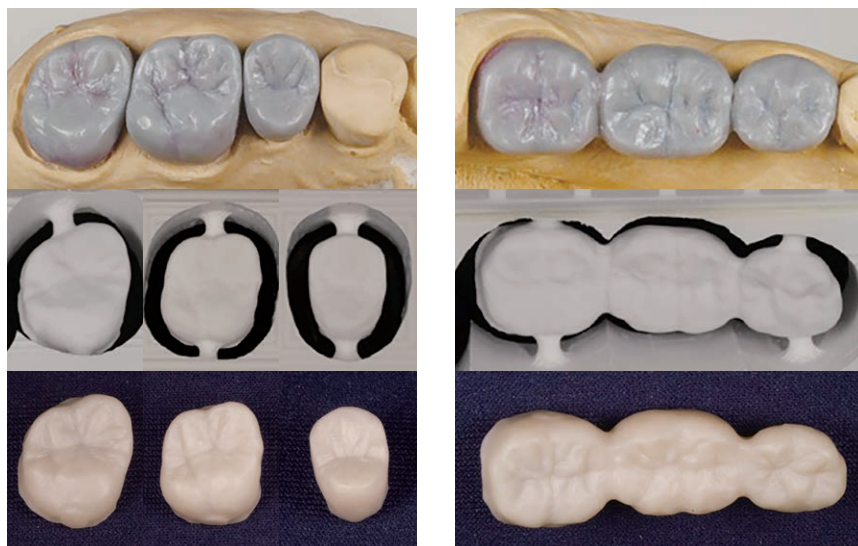


図2 従来型T-ZPのモノリシックのクラウン、ブリッジの臨床応用例(図1と同症例)。ワックスアップ、半焼結、完成時を比較すると、CADのソフトやCAMの加工精度も当時は再現性が低く、モノリシックでの適用は限界があったと言える。



図3 積層型高透光性PSZの臨床応用例①。写真は着色前のジルコニアを研磨したのみの状態での試適であるが、従来型T-ZPのような独特な色調ではなく透光性が向上している。



図4 積層型高透光性PSZの臨床応用例②。図3の状態からステインによる着色を行なった状態。隣接歯との高度な色調の調和を目指すのであれば、審美的には十分であろう。



図5 高透光性PSZのモノリシックジルコニアを応用した全顎症例。審美的にはガラスセラミックスには劣るが、広範囲の適用となると全体の統一感でカバーされるため、前歯部の適用でも十分可能である。



図6 高透光性PSZのモノリシックジルコニアを多数歯に応用した症例(症例提供:山崎長郎)。左図がM3Y-5Y、右図がM5Y。ともにステイン法により着色したものである(上段が術前、下段が術後)。高透光性PSZ(左図)のほうが透光性が高く、切縁の明度は低くなり、自然な感じが表現されている。

Q10 ジルコニアは長期的に劣化するのでは？

A10 ・鏡面研磨することにより、化学的耐久性だけでなく機械的耐久性が向上し、口腔内環境における長期耐久性は歯科修復物のなかでもすぐれている。

◎ 伴 清治 (愛知学院大学歯学部 歯科理工学講座)

POINT

- ①ジルコニア中のイットリウムなど安定化元素が多いほど低温劣化に対する抵抗性は向上し、イットリアが5mol%以上になると口腔内環境における低温劣化はほとんど生じない。
- ②他の歯科修復物に比較すると、ジルコニアが口腔内環境で化学的に劣化する可能性はきわめて低い。
- ③鏡面研磨することにより、低温劣化や耐酸性などの化学的耐久性だけでなく、疲労強度などの機械的耐久性が向上し、口腔内環境における長期耐久性は歯科修復物のなかでもすぐれている。

ジルコニアの化学的性質中で欠点として頻繁に指摘されているのは、水分存在下での相変態による低温劣化である。口腔内に直接露出している高透光性ジルコニアの場合、低温劣化により長期に口腔内で利用できないのではないかと危惧されている。

水によるジルコニアの劣化のメカニズムとして、諸説あるが酸素欠陥による進行が有力である(図1)¹⁾。まず、1個の結晶粒が相転移すると体積膨張により隣接の結晶粒を応力でもち上げ、微小亀裂を派生させる。これが浸入路とな

