

原 著

精密鋼球を用いて作製したワックスパターンを用いた鑄造法による 金属型再現性の検討

佐久間篤^{1★}, 河野正司²¹明倫短期大学 歯科技工士学科専攻科生体技工専攻, ²歯科技工士学科

Study of Metal Mold Reproducibility by Casting Method

Atsushi Sakuma¹, Shoji Kohno²¹Course of Biological Engineering, ²Dept. of Dental Technology, Meirin College

融解したワックスに精密鋼球を圧接することにより作製したワックスパターンを用いて、鑄造法による金属型の再現性を検討した。

ワックスパターンは、融解したワックスに精密鋼球を圧接することにより作製した。これにより、圧痕の中心に向かって一定の勾配で厚みが薄くなるワックスパターンを可能とした。鋼球は直径11mm, 8mm, 6mmの3種類を使用することにより、圧痕の勾配に変化をつけた。

鑄造後の鑄込み不足の測定には写真法を用いた。鑄造体試料の写真を撮影し、実物と写真上の長さを測定し、拡大率を求めた。未鑄造部の測定は、その形状は理論上真円形となると考え、最大鑄込み不足部を基準に辺縁と最も多く接触する補助円を画像上に描記し、拡大率とあわせることで未鑄造部の半径の実寸を求めた。これらの測定結果を用いると、辺縁の厚さを求める方程式を導くことができるため、方程式により辺縁の厚さを求めた。また辺縁に発生したバリについても同様に厚さを求めた。

研究の結果、全ての鑄造体試料において鑄込み不足を示しており、その最大鑄込み厚さから良好な金属型の再現に必要なワックスパターンの厚みが求められた。本研究方法により、鑄造による金属型再現性を評価、検討することが可能であることがわかった。

キーワード：鑄造法, 鑄造冠辺縁, 鑄込み不足, 金属型再現性

Keywords: Casting Method, Margin of Cast Crown, Defect in Casting, Metal Mold Reproducibility

I. 緒 言

崩壊した歯冠を修復する補綴装置として、クラウンが用いられている。クラウンの材料学的要件は咀嚼に耐えうる強度や口腔内での化学的安定性、製作法が困難でないことなどが挙げられ、主に金属材、レジン材、陶材が使用されている^{1, 2)}。

現在の臨床では、金属材料を用いて鑄造法により製作した鑄造冠とよばれるクラウンが一般的に普

及している^{1~4)}。金属成形法には鑄造の他に削り出しや圧印などがあるが、鑄造法は、ロスト・ワックス法と呼ばれるように、複雑な形態でもろう形成された形状を金属に置きかえて再現が容易であり、応用範囲が広い。特に帯環冠などの他の成形法によるクラウンでは、クラウン辺縁の適合不良による二次齲蝕や歯周疾患の問題があったが、鑄造冠は寸法精度、辺縁部の適合精度が高く、この問題は改善された^{3)~6)}。

★佐久間篤：明倫短期大学歯科技工士学科20回生 同専攻科生体技工専攻第18回生

原稿受付：2019年4月25日, 受理 2019年6月14日

連絡先：〒957-0334 新潟県新発田市上楠川402 佐久間篤 TEL.090-7831-6713

本論文は2019年3月, 独立行政法人大学改革支援・学位授与機構の学士の学位授与の申請に係る「学修成果・試験の審査」に合格したものに加筆・修正したものである。

一方、鑄造冠の問題点としては、辺縁部の金属の鑄込み不足が挙げられる。鑄造される金属の先端部は、溶解した金属の表面張力によって円形を示すことから、薄い辺縁部の先端まで金属が鑄込まれず不足したり、鋸歯状の金属辺縁が生じる現象がみられる。この鑄込み不足は、ワックスパターンの辺縁部の角度や金属の種類によって大きく影響を受けることが報告されている^{7, 8)}。また鑄造冠の辺縁の位置は、二次齲蝕の防止や審美的な問題、さらには鑄造冠の維持力を求めるためなどから、通常は歯肉縁下に設定されているのだが⁹⁾、これにより術式が困難となり、鑄造冠辺縁の不適合を招きやすくなったため¹⁰⁾、この問題について検討する必要がある。

鑄造冠の適合精度についての研究は1900年代に集中的に行われていたが、近年では使用する歯科材料の進歩があるにも関わらず、チタンの鑄造についての研究^{11, 12)}がいくつかあるだけで、鑄造法の研究はほとんど行われていないのが現状である。また鑄造冠辺縁の鑄造性に関する研究ではワックスパターンと埋没材の2層ブロックにより試片を製作していたが^{7, 12)}、この操作には熟練が必要であり、容易ではない。そのため著者らと島田¹³⁾により簡単に、且つ再現性のあるワックスパターン製法として、精密鋼球とサベイヤーを用いる方法を開発した。

