

氏 名	ろんでいねっら あるふれど RONDINELLA ALFREDO
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 9 1 2 号
学位授与の日付	平成 31 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	工芸科学研究科 物質・材料化学専攻
学 位 論 文 題 目	INNOVATIVE APPROACHES TO BIOMATERIALS' TECHNOLOGY THROUGH SYSTEMATIC SPECTROSCOPIC ANALYSES (組織的分光分析評価における最先端生体材料への革新的アプ ローチ)
審 査 委 員	(主査)教授 PEZZOTTI Giuseppe 教授 森田辰郎 准教授 朱 文亮

論文内容の要旨

私たち人間の平均寿命の増加および習慣やライフスタイルの変化により、人工股関節全置換術 (THA) の手術数は、過去数十年間で著しく増加している。

この論文では、このような背景を受け、人工股関節の最も重要な構成要素であるジルコニア強化アルミナ (ZTA) 製の大腿骨頭と超高分子量ポリエチレン (UHMWPE) 製の臼蓋カップの間で生じる劣化現象について、分光学的手法を用いた解析を行っている。人工関節内で生じている劣化現象の解明は、再手術の必要性やこれらにかかる費用を下げる事へと繋がり、ひいては患者の人生の改善に結び付く、最も重要なポイントである。

この原因の一つとして、金属の遷移汚染が ZTA 劣化を加速している事が解明され、予測データと生体内データとの間の食い違いを減少させることが明確化された。更に、ZTA に対する UHMWPE の摩耗挙動に注目し、将来的に生体材料として有望視されている非酸化物材料の窒化ケイ素 (Si_3N_4) と比較検討を行なった結果、 Si_3N_4 ベースのセラミックスは「酸素浄化」効果を有することが分かった。

この研究の結果として、 Si_3N_4 の表面予備酸化が Si_3N_4 /UHMWPE の組み合わせの摩擦学的な特性を改善し、湿潤条件下で対応する UHMWPE の酸化を低減することが確認された。

論文から得られた知見は、生体内でのセラミックスの挙動に関する最先端の識見の提供を可能にした。また、人工股関節部品の性能改善を目的として、これらのデータを使用し、関節部材を含む人工関節の使用耐用年数の延長につながると期待できる。

論文審査の結果の要旨

本論文では、人間の長寿化に伴う人工股関節置換手術数の著しい増加を背景として、その最重要構成部材であるジルコニア強化アルミナ(ZTA)製の骨頭と超高分子量ポリエチレン製のカップに関し、精緻な分光学的手法を用いて劣化現象に係る系統的な検討を行っている。

得られた結果により、金属による遷移汚染が ZTA の劣化を加速させることが明確化され、この知見が予測データと生体内データとの相違減少に役立つ事が証明された。また ZTA と超高分子量ポリエチレンの摩耗挙動に注目して検討を進めた結果、将来的に有望視されている非酸化物材料である窒化ケイ素と比較しても、ZTA が優れた「酸化浄化」効果を有する事が明らかになった。

この論文により、生体内でのセラミックスの挙動に関する最先端の識見の提供が可能となった。また、人工股関節構成部材の性能改善が可能となり、ひいては人工股関節の使用耐用年数の延長をもたらすと期待される。

以上より、本論文は学術的および工業的に興味深く、極めて有用であると高く評価できる。本論文の基礎となった学術論文 6 編は、全てレフェリー制度の確立している著名な学術雑誌に掲載されており、内 3 編は申請者が筆頭著者である。その他、申請者が関係する参考論文が 2 編ある。

基礎となった学術論文リスト

- ① Alfredo Rondinella, Saverio Affatato, Elia Marin, Wenliang Zhu, Bryan J. McEntire, B. Sonny Bal, Toshiyuki Tateiwa, Kengo Yamamoto, Giovanni Valdré, Giuseppe Pezzotti, “*In toto* microscopic scanning of ZTA femoral head retrievals using CAD-assisted confocal Raman spectroscopy”, *Materials & Design*, 116 (2017): 631-637
- ② A. Rondinella, E. Marin, F. Boschetto, M. Zanocco, W. Zhu, S. Affatato, K. Yamamoto, T. Tateiwa, G. Pezzotti, “Degradation phenomena occurring in the conical taper of a short-term retrieved ZTA femoral head: A case study”, *Materials & Design*, 157 (5), (2018): 362-370
- ③ Giuseppe Pezzotti, Saverio Affatato, Alfredo Rondinella, Makiko Yorifuji, Elia Marin, Wenliang Zhu, Bryan McEntire, Sonny B. Bal, Kengo Yamamoto, “In Vitro versus In Vivo Phase Instability of Zirconia-Toughened Alumina Femoral Heads: A Critical Comparative Assessment”, *Materials*, 10 (2017), 466; doi:10.3390/ma10050466
- ④ Elia Marin, Alfredo Rondinella, Wenliang Zhu, Bryan J. McEntire, B. Sonny Bal, Giuseppe Pezzotti, “Wear and surface degradation of commercial ZTA femoral heads under boundary lubrication conditions”, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 65 (2017): 616-626
- ⑤ Giuseppe Pezzotti, Wenliang Zhu, Nobuhiko Sugano, Elia Marin, Kengo Yamamoto, Naomichi Nishiike, Tsubasa Hori, Alfredo Rondinella, Bryan J. McEntire, Ryan Bock, B. Sonny Bal, “Oxide ceramic femoral heads contribute to the oxidation of polyethylene liners in artificial hip joints”, *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 82 (2018): 168-182
- ⑥ A. Rondinella, E. Marin, M. Zanocco, F. Boschetto, G. Pezzotti, “Surface pre-oxidation improves the wear performance of Si₃N₄ against UHMWPE”, *Applied Surface Science*, 463 (2019): 1037-1045

参考論文リスト

- ① Giuseppe Pezzotti, Elia Marin, Tetsuya Adachi, Alfredo Rondinella, Francesco Boschetto, Wenliang Zhu, Nobuhiko Sugano, Ryan M. Bock, Bryan McEntire & Sonny B. Bal, Bioactive silicon nitride: A new therapeutic material for osteoarthropathy, SCIENTIFIC REPORTS, 7: 44848/DOI:10.1038/srep44848,(2017)

② Giuseppe Pezzotti, Elia Marin, Tetsuya Adachi, Federica Lerussi, Alfredo Rondinella, Francesco Boschetto, Wenliang Zhu, Takashi Kitajima, Kosuke Inada, Bryan J. McEntire, Ryan M. Bock, B. Sonny Bal, and Osam Mazda, Incorporating Si₃N₄ into PEEK to Produce Antibacterial, Osteoconductive, and Radiolucent Spinal Implants, *Macromolecular Bioscience*, 2018, DOI:10.1002/mabi.201800033