

〈原著論文〉

Screwless Cup 摺動部の接触面圧力の力学的解析

河本 豊広, 難波 良文, 梅原 憲史, 三宅 由晃, 古市 州郎, 三谷 茂

川崎医科大学骨・関節整形外科学, 〒701-0192 倉敷市松島577

抄録 セメントレス THA において安定したスクリーレス Cup の初期固定を得るには, 高い回旋開始時トルク値で初期固定力を確保し, 高範囲かつ適切な接触領域の分布を示すことが重要と考える。これまで Cup の接触面積がどの程度減少してしまうと, 固定力に影響するか力学試験解析した報告は少ない。Cup 摺動部の接触領域を変化させ, 実際のヒト寛骨臼の硬さを想定したボンモデルを作製しフィンの有無が与える影響について力学試験を行った。Cup の辺縁全周が接触するように1mm のアンダーリーミングを行った後に, 臼蓋形成不全による骨欠損の有無の影響を考慮し, Cup が臼蓋縁よりはみ出すように骨モデルを10°, 20°, 30°, 40°の角度をつけてカットした骨欠損モデルと, 術中の臼蓋に対し再リーミングを想定し1, 2, 3, 6, 9mm 偏心したモデルにおいて検討した。骨欠損モデルでは接触面積が10°:94.4%, 20°:88.9%, 30°:83.3%, 40°:78.6%と小さくなり, 偏心モデルにおいては1mm:60.4%, 2mm:56.7%, 3mm:56.2%, 6mm:57.8%, 9mm:60.4%と6mm以上の偏心で接触面積は再増加した。最大トルク値では, フィン有りは0°:60.1N/m, 10°:58.8N/m, 20°:50.2N/m, 30°:25.3N/m, 40°:17.4N/m。フィン無しは0°:46.2N/m, 10°:40.4N/m, 20°:23.5N/m, 30°:13.9N/m, 40°:7.4N/mであった。フィンの有無に関わらず30°で回旋トルクが著明に低下していた。力学試験においては30°以上において回旋トルク値が極端に低下した。偏心モデルでは2mm以上で回旋トルクが極端に低下した。結論として, 骨との接触面積が減少し, さらにはフィンの掛かりが減少したことが, 回旋力低下の要因に大きく影響した。

doi:10.11482/KMJ-J42(2)117 (平成28年7月28日受理)

キーワード:スクリーレスカップ, 人工股関節全置換術, 大骨頭, 回旋抵抗

緒言

セメントレス人工股関節全置換術(以下, THA)を成功させるためには手術翌日から荷重歩行可能とするための確実な初期固定が必要となる。当初, セメントレス Cup はセムサイズリーミングを施行し, スクリューを多数使用することで固定を行っていた。しかし, アンダーサイズリーミングのプレスフィットテクニックが導入されると, 必要とされるスクリューの数

は減少し, スクリューレス Cup においても良好な成績が報告されるようになった¹⁾。近年, 人工関節の材料品質向上から耐脱臼抵抗性に有利な大径骨頭が使用可能となったが, 骨頭が大径になるとともに回旋時の骨頭-Cup間の回旋抵抗力が上昇することがわかっている^{2, 3)}。このため, 大径骨頭のスクリーレス Cup を使用する場合, Cup と骨の間でこれまでの小骨頭よりも大きな負荷(回旋抵抗力の増大)に耐え

