

〔原著〕 松本歯学 21 : 166~170, 1995

key words : チタン - 鑄型温度 - 鑄造性

純チタンの鑄造性に関する研究 (第2報)
—埋没材と鑄型温度の違いが鑄込率に及ぼす影響について—

堀口英子, 黒岩昭弘, 井上義久, 米田隆紀
遠藤泰生, 林 春二, 五十嵐順正

松本歯科大学 歯科補綴学第1講座 (主任 五十嵐順正 教授)

伊藤充雄

松本歯科大学 総合歯科医学研究所 生体材料開発部門 (主任 伊藤充雄 教授)

橋本弘一

明海大学歯学部 歯科材料学講座 (主任 橋本弘一 教授)

Studies on the Castability of Pure Titanium (Part 2)
—Effects of difference of casting mold and mold temperature on the castability of titanium—

EIKO HORIGUCHI, AKIHIRO KUROIWA, YOSHIHISA INOUE
TAKANORI YONEDA, YASUO ENDO, SHUNJI HAYASHI and YOSHIMASA IGARASHI

*Department of Removable Prosthodontics, Matsumoto Dental College
(Chief : Prof. Y. Igarashi)*

MICHIO ITO

*Department of Biomaterials, Institute for Dental Science, Matsumoto Dental College
(Chief : Prof. M. Ito)*

HIROKAZU HASHIMOTO

*Department of Dental Materials Science, MEIKAI University School of Dentistry
(Chief : Prof. H. Hashimoto)*

Summary

The purpose of this study was to evaluate titanium castability with a vacuum-pressure type casting machine under different mold temperatures. We employed two types of cement bonded investments in this study. One of the casting molds was "Titavest MZ" for metal

frame work, and the other was "Titavest CB" for crown and bridge work. The molds temperature were prepared at room temperature, 300°C, 600°C, and 900°C for each, respectively. When the mold temperature was set at a high range with "Titavest MZ", high percentage of castability was gained. Mold temperature at "Titavest MZ" showed a statistically significant correlation on the castability ($p < 0.1$). On the other hand, "Titavest CB" showed high percentage of castability under every condition. Above results were not quite explained only by this present study. But, it was realized that at least two different types of investing materials were present; one which had a positive relation to the mold temperature, and the other which had a negative one in relation to the pure titanium castability.

緒 言

チタンはその有用性から臨床応用への可能性についての検討が行われている^{1,2)}、鑄造を行う上でチタンは純金属に特有の好ましくない特性をもち、それらの問題を解決するため、現在、多数のメーカーから鑄造方法の異なったチタン専用鑄造機や組成の異なるチタン専用埋没材が発表され、多くの鑄造方法が乱立している。ところが、実際にチタンを臨床応用する場合、これらの情報や技法を全て習得することは困難であり、チタン鑄造をこれまで一般的に行われてきた貴金属合金の鑄造工程と比べると、操作が非常に繁雑で普及しにくい技術となってしまうことが危惧される。これらの問題を解決するために、著者らはこれまで、チタン鑄造システムを確立すべく種々の条件下におけるチタンの鑄造特性の検討を行ってきた^{3~8)}。特に、チタン鑄造において鑄型温度が高ければ鑄込みにも利な方向に作用する反面、チタン溶湯と鑄型壁面との反応性が高くなる⁹⁾。一方、鑄型温度を低く設定した場合には鑄造体界面近傍に生ずる反応層を抑制できるが、鑄型の焼却に際して室温鑄造は設定した鑄型温度になるまでに長時

間を要し、作業能率の低下が惹起されるという問題が生ずる¹⁰⁾。本論文は、この鑄型温度を鑄込率という観点から評価することを目的とし、2種類のチタン専用埋没材をそれぞれ設定した鑄型温度にて鑄造を行い、検討を加えた。