り、水が内部の結晶粒にまで貫通できるようになる。そして、さらに相転移が進行していくことになる(図2)²⁾。この状態で摩耗という物理的な作用が加わると、表面の変態粒子は容易に剥がれくぼみが生じる。表面が粗れるとさらに摩擦力が高くなってしまう。この変態層表面は脆く、強度は低下することになる。

筆者らは、鏡面研磨した高透光性TZPジルコニア(3Y)を134、121、105、90、60、37°Cに放置した場合の単斜晶含有量の変化を最長で5年間まで測定した(図3)³⁾。放置温

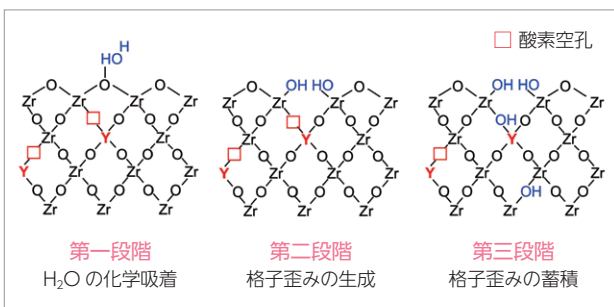


図1 低温劣化の模式図。(参考文献1より引用・改変) 表面へのH₂O分子の吸着(第一段階)、H₂Oの解離によりZr-OH結合やY-OH結合が形成され、表面の格子が歪みを生じる(第二段階)、格子中へOH-が拡散し、歪みが蓄積する(第三段階)。

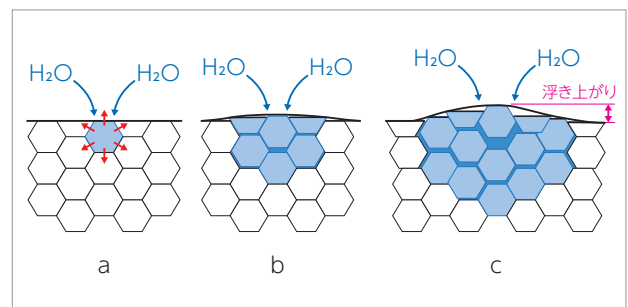


図2 低温劣化の進行の模式断面図。(参考文献2より引用・改変) 特定の粒子表面で核形成が生じ、微細亀裂と隣接粒子に応力をもたらす(a)。変態した領域が広がり、微細亀裂が拡大し表面が粗れる(bおよびc)。水色部分は変態した結晶粒子、青色部分は水の浸入路を示す。

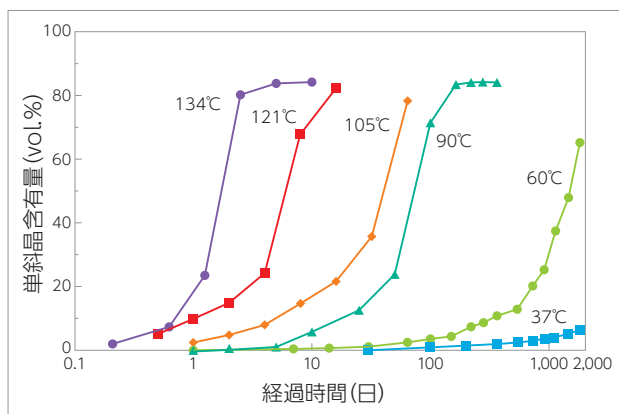


図3 鏡面研磨した高透光性TZPジルコニア(3Y;cercon ht)を134、121、105、90、60、37°Cに放置した場合の単斜晶含有量の変化。(参考文献3より引用・改変) 温度が高いほど短期間で変態が飽和に達しているが、60°Cおよび37°Cでは5年経過後でも変態は飽和に達していない。

