

34. 阿久根徹、村木重之、岡敬之、川口浩、中村耕三、吉村典子：ロコモティブシンドロームの基礎疾患である腰椎椎体骨折、変形性腰椎症、変形性膝関節症と運動機能との関連 - The ROAD study -。第28回日本骨粗鬆症学会。2010. 10. 21-13 (大阪国際会議場、大阪)。
35. 角田俊治、高取吉雄、茂呂徹、伊藤英也、田中健之、中村耕三：股関節外転拘縮をきたした大理石骨病の1例。第33回股関節懇話会。2010. 10. 30 (東京)
36. 橋本雅美、柏木一美、北岡諭：チタン金属の酸化処理によるアパタイト形成能の向上。平成22年度日本セラミックス協会東海支部学術研究発表会。2010. 12. 18 (名古屋)
37. 茂呂徹、高取吉雄、石原一彦、京本政之、荻田達郎、伊藤英也、角田俊治、田中健之、山脇昇、雑賀健一、中村耕三、川口浩：ポリエチレンライナー表面のMPCグラフト処理による長寿命型人工関節の開発 - 粗面化した骨頭がMPC処理に与える影響の検討 -。第41回人工関節学会。2011. 2. 25-26 (東京)
38. 雑賀健一、京本政之、茂呂徹、伊藤英也、川口浩、中村耕三、石原一彦、高取吉雄：ポリエチレン厚さがライナーの摩耗・破壊に与える影響 - ピンオンディスク型試験機による繰り返し衝撃 - 摺動試験。第41回人工関節学会。2011. 2. 25-26 (東京)
39. 茂呂徹、高取吉雄、石原一彦、京本政之、雑賀健一、中村耕三、川口浩：人工膝関節の脛骨コンポーネント摺動面に対するMPCポリマー処理。第41回人工関節学会。2011. 2. 25-26 (東京)
40. 田中健之、伊藤英也、角田俊治、馬淵昭彦、中村耕三、高取吉雄、茂呂徹：bipolar型人工股関節に対しセメントレス寛骨臼コンポーネントを用いた再置換術の検討。第41回人工関節学会。2011. 2. 25-26 (東京)
41. 伊藤英也、角田俊治、田中健之、高取吉雄、茂呂徹、中村耕三：両側再置換手術を行ったmetal-on-metal THAの1例。第41回人工関節学会。2011. 2. 25-26 (東京)
42. 南和文、橋本雅美：Anca-Fit型全人工股関節置換術後に発生したセラミック骨頭の破損。第41回人工関節学会。2011. 2. 25-26 (東京)

② 国際学会

- Moro T, Takatori Y, Ishihara K, Kyomoto M, Karita T, Ito H, Tsunoda T, Saiga K, Nakamura K, Kawaguchi H: Biocompatible phospholipid polymer grafting improves the wear resistance of artificial hip joints regardless of the degree of cross-linking. 2010 Annual Meeting & Exposition of the Society for Biomaterials (SFB). 2010. 4. 21-24 (Seattle, USA)
- Fukai A, Saito T, Mabuchi A, Ikeda T, Yano F, Ohba S, Nishida N, Akune T, Yoshimura N, Nakagawa T, Nakamura K, Tokunaga K, Chung UI, Kawaguchi H: HIF2A / NF- κ B signal in chondrocytes controls

- extensive steps of osteoarthritis development in mice and humans (Young Investigator Award). 2010 World Congress on Osteoarthritis (OARSI). 2010. 9.23-26 (Brussels, Belgium).
3. Hirata M, Kugimiya F, Fukai A, Saito T, Yano F, Ikeda T, Nakamura K, Chung UI, Kawaguchi H: Molecular network on the C/EBP-beta axis including Runx2, MMP13, and HIF2A controls osteoarthritis development (Young Investigator Award). 2010 World Congress on Osteoarthritis (OARSI). 2010. 9.23-26 (Brussels, Belgium).
 4. Akune T, Muraki S, Oka H, Nakamura K, Kawaguchi H, Yoshimura N: Association of occupational activity with joint space narrowing and osteophytosis at the knee: The ROAD study. 2010 World Congress on Osteoarthritis (OARSI). 2010. 9.23-26 (Brussels, Belgium).
 5. Kawaguchi H, Oka H, Jingushi S, Izumi T, Fukunaga M, Sato K, Matsushita T, and Nakamura K: A local application of recombinant human fibroblast growth factor-2 for tibial shaft fractures: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. 32th annual meeting of the American Society for Bone and Mineral Research (ASBMR). 2010. 10.15-19 (Toronto, Canada).
 6. Yoshimura N, Muraki S, Oka H, Kawaguchi H, Nakamura K: Association of changes in serum levels of intact parathyroid hormone with changes in biochemical markers of bone turnover and bone mineral density: A 10-year follow-up of the Taiji Cohort. 32th annual meeting of the American Society for Bone and Mineral Research (ASBMR). 2010. 10.15-19 (Toronto, Canada).
 7. Muraki S, Akune T, Oka H, Nakamura K, Kawaguchi H, Yoshimura N: Gender differences in factors associated with falls in a population-based cohort study in Japan: The ROAD study. 32th annual meeting of the American Society for Bone and Mineral Research (ASBMR). 2010. 10.15-19 (Toronto, Canada).
 8. Hashimoto M, Kashiwagi K, Kitaoka S,: Surface Nitriding Dependence on Apatite Formation of Biomedical Titanium Metal in a Simulated Body Fluid. 3rd International Congress on Ceramics. 2010.11.14-18 (Osaka Japan)
 9. Moro T, Takatori Y, Ishihara K, Kyomoto M, Saiga K, Nakamura K, Kawaguchi H: Surface grafting of biocompatible phospholipid polymer MPC provides wear resistance of tibial polyethylene insert in artificial knee joints. 57th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS). 2011. 1. 13-17 (Long Beach, USA)

