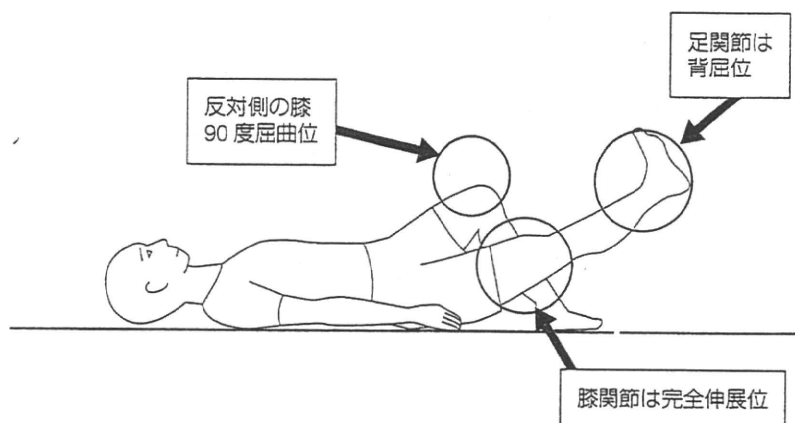


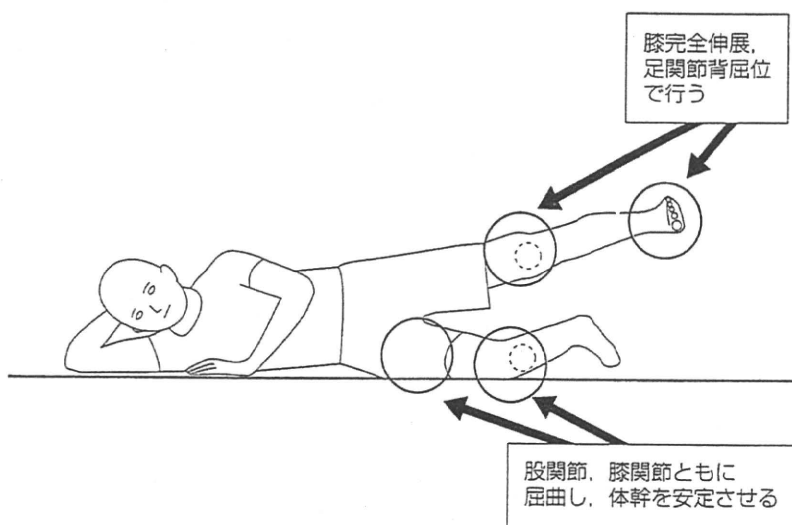
■ 図2 SLR



反対側の膝 90度屈曲して行う。膝関節完全伸展位、足関節背屈位で行った場合に、大腿直筋の仕事量が最大になることが、筆者らのこれまでの研究でわかっている。

「1で足関節背屈、2で下肢挙上、一度静止し、3でゆっくり降ろして、4で足関節リラックス」と指導している。

■ 図3 股関節外転訓練



側臥位になり、下になった下肢の股関節、膝関節を屈曲し、体幹を安定化させる。外転する際には膝関節完全伸展位、足関節背屈位で行う方が、中殿筋の筋仕事量は最大となることが筆者らの研究でわかっている。また、股関節外転訓練によって大腿直筋の筋収縮も起こることが、ランツの下肢臨床解剖学²⁰⁾および筆者らの研究で明らかとなった。SLRと同じく、4拍子で指導する。

質問で構成されており、10分程度で終わる¹⁵⁾。

③その他

包括的 QOL の指標として SF-36, EQ-5D が
ある。詳細は成書を参考にされたい¹⁶⁾。

(2) 他覚的機能評価試験

6分間歩行テスト(筋持久力), Time up and go
test (TUG) (動的バランス)¹⁷⁾, 片脚立位時間¹⁸⁾

やファンクショナルリーチテスト(静止バランス)¹⁹⁾等、機械を使用しなくても可能な検査から、CYBEX^{®20)}や表面筋電計²¹⁾, 3次元動作解析装置²²⁾, Hand Held Dynamometer (HHD)²³⁾等、特殊な装置を用いての研究報告がある。



運動療法効果のメカニズム についての考察

(1) 大腿四頭筋強化の理由

正常膝での両脚起立時には下肢機能軸は両膝関節のそれぞれ中央を通り内外側に均等に荷重されるが、片脚起立時には重心は体中心と股関節中心の間にある。つまり正常な下肢アライメントでも体重は常に、膝関節に対して内反モーメントとして作用している²⁴⁻²⁷⁾。

一方、大腿四頭筋は外反モーメントとして働く。SLRを指導する最大の理由はここにある。これまでわかっていることは次のとおりである。

a. OA群では正常膝に比べ脛骨粗面は内側に存在している。

b. コンピュータシミュレーションでは脛骨粗面が内側にあると大腿四頭筋の外反モーメントが小さくなり、さらに内反が進行する。

c. 脛骨粗面の内側変位は正常なFTAをもつ症例でも内側型大腿脛骨関節症を引き起こす可能性がある。つまり、内側変位は内反変形の結果ではなく、原因となる。

d. 脛骨粗面の位置は外側にあるほど大腿脛骨関節の圧力分布は均一化するが、膝蓋骨の外側偏移は増大する。

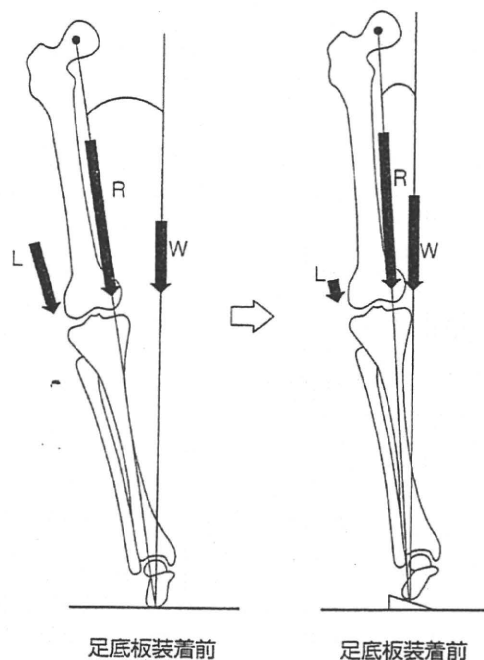
(2) 股関節外転筋強化を中心とする運動療法

側臥位股関節外転訓練が内反膝OAに効果を示す理論を示す(図4)。

a. 両下肢を除く体重の1/2が一側の下肢にかかっているとするとする(W)。体重は下肢機能軸上を足関節まで伝わるため、下肢機能軸にかかる力RはWの大きさとその成す角度により決定される。

b. 内側型膝OAにおいて、内反変形が強い膝では下肢機能軸とWの成す角度は大きくなっており、その分Rは大きくなる。これは内側にあるため、それに釣り合う力Lが外側に必要となる。