材料と方法

1. 実験材料

本実験に使用した材料を Table 1 に示す。チタンには、JIS 第 2 種 (KS-50, 神戸製鋼) を使用し、パターン材としてメッシュパターン (Dentaurum RN II)、ランナーバーにはレディキャストイングワックス (R-20, GC) を使用した。スプルーは金属スプルー (φ1.26 mm, 長さ 25 mm, 村上研究所) を用い、埋没材として MgO, Al₂O₃ を主体とした 2 種類のセメント系埋没材 (チタベスト CB, チタベスト MZ, モリタ) を使用した。長さ 60 mm の鑄造リングを使用し、緩衝材にはリングライナー (No. 2, GC) を用いた。鑄造機は加圧吸引型チタン鑄造機 (サイクラーク, モリタ) を使用した。

2. 試料の作製

1) ワックスパターンの作製, スプルーイング,

Table 1. Materials

| | | |
|-----------------|--|------------------|
| Casting machine | Pressure and vacuum type CYCLARC | MORITA |
| Wax pattern | RN II | Dentaurum |
| Sprue | φ1.26 mm Length 5 mm | Murakami |
| Mold Material | Titavest CB Titavest MZ | MORITA MORITA |
| Mold condition | Pattern-mold bottom distance 10 mm Length 60 mm | |
| Titanium | JIS Grade 2 (KS-50) | Kobe Steel |

パターンの植立

Fig. 1 に示すようにメッシュパターンを7×7 区画に切断しランナーバーを設け、ワックスパターンを作製した¹¹⁾。スプルーの長さを5 mm に設定してスプルーイングを行い、パターンを円錐台に植立した。

2) 埋没および鑄造

緩衝材をリング内壁に巻き、リングを円錐台にはめ込み、通気性の変化を可及的に防ぐためにリング底面からパターンまでの距離を10 mm に設定し、埋没前準備が終了した後、チタベスト CB を混液比0.16、チタベスト MZ を混液比0.14にて練和し埋没を行い、埋没1時間後に電気炉に入れ、焼却を行った。昇温条件としては室温から900℃まで10℃/min にて昇温し、900℃にて50分間係留を行った。今回は鑄型温度の鑄込率への影響を調べるため、各鑄型温度になるように炉冷を行い、鑄型温度を室温、300℃、600℃、900℃の4条件に設定し、設定温度に到達した後、30分間係留し鑄造を行った。なお、電気炉から鑄型を取り出し鑄造を行うまでの時間をタイマーを用い45秒後に設定し、鑄造圧1.5 kgf/cm²にて鑄造を行った。

鑄造後、大気中にて放冷し、鑄型掘り出し後埋没材を除去するためにサンドブラスト処理を行った。

3. 鑄造性の評価

黒岩¹¹⁾による鑄込率の算出方法により、交点数をメッシュパターンが完全に鑄込まれた場合の交点数にて除したものを鑄込率とした。なお、鑄造

は各条件5回行い、得られた値から平均値、標準偏差、変動係数、相関係数を求めた。

結 果

Table 2 は、チタベスト CB およびチタベスト MZ の鑄込率の平均値、標準偏差、変動係数を、Fig. 2 は2種類の埋没材の各条件における回帰直線と相関係数を示す。チタベスト MZ においては相関係数0.937 (P>0.1) と有意な正の相関が得られ、鑄型温度が増加するに従い、鑄込率が增加することが確認できた。一方、チタベスト CB においては鑄型温度による影響が認められず、各条件において高い鑄込率を示した。

