

以上の結果から、MPC ポリマー処理は長期間の摩耗試験後まで十分に残存し、摩耗を低減させる効果を持続しうるため、新規な安定性の高い長寿命型人工股関節部材として期待される。

E. 結論

臨床応用されている骨頭のサイズより大きい、直径が 32 および 40 mm のコバルトクロム合金を用い、また CL-PE ライナーに生体適合性ポリマーである MPC ポリマーでナノスケールの表面処理を施すことで、摩耗量を著しく低減させることが可能となった。これらの研究成果は、高齢者の寝たきり予防に役立つ人工股関節部材の開発につながると期待される。

F. 健康危険情報

特になし。

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Konno T, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, and Ishihara K: Enhanced wear resistance of orthopaedic bearing due to the cross-linking of poly (MPC) graft chains induced by gamma-ray irradiation. *J Biomed Mater Res B* 84: 320-327, 2008.
- 2) Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, and Ishihara K: Effect of

2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine concentration on photo-induced graft polymerization of polyethylene in reducing the wear of orthopaedic bearing surface. *J Biomed Mater Res A* 86: 439-47, 2008.

- 3) Goto K, Hashimoto M, Takadama H, Tamura J, Fujibayashi S, Kawanabe K, Kokubo T and Nakamura T: Mechanical, setting and biological properties of bone cements containing micron-sized titania particles. *J Biomed Mater Sci* 19: 1009-1016, 2008.
- 4) Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, and Ishihara K. Effects of mobility/immobility of surface modification by 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine polymer on the durability of polyethylene for artificial joints. *J Biomed Mater Res A* (in press).
- 5) Liu G, Iwata K, Ogasawara T, Watanabe J, Fukazawa K, Ishihara K, Asawa Y, Fujihara Y, Chung UI, Moro T, Takatori Y, Takato T, Nakamura K, Kawaguchi H, and Hoshi K: Selection of highly osteogenic and chondrogenic cells from bone marrow stromal cells in biocompatible polymer-coated plates. *J Biomed Mater Res A* (in press).
- 6) Kyomoto M, Moro T, Iwasaki Y, Miyaji F, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K. Superlubricious surface

mimicking articular cartilage by grafting

poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) on

orthopaedic metal bearings. *J Biomed Mater Res A* (in press).

- 7) Moro T, Kawaguchi H, Ishihara K, Kyomoto M, Karita T, Ito H, Nakamura K, and Takatori Y: Wear resistance of artificial hip joints with poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) grafted polyethylene: Comparisons with the effect of polyethylene cross-linking and ceramic femoral heads. *Biomaterials* (in press).

2. 学会発表

① 国際学会

- 1) 中村耕三、川口浩、吉村典子、阿久根徹、岡敬之、村木重之、馬淵昭彦：変形性膝関節症：その課題とアプローチの現状（プレナリーレクチャー）第52回日本リウマチ学会総会・学術集会。2008. 4. 20-23. (札幌)
- 2) 中村耕三：変形性関節症：その課題とアプローチの現状：第52回日本リウマチ学会総会・学術集会。2008. 4. 28. (札幌)
- 3) 茂呂徹、高取吉雄、石原一彦、山本基、荻田達郎、伊藤英也、金野智浩、京本政之、山脇昇、中村耕三、川口浩：人工股関節のポリエチレンライナーにMPC処理を加える範囲が摩耗抑制効果に与える影響。第81回日本整形外科学会学術総会。2008. 5. 22-25. (札幌)
- 4) 中村耕三：変形性関節症：その課題と解決へのアプローチ。第30回伊藤・近藤メモリアルレクチャー。2008. 6. 7 (静岡)
- 5) 中村耕三：変形性関節症：その課題と解決へのアプローチ。第50回下野整形懇談会。2008. 6. 25. (栃木)
- 6) 橋本雅美、水野峰男、北岡諭：リン脂質ポリマーで表面処理した人工股関節用ポリエチレンライナーの摩耗特性評価。トライボロジー会議2008秋 名古屋。2008. 9. 18 (名古屋)。
- 7) 京本政之、茂呂徹、金野智浩、川口浩、高取吉雄、中村耕三、石原一彦：MPCポリマーによる高潤滑インターフェイスが長寿命型人工関節を実現する。東京大学生命科学研究ネットワークシンポジウム。2008. 9. 23 (東京)
- 8) 雑賀健一、京本政之、茂呂徹、金野智浩、川口浩、高取吉雄、中村耕三、石原一彦：高潤滑性ポリマーを用いた光開始グラフト重合法による長寿命型人工関節の開発。東京大学生命科学研究ネットワークシンポジウム。2008. 9. 23 (東京)
- 9) 石山典幸、茂呂徹、三浦俊樹、大江隆史、伊藤祥三、森崎裕、金野智浩、吉河美都奈、大山但、石原一彦、中村耕三、川口浩：組織癒着防止効果を有する生体適合性MPCゲルの開発。東京大学生命科学研究ネットワークシンポジウム。2008. 9. 23 (東京)
- 10) 石山典幸、茂呂徹、三浦俊樹、大江隆史、中村耕三、川口浩：腱癒着防止効果を有する生体内解離性MPCゲルの開発。第23回日本整形外科学会基礎学術集会。2008. 10. 23-24 (京都)。

