

セラミック材料の表面性状が
対合材料の摩耗に及ぼす影響

日本大学大学院歯学研究科歯学専攻

佐伯 修

(指導：松村 英雄 教授，小泉 寛恭 専任講師)

概 要

セラミック材料は、高い機械的強度と優れた生体親和性を有しており、歯冠修復材料として使用されている。また、患者の審美的要求に伴い、セラミック材料を臼歯部に適用する頻度が増加している。ジルコニアは、セラミック材料の中でも高い機械的強度を持ち、歯科領域での応用範囲が拡大している材料である。

従来、ジルコニアは補綴装置のフレーム材料として用いられ、セラミック材料を築盛、焼成し補綴装置として使用されてきた。しかし、セラミック材料を築盛、焼成したジルコニアの補綴装置は、築盛部分の破損やチッピングなどが問題となっている。この問題を解決するためにジルコニア単体の補綴装置が製作されるようになってきている。しかし、ジルコニア単体の補綴装置は機械的強度が高いため、対合歯への影響は未だ不明な点が多い。そこで本研究では、ジルコニアをはじめとした各種セラミック材料の表面性状の違いが、規格化された球状対合試料の摩耗に及ぼす影響について、摩耗量測定ならびに走査電子顕微鏡（以下 SEM）観察を行った。

セラミックス平板試料は、ジルコニア（カタナ KT 10, クラレノリタケデンタル）、焼付用陶材（以下 porcelain, EX-3 nA1B, クラレノリタケデンタル）および二ケイ酸リチウムガラスセラミックス（以下 LDG ceramics, e.max CAD MO1/C14, Ivoclar Vivadent）を用いた。球状対合試料として金合金（キャストイングゴールド M.C. Type IV, ジーシー）とフルオロアパタイトガラスセラミックス（以下 HP ceramics, e.max ZirPress LT A3, Ivoclar Vivadent）を用いた。

摩耗試験に先立ち、セラミックス平板試料および球状対合試料のビッカース硬さを測定した。ビッカース硬さは、荷重 9.8 N、荷重保持時間 15 秒の条件で微小硬度計（HMV-1、島津）を用いて測定した。

セラミックス平板試料は、それぞれ製造者指示に従い焼成し、平板状（18×18×2 mm）に調製した。セラミックス平板試料の表面性状は、粗面と研磨面を規定した。表面粗さは、JIS B 0633:2011 に準拠し、表面粗さ測定器（サーフコム 1400、東京精密）を用いて測定した。

球状対合試料は、球状原型（2.0 mm PMMA 球、佐藤鉄工）を用いて製作した。金合金球状対合試料は鋳造、硬化熱処理を行い、研磨を行った。HP ceramics 球状対合試料は製造者指示に従って加圧成形後、グレーズ材（IPS e.max Ceram Glaze Paste FLUO, Ivoclar Vivadent）を用いてグレーズ処理を行った。

摩耗試験にはセラミックス平板試料と球状対合試料を用い、グリセロールと球状 PMMA 粉末（アクロン、ジーシー）を混和した疑似食物を使用した。摩耗試験は、荷重 5.9 N、ストローク幅 3.0 mm、ストローク回数 5,000 回、繰返し速度 1 Hz の条件でストローク型摩耗試験機（K-317、東京技研）を用いて行った。摩耗高さは、走査レーザー顕微鏡を（1LM21W、レーザーテック）を用いて球状対合試料摩耗部位直径を計測し、計算式により算出した。摩耗試験後の試料表面を SEM を用いて観察した。

ビッカース硬さは、ジルコニアが有意に高い値を示し、金合金が有意に低い値を示した。セラミックス平板試料の表面粗さは、粗面において porcelain 平板と

LDG ceramics 平板が有意に高い値を示し、研磨面において、porcelain 平板が有意に高い値を示した。

摩耗試験は、金合金球状対合試料に対して、粗面においては porcelain 平板が有意に高い値を示し、研磨面においても porcelain 平板が有意に高い値を示した。HP ceramics 球状対合試料に対して、粗面においてはジルコニア平板が有意に高い値を示し、研磨面においては porcelain 平板が有意に高い値を示した。各種セラミックス平板試料の表面粗さと各球状対合試料の摩耗量との間に、それぞれ高い正の相関を認めた。

SEM 観察では、粗面に対して、金合金球状対合試料と HP ceramics 球状対合試料共に明らかな摩耗部位が認められた。HP ceramics 球状対合試料の滑走痕が、porcelain 平板粗面と LDG ceramics 平板粗面上に観察できたが、ジルコニア平板粗面上には認められなかった。滑走部の拡大像では、金合金球状対合試料は摩耗面辺縁に金属が伸展した像を認めた。またセラミックス平板粗面に対しては、滑走方向に線条痕が観察された。HP ceramics 球状対合試料は、摩耗面辺縁部が不明瞭であり、摩耗面は粗造であることが観察された。

セラミック材料の表面性状が対合材料の摩耗に及ぼす影響について検討した結果、以下の結論を得た。

1. 金合金球状対合試料の摩耗量は、粗面および研磨面共に porcelain 平板がジルコニア平板、LDG ceramics 平板と比較して有意に高い値を示した。
2. HP ceramics 球状対合試料の摩耗量は、粗面ではジルコニア平板が有意に高い値を示したが、研磨面では porcelain 平板が有意に高い値を示した。

3. すべてのセラミックス平板試料の表面粗さと球状対合試料の摩耗量との間に高い正の相関を認めた。
4. 金合金球状対合試料滑走時には、セラミックス平板試料表面に変化は観察されなかったが、HP ceramics 球状対合試料滑走時において、porcelain 平板とLDG ceramics 平板の表面に滑走痕を認めた。
5. 金合金球状対合試料では、摩耗面辺縁に金属が伸展した像を認め、HP ceramics 球状対合試料では、摩耗面辺縁部が不明瞭であり、摩耗面は粗造であった。

なお、本論文は原著論文 Saiki O, Koizumi H, Nogawa H, Hiraba H, Akazawa N, Matsumura H. Influence of ceramic surface texture on the wear of gold alloy and heat-pressed ceramics, Dent Mater J 2014, (*in press*)を基幹論文とし、SEM 観察による新たな実験データを加えることによって総括したものである。

緒 言

セラミック材料は、高い機械的強度と優れた生体親和性を有しており、歯冠修復材料として使用されている。また、患者の審美的要求に伴い、セラミック材料を臼歯部に適用する頻度が増加している。ジルコニアは、セラミック材料の中でも高い機械的強度を持ち、歯科領域での応用範囲が拡大している材料である。

従来、ジルコニアは補綴装置のフレーム材料として、セラミック材料を築盛、焼成し使用されてきた¹⁾。しかし、セラミック材料を築盛、焼成したジルコニアの補綴装置は、築盛部分の破損やチッピングなどが問題となっている²⁾。この問題を解決するために、ジルコニア単体の補綴装置が製作されるようになってきている^{3,4)}。しかし、ジルコニアは他の歯科用セラミック材料と比較して耐摩耗性が高いため⁵⁾、対合歯の摩耗に及ぼす影響が懸念されている⁶⁻⁸⁾。

摩耗は、材料の構造密度や結晶構造、対合歯の状態、食物、ブラッシングと歯磨剤、口腔習癖など複数の要因が関与する現象である。特に表面粗さ、微細構造および患者の咬合状態は、摩耗に強く影響を与える要因であることが報告されている⁹⁻¹¹⁾。近年、ジルコニアが対合歯の摩耗に及ぼす影響に関する研究が数多く報告されている^{5,12-16)}。研磨を行ったジルコニアは他のセラミック材料と比較して、エナメル質の摩耗量に与える影響が小さく、対合試料の摩耗に与える影響も小さいことが報告されている^{14,15)}。このように近年の研究において、研磨を行ったジルコニアは、他のセラミック材料と比較して対合歯の摩耗に与える影響は小さいとされている^{5,6,10,12-17)}。これらの研究では、対合試料はケイ酸マグネシウム

