

## 可動性が良い最近の人工関節

宮原 寿明 国立病院九州医療センター 整形外科・リウマチ科  
(2002年、第3回博多リウマチセミナー)

### はじめに

歩行障害に対する下肢人工関節置換術は現在ほぼ完成され、人工関節の耐用年数も伸び、最近では膝は20年、股関節でも15年以上の使用に耐えうるといわれるようになった。さらに、人工関節そのものの材質・形状の改良あるいは再置換術の向上などにより、近年ではRAの若年者にも不安感なく人工関節置換術がおこなわれるようになってきた。しかしながら、人工股関節(THA)では脱臼の危険性が、人工膝関節(TKA)では深屈曲が出来ないという欠点があるのも事実である。実際、歩行能力や疼痛の改善が最大の目的であるが、爪が切れない、靴下が履けない、正座が出来ない、狭い風呂に股・膝を曲げて胸までつかれない、等々、日常生活をおくる上での患者の不満も多い。これを解決するためには、可動域をよくするための手術手技・人工関節のデザイン・材質の改良が必要である。以下、最近のTHA・TKAにおける可動域改善の試みを紹介する。

### THA - 脱臼しない広い可動域を得るために

正常人では、日常生活動作(ADL)上、股関節は屈曲120度以上の可動域を必要とする。THAでは術後のカップ・ネックのインピンジメントまでの可動域が小さいとインピンジメントが起こり、ADLが制限され、亜脱臼・脱臼を起こす(図1)。これはポリエチレン(PE)の摩耗にもつながり、骨融解・ルースニングの原因ともなりうる。THAの脱臼は術後合併症として「人工関節のゆるみ」につき頻度が高い(80%は後方脱臼であり、頻度は初回手術後0.7~5.5%、revisionでは5~20%に発生)。RAでは関節周囲組織の弛緩・筋力低下のため術後脱臼が起こりやすい。THAの安定性は多くの因子で決定され、軟部組織の緊張、コンポーネントの設置位置・角度、人工関節自身の可動域、手術進入路等が影響する。

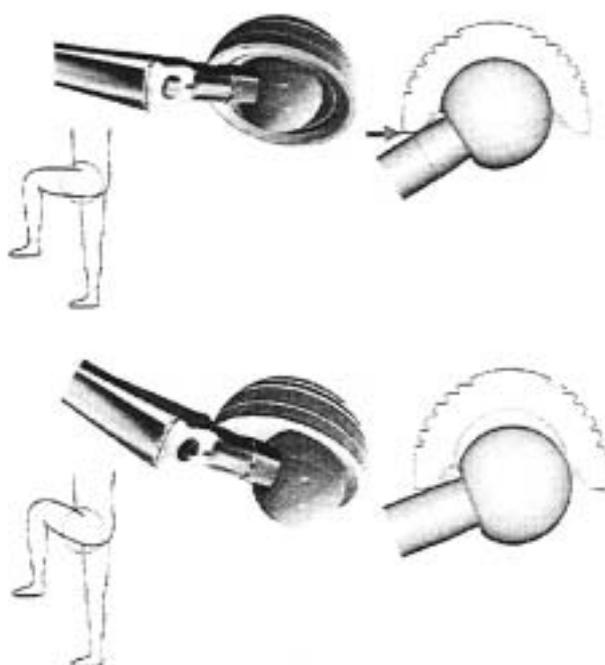


図1 ステムのネックとカップとのインピンジメント

## コンポーネントの設置条件

手術手技上、THA自体の持つ可動域を最大限に利用し、臼蓋カップとネックがインピンジメントを起こさないようにするためには、カップの外方開角と前捻角、大腿コンポーネント頸部の前捻角の相対的關係を最適化することが重要である(図2)。D'Limaら<sup>1)2)</sup>は3DCGでカップの外方開角・前捻角・ネックの前捻角と可動域の關係を分析した。その結果、45度未満の外方開角では屈曲と外転が減少し、外方開角が増加すると内転と回旋が減少した。カップとネックの前捻が増加すると屈曲が増加するが、伸展は減少した。結局、カップとネックの前捻の關係が最適な位置で、カップの外方開角が45度から55度の間が一番可動域と安定性が良かった。

