

- 口浩、中村耕三、阿久根徹：変形性腰椎症と日常生活活動度の低下との関連 - The ROAD study -. 第83回日本整形外科学会学術総会. 2010. 5. 27-30 (東京国際フォーラム、東京).
13. 井上正理、遊佐真一、森島洋太郎、岩崎泰彦、柴田靖久：シリカゲル表面での pH 応答性ポリマーの精密グラフト重合. 第59回高分子学会年次大会. 2010. 5. 26-28 (横浜)
  14. 松野大志、岩崎泰彦：重合性糖鎖を誘導した生細胞の表面修飾. 第59回高分子学会年次大会. 2010. 5. 26-28 (横浜)
  15. 岩崎泰彦、中井康介、森垣憲一：生体膜を模したソフト界面のマイクロアレイ化. 第59回高分子学会年次大会. 2010. 5. 26-28 (横浜)
  16. 川口浩、岡敬之、神宮司誠也、泉敏弘、福永仁夫、佐藤克己、松下隆、中村耕三：リコンビナントヒト線維芽細胞増殖因子-2 (rhFGF-2) の脛骨骨幹部骨折に対する効果 - ランダム化プラセボ対照二重盲検比較試験 -. 第28回日本骨代謝学会 (シンポジウム「骨折の治癒：基礎と臨床」). 2010. 7. 21-23 (京王プラザホテル、東京).
  17. 緒方直史、鄭雄一、中村耕三、川口浩：PTHによる骨形成促進作用の分子メカニズム. 第28回日本骨代謝学会 (カレントコンセプト「PTHの基礎と臨床」). 2010. 7. 21-23 (京王プラザホテル、東京).
  18. 谷口優樹、斎藤琢、池田敏之、鄭雄一、中村耕三、川口浩：転写因子 p63 はその isoform の特異的な軟骨細胞分化調節によって軟骨内骨化を広く制御する (優秀演題賞受賞). 第28回日本骨代謝学会. 2010. 7. 21-23 (京王プラザホテル、東京).
  19. 斎藤琢、深井厚、池田敏之、阿久根徹、中村耕三、鄭雄一、川口浩：HIF2A / NF- $\kappa$ B シグナルは変形性関節症を制御する (優秀演題賞受賞). 第28回日本骨代謝学会. 2010. 7. 21-23 (京王プラザホテル、東京).
  20. 阿久根徹、村木重之、岡敬之、川口浩、中村耕三、吉村典子：膝痛・腰痛とロコモティブシンドローム基礎疾患および日常生活活動との関連—The ROAD study. 第28回日本骨代謝学会. 2010. 7. 21-23 (京王プラザホテル、東京).
  21. 吉村典子、村木重之、岡敬之、川口浩、中村耕三、阿久根徹：血清酒石酸抵抗性酸フォスファターゼ 5b (TRACP5b) 値と骨粗鬆症との関連：The ROAD Study. 第28回日本骨代謝学会. 2010. 7. 21-23 (京王プラザホテル、東京).
  22. 吉村典子、村木重之、岡敬之、川口浩、中村耕三、阿久根徹：血清低カルボキシル化オステオカルシン (ucOC) 値と骨粗鬆症との関連：The ROAD Study. 第28回日本骨代謝学会. 2010. 7. 21-23 (京王プラザホテル、東京).
  23. 松本彬、岩崎泰彦、遊佐真一：リン酸基をもつ MPC ブロックコポリマーの合成と金属表面の修飾. 第56回高分子研究発表会. 2010. 7 (神戸)
  24. 池内亮太、岩崎泰彦：両親媒性ポリリン酸エステルを修飾したリポソームの Hap 親和性. 第56回高分子研究発表会. 2010. 7 (神戸)
  25. 脇篤史、岩崎泰彦：ホリホスファ