考 察

従来⁹⁾の歯科鑄造用金属において、鑄型温度と鑄造性には密接な関係があり、鑄型温度が高いほど金属の凝固時間が延長するため、鑄込率が高いことがすでに他の金属において報告されている^{12,13)}。ところが、チタンの融点は1,668℃¹⁴⁾と高く、900℃の鑄型に対してもチタン溶湯との温度差は約1,000℃の差があり、今まで歯科で行ってきた鑄造の中では最も溶湯と鑄型温度との差が大きい。チタン鑄造においては、鑄込み不足、鑄巣、鑄肌荒れ等の鑄造欠陥が見られ⁹⁾、特にその中でも鑄込み不足の一つである湯回り不足が多いのもそのためであると考えられる。湯回り不足は、金属溶湯が鑄込まれるべき鑄窩を全て満たす以前に凝固したために生ずる現象であり、その対処法としては鑄型温度をより高くすることによって溶湯の凝固時間の延長を図ること⁹⁾や、鑄造圧を増加させ溶湯の流入速度を速くし、鑄窩への溶湯充填時間を短くすること⁹⁾、またはスプルー径を増加させ、溶湯の供給量を増加させること¹¹⁾が報告されている。

本実験において、鑄型温度をより高温とした場合、チタベスト MZ では相関係数0.937と有意な正の相関が認められ、鑄型温度が金属の融点に近いほど溶湯の凝固時間が延長し、鑄込率が向上するという従来⁹⁾の報告と一致した。このことから、チタン鑄造においても、鑄型温度が増加することによって効果的に凝固時間の延長が生じ、鑄込率が向上したのではないと思われる。ところが、一方では可及的に低い鑄型温度にて鑄造を行うこ

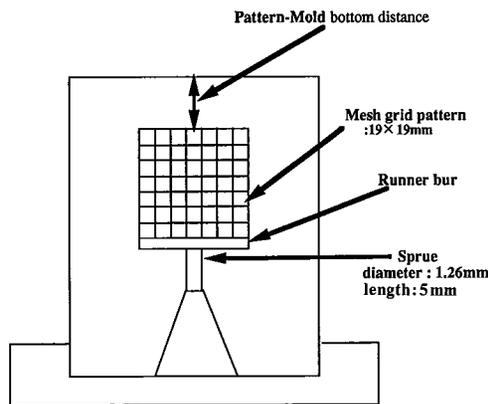


Fig. 1. Schema of investing condition and mesh grid pattern

Table 2. Effect of mold temperature on titanium castability
(Mean, SD, CV, correlation coefficient)

| Mold temperature (°C) | | R. T | 300 | 600 | 900 |
|----------------------------------|------|-------|-------|-------|-----|
| Mold investment | | | | | |
| Titavest CB | Mean | 100 | 81.47 | 100 | 100 |
| | SD | 0 | 42.33 | 0 | 0 |
| | CV | 0 | 52.21 | 0 | 0 |
| Correlation coefficient : 0.276 | | | | | |
| Titavest MZ | Mean | 28.93 | 24.64 | 76.07 | 100 |
| | SD | 11.18 | 9.23 | 34.94 | 0 |
| | CV | 38.65 | 37.44 | 45.93 | 0 |
| Correlation coefficient : 0.937* | | | | | |