本研究では、著者らが開発した方法により製作したワックスパターンを鑄造し、鑄造体辺縁の鑄込み不足量を辺縁の鑄込み厚みを算出することで鑄造性を評価し、金属型の再現性を検討することを目的とした。

II. 研究方法

本研究で使用する試片は、島田¹³⁾と著者らが共に開発した方法により作製されたワックスパターンを用いた。このワックスパターン製法とは、サベイヤーを用いて既知の直径の精密鋼球をワックスに圧接することにより、その圧痕の中心に向かって一定の勾配で厚みが薄くなるワックスパターン(図1)を作製する方法である。このときワックスは恒温水槽を用いて融解することにより、温度管理を行う。この方法により作製したワックスパターンを鑄造し、圧痕中心の薄い部分の鑄込み不足量をその辺縁の厚みを算出することにより評価し、鑄造性を検討した。



図1 製作するワックスパターン断面図
融解したワックスに直径Rmmの精密鋼球を圧接し凝固させることにより、一定の勾配の圧痕をもつワックスパターンを作製した。

1. ワックスパターンの作製

融解させたインレーワックス(松風, マイティワックスハード, 融点59°C)に鋼球(ツバキ・ナカシマ, SUS440C)を圧接し、ワックスを凝固させることにより、ワックスパターンを作製した¹³⁾。鋼球はφ11mm, φ8mm, φ6mmの3種類を用いた。

1) サベイヤー装置の準備

サベイヤーのバーを用いて鋼球を真上から軟化したインレーワックスの中に加重するための装置(図2)、重りをのせる皿、スピンドルの横回転を規制するためのバー装置をそれぞれ製作した。

ガラス板を模型台に置き、水平器を用いて水平になるように固定した。サベイヤー(Ney Surveyor(デンツブライ))に鋼球付きのバー、重り皿、回転規制バーを装着した(図3)。スピンドルを下したとき、抵抗なくスムーズに下がり、鋼球がガラス練板に到達することを確認した。重りの皿に重り400gをのせた。



図2 鋼球付きバー



図3 サベイヤー装置

2) 恒温水槽の準備

恒温水槽（イポー1（白水貿易））を94℃に設定した。小鍋にインレーワックス（パターン1個分，0.5g）をいれ，小鍋を恒温水槽に浸した。このとき小鍋の2/3くらいまで水の中に入れて，ワックスが融解したら熱電対でワックスの温度を計測し，一定の温度（74℃）に保たれていることを確認後，係留させた。

3) ワックスパターン作製

銅球にワックス分離剤（松風，セップ）を薄く塗布し，エアーで乾かした後，スピンドルに装着した。銅球が枠の中心にくるようにガラス練板が固定された模型台を移動させ，定位した。恒温水槽からメロット鍋を取り出し，素早く枠内にワックスを流しこんだ（図4）。直後にスピンドルをゆっくり下し荷重を加えた。スピンドルを完全に下してから3分間自然放冷させた。放冷後，スピンドルを上げ，銅球とサベイヤーを取り離れた。枠からワックスを取り外し，指を使って，銅球をワックスから真上方向に取り出した。銅球を取り出したら，ワックスパターンをクッキングシートからはがした。



図4 溶解したワックスを流し込み，銅球を圧接する

2. 試料の写真撮影

鑄造前と鑄造後の試料の比較観察を行うため，作製したワックスパターンを写真撮影した（カメラ：Canon, EOS Kiss X4, DS126271, マクロレンズ：SIGMA, MACRO 70mm F2.8 EX DG）。この際，カメラの角度によって写真でのワックスパターンの圧痕の形や位置が変化してしまうため，試料に対して垂直方向から撮影するようカメラを設置した（図5）。試料からカメラのレンズまでの距離は8.1cmとし，鑄造後の試料を同じ条件で撮影できるようにした。また，撮影する際は，シャッターボタンを押したときのブレをなくすため，カメラのタイマー機能を用いて撮影した。

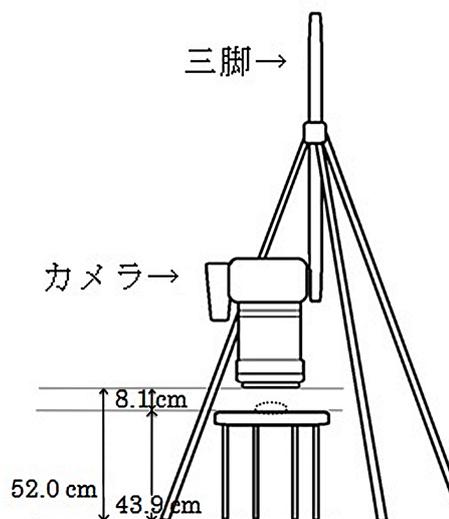


図5 カメラの設置

台座上の点線内に試料を置き，試料に対し，垂直方向から撮影できるように設置した。

3. 埋没，鋳造

鋳造リングNo. 2 (直径34mm) にリングライナー (ジーシー，バイオキャストリングライナー No. 3) を1巻裏装し，リングライナーに少量の水分を含ませた。