- イトを用いたラシカル重合制御.  
第 56 回高分子研究発表会. 2010.  
7 (神戸)
26. 松本彬、岩崎泰彦、遊佐真一：金属表面に結合する MPC ブロックコポリマーの精密合成. 日本バイオマテリアル学会 第 5 回 関西若手研究発表会. 2010. 8 (京都)
  27. 片山晃一、岩崎泰彦：骨親和材料を指向したポリリン酸エステルの合成と石灰化に及ぼす影響. 日本バイオマテリアル学会 第 5 回 関西若手研究発表会. 2010. 8 (京都)
  28. 岩崎泰彦、中井康介、下村 享嗣、森垣 憲一：リン脂質ポリマーブラシを用いた分子認識ソフト界面の創製. 第 59 回高分子討論会. 2010. 9. 28-30 (北海道)
  29. 松野大志、岩崎泰彦：重合性糖鎖を誘導した細胞の表面改質. 第 59 回高分子討論会. 2010. 9. 28-30 (北海道)
  30. 池内亮太、岩崎泰彦：骨親和性を志向したポリリン酸エステル修飾リポソーム の調製. 第 59 回高分子討論会. 2010. 9. 28-30 (北海道)
  31. 谷口優樹、池田敏之、斎藤琢、中村耕三、鄭雄一、川口浩：転写因子 p63 はその isoform の特異的な軟骨細胞分化調節によって軟骨内骨化を広く制御する. 第 25 回日本整形外科学会基礎学術集会. 2010. 10. 14-15 (国立京都国際会館、京都) .
  32. 川口浩、岡敬之、神宮司誠也、泉敏弘、福永仁夫、佐藤克己、松下隆、中村耕三：リコンビナントヒト線維芽細胞増殖因子-2 (rhFGF-2) の脛骨骨幹部骨折に対する効果 - ランダム化プラセボ対照二重盲検比較試験 -. 第 25 回日本整形外科学会基礎学術集会. 2010. 10. 14-15 (国立京都国際会館、京都) .
  33. 川口浩：変形性関節症 up-to-date - その診断、治療、そして分子メカニズム研究の最前線 -. (ランチョンセミナー). 第 25 回日本整形外科学会基礎学術集会. 2010. 10. 14-15 (国立京都国際会館、京都) .
  34. 平田真、釘宮典孝、深井厚、斎藤琢、菅哲徳、東川晶郎、矢野文子、池田敏之、中村耕三、鄭雄一、川口浩：C/EBP  $\beta$  と Runx2 と協調して MMP13 を転写誘導し、骨格成長と変形性関節症を制御する. 第 25 回日本整形外科学会基礎学術集会. 2010. 10. 14-15 (国立京都国際会館、京都) .
  35. 深井厚、斎藤琢、馬淵昭彦、池田敏之、阿久根徹、吉村典子、中川匠、中村耕三、鄭雄一、川口浩：HIF-2A は変形性関節症を制御する転写因子である. 第 25 回日本整形外科学会基礎学術集会. 2010. 10. 14-15 (国立京都国際会館、京都) .
  36. 高取吉雄、石原一彦、茂呂徹、川口浩、中村耕三：シンポジウム「パフォーマンスの良い運動器基礎研究立案への官産学からの提言」学の立場から 人工股関節開発の経験. 第 25 回日本整形外科学会基礎学術集会. 2010. 10. 14-15 (京都)
  37. 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 (国立京都国際会館、

- 京都) .
38. 岡敬之、村木重之、阿久根徹、中村耕三、川口浩、吉村典子：膝軟骨自動抽出ソフトウェアを用いた高解像度膝 MRI 解析 - The ROAD study -. 第 25 回日本整形外科学会基礎学術集会. 2010. 10. 14-15 (国立京都国際会館、京都) .
  39. 阿久根徹、村木重之、岡敬之、川口浩、中村耕三、吉村典子：膝痛・腰痛とロコモティブシンドローム基礎疾患および日常生活活動との関連. 第 25 回日本整形外科学会基礎学術集会. 2010. 10. 14-15 (国立京都国際会館、京都) .
  40. 森田充浩、山田治基、吉村典子、伊達秀樹、岡敬之、村木重之、阿久根徹、川口浩、中村耕三：地域住民コホートにおける変形性膝関節症の病期と生化学的マーカーとの関係 - 第 2 報 -. 第 25 回日本整形外科学会基礎学術集会. 2010. 10. 14-15 (国立京都国際会館、京都) .
  41. 村木重之、阿久根徹、岡敬之、中村耕三、川口浩、吉村典子：大規模コホートスタディによる骨関節疾患と食事および運動との関連 - The ROAD Study - (パネルディスカッション) . 第 28 回日本骨粗鬆症学会. 2010. 10. 21-13 (大阪国際会議場、大阪) .
  42. 吉村典子、村木重之、岡敬之、川口浩、中村耕三、阿久根徹：四肢筋量と骨粗鬆症の関連 - 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) .
  43. 村木重之、阿久根徹、岡敬之、中村耕三、川口浩、吉村典子：膝伸展筋力の年代による推移および変形性膝関節症との相関 - 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) .
  44. 岡敬之、川口浩、村木重之、阿久根徹、中村耕三、吉村典子：高解像度 MRI を用いた変形性膝関節症スコアリングと膝痛との関連 - 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) .
  45. 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) .
  46. 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)
  47. 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)
  48. 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

一処理. 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. Matsuno H, Iwasaki Y: Metabolic expression of methacrylate-derivatized sialic acids and surface modification on the living cells. 2010 Annual Meeting & Exposition of the Society for Biomaterials (SFB). 2010. 4. 21-24 (Seattle, USA)
3. Iwasaki Y, Nakai K, Morigaki, K: Specific protein binding on fluidic lipid bilayer microarray corralled by well-defined polymer brushes. 2010 Annual Meeting & Exposition of the Society for Biomaterials (SFB). 2010. 4. 21-24 (Seattle, USA)
4. Iwasaki Y, Nakai K, Morigaki K: Specific protein binding on phospholipid bilayer array corralled by nonfouling polymer brushes. 240th ACS National Meeting. 2010. 8 (Boston, USA)
5. Yamaguchi E, Iwasaki Y: Synthesis of biocompatible block copolymers using well-defined polyphosphoester macroinitiators. 240th ACS National Meeting. 2010. 8 (Boston, USA)
6. Kawaguchi H: Endochondral ossification signal: A potential therapeutic target for osteoarthritis (invited lecture). 2010 World Congress on Osteoarthritis (OARSI). 2010. 9. 23-26 (Brussels, Belgium).
7. Matsuno H, Iwasaki Y: Metabolic expression of methacrylate-derivatized sialic acids and surface modification on the living cells. 2010 Annual Meeting & Exposition of the Society for Biomaterials (SFB). 2010. 4. 21-24 (Seattle, USA)
8. Iwasaki Y, Nakai K, Morigaki, K: Specific protein binding on fluidic lipid bilayer microarray corralled by well-defined polymer brushes. 2010 Annual Meeting & Exposition of the Society for Biomaterials (SFB). 2010. 4. 21-24 (Seattle, USA)
9. 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- $\kappa$ 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).
10. 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).
  11. 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).
  12. 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).
  13. Taniguchi Y, Saito T, Ikeda T, Chung UI, Nakamura H, Kawaguchi H: A Transcription factor p63 controls extensive steps of endochondral ossification through distinct functions of the isoforms (Young Investigator Award). 32th annual meeting of the American Society for Bone and Mineral Research (ASBMR). 2010. 10.15-19 (Toronto, Canada).
  14. 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).
  15. 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).
  16. 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)

