原著論文

鋳接および熱処理が磁性アタッチメントの キーパーに及ぼす影響について

中村 和夫 小竹 雅人 水谷 紘 植野 良子 藍 稔

Effects of Casting and Heat Treatments on Magnetic Keepers

Kazuo Nakamura, Masato Kotake, Hiroshi Mizutani, Ryoko Ueno and Minoru Ai

Abstract : It has been pointed out that properties of the magnetic keeper may change from original condition after casting. In this study, to evaluate the effect of the casting and the heat treatments for the casting alloy on the property of the keeper, hardness test and light microscopic observation were carried out.

Two kinds of keepers (HICOREX Slim, Hitachi Metals, Japan and Magfit 600, Aichi Steel, Japan) were investigated in this study. These keepers were cast on with gold-silver-palladium alloy (Castwell MC, GC, Japan). Then homogenization heat treatment and hardening heat treatment for gold-silver-palladium alloy were performed on the casting-on specimens. After casting-on and each heat treatment, hardness test and microscopic observation on the keepers were performed. Before these experiments, non-heated keepers were estimated as control.

The results for casting-on samples showed a decrease in hardness for both keepers. Furthermore, after each heat treatment, a decrease in hardness was found as compared to the control for both keepers ($p < 0.01$, ANOVA).

In both keepers, microscopic findings showed that grains became larger than those of control and grain boundaries became distinguished.

The results showed that heat treatments for the casting alloy should be avoided because the properties of keepers were adversely affected.

Key words : magnetic attachment, heat treatment, casting-on

I. 緒 言

磁性アタッチメントのキーパーは、現在ほとんどが歯科用合金と鋳接して使用されている¹⁻³⁾。しかしながら、鋳接過程がキーパー材に及ぼす影響については不明な点も多い。キーパーに使用されているステンレス合金に関しては、鋳接過程におけるリングの係留や鋳造温度に相当する加熱にさらされた場合に、硬さ等の機械的性質や耐食性に

影響が及ぶ可能性のあることが指摘されている。磁性アタッチメントは、磁石構造体の吸着面とキーパーの間にわずかな隙間が生じて吸引力に及ぼす影響が大きい。鋳接による加熱でキーパーの硬さが加熱前、すなわち磁石構造体の吸着面のステンレス鋼の硬さと異なってしまった場合には、長期間の使用の結果いずれかが摩耗して平滑性が損なわれ、吸引力の低下を招く可能性がある。これまで、鋳接過程でキーパー材の理工学的性質に及ぼす因子として、埋没材の種類あるいは加熱係留温度、係留時間がキーパーの酸化被膜厚さに及ぼす影響について報告され、高い係留温度や長い係留時間は酸化被膜厚さが増大することや埋没材の種類により形成される酸化被膜厚さが異なることが報告されている^{4,5)}。また、キーパーを短時間加熱した後の

東京医科歯科大学歯学部歯科補綴学第1講座(主任:藍 稔教授)
The First Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry,
Tokyo Medical and Dental University (Chief: Prof. Minoru Ai)
平成11年4月5日受付

表 1 Compositions of magnetic keepers used in this investigation
使用キーパーならびにその組成

キーパー	Fe (%)	Cr (%)	Mo (%)	その他 (%)	ロット番号	メーカー
ハイコレックススリムキーパー	>67	30	2	<1	704015	日立金属
マグフィット 600 キーパー	>78	19	2	<1	01086 E	愛知製鋼

図 1 Specimens shape used for the study
鑄接試料の模式図

左：ハイコレックススリムキーパー

右：マグフィット 600 キーパー

キーパーの硬さに対する検討では、SUS 447 J 1 ステンレス鋼を用いたキーパーで硬さの減少が報告されている⁶⁾。しかし、実際に鑄接された試料に関する検討は行われていない。さらに、鑄接に用いられることの多い金合金や 12% 金銀パラジウム合金は、一般に硬化熱処理を行った状態で用いられているが、これらの熱処理に伴う繰り返し加熱の影響に関しても明らかではない。そこで、実際にキーパーの鑄接ならびに鑄接合金に対する種々の熱処理を行い、これらの加熱がキーパーの硬さならびに結晶粒度にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

II. 材料および方法

本研究には 2 種類の磁性アタッチメント用キーパーを使用し、それぞれに対して鑄接過程では最終係留温度を 3 条件、さらに鑄接試料に対して熱処理を 3 条件設定し、それらがキーパーならびに鑄接合金の硬さに及ぼす影響を検討した。また、キーパーについては結晶粒度の観察も行った。