■ 図4 股関節外転訓練の効果発現のメカニズム



(眞島・他, 2003)²⁹⁾を改変

c. 楔状足底挿板をした場合、下肢機能軸の直立化が起こり、下肢機能軸とWの成す角度は小さくなるため、Rは小さくなる(Rに釣り合うLも小さくなる)。さらに下肢機能軸は軽度外側にシフトすることも考えられる。

d. 股関節外転訓練においても足底挿板と同様なメカニズムによって効果を示すと考えている。

おわりに

膝OAの診断基準はなく、X線像の評価に関しても、Kellgren-Lawrence分類にそって分類が困難な症例がある。また、X線像は末期のOAを示しながらも疼痛が全くない症例や、逆に関節裂隙が残存しているにもかかわらず、歩行障害が出現するほど疼痛が強い症例等、未知な点が多い。エビデンスを蓄積しながら、病態の解明と保存的治療の確立が整形外科医の急務と考える。

文献

- 1) 吉村典子：一般住民における運動器障害の疫学—大規模疫学調査 ROAD より。 *The bone* 24 : 39-42, 2010.
- 2) 総務省統計局ホームページ：http://www.stat.go.jp/
- 3) Nigel K et al : Knee pain, knee osteoarthritis, and the risk of fracture. *Arthritis Rheum* 55 : 610-615, 2006.
- 4) Graemo J et al : Osteoarthritis, bone density, postural stability and osteoporotic fracture : A population based study. *J Rheumatol* 22 : 921-925, 1995.
- 5) 清水直史・他：伸展下肢拳上訓練による変形性膝関節症の治療。 *整形外科* 42 : 646-654, 1991.
- 6) 桜庭景植・他：変形性膝関節症に対する運動療法の効果—特に SLR 訓練について。 *臨床スポーツ医* 17 : 143-150, 2000.
- 7) 黒澤 尚：変形性膝関節症に対するホームエクササイズによる保存療法。 *日整会誌* 79 : 793-805, 2005.
- 8) 黒澤 尚・他：変形性膝関節症の保存療法—ホームエクササイズの継続率。 *日整会誌* 80 : 933-941, 2006.
- 9) Jamtvedt G et al : Physical therapy interventions for patients with osteoarthritis of the knee : an overview of systematic reviews. *Phys Ther* 88 : 123-136, 2008.
- 10) 鳥巢岳彦, 津村 弘：変形性膝関節症の運動療法。 *整形外科* 39 : 217-223, 1998.
- 11) Elizabeth A et al : Effect of a home program of hip abductor exercises on knee joint loading, strength, function, and pain in people with knee osteoarthritis : a clinical trial. *Physical therapy* 90 : 1-10, 2010.
- 12) Doi T et al : Effect of home exercise of quadriceps on knee osteoarthritis compared with nonsteroidal anti-inflammatory drugs : A randomized control trial. *Am J Phys Med Rehabil* 87 : 258-269, 2008.
- 13) Nick D et al : Knee extension strength is a significant determinant of performance on static and dynamic balance as well as quality of life in oldercommunity-dwelling woman with osteoporosis. *Gerontology* 48 : 360-368, 2002.
- 14) Sherrington C et al : Effective exercise for the prevention of fall (falls) : A systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc* 56 : 2234-2243, 2008.
- 15) 赤居正美編著：リハビリテーションにおける評価法ハンドブック—障害や健康の測り方, 医歯薬出版, 2009, pp284-288, pp302-308.
- 16) 前掲 15) pp262-267, pp273-277.
- 17) Sun SF : Hyaluronate improves pain, physical function and balance in the geriatric osteoarthritic knee : a 6-month follow-up study using clinical tests. *Osteoarthritis Cartilage* 14 (7) : 696-701, 2006, Epub 2006.
- 18) 山本智章：地域高齢者の運動機能と QOL 評価。 *Osteoporosis Japan* 15 : 518-519, 2007
- 19) Eyigor S et al : A comparison of muscle training methods in patients with knee osteoarthritis. *Clin Rheumatol* 23 (2) : 109-115, 2004, Epub 2004.
- 20) Howe TE, Rafferty D : Quadriceps activity and physical activity profiles over long durations in patients with osteoarthritis of the knee and controls. *J Electromyogr Kinesiol* 19 (2) : e78-83, 2009, Epub 2007.
- 21) Liikavainio T et al : Gait and muscle activation changes in men with knee osteoarthritis. *Knee* 17 (1) : 69-76, 2010, Epub 2009.
- 22) Lim BW et al : Does knee malalignment mediate the effects of quadriceps strengthening on knee adduction moment, pain, and function in medial knee osteoarthritis ? A randomized controlled trial. *Arthritis Rheum* 59 (7) : 943-951, 2008.
- 23) 牧野健一郎・他：リハビリテーション技術 ハンドヘルドダイナモメーターによる筋力測定(解説)。 *臨床リハ* 16 : 1183-1185, 2007.
- 24) 津村 弘・他：バイオメカニクスよりみた片側型変形性膝関節症の成因。 *関節外科* 18 : 9, 1999.
- 25) 津村 弘：関節のバイオメカニクス。 *九州リウマチ* 26 : 1, 2006.
- 26) 津村 弘：膝関節と股関節のバイオメカニクス。 *整形外科* 57 : 1259, 2006.
- 27) 池田真一・他：変形性膝関節症に対する保存的治療に関わるバイオメカニクス。 *MB Orthop* 20 : 95, 2007.
- 28) Lang J, Wachsmuth W : ランツの下肢臨床解剖学(山田致知, 津山直一監訳), 医学書院, 1979, p180.
- 29) 眞島任史・他：内側型変形性膝関節症に対する保存療法としての足底板, 継手付き装具。 *MB orthop* 16 : 23-28, 2003.