17. 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)
18. 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。

## 分担研究報告書

### 関節摺動面の安定性の検討

分担研究者 茂呂 徹（東京大学大学院医学系研究科 特任准教授）  
苅田達郎（東京大学医学部附属病院 講師）

研究要旨：人工股関節手術により高齢者の歩行能力を回復させ、寝たきりを予防するには、早期に歩行を開始しなければならない。そのためには、脱臼をしない安定した摺動面を有し、弱い筋力でも可動域を獲得できる人工股関節を実現する必要がある。

われわれは、生体の関節軟骨表面で数十年にわたり潤滑性の改善に寄与している、ナノメートルオーダーのリン脂質層に着目し、生体適合性と潤滑特性に優れた 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC) ポリマーを用いてライナー表面にナノレベルの処理を施した長寿命型の人工股関節を創出した。

本研究では関節摺動面の安定性の向上を目的として、下肢の自重によって骨頭が引き下げられライナー面から離れる「浮き上がり防止」について、ライナー摺動面—骨頭間の吸着力を指標として、ライナー摺動面の poly (MPC) (PMPC) 処理が与える影響を検討した。関節摺動面の安定性の向上には、PMPC を用いた表面処理は有効である可能性が示唆された。また、骨頭の大径化によりその吸着力は向上し、一層の安定性向上が期待された。

#### A. 研究目的

人工関節置換術は、変形性関節症や関節リウマチなどの疾患または外傷などにより障害が発生した関節を、人工関節に置換しその機能を再建する治療法である。今後、高齢化が進むわが国において、関節機能の障害を原因とする寝たきりの予防に対して、人工関節が果たす役割は大きくなっている。

人工股関節手術後に高齢者の歩行能力を回復させ、将来の寝たきりを予防するには、訓練を早期に開始しなければならない。そのためには、脱臼をしない安定した摺動面を有し、弱い筋力でも可動域を獲得できる人工股関節を実現する

必要がある。この課題を解決するために、関節面を構成する骨頭の大径化が有効であることはこれまでの研究で明らかとなっている。

われわれは、長寿科学総合研究事業、臨床応用基盤研究事業を通じて、耐摩耗性と生体適合性を両立した長寿命型人工股関節を創出した。この人工股関節は、生体の関節軟骨表面で数十年にわたり潤滑性の改善に寄与している、ナノメートルオーダーのリン脂質層に着目して創出したもので、10～15 年といわれる人工股関節の寿命を飛躍的に延長させる目的で、生体適合性と潤滑特性に優れた poly (2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine)

(PMPC)を用いてライナー表面にナノメートルレベルの処理を加える、独自の新技术を用いたものである。平成19年から東京大学医学部附属病院などで治験が開始されている。本研究の目的は、この技術により関節摺動面の安定性を向上させ、高齢者の寝たきり予防に役立つ革新的な人工股関節を開発することである。

昨年度の成果を踏まえ計画を点検した。臨床で困っていることは、順調に機能している人工股関節が何かの拍子ではずれ、使用者が強い痛みを感じて歩けなくなることである。医師は、患者が述べる脱臼寸前の身体の動きおよび整復時の所見に基づいて、脱臼に至った機転を推定するが、必ずしも特定できない。

われわれは、今年度の研究にあたり、脱臼の機転を「衝突+回転」、「衝突+破壊」、「浮き上がり」の3つに整理した。ここでいう衝突とは、関節運動の極において大腿骨コンポーネントの頸部が寛骨臼コンポーネントの周縁部に接触し、そこが梃子の支点となって骨頭がライナー面から離れる現象を指す。

離れるだけであれば、逆方向の関節運動によって骨頭がライナー面に還納される。人工股関節使用者の中に、座位での体動時などに「はずれるような変な感じ」があると訴える例があり、骨頭がライナー面から離れ支持性を失った感覚を述べているのかもしれない。これに対し、離れた状態で回転が加わり骨頭がライナーの外に移動すると、逆方向の関節運動によって脱臼が成立する。また、ライナー素材によっては衝突によって破損することがあり、脱臼に至ることが報告されている。最後の「浮き上がり」は下肢の自重によって骨頭が引き下げられライナー面から離れる現象を指す。この事象が立体遊脚期に起きた場合には、足部の設置で骨頭はライナー面に還納される可能性が高い。しかし、坐座で起

きた場合には、立ち上がり動作で脱臼が成立する可能性がある。筋電図を用いた生理学的研究において、安静時に大腰筋や中殿筋などの股関節周囲筋から電気活動が記録されていない事実はこの推定と矛盾しない。以上の検討から、今年度の研究計画「(a)抗脱臼機構および関節可動領域の検討、(b)コンポーネント形状の改良」において、「浮き上がりの防止」という課題を追求することにした。