やヒトエナメル質が用いられている^{5,6,10,12-17)}。一方、歯科用合金や歯科用セラミック材料を球状対合試料として用いた研究は少ない。

歯科用合金や加圧成形セラミック材料を用いて、ロストワックス法によって、精密な球状対合試料を製作することが可能である^{5,18,19)}。そこで本研究では、ジルコニアをはじめとした各種セラミック材料の表面性状の違いが規格化された球状対合試料の摩耗に及ぼす影響について、摩耗量測定ならびに走査電子顕微鏡(以下、SEM) 観察を行うことによって検討した。

材料および方法

1. 材料

本研究に使用した材料を Table 1 に示した。平板試料のセラミック材料には、ジルコニア(カタナ KT10, クラレノリタケデンタル), 焼付用陶材(以下 porcelain, EX-3 nA1B, クラレノリタケデンタル) および二ケイ酸リチウムガラスセラミックス(以下 LDG ceramics, e.max CAD MO1/C14, Ivoclar Vivadent) を用いた。各種セラミック材料は, 製造者指示に従って焼成し(ジルコニア: 焼成温度 1,400°C, 焼成時間 2 時間; porcelain: 開始温度 600°C, 乾燥時間 7 分, 温度上昇率 45°C/分, 焼成温度 930°C; LDG ceramics: 焼成温度 850°C, 係留時間 10 分), 平板状(18×18×2 mm) に調製した。その後, セラミックス平板試料は耐水研磨紙(#170-2,000, Wetordry Tri-M-ite, 3M) を用いて研削を行い, バフ(TexMet 1,500, Buehler) とダイヤモンドペースト(1 μm, MetaDi, Buehler) を用いて仕上げ研磨を行った。その後, セラミックス平板試料は, アルミニウム枠にエポキシレジン(EpoxiCure, Buehler) を用いて包埋した。セラミックス平板試料はそれぞれ 7 個製作した。

セラミックス平板試料の表面性状は, FG コントラアングルハンドピース(S200MLX, ヨシダ) とダイヤモンドポイント(松風ダイヤモンドポイント FG 102R, 松風) を用い, 荷重 2.0 N, 回転速度 200,000 r/min にて研削した面を粗面と規定した (Fig. 1)。また, 粗面をセラミックス用研磨ポイント (StarGloss blue/pink/gray, Edenta) にて研磨後, ブラシと研磨用ペースト (Zircon-Bright, DVA) にて仕上げ, 研磨面とした。

球状対合試料の材料には、金合金（キャストイングゴールド M.C. Type IV, ジーシー）とフルオロアパタイトガラスセラミックス（以下 HP ceramics, e.max ZirPress LT A3, Ivoclar Vivadent）を使用し、球状原型には直径 2.0 mm の PMMA 球（佐藤鉄工）を用いた。金合金球状対合試料は、原型をクリストバライト埋没材（イデアベストミクロ, ジーシー）を用いて埋没し、鋳造、硬化熱処理を行い、シリコーンポイント（M2 13/10, 松風）を用いて研磨を行った。HP ceramics 球状対合試料は、原型を専用埋没材（IPS Pressvest, Ivoclar Vivadent）を用いて埋没し、製造者指示に従って加圧成形（開始温度 700°C, 温度上昇率 60°C/分, 焼成温度 900°C, 係留時間 15 分）した後、グレーズ材（IPS e.max Ceram Glaze Paste FLUO, Ivoclar Vivadent）を用いてグレーズ処理（開始温度 403°C, 温度上昇率 60°C/分, 焼成温度 770°C, 係留時間 1~2 分）を行った。球状対合試料は、円柱状（直径 10 mm）のレジン（パターンレジン, ジーシー）内に先端の球状部位が露出するように設置した（Fig. 2）。

2. ビッカース硬さの測定

セラミックス平板試料および球状対合試料に使用した材料を、平板（18×18×2 mm）に加工し、耐水研磨紙（#2,000, Wetordry Tri-M-ite, 3M）にて研削を行った。ビッカース硬さは、荷重 9.8 N, 荷重保持時間 15 秒の条件で微小硬度計（HMV-1, 島津）を用いて測定した。測定は 1 試料につき 6 カ所測定を行い、その平均値を各試料のビッカース硬さとした。

3. 表面粗さ（ R_a ）の測定

セラミックス平板試料の表面粗さは、JIS B 0633:2001 に準拠し、表面粗さ測定器（サーフコム 1400，東京精密）を用いて測定した。摩耗試験滑走方向と平行に、1 試料 5 カ所測定を行い、その平均値を各試料の表面粗さとした。

4. 摩耗試験

摩耗試験にはセラミックス平板試料と球状対合試料を用い、グリセロールと球状 PMMA 粉末（アクロン，ジーシー）を混和した疑似食物を使用した。摩耗試験は、荷重 5.9 N，ストローク幅 3.0 mm，ストローク回数 5,000 回，繰返し速度 1 Hz の条件でストローク型摩耗試験器（K-317，東京技研）を用いて行った^{18,19)} (Fig. 3)。摩耗高さは、走査レーザー顕微鏡（1LM21W，レーザーテック）を用いて球状対合試料の摩耗部位直径（ d ）の計測を行い、以下の計算式により算出した。

$$\text{摩耗高さ} = 1 - \frac{\sqrt{4 - d^2}}{2}$$

5. SEM 観察

摩耗試験後の試料を 24 時間減圧下で乾燥した後、オスミウム蒸着を 30 秒間行った。加速電圧 15 kV の条件で SEM（S-4300，日立ハイテクノロジーズ）を用いて、摩耗試験後の試料表面を観察した。

6. 統計分析

統計分析は、Kolmogorov-Smirnov 検定を行い、正規性の検定を行った。その後、Levene 検定にて等分散性の検定を行ったが、一部の結果に等分散性が認められなかったため、試料間比較はノンパラメトリック統計法の Steel-Dwass 多重比較検

定を行った。また、それぞれのセラミックス平板の表面粗さと摩耗量の相関分析を行い、回帰係数を求めた。

結 果

1. ビッカース硬さ

ビッカース硬さおよび統計分析の結果を Table 2 に示す。ジルコニアが 1,443.5 と有意に高い値を示し (category a), 金合金が 220.0 と有意に低い値を示した (category e)。各材料間に有意な差を認めた (categories a-e)。

2. 表面粗さ (R_a)

表面粗さおよび統計分析の結果を Table 3 に示す。粗面において, porcelain 平板と LDG ceramics 平板 (category f) がジルコニア平板 (category g) と比較して有意に高い値を示した。研磨面において, porcelain 平板 (category h) がジルコニア平板と LDG ceramics 平板 (category i) と比較して有意に高い値を示した。すべてのセラミックス平板において研磨後に表面粗さの減少が認められた。

3. 摩耗試験

金合金球状対合試料の摩耗量および統計分析の結果を Table 4 に示す。金合金球状対合試料に対して, 粗面においては porcelain 平板が有意に高い値を示し (category j), 研磨面においても porcelain 平板が有意に高い値を示した (category l)。

HP ceramics 球状対合試料の摩耗量および統計分析の結果を Table 5 に示す。HP ceramics 球状対合試料に対して, 粗面においてはジルコニア平板が有意に高い値を示し (category n), 研磨面においては porcelain 平板が有意に高い値を示した (category q)。

各種セラミックス平板試料の表面粗さと各球状対合試料の摩耗量との間に、それぞれ高い正の相関を認めた (Figs. 4, 5)。金合金球状対合試料での回帰係数は、porcelain 平板研磨面が最小の 4.5, porcelain 平板粗面が最大の 150.0 を示し、HP ceramics 球状対合試料においては、LDG ceramics 平板粗面が最小の 7.1, ジルコニア平板粗面が最大の 58.6 であった。

4. SEM 観察

摩耗した金合金球状対合試料と HP ceramics 球状対合試料の SEM 像を Figs. 6, 7 に示す。粗面に対して、金合金球状対合試料と HP ceramics 球状対合試料共に明らかな摩耗部位が認められた (Figs. 6a-c, Figs. 7a-c)。摩耗試験後のセラミックス平板試料粗面の SEM 像を Fig. 8 に示す。HP ceramics 球状対合試料の滑走痕が、porcelain 平板粗面と LDG ceramics 平板粗面上に観察できたが (Figs. 8e, f), ジルコニア平板粗面上には認められなかった。また、金合金球状対合試料の滑走痕は、すべてのセラミックス平板粗面において観察されなかった (Figs. 8a-c)。

