人工関節置換術の基本的知識 —有効なリハビリテーションのために—

[Basic Knowledge of Total Hip Arthroplasty]

加畑多文* Tamon Kabata

金沢大学大学院医薬保健学総合研究科整形外科学教室，金沢大学附属病院整形外科

Key words : 人工股関節全置換術／生体材料／摺動面／骨セメント／脱臼

はじめに

人工股関節全置換術 (total hip arthroplasty : THA) は，最も popular な整形外科手術の1つであり，数多くの整形外科手術の中で最も術後患者満足度が高い手術の1つであるといわれている¹⁾．現代の医療分野において最も成功を収めた手術だといっても過言ではない．医療技術の向上，人口の高齢化による患者数の増加，医療制度改正に伴った社会的ニーズの向上などの背景も加わり，本邦における THA の年間手術件数はこの10年間で倍増している²⁾．従来は60歳以降の比較的高齢者に適応のあった本術式は，徐々に若年者や超高齢者にも適応されるようになってきており，医療サイドは，それに応じた多種多様な対応を今後求められるようになるだろう．

良好な機能回復のためには，正確かつ侵襲の少ない手技による手術が求められるのはいうまでもなく，それに加えて適切なナーシングと周術期リハビリテーション，および患者教育は必須事項である．それらを適切に行うために，医師とメディカルス

タッフは THA の基本的知識を十分に理解し共有する必要がある．そこで，周術期リハビリテーションを行うにあたり，最低限知っておきたい THA に関する基本的知識についてまとめた．

用いられる 生体材料に関する基礎知識

THA のインプラントに用いられる材質としては，金属，セラミック材料，ポリマー材料などが挙げられる (図1)．金属ではチタン合金 (Ti)，コバルトクロム合金 (CoCr)，ステンレススチール (SS)

図1 人工股関節の構造と主要部品

a : Cementless THA, b : Cemented THA

セメントレス THA では，金属製のカップとステムがそれぞれ寛骨臼と大腿骨に直接固着され，ライナーと骨頭はそれぞれカップとステムにロック機構を介して直接結合する．セメント THA では，ライナーとステムはセメントを介して骨に固着される．

* 金沢大学大学院医薬保健学総合研究科
整形外科学教室
金沢大学附属病院整形外科
(〒920-8641 石川県金沢市宝町 13-1)
E-mail : tamonkabata@yahoo.co.jp

図2 摺動面の種類

a : Metal-on-Polyethylene, b : Ceramic-on-Polyethylene, c : Metal-on-Metal, d : Ceramic-on-Ceramic

などが、セラミック材料ではアルミナ (Al) やジルコニア (Zr) などが、ポリマー材料としてはポリエチレンや骨セメントなどがあり、それぞれの特性に応じて用いられている。

インプラントの構造部分 (ステム・カップ・骨頭) は主に金属が用いられている。骨との親和性が高い Ti は、骨新生による骨との直接の結合が求められるセメントレスインプラントで主に用いられている。固く傷つきにくい特性をもち、耐摩耗性にも有利で腐食にも強い CoCr は、主に摺動面の骨頭の材料として使用される。Ti に比べ剛性が強く stress shielding (応力遮蔽) による骨萎縮を生じやすいため、最近ではセメントレスステムに使用されることは減った。セメントステムには現在も用いられている。SS は主にセメントステムに用いられる。最近では、レアメタルであるタンタルも、その良好な骨親和性から、セメントレスインプラントの構造部分に用いられるようになった。

摺動部の材質には、固いもの (金属・セラミック) と比較的柔らかいもの (ポリエチレン) とがあり、金属やセラミックは耐摩耗性に優れたもの (CoCr, Al, Zr など) が用いられている。ポリエチレンは、以前は摩耗が臨床的に大きな問題となったが³⁾、2000 年以降より分子間を高度に架橋させたハイリークロスリンクポリエチレン (HXLPE) が臨床応用され、摩耗による問題を劇的に改善させた⁴⁾。現在では、流通しているポリエチレンはほとんどが

HXLPE になっている。

骨セメントは、ポリメチルメタクリレートを主成分とする生体材料で、骨にインプラントを固着させるのに用いられる。すでに 60 年近い歴史があるが、いまだに世界中で広く用いられている。