「浮き上がり防止」について、ライナー摺動面—骨頭間の吸着力を指標として(1)架橋ポリエチレン(CLPE)と金属骨頭での標準値、(2)ライナー面のPMPC処理が与える影響、(3)骨頭の大径化による影響—を検討した。

## B. 研究方法

### 1. PMPC処理CLPEの作製

ベンゾフェノンおよびアセトンは、和光純薬製を用いた。MPCモノマーは、日本油脂製を用いた。PE基材には、人工股関節に使用されているCLPEを用いた。

CLPE試験体を10 g/Lに調製したベンゾフェノン含有アセトン溶液に30秒間浸漬した後、速やかに引き上げた。室温にて試験体表面のアセトン溶媒を除去した。完全に脱気した純水を用いて、MPC水溶液(0.5 mol/L)を調製した。ベンゾフェノンを表面にコーティングしたCLPE試験体を、MPC水溶液に浸漬し、5 mW/cm<sup>2</sup>の紫外線(中心波長350 nm)を90分間照射することでグラフト重合を行った。照射中、MPC水溶液を60℃になるよう調整した(図1)。重合後、CLPE試験体を超純水およびエタノールにて十分に洗浄し、PMPC処理CLPEを得た。



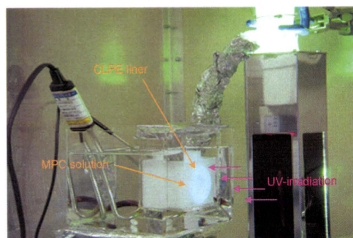


図 1. PMPC 処理装置

## 2. 引き抜き試験

引き抜き試験には、内径 32 mm および 40 mm の日本メディカルマテリアル株式会社製 CLPE (CLQC) ライナー、PMPC 処理 CLPE ライナー (CLQC を PMPC 処理したもの)、および骨頭径 32 mm および 40 mm の日本メディカルマテリアル株式会社製コバルトクロム (Co-Cr) 合金骨頭 (K-MAX HH-02) を、各々 3 セット準備した。

インストロン万能試験機 (5600R1) を使い、Co-Cr 合金骨頭を軸方向に引き抜く際に生じる抗力 (吸着力) により評価した (図 2)。

き、その吸着力を測定した。各条件につき、3 回の試験を行った。試験環境 (摺動面) には、蒸留水、27%ウシ血清およびヒアルロン製剤を用い、室温にて試験をおこなった。

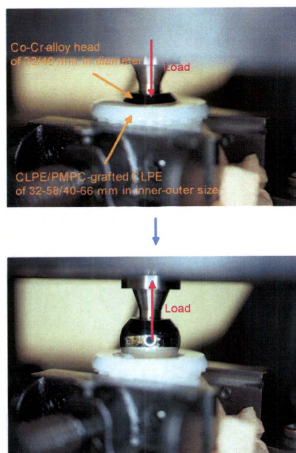


図 2-2. 引き抜き試験の様子

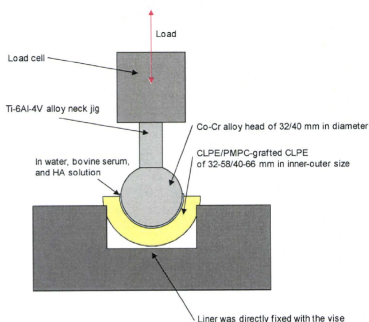


図 2-1. 引き抜き試験模式図

初期荷重 (50 kgf) を、関節摺動面に加えた後 (10 秒ほど静止させた後)、5 ~500 mm/min の離れ速度で骨頭を引き抜

## C. 研究結果

図 3 に、32 mm および 40 mm 骨頭と未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE ライナーとの摺動面の引き抜き速度 100 mm/min における吸着力の測定結果を示す。

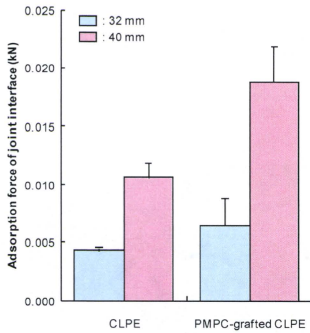


図 3. 未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE ライナーと Co-Cr 骨頭との摺動面の吸着力

32 mm 骨頭および 40 mm 骨頭ともに PMPC 処理 CLPE ライナーと骨頭の吸着力は、未処理 CLPE ライナーと骨頭のそれに比べ高い値となった。骨頭径で比較すると、未処理 CLPE ライナーおよび PMPC 処理 CLPE ライナーともに 40 mm 骨頭を用いた際の吸着力は 32 mm 骨頭に比べ大きく上昇した。

図 4 に、種々の潤滑液環境において、離れ速度を変化させたときの未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE ライナーと Co-Cr 骨頭との摺動面の吸着力の測定結果を示す。

蒸留水環境下において、32 mm 骨頭を用いた場合、離れ速度の増加とともに吸着力が上昇し、PMPC 処理 CLPE ライナーでは 0.0036~0.0196 kN となり、未処理 CLPE ライナーのそれ (0.0040~0.0093 kN) より高い値を示した。

40 mm 骨頭を用いた場合も離れ速度に依存して吸着力は増大した。未処理 CLPE ライナーでは 0.0023~0.0210 kN、PMPC 処理 CLPE ライナーでは 0.0027~0.3010 kN となり、PMPC 処理 CLPE ライナーが高い値を示した。

