歯冠修復用合金のブラッシング磨耗に関する研究

高桑 雅宣 渡辺 文彦 梁瀬 洋治
鈴木 宏昭 岩下 博美 畑 好昭

Wear of Dental Casting Alloys by brushing

Masanobu Takakuwa, Fumihiko Watanabe, Yohji Yanase,
Hiroaki Suzuki, Hiromi Iwashita and Yoshiaki Hata

I. 緒 言

口腔内に装着した鑄造修復物マージン部の適合は経時的に変化するものであるなら、適正な修復物とはいえない。しかし、臨床で適合が経時的に変化していくことに著者らは気づき、この変化が口腔内の機械的刺激、特に歯ブラシ、歯磨剤、食物などによる磨耗が大きく関与していると考え、基礎的実験を行った結果、ブラッシングにより、合金の辺縁のめくれと磨耗をくり返しながら不適合になってゆくことを明らかにした¹⁾。しかし、この合金辺縁の磨耗、磨滅によっておこる適合状態の変化が、ブラッシング回数、ブラッシング圧、歯磨剤の種類によりどのように変化するのかは、いまだ明らかではない。加えて、磨滅をおこしやすい合金とおこしにくい合金はどんな種類のものであるかも不明な点をのこしたままである。

そこで、適正な修復物マージンの適合を維持するのに非常に重要であると考えられる合金の磨耗について、特にブラッシング磨耗の観点から研究を行った。

II. 実験 1. 金銀パラジウム合金の磨耗試験

1. 試料の製作

試料製作に使用した材料・器具を表1に示した。図1のようにパラフィン・ワックスを15×15×1.4 mmの大きさに切り、これをクリストバライト埋没材にて、混水

日本歯科大学新潟歯学部補綴学教室第二講座(指導: 畑 好昭)
Department of Prosthodontics, Nippon Dental University, Niigata (Director: Prof. Yoshiaki Hata)

昭和58年2月28日受付

表 1 鑄造体製作に使用した材料と器具

ワックスパターン	
ワ ッ ク ス ス プ ル ー 線	G-C社製パラフィン・ワックス G-C社製レディ・キャスティング ・ワックス $\phi 2.0\text{mm}$
埋 没	
埋 没 材 ア ス ベ ス ト ・ リ ボ ン 真 空 練 和 機	G-C社製クリストバライト埋没材 G-C社製アスベスト・リボン 厚さ 0.8mm Whip-Mix 社製バキュー・U・ミックス
鑄 造	
フ ェ ー ネ ス 鑄 造 器	G-C社製オート・ファーネス Jelenko社製サーモローラーオート マチックモデル D-2
合 金	
金銀パラジウム合金	G-C Cast Well 12%金含有

図 1 クルーシブル・フォームに植立されたワックス・パターン

図 2 試料のブラッシング表面の模式図

図 3 金銀パラジウム合金全試料のビッカース硬度

比 (W/P) 0.33, 厚さ 0.8 mm の湿アスベスト法で埋没した。モールドは、室温から 650°C まで 80 分で上昇させ、10 分間係留ののち、Cast Well を用いて Jelenko 社製 Thermotrol にてメーカー公示の溶融温度で鋳造した。鋳造後 15 分間室温に放置したのち、鋳造体を取りだし、パラクリンにて 3 分間超音波洗浄したものをエメリペーパー No. 600~1,000 の順に鋳造体表面を予備研磨し、0.05 μm の酸化アルミナで表面粗さ 1 μm の滑沢面に仕上げた。

2. 表面粗さ、重量および硬度の測定

合金のブラッシング前後における試料表面の同一部位の粗さを測定できるようにするため、No. 1/2 ラウンドパーにて試料に 2 カ所の指標点をもうけた (図 2)。この指標点間を結んだ線上の表面粗さを小坂製作所製表面粗さ計 SE-3A 型万能表面形状測定機にて中心線表面粗さ R_a を縦 1,000 倍、横 10 倍にて測定した。なお、表面粗さ計の測定指針先端は、表面形状を精度よく測定するため、本来の角度 90° のものを改良して角度 60° にしたも

表 2 金銀パラジウム合金の磨耗試験の実験条件

水 準	1	2	3
因 子			
A : 歯 磨 剤	水	グリーン サンスター	ザクト ライオン
B : ブラッシング回数	20,000回	40,000回	60,000回
C : ブラッシング荷重	200g	400g	600g