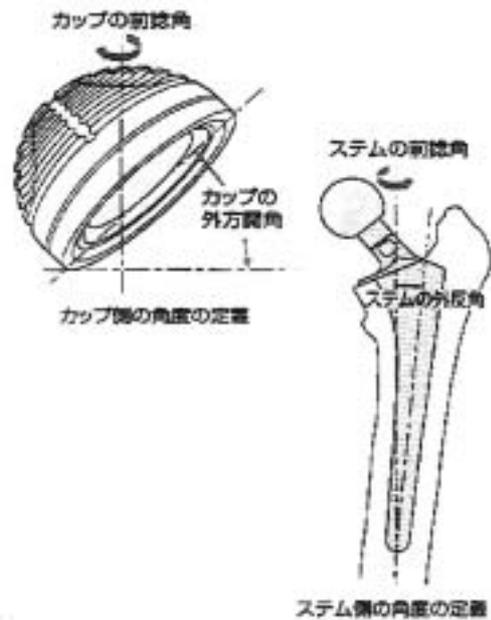


図2 カップとステムの設置条件

## 大腿骨頭径

一般に骨頭径が大きいほど、head/neck ratioが大きくなり、可動域が増すことが知られている<sup>3)</sup>。たとえばD'Limaら<sup>1)2)</sup>によるキネマティクス解析モデルでは、インピンジメントまでの最大可動域はカップ外方開角45度・前捻0度・ネック前捻30度の条件で22mm径骨頭では屈曲100度強なのだが、32mm径骨頭では屈曲120度まで増加した(図3)。可動域が良く脱臼しにくい良い例として、カップが本来の臼蓋に見立てられる人工骨頭があげられる。だが、現実には骨頭径を大きくするほどポリエチレンの厚みを薄くせざるをえない。ポリエチレンの厚みが10mmだと、一般に広く受け入れられている年平均0.1mmの摩耗なら、完全に厚みが無くなるのに100年はかかることになるが、その間の摩耗により年に何十億個ものポリエチレン粒子が産生され、osteolysisやlooseningの原因となりうる。したがって、このポリエチレンライナーの厚みを確保するために、可動域を犠牲にしても22mmや26mmの骨頭ボールを用いることが多かった。これに対して、近年、ポリエチレンのクロスリンクングにより、耐摩耗性が飛躍的に向上したことから、ポリエチレンライナーをより薄くし、骨頭径をもっと大きくできる可能性が出てきた。