また、40 mm 骨頭における吸着力は、

32 mm 骨頭におけるそれに比べ、未処理 CLPE ライナーでは最大 3.1 倍、PMPC 処理ライナーでは最大 2.9 倍におよぶ高い値を示した。

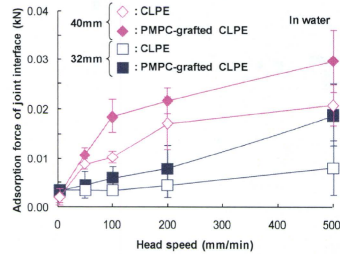


図 4-1. 蒸留水環境下における未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE ライナーと Co-Cr 骨頭との摺動面における吸着力

ウシ血清環境下では、32 mm 骨頭において、未処理 CLPE ライナーでは 0.0068~0.0211 kN、PMPC 処理 CLPE ライナーでは 0.0035~0.0197 kN となり、PMPC 処理の有無で吸着力に差は見られなかった。40 mm 骨頭においても、未処理 CLPE ライナーでは 0.0037~0.0260 kN、PMPC 処理 CLPE ライナーでは 0.0034~0.0279 kN となり、PMPC 処理の有無での差は認められなかった。

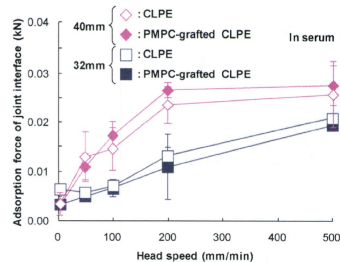


図 4-2. ウシ血清環境下における未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE ライナーと Co-Cr 骨頭との摺動面における吸着力

ヒアルロン酸製剤環境下では、離れ速度が 5 mm/min から 50 mm/min へ増加するにもなって吸着力が大きく上昇した後、50 mm/min 以上の速度域では緩やかに上昇した。32 mm 骨頭において吸着力は、未処理 CLPE ライナーでは 0.0546 ~ 0.0763 kN、PMPC 処理 CLPE ライナーでは 0.0523 ~ 0.0738 kN であった。40 mm 骨頭において、未処理 CLPE ライナーでは 0.0681 ~ 0.1194 kN、PMPC 処理 CLPE ライナーでは 0.0636 ~ 0.1116 kN であった。ヒアルロン酸製剤環境においても PMPC 処理の有無による差は認められなかった。

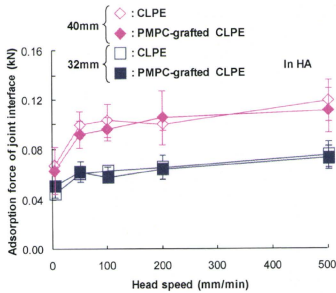


図 4-3. ヒアルロン酸製剤環境下における未処理 CLPE および PMPC 処理 CLPE ライナーと Co-Cr 骨頭との摺動面における吸着力

#### D. 考察

本研究において、人工股関節における摺動面の安定性の検討として、下肢の自重によって骨頭が引き下げられ、ライナー摺動面より離れる「浮き上がり」を評価するため、万能試験機を用いて、ライナーと骨頭との摺動面に生じる吸着力を検討した。

蒸留水環境下において、摺動面に生じる吸着力は引き抜き速度の上昇に伴い、未処理 CLPE ライナーおよび PMPC 処理

CLPE ライナーともに上昇した。その値は、PMPC 処理 CLPE ライナーが未処理 CLPE ライナーに比べ有意に高かった。32 mm 骨頭では、50~500 mm/min の速度で骨頭を引き抜いたとき、PMPC 処理 CLPE ライナーと骨頭の吸着力は、未処理 CLPE ライナーと骨頭のそれに比べ 1.2~2.1 倍高い値を示した。40 mm 骨頭では PMPC 処理 CLPE ライナーにおいて 1.2~1.7 倍高い値を示した。これらの増加は、PMPC 層が保持した水による表面張力、PMPC 層の粘性抵抗などが影響したと考えられる。

また、骨頭径に着目すると、PMPC 処理 CLPE ライナーにおいて 40 mm 骨頭の吸着力は 32 mm 骨頭のそれに比べ 1.5~2.9 倍高い値を示した。これは、大径骨頭を用いることでライナーとの接触面が増大し、MPC 層による抵抗力が顕著に表れたものと考えられる。

ウシ血清環境下では、32 mm 骨頭および 40 mm 骨頭ともに離れ速度の上昇に伴い吸着力は増大したが、その上に PMPC 処理の有無による差は認められなかった。未処理 CLPE ライナーと骨頭の界面では、各々の表面に吸着した血清由来のタンパク質が粘性抵抗となり吸着力を高めたと考えられる。これに対し、PMPC 処理 CLPE 表面ではタンパク質の吸着が抑制される一方、Co-Cr 表面にはタンパク質が吸着する。つまり、PMPC 層とタンパク質との間に吸着力が発生し難い上に、PMPC 処理 CLPE 表面と Co-Cr 骨頭表面の直接接合が防がれる効果を与えられるため、CLPE ライナーと PMPC 処理 CLPE ライナーにおける吸着力に差が生じなかったと考えられる。

ヒアルロン酸製剤環境下で得られた吸着力はいずれも、水およびウシ血清環境下で得られたそれらに比べ、高い値を示した。これは、水、ウシ血清に比べ、ヒアルロン酸製剤の粘度が高いこと由来すると考えられる。