滑走部の拡大像では、金合金球状対合試料は摩耗面辺縁に金属が伸展した像を認めた (Fig. 9)。またセラミックス平板粗面に対しては、滑走方向に線条痕が観察されたが (Figs. 9a-c), セラミックス平板研磨面に対しては認められなかった (Figs. 9d-f)。HP ceramics 球状対合試料は、摩耗面辺縁部が不明瞭であり、摩耗面は粗造であった (Fig. 10)。

考 察

近年、臨床においてセラミック材料を臼歯部に使用する機会が増加している。高い耐摩耗性を有するセラミック材料を臼歯部に使用した際に、対合歯の摩耗が容易に進行すると考えられ、検討されてきた。これらの報告では、規格化されたケイ酸マグネシウムやヒトエナメル質が対合試料として用いられてきた^{5,6,10,12-17)}。しかし、ロストワックス法にて、金合金や HP ceramics を用い、規格化した対合試料を製作することは可能である⁵⁾。そこで本研究では、これらの材料で規格化された対合試料を作製し、検討を行った。

平板試料の表面性状については、臨床条件を想定し、粗面および研磨面とした。すなわち、粗面はチェアサイドにおけるダイヤモンドポイントを用いた咬合調整後の表面性状を、研磨面はチェアサイドにおける研磨後の表面性状を想定した。また、摩耗試験は咬頭滑走運動を想定し⁹⁾、PMMA 粉末とグリセロールのスラリーを介在させた⁵⁾。

摩耗試験に先立ち、今回使用した材料のビッカース硬さと各種セラミックス平板試料の表面粗さの測定を行った。ジルコニアは、ビッカース硬さにおいて有意に高い値を示したが、表面粗さにおいては粗面、研磨面共に有意に低い値を示した。これは、ジルコニアの機械的強度が非常に高いため、ダイヤモンドポイントでは研削されにくかったためと考えられた。また、研削後の porcelain が最も粗い面を呈したのは、焼成中に発生した微細な空隙の存在や複数成分から構成されていることなどのためと考えられた^{6,10)}。

摩耗試験において、球状対合試料の摩耗量とセラミックス平板試料の表面粗さの間に高い正の相関が認められ、表面粗さが対合歯の摩耗に影響を及ぼしていることが示唆された。しかし、ジルコニア平板粗面において HP ceramics 球状対合試料の摩耗量は有意に高い値を示したが、表面粗さの値は小さかった。その理由としては、ジルコニアのビッカース硬さは 1,443.5 と使用した材料の中において有意に高い値を示し、HP ceramics のビッカース硬さとの差が大きいことが挙げられる。さらに SEM 観察において、ジルコニア平板粗面には HP ceramics 球状対合試料が滑走した跡は確認できなかった (Fig. 8d)。HP ceramics 球状対合試料は、金合金球状対合試料と異なりグレーズ処理が行われており、ジルコニア平板粗面によって約 35~40 μm の厚みのグレーズ層^{10,14-16)}が摩耗したことも影響していると考えられる。

一方、porcelain, LDG ceramics および HP ceramics のビッカース硬さの差は比較的小さかったため、porcelain 平板粗面と LDG ceramics 平板粗面では、HP ceramics 球状対合試料による滑走痕が生じたものと考えられた (Figs. 8e, f)。

HP ceramics 球状対合試料の摩耗量と各種セラミックス平板粗面の表面粗さの回帰係数は、LDG ceramics 平板粗面で最も小さい値を示した。一方、金合金球状対合試料の摩耗量と porcelain 平板粗面の表面粗さの回帰係数は 150 と最も高い値を示した。これらの結果は、摩耗現象が表面粗さと硬さだけではなく、構造密度や結晶構造など多くの要因が関与しているためと考えられた。また、HP ceramics 球状対合試料のグレーズ層は、滑走摩耗試験の初期段階に損耗されることが示唆された。したがって、セラミック材料の補綴装置への臨床応用に際しては、咬合

調整後に適切なシステムを用いて研磨を行うとともに、口腔内に装着した後も、表面性状の変化による摩耗に留意することが重要であることが示唆された。

結 論

セラミック材料の表面性状が対合材料の摩耗に及ぼす影響について検討した結果、以下の結論を得た。

1. 金合金球状対合試料の摩耗量は、粗面および研磨面共に porcelain 平板がジルコニア平板，LDG ceramics 平板と比較して有意に高い値を示した。
2. HP ceramics 球状対合試料の摩耗量は、粗面ではジルコニア平板が有意に高い値を示したが、研磨面では porcelain 平板が有意に高い値を示した。
3. すべてのセラミックス平板試料の表面粗さと球状対合試料の摩耗量との間に高い正の相関を認めた。
4. 金合金球状対合試料滑走時には、セラミックス平板試料表面に変化は観察されなかったが、HP ceramics 球状対合試料滑走時において、porcelain 平板とLDG ceramics 平板の表面に滑走痕を認めた。
5. 金合金球状対合試料では、摩耗面辺縁に金属が伸展した像を認め、HP ceramics 球状対合試料では、摩耗面辺縁部が不明瞭であり、摩耗面は粗造であった。

文 献

- 1) Denry I, Kelly JR (2008) State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater* 24, 299-307.
- 2) Raigrodski AJ, Chiche GJ, Potiket N, Hochstedler JL, Mohamed SE, Billiot S, Mercante DE (2006) The efficacy of posterior three-unit zirconium-oxide-based ceramic fixed partial dental prostheses: a prospective clinical pilot study. *J Prosthet Dent* 96, 237-244.
- 3) Marchack BW, Sato S, Marchack CB, White SN (2011) Complete and partial contour zirconia designs for crowns and fixed dental prostheses: a clinical report. *J Prosthet Dent* 106, 145-152.
- 4) Beuer F, Stimmelmayer M, Gueth JF, Edelhoff D, Naumann M (2012) In vitro performance of full-contour zirconia single crowns. *Dent Mater* 28, 449-456.
- 5) Albashaireh ZS, Ghazal M, Kern M (2010) Two-body wear of different ceramic materials opposed to zirconia ceramic. *J Prosthet Dent* 104, 105-113.
- 6) Janyavula S, Lawson N, Cakir D, Beck P, Ramp LC, Burgess JO (2013) The wear of polished and glazed zirconia against enamel. *J Prosthet Dent* 109, 22-29.
- 7) Sabrah AH, Cook NB, Luangruangrong P, Hara AT, Bottino MC (2013) Full-contour Y-TZP ceramic surface roughness effect on synthetic hydroxyapatite wear. *Dent Mater* 29, 666-673.

- 8) Stober T, Bermejo JL, Rammelsberg P, Schmitter M (2014) Enamel wear caused by monolithic zirconia crowns after 6 months of clinical use. *J Oral Rehabil* 41, 314-322.
- 9) Oh WS, DeLong R, Anusavice KJ (2002) Factors affecting enamel and ceramic wear: a literature review. *J Prosthet Dent* 87, 451-459.
- 10) Preis V, Behr M, Handel G, Schneider-Feyrer S, Hahnel S, Rosentritt M (2012) Wear performance of dental ceramics after grinding and polishing treatments. *J Mech Behav Biomed Mater* 10, 13-22.
- 11) Luangruangrong P, Cook NB, Sabrah AH, Hara AT, Bottino MC (2013) Influence of full-contour zirconia surface roughness on wear of glass-ceramics. *J Prosthodont* 23, 198-205.
- 12) Kim MJ, Oh SH, Kim JH, Ju SW, Seo DG, Jun SH, Ahn JS, Ryu JJ (2012) Wear evaluation of the human enamel opposing different Y-TZP dental ceramics and other porcelains. *J Dent* 40, 979-988.
- 13) Mitov G, Heintze SD, Walz S, Woll K, Muecklich F, Pospiech P (2012) Wear behavior of dental Y-TZP ceramic against natural enamel after different finishing procedures. *Dent Mater* 28, 909-918.
- 14) Stawarczyk B, Ozcan M, Schmutz F, Trottmann A, Roos M, Hammerle CH (2013) Two-body wear of monolithic, veneered and glazed zirconia and their corresponding enamel antagonists. *Acta Odontol Scand* 71, 102-112.