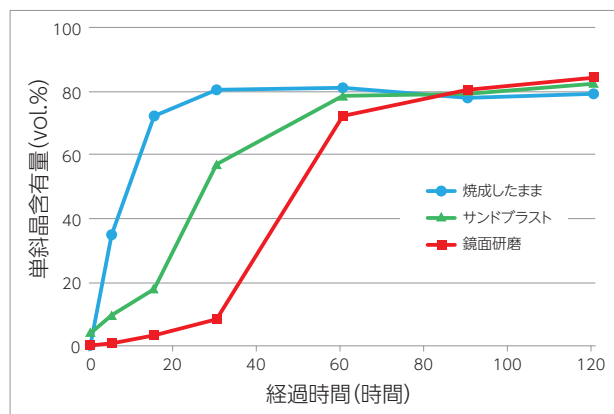


図4 焼成したまま、サンドブラスト、および鏡面研磨した高透光性TZPジルコニア(3Y;松風ディスク ZR-SS カラードピーチミディアム)を134°Cで120時間(5日間)まで放置した場合の単斜晶含有量の変化。鏡面研磨により単斜晶の生成が大きく抑制されている。

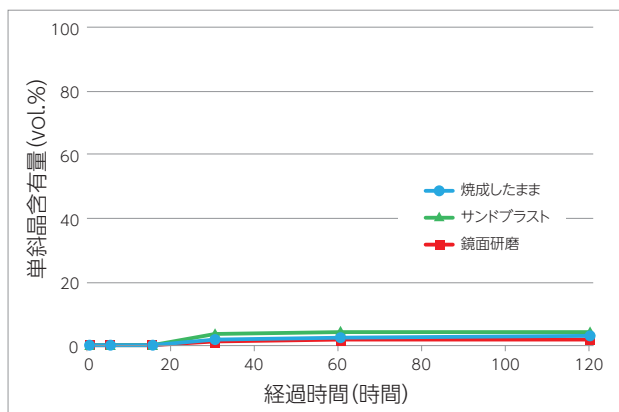


図5 焼成したまま、サンドブラスト、および鏡面研磨した高透光性PSZジルコニア(5Y;松風ディスク ZR ルーセント FA)を134°Cで120時間(5日間)まで放置した場合の単斜晶含有量の変化。3面とも単斜晶の生成はきわめて少ない。

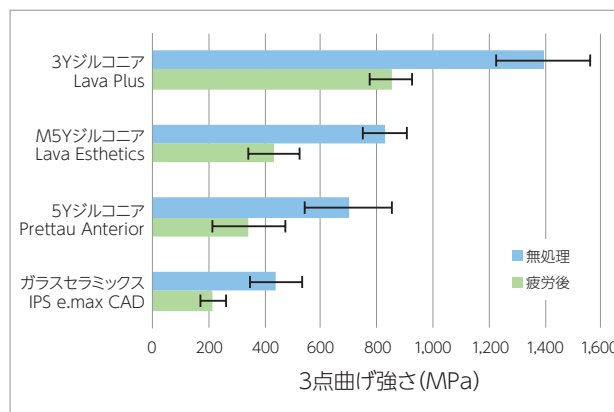


図6 ニケイ酸リチウムおよびジルコニアの疲労特性(参考文献7記載のデータを筆者がグラフ化)。ジルコニアもニケイ酸リチウムも疲労は生じる。初期強度の高い3Yジルコニアは疲労後も高い強度を示す。

度が下がっていくと変態速度は遅くなっていく。134°Cで30時間経過において約25%変態しているが、37°Cの5年間では約8%単斜晶に変態しているにすぎなかった。また、この低温劣化は鏡面研磨により大きく抑制される(図4)。さらに、安定化元素のイットリウム含有量が増えると低温劣化は抑えられ、5Yジルコニアでの変態はほとんど生じない(図5)。

したがって、歯科用ジルコニアは口腔内環境において強度低下につながるような低温劣化が生じることはない判断できる^{4,5)}。

一方、金属と同様に、多くのセラミックスは応力負荷状態で強度劣化を起こす、いわゆる疲労現象を示すことが知られている。ジルコニアの疲労は応力誘起相転移と大きく関係し、高靱性のジルコニアほど疲労の影響が大きいと考えられている⁶⁾。3Yおよび5Yジルコニアの疲労を比較する

と、3Yジルコニアの初期強度は高いが、疲労後の強度低下も大きく、またガラスセラミックスも疲労現象を示すことが示されている(図6)⁷⁾。微小亀裂による疲労が生じやすい3Yジルコニアでは、表面が粗く微小亀裂が既存していると疲労は生じやすく、鏡面状態では微小亀裂が少なく疲労が生じにくくなると報告されている(図7、8)⁸⁻¹⁰⁾。