- 11) 茂呂徹、川口浩、石原一彦、京本政之、山本基、苅田達郎、伊藤英也、齊藤貴志、中村耕三、高取吉雄：人工股関節ライナー表面の MPC グラフト処理による摩耗抑制効果：ライナーの架橋の有無および骨頭の材質による比較。第 23 回日本整形外科学会基礎学術集会。2008. 10. 23-24 (京都)。
- 12) 石山典幸、茂呂徹、三浦俊樹、大江隆史、伊藤祥三、森崎裕、大山但、吉河美都奈、金野智浩、中村耕三、川口浩、石原一彦：生体内解離性ポリマーハイドロゲルの癒着防止効果の組織学的・分子生物学的検討。日本バイオマテリアル学会シンポジウム 2008。2008. 11. 17-18. (東京)
- 13) 京本政之、茂呂徹、岩崎泰彦、宮路史明、金野智浩、川口浩、高取吉雄、中村耕三、石原一彦：リン脂質グラフトポリマーによる超潤滑性 Co-Cr-Mo 合金表面の創製。日本バイオマテリアル学会シンポジウム 2008。2008. 11. 17-18. (東京)
- 14) 苅田達郎、高取吉雄、伊藤英也、齊藤貴志、中村耕三：実物大骨モデルを用いた手術シミュレーション- 高度形態異常に対する人工股関節全置換術。第 57 回東日本整形災害外科学会。2008. 9. 12-13. (東京)
- 15) 伊藤英也、苅田達郎、高取吉雄、茂呂徹、齊藤貴志、中村耕三：セメントレス白蓋コンポーネントによる人工股関節再置換術の長期成績。第 35 回日本股関節学会。2008. 12. 5-6. (大阪)
- 16) 高橋寛、赤坂嘉之、伊藤英也、茂呂徹、門野夕峰、河野博隆、苅田達郎、高取吉雄、中村耕三：非典型的な画像所見を示した滑膜骨軟骨腫症に対する人工股関節全置換術の経験。第 49 回関東整形外科学会。2009. 3. 20-21. (東京)
- ② 国際学会
- 1) Moro T, Takatori Y, Ishihara K, Konno T, Kyomoto M, Yamamoto M, Karita T, Ito H, Nakamura K, Kawaguchi H: Grafting of biocompatible polymer on the liner surface for extending longevity of artificial hip joints. 8th World Biomaterials Congress (WBC) 2008. 5. 28-6. 1 (Amsterdam, The Netherlands)
- 2) Kyomoto M, Moro T, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Nanometer-scale high lubricious surface modification extends the durability of artificial joint. 8th World Biomaterials Congress (WBC) 2008. 5. 28-6. 1 (Amsterdam, The Netherlands)
- 3) Ishiyama N, Moro T, Miura T, Ohe T, Ito S, Konno T, Yoshikawa M, Ohyama T, Ishihara K, Nakamura K, Kawaguchi H: Investigation of biodissociated phospholipid polymer hydrogel that prevents tissue adhesion without impairing healing. 8th World Biomaterials Congress (WBC) 2008. 5. 28-6. 1 (Amsterdam, The Netherlands)
- 4) Moro T, Takatori Y, Kyomoto M, Ishihara K, Nakamura K, Kawaguchi H: Biocompatible phospholipid polymer grafting on liner surface of artificial hip joints enhances the wear

resistance independently of liner cross-linking of femoral head material. 2008 World Congress on Osteoarthritis (OARSI). 2008. 9.18-21 (Rome, Italy).

- 5) Moro T, Takatori Y, Ishihara K, Kyomoto M, Karita T, Ito H, Nakamura K, Kawaguchi H: The effect of biocompatible polymer grafting onto polyethylene liner surface: Improvement of lubricity regardless of the characteristics of bearing materials. The 55th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS). 2009.2.22-25 (Las Vegas, USA)
- 6) Ishiyama N, Moro T, Miura T, Ohe T, Ito S, Konno T, Yoshikawa M, Ohyama T, Ishihara K, Nakamura K, Kawaguchi H: Anti-adhesion effect without impairing healing of biocompatible phospholipid polymer hydrogel. The 55th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS). 2009.2.22-25 (Las Vegas, USA)
- 7) Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Brush-like structure only gives high durability to cross-linked polyethylene among various surface-modified layers with MPC polymer. The 55th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS). 2009.2.22-25 (Las Vegas, USA)

③ シンポジウム

- 1) 茂呂徹、川口浩、石原一彦、金野智浩、京本政之、山脇昇、橋本雅美、荻田達郎、伊藤英也、齋藤貴志、中村耕三、高取吉雄: MPC ポリマーの表面処理による低摩耗型人工関節. 日本バイオマテリアル学会シンポジウム 2008. 2008.11.17-18. (東京)

H. 知的財産権の出願・登録状況
なし

分担研究報告書

股関節シミュレーター試験における関節摺動面の評価

分担研究者 塙 隆夫（東京医科歯科大学 生体材料工学研究所 教授）
京本政之（日本メディカルマテリアル株式会社
研究部係責任者）

研究要旨：インプラント周囲の骨吸収と弛み、および脱臼は、人工股関節置換術後の術後成績を左右する合併症である。安定性と耐摩耗性を高め、高齢者の寝たきり予防に有効な革新的人工関節の開発を目的に、生体適合性に優れた Poly (2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) (PMPC) を人工股関節用 架橋ポリエチレン (CLPE) 表面に導入した。本研究では、耐脱臼性を高めるために、32 mm 以上へと骨頭径を大きくした人工股関節の表面観察を行い、人工股関節シミュレーション試験機を用いた 1000 万回におよぶ長期摩耗試験が与える影響について評価した。摺動面観察および 3 次元形状測定において、シミュレーション試験後の PMPC 処理 CLPE ライナーは、未処理 CLPE のそれらと比較して、高い耐摩耗性を示唆する結果が得られた。未処理 CLPE においては、骨頭径の増加にともなって、その摩耗量は増加しており、安定性と耐摩耗性がトレードオフの関係にあることが示された。一方、PMPC 処理 CLPE ライナーにおいては、骨頭径の増加による摩耗量の増加はほとんど認められず、高い安定性と耐摩耗性が両立する可能性が示唆された。また、組み合わせた大径コバルトクロム合金骨頭への攻撃性も認められないことが確認された。PMPC 処理は、安定性と耐摩耗性に優れ、高齢者の寝たきり予防に大きく貢献できる技術として期待される。

