

## インプラント材としての Ti-6Al-4V 合金の変態温度と 機械的性質の関係

土井 和弘

松本歯科大学 大学院歯学独立研究科 硬組織疾患制御再建学講座  
(主指導教員：永澤 栄 教授)

松本歯科大学大学院歯学独立研究科博士（歯学）学位申請論文

Relationship between mechanical properties and transformation  
temperature of Ti-6Al-4V alloy for Implant materials

KAZUHIRO DOI

*Department of Hard Tissue Research, Graduate School of Oral Medicine,  
Matsumoto Dental University  
(Chief Academic Advisor : Professor Sakae Nagasawa)*

The thesis submitted to the Graduate School of Oral Medicine,  
Matsumoto Dental University, for the degree Ph.D. (in Dentistry)

### 【目的】

インプラント治療の普及に伴い、インプラント体の破折が数多く報告されるようになった。インプラント体の破折原因の一つには咬合関係を考えない不用意な埋植が挙げられるが、インプラント材料自体の強度不足も大きな原因である。

現在インプラント材料としては JIS 第 4 種純チタンが主に使用されているが、耐力は 500MPa、疲労強度は 250MPa 程度であるのに対し、チタン、アルミニウム、バナジウムの合金である Ti-6Al-4V 合金の耐力は 800MPa、疲労強度は 650MPa 程度と格段に大きく、破折不いインプラント材料として注目されている。工業界では Ti-6Al-4V 合金の材質の向上を得るためには 968℃で 60分加熱し、溶体化処理を行い、ついで 538℃で 4時間加熱することが指示されている。大気中で加熱することは材料の酸化を誘発するた

めに、これを回避するにはガス雰囲気中での処理が必要になってくる。しかし、ガス雰囲気での熱処理には高額な装置を必要とする。したがって、大気雰囲気中での酸化を軽減するために加熱温度をできるだけ低くして、短時間での処理を検討する必要がある。

Ti-6Al-4V 合金は、500℃付近において変態が生じる。したがって、この温度を利用し、インプラント材料に、より適した材質に改良できる可能性がある。そこで、Ti-6Al-4V 合金を 450℃、500℃、550℃、600℃、650℃で加熱処理を行い、引張強さ、耐力、伸び、硬さ、金属組織について検討し、さらに X線回折により析出物についての検討を行った。

### 【材料ならびに方法】

実験には、Ti-6Al-4V 合金（大同特殊鋼）直径 5 mm、長さ 100mm を用い、以下の項目につい

て検討した.

1. 変態温度の測定: 加熱速度 $0.3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の条件で $1000^{\circ}\text{C}$ までの熱膨張.
2. 熱処理:  $450^{\circ}\text{C}$ ,  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $550^{\circ}\text{C}$ ,  $650^{\circ}\text{C}$ , 1時間  $500^{\circ}\text{C}$ , 0.5, 1.0, 1.5, 2時間.
3. 引張強試験: 引張り速度 $0.5\text{mm}/\text{min}$ , 引張強さ, 耐力, 伸びの測定.
1. 硬試験: 試験片横断面の端から $0.1\text{mm}$ , 中間部の $1.25\text{mm}$ と中心部のビッカース硬さ測定.
2. 金属成分の面分析: 試験片横断面の中間部位, XMA (JEOL) 使用.
3. 組織観察: 試験片横断面の端, 中間部, 中心部, レーザ顕微鏡 (オリンパス) 使用.
4. 破断面の観察: 引張試験後の破断面の観察, 電子顕微鏡 (JEOL) 使用.
5. X線回折: 直径 $8\text{mm}$ の棒材を厚さ $1\text{mm}$ の板に流水下で削り出し, X回折装置 (JEOL) 使用.

**【結果および考察】**

1. 熱膨張試験より $450^{\circ}\text{C}$ から $650^{\circ}\text{C}$ の間に変態温度が存在することが判明した.
2. 工業界の熱処理条件で処理した Ti-6Al-4V 合金の引張強さは, 処理前と比較して約 $12.7\%$ 増加, 耐力は $22\%$ 増加, 硬さは $46\%$ 増加したが, 伸びは $74\%$ 減少した.
3. 低温で熱処理した試験片の引張り強さは  $500^{\circ}\text{C}$ で処理した場合, 処理前と比較して $9.4\%$ の増加で, 最大であった. 耐力は $500^{\circ}\text{C}$ と $550^{\circ}\text{C}$ はほとんど差がなく約 $24\%$ の増加であった. 硬さも $500^{\circ}\text{C}$ と $550^{\circ}\text{C}$ が約 $8.4\%$ の増加であった.  $500^{\circ}\text{C}$ の伸びの減少は, わずか $11.3\%$ であった.
4. 最も効果のあった $500^{\circ}\text{C}$ における加熱時間の影響は, 60分加熱した試験片が引張り強さ, 耐力, 伸びにおいて, わずかに優れていた.
5. X線回折の結果から, 熱処理の効果は Ti<sub>3</sub>Al 規則格子の析出と, 軟質な $\beta$ 相の増大との兼ね合いによるものと考えられた.
6. 以上の結果から, Ti-6Al-4V 合金を $500^{\circ}\text{C}$ で60分加熱することにより, インプラント材料に適した性質を付与することができるものと考えられた.