さらに、形態についても疲労との関係は大きく、Studartらは疲労試験結果から、ブリッジの連結部の大きさと最大引張応力との関係を計算し、疲労に耐える形態を提案している(図9)¹¹⁾。支台歯数が多いほど、連結部は大きくする必要があるのであるとしている。

したがってジルコニア修復物は、適正な形態と鏡面研磨処理をすれば疲労は十分に抑制することができ、口腔内で疲労破壊する可能性は低く、長期に使用可能であると判断

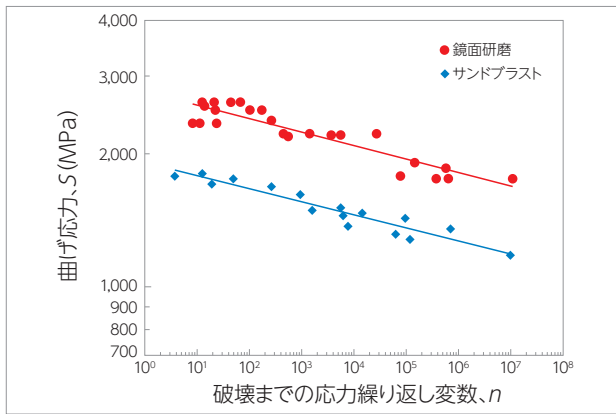


図7 鏡面研磨およびサンドブラストしたジルコニアに一定応力を10Hzで負荷し破壊する回数(文献8より引用・改変)。サンドブラストにより、約30%疲労特性は低下している。

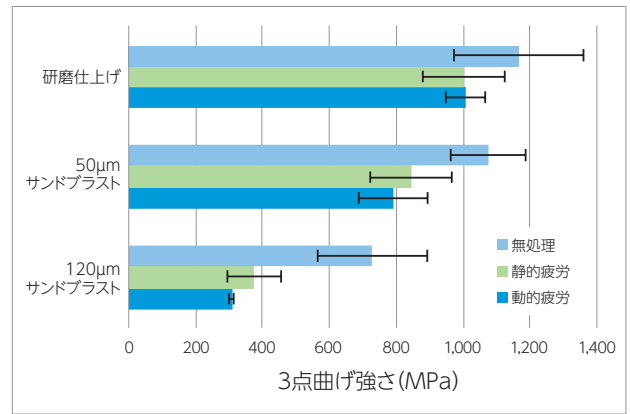


図8 研磨仕上げおよび2種のサンドブラストしたジルコニアの疲労特性(参考文献9記載のデータを筆者がグラフ化)。ジルコニアの表面が粗れているほど、初期強度も静的疲労および動的疲労後の強度も低下する。

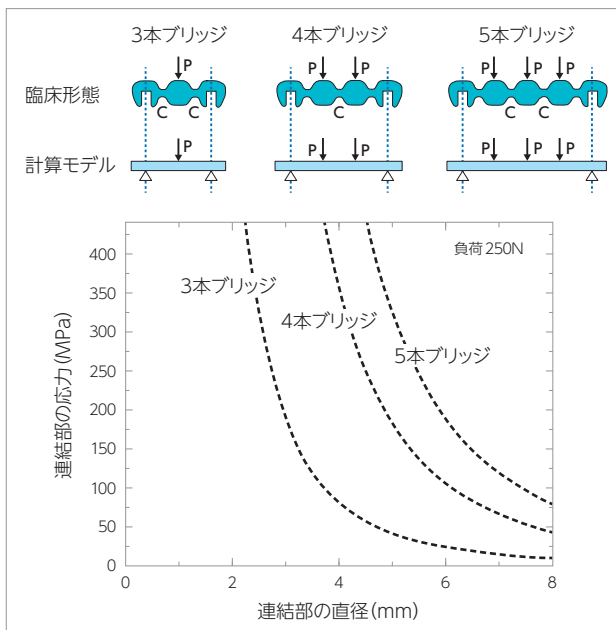


図9 3、4、5本ブリッジ連結部の計算モデル(上)と連結部の直径と最大引張応力の理論計算結果(下)(参考文献11より引用・改変)。cは最大引張応力の発生箇所を表す。一般的な咬合力250Nの荷重(P)を負荷したときのc部での最大引張応力は疲労試験結果から計算された。