- 15) Preis V, Weiser F, Handel G, Rosentritt M (2013) Wear performance of monolithic dental ceramics with different surface treatments. *Quintessence Int* 44, 393-405.
- 16) Kontos L, Schille C, Schweizer E, Geis-Gerstorfer J (2013) Influence of surface treatment on the wear of solid zirconia. *Acta Odontol Scand* 71, 482-487.
- 17) Rosentritt M, Preis V, Behr M, Hahnel S, Handel G, Kolbeck C (2012) Two-body wear of dental porcelain and substructure oxide ceramics. *Clin Oral Investig* 16, 935-943.
- 18) Ogino T, Koizumi H, Furuchi M, Murakami M, Matsumura H, Tanoue N (2007) Effect of a metal priming agent on wear resistance of gold alloy-indirect composite joint. *Dent Mater J* 26, 201-208.
- 19) Hirata M, Koizumi H, Tanoue N, Ogino T, Murakami M, Matsumura H (2011) Influence of laboratory light sources on the wear characteristics of indirect composites. *Dent Mater J* 30, 127-135.
- 20) Harding AB, Norling BK, Teixeira EC (2012) The effect of surface treatment of the interfacial surface on fatigue-related microtensile bond strength of milled zirconia to veneering porcelain. *J Prosthodont* 21, 346-352.

表および図

Table 1 Materials assessed

Material / Trade name	Manufacturer	Lot number	Composition (mass%)
<u>Plate specimen</u>			
Zirconia (ZrO ₂) / Katana KT10	Kuraray Noritake Dental Inc.	Z309849B	94.4 ZrO ₂ , 5.4 Y ₂ O ₃
Porcelain / EX-3 nA1B	Kuraray Noritake Dental Inc.	27687	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O, Na ₂ O, Ba ₂ O, CaO
LDG ceramics / e.max CAD MO1/C14	Ivoclar Vivadent AG	N16387	SiO ₂ , Li ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , ZrO ₂ , ZnO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO
<u>Rounded rod specimen</u>			
Gold alloy / Casting Gold M.C. Type IV	GC Corp.	702151	70 Au, 8 Ag, 16 Cu, 2 Pt, 3 Pd
HP ceramics / e.max ZirPress LT A3	Ivoclar Vivadent AG	N38404	SiO ₂ , Na ₂ O, K ₂ O, MgO, Al ₂ O ₃ , CaO, ZrO ₂ , P ₂ O ₅ , F*

Porcelain, Feldspathic porcelain for porcelain-fused-to-metal technique; LDG ceramics, Lithium disilicate glass ceramics; HP ceramics, Heat-pressed ceramics; *Harding AB *et al.*²⁰⁾

Table 2 Vickers hardness of specimens

	Vickers hardness number			Statistical category
	Mean (SD)	Median	IQR	
Zirconia	1447.5 (25.1)	1443.5	49.0	a
LDG ceramics	609.0 (9.7)	607.5	13.0	b
HP ceramics	554.8 (13.8)	553.0	25.0	c
Porcelain	519.8 (8.3)	519.5	15.0	d
Gold alloy	219.0 (11.0)	220.0	18.0	e

$n=6$; SD: Standard deviation; IQR: Interquartile range; Statistical category: Different letters indicate that the values are significantly different ($p<0.05$).

Table 3 Surface roughness of specimens

	Surface roughness (Ra) (μm)			Statistical category
	Mean (SD)	Median	IQR	
<u>Ground surface</u>				
Porcelain	2.09 (0.08)	2.10	0.15	f
LDG ceramics	2.08 (0.30)	2.03	0.42	f
Zirconia	1.62 (0.15)	1.66	0.27	g
<u>Polished surface</u>				
Porcelain	0.65 (0.10)	0.64	0.21	h
Zirconia	0.27 (0.02)	0.27	0.04	i
LDG ceramics	0.24 (0.02)	0.24	0.03	i

$n=7$; SD: Standard deviation; IQR: Interquartile range; Statistical category: Identical letters indicate that the values are not significantly different ($p>0.05$).

Table 4 Height loss of gold alloy rod

	Height loss (μm)			Statistical category
	Mean (SD)	Median	IQR	
<u>Ground surface</u>				
Porcelain	90.0 (21.1)	98.6	28.1	j
LDG ceramics	54.0 (17.9)	50.9	30.2	k
Zirconia	40.0 (8.0)	38.3	13.0	k
<u>Polished surface</u>				
Porcelain	3.57 (0.6)	3.43	1.18	l
Zirconia	1.50 (0.2)	1.53	0.42	m
LDG ceramics	1.45 (0.3)	1.41	0.28	m

$n=7$; SD, Standard deviation; IQR, Interquartile range; Statistical category, Identical letters indicate that the values are not significantly different ($p>0.05$).

Table 5 Height loss of HP ceramics rod

	Height loss (μm)			Statistical category
	Mean (SD)	Median	IQR	
<u>Ground surface</u>				
Zirconia	49.8 (11.7)	51.1	20.3	n
Porcelain	27.9 (4.0)	28.1	7.1	o
LDG ceramics	21.7 (4.0)	21.4	4.9	p
<u>Polished surface</u>				
Porcelain	9.6 (1.4)	9.6	1.9	q
Zirconia	6.4 (1.3)	6.6	2.1	r
LDG ceramics	6.0 (1.5)	6.0	2.2	r

$n=7$; SD, Standard deviation; IQR, Interquartile range; Statistical category, Identical letters indicate that the values are not significantly different ($p>0.05$).

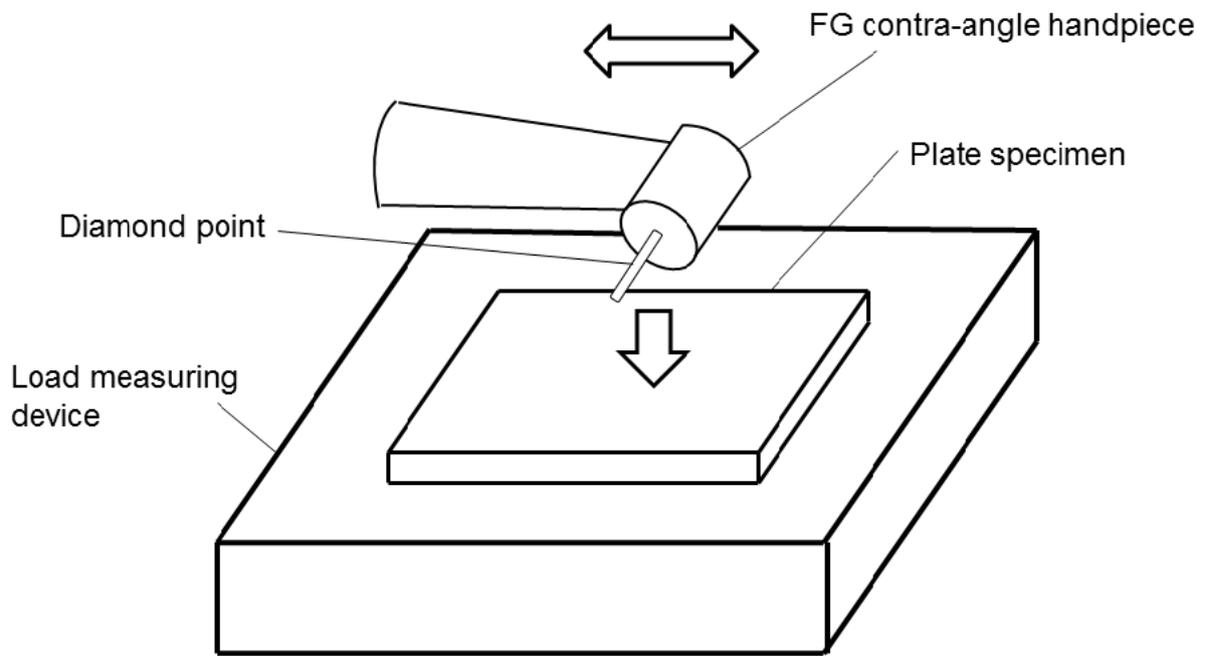


Figure 1 Preparation of plate specimen.