A. 研究目的

生体関節は、運動機能を支える重要な器官であり、関節の疾患は日常生活動作に大きな支障をきたす。重度の関節疾患に対し、人工関節置換術は、極めて有効な治療法の一つである。しかしながら、特に人工股関節置換術において、術後約 10～15 年で、関節摺動部の摩耗などにより発生した弛み (loosening) から再置換手術を余儀なくされる症例も少なくない。人工股関節摺動部の耐摩耗

性の向上は、これらの観点から望まれており、人工股関節の長寿命化の一環として非常に重要な課題である。また、人工股関節置換術後の脱臼も術後成績を左右する合併症である。人工関節置換術後の脱臼は、患者側にその原因を認める場合もあるが、手術手技やインプラントデザインが原因である場合も少なくない。患者側の脱臼発生の因子には、高齢、認知症などの精神疾患、関節リウマチなどの炎症性股関節疾患、感染、股

関節の手術歴、骨盤のアライメント異常などが挙げられる。一方、施術側の因子としては、アプローチ方法、シェル、ライナーの設置位置・角度、大腿骨ステムの前捻角、軟部組織の剥離、骨頭径、骨性インピンジメントなどが挙げられる。

そこで、優れた生体適合性を持つ Poly (2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) (PMPC) を光開始グラフト重合した架橋ポリエチレン (CLPE) 表面を創製した。そして、更に、この親水性・高潤滑性に優れたナノメートルオーダーの PMPC 表面を 32 mm 以上の大径骨頭と組み合わせて使用する CLPE ライナーへ導入した。その目的は、安定性と耐摩耗性に優れ、高齢者の寝たきり予防に役立つ人工股関節を開発することである。

本研究では、32 mm 以上の大径骨頭と組み合わせて使用する PMPC 処理 CLPE ライナーに対して、股関節シミュレーション試験機を用いて 1000 万回にわたる長期摩耗試験を実施し、その表面状態および形状変化を評価した。合わせて金属骨頭の表面性状についても調査した。

B. 研究方法

1. 人工股関節シミュレーション試験

PMPC 処理 CLPE ライナーの摩耗試験は、MTS 社製人工股関節シミュレーション試験機 (図 1) を用いて、1000 万回まで行った。骨頭には、 ϕ

32 mm および ϕ 40 mm のコバルトクロム合金 (Co-Cr) 骨頭 (日本メディカルマテリアル (株)) を使用した。



図 1. MTS 社製人工股関節シミュレーション試験機

2. 人工股関節シミュレーション試験後の試験体分析

①表面 LSM 観察

人工股関節シミュレーション試験 (1000 万回) 後における PMPC 処理 CLPE ライナーの摺動表面観察を、オリンパス株式会社製作所製走査型共焦点レーザー顕微鏡 (LSM) にて、観察倍率 5 倍で観察した (図 2)。観察部位はライナー天頂部とした (図 3、①に示す部分)。



図 2. 走査型共焦点レーザー顕微鏡

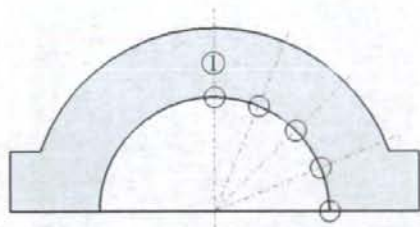


図 3. ライナー観察部位

②3次元形状測定

1000万回の人工股関節シミュレーション試験前後によるPMPC処理CLPEライナーの摩耗を調査するため、ライナー摺動部の3次元形状測定を行った。測定には、図4に示すミットヨ製CNC3次元測定器を使用した。



図 4. ミットヨ製CNC3次元測定器

また、ライナー摺動面について、図5に示す4方向(0-180°線、45-225°線、90-270°線、および

135-315°線)に対し、0.2mm間隔にて中心位置から半径を測定した。得られた値と未使用ライナーの半径との差分を算出し、コンター図化した。

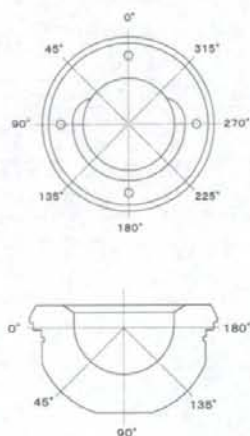


図 5. ライナー測定箇所

代表例として、0-180°線に沿って測定した摺動面の半径をグラフ化した。

③金属骨頭解析

1000万回の人工股関節シミュレーション試験前後のCo-Cr骨頭について、表面粗さ測定、表面観察を行った。

表面粗さ測定は、粗さ測定計を用い、骨頭天頂部、赤道部の算術平均粗さ(Ra)および最大高さ(Rmax)を測定した。観察部位は、天頂部A点と45°部B点の2箇所とした(図6)。

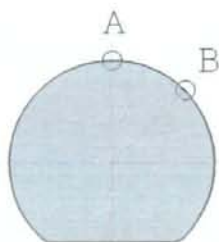


図 6. 表面粗さ測定部位

骨頭の表面観察は、走査型電子顕微鏡(SEM)にて行った。測定倍率は2000倍、10 kVの加速電圧とした。

C. 研究結果

①表面 LSM 観察

図7に、シミュレーション試験前の未処理 CLPE、PMPC 処理 CLPE ライナー摺動表面 LSM 像を示す。未処理、PMPC 処理 (未掲載) に関わらずシミュレーション試験前のライナー摺動表面には、全域に機械加工によるマシンマークが見られた。