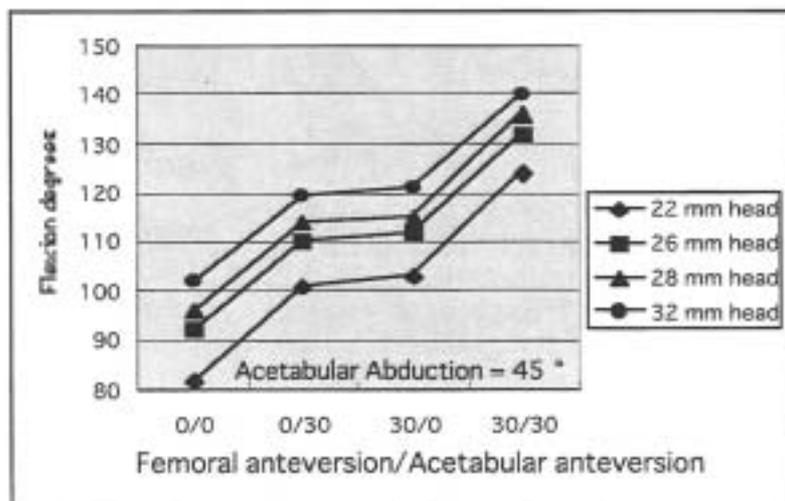


図3 大腿骨頭径による股関節屈曲角度

## 人工関節の新しいポリエチレン

人工関節に使用されてきたポリエチレンは超高分子量ポリエチレン ultra high molecular weight polyethylene (UHMWPE) (分子量 200 ~ 600 万) であるが、これまで誤って high density polyethylene (HDP) と呼ばれてきた。HDP (分子量 5 ~ 20 万) はスーパーマーケットの「ポリ袋」の素材であり、人工関節には用いられない。ポリエチレンの $\gamma$ 線滅菌はポリエチレンの酸化をもたらし、ポリエチレン分子鎖を C-C 結合で切断し、分子量を低下させ、crack の発生と摩耗を起しやすくする。そのため多くの company は現在滅菌法に EO ガス滅菌か窒素等の不活性ガス中での $\gamma$ 線滅菌法に切り替えている。 $\gamma$ 線滅菌は酸化だけでなく、分子鎖を架橋する利点もあり、各社よりクロスリンク (架橋) ポリエチレンが供給されている<sup>4)</sup> (図 4)。これらは製造・滅菌工程で酸素にさらさず、真空もしくは不活性化ガス中で処理、 $\gamma$ 線や電子ビームを照射して分子架橋を増強させている。摩耗試験の妥当性の問題点もあるが、Mutatogluら<sup>5)</sup>による現在市販されている臼蓋コンポーネントの架橋ポリエチレンの比較では、100Mrad の高線量を照射したものが、人工的に経年劣化を加えたものの比較も含めて、非常に高い耐摩耗性を示している (図 5)。

Hermidaら<sup>6)</sup>はコバルトクロム製 28mm 骨頭と 32mm 骨頭で摩耗試験をおこない、32mm の方が 28mm より摩耗度が大きい、クロスリンクにより、32mm でも非常に少ない摩耗率が得られ、大径骨頭の使用による可動域の増加・脱臼の減少が期待されるとしている。