Mean, CV : (%) n=4 *P<0.1

R. T : Room temperature

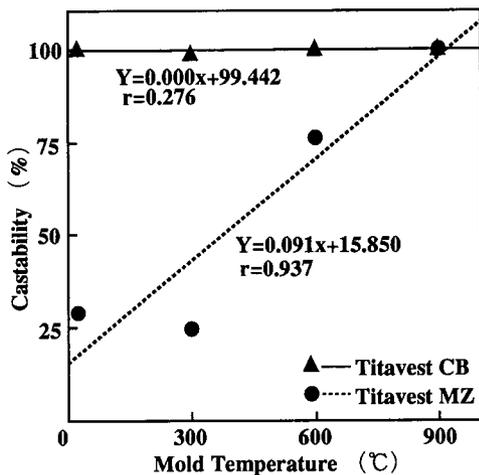


Fig. 2. Effect of casting mold temperature on titanium castability

とによりチタン鑄造体界面近傍に生ずる反応層が抑えられ、良好な機械的性質が得られるとの報告¹⁰⁾もあり、高い鑄型温度において鑄造を行う場合、チタン溶湯と埋没材との反応について十分に考慮すべきであると思われる。また、高い鑄型温度における鑄造では鑄込まれた溶湯と埋没材による反応によってガスが発生し、そのために逆に鑄込率が低下することも考えられる。したがって、高い鑄込率を得るには鑄型温度を高くした方が有利であるが、それによって生ずる種々の問題点を十分に考慮しながら効率の良い鑄造を行うため、臨床的などのような鑄造体が要求されるのかを再検討する必要があると思われる。

一方、チタベスト CB はこれまでに報告されてきた他の金属の結果とは異なり、鑄型温度の影響

を受けず、どの鑄型温度条件下でも非常に高い鑄込率を示した。黒岩ら¹⁰⁾は、チタベスト PS を用い板状パターンを鑄込んだ場合にも鑄込率への鑄型温度の影響を認められず、その理由として最初に設定した鑄造圧、パターンからリング底面までの距離、埋没材本来の通気性、スプルーイングなどの条件が、ほぼどの鑄型温度に対しても有利な方向に導いたと述べている。本実験にて、鑄型温度の影響を受けなかったチタベスト CB においても同様の理由が考えられるが、チタベスト MZ において得られた結果とは全く一致しなかった。チタベスト MZ とチタベスト CB は各々通気性が異なり、チタベスト CB はチタベスト MZ の約 2 倍の通気性を有している⁴⁾。加圧吸引鑄造機を用いてチタン鑄造を行った場合、高い鑄込率を得るには通気性の高い埋没材を用いた方が有利であるという報告^{3,15,16)}も見受けられる。チタベスト CB においてはチタベスト MZ より通気性が高く、これにより鑄込率に大きな影響を及ぼし、そのために鑄型温度による影響が現れにくかったのではないかとと思われる。また、通気性の高い埋没材と低い埋没材ではその気孔率が異なり、通気性の高い埋没材の方が埋没材中に含まれる気孔の存在量が多いために熱伝導率が低く¹³⁾、鑄型が溶湯から奪う熱量が少ないことから、チタベスト MZ に比べ、チタベスト CB において溶湯の凝固時間が延長したのではないかとと思われる。一方、チタン溶湯は埋没中の SiO₂ と著しく反応し¹⁷⁾、O₂ や SO₂ などのガスの発生によって種々の鑄造欠陥が生じやすいことが考えられるが、その SiO₂ をチタベスト CB はほとんど含んでいないため、鑄込みに対して有

利に働いたことが考えられる。また、鋳込率の測定に用いた7×7区画のメッシュパターンではすでに鋳込率測定の限界に到達した可能性がある。しかしながら、いたずらにメッシュパターンの区画を拡大したとしてもこれまでに著者らが行ってきた鋳込率の検討の条件の均質性が失われることが考えられるため、新たに実験を立案し鋳込率測定の再考が必要であることが考えられた。今回の実験結果のみではチタベストCBがどのような要因でこのような結果をもたらしたのかは断定できないが、得られた結果からみてどの鋳型温度においても高い鋳込率を示したチタベストCBは、臨床応用を考えた場合、作業能率、機械的性質等を考慮しながら鋳型温度を自由に設定することができる可能性があり、今後これらについて明らかにすることにより、チタベストCBの有用性がさらに高まるのではないかと思われる。

今後、合理的、かつ簡便で確実な鋳造体が得られる鋳造システムを確立するには、鋳造方法の違いや埋没材の違いによる鋳型温度の影響についても検討を加えて行く必要があると思われる。

結 論

チタン鋳造システムの確立の一貫として、埋没材と鋳型温度の違いが鋳込率に及ぼす影響について検討を行った。その結果、埋没材の違いにより、鋳込率に対し鋳型温度の影響を受けやすい埋没材と受けにくい埋没材があることが明らかになった。