10. Kyomoto M, Moro T, Takatori Y, Hashimoto M, Kawaguchi H, Nakamura K, Ishihara K: Smart PEEK by self-initiated surface graft polymerization of MPC for orthopaedic applications. 57th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS). 2011. 1. 13-17 (Long Beach, USA)
11. Kyomoto M, Moro T, Saiga K, Hashimoto M, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Controlled biocompatible phospholipid polymer-brush mimicking cartilage gives high durability to joint replacement. 57th Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society (ORS). 2011. 1. 13-17 (Long Beach, USA)

H. 知的財産権の出願・登録状況
特になし。

厚生労働科学研究費補助金（医療機器開発推進研究事業）

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 堀 隆夫（東京大学大学院医学系研究科 特任教授）

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。耐摩耗性を高め、人工股関節の周囲に生じる骨溶解やその弛みを防止し、耐用年数（寿命）を延長することは、健康寿命の延伸と QOL の改善を達成するための重要な課題である。耐用年数を延長させるために有効な革新的人工関節の開発を目的に、優れた生体適合性を有する 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。本分担研究では、予め、表面粗さ (Ra) を 0.02~0.06 μm になるよう粗面化したコバルトクロム合金 (Co-Cr) 骨頭と未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE ライナーを組み合わせ、人工股関節シミュレーション試験機を用いて、300 万回の摩耗試験を実施し、その表面状態および形状変化を評価した。合わせて Co-Cr 骨頭の表面性状についても調査した。摺動面観察および 3 次元形状測定では、いずれの表面粗さを有する Co-Cr 骨頭と組み合わせた場合も、PMPC 処理 CLPE ライナーは未処理 CLPE ライナーに比較して、高い耐摩耗性を示唆する結果が得られた。表面粗さが 0.06 μm になると、未処理 CLPE ライナーの摩耗量は約 10 倍にまで増加するが、このような条件下では、PMPC 処理 CLPE でさえ摩耗量は増加した。しかしながら、このときの PMPC 処理 CLPE ライナーの摩耗量は、未処理 CLPE ライナーのその約 1/2 であった。対向する骨頭の表面性状を維持することは人工関節の長寿命化にとって重要な要素であることが示唆された。PMPC 処理は過酷な摺動条件下でさえ、優れた安定性と耐摩耗性を発揮しており、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

人工股関節置換術は、実用化から 50 年が経過し、痛みを取り除き歩行能力を回復させる優れた手術として確立しており、国内で年間 8 万件が行われている。しかし、手術後にインプラント周囲に生じる骨溶解とこ

れに続発する非感染性の弛みは、今なお根本的な解決策が得られておらず、長期予後を決する深刻な合併症であり、重篤な症例は再置換手術を余儀なくされている。再置換術は単なる人工股関節の交換ではなく、新規の人工股関節を再度固定するた

め吸収された骨を補填する必要があるなど難度が高く、長期の入院を要する。人工股関節を受けた患者は再置換手術の潜在的な対象であるため、生涯に数回の再置換手術が必要となることが予測され、人工股関節の周囲に生じる骨溶解やその弛みを防止し、耐用年数（寿命）を延長することは、健康寿命の延伸と QOL の改善を達成するための重要な課題である。

骨溶解の過程は、関節摺動面を構成するポリエチレン (PE) が、金属・セラミックス製骨頭との摩擦により摩耗し、サブミクロンサイズの摩耗粉を生じることから始まる。これらの摩耗粉はマクロファージあるいは巨細胞に貪食され、サイトカインやプロスタグランジンを分泌する。これらの生体活性物質は周囲の間葉系細胞に作用し、破骨細胞の形成・活性が促進されて骨溶解に至る。したがって、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。

そこで、耐用年数を延長させる人工股関節を開発することを目的として、優れた生体適合性を有する Poly (2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) (PMPC) を光開始グラフト重合した架橋 PE (CLPE) 表面を創製した。この PMPC 表面は、高い親水性や潤滑性を発現するものの、ナノメートルオーダーのゲル層であるため、関節摺動界面に硬質な異物が介在した場合、その摩耗特性

の維持に大きな影響を受けると考えられた。

一般に、人工関節摺動界面に硬質な異物が介在した状態で摩耗（三体摩耗）するとき、まず、その異物は関節を構成する両摺動表面に損傷を与える。続いて、損傷を受けた摺動面は、対向する摺動面に対して加速的に損傷を与えると考えられている。特に金属製骨頭を使用した場合、この現象は顕著であるといえる。

