

機関番号：32607

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700470

研究課題名（和文）人工関節ステム－骨組織間の応力と変位量に基づく固定法評価基準の確立

研究課題名（英文）Establishment of evaluation standards for stems fixation by stress and displacement between prostheses stems and femoral tissue

研究代表者

酒井 利奈（SAKAI RINA）

北里大学・医療衛生学部・講師

研究者番号：10383647

研究成果の概要（和文）：

現在、多様なデザインの人工関節が次々と開発され臨床応用されているが、新規開発された人工関節の固定法を力学的に評価する指針は確立されていない。そこで本研究においては人工股関節ステム形状の特徴的な固定部位が初期固定に機能するか否かを検討するため、人工股関節と骨組織の三次元有限要素解析を行った。生物学的な固定に到達する以前の初期段階においては、近位部に流動的でない応力分布を有することが望ましい。従来一般に信じられている広い接触面積を追求するという基準は改めるべきである。

研究成果の概要（英文）：

Although the relationship between the contour and stress or micro-motion at the fixation site has been analyzed, guidelines on stem design have not been established. Contact stress at the fixation site of a joint prosthesis was analyzed by an explicit three-dimensional finite element method. The situation of the initial fixation about the specific part which becomes important clinically based on the results was clarified. This study highlights the mechanical instability of the fixation site of joint prostheses, and thus suggests that the general idea that unconditionally recommends a larger area for the fixation site of joint prostheses should be revised.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：バイオメカニクス

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：人工股関節、インプラント、股関節ステム、初期固定、有限要素解析、シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

人工関節使用数の増加に伴い置換術後の大腿部痛が临床上深刻な問題となっている。申請者は術後の痛みは固定法上の問題であると推察した。その根拠は、人工関節を骨セメントで固定していた1990年代前半まで大腿部痛は問題とならなかったが、プレスフィット固定が支持されるようになった近年、大

腿部痛の問題が顕在化してきているからである。人工関節の固定法として Charnley (1959) が普及させた骨セメントによる方法は現在も重要な選択枝のひとつとなっている。しかし術中に体内に発散する毒性の問題や再手術時の周囲組織の損傷の問題に対する批判から、1990年頃から次第に骨セメントを用いない方法（セメントレス固定）に主流

が移ってきている。セメントレス固定の場合、プレスフィットすなわち強い力での打込みを実施する方法が、固定力を増強させると信じられている。しかし打込みは大腿骨軸に平行な圧縮力であるため、過剰な打込みは骨組織内に周方向応力を発生し、この応力が長期残留して痛みを生じると推定される。固定法の問題は、人工関節と骨組織の接点の問題であるため、工学分野と医学分野の両方にまたがった複雑な様相を呈する。したがって人工関節システムの固定法の優劣を評価する方法の確立が国内外において急務とされているが、新規開発された人工関節について定量的に評価をするための具体的な指針はこれまで示されていない。そこで本研究課題においては大腿部における疼痛の予防を目的とし、新規に開発された人工関節の固定法の良否を判定する評価法を構築した。判断基準として変位量と応力を指標とし、審査の効率化が期待できる FEM を用いた評価を行った。

人工関節システムは我が国の先進的な技術力からなるものが多数あり、日本が戦略的に国際規格への提案を行い、国際的な優位性を確立することが可能な分野である。したがって本取組の中で提起した課題を解決し、国際規格化も視野に入れた評価法を確立することが必要であった。本手法が評価法として適応されれば技術的進展における利点に加え、他の医療分野への波及効果が期待できる。

2. 研究の目的

上記の背景を鑑み、当該研究において以下の 3 つの項目を検討課題とし重点的に推進した。

- (1) 数値モデルによる動的有限要素解析により、システムの固定部に生じる応力と変位量の最適化について検討した。
- (2) 計算的評価法と同等の方法でヒト人工大腿骨を用いた実験を行い、最適と定義した評価法の基準値を確認する。臨床で用いられている代表的な人工関節システムを対象として荷重試験器とレーザー変位計による変位量を算出し実験的、理論的な評価を試みた。
- (3) 人工関節システム周囲骨組織上の残留応力を動物実験レベルで推定する。動物実験に基づくデータを取得することによる妥当性の高い評価を実現し固定法の判定を目指す。その結果を基に、人工関節の固定法を評価する基準を構築した。