特集
変形性膝関節症の治療戦略

【手術療法】

人工膝関節全置換術

Total knee arthroplasty

津村 弘 熊木光包 池田真一

H. Tsumura, M. Kumagi, S. Ikeda : 大分大学医学部整形外科

Key words

- 人工膝関節全置換術(TKA)
- 適応(indication)
- 手技(procedure)

はじめに

人工膝関節全置換術(TKA)は、わが国で年間6万例を超える症例に対して行われており、関係学会での発表や論文、新しい単行本の発刊も盛んである。しかし、それらは、ある程度TKAの手技を経験した医師に向けての内容であり、適応などの基本的な情報が不足している感を否めない。この特集は、変形性膝関節症(膝OA)の治療戦略を、A~Zまで俯瞰することを目的としているので、より一般的な知識を解説することにしたい。また、著者自身が理解し、イメージしているTKAについて述べることを中心にするため、重要性の選択などにおいて、多少の偏向はお許しいただきたい。

人工膝関節の構造と歴史

各種疾患で破壊された膝関節を治療するうえで、まさに関節の機能である「支持性」と「可動性」と「無痛性」を再獲得させることが、人工膝関節の目的である。この目的を達成するため、過去、さまざまな形態の人工関節が考案されてきた。膝関節の解剖学的形態に似せた「表面置換型」の人工関節(図1)と、金属の軸で連結された「蝶番型」の人工関節(図2)に大きく分けられる。

表面置換型の人工関節は大腿骨コンポーネントと脛骨コンポーネントが連結されていないため、その安定性は、側副靭帯や関節包などの軟部組織の状態に依存する。TKAにおいて、軟部組織の術前の状態や術中の処理が手術の成否を決めるのは、このことに由来する。

一方、蝶番型(拘束型)の人工関節は、1軸で連結されており、軟部組織に依存しない安定性が得られるものの、膝関節の「回旋」や「前後方向への移動」を伴う複雑な屈伸運動を再現することはできない。その後、このタイプは、脛骨に「回旋」と「上下方向への移動」を許すrotating

図1 表面置換型の人工膝関節

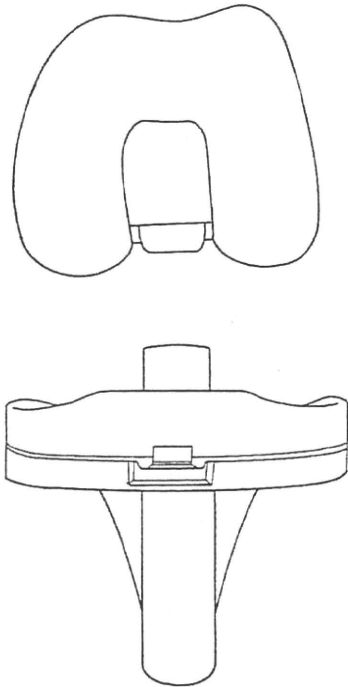


図2 蝶番型（拘束型）の人工膝関節

Shiers型の人工関節である。

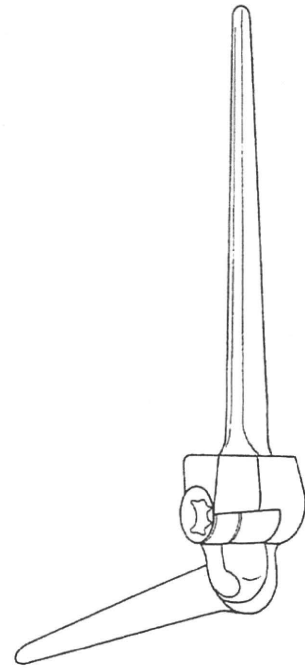
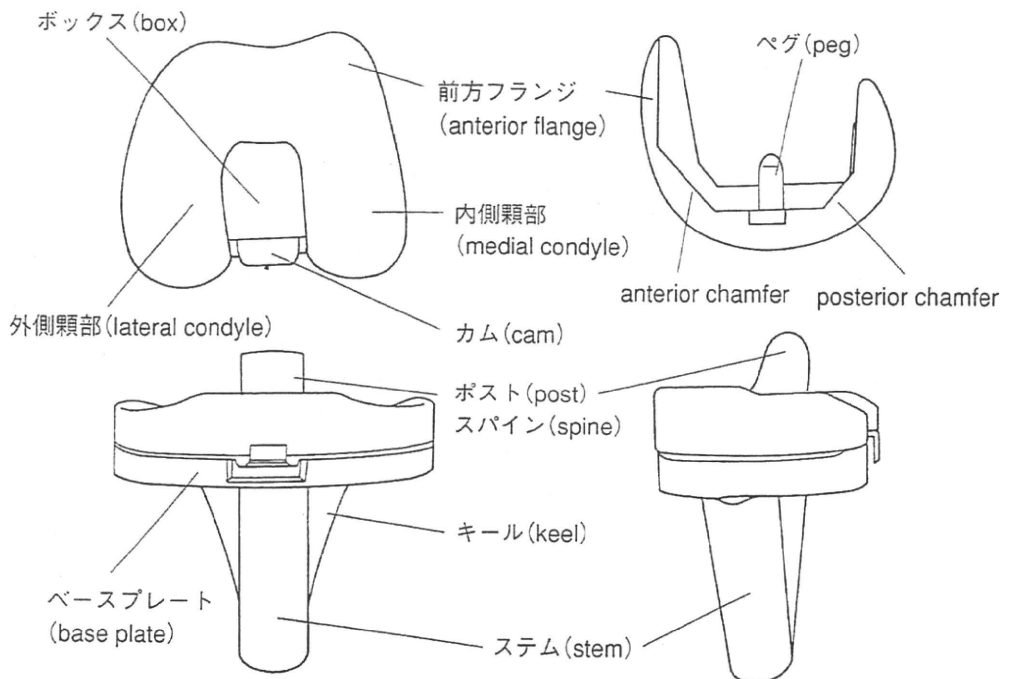


図3 人工膝関節の各部分の名称



hinge型の人工関節に発展し、現在も腫瘍用や再置換用に利用されている。

表面置換型は、Geometric型人工膝関節の成功に端を発し¹⁾、その後いろいろな改良を受け、現在の形態につながったといつてよい。とくに

kinematic kneeのposterior stabilizer(PS)型は、後十字靭帯(PCL)の機能を再現する完成度の高いpost-cam(またはspine-cam)構造(図3)をもち、画期的な人工膝関節となった。PS型の人工膝関節では、Insall-Burstein型がきわめて優れた長