本研究では、予め、表面粗さ (Ra) を 0.02~0.06 μm になるよう粗面化したコバルトクロム合金 (Co-Cr) 骨頭と未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE ライナーを組み合わせて、人工股関節シミュレーション試験機を用いて、300 万回の摩耗試験を実施し、その表面状態および形状変化を評価した。合わせて Co-Cr 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

$\phi 26$ mm の Co-Cr 骨頭（日本メディカルマテリアル(株)）を使用し、予め、表面粗さ (Ra) を 0.02~0.06 μm になるよう粗面加工を施した。得られた粗面化骨頭と未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE ライナーを組み合わせて、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、300 万回の摩耗試験を行った。



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(300万回)後における未処理 CLPE および 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 倍で行った(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)。

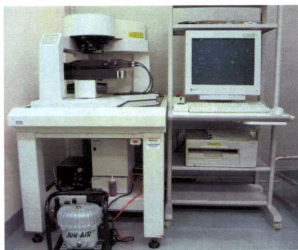


図 2. 走査型共焦点レーザー顕微鏡

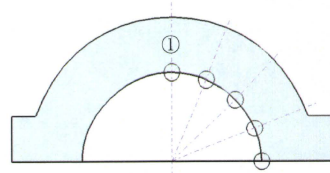


図 3. ライナー観察部位

②3次元形状測定

300万回の人工股関節シミュレーション試験後における未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE ライナーの摩擦を調査するため、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 CNC 三次元測定器を使用した。



図 4. ミットヨ製 CNC 三次元測定器

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、0.2 mm 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。

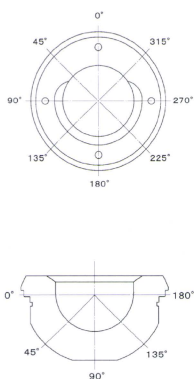


図 5. ライナー測定箇所

③金属骨頭解析

300 万回の人工股関節シミュレーション試験後の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)。

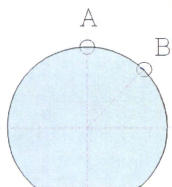


図 6. 表面粗さ測定部位

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。PMPC 処理の有無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ニングマークが見られた。

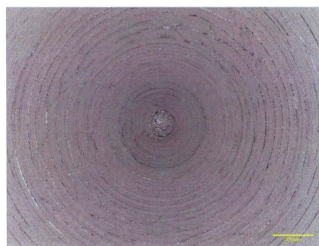


図 7-A. 試験前の CLPE ライナー摺動面の LSM 像



図 7-B. 試験前の PMPC 処理 CLPE ライナー摺動面の LSM 像

図 8 および 9 に、シミュレーション試験 300 万回後の表面粗さ Ra =

0.02~0.06 μm の Co-Cr 骨頭と対向した未処理 CLPE、PMPC 処理 CLPE ライナー摺動面の LSM 像を示す。試験後、いずれの表面粗さの骨頭と組み合わせた未処理 CLPE ライナーの摺動部においても、試験前に観察されたマシンマークは消失していた (図 8)。これに対し、表面粗さ $R_a = 0.02 \mu\text{m}$ および $0.04 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナーの摺動面では、多くのマシンマークの残存が確認された (図 9)。しかしながら、表面粗さ $R_a = 0.06 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナーの摺動面では、CLPE ライナーのそれと同様にマシンマークは消失していた。

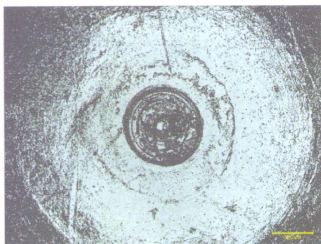


図 8-A. 300 万回後の $R_a = 0.02 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した未処理 CLPE ライナー摺動面の LSM 像



図 8-B. 300 万回後の $R_a = 0.04 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した未処理 CLPE ライナー摺動面の LSM 像

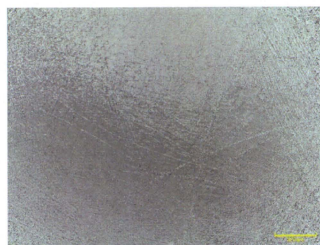


図 8-C. 300 万回後の $R_a = 0.06 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した未処理 CLPE ライナー摺動面の LSM 像

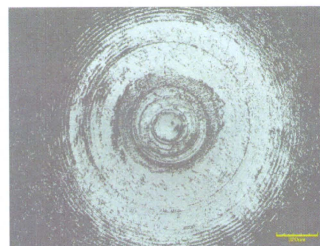


図 9-A. 300 万回後の $R_a = 0.02 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナー摺動面の LSM 像

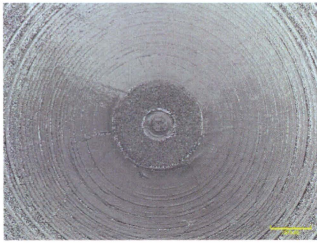


図 9-B. 300 万回後の $Ra = 0.04 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナー摺動面の LSM 像