3. 研究の方法

平成 21 年度

(1) 動的有限要素法解析を骨子とした数値シミュレーションを行い、評価基準として最適な人工関節システム周囲の応力分布と変位量を求めた。

方法

CT 画像を基に 8 面体要素を生成する作業を行い解析用の仮想モデルを作成した。荷重および拘束条件は、ISO7026 人工股関節荷重試験の条件を適用した。解析するシステムは、従来臨床で用いられている代表的な機種の中から特徴的な形状を有する数種（フランジ、フィン、プレスフィット固定）を選定した。骨と人工関節の接触問題は硬い材料同士の接触であるため、一般的な接触理論のみでは理論的な解析が難しいとされている。その理由は構造力学で不静定と呼ばれる不安定現象を含むからである。この接触問題に対応するため新たに動的有限要素法解析システムを用いた。プログラムとハードウェアは一対一対応している必要があるためワークステーションの付属しているシステムを選定した。

平成 22 年度

(2) レーザー変位計によるヒト人工大腿骨を用いた変位量測定を行った。

(3) 形状記憶合金によるラット大腿骨を用いた応力測定を行った。

方法

(2) について：人体内の荷重条件を再現する目的で作成した荷重試験器（現有）とレーザー変位計を用い、ヒト人工大腿骨に対するシステムの相対的変位量を臨床問題となる沈み込み、回旋方向について測定した。個別の臨床データを分析した知見を基に評価システムを検討し、2 つの指標で評価方法を整理した。

(3) について：実験動物としてラットを選び、大腿骨に残留応力に相当する荷重を与えるためのピン（材質：Ni-Ti）を挿入した。直径 0.2 ～ 0.4 mm のワイヤを成形し熱処理を行い、形状を記憶した。

麻酔下でラットの股関節近傍を切開し、大腿骨の転子間に、直径 2 mm の挿入孔を掘孔し、脛腓骨骨幹部中央にピンを挿入した。体内の温度上昇により記憶した形状に復帰させ、ピン中央の膨らみ部分が骨組織を髓腔内から静止荷重で圧迫するように設置した。ピンを挿入したラットをケージアクティビティ下で飼育し、7 日ごとにピン挿入部位の一定方向レントゲン撮影による経過観察を行い、ピンの外形状変化量を求めた。

4 週間の実験終了後に周囲骨組織を採取し、挿入したピンの外形の変化を実測した。同時に、ピンを抜去した後の周囲の骨組織の状態を組織学的に観察した。ピン挿入位置における骨組織のリモデリングの範囲を推定し、骨組織に対する応力の影響を評価した。