## E. 結論

今年度は、より安定性の高い関節摺動面を持つ大径骨頭を用い、下肢の自重によって骨頭が引き下げられライナー面から離れる「浮き上がり防止」について、ライナー摺動面—骨頭間の吸着力を指標として、ライナー面の PMPC 処理が与える影響を検討した。

大径骨頭を用いた場合でも、PMPC 処理により関節摺動面の吸着力が増大することが示され、その効果はより大径の骨頭を用いることで高くなる可能性が示唆された。大径骨頭に PMPC 処理を施すことで、関節摺動面の安定性および吸着性がともに向上し、浮き上がり防止に寄与することが期待される。

## 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, 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).
2. Jingushi S, Ohfuji S, Sofue M, Hirota Y, Itoman M, Matsumoto T, Hamada Y, Shindo H, Takatori Y, Yamada H, Yasunaga Y, Ito H, Mori S, Owan I, Fujii G, Ohashi H, Iwamoto Y, Miyanishi K, Iga T, Takahira N, Sugimori T, Sugiyama H, Okano K, Karita T, Ando K, Hamaki T, Hirayama T, Iwata K, Nakasone S, Matsuura M, Mawatari T: Osteoarthritis hip joints in Japan: involvement of acetabular dysplasia. *J Orthop Sci* 16: 156-64, 2011.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Takatori Y, Ito K, Sofue M, Hirota Y, Itoman M, Matsumoto T, Hamada Y, Shindo H, Yamada H, Yasunaga Y, Ito H, Mori S, Owan I, Fujii G, Ohashi H, Mawatari T, Iga T, Takahira N, Sugimori T, Sugiyama H, Okano K, Karita T, Ando K, Hamaki T,

- Hirayama T, Iwata K, Matsuura M, Jingushi S: Analysis of interobserver reliability for radiographic staging of coxarthrosis and indexes of acetabular dysplasia: a preliminary study. *J Orthop Sci* 15: 14-9, 2010.
8. Jingushi S, Ohfuji S, Sofue M, Hirota Y, Itoman M, Matsumoto T, Hamada Y, Shindo H, Takatori Y, Yamada H, Yasunaga Y, Ito H, Mori S, Owan I, Fujii G, Ohashi H, Iwamoto Y, Miyanishi K, Iga T, Takahira N, Sugimori T, Sugiyama H, Okano K, Karita T, Ando K, Hamaki T, Hirayama T, Iwata K, Nakasone S, Matsuura M, Mawatari T: Multiinstitutional epidemiological study regarding osteoarthritis of the hip in Japan. *J Orthop Sci* 15: 626-31, 2010.
9. 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.
2. 学会発表
- ① 国内学会
1. 赤坂義之, 高取吉雄, 苅田達郎, 伊藤英也, 茂呂徹, 馬淵昭彦, 中村耕三: 臼蓋形成不全股における寛骨臼縁の骨性欠損 —3D-CT を用いて—. 第82回日本整形外科学会学術総会. 2010. 5. 27-30 (東京)
  2. 中村洋, 角田俊治, 田中健之, 伊藤英也, 苅田達郎, 茂呂徹, 高取吉雄, 中村耕三: 股関節に発症した色素性絨毛結節性滑膜炎の1例. 関東整形外科学会月例会 第654回整形外科学集談会. 2010. 6. 26 (東京)
  3. 高取吉雄, 苅田達郎, 馬淵昭彦, 中村耕三: 人工股関節で用いる寛骨臼コンポーネント「Q5LPカップ」の初期固定性. 第59回東日本整形災害外科学会. 2010. 9. 17-18 (盛岡)
  4. 角田俊治, 田中健之, 伊藤英也, 中村耕三, 茂呂徹, 高取吉雄: 重度臼蓋形成不全を伴う前・初期股関節症に対する寛骨臼回転骨切り術の長期成績. 第37回日本股関節学会学術集会. 2010. 10. 1-2 (福岡)
  5. 伊藤英也, 高取吉雄, 茂呂徹, 馬淵昭彦, 角田俊治, 田中健之, 中村耕三: シンポジウム「寛骨臼回転骨切り術」 寛骨臼回転骨切り術の長期成績. 第37回日本股関節学会学術集会. 2010. 10. 1-2 (福岡)
  6. 高取吉雄, 石原一彦, 茂呂徹, 川口浩, 中村耕三: シンポジウム「パフォーマンスの良い運動器基礎研究立案への官産学からの提言」 学の立場から 人工股関節開発の経験. 第25回日本整形外科学会基礎学術集会. 2010. 10. 14-15 (京都)
  7. 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)
  8. 茂呂徹: ナノテクノロジーを応用した新しい人工関節の開発. 第8回埼玉整形外科ピック・リエゾンセミナー. 2010. 10. 21 (さいたま)
  9. 茂呂徹: ナノ表面制御による新しい人工関節の開発. 第33回股関節懇話会. 2010. 10. 30 (東京)
  10. 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)
11. 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)
  12. 茂呂徹: 長寿命化を目指した新しい人工関節摺動面の開発. 第120回西日本整形災害外科学会. 2010. 11. 14 (佐賀)
  13. 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)
  14. 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)
  15. 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)
  16. 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)
  17. 角田俊治, 伊藤英也, 田中健之, 馬淵昭彦, 中村耕三, 高取吉雄, 茂呂徹: セメントレス人工股関節におけるデジタルテンプレートの信頼性. 第41回人工関節学会. 2011. 2. 25-26 (東京)
  18. 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)
  19. 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-metalTHAの1例. 第41回人工関節学会. 2011. 2. 25-26 (東京)
  20. 田中健之, 伊藤英也, 角田俊治, 茂呂徹, 高取吉雄: OSMEDの両側股関節症に対する治療経験. 第34回関東股関節懇話会. 2011. 3. 5 (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. 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)
4. 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)
  5. 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。