1. 材料

1) 磁性アタッチメント用キーパー

本研究で使用したキーパーはハイコレックススリム 4013 キーパー（日立金属（株））およびマグフィット 600 キーパー（愛知製鋼（株））であり、それぞれの組成を表 1 に示す。

いずれもロット番号の揃っているものを用いた。

2) 埋没材ならびに鑄接合金

使用した埋没材は従来型石膏系埋没材（クリストバライ

表 2 Heat treatments for gold-silver-palladium alloy
12% 金銀パラジウム合金に対する熱処理条件

熱処理	処理条件
溶体化処理	700°C で 5 分間加熱後水中急冷
硬化熱処理	溶体化処理後 400°C で 15 分間加熱後、室温にて放冷

ト、松風）である。混水比はメーカー指示に従い、手練と 30 秒間の後に真空練と 30 秒間（Vac-vestor, Whip-Mix）とした。鑄接合金には 12% 金銀パラジウム合金（キャストウェル MC 金 12%，ジーシー）を用いた。

2. 方法

1) ワックスパターン

インレーワックス（インレーワックス・ミディアム，ジーシー）を 10 mm×8 mm×1.5 mm の板状に整形し、その中央にキーパー上面とワックス上面が一致するようにキーパーを固定したパターンを製作し、これを 12% 金銀パラジウム合金で鑄造して鑄接試料とした（図 1）。

ワックスパターンは水を含ませた厚さ 0.7 mm のリングライナー（ニューキャストリングライナー No. 3，ジーシー）を 1 枚裏層した 30 φ×55 mm の鑄造リングの中央に各 1 個埋没した。

2) リングの加熱、係留および鑄接

鑄接にあたり、鑄造リングの最終係留温度の違いにより 600，700，800°C の 3 グループに分けた。リングは埋没後 1 時間乾燥させ 200，400°C の電気炉内で各 30 分間係留し、上記の最終係留温度で 1 時間係留の後に鑄造した。鑄造体は室温まで放冷後埋没材から取り出し、超音波洗浄を行い酸処理は行わなかった。

3) 12% 金銀パラジウム合金に対する熱処理

鑄接試料について 12% 金銀パラジウム合金に対する熱処理の影響を検討するため、アズキャストの状態のほかに溶体化処理および硬化熱処理を行った試料を製作した。熱処理は表 2 に示すメーカー指示の条件を用いた。

鑄接試料はそれぞれのキーパーに対し、上記の実験条件のそれぞれの組合せごとに 8 個ずつ製作し、そのうち 5 個を硬さ測定に、残る 3 個を結晶粒度の観察に使用した。

4) 硬さ測定

鑄接試料は自動研磨機 ECOMET 3（Buehler）を用いて # 340，# 400，# 600 の SiC 紙研磨，0.05 μm のアルミナによるバフ研磨を行ったのち、マイクロビッカース硬度計 NT-M 001（島津製作所）を用い、荷重 200 gf，15 秒

間負荷で硬さの測定を行った。硬さ測定はキーパーに対してはその中央部で、鑄接合金に対しては鑄接試料の短辺とキーパー界面の中間部で行い、3点の測定データの平均値をもって硬さの値とした。硬さ測定のコントロールには、製品である未加工のキーパーと金銀パラジウム合金インゴットを用いた。

最終係留温度条件の違いと熱処理条件の違いがキーパーの硬さに及ぼす影響について二元配置分散分析を行った。さらに、post-hoc testとしてScheffe's F法を用いて多重比較検定を行った。また、いずれの統計解析も有意水準5%で行った。

5) キーパーの結晶粒度の観察

結晶粒度の観察は、鑄接前の未加工のキーパーおよび鑄接した試料の鑄接後、溶体化処理後、硬化熱処理後のキーパー部分について行った。各キーパーは自動研磨機ECOMET 3 (Buehler)を用いて、#340、#400、#600のSiC紙研磨、0.05 μm のアルミナによるバフ研磨を行ったのち、表面を飽和シュウ酸水溶液中で電圧7V、電流0.6Aで電解エッチングし、光学顕微鏡にて観察した。

III. 結 果

1. 硬さの測定結果

1) 12% 金銀パラジウム合金

12% 金銀パラジウム合金の鑄接と加熱処理に伴う硬さの変化を図2に示す。二元配置分散分析の結果、最終係留温度の違いにより硬さに有意な差は認められなかった。一方、熱処理条件の違いにより硬さは有意な差を示した。ま

図2 Effect of heat treatment on the hardness of gold-silver-palladium alloy
熱処理が硬さに及ぼす影響
12% 金銀パラジウム合金

