

氏 名	ユセーフ アブデル ハリム アル-アブダラット Yousef Abdel Halim Al-Abdullat
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2148 号
学位授与の日付	平成 14 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 機 械 工 学 専 攻
学位論文題目	Biomedical Engineering of Magnesium Behaviors in Simulated Body Fluid (疑似体液中のマグネシウムの挙動に関する医工学的研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 池 内 健 教 授 大 谷 隆 一 教 授 堤 定 美

論 文 内 容 の 要 旨

生体用の金属材料として最も広く用いられているステンレス鋼 (SUS316L) やチタニウム合金 (Ti-6Al-4V) の生体毒性が低いことが知られているが、それらは完全に無毒ではない。特に金属イオンが全身に分布した時の長期的影響についてはまだ十分に解明されていない。また特定の金属に対するアレルギー患者にその金属を埋植すれば致命的な結果を招く可能性がある。一方、マグネシウムは軽量で毒性がほとんど無いばかりでなく、骨へのカルシウムの導入に不可欠な金属であるので、薬品として用いられている。しかしマグネシウムおよびその合金は体内環境下における耐食性が低いため、これまでほとんど生体材料として用いられることがなかった。

本論文の目的は、マグネシウムおよびその合金を対象とする新しい表面処理技術を開発し、マグネシウムの耐食性を向上させて、生体材料として体内で長期間使えることを可能とし、走査型電子顕微鏡、エックス線解析、エックス線回折解析等を用いて改質した材料の特性を評価することであった。

第1章ではアパタイト、チタニウム等の生体材料と比較してマグネシウムの特性を紹介し、その耐食性を向上させることの意義について述べている。

第2章では耐食性向上のための表面処理の方法と手順を紹介し、最も有力な方法はアルカリ性水溶液と熱処理を組み合わせたものであると予測している。一方、マグネシウムの耐食性を評価するための試験法として、本研究で採用したエックス線回折による表面解析、走査電子顕微鏡による観察、エネルギー分散型エックス線解析の概要について述べている。さらに耐食性試験の手順と定量評価法について記述している。また培養細胞の生存率が50%に減少する濃度から試料の毒性を評価する細胞毒性試験法 (NR50) の概要を述べている。

第3章ではマグネシウムとその合金の疑似体液中における化学反応と細胞毒性を調べて耐食性と生体適合性を評価している。まず各種のマグネシウム塩類を培養細胞に添加して50%生存率の濃度を測定した結果、マグネシウム塩類の細胞毒性がきわめて低いことを確認している。ついで、純マグネシウムとマグネシウム合金製のプレート状の試料を用いてハanks溶液中での腐食性を調べ、耐食性マグネシウム合金に比べて純マグネシウムの耐食性ははるかに低いことを明らかにしている。しかし純マグネシウムを熱処理して表面に酸化被膜を形成させれば耐食性を著しく向上させることができ、表面にマグネシウムを含有するアパタイト層が形成されることを確認している。

第4章では純マグネシウムとマグネシウム合金の疑似体液中における耐食性向上の機構について述べている。マグネシウム合金ではカルシウムとリンのセメント状多層構造が形成され、耐食性が向上することを明らかにしている。一方、純マグネシウムを炭酸水素ナトリウムで処理すれば表面に炭酸マグネシウムの層が形成されて耐食性が向上することを示している。またハanks溶液中でのカルシウムとリンの析出による表面層の形成はマグネシウム表面の水酸化マグネシウムとハanks溶液中のカルシウムイオンとリンイオンの相互作用によることを確認している。表面に形成されるアパタイトは高度な生体適合性を有するので、マグネシウムは今後、医学と歯学の分野において広く用いられると予測している。

第5章では炭酸水素ナトリウムによる純マグネシウムの表面処理に焦点を絞った研究結果を示している。実験結果より炭酸マグネシウムの保護膜を最もよく形成する pH の最適値は8.3であり、十分な保護膜を有する純マグネシウム表面においてはハンス溶液中でカルシウムとリンよりなる保護膜が形成されることを実証している。

第6章では純マグネシウムを熱処理後にハンス溶液に浸漬したときに形成される表面層の分析結果を示し、マグネシウムアパタイトの存在を実証するとともに、熱処理によって材質が均質化されて表面層の形成が促進されることを示している。また、表面層の強度を測定し、超音波洗浄に耐えることを示している。第7章は結果のまとめと結論である。

以上、本論文は金属の中で最も生体適合性の良いマグネシウムをとりあげ、生体材料として使用可能とするために、その耐食性を向上させることを目的としたものである。まず純マグネシウムを表面処理することにより、酸化被膜が形成されて耐食性が著しく向上することを発見している。次いで擬似体液中でマグネシウムアパタイトの強固な被膜が形成されて耐食性がさらに向上するので、生体内への埋植材料として使用できることを実証している。

論文審査の結果の要旨

マグネシウムは生体適合性の最もすぐれた金属であるが、耐食性が不十分であるため、これまでほとんど生体材料として用いられなかった。本論文はマグネシウムに表面処理を施すことによって、その耐食性を向上させる技術を開発し、また体液中ではアパタイトの析出によって表面に保護層が形成されることを発見し、その形成機構を解明したものであり、得られた成果は以下のとおりである。

1. 数種類のマグネシウム塩類とナトリウム、カルシウム、ニッケル、銅の化合物を用いて、擬似体液中で細胞毒性試験を行った結果、マグネシウム塩の毒性が特に低いことを実証した。
2. 純マグネシウムとマグネシウム合金に、アルカリ性水溶液への浸漬と熱処理を組み合わせる表面処理法を開発し、強固な保護膜の形成によりマグネシウムの耐食性が著しく向上することを示した。
3. 純マグネシウムを炭酸水素ナトリウム水溶液で表面処理する場合に、pH8.3の条件において炭酸マグネシウム主成分とする保護膜の形成速度が最大になることを明らかにした。
4. 擬似体液中ではマグネシウムの表面にマグネシウムアパタイトの層が形成されて耐食性と生体適合性が向上することを示し、表面層の成分分析とその形成機構の解明を行った。
5. マグネシウムアパタイトの層は表面に強固に固着しているので、超音波洗浄に耐えるだけでなく、骨組織と接着することが可能であることを示した。

以上、本論文はマグネシウムの表面処理技術を開発し、擬似体液中での保護膜の形成によって耐蝕性と生体適合性が向上することにより、医歯学の広い分野で生体材料として使用可能となることを示したもので、学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成14年2月28日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。