図8に、シミュレーション試験1000万回後の未処理 CLPE、PMPC 処理 CLPE ライナー摺動面の LSM 像を示す。



図 7-A. シミュレーション試験前の CLPE ライナー (32 mm) 摺動面の LSM 像



図 7-B. シミュレーション試験前の CLPE ライナー (40 mm) 摺動面の LSM 像



図 8-A. シミュレーション試験 1000 万回後の CLPE ライナー (32 mm) 摺動面の LSM 像



図 8-B. シミュレーション試験 1000 万回後の PMPC 処理 CLPE ライナー (32 mm) 摺動面の LSM 像

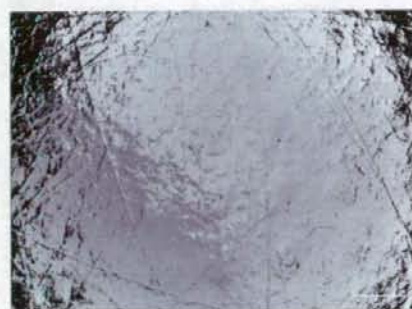


図 8-C. シミュレーション試験 1000 万回後の CLPE ライナー (40 mm) 摺動面の LSM 像



図 8-D. シミュレーション試験 1000 万回後の PMPC 処理 CLPE ライナー (40 mm) 摺動面の LSM 像

1000 万回のシミュレーション試験後の PMPC 処理 CLPE ライナー (32 mm) では、摩耗 (クリープ変形を含む) により、マシンマークが部分的に消失していた。しかし、天頂部において若干のマシンマークの残存が確認された。これに対し、シミュレーション試験後の CLPE ライナー (32 mm) では、マシンマークは完全に消失していた。

一方、1000 万回のシミュレーション試験後の 40 mm ライナーでは、未処理 CLPE、PMPC 処理 CLPE のいずれにおいても、マシンマークは完全に消失していた。

②3次元形状測定

図 9 に、コンター図の色調見本を示す (以下に示すコンター図は全てこれに従う)。図 10 に、シミュレーション試験前、図 11 に、シミュレーション試験 1000 万回後の未処理 CLPE、PMPC 処理 CLPE ライナーの摺動面コンター図を各々示す。



図 9. コンター図色調見本



図 10-A. シミュレーション試験前の CLPE ライナー (32 mm) の摺動面コンター図



図 11-B. シミュレーション試験 1000 万回後の PMPC 処理 CLPE ライナー (32 mm) の摺動面コンター図



図 10-B. シミュレーション試験前の CLPE ライナー (40 mm) の摺動面コンター図



図 11-C. シミュレーション試験 1000 万回後の CLPE ライナー (40 mm) の摺動面コンター図



図 11-A. シミュレーション試験 1000 万回後の CLPE ライナー (32 mm) の摺動面コンター図



図 11-D. シミュレーション試験 1000 万回後の PMPC 処理 CLPE ライナー (40 mm) の摺動面コンター図

1000 万回におよぶシミュレーション試験後では、未処理 CLPE、PMPC 処理 CLPE ライナーのいずれにおいても、僅かな形状変化が認められた。32 mm 骨頭と組み合わせた CLPE ライナーに比べ、40 mm 骨頭と組み合わせた CLPE ライナーの形状変化量は大きかった。PMPC 処理 CLPE ライナーの形状変化量は、32 mm、40 mm 骨頭の何れと組み合わせた場合においても、未処理 CLPE ライナーのそれらに比べ、小さかった。

図 12 に、シミュレーション試験前、図 13 に、シミュレーション試験 1000 万回後の未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE ライナーの半径を示す。