た、係留温度と熱処理条件の2要因間には交互作用が認められなかった。多重比較検定の結果、鑄接後のアズキャストの状態では12% 金銀パラジウム合金の硬さはコントロール (インゴット) の (HV: 263) に比べ、189.9~199.9と有意に低下した ($p < 0.01$)。溶体化処理後の試料では硬さは157.5~166.1となり、アズキャストの硬さに比べ有意に低下した ($p < 0.01$)。硬化熱処理後の試料では273.8~281.3となり、溶体化処理後の値に比べ有意に増加した ($p < 0.01$)。600、700および800°Cと係留温度の異なる試料の間の比較では鑄造後、溶体化処理後、硬化熱処理後のいずれの条件においても係留温度が低いほど硬さは大きい傾向があったが、各温度間では有意差を示さなかった。

2) キーパー

(1) ハイコレックススリムキーパー

キーパーの鑄接と12% 金銀パラジウム合金に対する熱処理に伴うキーパーの硬さの変化を図3に示す。二元配置分散分析の結果、最終係留温度の違いにより硬さに有意な差は認められなかった。一方、熱処理条件の違いにより硬さは有意な差を示した。また、係留温度と熱処理条件の2要因間には交互作用が認められなかった。多重比較検定の結果、キーパーの硬さは非加熱のコントロール (HV: 246) に比べ、鑄接後に有意に低下した ($p < 0.01$)。さらに、12% 金銀パラジウム合金に対する溶体化処理後には鑄接後の硬さに比べ有意に減少した ($p < 0.01$)。これに引き続いて硬化熱処理を行うと硬さはわずかに変化した、溶体化処理後の硬さと比べ有意差を示さなかった。

図3 Effect of heat treatment on the hardness of keepers
Hicorex slim keeper
熱処理が硬さに及ぼす影響
ハイコレックススリムキーパー

図 4 Effect of heat treatment on the hardness of keepers
Magfit 600 keeper
熱処理が硬さに及ぼす影響
マグフィット 600 キーパー

600, 700 および 800°C と係留温度の異なる試料の間の比較では鋳造後, 溶体化処理後, 硬化熱処理後のいずれの条件においても硬さに有意差を示さなかった。

12% 金銀パラジウム合金の硬さと比べた場合, 非加熱のキーパーは 12% 金銀パラジウム合金のインゴットより HV で 20 低い値を示していたが, 鋳造後にはほぼ同レベルとなり, 溶体化処理後には金銀パラジウム合金よりも硬く, 硬化熱処理後で低い値を示した。

(2) マグフィット 600 キーパー

キーパーの鋳造と 12% 金銀パラジウム合金に対する熱処理に伴うキーパーの硬さの変化を図 4 に示す。二元配置分散分析の結果, 最終係留温度の違いにより硬さに有意な差は認められなかった。一方, 熱処理条件の違いにより硬さは有意な差を示した。また, 係留温度と熱処理条件の 2 要因間には交互作用が認められなかった。多重比較検定の結果, キーパーの硬さは非加熱のコントロール (HV: 264) に比べ, 鋳造後に有意に低下した ($p < 0.01$)。しかし, 12% 金銀パラジウム合金に対する溶体化処理後, 硬化熱処理後の硬さはわずかに変化した。アズキャストの硬さと比べ有意差を示さなかった。600, 700°C および 800°C と係留温度の異なる試料の間の比較では, 鋳造後, 溶体化処理後, 硬化熱処理後のいずれの条件においても硬さに有意差を示さなかった。

12% 金銀パラジウム合金の硬さと比べた場合, 非加熱のキーパーは 12% 金銀パラジウム合金のインゴットと同レベルであったが, 鋳造後に低い値となり溶体化処理後には金銀パラジウム合金と同レベル, 硬化熱処理後では低い値を示した。

図 5 Microscopic findings of heat-treated keepers
Hicorex slim keeper (mould temperature: 600°C)
熱処理後の金属組織像
ハイコレックススリムキーパー
最終係留温度: 600°C

図 6 Microscopic findings of heat-treated keepers
Hicorex slim keeper (mould temperature: 800°C)
熱処理後の金属組織像
ハイコレックススリムキーパー
最終係留温度: 800°C

2. キーパーの結晶粒度の観察結果

1) ハイコレックススリムキーパー

非加熱のコントロールの金属組織写真および加熱後の代表例として, 最終係留温度 600°C と 800°C における金属組織写真を図 5, 6 に示す。コントロールとした非加熱のキーパーでは, 結晶粒は約 100 μm の粒径をした多角形で粒界は不鮮明であった。600, 700°C の場合, アズキャストでは粒径が約 100 μm の結晶粒の間に径が 150 μm 以上の粗大な結晶粒が認められた。溶体化処理, 硬化熱処理後には粗大な結晶粒はさらに増加した。800°C 係留では 600, 700°C 係留の場合に比べ, アズキャストでは粒径が 150 μm 以上へと成長し, 粗大化した結晶粒も増加した。さらに 800°C 係留の試料では溶体化処理, 硬化熱処理と熱処理が進むにつれて粗大な結晶粒が増加し, 結晶粒界が明瞭と