4. 研究成果

(1) 疲労強度試験の労力を大幅に低減できる

評価手法としてシミュレーションに着目し、効果的に研究を進めるため有限要素解析から着手した。整形系インプラントの力学特性評価において、代表的な指標である応力について調べるため、代表的な3種類の人工股関節ステムを対象とし有限要素モデルを構築した。PerFix SV[®] stem (以後、PSV システム) は両側に局所的な高い応力が現れ、荷重条件の変化にともなう応力部位の移動を確認した。最も高い応力値は近位内側において 25.0 MPa であった。Intra-Medullary Cruciate[®] stem (以後、IMC システム) はステム本体部、横止めピン周囲部において両側とも均一な応力分布を呈した。最大応力値は横止めピン直下において 21.3 MPa であった。VerSys[®] stem (以後、VS システム) では、近位内側に高い応力部位を認め、それ以外の部位は全体的に低値を示した。最も高い応力値は 24.9 MPa であった。周囲条件を変えた場合の応力分布映像のピクセルの変化率について画像処理ソフトを用い算出した結果、固定部位面積変化率は外側においては PSV システム、内側においては VS システムが有意に大きい値を示した。人工股関節ステムの初期固定性に関する検討はこれまで多くの研究者によって報告されている^{17), 18)}。しかしながら、固定性を判断するための指標を定め、各種システムを評価した報告は存在しない。そこで本研究においては各システムにおける固定部位の二次元画像から応力分布の固定部位面積変化率を算出し固定性評価を行った。数値解析において、PSV システムの高い応力は荷重条件変化後に移動を生じたことから、機械的な固定性が得られにくいと推察した。IMC システムは両側とも均一な応力分布を呈したことから、初期固定において有利な形状であることが示唆された。IMC システムの荷重を主に横止めピンで受けるという独特な固定機構により、近位の適切な部分に力が伝達し良好な初期固定が得られたと推察した。VS システムでは近位内側に高い応力部位を認め流動的に移動したことから、骨と人工股関節ステムとの界面の力学状態が周囲条件変化後に不安定になると考えられる。数値解析の固定部位面積変化率において IMC システムが低値を示したのは、ステム本体部の応力分布が周囲条件を変化させた場合にも流動しなかったためである。単体応力評価、及び骨に設置した複合系での数値計算による応力に関して具体的に数値を明らかにした上で計算的評価方法を確立した。

(2) 当該研究において人工股関節ステム形状の特徴的な固定部位が初期固定に機能するか否かを評価するため、人工股関節と骨組織の三次元有限要素解析と圧力フィルムと変位センサを用いた実験計測を行った。解析によって得られた指標毎の評価基準の妥当性

を実験計測により確認するため、ヒト人工大腿骨を用いた骨-ステム系の実モデルにおいて解析と同等の条件を適用し、固定法評価への展開を図った。中圧用応力フィルムの測定において PSV システムは近位内側と遠位外側に高い接触応力を認めた。両部位における応力値は 25.5 MPa であった。IMC システムはステム上部と横止めピン周囲部に高い接触応力を確認した。最も高い応力値は 19.5 MPa であった。VS システムにおいては近位内側と遠位外側にわずかな接触応力を認めた。最も大きい値を有した部位の応力値は 27.5 MPa であった。詳細な応力分布を得るため低圧用応力フィルムの測定を行った結果、PSV システムは中圧用応力フィルム同様、近位内側と遠位外側に高い接触応力を認めた。IMC システムは横止めピン下部に高い応力値を有する領域を呈した。VS システムにおいては内側の近位部から遠位部にかけて広範囲にわたる高い接触領域を認めた。固定部位面積変化率は内側において IMC システム、PSV システムが低値を示し VS システムが高値を示した。外側においては PSV システムが最も高い値を認め、次いで VS システム、IMC システムの準に低値を認めた。タクトイルセンサ測定において、PSV システムの外側に偏在した高い応力分布は荷重条件変化後大きく移動した。最も高い応力値は 25.0 MPa であった。IMC システムは一定以上の応力を有する領域について変化量に顕著な差を認めなかった。最も高い応力値は 20.9 MPa であった。VS システムは応力値 25.0 MPa 以上を有する高い応力部位の移動を認めた。応力分布映像のピクセルの変化率、すなわち固定部位面積変化率は両側において PSV システム、VS システムが大きな値を示した。タクトイルセンサ測定の固定部位面積変化率において、IMC システム遠位外側が低値を示した理由は、遠位外側に固定部位である横止めピンがないため高い応力が表れず遠位端の変位量を低減させたと考えられる。一方、VS システムの近位内側は固定部位であるフィンを有していることから高い応力部位を有する領域が広範囲に及び、荷重条件変化後その領域は他の部位に拡散し低値を示したと推測できる。PSV システムは骨とステム間の接触面積を広げ、応力分布を均一にするプレスフィット形状を設計上の指針としているが、均一な応力分布状態を確認できなかった。PSV システムの数値解析においては、外側で変化率が高い値を示し、他のシステムに比べ有意に大きい値を示したことから3機種の中で最も初期固定性が得られにくいと判断した。応力フィルムの測定において危惧された外反の可能性は、タクトイルセンサのリアルタイム測定により回避されることが明らかになった。ステムに数 GPa の応力が認められた場合、破損が危惧されるが本解析結果、測定結果においてい