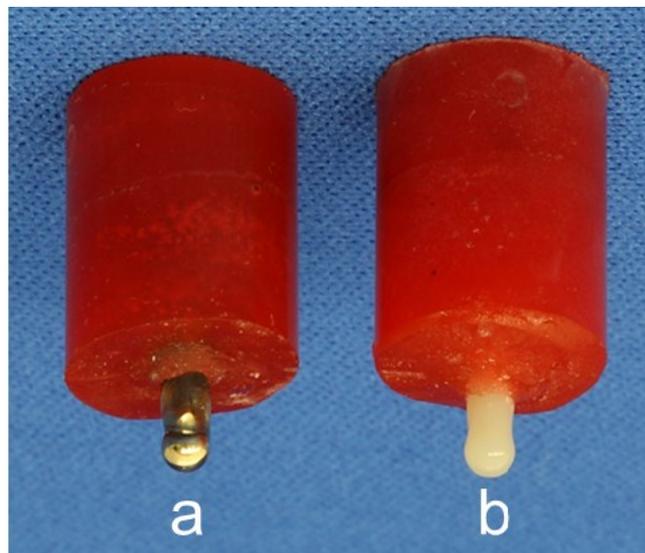


Figure 2 Rounded rod specimens; (a) gold alloy rod and (b) HP ceramics rod.

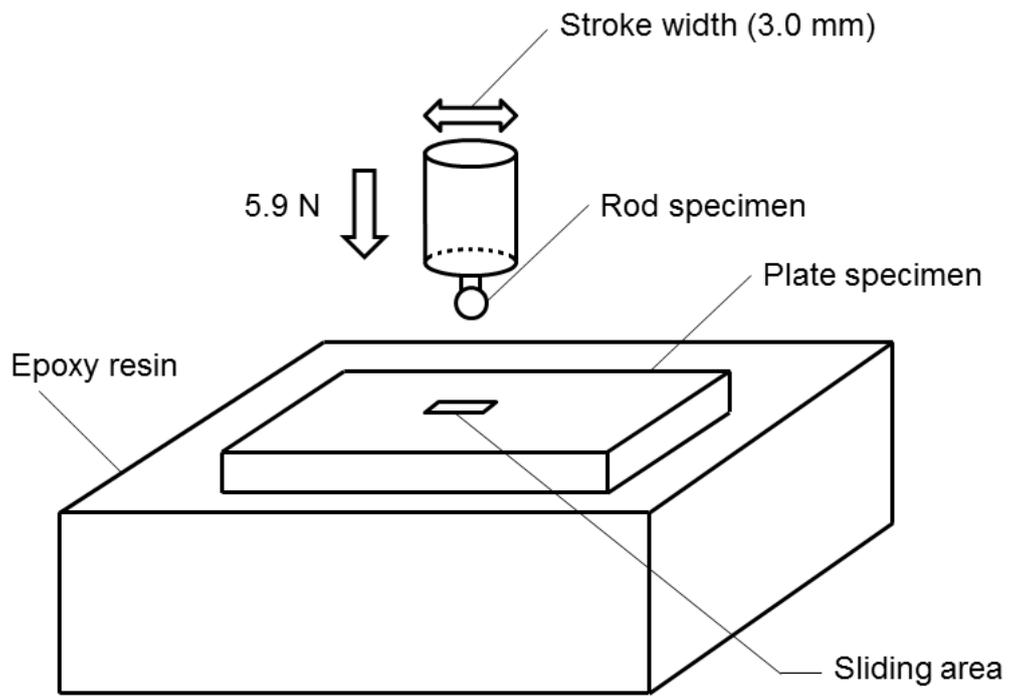


Figure 3 Assembly used for wear testing.

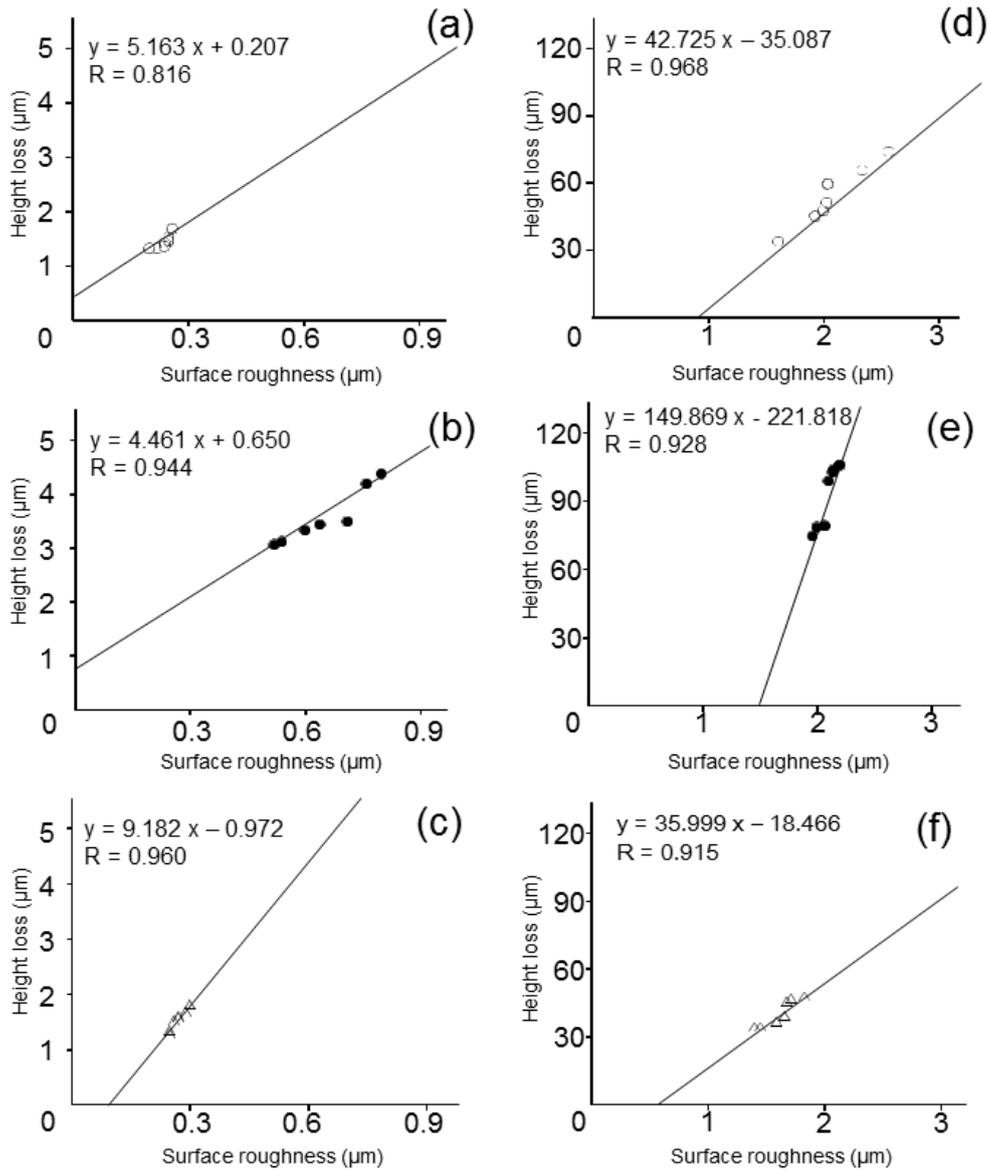


Figure 4 Correlation between height loss of gold alloy rod and surface roughness of; (a) polished LDG ceramics, (b) polished porcelain, (c) polished zirconia, (d) ground LDG ceramics, (e) ground porcelain, and (f) ground zirconia.