ワックスパターンを円錐台に植立した。ワックスパターンに界面活性剤 (ジーシー，シュールミスト) を塗布し，ワックスと埋没材のぬれを良くして，気泡の混入を防止した。

埋没には急速加熱型埋没材 (デンツプライ三金，クリストバライトFES) 60gを使用した。埋没材を標準混水比 (W/P = 0.33) で1分間真空練和した後，リング内に埋没材を注入した。

埋没後30分に，予め720℃で係留させたファーンレス (ヨシダ，リングファーンレスYDF2001) にリングを入れ，30分間加熱焼却した。このとき鋳造に使用するつぼも一緒にファーンレスに入れた。鋳造には遠心鋳造機 (大榮，模型遠心鋳造機) を用い，バネの巻数は2巻とした。鋳込む金属はKメタル (石福金属興業，液相点910℃，固相点880℃) を使用し，金属量は10gとした。加熱したつぼを遠心鋳造機にセットし，金属をつぼに入れ，都市ガスとブローパイプを用いて金属を融解した。金属を十分融解させ，フラックスを付与し金属の酸化膜を取り除いた後，リングを遠心鋳造機にセットし，遠心力により鋳型内に金属を鋳込んだ。鋳造後，リングは自然放冷した。

4. 未鋳造部の測定

全ての鋳造体試料には，圧痕中心部に未鋳造の穴が開いていた (図6)。この穴 (底穴) の辺縁の厚さを求め，これを最大鋳込み厚さとすることで，鋳込み不足の評価を行った。

1) 写真法による測定

未鋳造の大きさを直接測定する装置を所有していなかったため，写真法により測定した。鋳造体を写真撮影し，画像上の長さを実寸の長さを対比させることにより半径を求めた。

マイクロメータ (ミットヨ，MDC-25S) を用いて，鋳造体外形の実寸 D (mm) を測定した (図7，8)。このときマイクロメータで測定した位置を鋳造体上にマークし，このマークが写真撮影した際にも画像上に現れるようにした。



図6 鋳造体の一例 (試料No. 6)
全ての鋳造体の圧痕中心部に未鋳造の穴が開く。



図7 マイクロメータ

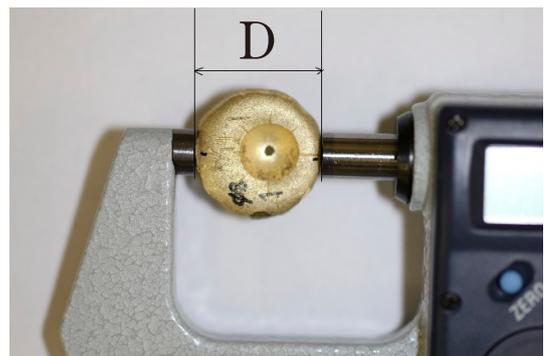


図8 図7の点線内の拡大図
鋳造体外形の長さ D を求め，測定した位置にマークを描記した。

次に，鋳造体試料の写真撮影を行った。機材の設置はワックスパターンの撮影時と同様の方法で行った (図5)。また，マイクロメータで測定の際に鋳造体上にマークした印が写真上でも撮影され

ていることを確認した。撮影した写真をPCに取り込み、画像編集ソフト（GIMP 2.10.4, The GIMP Team）を用いて、画像上の鑄造体外形の長さ D' (mm) を測定した（図9）。マイクロメータで測定した際に鑄造体に印記したマークが画像上にも表れているため、マークが印記されている部分の直線距離を測定し、その長さを画像上の鑄造体の長さとした。なお、測定には画像編集ソフトに付属の計測機能を用いた。



図9 画像上の鑄造体外形の長さの測定

マイクロメータで測定した鑄造体外形の長さ、画像上で測定した鑄造体外形の長さを対比させ、画像が60倍の拡大率であることを求めた。この拡大率と定測した画像上の未鑄造部の底穴の大きさをを用いて、底穴の実寸を求めることとした。

2) 底穴の円形の決定と実寸の算出

底穴の形状は理論上真円形であるため、この円形の径を求めることにより、画像上の底穴の大きさを求めることとした。しかし、鑄造体では底穴の形状は真円ではなく、また、中心点が不明であった。そのため底穴を真円と仮定し、便宜上の中心点を画像上に描記することで、底穴の半径を求めることとした。