文 献

- 1) 「金属チタンとその応用」編集委員会編(1983) 金属チタンとその応用. 75—312. 日刊工業新聞社, 東京.
- 2) 三浦維四, 井田一夫(1988) チタンの歯科利用. 161—266. クインテッセンス, 東京.
- 3) 黒岩昭弘, 米田隆紀, 安田英子, 緒方 彰, 五十嵐順正, 鷹股哲也, 和田賢一, 橋本弘一(1994) チタン鋳造に関する研究, (その7)各種チタン専用埋没材の通気性について. 補綴誌, 38(第91回特別号): 218.
- 4) 安田英子, 黒岩昭弘, 米田隆紀, 緒方 彰, 五十嵐順正, 和田賢一, 橋本弘一(1994) チタン鋳造に関する研究, (その8)埋没材と鋳型温度の違いが鋳込率に及ぼす影響について. 第7回歯科チタン研究会講演抄録集: 13—14.
- 5) 米田隆紀, 黒岩昭弘, 安田英子, 緒方 彰, 五十嵐順正, 和田賢一, 橋本弘一(1994) チタン鋳造に関する研究, (その9)加圧鋳造機を用いた鋳造圧と埋没材の違いが鋳込率に及ぼす影響について. 第7回歯科チタン研究会講演抄録集: 15—16.
- 6) 黒岩昭弘, 米田隆紀, 安田英子, 緒方 彰, 五十嵐順正, 和田賢一, 橋本弘一(1994) チタン鋳造に関する研究, (その10)加圧鋳造機を用いたスプルー径と通気性の違いが鋳込率に及ぼす影響について. 第7回歯科チタン研究会講演抄録集: 17—18.
- 7) 井上義久(1995) 鋳型の通気性がチタン鋳造に及ぼす影響. 歯材器, 14: 302—312.
- 8) 堀口英子, 黒岩昭弘, 井上義久, 荒川仁志, 杉藤庄平, 米田隆紀, 林 春二, 五十嵐順正, 橋本弘一, 伊藤充雄(1995) チタン鋳造に関する研究, (その18) 鋳造方法と鋳型温度が鋳込率に及ぼす影響について. 歯材器, 14(特別号25): 312—313.
- 9) 三浦維四, 井田一夫(1988) チタンの歯科利用. 84—93. クインテッセンス, 東京.
- 10) 黒岩昭弘, 和田賢一, 日比野靖, 吉田 修, 覚本嘉美, 胡内秀規, 長山克也, 橋本弘一(1990) チタン鋳造に関する研究(第1報) 鋳造温度がチタン鋳造に及ぼす影響について. 歯材器, 9: 279—288.
- 11) 黒岩昭弘(1992) スプルーの条件がチタン鋳造に関する影響について. 歯材器, 11: 262—277.
- 12) 代田基朔, 井田一夫(1972) 歯科鋳造における操作条件と鋳込率との関係. 歯材器誌, 27: 43—52.
- 13) 代田基朔, 井田一夫(1978) 高温鋳造における鋳込み不足の要因に関する研究. 歯材器誌, 35: 201—226.
- 14) 白井太一郎(1976) 金属材料. 200. パワー社, 東京.
- 15) 都賀谷紀宏, 後藤秀明, 井田一夫, 中村雅彦, 藪上雅彦(1986) チタン鋳造体の内部欠陥について. 歯材器, 5(特別号8): 90.
- 16) 都賀谷紀宏, 後藤秀明, 鈴木政司, 井田一夫, 藪上雅彦(1987) チタン鋳造体の鋳造欠陥に関する研究. 歯材器, 6(特別号9): 123.
- 17) 赤岩祐一, 安藤芳昭, 黒岩昭弘, 和田賢一, 橋本弘一(1990) チタン鋳造体表層の反応生成物について(その2). 歯材器, 9(特別号16): 199.