期成績を残している²⁾。現在に至るまで、脛骨コンポーネントのmetal back化、膝蓋骨コンポーネントのmetal backの中止、ポリエチレンの変遷(熱処理されたHylamer³⁾や、カーボンファイバーの混合の失敗)などの試行錯誤が繰り返されてきた。

最近の進歩として、大腿骨コンポーネント表面にoxidized zirconiaの採用、ビタミンE添加型のポリエチレン⁴⁾、屈曲するときに脛骨の内旋を誘導する非対称性のデザイン(guided motion)などがあげられる。

骨・インプラント界面は、PS型ではセメントによる固定が必須であるが、PCLを温存するcruciate retention(CR)型では、セメントレスによる固定も可能である。これは、大腿骨を前方に移動させる力は、CR型ではPCLにより直接大腿骨から脛骨に伝えられるのに対して、PS型ではpost-cam機構を通して、大腿骨コンポーネントから脛骨コンポーネントに伝えられ、脛骨コンポーネントと脛骨の界面に大きな力がかかることになるためである⁵⁾。この力は、その反力として大腿骨コンポーネントにもかかっている。

表面置換型人工膝関節の形態と チェックポイント

それぞれの部分の名称は、**図3**に示す。大腿骨コンポーネントは、前方フランジ(anterior flange)から内外側の顆部へ分かれ、それぞれの後方顆部(後顆部)に終わる。側面からみた最下点から後方顆部に至るカーブは、機種によってさまざまで、円の一部分(single radius)であったり、内側顆と外側顆で異なったりと、各機種で特徴を主張している。前方フランジには膝蓋骨のための溝(膝蓋面<patella surface>)が組み込まれ、スムーズな膝蓋大腿関節の動きを生じるように工夫されている。Q角の性差を組み込んだ男女別のコンポーネントを用意している機種も存在する。PS型では、脛骨側のpostが入る

ための空間が顆間部に必要となり、この部は“ボックス”とよばれ、その後方にpostと接触するcamが配置される。ボックス部分が大きければ、骨切除量が多くなるため好ましくないが、小さいとpostの高さを低くしなければならないため、軟部組織の弛みがあると、camがpostを乗り越える可能性が生じる。この距離は、“jumping distance”とよばれる(**図4**)。

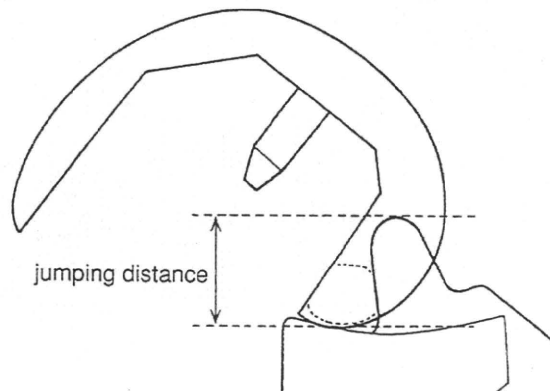
脛骨側では、ポリエチレンがベースプレート(base plate)と固定されているもの(fixed)となんらかの可動性をもつもの(mobile)に大別される。また、脛骨コンポーネントは、脛骨内に挿入するためのステム(stem)と傾きを防ぐためのキール(keel)をもつ。セメントレスのものでは、ステムやキールのない比較的薄いベースプレートも存在する。脛骨関節面の後傾を人工関節に内蔵しているものと、骨切りで形成するものがある。全体に共通する構造と個性のある部分が混在しているため、医師はその特徴を熟知して機種の選択をしなければならない。



膝関節に疼痛が著明で、可動域制限や関節動揺性などを伴い、歩行障害をきたしていることが臨床的な条件である。そして、その臨床症状

図4 jumping distance

カムの最下点とポストの頂上までの距離。これを越える弛みがあると大腿骨は前方に脱臼するおそれがある。



を説明可能な画像所見が必須である。単純X線像では、Kellgren-Lawrence(K-L)分類でGrade 4以上の末期の変形性膝関節症が対象となる。内側型では、立位もしくはRosenberg撮影で内側大腿脛骨関節面の軟骨がほぼ消失していること、加えて外側大腿脛骨関節面になんらかの変化がみられるか、あるいは、関節の不安定性(前十字靭帯<ACL>やPCLの機能不全や、冠状面で大腿骨と脛骨のずれ)が認められる場合はTKAの適応と考えてよい。TKAの長期成績の向上と社会的なQOLに対する要求の高まりから、現在では、年齢による適応の制限は相対的なものとなった。しかし、60歳未満の症例では、慎重に判断をするべきである。

絶対的な禁忌としては、感染性膝関節炎があげられる。繰り返し関節内注射を受けているような場合も、関節液の穿刺や血清学的な検査で感染を否定することが重要である。適応上問題となるのは、過去の感染の既往である。TKA後の感染例の二次的な再置換までの期間については、最低でも6週とする報告⁹⁾が一般的だが、感染性膝関節炎後のTKAについては、定まった見解がない。著者らは、最低でも6カ月、可能なら2年間の観察期間をおきたいと考えている。

ステロイド関節症と、神経病性関節症については、軟部組織の弛緩と骨欠損に対する対策を十分に行うことで、ある程度の成績を達成できる⁷⁾。しかし、神経病性関節症は、その長期成績の低下や隣接関節の障害なども報告があり、TKAの適応は限定的と考える。