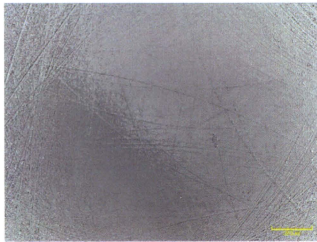


図 9-C. 300 万回後の $Ra = 0.06 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナー摺動面の LSM 像

②3次元形状測定

図 10 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）。

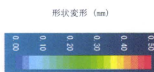


図 10. コンター図色調見本

図 11 に、シミュレーション試験前の、図 12 および 13 に、シミュレ

ーション試験 300 万回後の表面粗さ $Ra = 0.02 \sim 0.06 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した未処理 CLPE、PMPC 処理 CLPE ライナーの摺動面コンター図を各々示す。

300 万回のシミュレーション試験後、いずれの表面粗さの骨頭と組み合わせた未処理 CLPE ライナーにおいても、摺動面の形状変化が認められ、その変化量は対向した骨頭の表面粗さともなって増加した。

これに対し、表面粗さ $Ra = 0.02 \mu\text{m}$ および $0.04 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナー摺動面の形状変化は、極めて僅かであった。しかしながら、Co-Cr 骨頭の表面粗さが $Ra = 0.06 \mu\text{m}$ へ増大するとその形状変化量も増加した。

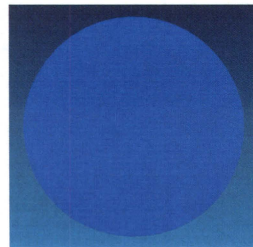


図 11-A. 試験前の未処理 CLPE ライナーの摺動面コンター図

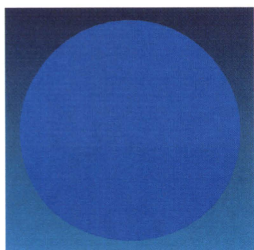


図 11-B. 試験前の PMPC 処理 CLPE ライナーの摺動面コンター図

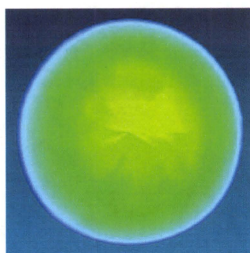


図 12-C. 300 万回後の $Ra = 0.06 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した未処理 CLPE ライナーの摺動面コンター図



図 12-A. 300 万回後の $Ra = 0.02 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した未処理 CLPE ライナーの摺動面コンター図



図 13-A. 300 万回後の $Ra = 0.02 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナーの摺動面コンター図

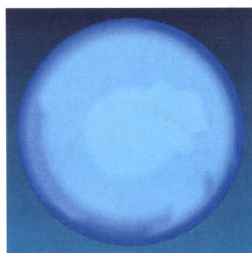


図 12-B. 300 万回後の $Ra = 0.04 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した未処理 CLPE ライナーの摺動面コンター図

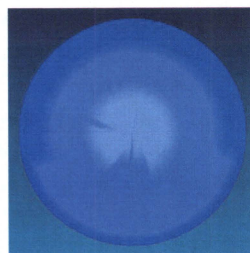


図 13-B. 300 万回後の $Ra = 0.04 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナーの摺動面コンター図

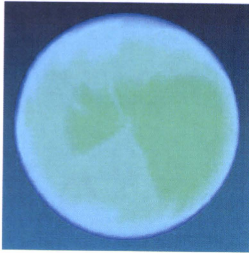


図 13-C. 300 万回後の $Ra = 0.06 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナーの摺動面コンター図

図 14 および 15 に、シミュレーション試験 300 万回後の表面粗さ $Ra = 0.02 \sim 0.06 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した未処理 CLPE、PMPC 処理 CLPE ライナーの摺動面の半径を示す。

300 万回のシミュレーション試験後、いずれの表面粗さの骨頭と組み合わせさせた未処理 CLPE ライナーにおいても、摺動面半径に変化が認められ、その変化量は対向した骨頭の表面粗さともなって増加した。

これに対し、表面粗さ $Ra = 0.02 \mu\text{m}$ および $0.04 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナー摺動面半径の変化は、極めて僅かであった。しかしながら、Co-Cr 骨頭の表面粗さが $Ra = 0.06 \mu\text{m}$ へ増大するその変化量も増加した。

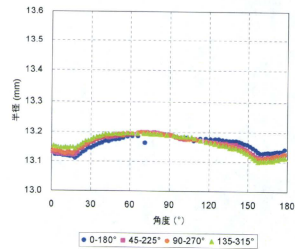


図 14-A. 300 万回後の $Ra = 0.02 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した未処理 CLPE ライナーの半径

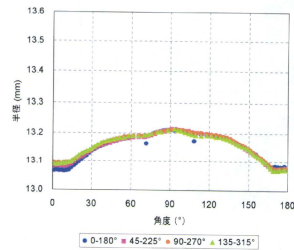


図 14-B. 300 万回後の $Ra = 0.04 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した未処理 CLPE ライナーの半径