別刷請求先

河本豊広

〒701-0192 倉敷市松島577

川崎医科大学骨・関節整形外科学

電話:086(462)1111

ファックス:086(464)1184

Eメール:kawaben@med.kawasaki-m.ac.jp

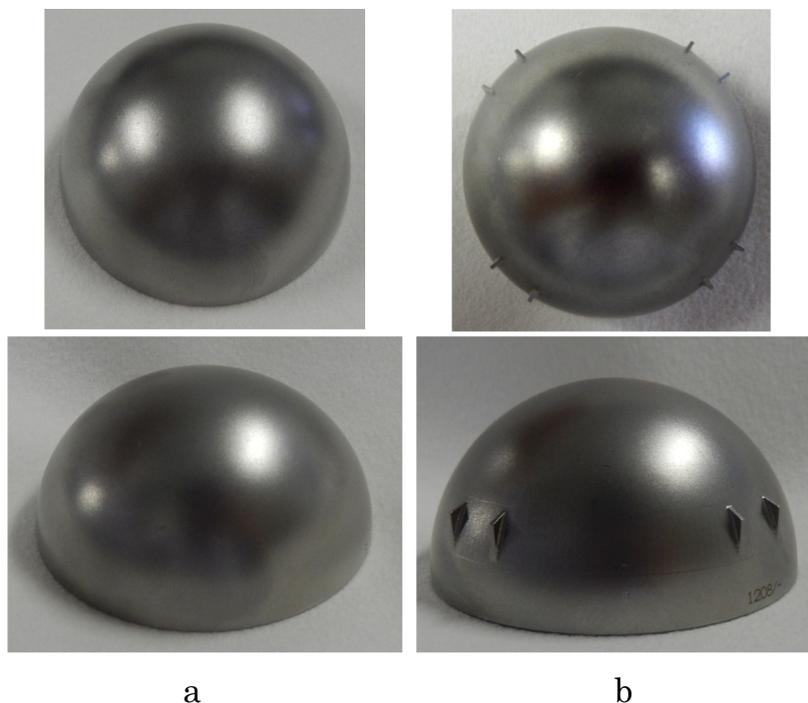


図1 Cupの材料は、Co-Cr合金（ヤング率225GPa、ポアソン比0.3）を使用。
a フィンが無い場合 b フィンが有る場合

ることができないと Cup が脱転する危険がある⁴⁻⁶⁾。一方で Cup の初期固定力を確立することに関して報告は少ない⁷⁾。今回、必要とされる接触面積、リーミングサイズなどの条件について、ボーンモデルを用いて力学試験を行い、脱転しない条件を計測したので報告する。

対象と方法

スクリーレス Cup において初期固定性を得るための工夫としてフィンの使用やアンダーサイズリーミングテクニックが用いられている⁸⁾。今回、スクリーレス Cup における Cup-骨間の回旋抵抗について①フィンが有る場合、無い場合の回旋抵抗の変化、② Cup の傾斜角度による回旋抵抗の変化、③リーミングの際に起こりうる偏心による影響について調査を行った。寛骨臼モデルには模擬骨（Pacific Research Laboratories, Inc 社 #1522-05 ヤング率659 MPa, ポアソン比0.3）を使用した。Cup は、

BIOMET 社製 M2a-Magnum Cup に準じた Co-Cr 合金製（ヤング率225 GPa, ポアソン比0.3）径48 mm, ポーラスコーティングはされていないものを作製し使用した。（図1）

フィンの有無による回旋抵抗力の変化

フィン付き Cup は、白蓋コンポーネント外表面にフィンをつけることで周囲の海綿骨に咬み込みコンポーネントの初期固定強度を上げるとされている。そこで、フィンの有無による固定性への影響との関連を評価した。1 mm アンダーサイズリーミングテクニックでフィンの有る場合と無い場合の回旋抵抗の力学試験を施行し比較した。なお、フィンは Cup の各四方に2箇所突出する2°テーパーを有し高さは2 mm である。

Cup の傾斜角度による回旋抵抗の変化

本邦では THA 症例のほとんどが白蓋形成不

全に伴う二次性変形性股関節症で, Cup 設置の際に上方が骨と直接接せず, その分固定力が弱くなることもある. 非接触部分の大きさが初期固定力に及ぼす影響について以下の条件で調査を行い検証した. 模擬骨のリーミングを行う部位を 10° , 20° , 30° , 40° 傾斜させることで, 接触面積を段階的に減らした骨モデルを作製した. (図2)

リーミングの際に起こりうる偏心による回旋抵抗の変化

白蓋のリーミング (削屈) は, マニュアルで行うため Cup-骨間にズレ (偏心) が生じる. 大きく偏心すると Cup 下方が骨との接触を失い, 接触面積が小さくなる. このズレ (偏心量) を, 1, 2, 3, 6, 9 mm として作製し, 偏心による接触面積減少と固定力に対する影響を調べた. (図3)