画像編集ソフトを用いて鑄造体画像の底穴部分を拡大表示し、底穴の円形となる補助円を画像上に描記した。補助円の大きさや位置は、最も鑄込み不足を示していた部分を基準に、底穴の辺縁と最も多くの点で接触する円形となるように調整した（図10）。このときの円の大きさは画像編集ソフト上に表示されているため、その長さから中心点と半径を求めた。

この画像上の底穴の半径と、すでに求めた画像の拡大率を用いて、底穴の半径の実寸 a (mm) を求めた。計算にはエクセル（Excel 2007, Microsoft Office）を用いた。



図10 図9の底穴部分の拡大図
辺縁と最も多くの点で接触する補助円を描記し、その直径から、中心点と半径を導く。

3) 底穴の辺縁の厚さの算出

以降の計算では、単位は μm を用いた。

図11は鑄造体中心の断面の模式図である。この試料は鋼球を圧接することにより製作したため、鋼球の中心を点 O 、測定する底穴の辺縁と鋼球が接する点をそれぞれ点 P 、点 Q とし、測定する底穴の辺縁の厚さを x とすると、 OP は鋼球の半径 r である。点 O から PQ に対して垂直に線を引いたとき PQ と交わる点を点 H とすると、 OH の長さは $r - x$ である。また、点 H は PQ の中点であるため、 PH の長さは底穴の半径 a である。∠ OHP は直角であるため、△ OHP には三平方の定理が成り立つ。

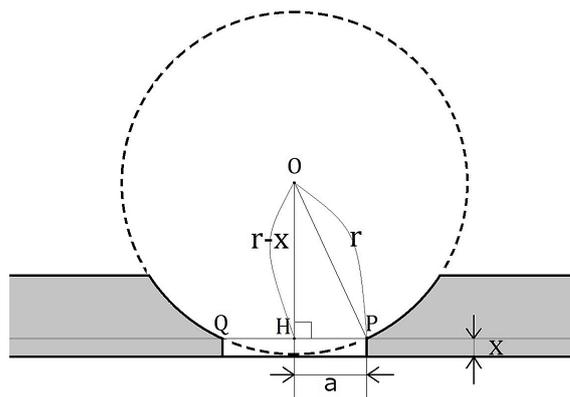


図11 鑄造体中心の断面の模式図

r : 鋼球の半径 (μm)
 a : 底穴の半径 (μm)
 x : 底穴辺縁の厚さ (μm)

△ OHP に三平方の定理が成り立つため、 r と a が判明すれば、 x を求めることができる。

したがって、次式を導くことができる。

$$(r - x)^2 + a^2 = r^2$$

$$(r - x)^2 = r^2 - a^2$$

$$r - x > 0 \text{ より}$$

$$r - x = \sqrt{r^2 - a^2}$$

$$\therefore x = r - \sqrt{r^2 - a^2} \text{ (}\mu\text{m)}$$

この式に鋼球の半径 r と底穴の半径 a を代入し、底穴の辺縁の厚さ x (μm) を求めた。計算にはエクセルを用いた。

4) バリの厚さの算出

鋳造体の底穴の形状は真円ではないため (図12)、測定する部分によって辺縁の厚さが異なる。前述の方法では、最も鑄込み不足を示していた部分を基準に、底穴の辺縁と最も多くの点で接触する円形を決定したが、その円より内側に存在する辺縁部分を鋳造体のバリであるとみなし、バリの厚さも算出することにより、鋳造性の評価に用いることとした。

先に決定した底穴の円形と同心円状で、最も半径が短くなる円を描記した。

前述の方法で決定した底穴の補助円と同心円状であり、底穴の辺縁まで最も半径が短くなる円形を描記し、その円の半径をバリまでの半径として (図13)、同様の方法で辺縁の厚さを求めた。