ずれのステムにおいても応力集中は認められなかった。

(3) ラットを用いた残留応力の計測では、ピン挿入時の X 線像から推定した荷重は、2.0~4.2N であった。これらの荷重から求めた平均最大接触圧力は 76~109 MPa だった。挿入後 3 週間経過時点では、X 線像においてピンの周囲骨組織に顕著な変化は見られなかった。ただし、推定接触応力が大きい例で、骨幹の遠位部外側でわずかな骨肥厚が観察された。3 週間経過時点におけるマイクロ CT 画像観察においても、皮質骨の非薄化、骨硬化像、骨透過像等の X 線透過度変化、骨梁構造の変化に著しい変化は認められなかった。ただし、ピンの周囲には明らかな骨新生が観察され、ピン材料に用いたニッケルチタン合金の高い骨親和性が示された。6 週経過時点では、接触圧力 97 MPa と 109 MPa の例で、遠位部外側での骨肥厚が明らかになった。髓腔内の明らかな変化は認められなかった。骨への力学的刺激が局所で高い応力を発生した場合に、その応力を平均化して均一な状態に向かうような骨組織の再形成がなされる。しかし、人工関節ステムの打ち込みの場合、ステムの形状に沿った部分の高い応力は、骨組織と人工材料の界面における応力を緩和する方向の骨再生は難しい。ここでの応力の緩和には骨組織の吸収しかないので、周囲より応力の高い部分では骨成長するというリモデリング法則が成り立たないからである。よって、接触部分の力学的刺激がどのような反応を起こすのかを、通常の骨組織の反応から予測するのは難しい。本実験の結果、荷重を加えたピンの表面と骨の間の界面においては、骨の降伏応力に近い応力に曝されているにも関わらず、数週間にわたって、変化がほとんど見られなかった。これは、接触による力学刺激が、骨組織にとって特殊な環境であることを示した。また、人工関節ステムの固定力として働く、骨内部の応力が長期にわたって残留する可能性が示された。一方、皮質骨の外側では、髓腔内に高い応力があると、その影響により、骨肥厚が発生することがわかった。この部分では、骨肥厚による断面積の増加による応力の緩和がリモデリング法則に従って起きたと考えられた。

固定部周囲の固定性を判定する際の基準のひとつとして応力分布の評価が有用であることを示した。整備した評価案については市場適合性の観点からメーカー側の意向だけでなく、臨床医の意向も配慮し、患者に対する安全性を最重要課題とした。関係学会をはじめとする幅広い関係者から評価基準に関する意見を聞き、特に安全面での確保には十分な考慮を払った。人工関節ステムの応力伝達様式に関する測定や解析はこれまで多くの研究者によって報告されているが固

定法を評価するための基準を構築した研究は本研究課題のみである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 16 件)