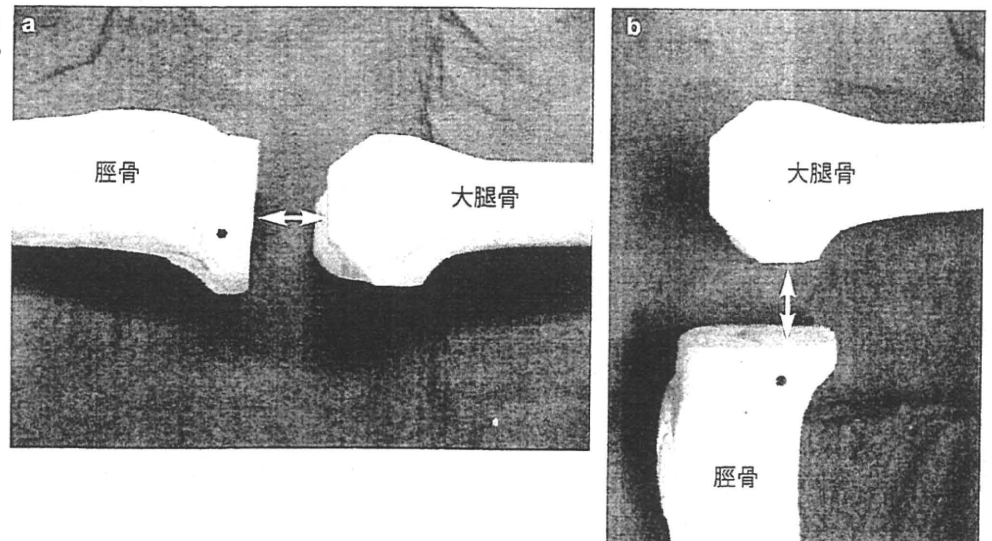
手術手技

人工関節メーカーは、各社それぞれの機種に対応した器械(インストゥルメント)をもっている。また、それに対応する詳細な手術手技書も存在する。そのため実際に手術を行うには、それらに精通し、もし、初めての機種であれば、事前に模擬骨を用いたワークショップを行うべきである。ここでは、現在行われている手術手技の考え方を紹介する。

先立って説明しておきたい用語として、伸展ギャップ、屈曲ギャップというものがある。人工関節を入れるためには、その厚さ分の隙間が必要であり、大腿骨と脛骨の骨切除と軟部組織の解離によって作製する。膝伸展位での隙間を伸展ギャップとよび、膝屈曲位での隙間を屈曲ギャップとよぶ(図5)。

図5 伸展ギャップ(a)と屈曲ギャップ(b)

人工関節を設置するため、その厚み分の隙間が必要となる。脛骨の近位端の骨切り量は、伸展ギャップと屈曲ギャップの両方に影響することがわかる。



■皮切

現在は、正中縦切開が基本である。従来は内側弧状切開が用いられていた。最小侵襲手術(minimally invasive surgery; MIS)では、やや内側に寄せる場合がある。この部の皮膚は薄く血流も豊富ではないため、壊死に陥らないように注意する必要がある。伏在神経の膝蓋下枝はほぼ切ることになるため、皮切の外側に知覚鈍麻の領域ができる。このことは、術前に説明しておく必要がある。

■関節の展開

内側型OAでは、膝蓋骨の内側から展開する(外側型OAでは膝蓋骨の外側から展開する場合もある)。内側から展開する場合、内側広筋をどのように展開するかにより、アプローチの名前がついている(図6)。半月板や付属する靭帯などはこの段階で可及的に切除する。

■軟部組織バランスの調整と骨切り法

内側型OAの場合、内反変形と屈曲拘縮や屈曲制限が存在する。変形した膝関節をいわゆる正常の形態に戻すにあたっては、骨切りによる骨のアライメントの矯正と軟部組織の解離によ

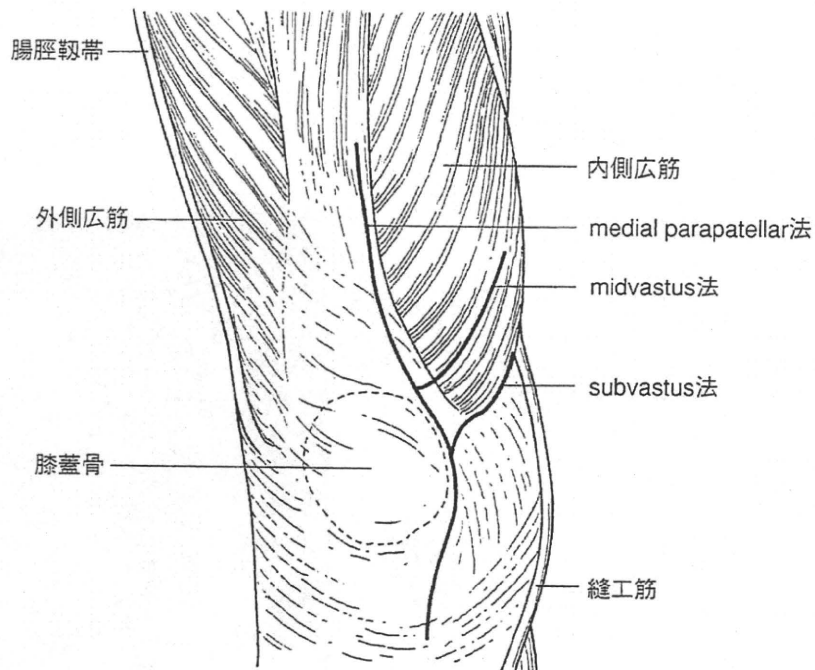
るバランスの矯正を組み合わせる必要がある。骨切りによるアライメント矯正の指標は、膝正面から見たとき大腿脛骨角(FTA)で 174° 、あるいは、膝機能軸が膝関節中央を通るようにすることでわかりやすいが、軟部組織バランス矯正の指標は、客観的には表現しにくい。

この2つの要素をどのように取り扱うかで、大きくはmeasured resection(independent cut)法とgap technique(dependent cut)法に分けられる。前者は、骨性のランドマークに沿って人工関節を設置し、軟部組織バランスの調整は厳密性を追求しない。一方、後者は、最初に脛骨近位の骨切りを脛骨骨軸に垂直に行うものの、その他の骨切りは軟部組織バランスを参照しながら行い、厳密に骨性のランドマークに合わせることは行わない。Insallらのもともとのgap technique法は、脛骨骨切り後、膝関節を 90° に屈曲して大腿骨を引き上げ、大腿骨の後方顆部の骨切りを行い、長方形の屈曲ギャップを先に作製する方法である。

最近報告されているmodified gap technique法は、脛骨骨切り後、FTAまたは機能軸を参照し

■図6 関節への進入法

medial parapatellar法、midvastus法、subvastus法を示す。



て、大腿骨の遠位端を切ることで伸展ギャップを先に作製する。その後、大腿骨コンポーネントの回旋アライメントの決定と屈曲ギャップを伸展ギャップにそろえるときに、軟部組織バランスを参照する方法である⁸⁾(図7)。軟部組織の緊張を感じたり、測定したりするために、スプレッダーやtensorやbalancerが用いられる⁹⁾。