図 7 Microscopic findings of heat-treated keepers
 Magfit 600 keeper (mould temperature : 600°C)
 熱処理後の金属組織像
 マグフィット 600 キーパー
 最終係留温度 : 600°C

図 8 Microscopic findings of heat-treated keepers
 Magfit 600 keeper (mould temperature : 800°C)
 熱処理後の金属組織像
 マグフィット 600 キーパー
 最終係留温度 : 800°C

なった。また、600, 700°C 係留の場合に比べ熱処理が進むにつれて結晶粒はより粗大化し、それらが占める割合も増加した。

2) マグフィット 600 キーパー

非加熱のコントロールの金属組織写真および加熱後の代表例として、最終係留温度 600°C と 800°C における金属組織写真を図 7, 8 に示す。コントロールとした非加熱のキーパーでは結晶粒は約 30 μm の粒径をした多角形で粒界は不鮮明であった。600, 700°C の場合、アズキャストでは粒径が約 30 μm の結晶粒の間に径がやや大きい結晶粒が認められたが、ハイコレックススリムキーパーのような結晶粒の著しい成長は観察されなかった。溶体化処理、硬化熱処理後にも大きな結晶粒は増加しなかったが、熱処理が進むにつれて結晶粒界が明瞭となった。800°C 係留ではアズキャストでは粒径が約 50 μm と成長し、結晶粒界が 600, 700°C 係留の場合に比べ鮮明であった。さらに溶体化処理、硬化熱処理と熱処理が進むにつれて結晶粒界がより明瞭となり、エッチングに対する感受性が増していることがうかがえた。

IV. 考 察

1. キーパー材料ならびに実験方法について

本実験において使用した磁性アタッチメント用キーパーは、現在国内で入手できる 2 社の製品を選択した。マグフィットシステムは現在小型のマグフィット Ex 600 となっているが、キーパー素材は同一のものであることから、硬さ測定や結晶粒度の観察が容易な断面積の大きいマグフィット 600 用キーパーを使用した。いずれのキーパー素材も工業的に特に耐食性に優れたものとされる中、高 Cr フェライト系ステンレス合金であるが、この合金は金

属組織と関連したいくつかの脆化現象が知られている⁷⁻⁹⁾。このなかで比較的短時間で発生し、歯科鋳造過程で遭遇する温度領域に関係するものとして、400~500°C に保持されたとき生じる 475°C 脆化、600°C 以上で生じる σ 相脆化、900~1,000°C からの急冷で生じる高温脆化があげられる。キーパーは冷し金となることから、鋳接後ただちに急冷せず室温まで放冷することが推奨されており、今回の研究でも放冷していることから高温脆化は生じていないと考えられる。さらに、高 Cr フェライト系ステンレス合金は粒成長を起こしやすく、結晶粒の粗大化は一般に靱性の低下をもたらすとされている。森戸ら¹⁰⁾は、同時に口腔内に装着された磁石構造体とキーパーを観察し、キーパー材料のみに肉眼的変化が生じたことを報告し、技工操作に伴う加熱が影響しているものとしている。さらに長谷川ら⁶⁾は、700°C でキーパーを加熱したときにハイコレックス用キーパーにヌーブ硬さの減少と結晶の成長が生じたことを報告している。しかし、この報告では σ 相が出現する温度領域のみの検討であり、400°C でのリングの途中係留や溶融した鋳造合金との接触時の高温の影響については不明である。また、鋳造合金に対する溶体化処理、硬化熱処理による繰り返し加熱の影響も明らかではない。そこで、本研究においては実際の鋳接行程に従って試料を製作して硬さと結晶について検討することとした。今回の研究では、より多くの因子が関係すると考えられるキーパー材と鋳造合金の接合界面での両金属の接触による影響を除外し、鋳接、熱処理行程がそれぞれの金属に及ぼす影響を検討するため、硬さ測定ならびに結晶の観察は接合界面から離れた場所を選択した。