- ① Sakai R, Takahashi A, Takahira N, Uchiyama K, Yamamoto T, Uchida K, Fukusima K, Moriya M, Takaso M, Itoman M, Mabuchi K. Hammering force during cementless total hip arthroplasty and risk of microfracture. Hip International, in Press. 査読有 (IF: 0.343)
- ② 酒井利奈, Roland Steck, Gongfa Chen, Michael Schuetz, 奥田奈穂, 峰原宏昌, 上野正喜, 内田健太郎, 高相晶士, 糸満盛憲, 馬淵清資: リモデリング支配則を用いたマウス用骨折固定プレートにおける固定法の検討. バイオメカニズム学会誌, in Press. 査読有
- ③ Uchiyama K, Takahira N, Narahara H, Fukusima K, Yamamoto T, Moriya M, Kawamura T, Urabe K, Sakai R, Itoman M, Takaso M: Revision total hip replacement with cementless interlocking distal femoral stem with allograft-cemented composite and the application of intramedullary and onlay cortical strut allografts: Two case reports. Journal of Orthopedic Science, in Press. 査読有 (IF: 1.027)
- ④ 酒井利奈, 高橋亮子, 高平尚伸, 内山勝文, 山本豪明, 福島健介, 森谷光俊, 内田健太郎, 高相晶士, 糸満盛憲, 馬淵清資: 人工股関節ステムのセメントレス固定における打ち込み力の推定. バイオメカニズム学会誌, 35(1), 52-57, 2011. 査読有
- ⑤ Sakai R, Sato Y, Itoman M, Mabuchi K. Initial fixation of a finite element model of an AI-Hip cementless stem evaluated by micromotion and stress. Journal of Orthopedic Science, 15(1):132-139. 2010. 査読有 (IF: 1.027)
- ⑥ 酒井利奈, 尾畑幸代, 吉岡亮, 糸満盛憲, 前澤伯彦, 馬淵清資: in vitro テストに基づく人工股関節ステム転子間プレートの影響評価. バイオメカニズム学会誌, 34(3), 71-77, 2010. 査読有
- ⑦ 酒井利奈, 高橋亮子, 高平尚伸, 糸満盛憲, 馬淵清資: 人工股関節ステムのセメントレス固定における術中骨折の発生条件. 臨床バイオメカニクス学会誌, 31, 271-282, 2010. 査読有
- ⑧ 尾畑幸代, 酒井利奈, 吉岡亮, 糸満盛憲, 馬淵清資: セメントレス軸旋型人工股関節ステムの固定部接触圧力の感圧フィルムによる測定. 臨床バイオメカニクス学会誌, 31, 287-292, 2010. 査読有
- ⑨ 馬淵清資, 酒井利奈, 占部 憲: 人工膝関節ポリエチレンインサートの圧縮強度基

準. 臨床バイオメカニクス学会誌, 31: 207-212, 2010. 査読有

- ⑩ Sakai R., Obata S, Uchiyama K, Yamamoto T, Uchida K, Takaso M, Itoman M, Mawzawa H, Mabuchi K, Evaluation of the usefulness of a femoral stem with an intertrochanteric plate based on measurements and finite element simulations. Proceedings of the 7th Combined Meeting of the Orthopaedic Research. (Proceedings CD)
- ⑪ Sakai R., Sato K., Itoman M., Mabuchi K.: Finite element analysis of the effect of proximal interlocking on primary fixation of the Intra-Medullary Cruciate Stem. Journal of Orthopedic Science, 14(1):85-95.2009. 査読有 (IF: 1.027)
- ⑫ 酒井利奈, 小川直, 尾畑幸代, 糸満盛憲, 前澤伯彦, 馬淵清資: 軸旋型人工股関節ステムのプレート部における微可動の有用性. 日本生体医工学会誌, 45(5), 417-422, 2009. 査読有
- ⑬ 酒井利奈, 小川直, 糸満盛憲, 尾畑幸代, 菊池康博, 馬淵清資: 有限要素解析による人工股関節ステムのフランジモデルとカラーモデルの応力分布の比較. 臨床バイオメカニクス学会誌, 30, 287-292, 2009. 査読有
- ⑭ 酒井利奈, 佐藤祐輔, 糸満盛憲, 馬淵清資: マイクロモーションと von Mises 応力によって評価した AI-Hip cementless stem 有限要素モデルの初期固定性. バイオメカニクス学会誌, 33(1), 71-77, 2009. 査読有
- ⑮ 酒井利奈, 小川直, 尾畑幸代, 菊池康博, 糸満盛憲, 馬淵清資: 有限要素解析によって評価したステム近位部のプレートの有用性. 日本人工関節学誌 39:426-427, 2009. 査読無
- ⑯ 川崎康雄, 酒井利奈, 馬淵清資: 人工膝関節に使用されている超高分子量ポリエチレンの圧縮強度. 日本人工関節学誌 39:298-195, 2009. 査読無
- ⑰ 尾畑幸代, 酒井利奈, 小川直, 菊池康博, 糸満盛憲, 馬淵清資: プレートを有するステムの圧力分布測定. 日本人工関節学誌 39:428-429, 2009. 査読無