■骨切除の仕上げ

各社のインストゥルメントに従って、人工関節が骨と弛みが生じないように注意深く、骨切除を進めていく。深屈曲を得るための処置として、両顆部後方の余剰骨や骨棘の切除および顆間部の関節包の剥離を行う。

■人工関節の設置

骨切りと骨切除が終了したら、トライアル用の人工関節を用い、試験整復を行う。屈曲、伸展を繰り返し、膝蓋骨の滑走に問題がないか、伸展、屈曲、軽度屈曲での内・外反動揺性がないかなどを入念に確かめ、本物の人工関節を設置する。セメント固定の場合は、室温に注意し、助手とどのような手順で設置するかを確認して、セメントの攪拌に入る。

【症例】

82歳、男性。主訴は両膝関節痛と右膝関節の不安定性であった。近医での関節内注射(副腎皮質ステロイドやヒアルロン酸)を含む保存療法を受けていたが、症状の悪化のため紹介受診となった。

右膝関節の可動域は、伸展： -25° 、屈曲： 125° と屈曲拘縮と内・外反動揺性を認めた。

画像所見(図8a)では、内側関節裂隙の狭小化と軟骨下骨の硬化と軽度の骨棘形成があった。また、脛骨内側プラトーに複数の小骨片を認め、膝OA(K-L分類Grade 4)にステロイド関節症が加わったものと判断し、TKAの適応とした。

手術は、medial parapatellar approachを用いて進入し、modified gap techniqueにより骨切りを行った後、PS型のNexgen[®] LPS-Flex(Zimmer社、USA)で置換した。大腿骨コンポーネントのサイズはF、脛骨は5番で、ポリエチレンの厚みは10mmであった(図8b)。

術後4カ月の状態で、独歩可能で不安定性なく、可動域は伸展： -10° 、屈曲： 120° である。

図7 屈曲ギャップの作製

tensorを入れて、下図のトルクドライバー(一定のトルクになると空回りするラチェット機構が付いたドライバー)で一定の張力をかけ、大腿骨を持ち上げる。内側と外側の軟部組織に同程度の緊張をかけた状態で、屈曲ギャップを長方形に作製する。

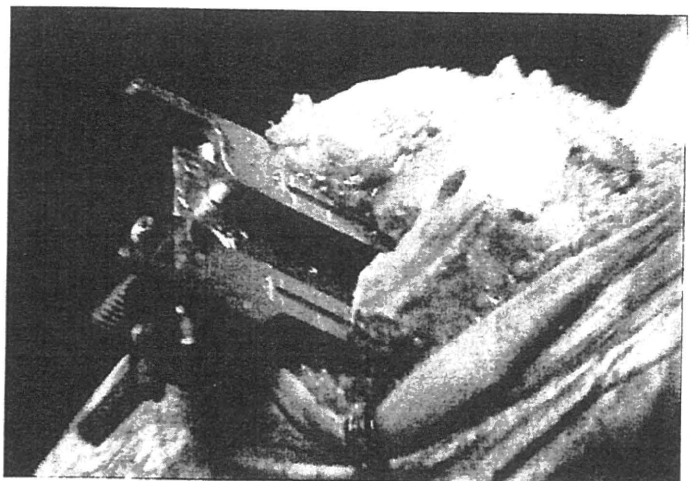
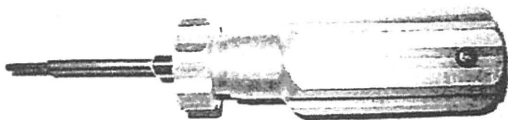
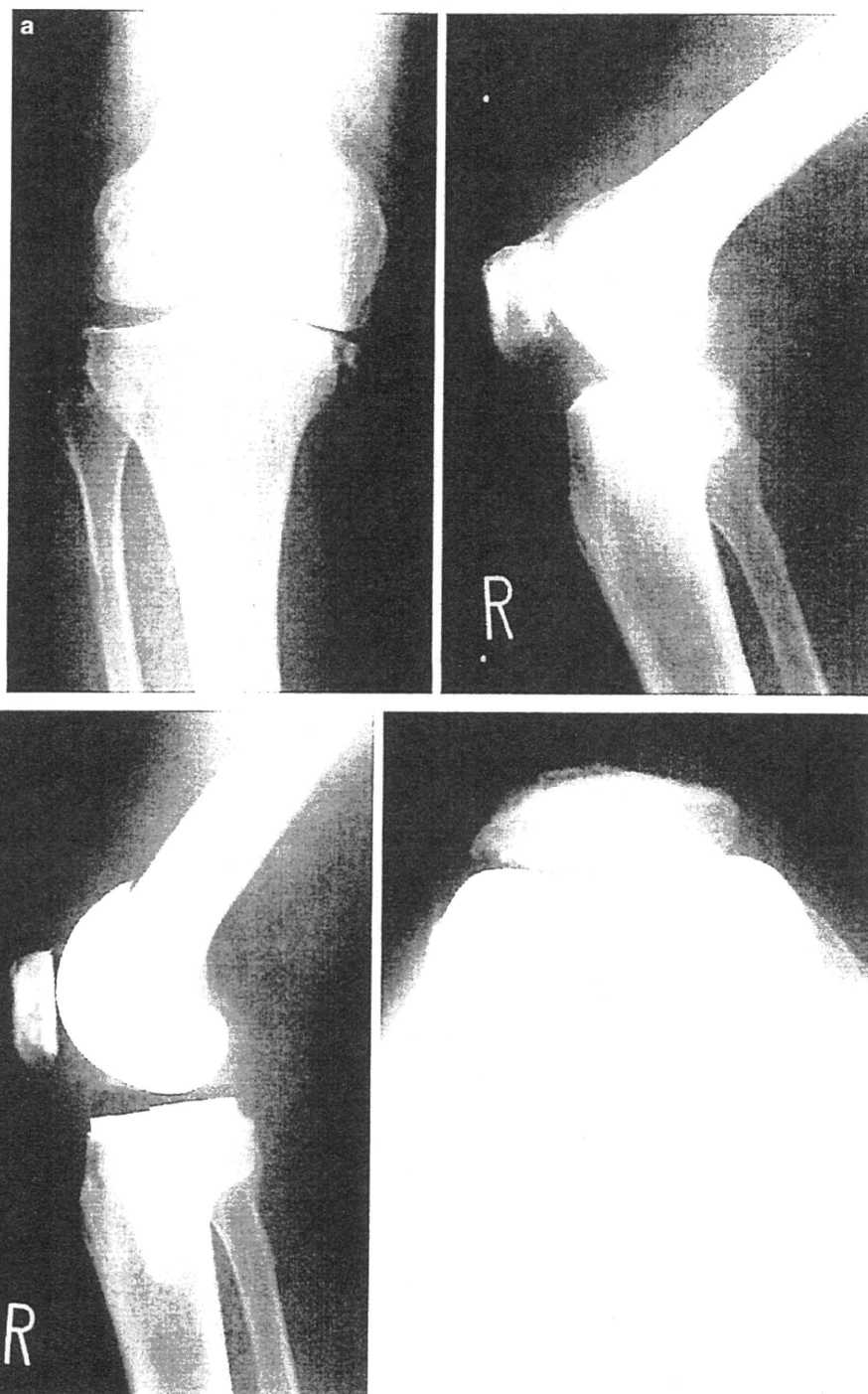