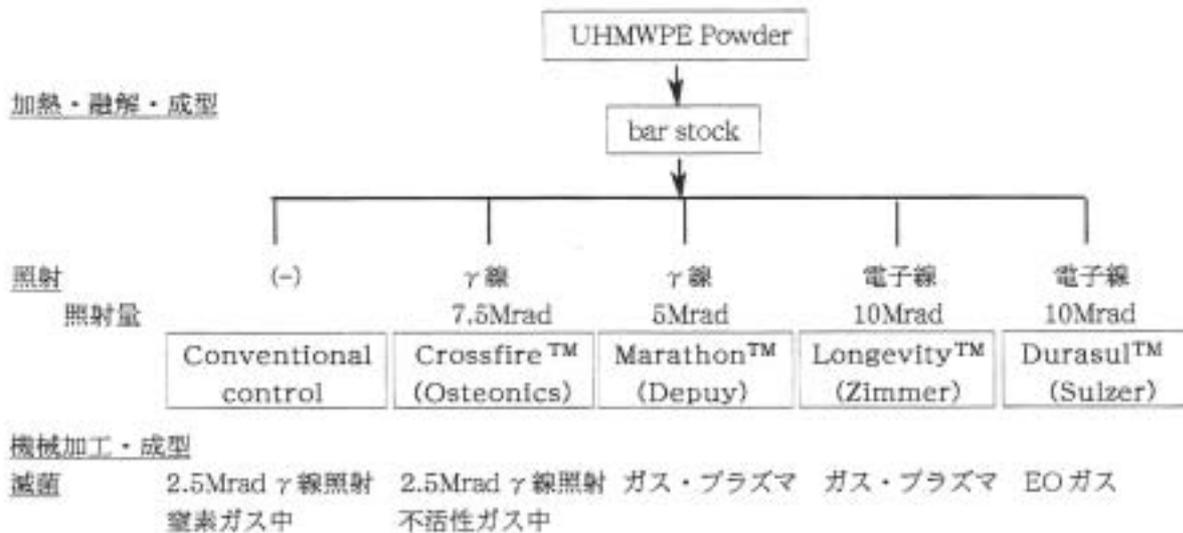


図 4 UHMWPE パウダーから各社製品に至るまでのフローチャート

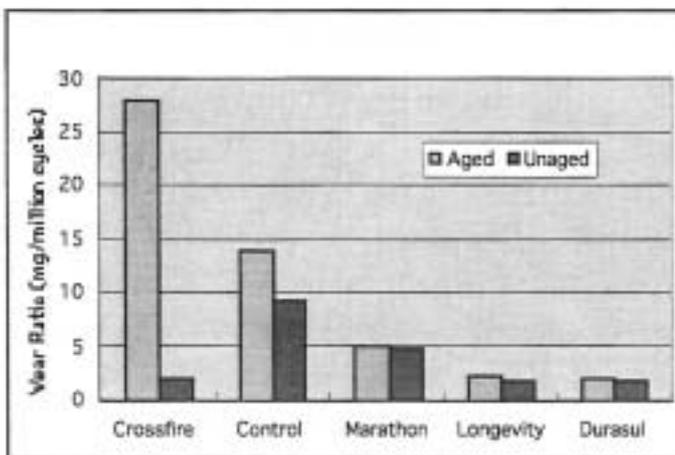


図 5 図 4 の各社クロスリンク PE 製品の磨耗率の比較  
wear test : bi-directional pin-on-disc test, lubricant : BSA  
artificial aging : aged in oven at 80°C for 3 weeks

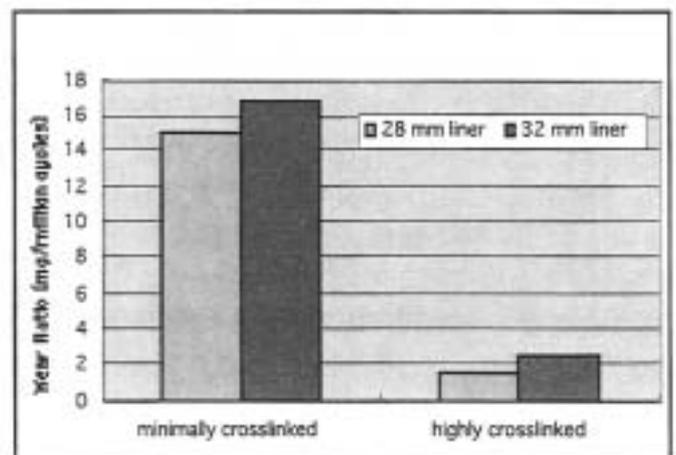


図 6 骨頭径とクロスリンクの磨耗に及ぼす影響

## TKAにおける深屈曲の可能性 : Mobile-bearing knee arthroplasty (MBKA)

人工関節では、ポリエチレンの耐摩耗性の向上以外に、ポリエチレンに加わる応力の低下を図ることが重要であり、摺動面に運動自由度を与えながら接触面積の広いデザインでなければならない。現在のTKAの機種は大きく分けると後十字靭帯 (PCL) 温存型 (cruciate retaining [CR] type) とPCLを切除し代替機能としてスタビライザーをつけたもの (posterior stabilized [PS] type) の2つに分けられる。PCLを温存することによって正常な膝に近いキネマティクスが維持される一方、PCLを切除すれば靭帯バランスをとりやすく、関節のconformityのより高いものが設計可能となり、ポリエチレンの摩耗も少なくなるとされている。

膝関節の運動は大腿骨と脛骨の間で転がり (rolling) と滑り (sliding) からなっており、PCLは膝関節に後方安定性を与え

ながら脛骨プラトーの上で大腿骨の後方移動 (ロールバック) を引き起こす。CR typeのTKAではPCLが正常に機能するように正確にコンポーネントを設置しないと、過度のrollingやポリエチレンへのストレス集中が起こりかねない。正常膝では伸展から屈曲20度まではrollingが優位で、屈曲30度以上ではslidingが優位になる。また、膝屈曲角度と脛骨の回旋について、Nakagawaら<sup>7)</sup>は、屈曲90度から133度の自動屈曲で大腿骨外側顆の脛骨との接触点は後方へ平均13mm移動するのに対し、内側顆は後方へ平均2mmしか移動せず、脛骨は15度内旋する内側ピボットを認めている。さらに屈曲させると、162°までの屈曲で脛骨の外側顆はほとんど垂脱臼位になり、totalで脛骨は28°内旋することを示した (図7)。術前に可動域の良い症例では、この脛骨の回旋を再現することが術後の良好な可動域を得るために必要となる。