できる¹²⁾。

このように、同じ試験条件で化学的耐久性および機械的耐久性を比較すると、各種歯科修復材料のなかでジルコニアが最もすぐれており、ジルコニアは口腔内で良好な長期耐久性を示すと判断される。

参考文献

- 1) Yoshimura M, Noma T, Kawabata K, Somiya S. Role of H₂O on the degradation process of Y-TZP. J Mater Sci Letters 1987; 6: 465-467.
- 2) Chevalier J, Drouin JM, Cales B. Low temperature ageing behaviour of zirconia hip joint heads. Bioceramics 1997; 10: 135-137.
- 3) Ban S. Chemical durability of high translucent zirconia. Dent Mater J 2020; 39: 12-23.
- 4) 伴清治. 歯科用ジルコニアの材料科学入門 第5回ジルコニアは劣化するのか? 補綴臨床 2014;47:207-221.
- 5) 伴清治. ジルコニア修復あなたの常識大丈夫? Vol.2. 補綴臨床 2019; 52:140-152.
- 6) 芦塚正博, 佐々木豊重, 古川満彦. HIP処理したイットリア添加正方晶ジルコニアの疲労. 日本金属学会誌 1988;52(6):618-621.
- 7) 3M Lava Esthetic Technical Product Profile, 2018.
- 8) Zhang Y, Lawn BR: Fatigue sensitivity of Y-TZP to microscale sharp contact flaws. J Biomed Mater Res Part B: Applied Biomater. 2005; 72: 388-392.
- 9) Aboushelib MN, Wang H, Kleverlaan, CJ, Feilzer AJ. Fatigue behavior of zirconia under different loading conditions. Dent Mater 2016; 32: 915-920.
- 10) Koyama T, Sato T, Yoshinari M. Cyclic fatigue resistance of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystals with hot isostatic press processing. Dent Mater J 2012; 31: 1103-1110.
- 11) Studart AR, Filsler F, Kocher P, Gauckler LJ. Fatigue of zirconia under cyclic loading in water and its applications for the design of dental bridges. Dent Mater 2007; 23: 106-114.
- 12) 伴清治. ジルコニア修復あなたの常識大丈夫? Vol.10. 補綴臨床 2020; 53:411-422.

Q13 ジルコニアは硬いが、容易に撤去できるのか？

A13 ・高強度のため撤去が困難なイメージがあるが、専用器具を使用すれば撤去は容易である。

◎ 山崎 治 (原宿デンタルオフィス)

POINT

- ①高強度であるがゆえ切削が困難に思えるが、時間はかかるものの撤去は可能である。
- ②専用ポイントと高トルクである5倍速コントラなどを使用すれば、より容易に撤去できる。
- ③切削による大きな発熱が予想されるので、十分な注水が必要となる(特に生活歯)。
- ④Nd:YAGレーザーを使用して、ジルコニアを簡便に撤去できる方法もある。

歯冠修復・補綴後の偶発症により再治療になった際、ジルコニアは高強度のため撤去は大変ではないかという懸念が生じるであろう。確かにレジン、金属、ガラスセラミックよりも硬いため撤去に時間がかかったり、使用するバーによってはあまり削れないということも筆者は経験している。

「Q7」でも述べたが、ジルコニアよりも硬いダイヤモンドポイントで削れば撤去は可能である。しかし、通常の支台歯形成用のダイヤモンドポイントでは時間効率が悪い。

そこで、高強度なジルコニアの撤去に際しては「撤去」に特化した大きな砥粒のもので、高いトルクが出力できる5倍速コントラを使用すると効率が良い(図1)。

筆者の行なっている撤去方法は、歯冠中央部に頬舌的に

スリットを入れ、専用器具やマイナスドライバーなどで梃子の原理を利用しクラウンを分離させるように力をかけると、接着の弱い部分が撤去できる。一部残った場合は同様にスリットを入れ、同じ操作を繰り返す。最終的に撤去できなかった残った部分は、撤去用ポイントで削り取る(図2～8)。従来の補綴装置より時間がかかるが、準備をしておけばそんなに時間を割かれないで撤去することが可能である。

また、Nd:YAGレーザーを照射するとジルコニアの強度を低下させることができるので、上記の撤去法にレーザーを組み合わせることで、より容易に撤去ができるという報告¹⁾もあるので、医院設備がある先生方は試してみるのも良いであろう。

参考文献

- 1) 奥田祐司, 伴清治. 口腔内治療用Nd:YAGレーザーを活用したジルコニアフルクラウンの撤去方法. 補綴臨床 2014;47:496-502.