摺動面に関する基礎知識

摺動面の形状には、hard-on-soft と hard-on-hard の 2 種類の組み合わせが存在する。hard-on-soft は、柔らかい材質であるポリエチレンのライナーと固い材質の骨頭 (CoCr またはセラミック) との組み合わせからなる。hard-on-hard は、金属対金属 (metal-on-metal : MOM) またはセラミック対セラミック (ceramic-on-ceramic : COC) のように、ライナーと骨頭が共に固い材質からなる (図 2)。1950 年代に John Charnley 卿がポリエチレンライナーと 22 mm の CoCr 骨頭の組み合わせを用いて以来、ポリエチレンと金属との組み合わせが golden standard となっていたが、ポリエチレンの摩耗に伴い骨溶解が生じることが最大の問題であった³⁾。また、初期の 22 mm ヘッドでは骨頭径が小さいため脱臼抵抗性に乏しいことも問題であったが、骨頭径を大きくして脱臼抵抗性を高めようとするポリエチレン側が薄くなって摩耗が大きくなることなどのジレンマがあった。一方、hard-on-hard の組み合わせでは、hard-on-soft に比べ摩耗量が著しく少ないことと、骨頭径を大きく

図3 固定方法の違いによる人工股関節の分類

a : Cementless THA, b : Cemented THA, c : Hybrid THA, d : Reverse hybrid THA

して脱臼抵抗性を上げることができるという利点があった。ただし、COCの場合は、頻度こそ少ないもののセラミックの破損やsqueaking（摺動面からキーキーという音が生じる）が生じる可能性があり⁵⁾、MOMの場合は、特定の機種や設置状態が悪い場合において、摺動面から生じる金属摩耗粉やイオンにより周囲の組織壊死を引き起こす（adverse reaction to metal debris : ARMD）可能性がある⁶⁾。特にMOMは2000年代後半からARMDによる問題が深刻化したため、その使用頻度が激減した。現在では、前述したようにHXLPEが摩耗による問題を劇的に改善させたため⁴⁾、hard-on-softの摺動面が本邦では最も使用されている²⁾。

セメント固定と セメントレス固定

THAのインプラント自体は、カップ側もステム側も何らかの形で骨と固着しているが、その固着方法としては、セメントを介する方法（セメント固定）とセメントを介さずインプラントと骨が直接固着する方法（セメントレス固定）とに分けられる。その固着手段により、カップもステムもセメントで固定される場合は「セメントTHA」、両者ともセメントレス固定の場合は「セメントレスTHA」、カッ

プ側がセメントレス固定でステム側がセメント固定の場合は「ハイブリッドTHA」、カップ側がセメント固定でステム側がセメントレス固定の場合は「逆ハイブリッドTHA」と称される（図3）。セメント固定とセメントレス固定との決定的な違いは、手術手技および術直後の固着の強度といえるだろう。セメント固定の場合は、術直後から最高強度の固着が得られるため、いったん良好なセメンティングが行われれば、術直後から全荷重歩行が可能で疼痛も少なく、術後早期の骨折などの合併症が少ない。しかしながら、良好なセメンティングを行うには技術が求められるうえに、手術は一発勝負でやり直しがきかない。また、セメンティングの準備のため手術時間は延長するし、セメント注入時の血圧低下などといった合併症も無視できないため、若手医師などセメント手技に慣れない医師にとってはややハードルが高い。一方、セメントレス固定の場合は、手術手技はセメント固定ほど煩雑でなく、さらに術中にやり直しや微調節が可能である。また、セメント固定に比べ手術時間は大幅に短縮できる。しかしながら、インプラントと骨とが生物学的に固着されるまでに数週を要するために、術直後に良好な初期固定が得られていないと、周術期には荷重時に痛みが生じたり、インプラントと骨

図4 Jumping height

人工股関節が脱臼するためには、カップから骨頭が骨頭径の半分以上逸脱しないと (jumping height) 理論的には脱臼しない。したがって、骨頭径が大きければ大きいほど脱臼しにくくなる。

との固着が得られなかったりする。また、インプラント挿入時や周術期の骨折の危険性がセメント固定よりも高い⁸⁾。では、実際にセメント固定とセメントレス固定とではどちらが臨床的によいのかという、これに関しては議論があるところである。2006～2010年の7カ国におけるTHAレジストリーのデータをまとめた報告では、65～75歳の年代においてはセメントTHAのほうがセメントレスTHAよりも再置換のリスクが低いと結論づけている⁹⁾。しかしながら、すべてのレジストリーでは、セメントレスインプラントの使用頻度がセメントインプラントのそれをはるかに凌駕し、しかも年々その頻度が増加しているというパラドックスが生じている⁹⁾。再置換率の低さでは「セメントTHA」が優っていても、術者の観点からはセメント固定が年々敬遠されてきているというのが現実である。リハビリテーションの観点からすると、周術期の疼痛が少なく、荷重制限がなく、骨折の危険性が低いセメント固定は、理学療法士の立場からは安心感がある。一方、インプラントバリエーションが豊富で、セメントTHAよりも骨頭径を大きくできて脱臼抵抗性を高くできるのはセメントレスTHAであり、術後リハビリテーションにおける可動域訓練ではセメントレスTHAがより安心感があるといえる。いずれにしても甲乙つけがたいというのが現状である。