表 3 L₂₇ 直交割付表

試料 No.	因子 列 番	A			A			A			B			B		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	e	e	e	e	e	e
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
5	5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	1	1
6	6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	2	2
7	7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	2	2
8	8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	3	3
9	9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1
10	10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
11	11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
12	12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1
13	13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	3	1
14	14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	1	2
15	15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	2	3
16	16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	2	3
17	17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	3	1
18	18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	1	2
19	19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3
20	20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1
21	21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
22	22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	3	2
23	23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	1	3
24	24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	2	1
25	25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	2	1
26	26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	3	2
27	27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	1	3

のを使用した。各試料の重量測定には島津製作所製精密天秤 L-SM を用いた。測定限界は 1/1,000 g である。

耐磨耗性には硬さが大きく影響するのではないかと考えられることから、ビッカース硬度計にて試料の硬さを調べ、全試料に鋳造時のビッカース硬さのパラツキが少ないことを確認した (図 3)。

図 4 往復ブラッシング装置

3. ブラッシング実験条件

実験条件は、日常臨床、磨耗に大きく影響を及ぼすと考えられる歯磨剤の種類、ブラッシング回数、ブラッシング荷重をとりあげ、表2に示すように3因子3水準とした。因子Aは歯磨剤の種類で A₁:水、A₂:グリーンサンスタ、A₃:ザクトライオンとした。これは歯磨剤中に含有される研磨剤の違いによるもので、グリーンサンスタが 10 μm の粒子の重炭酸カルシウム、ザクトライオンが 30 μm の粒子のリン酸水素カルシウムで、いずれも水に難溶性である。因子Bはブラッシング回数で B₁:2万回、B₂:4万回、B₃:6万回である。因子Cはブラッシング荷重で、松沢らの研究²⁾より平均的荷重が450gであることから C₁:200g、C₂:400g、C₃:600g とした。これらの因子を L₂₇ 直交表(表3)に割りつけた。試料は試料台に指標点とブラッシング方向が直角となるように松風社製トレー・レジンで固定した。歯磨剤は50ccの水とともに、当教室で考案、製作した往復ブラッシング装置³⁾(図4)の試料台の中に25gを入れ、前述の実験条件に従ってブラッシング試験を行い、5,000回ごとに歯ブラシとともに交換した。なお、使用ハブラシは、オーラル B 35 ミディアムである。

4. ブラッシング後の表面粗さ、重量の測定

ブラッシング後における各試料の表面粗さ、重量の測定を、II-2 で述べた計測と同一条件にて行った。

5. 結 果

表4は磨耗量のデータ、表5はその分散分析表である。その結果、因子 A (歯磨剤の種類) は 99% 有意となった。3種類の歯磨剤のうち最大の磨耗量を示したのはザクトライオンで、グリーンサンスタの約3~7倍であった。一方、水は3種類中で最も少ない値を示し

表 4 金銀パラジウム合金の磨耗量のデータ

実験条件	試料No.	DATA(g)	実験条件	試料No.	DATA(g)
A ₁ B ₁ C ₁	1	0.00035	A ₂ B ₂ C ₃	5	0.02250
A ₁ B ₁ C ₂	19	0.00010	A ₂ B ₃ C ₁	18	0.00425
A ₁ B ₁ C ₃	27	0.00005	A ₂ B ₃ C ₂	6	0.00600
A ₁ B ₂ C ₁	11	0.00025	A ₂ B ₃ C ₃	12	0.01455
A ₁ B ₂ C ₂	20	0.00010	A ₃ B ₁ C ₁	8	0.01905
A ₁ B ₂ C ₃	3	0.00070	A ₃ B ₁ C ₂	24	0.02570
A ₁ B ₃ C ₁	15	0.00020	A ₃ B ₁ C ₃	21	0.05265
A ₁ B ₃ C ₂	2	0.00075	A ₃ B ₂ C ₁	22	0.02700
A ₁ B ₃ C ₃	17	0.00100	A ₃ B ₂ C ₂	26	0.05790
A ₂ B ₁ C ₁	13	0.00135	A ₃ B ₂ C ₃	10	0.08960
A ₂ B ₁ C ₂	7	0.00215	A ₃ B ₃ C ₁	23	0.03755
A ₂ B ₁ C ₃	16	0.00125	A ₃ B ₃ C ₂	9	0.07770
A ₂ B ₂ C ₁	14	0.00100	A ₃ B ₃ C ₃	25	0.10125
A ₂ B ₂ C ₂	4	0.00750			