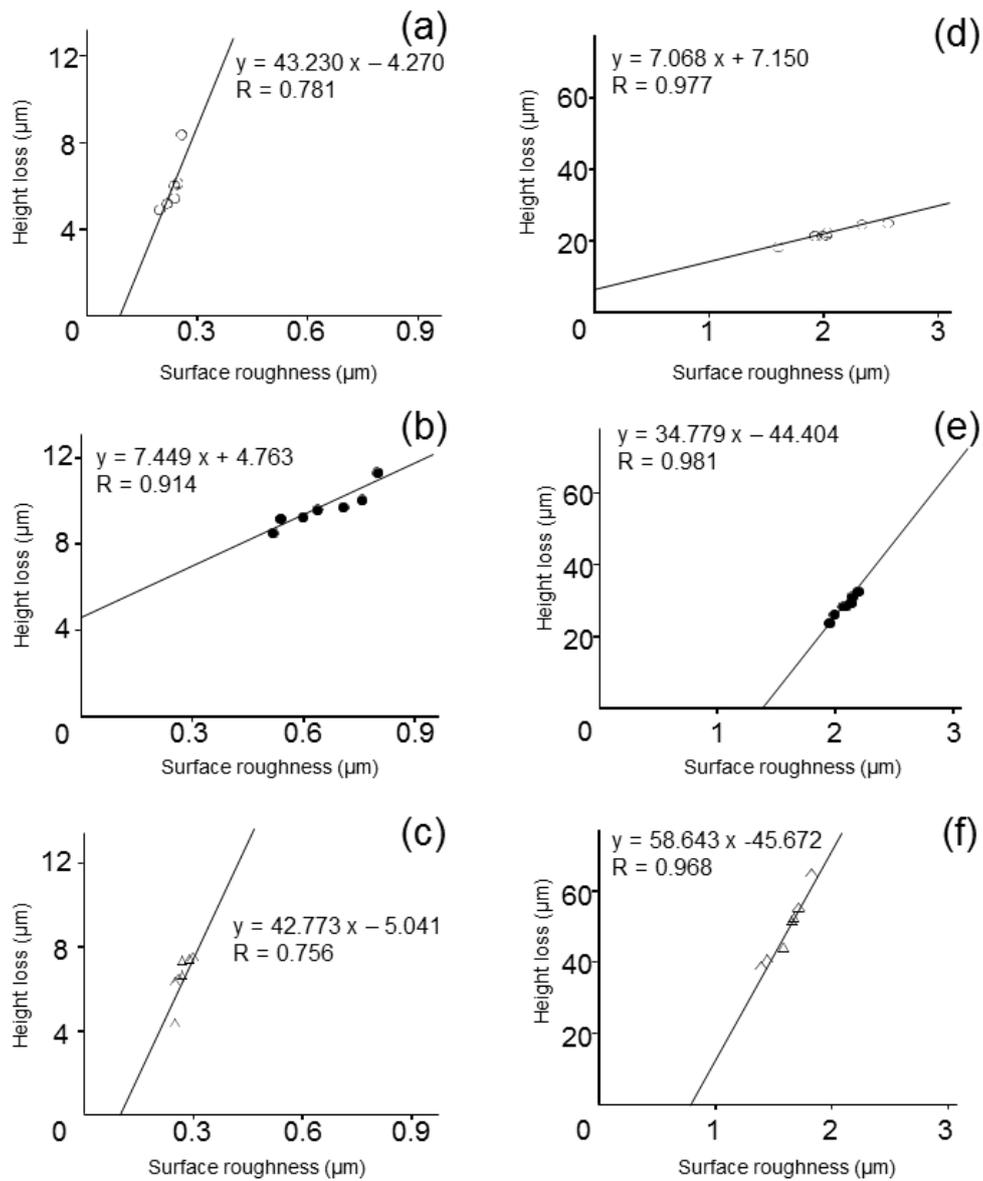


Figure 5 Correlation between height loss of HP ceramics rod and surface roughness of; (a) polished LDG ceramics, (b) polished porcelain, (c) polished zirconia, (d) ground LDG ceramics, (e) ground porcelain, and (f) ground zirconia.

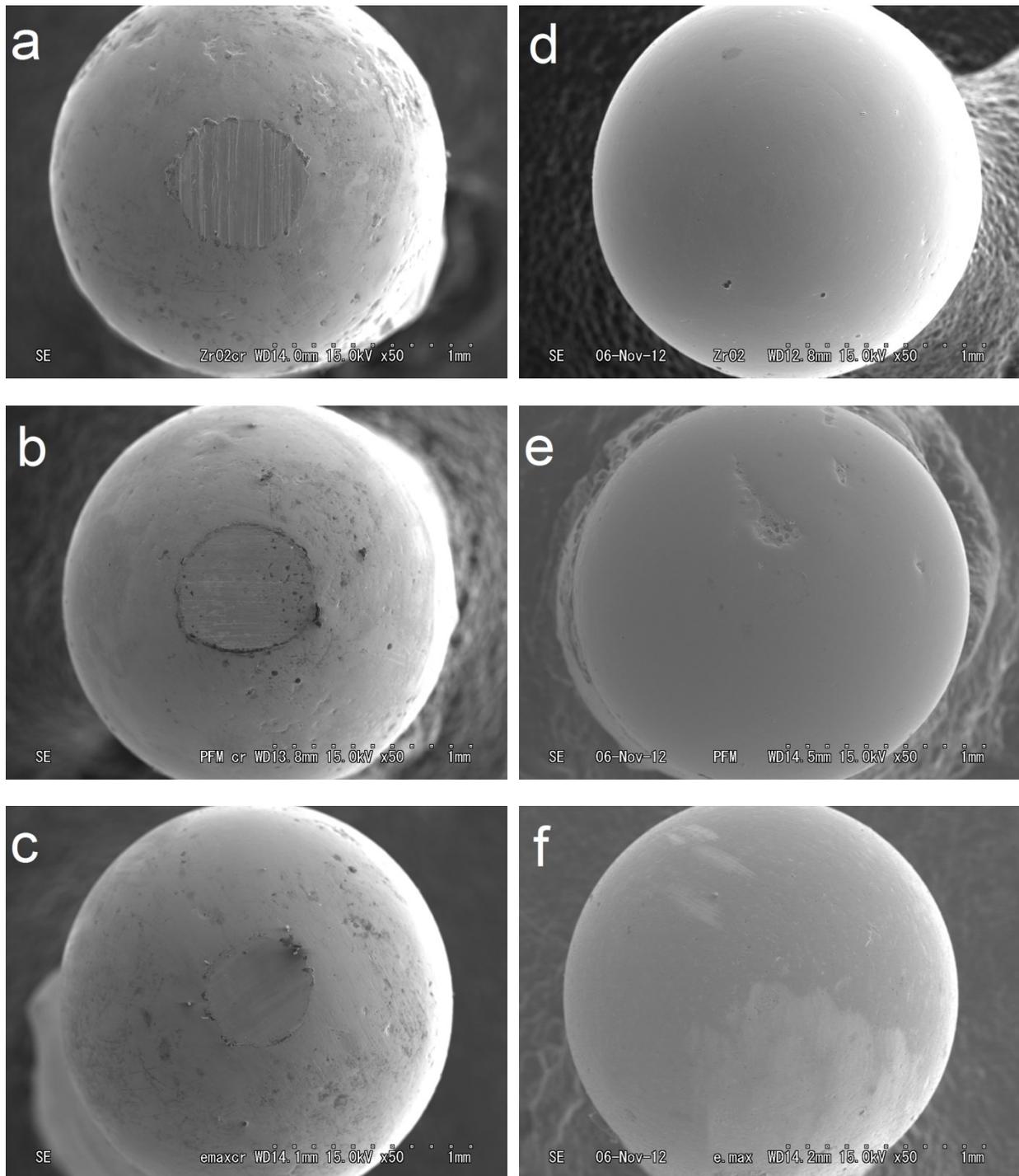


Figure 6 Worn surfaces of the gold alloy rod abraded with; (a) ground zirconia, (b) ground porcelain, (c) ground LDG ceramics, (d) polished zirconia, (e) polished porcelain, and (f) polished LDG ceramics (Original magnification, $\times 50$).