術後脱臼とその要因および対策

THAの脱臼は、最も一般的な合併症であり、米国における再置換の最大の要因である¹⁰⁾。

初回THAにおける術後脱臼の発生頻度は1～5%程度、再置換においては5～15%であると報告され¹¹⁾、一般的には、関節リウマチ患者や大腿骨頭壊死症患者など術前の可動域制限の少ない患者や高度な肥満患者などは脱臼のリスクが高いといわれている¹²⁻¹⁶⁾。

手術アプローチは、術後脱臼頻度と関連がある。一般に前方系アプローチは後方アプローチより脱臼頻度が低いといわれている^{11, 15, 17, 18)}。ヒトの場合は日常生活動作において股関節を屈曲させた状態であることが多いため、股関節が脱臼する場合は、圧倒的に後方へ脱臼が起りやすい。関節への進入方向が後方からであれば、後方の短外旋筋群と関節包を切開してインプラントを設置するため、当然後方の軟部組織支持力が低下する。その結果、後方方向への安定性が低下し後方へ脱臼しやすくなる。後方の軟部組織をしっかりと術中に修復すれば、脱臼の頻度は前方系アプローチと同程度になるといわれている¹⁸⁾。一方、前方からのアプローチであれば、前方の軟部組織支持力が低下するため、前方方向への安定性は後方アプローチに比べ低くなる。

図5 Dual mobility system

a: 従来タイプの摺動面: 骨頭とライナーの間でのみ摺動する。Jumping distance は小さな骨頭の半径分。

b: Dual mobility system: 大きな骨頭 (outer head: ポリエチレン) はカップの内壁とで摺動し、小さな骨頭 (inner head: 金属またはセラミック) は、大きな骨頭との間で摺動する。小さな骨頭は大きな骨頭で完全に覆われているため、小さな骨頭が大きな骨頭内から外れることはほとんどない。したがって、jumping distance は大きな骨頭の半径分となり、著しく脱臼しにくい。

骨頭径は、関節の安定性と関連があり、理論的には骨頭径が大きくなればなるほど脱臼するまでの jumping height が大きくなるため脱臼しにくくなる (図4)^{19, 20)}。ただし、骨頭径が大きくなると摺動面やステムのネック部分にかかるトルクが大きくなり、hard-on-soft の摺動面では摩耗量も多くなるので、一概に骨頭径を大きくすればよいというものではない²⁰⁾。近年では、大きいポリエチレンの骨頭と小さい金属もしくはセラミック骨頭を組み合わせた摺動面である dual mobility system が脱臼率を下げていることが報告されている (図5)²¹⁾。大きな骨頭をもつにもかかわらず、摩耗とトルクの問題を解決できる可能性があるとして期待がもたれている²⁰⁾。

患者に対する教育は脱臼軽減に有効である²²⁾。術中の脱臼危険肢位を把握し、手術アプローチ、使用インプラント (骨頭径など)、軟部組織の修復状況などの情報を共有して、周術期のリハビリテーションや患者教育に反映させる必要がある。

まとめ

高齢化社会を迎え、THA は今後ますますそのニーズが増え、さらに進化していくと思われる。現在進行形で進歩し続けている本術式に関しては、リハビリテーション領域においても効率的かつ有効な周術期リハビリテーションを行うために、術式に関する基礎知識と現在のトレンドを理解しておくことが重要である。

文献

- 1) Mihalko WM, Wimmer MA, Pacione CA, Laurent MP, Murphy RF, Rider C: How have alternative bearings and modularity affected revision rates in total hip arthroplasty? Clin Orthop Relat Res 2014; 472: 3747-3758
- 2) 矢野経済研究所: 2016 年度版メディカルバイオニクス (人工臓器) 市場の中期予測と参入企業の徹底分析。Available from URL: http://www.yano.co.jp/market_reports/C58103800
- 3) Harris WH: The problem is osteolysis. Clin Orthop Relat Res 1995; (311): 46-53
- 4) Nebergall AK, Greene ME, Rubash H, Malchau H, Troelsen A, Rolfson O: Thirteen-Year Evaluation of Highly Cross-Linked Polyethylene Articulating With Either 28-mm or 36-mm Femoral Heads