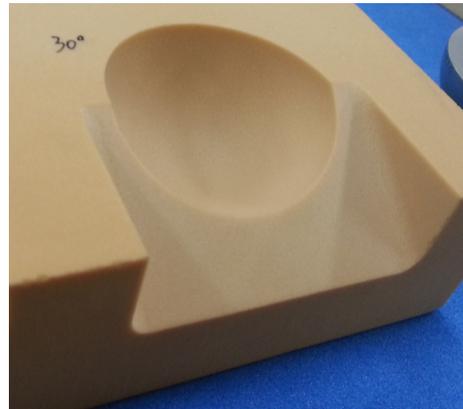
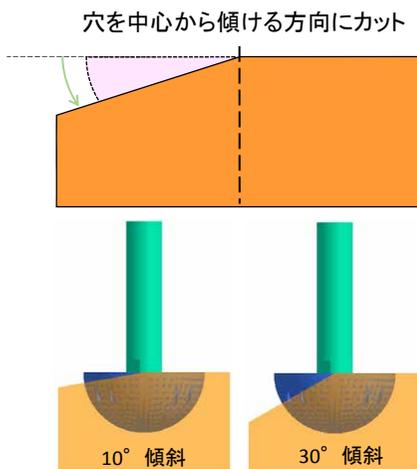


図2 骨欠損モデル

白蓋形状による接触率, 回旋力の影響を考慮し, 骨を 10° 20° 30° 傾斜させたモデルを作製した.

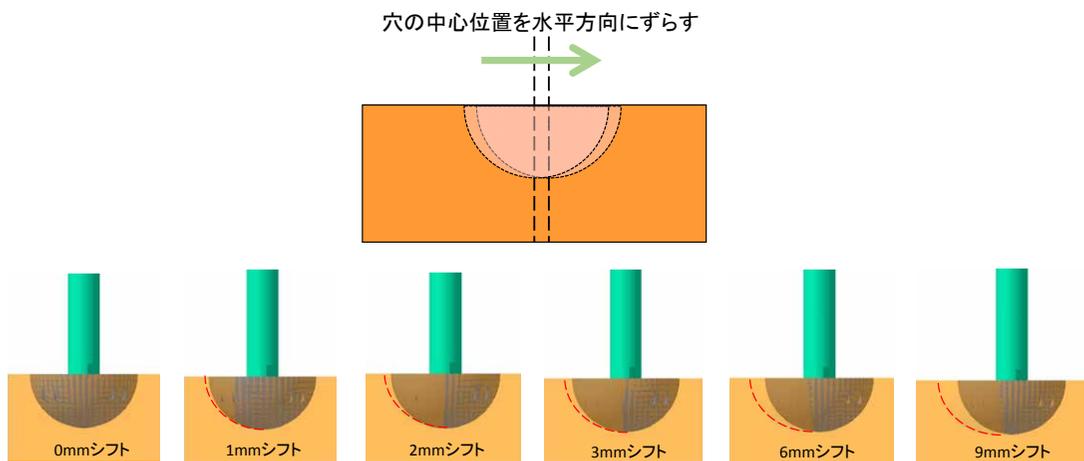


図3 偏心モデル

術中にカップ中心を上方移動させるために, 再リーミングを行ったと仮定した偏心モデルを作製した.

力学試験の方法は鉛直下方へ4,500 N圧入後、500 N 負荷した状態で速度0.2 rpm で回旋。実験では回旋を15°まで継続した。試験機はMTS Bionix 370 (MTS 社, US) を使用した。同様の試験機で、同様の条件で試験をするため、再現性があると考え、試験回数は初回1回のみでデータを取った。また試験を行った場合に得られる接触率は計算ソフト：UG-NX5 (SIEMENS 社) で計算した。

結果

①フィンの影響では、フィンが無い場合の接触面積100%の最大回旋抵抗力の値は、46.2 N/m、フィンが有る場合は60.1 N/m となった。フィンの有無で回旋抵抗性に差がみられた。