図1 ジルコニアの撤去に効果的なダイヤモンドポイント（例：松風ダイヤモンドポイントFG スーパーコース セレクトセット）。前歯部、白歯部の部位別に対応できるようなパッケージとなっている。従来の支台歯形成用とは異なり、撤去用としてダイヤモンド砥粒が大きく、切削効率が向上し、目詰まりも少ない。

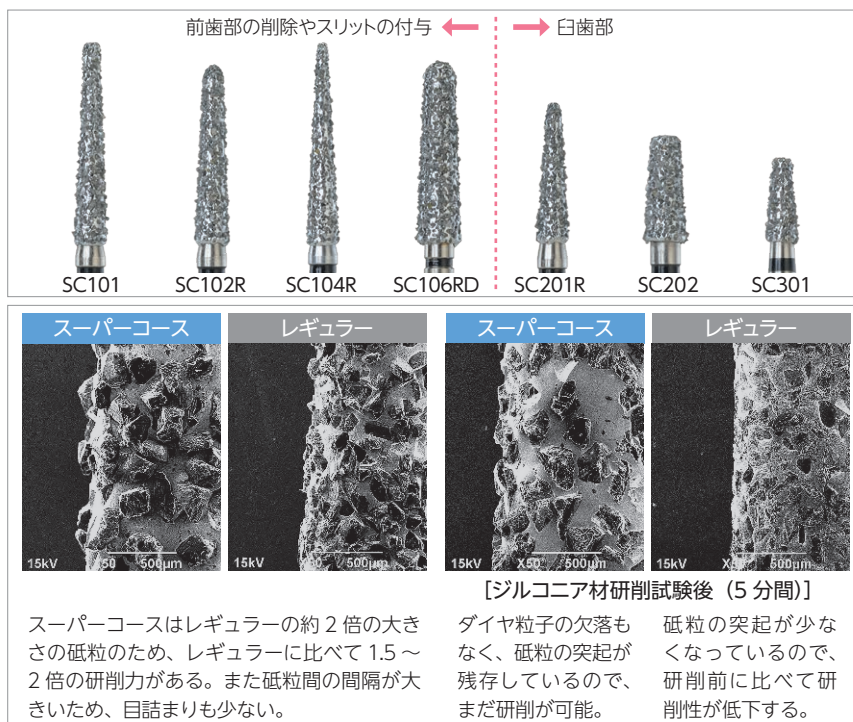


図2 モノリシッククラウンの術前。近心部歯頸部付近にサイナストラクト（瘻孔）があり、根管治療の必要があるため補綴装置を撤去することとなった。



図3 撤去用バーと5倍速コントラの使用。頬側面にスリットを入れる。このとき十分な注水に留意する。



図4 スリットの形成終了時。頬舌側にスリットを入れ、セメント層もしくは歯面などが確認できるまで削合するのが好ましい。



図5 クラウンの離断。専用器具などを使用し、歯根に力が加からないように注意して近遠心的にクラウンを離断させる。



図6 撤去後の咬合面観。このように一部残る場合もあるため、その際はまたスリットを入れ同様の操作を行うが、残存部位は少量ならばそのまま削って撤去する。



図7 近遠心的に撤去されたクラウンの横断面。モノリシッククラウンの場合は単一構造のため、事前にクリアランスを把握して削ると効率が良い。

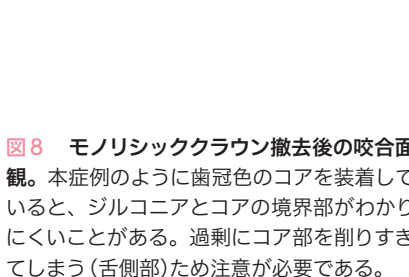


図8 モノリシッククラウン撤去後の咬合面観。本症例のように歯冠色のコアを装着していると、ジルコニアとコアの境界部がわかりにくいことがある。過剰にコア部を削りすぎてしまう（舌側部）ため注意が必要である。