## 研究成果の刊行に関する一覧表レイアウト

雑誌

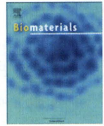
発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Kyomoto K, Moro T, Iwasaki Y, Miyaji F, Kawaguchi H, Takatori Y, Nakamura K, Ishihara K	Lubricity and stability of poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) polymer layer on Co-Cr-Mo surface for hemi-arthroplasty to prevent degeneration of articular cartilage.	<i>Biomaterials</i>	31	658-68	2010
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).	<i>Biomaterials</i>	31	1017-24	2010
Goda T, Goto Y, Ishihara K	Cell-penetrating macromolecules: direct penetration of amphipatic phospholipid polymers across plasma membrane of living cells.	<i>Biomaterials</i>	31	2380-7	2010
Ukawa M, Akita H, Masuda T, Hayashi Y, Konno T, Ishihara K, Harashima H	2-Methacryloyloxyethyl phosphorylcholine polymer (MPC)-coating improves the transfection activity of GALA-modified lipid nanoparticles by assisting the cellular uptake and intracellular dissociation of plasmid DNA in primary hepatocytes.	<i>Biomaterials</i>	31	6355-62	2010
Xu Y, Jang K, Konno T, Ishihara K, Mawatari K, Kitamori T	The biological performance of cell-containing phospholipid polymer hydrogels in bulk and microscale form.	<i>Biomaterials</i>	31	8839-46	2010
Ye SH, Johnson CA, Woolley JR, Murata H, Gamblee LJ, Ishihara K, Wagner WR	Simple surface modification of a titanium alloy with silanated zwitterionic phosphorylcholine or sulfobetaine modifiers to reduce thrombogenicity.	<i>Colloid Surf B: Biointerface</i>	79	357-64	2010
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.	<i>J Biomed Mater Res</i>	92A	350-58	2010
Oya K, Tanaka Y, Moriyama M, Yoshioka Y, Kimura T, Tsutsumi Y, Doi H, Nomura N, Noda K, Kishida A,	Differences in the bone differentiation properties of MC3T3-E1 cells on polished bulk and sputter-deposited titanium specimens.	<i>J Biomed Mater Res</i>	94A	611-8	2010



Hanawa T 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.	<i>J Biomed Mater Res</i>	95A	1105-13	2010
Iwasaki Y, Yamaguchi E	Synthesis of well-defined thermoresponsive polyphosphoester macroinitiators using organocatalysts.	<i>Macromolecules</i>	43	2664-6	2010
Dong CX, Zhu SJ, Mizuno M, Hashimoto M	Compressive creep behavior of silane treated TiO <sub>2</sub> /high-density polyethylene.	<i>Journal Mater Sci</i>	45	1796-802	2010
Ishihara K, Kiyomoto M	Photo-induced Functionalization on Biomaterials Surfaces.	<i>J Photopolym Sci Technol</i>	23	161-6	2010
Ishihara K, Goto G, Matsuno R, Inoue Y, Konno T	Novel polymer biomaterials and interfaces inspired from cell membrane functions.	<i>Biochim Biophys Acta-General</i>	1810	268-75	2010
Saito T, Fukai A, Mabuchi A, Ikeda T, Yano F, Ohba S, Nishida N, Akune T, Yoshimura N, Nakagawa T, Nakamura K, Tokunaga K, Chung UJ, Kawaguchi H	Transcriptional regulation of endochondral ossification by HIF-2 $\alpha$ during skeletal growth and osteoarthritis development.	<i>Nat Med</i>	16	678-686	2010
Takatori Y, Ito K, Sofue M, Hirota Y, Itoman M, Matsumoto T, Hamada Y, Shindo H, Yamada H, Yasunaga Y, Ito H, Mori S, Owan I, Fujii G, Ohashi H, Mawatari T, Iga T, Takahira N, Sugimori T, Sugiyama H, Okano K, Karita T, Ando K, Hamaki T, Hirayama T, Iwata K, Matsuura M, Jingushi S	Analysis of interobserver reliability for radiographic staging of coxarthrosis and indexes of acetabular dysplasia: a preliminary study.	<i>J Orthop Sci</i>	15	14-9	2010