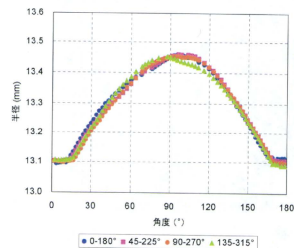


図 14-C. 300 万回後の $Ra = 0.06 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭と対向した未処理 CLPE ライナーの半径

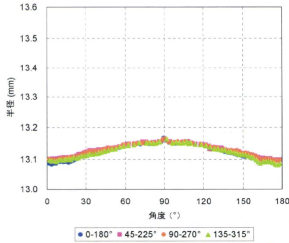


図 15-A. 300 万回後の Ra = 0.02 μm の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナーの半径

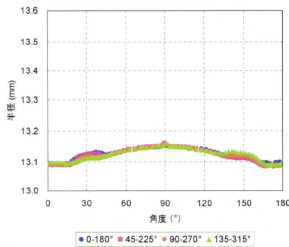


図 15-B. 300 万回後の Ra = 0.04 μm の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナーの半径

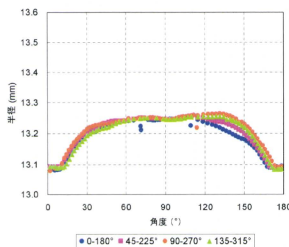


図 15-C. 300 万回後の Ra = 0.06 μm の Co-Cr 骨頭と対向した PMPC 処理 CLPE ライナーの半径

③Co-Cr 骨頭解析

表 1 に、シミュレーション試験 300 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。

試験後の Ra=0.02 μm および 0.04 μm の Co-Cr 骨頭の表面粗さは、対向するライナーにかかわらず、試験前に予め加工した表面粗さに比べ、低下した。これに対し、Ra=0.06 μm の Co-Cr 骨頭の表面粗さは、試験後も変化なかった。

図 16 および 17 に、未処理 CLPE、PMPC 処理 CLPE ライナーと組み合わせて 300 万回まで試験を行った表面粗さ Ra=0.02~0.06 μm の Co-Cr 骨頭の表面 SEM 写真を示す。

Co-Cr 骨頭の表面には、表面粗さを調整するための加工による多数の傷が観察された。その表面性状は、表 1 に示される表面粗さ測定の結果とも定性的に一致した。対合する CLPE ライナーの PMPC 処理の有無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 Co-Cr 骨頭の表面粗さ測定結果

サンプル名 (試験前表面粗さ)	組み合わせ (試験回数)	測定部位	パラメータ	表面粗さ (μm)
26 mm Co-Cr 骨頭 Ra = 0.02 μm	未処理 CLPE (300 万回)	A. 天頂	Ra	0.021
			Rmax	0.156
		B. 45°	Ra	0.008
			Rmax	0.070
	PMPC 処理 CLPE (300 万回)	A. 天頂	Ra	0.016
			Rmax	0.054
		B. 45°	Ra	0.006
			Rmax	0.052
26 mm Co-Cr 骨頭 Ra = 0.04 μm	未処理 CLPE (300 万回)	A. 天頂	Ra	0.029
			Rmax	0.206
		B. 45°	Ra	0.026
			Rmax	0.193
	PMPC 処理 CLPE (300 万回)	A. 天頂	Ra	0.027
			Rmax	0.224
		B. 45°	Ra	0.023
			Rmax	0.169
26 mm Co-Cr 骨頭 Ra = 0.06 μm	未処理 CLPE (300 万回)	A. 天頂	Ra	0.061
			Rmax	0.563
		B. 45°	Ra	0.050
			Rmax	0.407
	PMPC 処理 CLPE (300 万回)	A. 天頂	Ra	0.062
			Rmax	0.537
		B. 45°	Ra	0.038
			Rmax	0.326



図 15-A. 300 万回後の $R_a = 0.02 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭の SEM 写真 (対向: 未処理 CLPE)

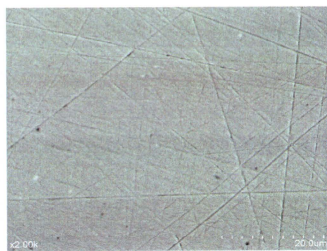


図 16-A. 300 万回後の $R_a = 0.02 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭の SEM 写真 (対向: PMPC 処理 CLPE)



図 15-B. 300 万回後の $R_a = 0.04 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭の SEM 写真 (対向: 未処理 CLPE)

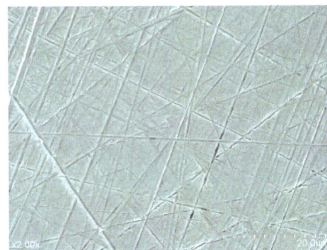


図 16-B. 300 万回後の $R_a = 0.04 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭の SEM 写真 (対向: PMPC 処理 CLPE)



図 15-C. 300 万回後の $R_a = 0.06 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭の SEM 写真 (対向: 未処理 CLPE)