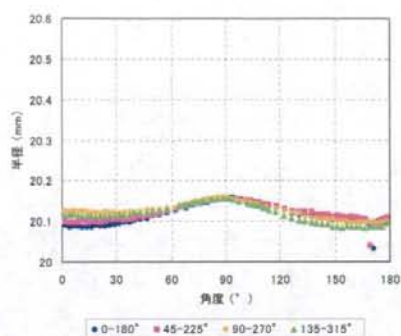


図 12-B. 試験前の CLPE ライナー (40 mm) の半径

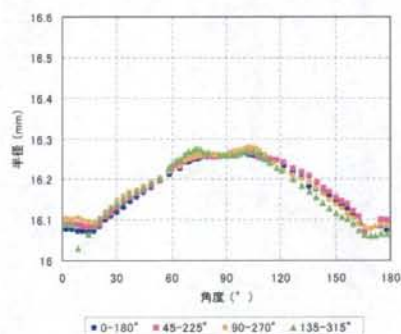


図 13-A. 試験 1000 万回後の CLPE ライナー (32 mm) の半径

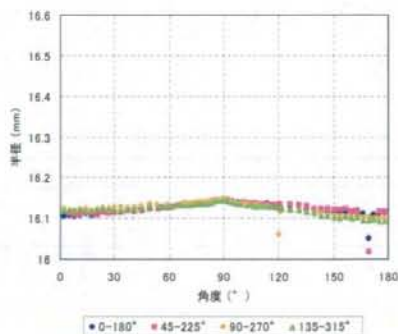


図 12-A. 試験前の CLPE ライナー (32 mm) の半径

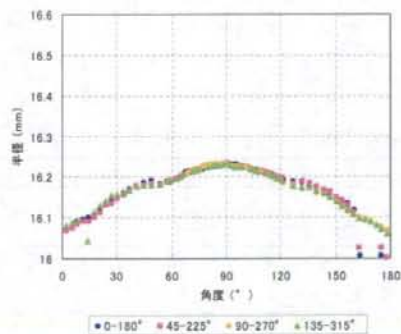


図 13-B. 試験 1000 万回後の PMPC 処理 CLPE ライナー (32 mm) の半径

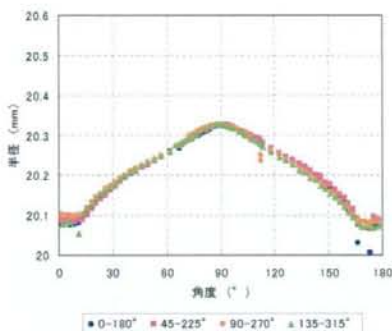


図 13-C. 試験 1000 万回後の CLPE ライナー (40 mm) の半径

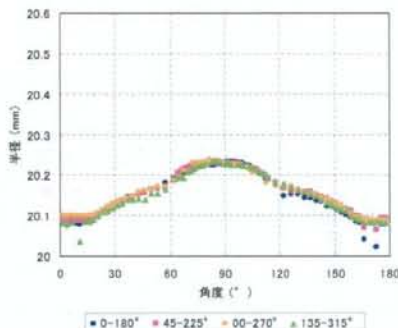


図 13-D. 試験 1000 万回後の PMPC 処理 CLPE ライナー (40 mm) の半径

図 12 および 13 より、1000 万回のシミュレーション試験後、PMPC 処理 CLPE ライナーの変形量 (線摩耗量) は、32 mm、40 mm 骨頭の何れと組み合わせた場合においても約 0.10 mm であり、未処理 CLPE ライナーのそれら約 0.15~0.20 mm に比べ、低い値を示した。

③金属骨頭解析

表 1 に、シミュレーション試験前および 1000 万回後における Co-Cr

骨頭の天頂部と赤道部の表面粗さ測定の結果を示す。

未処理 CLPE と組み合わせた 40 mm 骨頭を除き、試験前後における骨頭の表面粗さに有意な変化は認められなかった。未処理 CLPE と組み合わせた 40 mm 骨頭では、試験後の Rmax 値が使用前の 2 倍に増加していた。

図 14 に、シミュレーション試験前、図 15 に、未処理 CLPE、PMPC 処理 CLPE ライナーと組み合わせて 1000 万回まで試験を行った Co-Cr 骨頭の表面 SEM 写真を示す。

未処理 CLPE、PMPC 処理 CLPE のいずれのライナーと組み合わせた場合においても、シミュレーション試験後の Co-Cr 骨頭表面は、非常に滑らかな状態を保っており、表 1 に示される表面粗さ測定の結果とも一致した。シミュレーション試験後の Co-Cr 骨頭表面の性状において、対合する CLPE ライナーの PMPC 処理による影響を調査したが、有意な差異は確認されなかった。

表 1 試験に使用した骨頭の表面粗さ測定結果

骨頭径	組み合わせ (試験回数)	測定部位	パラメータ	表面粗さ (μm)
32 mm	— (試験前)	A. 天頂	Ra	0.018
			Rmax	0.140
		B. 45°	Ra	0.014
			Rmax	0.129
	CLPE (1000 万回)	A. 天頂	Ra	0.015
			Rmax	0.112
		B. 45°	Ra	0.011
			Rmax	0.081
	PMPC 処理 CLPE (1000 万回)	A. 天頂	Ra	0.013
			Rmax	0.095
		B. 45°	Ra	0.014
			Rmax	0.125
40 mm	— (試験前)	A. 天頂	Ra	0.017
			Rmax	0.159
		B. 45°	Ra	0.013
			Rmax	0.082
	CLPE (1000 万回)	A. 天頂	Ra	0.018
			Rmax	0.332
		B. 45°	Ra	0.018
			Rmax	0.332
	PMPC 処理 CLPE (1000 万回)	A. 天頂	Ra	0.016
			Rmax	0.133
		B. 45°	Ra	0.014
			Rmax	0.085



図 14-A. 試験前の Co-Cr 骨頭 (32 mm) 表面 SEM 写真



図 14-B. 試験前の Co-Cr 骨頭 (40 mm) 表面 SEM 写真



図 15-A. 1000 万回後の Co-Cr 骨頭 (32 mm) 表面 SEM 写真 (対合: CLPE)



図 15-D. 1000 万回後の Co-Cr 骨頭 (40 mm) 表面 SEM 写真 (対合: PMPC 処理 CLPE)



図 15-B. 1000 万回後の Co-Cr 骨頭 (32 mm) 表面 SEM 写真 (対合: PMPC 処理 CLPE)



図 15-C. 1000 万回後の Co-Cr 骨頭 (40 mm) 表面 SEM 写真 (対合: CLPE)

D. 考察

摺動面観察および3次元形状測定において、シミュレーション試験後のPMPC処理CLPEライナーは、未処理CLPEのそれらと比較して、高い耐摩耗性を示唆する結果が得られた。未処理CLPEにおいては、骨頭径の増加にともなって、その摩耗量は増加しており、安定性と耐摩耗性がトレードオフの関係にあることが示された。この傾向は諸家の研究においても、報告されており、現在、臨床において広く使用されているCLPEでも、大径骨頭を使用するためには更なる改善を要求しているものである。

一方、PMPC処理CLPEライナーにおいては、骨頭径の増加による摩耗量の増加はほとんど認められず、高い安定性と耐摩耗性が両立する可能性が示唆されており、先の要求を十分に満たすものと考えられた。また、組み合わせた大径コバルトクロム合金骨頭への攻撃性も認められないこ

とが確認された。PMPC 処理は、安定性と耐摩耗性に優れ、高齢者の寝たきり予防に大きく貢献できる技術として期待される。

E. 結論

人工股関節シミュレーション試験において、大径の骨頭と組み合わせた場合の摩耗特性に対する PMPC 処理の有効性が確認された。また、長期間の人工股関節シミュレーション試験においても対合する骨頭に対して攻撃性を認めないも確認された。PMPC 処理は、安定性と耐摩耗性に優れ、高齢者の寝たきり予防に大きく貢献できる技術として期待される。