②10°, 20°, 30°, 40°と傾斜させた骨モデルでは、接触面積は10°：94.4%, 20°：88.9%, 30°：83.3%, 40°：78.6%と小さくなった。(図4a) 以上の接触面積で力学試験を施行し、最大回旋抵抗力の値を測定したところ、

- ・フィンが無い場合
10°：40.4 N/m, 20°：23.5 N/m,

30°：13.9 N/m, 40°：7.4 N/m

- ・フィンが有る場合
10°：58.8 N/m, 20°：50.2 N/m,
30°：25.3 N/m, 40°：17.4 N/m

であった。

フィンの無い場合では10°-20°間で、フィンが有る場合では20°-30°間で回旋抵抗力が極端に低下していた。(図5, 6)

③偏心させたモデルにおいては、接触面積は偏心が、1 mm：60.4%, 2 mm：56.7%, 3 mm：56.2%, 6 mm：57.8%, 9 mm：60.4% となった。(図4b)

骨欠損傾斜角度が大きくなるに従い接触面積は減少していたのに対し、一方で偏心量の変化は1 mmの偏心から顕著に減少していることがわかった。同様に最大回旋抵抗力の値を測定したところ、

- ・フィンが無い場合
1 mm：15.6 N/m, 2 mm：9.6 N/m,
3 mm：9.4 N/m, 6 mm：6.8 N/m,
9 mm：10.2 N/m
- ・フィンが有る場合
1 mm：60.0 N/m, 2 mm：33.2 N/m,

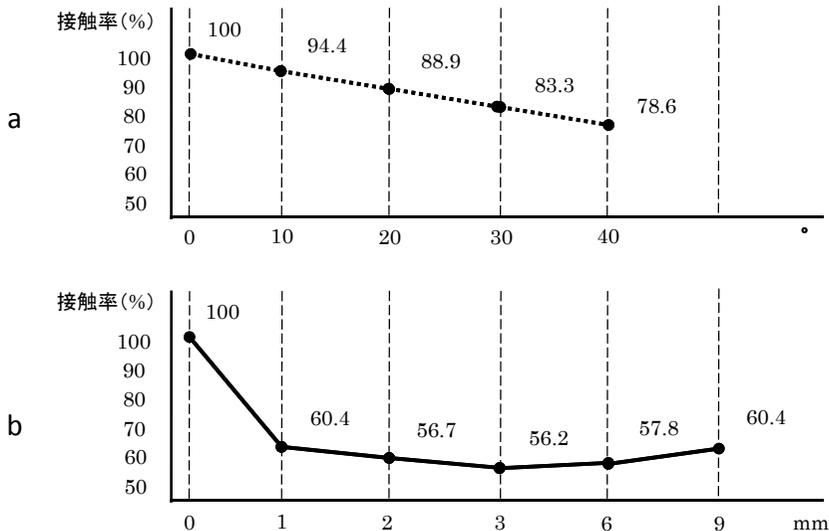


図4 接触率 (%) a 角度 b 偏心
評価方法となる骨欠損があった場合と再リーミングを行った場合に、得られる接触率を計算ソフト：UG-NX5 (SIEMENS 社) で計算。