<p>Jingushi S, Ohfuji S, Sofue M, Hirota Y, Itoman M, Matsumoto T, Hamada Y, Shindo H, Takatori Y, Yamada H, Yasunaga Y, Ito H, Mori S, Owan I, Fujii G, Ohashi H, Iwamoto Y, Miyanishi K, Iga T, Takahira N, Sugimori T, Sugiyama H, Okano K, Karita T, Ando K, Hamaki T, Hirayama T, Iwata K, Nakasone S, Matsuura M, Mawatari T</p>	<p>Multiinstitutional epidemiological study regarding osteoarthritis of the hip in Japan.</p>	<p><i>J Orthop Sci</i></p>	<p>15</p>	<p>626-31</p>	<p>2010</p>
<p>Jingushi S, Ohfuji S, Sofue M, Hirota Y, Itoman M, Matsumoto T, Hamada Y, Shindo H, Takatori Y, Yamada H, Yasunaga Y, Ito H, Mori S, Owan I, Fujii G, Ohashi H, Iwamoto Y, Miyanishi K, Iga T, Takahira N, Sugimori T, Sugiyama H, Okano K, Karita T, Ando K, Hamaki T, Hirayama T, Iwata K, Nakasone S, Matsuura M, Mawatari T</p>	<p>Osteoarthritis hip joints in Japan: involvement of acetabular dysplasia.</p>	<p><i>J Orthop Sci</i></p>	<p>16</p>	<p>156-64</p>	<p>2011</p>

石原一彦、 井上祐貴、 松野亮介	細胞膜模倣ポリマーマテリアルのナ ノバイオ機能.	膜	35	217-23	2010
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
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.	<i>Clin Orthop Relat Res</i>			in press



## Lubricity and stability of poly(2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine) polymer layer on Co–Cr–Mo surface for hemi-arthroplasty to prevent degeneration of articular cartilage

Masayuki Kyomoto<sup>a,c,f</sup>, Toru Moro<sup>c,d</sup>, Ken-ichi Saiga<sup>a,c,f</sup>, Fumiaki Miyaji<sup>f</sup>, Hiroshi Kawaguchi<sup>d</sup>, Yoshio Takatori<sup>c,d</sup>, Koza Nakamura<sup>d</sup>, Kazuhiko Ishihara<sup>a,b,e,\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Materials Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, Japan

<sup>b</sup> Department of Biomechanics, School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, Japan

<sup>c</sup> Division of Science for Joint Reconstruction, Graduate School of Medicine, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, Japan

<sup>d</sup> Sensory & Motor System Medicine, Faculty of Medicine, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, Japan

<sup>e</sup> Center for NanoBio Integration, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, Japan

<sup>f</sup> Research Department, Japan Medical Materials Corporation, 3-3-31 Miyahara, Yodogawa-ku, Osaka 532-0003, Japan

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 30 July 2009

Accepted 22 September 2009

Available online 9 October 2009

#### Keywords:

Phosphorylcholine  
Cobalt alloy  
Hip replacement prosthesis  
Surface modification  
Cartilage  
Friction

### ABSTRACT

Migration of the artificial femoral head to the inside of the pelvis due to the degeneration of acetabular cartilage has emerged as a serious issue in resurfacing or bipolar hemi-arthroplasty. Surface modification of cobalt–chromium–molybdenum alloy (Co–Cr–Mo) is one of the promising means of improving lubrication for preventing the migration of the artificial femoral head. In this study, we systematically investigated the surface properties, such as lubricity, biocompatibility, and stability of the various modification layers formed on the Co–Cr–Mo with the biocompatible 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC) polymer by dip coating or grafting. The cartilage/poly(MPC) (PMPC)-grafted Co–Cr–Mo interface, which mimicked a natural joint, showed an extremely low friction coefficient of <0.01, as low as that of a natural cartilage interface. Moreover, the long-term stability in water was confirmed for the PMPC-grafted layer; no hydrolysis of the siloxane bond was observed throughout soaking in phosphate-buffered saline for 12 weeks. The PMPC-grafted Co–Cr–Mo femoral head for hemi-arthroplasty is a promising option for preserving acetabular cartilage and extending the duration before total hip arthroplasty.

© 2009 Elsevier Ltd. All rights reserved.

## 1. Introduction

Resurfacing or bipolar hemi-arthroplasty for the treatments of osteoarthritis or osteonecrosis of hip of the young, active patient profile, and fractures of the femur neck of the typically aged patient profile, has long been advocated [1]. Consequently, resurfacing and bipolar hemi-arthroplasties can be possibly used as delaying tactics prior to revision surgeries of total hip arthroplasty. Most patients receive dramatic pain relief and rapid improvement in both their daily activities and quality of life due to advantages such as reduced blood loss, lower dislocation, ease of implantation, etc. However, migration of the artificial femoral head to the inside of the pelvis

due to the degeneration of acetabular cartilage has emerged as a serious issue in the hemi-arthroplasties [2]. The longevity of the artificial femoral head after hemi-arthroplasty depends upon the quality of the acetabular cartilage or the lubrication conditions between the artificial femoral head and acetabular cartilage. Surface modifications of cobalt–chromium–molybdenum alloy (Co–Cr–Mo) for the artificial femoral head is one of the promising means of improving lubrication and preventing the degradation of acetabular cartilage, thereby preventing the migration of the artificial femoral head. Such surface modifications may improve hemi-arthroplasty survival, and liberate the restrictions for its application to younger, active patients.

Most frequently, surface modification with polymer is performed using either of the following methods: (1) surface-initiated graft polymerization, termed as the “grafting from” method, in which monomers are polymerized from initiators, and the polymeric molecules are grafted onto the substrate through covalent bonding; and (2) adsorption or immobilization of the polymer onto

\* Corresponding author. Department of Materials Engineering, School of Engineering, The University of Tokyo, Hongo 7-3-1, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan. Tel.: +81 3 5841 7124; fax: +81 3 5841 8647.

E-mail address: [ishihara@mpcc.tu-tokyo.ac.jp](mailto:ishihara@mpcc.tu-tokyo.ac.jp) (K. Ishihara).