図8 【症例】

82歳，男性。

a：術前単純X線像。脛骨内側に複数の小骨片を伴っている。

b：術後の状態では，アライメントなどに問題はない。



結語

TKAは，短期の術後成績がよいことから，適応拡大の傾向が強い。多くの日常生活動作（ADL）は可能となるが，正常膝関節の機能に比

べれば，まだまだ不十分な点があることを認識しておくべきであり，安易な適応は患者の満足感を得られないだけでなく，医療側も窮地に落ちる原因となる。また，よい成績を達成するには，診断，適応，ていねいな手術と術後管理は，一体として重要である。

文献

- 1) Coventry MB : Two-part total knee arthroplasty : evolution and present status. Clin Orthop Relat Res, 145 : 29-36, 1979.
- 2) Font-Rodriguez DE, Scuderi GR, Insall JN : Survivorship of cemented total knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res, 345 : 79-86, 1997.
- 3) Iwakiri K, Iwaki H, Kobayashi A, et al : Characteristics of hylamer polyethylene particles isolated from peri-prosthetic tissues of failed cemented total hip arthroplasties. J Biomed Mater Res B Appl Biomater, 85 : 125-129, 2008.
- 4) 鈴木昌彦, 李 泰鉉, 宮城 仁ほか : ビタミンE 添加ポリエチレンインサートの開発とそれを用いたHi-tech knee人工関節の短期成績. 膝, 31 : 165-167, 2007.
- 5) 黒澤 尚, Soudry M, Walker PS : 人工膝関節脛骨コンポーネント-骨間に作用する力-特に後十字靭帯温存の意義について-. 日整会誌, 58 : 11-21, 1984.
- 6) Hirakawa K, Stulberg BN, Wilde AH, et al : Results of 2-stage reimplantation for infected total knee arthroplasty. J Arthroplasty, 13 : 22-28, 1998.
- 7) 王寺享弘, 小林 晶, 吉本隆昌 : Charcot膝関節に対する人工膝関節置換術の是非. 膝, 21, 131-136, 1995.
- 8) 津村 弘, 片岡晶志, 古代裕次郎 : NexGen LPS-Flex型人工膝関節-特徴と使用経験. 整・災外, 44 : 1445-151, 2001.
- 9) 村津裕嗣, 松井允三, 吉矢晋一ほか : 人工膝関節置換術の軟部組織バランサー. 整・災外, 47, 145-151, 2004.

シンポジウム 変形性膝関節症のマネージメント —最新の臨床エビデンスとエキスパートオピニオン—

変形性膝関節症の危険因子と予防*

津村 弘 池田真一 片岡晶志†

はじめに

変形性関節症(osteoarthritis, OA)は、国民生活基礎調査によると介護保険の要介護や要支援にいたる原因の1つであり、ADL(activities of daily living)を障害する頻度は高い。変形性関節症の中で、変形性膝関節症(以下膝OA)は、日本で罹患率は高く、東京大学の疫学調査(Research on Osteoarthritis Against Disability, ROAD study)によれば、有症者数で800万人に及ぶとされ、RAのおよそ10倍である¹⁾。したがって、その発症・進展の予防は、健康寿命の延伸に大きく寄与すると期待される。しかし、日本における大規模な縦断的な疫学調査や保存療法に関する randomized controlled trial などの研究は、著しく少なく、病因や保存療法のエビデンスの確立が急務である。このシンポジウムは、膝OAに関する現時点での知識の整理と確認のために企画された。この論文では、最近報告された膝OAに対する危険因子や予防法に関する疫学的な手法を用いた文献を検討し、われわれの経験を一部加えて解説する。

膝OAに発症・進展に関する危険因子

表1に、膝OAの発症・進展に関与すると考えられた因子を、大きく全身的な因子と局所的な因子に分類し、示している。それぞれに関して解説をしていきたい。

Key words: Osteoarthritis, Knee, Risk factor, Review

*Risk factors and preventive cares of knee osteoarthritis
†大分大学医学部整形外科学講座. Hiroshi Tsumura, Shinichi Ikeda, Masashi Kataoka: Department of Orthopaedic Surgery, Faculty of Medicine, Oita University

1) 遺伝性

まず、膝OAの有病率について、人種間の差が認められる。日本人ではアメリカの白人と比べ有病率が高い²⁾。黒人や中国人も白人と比較すると、有病率が高い^{3,4)}。しかし、手指に起こるOAの有病率は、DIP(distal interphalangeal)関節では差がなく、PIP(proximal interphalangeal)関節においては日本人のほうが低い²⁾。

双子の解析から、内側関節裂隙の狭小化が一方に存在すると他方の79%に存在し、骨棘の形成は69%に存在するとの報告がある⁵⁾。Neamらは、TKA(total knee arthroplasty)を行った患者の兄弟の解析で、大腿脛骨関節症の罹患のオッズ比は2.5(女2.0, 男3.0)であり、膝蓋大腿関節症の罹患のオッズ比は1.9(女1.7, 男2.0)であったと報告している⁶⁾。

これらのことから、なんらかの遺伝性が存在することは明らかである。しかし、その原因遺伝子については、多くの候補が挙げられているが、いまだ議論の余地がある。

2) 加齢

多くの疫学的な論文で、加齢によって有病率は上昇するとされている^{2)-4),8)}。しかし、その本質が何なのかはまだ明らかではない。

表1 危険因子

Table with 2 main categories: 全身的な要因 (全身性) and 局所的な要因 (局所性). Includes sub-points like 遺伝, 人種, 性別, 年齢, 女性ホルモン, 骨密度, 喫煙, 内科疾患, 肥満, 下肢アライメント, 下肢筋力, 関節動揺性, 外傷, 日常の活動性, 職業, スポーツ.