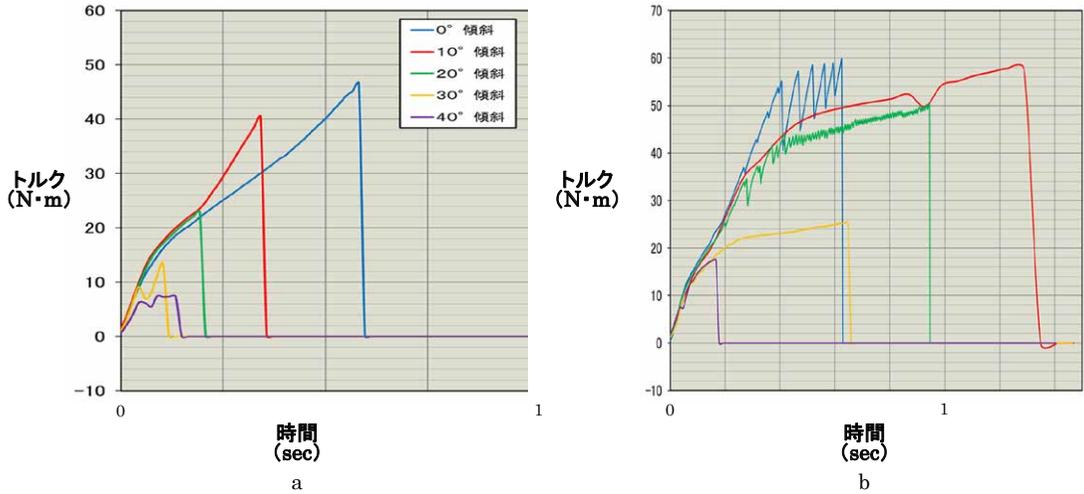


図5 骨欠損モデルの力学試験 a フィンが無い場合 b フィンが有る場合

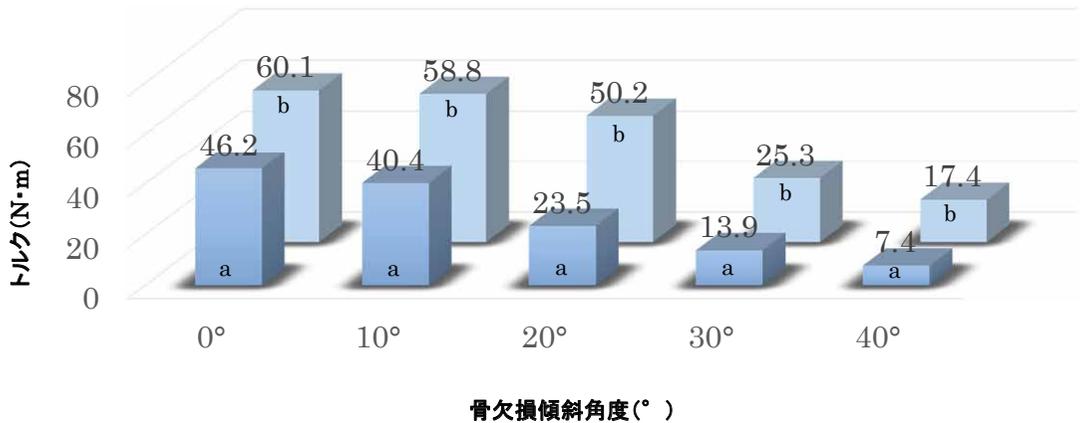


図6 最大トルク: 骨欠損モデルの力学試験 a フィン無し b フィン有り
骨形状の影響での力学試験では, フィン有りモデルの30°欠損では極端に固定力が低下.

3 mm : 20.2 N/m, 6 mm : 23.2 N/m,
9 mm : 21.4 N/m

であった. (図7, 8)

考察

歩行時にかかる理論上の回旋トルク (T) は, 骨頭半径 (R) × 摩擦係数 × 荷重の数式で表すことが可能であり⁹⁾, 実験で測定した最大回旋トルクがこの数値以下であれば, 歩行時や転倒時に脱転する危険性があるといえる. Williams

らは, 摺動面の摩擦は関節液の性状の影響を受け, 大径骨頭の摺動面の摩擦係数は0.1-0.18と報告している¹⁰⁾. Bergmann は正常歩行時に大腿骨頭にかかる力の最大値は体重の4倍と述べているため, 安全性を考慮して, 体重の6倍の体重に耐えうる条件を想定した結果, 最大回旋抵抗トルク値は15.5 N/m以上が安全域と仮定された¹¹⁾. この結果, 骨欠損モデルにおいて, フィンが無い場合では30°以上の骨欠損でCupが脱転する可能性がある結果となった.