図12 底穴の辺縁の一例
(試料No. 7) 底穴の形状が真円ではない。

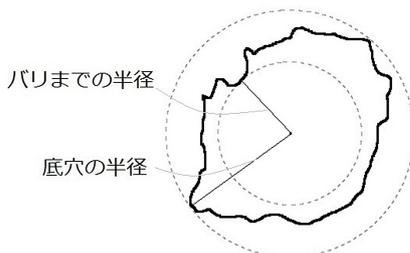


図13 バリまでの半径の決定

Ⅲ. 結果

ワックスパターンを鋳造し、鋳造体の圧痕中心部の底穴辺縁の鑄込み不足量を測定した。

使用した鋼球の大きさは $\phi 11\text{mm}$, $\phi 8\text{mm}$, $\phi 6\text{mm}$ の3種類で、鋳造体は $\phi 11\text{mm}$ 鋼球では18個、 $\phi 8\text{mm}$ 鋼球では11個、 $\phi 6\text{mm}$ 鋼球では5個作製した。鋼球の直径の違いによって鑄込み不足に差があるのかを調べたいのだが、各鋼球の試料の個数が異なる。試料の数が多いほど測定結果のばらつきは少なくなるため、本方法のように測定試料の個数が異なると正確な比較ができない。そのため、個数の最も少ない $\phi 6\text{mm}$ 鋼球の5個を測定に用いる個数とし、 $\phi 11\text{mm}$ 鋼球、 $\phi 8\text{mm}$ 鋼球で作製した試料については、鋳造体に番号を割り振り、くじびきによって、無作為に各5個を選出し、測定に用いる試料とした。

1. 肉眼所見

写真撮影したワックスパターンと鋳造体を比較 (図14)、観察したところ、いずれの試片においても、鋳造体の圧痕中心には穴が開いており、鑄込み不足状態を示していた。

鋼球の直径別でみると、ばらつきはあるが、鋼球の直径が大きくなるほど底穴は大きくなっていった。

底穴の辺縁の形状については、ほとんどの鋳造体において、真円の形ではなく、その辺縁形態は滑らかではなく鋸歯状を示していた。

鋼球の直径別でみると、鋼球の直径が大きくなるほど底穴の形状は真円ではなく歪な形を示していた。また辺縁の形態も、鋼球の直径が大きくなるほど深い切れ込みをもつ鋸歯状形態が多くみられた。



図14 ワックスパターンとメタルパターンの比較の一例 (試料No. 6)

2. 測定結果

1) 底穴の辺縁の厚さ

各鋼球での底穴の辺縁の厚さは、 $\phi 11\text{mm}$ 鋼球では平均値 $119.0 \mu\text{m} \pm 46.5 \mu\text{m}$ 、 $\phi 8\text{mm}$ 鋼球では平均値 $102.3 \mu\text{m} \pm 35.5 \mu\text{m}$ 、 $\phi 6\text{mm}$ 鋼球では平均値 $88.5 \mu\text{m} \pm 15.2 \mu\text{m}$ であり、全試料の平均値は $103.3 \mu\text{m} \pm 34.8 \mu\text{m}$ であった(表1, 図15)。

鋼球の直径が小さいほど辺縁の厚さは小さくなったが、分散分析を行った結果、P値が0.05より大きかったため、有意差は認められなかった。

2) 底穴のバリの厚さ

各鋼球でのバリの辺縁の厚さは、 $\phi 11\text{mm}$ 鋼球では平均値 $43.8 \mu\text{m} \pm 32.4 \mu\text{m}$ 、 $\phi 8\text{mm}$ 鋼球では平均値 $67.5 \mu\text{m} \pm 37.8 \mu\text{m}$ 、 $\phi 6\text{mm}$ 鋼球では平均値 $45.2 \mu\text{m} \pm 12.6 \mu\text{m}$ であり、全試料の平均値は $52.2 \mu\text{m} \pm 29.7 \mu\text{m}$ であった(表2, 図15)。

$\phi 8\text{mm}$ 鋼球が最も値が大きく、 $\phi 11\text{mm}$ 鋼球と $\phi 8\text{mm}$ 鋼球は同程度であったが、分散分析を行った結果、P値が0.05より大きかったため、有意差は認められなかった。

全試料の平均値でみると、バリの厚さの平均は、底穴の辺縁の厚さの平均の約1/2であった。

IV. 考察

1. 研究方法

1) 本研究で使用したワックスパターンは、融解したワックスに鋼球を圧接することによって作製した。理論上、適切に鋼球を圧接できているならば、鋼球とワックスパターン底面は1点でのみ接しており(図16)、その1点のみがワックスパターンにおいて抜けている穴となるので、その1点の形は真円形であると考えられる。

よって、ワックスパターンの圧痕の中心部に穴が抜けており、その穴がより小さな点で、且つばらつきが少なくなる製作方法が適切であると考えた。

島田と著者らが開発したワックスパターン作製法において、最も底穴の大きさが小さく、またばらつきが少ない再現性のある結果が得られた方法を用いてワックスパターンを作製した¹³⁾。