Nexgen LPS-Flex mobile bearing 型TKA<sup>8)</sup>は脛骨インサートを可動式とし、大腿骨コンポーネントと脛骨インサートの間では内外旋12°、脛骨インサートと脛骨トレイの間では内外旋25°を許容する膝で深屈曲位での脛骨の内旋を円滑にする (図8)。また、大腿骨コンポーネントの後方顆部の厚みを増して曲率半径を延長することによってロールバックして155°まで屈曲しても接触面積が確保出来ている (図9)。

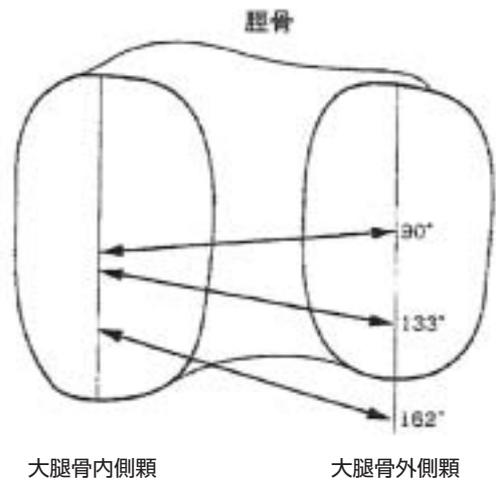


図7 膝屈曲にともなう脛骨内側ピボット

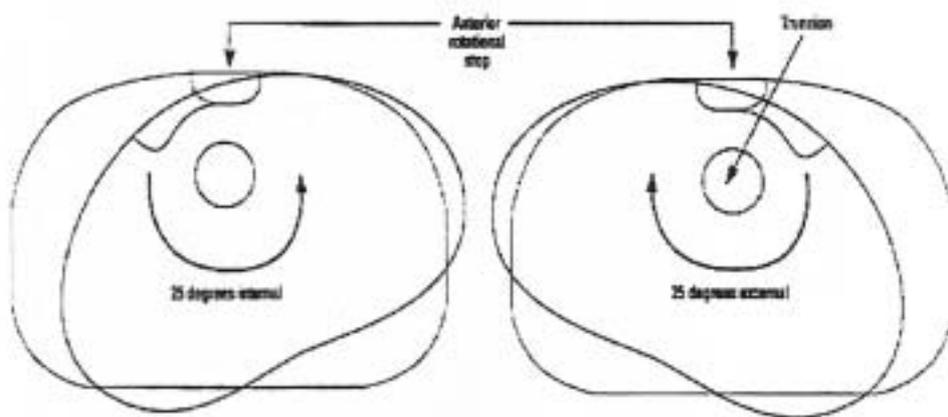


図8 Mobile tibial plate

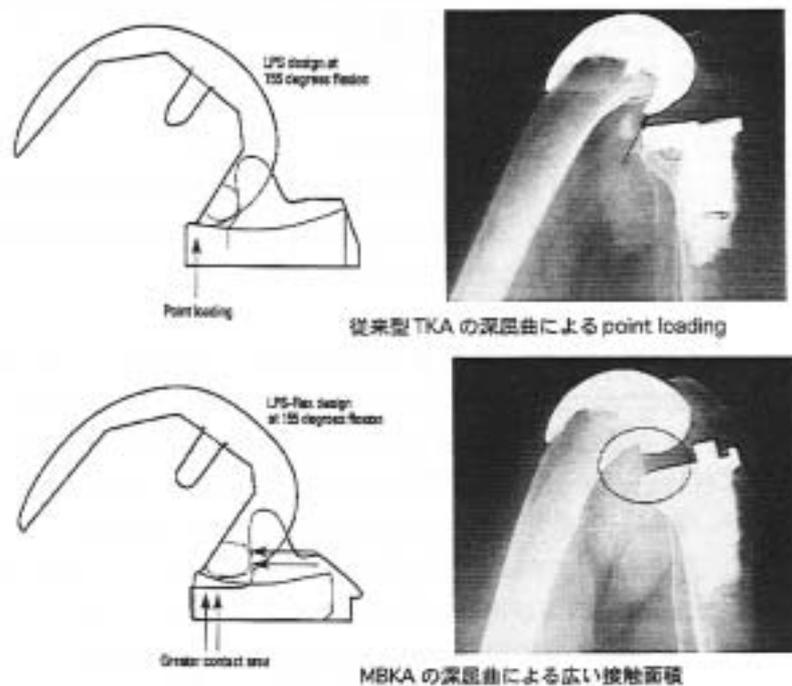


図9 155°屈曲時の接触面の増加

MBKAは深屈曲が「可能」なTKAであって、このTKAを設置すれば深屈曲できるわけではない。深く曲げることを目的に屈曲ギャップを大きくとればカムのスタビライザーからの脱臼も起きうる。

深屈曲可動域を得るためには、MBKAによって脛骨の内旋を許容するだけではもちろん不十分であり、前方の要因、適切な軟部組織バランス、後方の要因を考慮した適切な手術手技が大切であるのはいうまでもない<sup>9)</sup>。深屈曲時の接触面の改良と脛骨内旋を許容する点に関しては、現在fixed bearingのタイプも利用出来るようになっている。したがって、軟部組織のバランスが非常に良好な時にはMBKAを、そうでない場合にはfixed typeを使用することが望ましいと考えられる。

MBKAは理論的にはfixed typeに比べて軸回旋を許容し、conformityが増し、線摩耗が減少する、あるいは脛骨の回旋異常を自己矯正してくれる等の利点が考えられるが、まだfixed typeより優れているという長期成績は出ておらず、今後の検討を得たねばならない<sup>10)</sup>。

## 【文献】

- 1) D'Lima D. D., et al : The effect of the orientation of the acetabular and femoral components on the range of motion of the hip at different head-neck ratio, J. Bone and Joint Surg, 82-A ; 315-321, 2000.