表 5 分散分析表

sv	ss	df	ms	Fo'
A: 歯磨剤	15608×10 ⁻⁶	2	7804×10 ⁻⁶	176.0343**
B: 回数	1181×10 ⁻⁶	2	590×10 ⁻⁶	13.3290**
C: 荷重	2066×10 ⁻⁶	2	1033×10 ⁻⁶	23.3030**
A×B	1376×10 ⁻⁶	4	344×10 ⁻⁶	7.7624**
A×C	2374×10 ⁻⁶	4	593×10 ⁻⁶	13.3876**
B×C	272×10 ⁻⁶	4	68×10 ⁻⁶ P	
e	259×10 ⁻⁶	8	32×10 ⁻⁶	
T	23139×10 ⁻⁶	26		
Pooling e	532×10 ⁻⁶	12	44×10 ⁻⁶	

** 99% 有意

た。因子 B (ブラッシング回数)、因子 C (ブラッシング荷重) においても 99% 有意となり、それぞれ回数の増加に従って磨耗量は増加した。また、A×B、A×C の交互作用効果も 99% 有意となった。表面粗さ波形では、すべての組合せ条件において磨耗量の大きいものほど大きな波形が得られた(1例を図5、6に示す)。

III. 実験 2. 各種合金を用いた磨耗試験

1. 試料の製作

使用合金は、歯冠修復用合金として使用されている合金をとりあげた。金合金として、G-C Casting Gold Type I, II, III および Type IV. 金銀パラジウム合金として G-C Cast Well (12% 金含有)。銀合金として G-C

図 5 金銀パラジウム合金の磨耗試験での実験条件 A_2C_2 (歯磨剤: グリーンサンスター, ブラッシング荷重 400 g) における表面粗さ波形

図 6 金銀パラジウム合金の磨耗試験での実験条件 A_3C_2 (歯磨剤: ザクトライオン, ブラッシング荷重 400 g) における表面粗さ波形

表 6 各種合金を用いた磨耗試験の実験条件

A 合金	B 回数		
	B ₁ 20,000	B ₂ 40,000	B ₃ 60,000
A ₁ G-C ミロブライト	2	2	2
A ₂ G-C Casting Gold Type I	2	2	2
A ₃ G-C Casting Gold Type III	2	2	2
A ₄ G-C Casting Gold Type II	2	2	2
A ₅ セルミン化学工業ニューセルミン	2	2	2
A ₆ G-C Casting Gold Type III (Ht)	2	2	2
A ₇ G-C Casting Gold Type IV	2	2	2
A ₈ G-C Casting Gold Type IV (Ht)	2	2	2
A ₉ G-C Cast Well	2	2	2
A ₁₀ G-C Cast Well (Ht)	2	2	2
A ₁₁ サンキン サンコリウム超軟質	2	2	2
A ₁₂ G-C タイクラウン	2	2	2
A ₁₃ 松風スマロイニッケル ソフト	2	2	2

Total 78

ミクロブライトおよびセルミン化学工業ニューセルミン、Ni-Cr 合金としてサンキン・サンコリウム超軟質、G-C タイクラウンおよび松風スマロイニッケルソフトを用いた。Type III, Type IV および Cast Well についてはそれぞれ熱処理した試料も加え、合計 13 種類とした。金合金、金銀パラジウム合金は実験 I と同一方法にて製作した。

Ni-Cr 合金では埋没材は G-C セラベスト、銀合金については G-C クリストバライト埋没材を用いた。セラベストの混水比は 0.24 で 15 秒間手練ののち 45 秒間真空練和後、埋没した。Ni-Cr 合金の使用鑄造機は松風アルゴンキャスター・デラックスである。

2. 表面粗さ、重量、硬度および比重の測定

表面粗さ、重量、硬度については実験 I と同様に測定した。なお本実験において、異種合金間の磨耗量の差を調べるために浮力法により各合金の比重を測定し、磨耗量を体積に換算して比較することにした⁴⁾。各合金の比重は次式によって求めた。

$$d = m/m - w \quad d: \text{比重}$$

$$m: \text{質量} \quad w: \text{水中における重さ}$$

3. ブラッシング実験条件

実験 1 より、歯磨剤の種類、ブラッシング回数、ブラッシング荷重とも、合金の磨耗に影響があることがわかった。そこで、歯磨剤の種類、ブラッシング荷重を一定にし、臨床で使用される合金の耐磨耗性を調べるため、

表 7 各種合金の磨耗量のデータ

A \ B	B ₁	B ₂	B ₃
A ₁	1208 1108	2267 1900	3877 4143
A ₂	337 381	832 801	1283 990
A ₃	303 242	593 608	1060 1081
A ₄	380 268	797 567	876 933
A ₅	279 226	434 576	848 1306
A ₆	293 333	527 587	907 880
A ₇	271 230	640 441	781 977
A ₈	335 149	436 441	711 897
A ₉	154 192	447 466	823 631
A ₁₀	170 186	493 448	744 644
A ₁₁	1 2	18 5	21 30
A ₁₂	5 2	16 6	21 12
A ₁₃	10 1	12 4	15 14