鋼球の圧接が正確に行えていれば、理論上、鋼球とワックス底面は1点で接し、その1点が真円形の形で穴となって抜けると考えている。

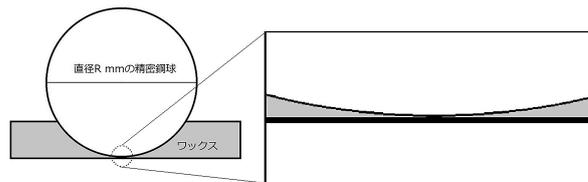


図16 鋼球圧接の断面模式図

2) 鑄造体の鑄造精度は、埋没操作や鑄造操作によっても影響を受ける^{1~3)}。

本研究における埋没、鑄造操作については、筆者は基本的操作として普段の臨床においても行っているため、一定の水準で同様に操作を行うことができると考え、研究結果の差にはこの操作による影響はないと考えた。

3) 鑄造体の未鑄造部の測定を行う際、未鑄造部の底穴の形状は真円であると仮定して補助円を描記し測定を行った。これは前述の通り、理論上鋼球とワックスパターン底面は1点でのみ接しており、その1点のみが真円形の形で抜けている穴となるため、鑄込み不足が発生するならば真円形となると考えられるからである。

しかし、本研究で得られた鑄造体試料の底穴は真円の形ではなかった。原因として、ワックスパターン作製の段階で抜けている底穴の形状が真円形ではなかったこと、あるいは鑄造体辺縁にバリが発生したことが考えている。

バリの発生については後述するが、ワックスパターン作製の要因に関しては、ワックスに鋼球を圧接する際荷重を加える方向に揺れがあったことや、ワックスパターンと鋼球を取り外す際ワックスの薄い部分が破れてしまったことなど、ワックスパターン作製が緻密ではなかったことが原因であると考えている。

2. 鑄造冠の辺縁と鑄込み厚さ

1) 口腔内に装着されるクラウンの辺縁部が適合不良であったり、豊隆が大きいなど形態が不良であると、二次齲蝕や歯周疾患を引き起こす場合があることが報告されている。^{7~10)} また、臨床においては辺縁部のオーバーハング量が $100 \mu\text{m}$ 以下であればクラウン装着後も良好な経過をたどっていることが報告されている^{6, 8, 9)}。

そのため、鑄造冠のワックスパターン作製時には辺縁部が過不足なく適切な形態で形成し、またその

表1 底穴の辺縁の厚さの算出

試料No.	鋼球の直径(mm)	鋳造体外形(mm)		底穴の半径(mm)		辺縁の厚さ x (μm)	平均(μm)	SD(μm)
		実寸D	画像上D'	画像上a'	実寸a			
1	11	15.003	897.1	46.6	0.779	55.5	119.0	46.5
2	11	15.267	900.8	62.8	1.064	104.0		
3	11	15.205	910.2	75.8	1.266	147.7		
4	11	15.106	902.4	82.9	1.388	178.0		
5	11	14.960	903.5	66.0	1.093	109.7		
6	8	17.072	1026.6	52.4	0.871	96.1	102.3	35.5
7	8	16.155	966.1	65.6	1.097	153.4		
8	8	16.705	1013.1	52.9	0.872	96.3		
9	8	16.656	996.4	56.1	0.938	111.5		
10	8	16.349	974.2	39.2	0.658	54.5		
11	6	14.623	874.2	47.1	0.788	105.3	88.5	15.2
12	6	14.846	895.6	41.8	0.693	81.1		
13	6	15.026	904.9	39.2	0.651	71.5		
14	6	14.567	870.5	41.3	0.691	80.7		
15	6	14.691	878.4	46.8	0.783	103.9		
全試料							103.3	34.8

表2 底穴のバリの厚さの算出

試料No.	鋼球の直径(mm)	鋳造体外形(mm)		バリの半径(mm)		バリの厚さ x (μm)	平均(μm)	SD(μm)
		実寸D	画像上D'	画像上a'	実寸a			
1	11	15.003	897.1	27.5	0.460	19.3	43.8	32.4
2	11	15.267	900.8	31.8	0.539	26.5		
3	11	15.205	910.2	55.4	0.925	78.4		
4	11	15.106	902.4	55.7	0.932	79.6		
5	11	14.960	903.5	24.7	0.409	15.2		
6	8	17.072	1026.6	35.5	0.590	43.8	67.5	37.8
7	8	16.155	966.1	58.7	0.982	122.3		
8	8	16.705	1013.1	43.1	0.711	63.6		
9	8	16.656	996.4	48.7	0.814	83.7		
10	8	16.349	974.2	26.2	0.440	24.2		
11	6	14.623	874.2	34.9	0.584	57.3	45.2	12.6
12	6	14.846	895.6	24.6	0.408	27.8		
13	6	15.026	904.9	28.3	0.470	37.0		
14	6	14.567	870.5	34.4	0.576	55.7		
15	6	14.691	878.4	32.0	0.535	48.1		
全試料							52.2	29.7