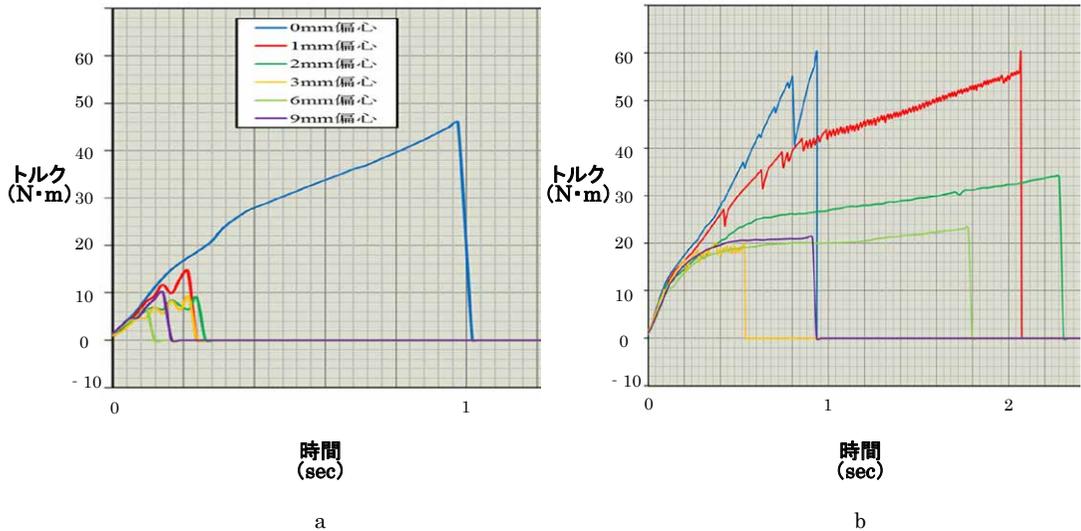


図7 偏心モデルの力学試験 a フィンが無い場合 b フィンが有る場合

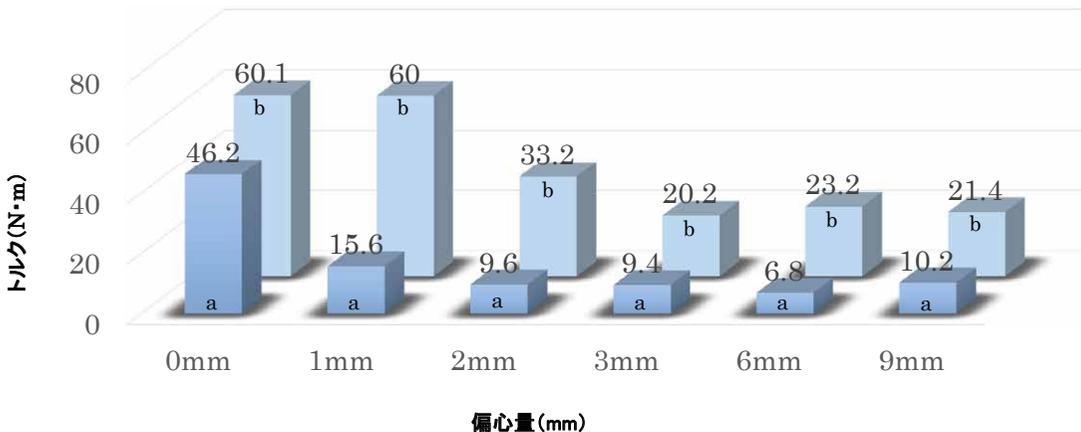


図8 最大回旋抵抗力：偏心モデルの力学試験 a フィン無し b フィン有り
フィンが無い場合 1-9mmの偏心で特に最大トルクが低下していた。

一方、偏心の試験においてもフィンが有る場合は常に問題ないが、フィン無い場合では、2mm以上の偏心では脱転してしまう可能性が高いと考察できる。

また、スクリューを使用したCupではAndersonらは臨床研究で、骨性被覆は60-75%程度必要であると報告している¹²⁻¹⁴⁾。一方で、高尾らによればスクリューレスCup固定の安定性に繋がる初期固定性はCupの設置状態と接触面