($\times 10^{-5} \text{ cm}^3$)

図 7 実験条件 A₈ (G-C Casting Gold Type IV) における表面粗さ波形

図 8 実験条件 A₉ (G-C Cast Well) における表面粗さ波形

図 9 金銀パラジウム合金の磨耗試験における歯磨剤とブラッシング回数との関係

表 8 分散分析表

sv	ss	df	ms	Fo
A : 合金	26597688	12	2216474	211.78**
B : 回数	5900395	2	2950197	281.89**
A × B	6515417	24	271476	25.94**
e	408170	39	10466	
T	39421670	77		

** 99% 有意

以下の因子を選択した。すなわち、因子 A：合金の種類、因子 B：ブラッシング回数とする 2 因子 3 水準の実験条件とし (表 6)。実験 1 と同様なブラッシング方法で、2 元配置 2 回くり返しのブラッシング試験を行った。なお、歯磨剤はザクトライオンを使用し、ブラッシング荷重は松沢ら²⁾ の平均荷重 450 g に統一した。

4. ブラッシング後の表面粗さ、重量の測定

実験 1 と同様の方法で測定した。重量の体積への換算は次式による。

$$p = w/d \quad p: \text{体積} \quad w: \text{磨耗重量} \quad d: \text{比重}$$

5. 結 果

表 7 は磨耗量のデータ、表 8 はその分散分析法である。因子 A (合金の種類)、因子 B (ブラッシング回数) とも

図 10 金銀パラジウム合金の磨耗試験における歯磨剤とブラッシング荷重との関係

に 99% の有意を示した。また A×B の交互作用効果も 99% 有意となった。表面粗さの波形では、磨耗量の大きいものほど大きな波形になったが (図 7, 8 に 1 例を示す)。各合金間での波形の形状の違いは認められなかった。

IV. 考 察

口腔内に装着した鑄造修復物のマージン部にみられる経時的変化の原因のひとつにブラッシングによる修復物の磨耗が考えられる。

今回、12% 金銀パラジウム合金を用いて歯磨剤の種類、ブラッシング回数、ブラッシング荷重をそれぞれ変化させたときの磨耗量を調べた結果、歯磨剤を使用した場合、ブラッシング回数、ブラッシング荷重が増加するにつれて磨耗量はほぼ比例的に増大していく傾向にある (図 9, 10)。しかし水においては、回数、荷重が増加しても、磨耗量はきわめて少ない値にとどまった。このことは、ブラッシングにおける磨耗では、歯磨剤中の研磨剤が大きく関与し、その粒子の大きいリン酸水素カルシウムのほうが、粒子の小さい重炭酸カルシウムよりも大きな磨耗量を示したと考えられる。合金の種類を変えた磨耗試験 (実験 2) における磨耗量と硬度の関係は図 11

図 11 各種合金の磨耗量と硬度の関係

図 12 各種合金の磨耗試験での実験条件 A₇B₁ (合金の種類: Type IV, ブラッシング回数: 2 万回) の磨耗面の金属顕微鏡写真 図 14 各種合金の磨耗試験での実験条件 A₁₁B₁ (合金の種類: サンコリウム超軟質, ブラッシング回数: 2 万回) の磨耗面の金属顕微鏡写真 図 13 各種合金の磨耗試験での実験条件 A₇B₃ (合金の種類: Type IV, ブラッシング回数: 6 万回) の磨耗面の金属顕微鏡写真 図 15 各種合金の磨耗試験での実験条件 A₁₁B₃ (合金の種類: サンコリウム超軟質, ブラッシング回数: 6 万回) の磨耗面の金属顕微鏡写真

図 16 各種合金とブラッシング回数との関係

に示したとおりである。合金系でみた場合、金合金、金銀パラジウム合金はビッカース硬度が低いほど磨耗量は大きい傾向を示すが、銀合金では製品間の差が大きすぎたため硬度と磨耗量の相関関係はみいだせず、Ni-Cr 合金に至ってはその硬度に関係なく磨耗量はきわめて少ない値を示した。また磨耗面の金属顕微鏡写真では、金合金、金銀パラジウム合金とも回数の増加によってブラッシング方向に大きく削りとられる像を呈したが（図 12, 13）、Ni-Cr 合金の金属顕微鏡写真では、回数の増加につれて合金の構造の一部がはがれ落ちているような像が得られた（図 14, 15）。