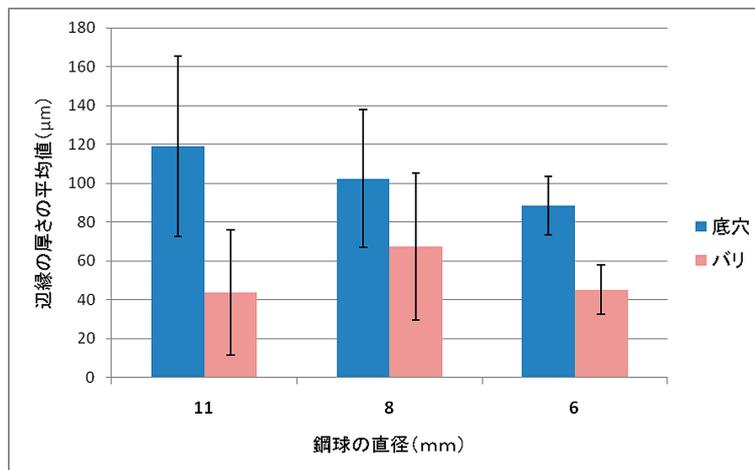


図15 各鋼球の辺縁の厚さの平均

ワックスパターンを鑄造する際には辺縁の薄い部分まで十分に形態を再現できる必要がある。

一方で、金属を融解して鑄込む際、表面張力により薄い部分までは鑄込まれない現象が起こる^{7,12)}。鑄造冠辺縁部の鑄造性についての研究は1900年代に集中的に行われていたが、近年では鑄造法に用いる歯科材料は発展しているのにも関わらず、現在ではその研究はほとんどない。そのため現在の鑄造法による金属型の再現性を検討する必要があると考えた。

本研究で作製、測定した15個の鑄造体の底穴の辺縁の厚さは $54.5\mu\text{m} \sim 153.4\mu\text{m}$ であり、平均値は $103.3\mu\text{m} \pm 34.8\mu\text{m}$ であった。

よって、ワックスパターンで鑄造冠辺縁を形成する際、辺縁に約 $150\mu\text{m}$ の厚みを与えれば、鑄込み不足を最小に抑え、辺縁形態を十分に再現できると考えている。また、形態修正・研磨操作にて厚さを調整することにより、適合が良好で、歯周組織に為害作用を及ぼさない鑄造冠辺縁に仕上げることができると考えている。

2) 本研究では鑄込む金属はKメタルを使用した⁷⁾が、小久保⁷⁾は鑄込む金属の種類によって鑄込み不足量は変化することを報告している。また、鑄造法には遠心鑄造法のほかに加圧鑄造法や吸引減圧鑄造法がある。ほかに鑄造に影響する要因として、埋没材の操作や鑄造操作が考えられ、また使用するワックスや埋没材などの材料の性質も影響を与えると考えている。

したがって、使用する金属の種類や材料の種類などを変えて鑄造性の比較、検討をする必要があり、その研究方法として本論文で述べた新しい研究方法を用いることが可能であると考えている。

3. 辺縁の角度と鑄造性の関係

鑄造法において、鑄造冠辺縁部の角度が大きいほど鑄込み不足は減少することが報告されている^{7,12)}。そのため、鋼球の直径を変え、ワックスパターンの圧痕の勾配を変えることで、辺縁の角度による鑄造性の影響を検討する必要があると考えた。

本研究で作製した鑄造体において、底穴の辺縁の厚さの平均値は使用する鋼球の直径が小さくなる、つまり圧痕の勾配が急となり角度が大きくなるほど、鑄込み不足は小さくなったのだが、有意差は認められなかった。またバリの厚さは、 $\phi 8\text{mm}$ 鋼球が最も大きく、 $\phi 11\text{mm}$ 鋼球と $\phi 6\text{mm}$ 鋼球では同程度であったが、有意差は認められなかった。

鋼球の直径が小さいほど鑄込み不足は減少すると予想していたが、底穴の辺縁の厚さの平均値に差はあるものの、分散分析の結果では有意差はなかった。これは、いずれの鋼球においてもばらつきが大きかったため、差がないという結果になったと考えている。

本研究では鋼球毎に各5個の試料を測定に用いたが、測定に用いる試料数が多いほど標準偏差は小さくなるため、試料の個数を増やすことにより、より信頼性のある結果を得ることができると考えている。

バリについては、鋼球の直径が小さいほどバリの発生は減少し、その厚さは厚くなると予想した。肉眼所見では鋼球の直径が小さいほどバリの発生は減少しており、その底穴の形状は真円形に近い形であった。一方でバリの厚さの測定では、有意差はなかったが、 $\phi 8\text{mm}$ 鋼球のみが大きい平均値であり、 $\phi 11\text{mm}$ 鋼球と $\phi 6\text{mm}$ 鋼球の平均値は同程度であった。有意差については前述の通り試料の個数が影響していると考えているが、 $\phi 8\text{mm}$ 鋼球の値のみ大きい結果であったのは、ワックスパターン製作環境の問題が原因の1つであると考えている。