2. 硬さに及ぼす鑄接および熱処理の影響

1) 12% 金銀パラジウム合金

12% 金銀パラジウム合金の硬さは鑄接後の状態では 189.9~199.9, 溶体化処理後の硬さは 157.5~166.1, 硬化熱処理後の試料では 273.8~281.3 となり, 鑄造後にインゴットの状態から硬さが低下し, 溶体化処理でさらに低下した後, 硬化熱処理により増加し, 硬さは硬化熱処理, アズキャスト, 溶体化処理の順となった。この硬さの値は中村¹¹⁾の報告と比べいずれの処理状態でもいくぶん大きな値を示し, メーカー表示値 (溶体化処理後 146, 硬化熱処理後 280) に比べた場合, 溶体化処理でわずかに硬く硬化熱処理で同等の値となった。また, 大和屋¹²⁾の報告 (溶体化処理後 143, 硬化熱処理後 271), 中村¹³⁾の報告 (溶体化処理後 165, 硬化熱処理後 295) と比べいずれも近似したものであった。12% 金銀パラジウム合金のアズキャスト, 溶体化処理, 硬化熱処理における硬さの値からキーパーと鑄接された状態であっても所定の熱処理効果が得られたものと考えられた。

2) キーパー

(1) ハイコレックススリムキーパー

キーパーの硬さはコントロール (HV: 246) に比べ鑄接後に低下 (HV: 220~223) し, 12% 金銀パラジウム合金に対する溶体化処理後にさらに減少 (HV: 205~207) した。これに引き続いて行った硬化熱処理後にはわずかに変化した (HV: 206~210) が, 溶体化処理後と比べ有意差を示さなかった。また, 600, 700, および 800°C と係留温度の異なる試料の間の比較では鑄造後, 溶体化処理後, 硬化熱処理後のいずれの条件においても硬さに有意差を示さなかった。長谷川ら⁹⁾の報告 (コントロール: 267, 700°C 15 分加熱後: 213, 700°C 30 分加熱後 222) と比較すると, 初期状態 (コントロール) ではわずかに硬さの値が低く, 鑄接後ではわずかに高い値を示したがいずれも近似した値であった。長谷川ら⁹⁾の報告では, 700°C 15 分加熱より 30 分加熱のほうが硬さが増加しており, 今回のアズキャストの値は 30 分加熱の値により近似していた。長谷川らの研究では, 700°C の加熱であったため 475°C 脆化は起こらず, さらに短時間であったため σ 相脆化による影響も顕著には表れなかったと考えられる。このことが 200, 400°C で係留した後最終係留をして鑄造した今回の研究と硬さに相違があった一因と考えられた。溶体化処理後, 硬化熱処理後の値は長谷川ら⁹⁾の報告における繰り返し加熱後の値と近似していた。高 Cr フェライト系ステンレス合金に対する 600~800°C の後熱処理は靱性を劣化させるとされており⁹⁾, 長谷川ら⁹⁾の繰り返し加熱や本研究における溶体化処理による 700°C での再加熱の影響と加熱後の結晶粒の粗大化が硬さ低下の原因になったと考えられた。

12% 金銀パラジウム合金の硬さと比べた場合, アズ

キャストではほぼ同レベルとなり溶体化処理後には金銀パラジウム合金よりも硬く, 硬化熱処理後では低い値を示した。したがって, 実際の使用状況であるアズキャストあるいは硬化熱処理後の根面板では, 12% 金銀パラジウム合金とキーパーはアズキャストではどちらか一方が片寄って摩耗することはないと考えられたが, 硬化熱処理後ではキーパーがやや傷付きやすいと考えられた。さらに磁石構造体との接触を考えた場合, 非加熱状態である磁石構造体吸着面はコントロールの硬さと同一とみなすことができ, 鑄造後, 熱処理後の硬さと比較すると非加熱の磁石構造体のほうがいくぶん硬いことから, 磁石構造体吸着面を摩耗させることはないと考えられた。

(2) マグフィット 600 キーパー

キーパーの硬さは非加熱の場合 (HV: 264) に比べ, 鑄接後に有意に低下した。しかし, 12% 金銀パラジウム合金に対する溶体化処理後, 硬化熱処理後の硬さはほとんど変化しなかった。600, 700, および 800°C と係留温度の異なる試料の間の比較では鑄造後, 溶体化処理後, 硬化熱処理後のいずれの条件においても硬さに有意差を示さなかった。長谷川ら⁹⁾の報告 (コントロール: 246, 700°C 15 分加熱後: 224, 700°C 30 分加熱後 268) と比較すると, 初期状態 (コントロール) ではわずかに硬く鑄接後では低い値を示した。また, 溶体化処理後, 硬化熱処理後の値は長谷川ら⁹⁾の報告における繰り返し加熱後の値 244 と比べ 160 前後と低い値を示した。長谷川ら⁹⁾の報告より, 加熱後の硬さが低い値を示したにもかかわらず結晶粒度には著しい粗大化は観察されず硬さが低下した原因については, 金属組織に対するより詳細な分析により解明する必要があると考えられた。