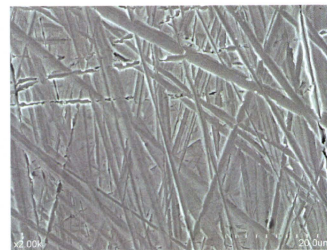


図 16-C. 300 万回後の $R_a = 0.06 \mu\text{m}$ の Co-Cr 骨頭の SEM 写真 (対向: PMPC 処理 CLPE)

D. 考察

本分担研究では、予め、表面粗さを $0.02 \sim 0.06 \mu\text{m}$ になるよう粗面化した Co-Cr 骨頭と未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE ライナーを組み合わせさせて人工股関節シミュレーション試験を行った後の試験検体を回収し、その表面状態および形状変化を調査した。摺動面観察および3次元形状測定において、いずれの表面粗さを有する Co-Cr 骨頭と組み合わせた場合も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。人工股関節シミュレーション試験を行った他の分担研究においても、PMPC 処理は、面粗さが $0.02 \mu\text{m}$ のときには表面粗さ $< 0.01 \mu\text{m}$ のときと同様に、300 万回という試験においてライナーの摩耗を著しく抑制することが明らかになっている。つまり、PMPC 処理は過酷な摺動条件下でさえ、優れた安定性と耐摩耗性を発揮しており、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。

いずれの表面粗さを有する Co-Cr 骨頭と組み合わせた場合も、PMPC 処理 CLPE ライナーは未処理 CLPE ライナーに比較して、高い耐摩耗性を示唆する結果が得られた。表面粗さが $0.06 \mu\text{m}$ になると、未処理 CLPE ライナーの摩耗量は約 10 倍にまで増加するが、このような極めて厳しい条件下では、PMPC 処理 CLPE でさ

え摩耗量は増加し、その効果を失い始めた。 $0.06 \mu\text{m}$ という表面粗さは、抜去到ったチタン合金骨頭（術野（摺動部）にチタン摩耗粉が多数に存在）の表面性状を参考に設定しており、チタン合金骨頭より硬い Co-Cr 骨頭では、臨床上、考えにくいレベルである。しかしながら、このような環境でさえ、PMPC 処理 CLPE ライナーの摩耗量は、未処理 CLPE ライナーのその約 $1/2$ であった。

対向する骨頭の表面性状を維持することが、人工関節の長寿命化にとって重要な要素であることが示唆された。これは、諸家か報告されている抜去品に関する研究において、Co-Cr 骨頭を用いた人工股関節のうち、異常な摩耗を発生させた抜去品は、その骨頭表面が損傷している症例が多いことも支持している。長期的な摺動面の安定性を獲得するために、現在、臨床において広く使用されているセラミックス骨頭との組み合わせはこの点において有用である。

E. 結論

人工股関節シミュレーション試験において、予め、表面粗さを $0.02 \sim 0.06 \mu\text{m}$ になるよう粗面化した Co-Cr 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。PMPC 処理は過酷な摺動条件下でさえ、優れた安定性と耐摩耗性を発揮しており、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. Park JW, Jang JH, Lee CH, Hanawa T: Osteoconductivity of hydrophilic microstructured titanium implants with phosphate ion chemistry. *Act Biomater* (in press).
2. Kamata H, Suzuki S, Tanaka Y, Tsutsumi Y, Doi H, Nomura N, Hanawa T, Moriyama K: Effects of pH, potential, and deposition time on the durability of collagen electrofdeposited to titanium. *Mater Trans* (in press).
3. Nomura N, Fabrication and mechanical properties of porous Ti/HA composites for bone fixation devices. *Mater Trans* (in press).
4. Pecheva E, Pramatarova L, Hikov T, Fingarava, Tanaka Y, Sakamoto H, Doi H, Tsutsumi Y, Hanawa T: *Surf Interface Anal* (in press).
5. Kyomoto M, Moro T, Takatori Y, Kawaguchi H, Ishihara K: Cartilage-mimicking, high-density brush structure improves wear resistance of crosslinked polyethylene: a pilot study. *Clin Orthop Relat Res* (in press).
6. Ishiyama N, Moro T, Ohe T, Miura T, Ishihara K, Konno T, Ohyama T, Yoshikawa M, Kyomoto M, Saito T, Nakamura K, Kawaguchi H: Reduction of peritendinous adhesions by hydrogel containing biocompatible phospholipid polymer MPC for tendon repair. *J Bone Joint Surg Am* 93: 142-9, 2011.
7. Moro T, Takatori Y, Kyomoto M, Ishihara K, Saiga KI, Nakamura K, Kawaguchi H: Surface grafting of biocompatible phospholipid polymer MPC provides wear resistance of tibial polyethylene insert in artificial knee joints. *Osteoarthritis Cartilage* 18: 1174-82, 2010.
8. Kyomoto K, Moro T, Iwasaki Y, Miyaji F, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K: Lubricity and stability of poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) polymer layer on Co-Cr-Mo surface for hemi-arthroplasty to prevent degeneration of articular cartilage. *Biomaterials* 31: 658-68, 2010.
9. Kyomoto M, Moro T, Takatori Y,