以上のことから、ブラッシングによる磨耗量は硬度のほか各合金の組成に大きく影響されているものと思われる。図 16 は各合金のブラッシング回数の増加に伴う磨耗量をグラフ化したものである。いずれの合金も磨耗量はほぼ直線的に増加しており、ブラッシング回数を 10 万回、20 万回と増加していった場合、各合金特有の磨耗係数ともいうべき値がでてくるのではないと思われる。表 9 は合金間の差の検定、表 10 はブラッシング回数間の差の検定である。金合金のうち Type I、銀合金のうちミロブライト、Ni-Cr 合金 3 種類を除くと磨耗量に有意の差はみられない。このことから、ブラッシング磨耗だけに関しては、Ni-Cr 合金が最も優れ、Type I、ミロブライトの耐磨耗性は劣っているといえる。しかし、臨床では、耐腐蝕性、咬合力に対する影響、マージン部の適合状態などの要件が加味されてくるので、磨耗の観点

表 9 各種合金の磨耗量における合金間の差の検定

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13
A1 : ミロブライト	—	1646**	1768**	1778**	1805**	1829**	1860**	1922**	1965**	1969**	2404**	2407**	2408**
A2 : Type I		—	122	132	159	183	214*	276*	319**	323**	758**	761**	762**
A3 : Type III			—	10	37	61	92	154	197	201	636**	639**	640**
A4 : Type II				—	27	51	82	144	187	191	626**	629**	630**
A5 : ニューセルミン					—	24	55	117	160	164	599**	602**	603**
A6 : Type III (Ht)						—	31	93	136	140	575**	578**	579**
A7 : Type IV							—	62	105	109	544**	547**	548**
A8 : Type IV (Ht)								—	43	47	482**	485**	486**
A9 : Cast Well									—	4	439**	442**	443**
A10 : Cast Well (Ht)										—	435**	438**	439**
A11 : サンコリウム											—	3	4
A12 : タイクラウン												—	1
A13 : スマロイニッケル													—

** 99% 有意
* 95% 有意

表 10 各種合金の磨耗量におけるブラッシング回数間の差の検定

	B ₁	B ₂	B ₃
B ₁ : 20000	—	280**	671**
B ₂ : 40000		—	391**
B ₃ : 60000			—

** 99% 有意

のみから合金の良否を判定することはできない。

V. 結 論

歯冠修復用合金のブラッシング磨耗に関する実験を行った結果、以下の結論を得た。

1. ブラッシングによる磨耗には歯磨剤の影響が大きく関与し、歯磨剤中の研磨剤の粒子が大きいほど磨耗量は増加する。水ではほとんど磨耗はおこらない。

2. ブラッシング荷重の増加により磨耗量は増加する。

3. 歯磨剤と回数、歯磨剤と荷重との間に交互作用効果が認められ、歯磨剤中に含まれる研磨剤の粒子が大きい程、回数の増加および荷重の増加による磨耗量は大きい。

4. ブラッシングによる磨耗は合金の種類によって異なる。金合金、金銀パラジウム合金では硬度の高いものほど磨耗量は少ない。銀合金ではミロブライトが全試料中最大の磨耗量を示した。Ni-Cr 合金は硬度に関係なく

磨耗量はきわめて少なかった。

5. ブラッシング回数の増加により磨耗量は増加する。磨耗量は各合金とも直線的に増加していく。

6. Type III 金合金、Type IV 金合金および 12% 金銀パラジウム合金において熱処理の有無による磨耗量は同一合金間では差がみられなかった。

7. 表面粗さにおいては回数の変化による波形に差が認められ、回数の増加に従って波形は大きくなる。一方、合金間の形状の違いは認められなかった。

8. 金属顕微鏡写真では金合金、金銀パラジウム合金、銀合金は回数の増加とともにブラッシング方向に大きく削りとられる像を示した。Ni-Cr 合金は磨耗面がしだいに粗造になり、ブラッシング方向への磨耗はあまりみられなかった。

文 献

- 1) 渡辺文彦, 高桑雅宣, 岩下博美, 畑 好昭: ブラッシングによるマージンの変化に関する研究, 補綴誌, 24(3): 506~525, 1980.
- 2) 松沢 栄, 中島康則, 黒瀬彦治, 上領哲範: 成人における手用歯ブラシによる歯みがき圧について, 歯科医学, 34: 494~496, 1971.
- 3) 増原英一, 樽見二郎: 歯ブラシ式磨耗試験器の試作とその性能について, 歯材研報, 2(3): 203~211, 1961.
- 4) 玉虫文一, 他: 理化学辞典, 1081, 岩波書店, 東京, 1978.