- Using Radiostereometric Analysis and Computerized Tomography. *J Arthroplasty* 2016 ; **31** (9 Suppl) : 269-276
- 5) Migaud H, Putman S, Kern G, Isida R, Girard J, Ramdane N, Delaunay CP, Hamadouche M ; SoF-COT Study Group : Do the Reasons for Ceramic-on-ceramic Revisions Differ From Other Bearings in Total Hip Arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res* 2016 ; **474** : 2190-2199
 - 6) Lainiala O, Eskelinen A, Elo P, Puolakka T, Korhonen J, Moilanen T : Adverse reaction to metal debris is more common in patients following MoM total hip replacement with a 36 mm femoral head than previously thought : results from a modern MoM follow-up programme. *Bone Joint J* 2014 ; **96-B** : 1610-1617
 - 7) 日本人工関節学会 : THA レジストリー統計. Available from URL : <http://jsra.info/pdf/THA-20150331.pdf>
 - 8) Lindberg-Larsen M, Jørgensen CC, Solgaard S, Kjersgaard AG, Kehlet H ; Lundbeck Foundation Centre for Fast-Track Hip and Knee Replacement Collaborative Group : Increased risk of intraoperative and early postoperative periprosthetic femoral fracture with uncemented stems. *Acta Orthop* 2017 ; **88** : 390-394
 - 9) Troelsen A, Malchau E, Sillesen N, Malchau H : A review of current fixation use and registry outcomes in total hip arthroplasty : the uncemented paradox. *Clin Orthop Relat Res* 2013 ; **471** : 2052-2059
 - 10) Bozic KJ, Kurtz SM, Lau E, Ong K, Vail TP, DJ : The epidemiology of revision total hip arthroplasty in the United States. *J Bone Joint Surg Am* 2009 ; **91** : 128-133
 - 11) 日本整形外科学会, 日本股関節学会 監, 日本整形外科学会診療ガイドライン委員会, 変形性股関節症診療ガイドライン策定委員会 編 : 変形性股関節症診療ガイドライン 2016 改訂第2版. 南江堂, 東京, 2016
 - 12) Krenzel BA, Berend ME, Malinzak RA, Faris PM, Keating EM, Meding JB, Ritter MA : High preoperative range of motion is a significant risk factor for dislocation in primary total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2010 ; **25** (6 Suppl) : 31-35
 - 13) Ravi B, Escott B, Shah PS, Jenkinson R, Chahal J, Bogoch E, Kreder H, Hawker G : A systematic review and meta-analysis comparing complications following total joint arthroplasty for rheumatoid arthritis versus for osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 2012 ; **64** : 3839-3849
 - 14) Yang S, Halim AY, Werner BC, Gwathmey FW, Cui Q : Does osteonecrosis of the femoral head increase surgical and medical complication rates after total hip arthroplasty? A comprehensive analysis in the United States. *Hip Int* 2015 ; **25** : 237-244
 - 15) Hailer NP, Weiss RJ, Stark A, Kärrholm J : The risk of revision due to dislocation after total hip arthroplasty depends on surgical approach, femoral head size, sex, and primary diagnosis. An analysis of 78,098 operations in the Swedish Hip Arthroplasty Register. *Acta Orthop* 2012 ; **83** : 442-448
 - 16) Sadr Azodi O, Adami J, Lindström D, Eriksson KO, Wladis A, Bellocco R : High body mass index is associated with increased risk of implant dislocation following primary total hip replacement : 2,106 patients followed for up to 8 years. *Acta Orthop* 2008 ; **79** : 141-147
 - 17) Higgins BT, Barlow DR, Heagerty NE, Lin TJ : Anterior vs. posterior approach for total hip arthroplasty, a systematic review and meta-analysis. *J Arthroplasty* 2015 ; **30** : 419-434
 - 18) Kwon MS, Kuskowski M, Mulhall KJ, Macaulay W, Brown TE, Saleh KJ : Does surgical approach affect total hip arthroplasty dislocation rates? *Clin Orthop Relat Res* 2006 ; **447** : 34-38
 - 19) Howie DW, Holubowycz OT, Middleton R ; Large Articulation Study Group : Large femoral heads decrease the incidence of dislocation after total hip arthroplasty : a randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am* 2012 ; **94** : 1095-1102
 - 20) Guyen O : Constrained liners, dual mobility or large diameter heads to avoid dislocation in THA. *EFORT Open Rev* 2017 ; **1** : 197-204
 - 21) Epinette JA, Harwin SF, Rowan FE, Tracol P, Mont MA, Chughtai M, Westrich GH. Early experience with dual mobility acetabular systems featuring highly cross-linked polyethylene liners for primary hip arthroplasty in patients under fifty five years of age : an international multi-centre preliminary study. *Int Orthop* 2017 ; **41** : 543-550
 - 22) Lübbeke A, Suvà D, Perneger T, Hoffmeyer P : Influence of preoperative patient education on the risk of dislocation after primary total hip arthroplasty. *Arthritis Rheum* 2009 ; **61** : 552-558