積の影響が大きいとし、安定性を得るには最低でもCup CE角が 8.4° 以上必要という厳しい条件をクリアしなければならない¹⁵⁾。本研究では、骨欠損モデルでは 40° でもフィンが有る場合では安全域に入っているが、フィンが無い場合では 30° を超えると脱転する可能性があることがわかった。

さらに偏心モデルでは、2-9mmの偏心でCup-骨間での最大回旋抵抗力が低下してお

り, フィン無しでは2 mm 以上では, 脱転の可能性があった。

以上から临床上, フィンが無い場合は, 被覆不足が30°を超える場合や, Cup の掘り込み時にわずか2 mm 程度の偏心(ズレ)がある場合, 初期固定力の不足が懸念される。

したがって初期固定性において, フィンは有効であることがわかった。

本研究では porous coating 処理がされていないため, プレスフィットをしっかりとすれば実験結果よりも最大トルクの増加が予想され, porous coating を施した Cup での追加実験も含め今後の課題と考える。

結 語

安全なスクリーレス Cup の初期固定を確保するためには, 被覆不足は20°以内で, 掘り込み時2 mm 未満の偏心が望ましい。さらに, フィンは Cup の脱転抵抗性には有効である。

利益相反

本研究に関連して, 研究の一部は帝人ナカシマメディカル株式会社と受託研究を締結し, 共同研究費を受けて実施された。

引用文献

- 1) Engh CA, Powers CC, Ho H, Beykirch-Padgett SE, Hopper RH Jr, Engh CA Jr.: The effect of poly sterilization on wear, osteolysis and survivorship of a press-fit cup at 10-year followup. *Clin Orthop Relat Res* 470: 462-470, 2012. doi:10.1007/s11999-011-2052-2.
- 2) Bishop NE, Waldow F, Morlock MM.: Friction moments of large metal-on-metal hip joint bearings and other modern designs. *Med Eng Phys* 30: 1057-1064, 2008. doi:10.1016/j.medengphy.2008.01.001. Epub 2008 Mar 4.
- 3) Dorr LD, Tawakkol S, Moorthy M, Long W, Wan Z.: Medial protrusion technique for placement of a porous-coated, hemispherical acetabular component without cement in a total hip arthroplasty in patients who have acetabular dysplasia. *J Bone Joint Surg Am* 81: 83-92, 1999

- 4) 河本豊広, 難波良文, 三谷茂, 他: 大径骨 metal-on-metal THA の合併症によってカップの弛みを生じた2例. *中部整災誌*55: 1371-1372, 2012
- 5) 高橋和孝, 李勝博, 吉田礼徳, 小川剛, 山本浩司: 大径 metal-on-metal THA 後に cup の脱転を認めた3例. *中部整災誌*55: 33-34, 2012
- 6) 長谷川正裕, 吉田格之進, 若林弘樹, 他: メタルオンメタル人工股関節の短期成績と問題点. *中部整災誌*55: 29, 2011.
- 7) 神田章男, 金子和夫, 最上敦彦, 他: 人工股関節白蓋側 press fit 固定の限界について-骨モデルによる力学的実験の考察-. *Hip Joint* 34: 742-747, 2008
- 8) 秋吉祐一郎, 内藤正俊, 熊野貴史, 舌間寛士, 篠田毅, 木山貴彦, 前山彰, 竹山昭徳, 寺谷威: THA フィン付き THA 白蓋コンポーネントの使用経験. *日本人工関節学会誌* 37: 140-141, 2007
- 9) 赤石孝一, 片野博: One-piece hip socket liner ADEPT CUP の初期固定性の検討. *Hip Joint* 37: 932-935, 2011
- 10) Williams S, Schepers A, Isaac G, Hardaker C, Ingham E, van der Jagt D, Breckon A, Fisher J: Ceramic-on-metal hip arthroplasties: a comparative in vitro and in vivo study. *Clin Orthop Relat Res*. 465: 23-32, 2007
- 11) Bergmann G, Graichen F, Rohlmann A: Hip joint loading during walking and running, measured in two patients. *J Biomech*. 26: 969-990, 1993
- 12) Anderson MJ, Harris WH: Total hip arthroplasty with insertion of the acetabular component without cement in hips with total congenital dislocation or marked congenital dysplasia. *J Bone Joint Surg Am.*; 81: 347-354, 1999
- 13) Kaneuji A1, Sugimori T, Ichiseki T, Yamada K, Fukui K, Matsumoto T: Minimum ten-year results of a porous acetabular component for Crowe I to III hip dysplasia using an elevated hip center. *J Arthroplasty*. 24: 187-194, 2009. doi:10.1016/j.arth.2007.08.004.
- 14) Ito H1, Matsuno T, Minami A, Aoki Y. Intermediate-term results after hybrid total hip arthroplasty for the treatment of dysplastic hips. *J Bone Joint Surg Am*. 85-A: 1725-1732, 2003
- 15) Takao M, Nakamura N, Ohzono K, Sakai T, Nishii T, Sugano N: The results of a press-fit-only technique for acetabular fixation in hip dysplasia. *J Arthroplasty*. 26: 562-568, 2011. doi:10.1016/j.arth.2010.05.025.