F. 健康危険情報 特になし。

G. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Tanaka Y, Saito H, Tsutsumi Y, Doi H, Imai H, Hanawa T: Active hydroxyl groups on surface oxide film of titanium, 316L stainless steel, and cobalt-chromium-molybdenum alloy and its effect on the Immobilization of poly(ethylene glycol). *Mater Trans* 49: 805-811, 2008.
- 2) Tanaka Y, Nakai M, Akahori T, Niinomi M, Tsutsumi Y, Doi H, Hanawa T: Characterization of air-formed surface oxide film on Ti-29Nb-13Ta-4.6Zr alloy surface using XPS and AES. *Corros Sci*, 50: 2111-2116, 2008.
- 3) Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Konno T, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, and Ishihara K: Enhanced wear resistance of orthopaedic bearing due to the cross-linking of poly (MPC) graft chains induced by gamma-ray irradiation. *J Biomed Mater Res B* 84: 320-327, 2008.
- 4) Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, and Ishihara K: Effect of 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine concentration on photo-induced graft polymerization of polyethylene in reducing the wear of orthopaedic bearing surface. *J Biomed Mater Res A* 86: 439-47, 2008.
- 5) Tanaka Y, Saito H, Tsutsumi Y, Doi H, Nomura N, Imai H, Hanawa T: Effect of pH on the interaction between zwitterion and titanium oxide. *J Colloid Interface Sci*, 330: 138-143, 2009.
- 6) Oya K, Tanaka Y, Saito H, Kurashima K, Nogi K, Tsutsumi H, Tsutsumi Y, Doi H, Nomura N, Hanawa T: Calcification by MC3T3-E1 cells on RGD peptide immobilized on titanium through electrodeposited PEG. *Biomaterials* 30: 1281-1286, 2009.
- 7) Eliaz N, Kopelovitch W, Burstein L, Kobayashi E, Hanawa T: Electrochemical processes of nucleation and growth of calcium

- phosphate on titanium supported by real-time quartz crystal microbalance measurements and X-ray photoelectron spectroscopy analysis. *J Biomed Mater Res* 89A: 270-280, 2009.
- 8) Kyomoto M, Moro T, Miyaji F, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, and Ishihara K. Effects of mobility/immobility of surface modification by 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine polymer on the durability of polyethylene for artificial joints. *J Biomed Mater Res A* (in press).
- 9) Kyomoto M, Moro T, Iwasaki Y, Miyaji F, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K. Superlubricious surface mimicking articular cartilage by grafting poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) on orthopaedic metal bearings. *J Biomed Mater Res A* (in press).
- 10) Moro T, Kawaguchi H, Ishihara K, Kyomoto M, Karita T, Ito H, Nakamura K, and Takatori Y: Wear resistance of artificial hip joints with poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) grafted polyethylene: Comparisons with the effect of polyethylene cross-linking and ceramic femoral heads. *Biomaterials* (in press).
- 11) Kyomoto M, Ishihara K: Self-initiated surface graft polymerization of 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine on poly(ether-ether-ketone) by photo-irradiation. *ACS Applied Materials & Interfaces* (in press).
- 12) Oonishi H, Ueno M, Kim SC, Oonishi H, Iwamoto M, Kyomoto M: Improved wear properties of UHMWPE insert combined with fine ceramic femoral component in total knee prosthesis. *J Arthroplasty* (in press).
- 13) 塙隆夫: 機能分子による金属の生体機能化. *軽金属* 58: 583-587, 2008.
- 14) 塙隆夫: 第2章 金属系バイオマテリアル, 材料学シリーズ, よくわかる生体材料, 田中順三, 角田方衛, 立石哲也編, 内田老鶴園, 29-84, 2008.
2. 学会発表
- ① 国内学会
- 1) 茂呂徹、高取吉雄、石原一彦、山本基、苅田達郎、伊藤英也、金野智浩、京本政之、山脇昇、中村耕三、川口浩: 人工股関節のポリエチレンライナーにMPC処理を加える範囲が摩耗抑制効果に与える影響. 第81回日本整形外科学会学術総会. 2008. 5. 22-25. (札幌)
- 2) 塙隆夫: 整形外科における金属材料. 第81回日本整形外科学会学術総会. 2008. 5. 22-25. (札幌)
- 3) 高野陽如, 堤祐介, 土居壽, 野村