12% 金銀パラジウム合金の硬さと比べた場合, 溶体化処理後ではほぼ同レベルであったもののアズキャスト, 硬化熱処理後では 12% 金銀パラジウム合金より低い値を示した。したがって, 実際の使用状況であるアズキャストあるいは硬化熱処理後の根面板では, 12% 金銀パラジウム合金と加熱後のキーパーが接触した場合にキーパーのほうがわずかではあるが傷付きやすいと考えられた。さらに磁石構造体との接触を考えた場合, 非加熱状態である磁石構造体吸着面はコントロールの硬さと同一とみなすことができ, 鑄造後, 熱処理後の硬さと比較すると非加熱の磁石構造体のほうがいくぶん硬いことから, 磁石構造体吸着面を摩耗させることはないと考えられた。

3. キーパーの結晶粒度

1) ハイコレックススリムキーパー

非加熱のコントロールでは, 長谷川ら⁹⁾の報告と同様に, 結晶粒は約 100 μm の粒径をした多角形で粒界は不鮮明であった。アズキャストでは 600, 700°C の場合, 長谷川ら⁹⁾の報告のように, ほとんどすべての結晶粒が 300~400

μm まで成長することはなく、粒径が約 $100\ \mu\text{m}$ の結晶粒の間に径が $200\ \mu\text{m}$ 内外の粗大な結晶粒が観察された。溶体化処理、硬化熱処理後には粗大な結晶粒はいくぶん成長するとともにその割合は増加した。これに対し 800°C 係留では $600, 700^\circ\text{C}$ 係留の場合に比べ、アズキャストでは粒径が $150\ \mu\text{m}$ 以上へと成長した結晶粒が増加した。さらに 800°C 係留の試料では溶体化処理、硬化熱処理と熱処理が進むにつれて、粗大な結晶粒が増加するとともに結晶粒界が明瞭となり、硬化熱処理後の試料では長谷川ら⁶⁾の報告と同様 $300\sim 400\ \mu\text{m}$ まで成長した結晶粒が観察された。また、 $600, 700^\circ\text{C}$ 係留の場合に比べ、熱処理が進むにつれて結晶粒はより粗大化し、大きな結晶が占める割合も増加した。ハイコレックススリムキーパーのような高 Cr フェライト系ステンレス合金は粒成長を起しやすいとされており⁸⁾、今回の観察結果も同様の所見を示した。結晶粒度と靱性を直接関係づけるのは難しいとされるが、結晶粒の粗大化は一般に靱性の低下をもたらすとされる⁹⁾ことから、キーパー加熱後に硬さが減少した原因の 1 つに結晶粒の粗大化があると考えられた。さらに結晶粒界には、エッチングされやすい部分が太い線として表れ、粒界部に腐食感受性の高い部分があることが推察された。

2) マグフィット 600 キーパー

非加熱のコントロールのキーパーでは、長谷川ら⁶⁾の報告と同様に、結晶粒は約 $30\ \mu\text{m}$ の粒径で粒界の明瞭な多角形を示す部分もあったが全般に粒界は不鮮明であった。 $600, 700^\circ\text{C}$ の場合、アズキャストでは約 $30\ \mu\text{m}$ の粒径の結晶粒の間に径がやや大きいものが認められ、粒界もより鮮明になったが、ハイコレックススリムキーパーのような結晶粒の著しい成長は観察されなかった。溶体化処理、硬化熱処理後にも結晶粒の成長は観察されなかったが、熱処理が進むにつれて結晶粒界が明瞭となった。 800°C 係留では、アズキャストでは粒径が約 $40\ \mu\text{m}$ と成長し、結晶粒界が $600, 700^\circ\text{C}$ 係留の場合に比べ鮮明に表れた。さらに溶体化処理、硬化熱処理と熱処理が進むにつれて結晶粒界がより明瞭となり、エッチングに対する感受性が増していることがうかがえたが、結晶粒の大きさや粗大な結晶の割合の増加はハイコレックススリムキーパーと異なり観察されなかった。長谷川ら⁶⁾の報告では 700°C 加熱後の組織でも結晶粒界が不鮮明のままであったが、本研究では結晶粒界が鑄造、加熱後により鮮明となっており、 $600\sim 800^\circ\text{C}$ で熱処理を行うと粒界への炭素化合物の析出により靱性が低下するとされていること⁹⁾から、この影響で硬さが低下したと考えられた。