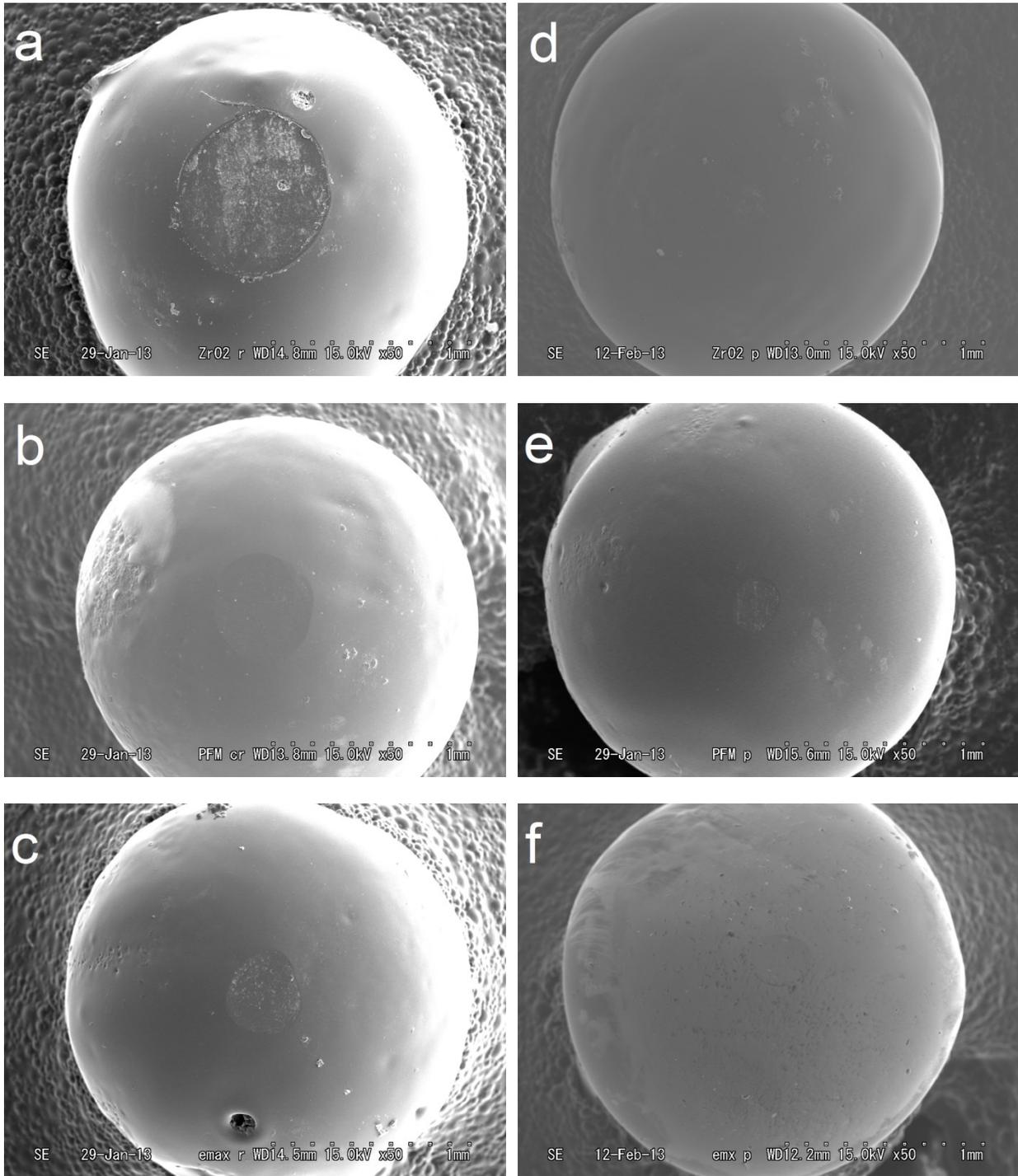


Figure 7 Worn surfaces of the HP ceramics rod abraded with; (a) ground zirconia, (b) ground porcelain, (c) ground LDG ceramics, (d) polished zirconia, (e) polished porcelain, and (f) polished LDG ceramics (Original magnification, $\times 50$).

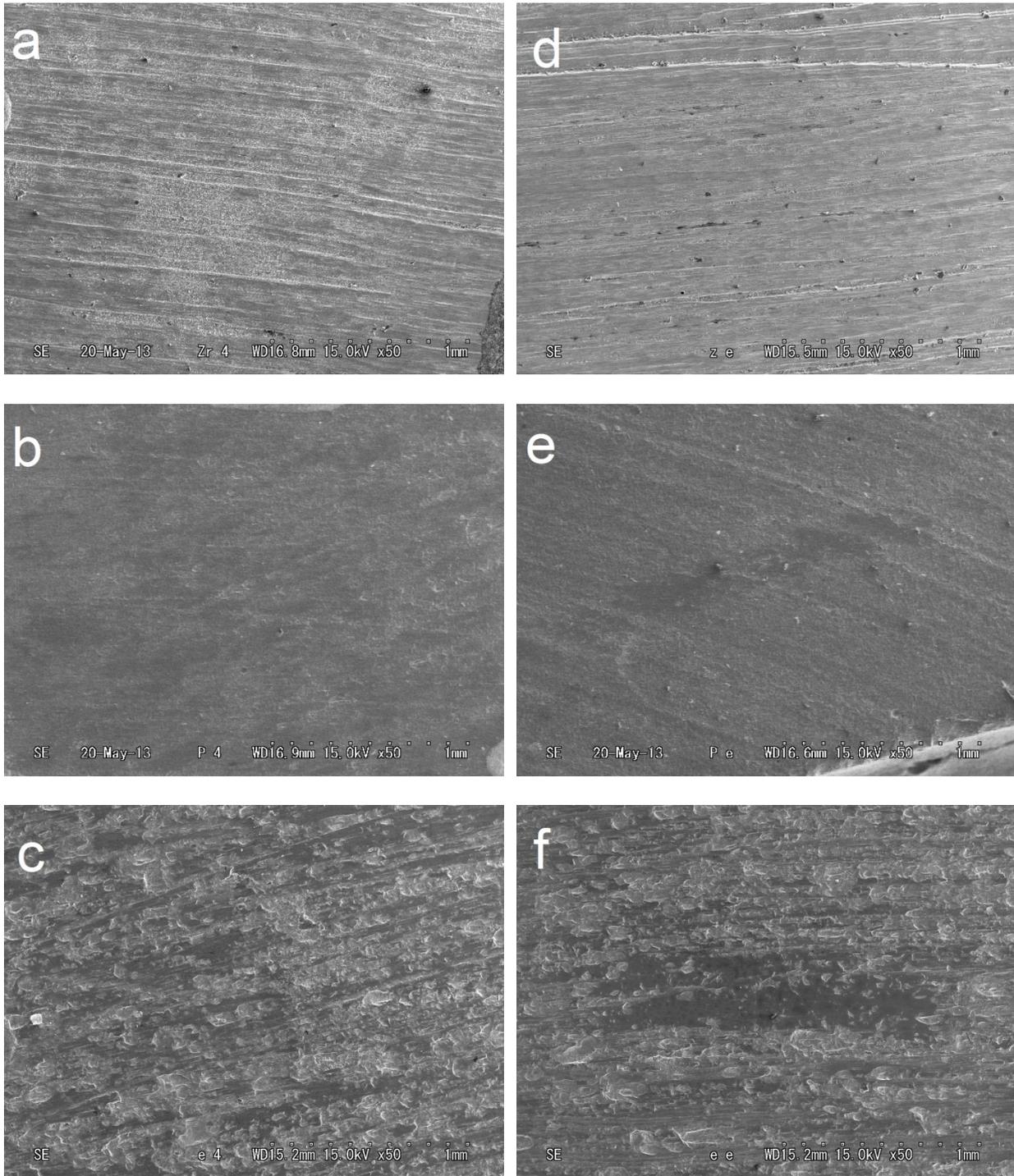


Figure 8 Ground plates after abrasion with gold alloy rod; (a) zirconia, (b) porcelain, and (c) LDG ceramics. Ground plates after abrasion with HP ceramics rod; (d) zirconia, (e) porcelain, and (f) LDG ceramics (Original magnification, $\times 50$).