- Kawaguchi H, Nakamura K, Ishihara K: Self-initiated surface grafting with poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) on poly(ether-ether-ketone). *Biomaterials* 31: 1017-24, 2010.
10. Ishiyama N, Moro T, Ishihara K, Ohe T, Miura T, Konno T, Ohyama T, Kimura M, Kyomoto M, Nakamura K, Kawaguchi H: The prevention of peritendinous adhesions by a phospholipid polymer hydrogel formed in situ by spontaneous intermolecular interactions. *Biomaterials* 31: 4009-16, 2010.
 11. Ishihara K, Kyomoto M: Photo-induced Functionalization on Biomaterials Surfaces. *J Photopolym Sci Technol* 23: 161-166, 2010.
 12. Oya K, Tanaka Y, Moriyama M, Yoshioka Y, Kimura T, Tsutsumi Y, Doi H, Nomura N, Noda K, Kishida A, Hanawa T: Differences in the bone differentiation properties of MC3T3-E1 cells on polished bulk and sputter-deposited titanium specimens. *J Biomed Mater Res* 94A: 611-8, 2010.
 13. Tanaka Y, Matin K, Gyo M, Okada A, Tsutsumi Y, Doi H, Nomura N, Tagami J, Hanawa T: Effects of electrodeposited poly(ethylene glycol) on biofilm adherence to titanium. *J Biomed Mater Res A* 95A: 1105-13, 2010.
 14. Tanaka Y, Matsuo Y, Komiya T, Tsutsumi Y, Doi H, Yoneyama T, Hanawa T: Characterization of the spatial immobilization manner of poly(ethylene glycol) to a titanium surface with immersion and electrodeposition and its effects on platelet adhesion. *J Biomed Mater Res* 92A: 350-358, 2010.
 15. Suyalatu, Nomura N, Oya K, Tanaka Y, Kondo R, Doi H, Tsutsumi Y, Hanawa T: Microstructure and magnetic susceptibility of as-cast Mo alloys. *Acta Biomater* 6: 1033-1038, 2010.
 16. Murakami M, Nomura N, Doi H, Tsutsumi Y, Nakamura H, Chiba A, Hanawa T: Microstructures of Zr-added Co-Cr-mo alloy compacts fabricated with a metal injection molding process and their metal release in 1 mass% lactic acid. *Mater Trans* 51: 1281-1287, 2010.
 17. Tsutsumi Y, Nishimura D, Doi H, Nomura N, Hanawa T: Cathodic

- alkaline treatment of zirconium to give the ability to form calcium phosphate. *Act Biomater* 6: 4161-4166, 2010.
18. Ohida M, Yoda K, Nomura N, Hanawa T, Igarashi Y: Evaluation of the static frictional coefficients of Co-Cr and gold alloys for cone crown telescope denture retainer applications. *Dent Mater J* 29: 706-712, 2010.
19. 塙隆夫: 脊柱再建手術に使用される金属材料の特性および問題点. *脊椎脊髄ジャーナル*: 23: 19-25, 2010.
20. 塙隆夫: 生体適合・生体機能バイオマテリアル. *バイオマテリアル-生体材料*-28: 18-26, 2010.
21. Hanawa T: Biofunctionalization of titanium for dental implant. *Jpn J Dent Sci Rev* 46: 93-101 2010.
22. 塙隆夫: 歯科に利用できる生体機能金属材料. *日本歯科歯医師会雑誌* 63: 599-609, 2010.
23. 塙隆夫編: 医療用金属材料概論. 日本金属学会, 2010.
24. 京本政之: 生体の構造・機能模倣がもたらす長寿命人工関節. *バイオマテリアル* 28: 177-8, 2010.
25. Hanawa T: Biological reactions on titanium surface electrodeposited biofunctional molecules. In: *Interface Oral Health Science* 2009, Eds. Sasano T., Suzuki O, Springer, New York, 83-9, 2010.
26. Hanawa T: Overview of metals and applications. In: *Metals for Biomedical Devices*, Ed. Niinomi M, Woodhead, Publishing, Oxford, 3-24, 2010.
2. 学会発表
① 国内学会
1. 立石崇晴, 京本政之, 石原一彦: 自己開始光グラフト重合による poly(ether-ether-ketone) (PEEK) の表面改質. 第 59 回高分子学会年次大会. 2010. 5. 26-28 (横浜)
2. 塙隆夫: 金属表面酸化皮膜と抗組織適合性. 招待講演, 東北大学金属材料研究所共同研究ワークショップ・日本バイオマテリアル学会東北地域講演会. 2010. 8. 31 (仙台)
3. 京本政之, 立石崇晴, 石原一彦: ポリ芳香族ケトン上での自己開始グラフト重合による水和潤滑軟骨模倣表面の創製. 第 59 回高分子討論会. 2010. 9. 28-30 (北海道)
4. 大西宏之, 溝川滋一, 大西啓靖, 京本政之, 岩本幹生, 上野勝: 28 mm アルミナ骨頭と組み合わさ