[学会発表] (計 24 件)

- ① 馬淵清資, 平木祐哉, 中川博央, 田中健誠, 西浦淳, 酒井利奈: 振り子装置を応用した金属製人工股関節の研磨法. 第31回バイオトライボロジシンポジウム, 東京. [抄録 p.15 2011.3.19]
- ② 酒井利奈, 森田とわ, 菊地亜紀, 吉本真純, 山本豪明, 森谷光俊, 大山純一, 馬淵清資, 高平尚伸: 人工股関節置換術における術中骨折の予防のための客観的評価方法を目指したハンマリング音の周波数解析. 第31回バイオトライボ

ロジシンポジウム, 東京. [抄録 p.16 2011.3.19]

- ③ 山本豪明, 酒井利奈, 内山勝文, 成瀬康治, 内田健太郎, 須藤光敏, 須藤香織, 上野正喜, 糸満盛憲, 馬淵清資, 高相晶士: 全人工股関節置換術後の時系列でのstem周囲のBMD変化と応力値の検討. 第31回バイオトライボロジシンポジウム, 東京. [抄録 p.17 2011.3.19]
- ④ 田中健誠, 酒井利奈, 占部憲, 川崎康雄, 馬淵清資: せん断ひずみを基準とした人工膝関節ポリエチレンインサートの塑性設計. 第31回バイオトライボロジシンポジウム, 東京. [抄録 p.12 2011.3.19]
- ⑤ 馬淵清資, 平木祐哉, 酒井利奈, 田中健誠, 中川博央: 人工股関節の流体潤滑性能に及ぼす加工精度の影響. 第41回日本人工関節学会, 東京, [抄録集p.335 2011.2.26]
- ⑥ 田中健誠, 酒井利奈, 占部憲, 川崎康雄: せん断ひずみを基準とした人工膝関節ポリエチレンインサートの塑性設計. 第41回日本人工関節学会, 東京, [抄録集p.349 2011.2.26]
- ⑦ 森田とわ, 菊地亜紀, 高平尚伸, 酒井利奈, 馬淵清資: 人工股関節ステムのセメントレス固定における打ち込み力の推定. 第23回バイオエンジニアリング講演会, 熊本, 2011.1.8-9, 発表1.8 [第23回バイオエンジニアリング講演論文集, 日本機械学会 No.8B-09, p.27-28, 2011.1.7]
- ⑧ 田中健誠, 酒井利奈, 山本豪明, 倉鍵佑一郎, 馬淵清資: 全人工股関節置換術後のDuetto SI stem周囲における骨密度と応力の測定. 第23回バイオエンジニアリング講演会, 熊本, 2011.1.8-9, 発表1.8 [第23回バイオエンジニアリング講演論文集, 日本機械学会No.8B-10, p.29-30, 2011.1.7]
- ⑨ 平木祐哉, 中川博央, 田中健誠, 酒井利奈, 西浦淳, 馬淵清資: 硬い材料同士の摩擦面を有する人工股関節の加工精度と流体潤滑性能. 第23回バイオエンジニアリング講演会, 熊本, 2011.1.8-9, 発表1.8 [講演論文集, 日本機械学会 No.8B-18, p.217-228, 2011.1.7]
- ⑩ 高橋亮子, 酒井利奈, 高平尚伸, 馬淵清資: 人工股関節ステムのプレスフィット固定における術中骨折の発生条件. 第30回バイオトライボロジシンポジウム, 福岡. [抄録 p.28 2010.3.13]
- ⑪ 尾畑幸代, 酒井利奈, 吉岡亮, 糸満盛憲, 馬淵清資: 人工股関節ステム転子間プレート固定の有用性評価. 第30回バイオトライボロジシンポジウム, 福岡. [抄録 p.29 2010.3.13]
- ⑫ Sakai R., Obata S., Sato Y., Itoman M., and Mabuchi K.: Primary fixation of an AI-Hip cementless stem using THA. Ausrauma 2010:

- Critical care and emergency surgery conference, Sydney. [Scientific Program: 98, 2010.2.11-13.]
- ⑬ 馬淵清資, 川寄康雄, 酒井利奈: 人工膝関節ポリエチレンインサートの強度基準. 第22回バイオエンジニアリング講演会, 岡山, 2010.1.9-10, 発表 1.10. [講演論文集, 日本機械学会 No.09-55, p.352, 2010.1.9]
- ⑭ Sakai R., Itoman M, Maezawa H and Mabuchi K: In vitro tests in order to evaluate the effect of a femoral stem with an intertrochanteric plate. ISTA 2010: The 23th Annual Symposium of the International Society for Technology in Arthroplasty, Dubai, [Final Program Oral Abstracts: 30, 2010.10.6-8.]
- ⑮ Sakai R, Tanaka K, Itoman M, Mawzawa H, Mabuchi K, Evaluation of the usefulness of a femoral stem with an intertrochanteric plate based on measurements and finite element simulations. The 7th Combined Meeting of the Orthopaedic Research, Kyoto, [Transactions CD, 2010.10.16-20.]
- ⑯ Sakai R., Okumura H., and Mabuchi K.: 数値流体解析による人工股関節の流体潤滑性能. FLOW-3D Users Conference 2010 in Japan. [CD, 2010.10.22.] 招待講演
- ⑰ Boku T., Uchino M., Sakai R., Tanaka K., Minehara M., Yamamoto T., Urabe K., Itoman M.: Stability of internal fixation for distal clavicular fractures. The 12th International Society for Fracture Repair. London, [Scientific Program: 62, 2010.9.25-28]
- ⑱ 馬淵清資, 平木祐哉, 田中健誠, 酒井利奈, 西浦 淳, 中川 博央: 金属同士を摩擦面とした人工股関節の潤滑特性に及ぼす形状パラメータの影響. 日本機械学会 2010年度年次大会, 名古屋, [講演論文集10-1, p. 233-234 2010. 9. 5-8]
- ⑲ Sakai R, Sato Y, Itoman M, Mabuchi K. Initial fixation of a finite element model of an AI-Hip cementless stem evaluated by micromotion and stress. 第30回バイオトライボロジー研究会, 裾野. [2010.8.13.]
- ⑳ 朴晃正, 田中健誠, 酒井利奈, 内野正隆, 峰原宏昌, 占部憲, 馬淵清資, 糸満盛憲: 鎖骨遠位端骨折に対する内固定法の固定性. 第36回日本骨折治療学会, 幕張. [抄録 p.241 2010.7.3]
- ㉑ Mabuchi K, Kawasaki Y, Sakai R: Failure criterion of ultra-high molecular weight polyethylene at high-stress contact a total knee prosthesis. World Tribology Congress 2009.9.7-11. Kyoto, [Proceedings of World Tribology Congress 2009, 646, 2009]
- ㉒ 高橋亮子, 酒井利奈, 高平尚伸, 糸満盛憲, 馬淵清資: 人工股関節ステムのセメントレス固定における術中骨折の発生条件. 第36回 日本臨床バイオメカニクス学会, 241, 松山. [抄録 p.241 2009.10.17.]
- ㉓ 尾畑幸代, 酒井利奈, 吉岡亮, 糸満盛憲, 馬淵清資: セメントレス軸旋型人工股関節ステムの固定部接触圧力の感圧フィルムによる測定. 第36回 日本臨床バイオメカニクス学会, 242, 松山. [抄録 p.242 2009.10.17.]
- ㉔ 馬淵清資, 川寄康雄, 酒井利奈, 占部憲: 人工股関節ポリエチレンインサートの圧縮強度基準 第36回日本臨床バイオメカニクス学会, 松山. [抄録 p.129 2009.10.17.]

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒井 利奈 (SAKAI RINA)

北里大学・医療衛生学部・講師

研究者番号: 10383647