ワックスパターンを作製した日時は各鋼球で異なっており、その操作が同様に行えておらず、また、ワックスパターンの外形が各試料で異なってしまう、同様に作製するよう厳密には管理することができず、緻密にワックスパターンを作製できていなかったことが考えられる。

また日時の違いにより気温や湿度などの実験環境も異なる。鋼球の温度については室温下で操作したため室温であると想定したが、正確な計測は行っていない。

本研究では、日時の経過による研究操作の均一性や実験環境の差異を厳密には管理しておらず、そのことが辺縁の厚さの結果に影響した原因の1つであると考えている。

4. 辺縁のバリについて

底穴の辺縁の厚さの平均値とバリの厚さの平均値を比較すると、 $\phi 11\text{mm}$ 鋼球と $\phi 6\text{mm}$ 鋼球ではバリの厚さは底穴の辺縁の厚さの1/2以下であり、 $\phi 8\text{mm}$ 鋼球については3/4程度であった。測定値のばらつきについては前述の通りであるが、鑄造により辺縁にバリが発生した場合、その厚さは最大鑄込み厚さの1/2程度となると考えている。

臨床においても、鑄造体の辺縁にバリが発生することが頻繁にある。その原因としては、埋没材への

気泡の混入、鋳型への衝撃による亀裂などがあるが、ワックスパターン形成時に、ワックスの光の透過性により辺縁部分に肉眼では確認できない薄いワックスが付着していることも考えられるので、それをバリができる原因の1つと考えている。

臨床においては、鋳造体のバリは削り落とし、研磨して辺縁を滑らかにして、適合を高める。本研究で作製した鋳造体においても、バリと判断した部分を形態修正して、真円形の底穴として評価することもできるが、鋳造法によるバリの発生の有無やその薄さ、形状を評価することによっても、鋳造性の検討につながると考えている。

V. 結論

1. 精密鋼球を用いてワックスパターンを作製し、遠心鋳造法で金属（Kメタル）を鋳造すると、ワックスパターンの厚さが150 μ m以下の辺縁部までは金属が入っていかないことがわかった。したがって、ワックスパターンの辺縁の厚みは150 μ m以上になければならず、この厚みを確保しないと鋳込み不足が生じることがわかった。

2. 未鋳造部の辺縁の形状は真円形ではなく、バリが発生していた。臨床においてはバリは削り落とすものだが、試料のバリの形状や厚さを評価することによっても、鋳造性を検討することができると考えている。

3. 本研究方法により、鋳造による金属型再現性を評価、検討することが可能であることがわかった。また、鋳造方法や使用する金属を変えることによって鋳込み不足は変化することが予想されるため、今後はそれらの条件を考慮して鋳造性を評価する必要があると考えている。

一方、より信頼性のある研究結果を得るためには、

ワックスパターンを作製する段階から実験環境を厳密に管理し、測定する試料数について検討する必要があると考えている。

文 献

- 1) 全国歯科技工士教育協議会編：新歯科技工士教本 歯冠修復技工学，医歯薬出版，東京，2016.
- 2) 全国歯科技工士教育協議会編：新歯科技工士教本 歯科理工学，医歯薬出版，東京，2016.
- 3) 吉田恵夫：歯科鋳造法の実用的精度について，補綴誌，2：159-190，1958.
- 4) 石原寿郎：鋳造冠，1-101，而至化学工業株式会社，東京，1959.
- 5) 望月洋：歯冠補綴物の辺縁適合状態に対する機械的測定 —マージンチェッカーの開発—，補綴誌，27：987-1000，1983.
- 6) 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，32：131-133，1988.
- 7) 小久保俊一：鋳造冠辺縁の鋳造性に関する研究，口病誌，59：33-47，1992.
- 8) 田端恒雄：クラウンの諸問題 —適正なクラウン製作のために—，口病誌，62：1-15，1995.
- 9) 長谷川成男：クラウンのマージンに関する一考察，口病誌，62：373-380，1995.
- 10) 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.
- 11) Chai, T.-I. and Stein, R. S. : Porosity and accuracy of multiple - unit titanium castings. J. Prosthet. Dent. 73 (6) : 534-541, 1995.
- 12) 苗 維平：チタンクラウンの辺縁部の鋳造性および金属構造に関する研究，口病誌，64：483-498，1997.
- 13) 島田翔：鋳造用ワックスパターンの製作精度についての検討，明倫紀要，22 (1) : 24, 2019.