- 2) D'Lima D. D., et al : Optimizing acetabular component position to minimize impingement and reduce contact stress, J. Bone and Joint Surg, 83-A, Supplement 2, part 2 : 87-91, 2001.
- 3) Barts, R.L., et al : The effect of femoral component head size on posterior dislocation of the artificial hip joint, J. Bone and Joint Surg, 82-A : 1300-1307, 2000.
- 4) McKellop, H., et al : Effect of sterilization method and other modifications on the wear resistance of acetabular cups made of ultra-high molecular weight polyethylene, J. Bone and Joint Surg., 82-A : 1708-1725, 2000.
- 5) Mutaroglu O. K., et al : The comparison of the wear behavior of four different types of crosslinked acetabular components
- 6) Hermida, J. H., et al : Effect of head size and crosslinking on wear in polyethylene acetabular components.
- 7) Nakagawa, S., et al : Tibiofemoral movement 3: full flexion in the living knee studied by MRI, J. Bone and Joint Surg 82-B : 1199-1200, 2000.
- 8) Zimmer, Inc : NetGen LPS-Flex Design Rationale, 2000.
- 9) 津村 弘. 新しいタイプの人工膝関節-本当の進歩となりうるか. NexGen LPS-Flex 型人工関節-特徴と使用経験-. 整・災外 44 : 1445-1451, 2001.
- 10) Cakkaghan, J J., et al : Mobil-bearing knee replacement, J. Bone and Joint Surg. 82-A : 1020-1041, 2000.