- れた架橋ポリエチレン (Aeonian) ソケットの摩耗. 第 37 回日本股関節学会. 2010. 10. 1- 2 (福岡)
5. 京本政之, 茂呂徹, 石原一彦, 雑賀健一, 川口浩, 中村耕三, 高取吉雄: 生体親和性リン脂質ポリマーをコバルトクロムモリブデン合金表面にグラフトする技術の開発. 第 25 回日本整形外科学会基礎学術集会. 2010. 10. 14- 15 (京都)
 6. 塙隆夫: 脊椎再建と金属材料. 第 19 回日本脊椎インストゥルメンテーション学会シンポジウム. 2010. 10. 29 (札幌)
 7. 雑賀健一, 京本政之, 茂呂徹, 石原一彦: 繰り返し衝撃—摺動環境下におけるポリエチレンの摺動面・背面摩耗. 第 37 回日本臨床バイオメカニクス学会. 2010. 11. 1-2 (京都)
 8. 塙隆夫: バイオフィルム・血栓形成防止金属表面. 第 32 回日本バイオマテリアル学会大会. 2010. 11. 29-30 (広島)
 9. 京本政之, 茂呂徹, 雑賀健一, 立石崇晴, 高取吉雄, 石原一彦: 自己開始光グラフト重合を用いた生体軟骨模倣 PEEK 摺動面の創製. 第 32 回日本バイオマテリアル学会大会. 2010. 11. 29-30 (広島)
 10. 塙隆夫: 金属材料を医療に生かすための基盤技術, 社団法人京都工業会ウェルネス産業人材育成セミナー「ものづくり技術をいかに医療関連分野に展開するか」. 2010. 12. 3 (京都)
 11. 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 京本政之, 荻田達郎, 伊藤英也, 角田俊治, 田中健之, 山脇昇, 雑賀健一, 中村耕三, 川口浩: ポリエチレンライナー表面の MPC グラフト処理による長寿命型人工関節の開発—粗面化した骨頭が MPC 処理に与える影響の検討— . 第 41 回人工関節学会. 2011. 2. 25-26 (東京)
 12. 雑賀健一, 京本政之, 茂呂徹, 伊藤英也, 川口浩, 中村耕三, 石原一彦, 高取吉雄: ポリエチレン厚さがライナーの摩耗・破壊に与える影響—ピンオンディスク型試験機による繰り返し衝撃—摺動試験. 第 41 回人工関節学会. 2011. 2. 25-26 (東京)
 13. 茂呂徹, 高取吉雄, 石原一彦, 京本政之, 雑賀健一, 中村耕三, 川口浩: 人工膝関節の脛骨コンポーネント摺動面に対する MPC ポリマー処理. 第 41 回人工関節学会. 2011. 2. 25-26 (東京)
- ② 国際学会
1. Moro T, Takatori Y, Ishihara K, Kyomoto M, Karita T, Ito H, Tsunoda T, Saiga K, Nakamura K, Kawaguchi H: Biocompatible phospholipid polymer grafting improves the wear resistance of artificial hip joints regardless of the degree of

- cross-linking. 2010 Annual Meeting & Exposition of the Society for Biomaterials (SFB). 2010. 4. 21-24 (Seattle, USA)
2. Kyomoto M, Moro T, Saiga K, Onomoto H, Takatori Y, Ishihara K: Self-initiated surface graft polymerization from PEEK brings smart orthopaedic biomaterials. 2010 Annual Meeting & Exposition of the Society for Biomaterials (SFB). 2010. 4. 21-24 (Seattle, USA)
 3. Oonishi H, Kim SC, Kyomoto M, Iwamoto M, Ueno M, Oonishi H: Comparison of retrieved alumina ceramic TKP to cobalt-chrome alloy TKP after long-term clinical use. 11th European Federation of National Associations of Orthopaedics and Traumatology (EFORT) Congress. 2010. 6. 1-5 (Madrid, Spain)
 4. Oonishi H, Kim SC, Kyomoto M, Iwamoto M, Ueno M, Oonishi H: In vivo wear of highly cross-linked polyethylene acetabular cup against alumina ceramic head. 11th European Federation of National Associations of Orthopaedics and Traumatology (EFORT) Congress. 2010. 6. 1-5 (Madrid, Spain)
 5. Ishihara K, Kyomoto M: Photoinduced Functionalization on Biomaterials Surface. The 27th International Conference of Photopolymer Science and Technology. 2010. 6. 22-25 (Chiba, Japan)
 6. Hanawa T: The biofunctionalization of Metals, Finishi-Japanese Seminar on Biomaterials and Implant "Development of Inorganic Biomaterials with Novel Functions". Aalto University Foundation. 2010.9.10 (Helsinki, Finland)
 7. Hanawa T: Biofunctionalization of metals for medical devices with functional garded surface layer. Plenary Lecture, 11th International Symposium on Multiscale, Multifunctional and Functionally Graded Materials. 2010.9.29 (Guimarães, Portugal)
 8. Oonishi H, Mizokawa S, Oonishi H, Kyomoto M, Iwamoto M, Ueno M: Radiographic and retrieval wear of alumina ceramic on cross-linked polyethylene in total hip arthroplasty. 7th Combined Meeting of the Orthopaedic Research Societies. 2010. 10. 16-20