- 直之, 野田和彦, 塙隆夫: Zr 基合金の耐食性に及ぼす貴金属添加の影響, 第 55 回材料と環境討論会. 2008. 9. (長崎)
- 4) 堤祐介, 土居壽, 野村直之, 横山嘉彦, 井上明久, 塙隆夫: 擬似体液中における Zr 基バルク金属ガラスの耐食性改善. 日本金属学会 2008 年秋期(第 143 回)大会. 2008. 9. (熊本)
- 5) 廣橋洋平, 齋藤陽香, 野田和彦, 堤晴美, 田中勇太, 堤祐介, 土居壽, 野村直之, 塙隆夫: 各金属材料とセグメント化ポリウレタンとの接合強度. 日本金属学会 2008 年秋期(第 143 回)大会. 2008. 9. (熊本)
- 6) 齋藤陽香, 大家溪, 田中勇太, 能城一矢, 今井八郎, 野村直之, 塙隆夫: 双性イオンを介して機能分子を固定化した Ti 表面の細胞接着および骨分化特性. 日本金属学会 2008 年秋期(第 143 回)大会. 2008. 9. (熊本)
- 7) 田中裕生子, 蘇亜拉図, 近藤亮太, 土居壽, 堤祐介, 野村直之, 塙隆夫: Zr-Nb 合金における相構成と磁化率の関係. 日本金属学会 2008 年秋期(第 143 回)大会. 2008. 9. (熊本)
- 8) 蘇亜拉図, 田中裕生子, 近藤亮太, 堤祐介, 土居壽, 野村直之, 塙隆夫: アーチファクト防止型 Zr-Mo 合金の組織と磁化率. 日本金属学会 2008 年秋期(第 143 回)大会. 2008. 9. (熊本)
- 9) 野村直之, 伊五澤彩, 千葉晶彦, 土居壽, 堤祐介, 塙隆夫: 多孔質チタンの圧縮疲労特性評価. 日本金属学会 2008 年秋期(第 143 回)大会. 2008. 9. (熊本)
- 10) 田中勇太, Khairul Matin, 田上順次, 堤祐介, 土居壽, 野村直之, 塙隆夫: Ti 表面のバイオフィーム初期形成に及ぼす電着固定 PEG 鎖の影響. 日本金属学会 2008 年秋期(第 143 回)大会. 2008. 9. (熊本)
- 11) 近藤亮太, 田中裕生子, 蘇亜拉図, 堤祐介, 土居壽, 野村直之, 塙隆夫: Zr-Nb 合金の組織と機械的性質に及ぼす Pt, Pd 添加量の影響. 日本金属学会 2008 年秋期(第 143 回)大会. 2008. 9. (熊本)
- 12) 村上まどか, 野村直之, 土居壽, 堤祐介, 中村英文, 千葉晶彦, 塙隆夫: MIM 法により作製した Zr 添加 CoCrMo 合金焼結体の耐食性評価. 日本金属学会 2008 年秋期(第 143 回)大会. 2008. 9. (熊本)
- 13) 足木英晃, 佐藤嘉, 野村直之, 松本洋明, 千葉晶彦. B 添加した生体用 Co-29Cr-6Mo 合金の熱間鍛造特性の評価. 日本金属学会 2008 年秋期(第 143 回)大会. 2008. 9. (熊本)
- 14) 田中勇太, Khairul Matin, 田上順次, 野村直之, 塙隆夫: 電着生体機能分子による金属表面でのバイオフィーム形成防止. 日本金属学会 2008 年秋期(第 143 回)大会. 2008. 9. (熊本)
- 15) 京本政之, 茂呂徹, 金野智浩, 川口浩, 高取吉雄, 中村耕三, 石原一彦: MPC ポリマーによる高潤滑インターフェイスが長寿命型人工関節を実現する. 東京大学生命科学研究ネットワークシンポジウム. 2008. 9. 23 (東京)
- 16) 雑賀健一, 京本政之, 茂呂徹, 金野智浩, 川口浩, 高取吉雄, 中村耕三, 石原一彦: 高潤滑性ポリマーを用いた光開始グラフト重合法による長寿命型人工関節の開発. 東京大学生命科学研究ネットワークシンポジウム. 2008. 9. 23 (東

- 京)
- 17) 茂呂徹、川口浩、石原一彦、京本政之、山本基、苅田達郎、伊藤英也、齊藤貴志、中村耕三、高取吉雄:人工股関節ライナー表面のMPCグラフト処理による摩耗抑制効果:ライナーの架橋の有無および骨頭の材質による比較. 第23回日本整形外科学会基礎学術集会. 2008. 10. 23-24 (京都).
- 18) 金石哲、大西啓靖、大西宏之、京本政之、岩本幹生、上野勝: 抜去されたアルミナ製及び金属製の骨頭摺動部の表面性状比較. 第23回日本整形外科学会基礎学術集会. 2008. 10. 23-24 (京都).
- 19) 中村英文、村上まどか、野村直之、土居壽、堤祐介、塙隆夫、千葉晶彦: MIM法により作製したZr添加CoCrMo合金焼結体の耐食性評価. 粉体および粉末冶金協会. 2008. 11. (福岡)
- 20) 大西宏之、金石哲、大西啓靖、京本政之、岩本幹生、上野勝: 抜去されたアルミナ及びCo-Cr製人工膝関節摺動部の表面性状比較. 第36回日本関節病学会. 2008. 11. 7-8 (神戸).
- 21) 大西宏之、金石哲、大西啓靖、京本政之、岩本幹生、上野勝: 28mmアルミナ骨頭と架橋ポリエチレン(Aeonian)ソケットの摩耗. 第36回日本関節病学会. 2008. 11. 7-8 (神戸).
- 22) 田中裕生子、蘇亜拉図、近藤亮太、堤祐介、土居壽、野村直之、塙隆夫: MRIアーチファクト防止を目指したZr-Nb合金の相構成と磁化率. 日本バイオマテリアル学会シンポジウム2008. 2008. 11. 17-18. (東京)
- 23) 蘇亜拉図、田中裕生子、近藤亮太、堤祐介、土居壽、野村直之、塙隆夫: MRIアーチファクト防止を目指したZr-Mo合金の組織と磁化率. 日本バイオマテリアル学会シンポジウム2008. 2008. 11. 17-18. (東京)
- 24) 田中勇太、Khairul Matin、堤祐介、土居壽、野村直之、田上順次、米山隆之、塙隆夫: 血小板粘着および細菌付着を抑制するPEG電着固定チタンの創製. 日本バイオマテリアル学会シンポジウム2008. 2008. 11. 17-18. (東京)
- 25) 近藤亮太、田中裕生子、蘇亜拉図、堤祐介、土居壽、野村直之、塙隆夫: Pt, Pdを添加した生体用Zr-Nb合金の組織と機械的性質. 日本バイオマテリアル学会シンポジウム2008. 2008. 11. 17-18. (東京)
- 26) 廣橋洋平、齋藤陽香、野田和彦、堤晴美、田中勇太、堤祐介、土居壽、野村直之、塙隆夫: 金属材料とセグメント化ポリウレタンとの接合強度に及ぼす各因子の影響. 日本バイオマテリアル学会シンポジウム2008. 2008. 11. 17-18. (東京)
- 27) 村上まどか、野村直之、土居壽、堤祐介、中村英文、千葉晶彦、塙隆夫: CoCrMo合金焼結体の耐食性におよぼすZr添加の影響. 日本バイオマテリアル学会シンポジウム2008. 2008. 11. 17-18. (東京)
- 28) 高野陽如、堤祐介、土居壽、野村直之、野田和彦、塙隆夫: Zr-Nb, Zr-Taの耐食性に及ぼす金属組織の影響. 日本バイオマテリアル学会シンポジウム2008. 2008. 11. 17-18. (東京)
- 29) 史明、金野智浩、川口浩、高取吉