〈Regular Article〉

Mechanical analysis of contact pressure of Screwless uncemented cup bearings

Toyohiro KAWAMOTO, Yoshifumi NANBA, Norifumi UMEHARA,
Yoshiaki MIYAKE, Shuro FURUICHI, Shigeru MITANI

Department of Orthopedic Surgery, Kawasaki Medical School, 577 Matsushima, Kurashiki, 701-0192, Japan

ABSTRACT In order to achieve stable initial fixation of a screwless cup in cementless total hip arthroplasty (THA), the initial fixation strength has to be assured at a high torque value on initial rotation, and demonstrating a high range and an appropriate contact area distribution is considered important. To date, there have been few reports discussing the quantitative analysis of how much the contact surface area of the cup has to decrease before the fixation strength of a press-fit cup is affected.

In the present study, the contact surface area of the sliding portion of the cup was varied, and this contact surface area was varied in order to conduct comparison testing of mechanical properties, to see whether there was any impact caused by the presence or absence of fins. Bone models were prepared presuming the hardness of actual human acetabula, and their mechanical properties were tested. After performing 1-mm underreaming so that the entire rim of the cup was in contact, taking into consideration possible effects from the presence or absence of bone defects caused by acetabular aplasia, bone defect models were cut so that the cup protruded beyond the rim of the acetabular cartridge and angles of 10°, 20°, 30° and 40° were created, and, presuming re-reaming with respect to the acetabula during surgery, models with 1-, 2-, 3-, 6-, and 9-mm eccentricity were tested. With the bone defect models, the contact surface area decreased (10°, 94.4%; 20°, 88.9%; 30°, 83.3% and 40°, 78.6%), while in the eccentricity models, the contact surface area increased again at eccentricities of 6 mm or more (1mm, 60.4%; 2mm, 56.7%; 3 mm, 56.2%; 6 mm, 57.8%; and 9 mm, 60.4%). In the models with fins, the maximum torque values were as follows: 0°, 60.1 N/m; 10°, 58.8 N/m; 20°, 50.2 N/m; 30°, 25.3 N/m and 40°, 17.4N/m. In the models without fins, the values were as follows: 0°, 46.2 N/m; 10°, 40.4 N/m; 20°, 23.5 N/m; 30°, 13.9 N/m and 40°, 7.4N/m. There was an extreme decrease in the rotational torque value at 30° or more, compared to that at 20°. In models in which eccentricity was applied, at 2 mm or more, when it is difficult for the fins to engage, there was an extreme decrease in the rotational torque. In conclusion, the decrease in the contact surface area between the cup and bone and the reduced engagement of the fins strongly affected the decrease in rotational force.

(Accepted on July 28, 2016)

Key words : Screwless, Total hip arthroplasty, Large head, Friction torque

Corresponding author

Toyohiro Kawamoto

Department of Orthopedic Surgery, Kawasaki Medical
School, 577 Matsushima, Kurashiki, 701-0192, Japan

Phone : 81 86 462 1111

Fax : 81 86 464 1184

E-mail : kawaben@med.kawasaki-m.ac.jp