4. 鑄接、熱処理の臨床応用上の意義

磁性アタッチメントでは、磁石構造体とキーパーがきちんと密着していないと所定の吸引力を発揮することができないため、キーパーと磁石構造体の吸着面は高精度の適合

が求められる。磁性合金による根面板の鑄造では、この適合を得ることが難しいため、現在では一般的に既成のキーパーを何らかの方法で根面板に組み込む方式が主流である。本邦では磁性アタッチメントのキーパーは、現在ほとんどが歯科用合金と鑄接して使用されている^{14,15)}が、セメント合着法やねじで固定する方法も紹介されている¹⁶⁻¹⁹⁾。鑄接法は術式が簡単であり、キーパーの脱落も稀であることから広く用いられているが、鑄接に伴う加熱は本来そのような加熱を想定していないステンレス鋼にとっては苛酷な条件であり、矯正用のステンレス線の蠟着における加熱の研究^{20,21)}では、ステンレス線は蠟着過程で 400°C 以上に加熱されると耐食性が低下すると報告されている。本研究で使用了磁性アタッチメントのキーパーは、これらのステンレス合金に比べ耐食性に優れた高 Cr フェライト系ステンレス合金を使用しているが、鑄接に伴いその特性が変化する可能性がある。本研究の結果から、いずれのキーパーも最終係留温度が高い試料のほうが結晶粒界が鮮明となり、さらに粒界に析出物の観察されるものもあった。このことは、腐食感受性が増加したことをうかがわせるものであった。この結果から、鑄接にあたっては鑄造精度を損ねない範囲で高温係留を避けるべきであると考えられた。

12% 金銀パラジウム合金の熱処理に伴う加熱は、ハイコレックススリムキーパーでは硬さの低下を生じた。また、いずれのキーパーも熱処理が進むにつれ結晶粒界が鮮明となり、粒界に析出物も観察されるようになった。中村¹¹⁾は、これらの熱処理を行った 12% 金銀パラジウム合金の疲労強度の検討のなかで、メーカー指示通りに硬化熱処理を行ってもアズキャストの状態以上の耐久性が得られないと報告している。この点とあわせて考えると、キーパーを鑄接した根面板はアズキャストの状態で用いることが、熱履歴に伴う悪影響を回避するうえで重要であることが示唆された。さらに、耐食性に対する危惧を回避するためには、キーパーの加熱を避けることが必要であり、キーパーが脱落しないようなセメント合着法や可撤式キーパー²²⁻²⁵⁾が有効であり、今後は鑄接法に匹敵する程度に技工操作の簡便な方法が開発されることが必要になると考えられた。

V. 結 論

鑄接ならびに鑄造合金に対する熱処理が磁性アタッチメントのキーパーに及ぼす影響を検討することを目的とし、12% 金銀パラジウム合金で鑄接したキーパーの鑄造後、溶体化処理後、硬化熱処理後のビッカース硬さの測定ならびにキーパーの金属結晶組織の観察を行い、以下の結論を得た。

1. ハイコレックススリムキーパーの硬さは、加熱して

いない未処理のものに比べ鑄接後, 12% 金銀パラジウム合金に対する溶体化処理後において有意に減少したが, 硬化熱処理後には溶体化処理後と比べて変化を生じなかった。

2. マグフィット 600 キーパーの硬さは, 加熱していない未処理のものに比べ鑄接後において有意に減少したが, 12% 金銀パラジウム合金に対する溶体化処理後, 硬化熱処理後には変化を生じなかった。

3. ハイコレックススリムキーパーの金属組織の観察では, コントロールの結晶粒径に比べ鑄接後に粗大な結晶粒が出現し熱処理が進むとその割合はさらに増加した。800°C 係留の場合には, 600, 700°C 係留の場合に比べ, 結晶粒の成長が著明であり, 結晶粒界もより鮮明であった。

4. マグフィット 600 キーパーの金属組織の観察では, コントロールの結晶粒径に比べ鑄接後に結晶粒がいくぶん成長したが, ハイコレックススリムキーパーのような成長は観察されなかった。溶体化処理後, 硬化熱処理後にも大きな結晶粒は増加しなかったが, 熱処理が進むにつれて結晶粒界が明瞭となった。800°C 係留の場合には, 600, 700°C 係留の場合に比べ結晶粒界がより鮮明であった。

このことから, 高温の 800°C での係留や繰り返し加熱となる熱処理はキーパー材にとって好ましくないものであり, 鑄造操作上問題のない範囲で低い係留温度を用い, アズキャストで使用する事が望ましいと考えられた。