雄、中村耕三、石原一彦：リン脂質グラフトポリマーによる超潤滑性 Co-Cr-Mo 合金表面の創製。日本バイオマテリアル学会シンポジウム 2008。2008. 11. 17-18. (東京)

- 30) 金石哲、大西啓靖、大西宏之、京本政之、岩本幹生、上野勝：長期臨床使用されたアルミナセラミック骨頭の輪郭および表面粗さ結果。第39回日本人工関節学会。2009. 2. 13-14. (東京)。
- 31) 大西宏之、大西啓靖、金石哲、京本政之、岩本幹生、上野勝：セラミック骨頭と組み合わせた架橋ポリエチレンソケットの臨床摩耗。第39回日本人工関節学会。2009. 2. 13-14. (東京)。
- 32) 大西宏之、金石哲、大西啓靖、京本政之、岩本幹生、上野勝：抜去されたガンマ滅菌および EOG 滅菌 PE インサートの酸化劣化評価。第39回日本人工関節学会。2009. 2. 13-14. (東京)。

② 国際学会

- 1) Hanawa T, Nishimura D, Tsutsumi Y, Doi H, Nomura N. Zirconium coating on titanium for inhibition of assimilation with bone. 8th World Biomaterials Congress (WBC) 2008. 5. 28-6. 1 (Amsterdam, The Netherlands)
- 2) Tanaka Y, Saito H, Matsuo Y, Tsutsumi Y, Doi H, Yoneyama T, Hanawa T. Characterization and biofunctions of poly(ethylene

glycol) immobilized on metals with electrodeposition. 8th World Biomaterials Congress (WBC) 2008. 5. 28-6. 1 (Amsterdam, The Netherlands)

- 3) Oya K, Sakamoto H, Tanaka Y, Kimura T, Tsutsumi Y, Doi H, Hanawa T. Bone differentiation property of osteoblast-like cells on metals. 8th World Biomaterials Congress (WBC) 2008. 5. 28-6. 1 (Amsterdam, The Netherlands)
- 4) Pecheva E, Doi H, Tsutsumi Y, Tanaka Y, Sakamoto H, Hanawa T. Electrodeposition of hydroxyapatite-nanodiamond composite on stainless steel. 8th World Biomaterials Congress (WBC) 2008. 5. 28-6. 1 (Amsterdam, The Netherlands)
- 5) Yoneyama T, Komiya T, Fukushima O, Tanaka Y, Tsutsumi Y, Doi H, Hanawa T. Nickel-free and corrosion-resistant surface oxide layer on titanium-nickel alloy by electrolytic treatment. 8th World Biomaterials Congress (WBC) 2008. 5. 28-6. 1 (Amsterdam, The Netherlands)
- 6) Moro T, Takatori Y, Ishihara K, Konno T, Kyomoto M, Yamamoto M, Karita T, Ito H, Nakamura K, Kawaguchi H: Grafting of biocompatible polymer on the liner surface for extending

- longevity of artificial hip joints. 8th World Biomaterials Congress (WBC) 2008. 5. 28-6. 1 (Amsterdam, The Netherlands)
- 7) Kyomoto M, Moro T, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Nanometer-scale high lubricious surface modification extends the durability of artificial joint. 8th World Biomaterials Congress (WBC) 2008. 5. 28-6. 1 (Amsterdam, The Netherlands)
- 8) Srimaneepong V, Adunypichet N, Weerasawat S, Yoneyama T, Kobayashi E, Hanawa T, Doi H. Effect of laser-welding on mechanical strength of Ti-6Al-7Nb alloy castings. IADR 86th General Session & Exhibition. 2008. 6. (Toronto, Canada)
- 9) Oonishi H, Kim SC, Kyomoto M, Iwamoto M, Ueno M, Oonishi H: Clinical results of total hip prostheses with alumina ceramic head combined with UHMWPE socket for 19-21 years by radiographical study. SICOT/SIROT 2008 XXIV Triennial World Congress. 2008. 8. 24-28. (Hong Kong, Hong Kong).
- 10) Kim SC, Oonishi H, Oonishi H, Kyomoto M, Iwamoto M, Ueno M: The design history and clinical results of ceramic total knee prosthesis for 26 years. SICOT/SIROT 2008 XXIV Triennial World Congress. 2008. 8. 24-28. (Hong Kong, Hong Kong).
- 11) Iwamoto M, Kim SC, Oonishi H, Kyomoto M, Ueno M, Oonishi H: In vivo oxidation of retrieved PE inserts with gamma-ray and ethylene oxide gas sterilization in total knee prostheses. SICOT/SIROT 2008 XXIV Triennial World Congress. 2008. 8. 24-28. (Hong Kong, Hong Kong).
- 12) Moro T, Takatori Y, Kyomoto M, Ishihara K, Nakamura K, Kawaguchi H: Biocompatible phospholipid polymer grafting on liner surface of artificial hip joints enhances the wear resistance independently of liner cross-linking of femoral head material. 2008 World Congress on Osteoarthritis (OARSI). 2008. 9. 18-21 (Rome, Italy).
- 13) Oonishi H, Kim SC, Oonishi H, Kyomoto M, Iwamoto M, Ueno M: Retrieval study of in vivo wear and oxidation of highly cross-linked polyethylene acetabular cup against ceramic head. The 21th Annual Symposium of the International Society for Technology and Arthroplasty (ISTA). 2008. 10. 2-4. (Seoul, Korea).
- 14) Oonishi H, Kim SC, Oonishi H, Kyomoto M, Iwamoto M, Ueno M: effects of roundness and roughness of alumina ceramic head on wear properties for long-term clinical use. The 21th Annual Symposium of the