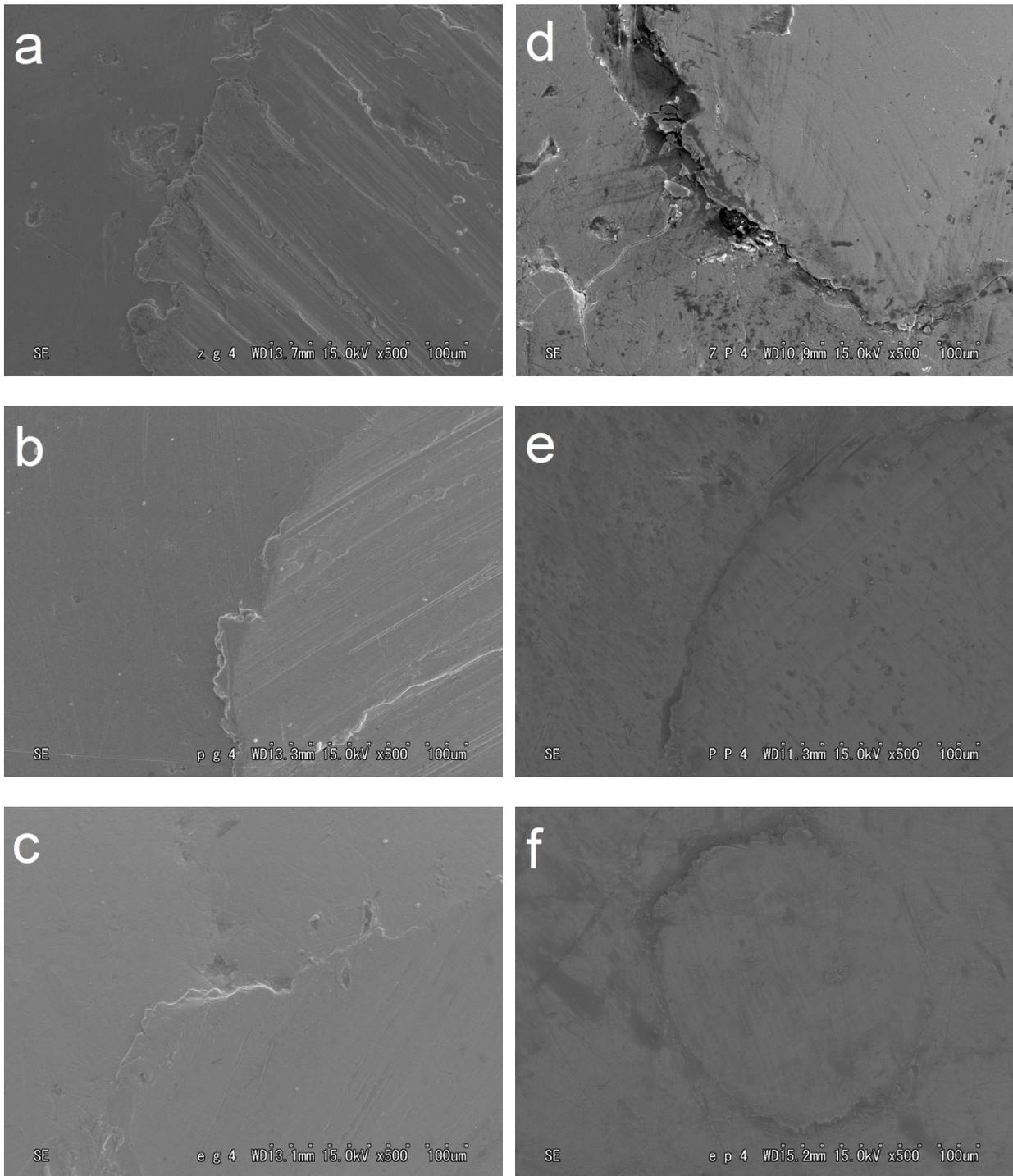


Figure 9 Worn surfaces of the gold alloy rod abraded with; (a) ground zirconia, (b) ground porcelain, (c) ground LDG ceramics, (d) polished zirconia, (e) polished porcelain, and (f) polished LDG ceramics (Original magnification, $\times 500$).

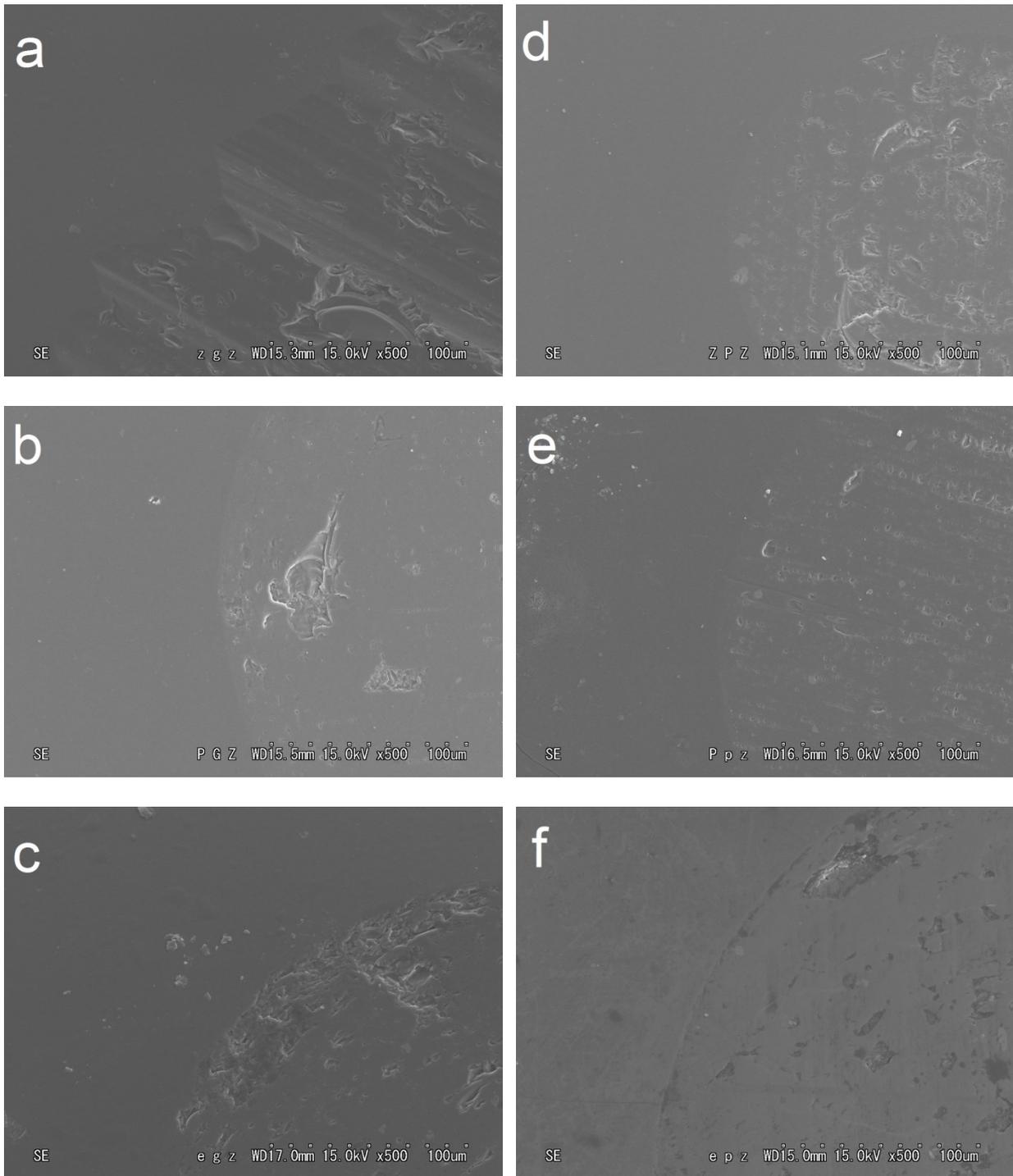


Figure 10 Worn surfaces of the HP ceramics rod abraded with; (a) ground zirconia, (b) ground porcelain, (c) ground LDG ceramics, (d) polished zirconia, (e) polished porcelain, and (f) polished LDG ceramics (Original magnification, $\times 500$).