本研究の一部は 76th General Session of the IADR (平成 10 年 6 月 24~27 日, ニース, フランス) において発表した。

文 献

- 1) Okuno O, Ishikawa S, Iimuro FT et al. Development of sealed cup yoke type dental magnetic attachment. Dent Mater J 10: 172-184, 1991.
- 2) 田中貴信, 本蔵義信, 平沼謙二ほか. サンドイッチ型磁性アタッチメントに関する臨床的検討. 補綴誌 35: 599-608, 1991.
- 3) 水谷 紘, 藍 稔. 磁性アタッチメント—その特性を生かした臨床応用法—. QDT 16: 91-102, 1991.
- 4) 島田和広, 平田順子, 石川 晋ほか. 鑄造リングの加熱繫留条件や埋没材の違いがキーパーの酸化膜形成に及ぼす影響. 日磁歯誌 3: 69-70, 1994.
- 5) 中村和夫, 水谷 紘, 藍 稔ほか. 磁性合金の補綴領域における応用 第 8 報 ネオジム磁石を応用した磁性アタッチメント. 補綴誌 39: 94 回特別号: 139, 1995.
- 6) 長谷川欽司, 森戸光彦, 平野 進ほか. 磁性アタッチメント用キーパーの加熱と酸処理による影響について. 日磁歯誌 5: 51-

- 57, 1996.
- 7) 溶接学会編. 溶接・接合便覧, 東京: 丸善, 1990.
- 8) ステンレス協会編. ステンレス鋼便覧 第 3 版, 東京: 日刊工業新聞社, 1995.
- 9) 大山 正, 森田 茂, 吉武進也. ステンレスのおはなし, 東京: 日本規格協会, 1990.
- 10) 森戸光彦, 長谷川欽司, 平野 進ほか. 磁性アタッチメント用キーパーの臨床的観察. 日磁歯誌 5: 45-50, 1996.
- 11) 中村英雄. 金銀パラジウム合金鑄造体の疲労強度に及ぼす熱処理の影響. 歯材器 16: 141-154, 1997.
- 12) 大和屋文彦, 中村健吾, 後藤真一. 鑄造用銀パラジウム合金の諸性質に及ぼす金添加の影響. 歯材器 4: 730-753, 1985.
- 13) 中村健吾. 銀・パラジウム・銅合金の諸性質. DE 75: 14-24, 1975.
- 14) 田中貴信. 磁性アタッチメント. 磁石を利用した新しい補綴治療, 東京: 医歯薬出版, 1992.
- 15) 水谷 紘, 石幡伸雄, 中村和夫, 藍 稔監修. 磁性アタッチメントを用いた部分床義歯, 東京: クインテッセンス出版, 1994.
- 16) Gillings BRD. Magnetic retention for the overdenture. In: Brewer AA, Morrow RM, editors, Overdentures 2nd ed 364-397, St. Louis: C.V. Mosby, 1980.
- 17) Gillings BRD. Overdenture with magnetic attachments. Dent Clin North Am 34: 683-709, 1990.
- 18) 服部正巳, 浅井治彦, 甲藤克彦ほか. 在宅歯科診療を考慮したキーパーの接着固定法の検討. 日磁歯誌 6: 50-56, 1997.
- 19) 石田 隆, 水谷憲彦, 中村好徳ほか. キーパーハウジングを用いた磁性アタッチメントキーパーのセメント固定法に関する実験的検討. 補綴誌 42: 99 回特別号: 100, 1998.
- 20) Berge M, Gjerdet NR, Erichsen ES. Corrosion of silver soldered orthodontic wires. Acta Odontol Scand 40: 75-79, 1982.
- 21) Gjerdet NR, Hero H. Metal release from heat-treated orthodontic archwires. Acta Odontol Scand 45: 409-414, 1987.
- 22) 中村和夫, 石川 晋, 藍 稔ほか. MRI 対策としてのキーパー可撤法の検討. 日磁歯誌 1: 71-75, 1992.
- 23) Masumi S, Nagatomi K, Miyake S et al. Removable magnetic dental attachment that permits magnetic resonance imaging. J Prosthet Dent. 68: 698-701, 1992.
- 24) 大川周治, 田嶋英明, 赤川安正ほか. 磁性アタッチメントの可撤式キーパーに関する一考察—MRI 対策として—. 日磁歯誌 2: 37-42, 1993.
- 25) 鱈見進一, 小座本まゆみ, 城戸寛史ほか. 既成キーパーを利用した可撤式機構の検討. 日磁歯誌 3: 30-35, 1994.

著者連絡先: 中村 和夫

〒113-8549 東京都文京区湯島 1-5-45

TEL・FAX 03-5803-5516