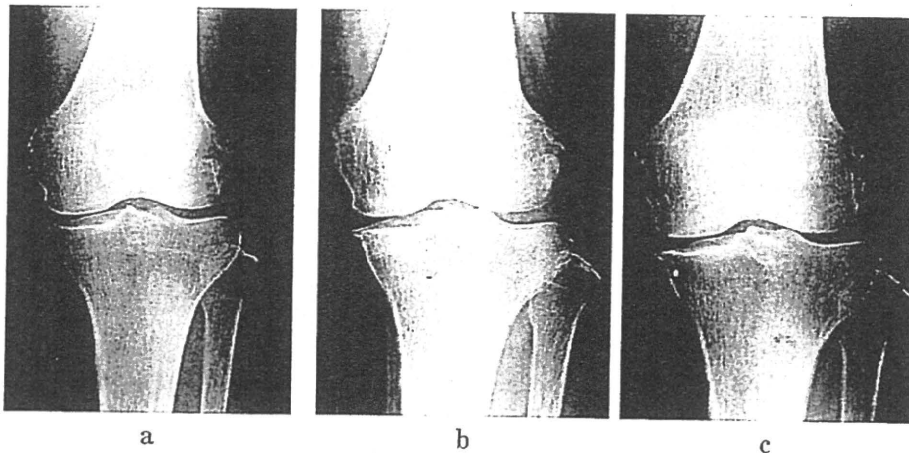


図1 77歳女性の右胫骨近位部の脆弱性骨折の経過。(a)初診時、(b)3週間後、(c)4ヵ月後

3) 性差

膝OAの有病率は、明らかに女性で高い。女性では、男性の1.5から2倍の有病率となっている。12編のメタアナリシスの文献では、女性であることのオッズ比は1.59である。一方、手指の変形性関節症ではオッズ比は1.23である。腰椎椎間板変性では、性差はない⁹⁾。

4) 女性ホルモン

膝OAは明らかに女性が多いが、女性ホルモンの影響については必ずしも明らかではない。Framingham Studyの結論では、エストロゲン補充療法で相対危険率が減少するとしている⁹⁾。また、血中のエストラジオールの濃度が47 pg/ml未満でオッズ比1.88になるとの報告がある¹⁰⁾。しかし、膝OAの進行とは無関係であるとの結果^{11),12)}やTKAの待機患者でエストロゲン補充療法を受けていた率が高いという結果が存在する¹³⁾。

5) 骨密度

骨粗鬆症は高齢者のADLを低下させる大きな要因であるが、骨密度と膝OAの関係は必ずしも明らかではない。

Framingham Studyの473人、8年間の観察では、BMD(bone mineral density)が高い群が膝OAの発症率は高いが、進行は少ないという結果が得られている¹⁴⁾。また、Rotterdam Studyでも、腰椎のBMDが高いほど膝OA発症・進行とも高いという結果が報告されている¹⁵⁾。一方で、BMDと胫骨の内反が負の相関があり、BMDが低いほど胫骨の内反が強くなり、

発症と関係するという報告がある¹⁶⁾。図1に、77歳の右胫骨近位部の脆弱性骨折の経過を示している。左膝関節内側の痛みを訴え来院したが、圧痛は胫骨近位内側(鷲足部)にあり、同部の脆弱性骨折を疑った。図1-aは、初診時の単純X線写真であり、骨折を指摘することはできない。初診後3週後の単純X線写真では、胫骨内側プラトーの直下に化骨形成が見られる(図1-b)。BMDはYAM値の60%と低値であり、統合失調症のため免荷ができなかったため、胫骨の内反が増強した。図1-cに示す4ヵ月後の単純X線写真では、胫骨の内反だけでなく、胫骨内側関節面は変形しており、膝OAの進行が予想される。この症例は、前述したBMDの低値と胫骨内反の程度が関係することを示すものと考えられる。

6) 喫煙

喫煙の影響は明らかでない。Framingham Studyでは、喫煙がOAの発症を抑制するとしている¹⁷⁾が、Aminらの男性での検討では軟骨減少のリスクを高めるとの報告がある¹⁸⁾。

7) 内科的疾患

尿酸値や糖尿病・アルコール摂取は、特に関係がないという報告がある¹⁹⁾一方、OA群でコレステロール値、血圧、血糖値が高いという報告がある²⁰⁾。

8) 肥満

多くの文献で、肥満は、発症・進展に関与しているとされている^{4),7),17),21)-23)}。しかし、女性でのみ関連が認

められるという報告¹⁷⁾と男女とも認められるという報告が混在する。また、単なる荷重が大き過ぎるというメカニカルな因子だけでなく、adipocytokineの関与も研究されている²⁴⁾。

9) 下肢アライメント

日本の代表的なコホート研究のひとつである松代膝検診の21年に亘る縦断的調査では、重度の内側型膝OAになった群では、初回調査時に有意にFTA (femorotibial angle) が大きかったと結論付けている²⁵⁾。Cerejoらは、230例の膝OAの18カ月の検討から、KL分類2群の内反膝では、進行するオッズ比は4.12であり、KL分類2群の外反膝では、進行するオッズ比は2.46と報告している²⁶⁾。しかし、Hunterらは、下肢のアライメントは進行や重症化と関係があるが、発症の因子ではないとしている²⁷⁾。

10) 下肢筋力

下肢伸展筋力の低下が、膝OAの発症・進展の因子であるとする論文は多い^{28),29)}。Slemendaらは、342人の高齢者を平均31カ月の検討から、女性において、膝OAの有病率は体重1kg当たりの伸展筋力と強い負の相関($r = -0.83$)があると報告している²⁸⁾。

共著者のIkedaは、膝に愁訴のない30歳台女性21膝と60歳台女性17膝の単純X線像による評価とCTを用いた筋断面の検討から、60歳台の女性において、hamstringsに比べて大腿四頭筋の萎縮が高度であり、hamstringsの断面積を大腿四頭筋の断面積で割った値が、0.1上がるごとに(大腿四頭筋が萎縮しているほど)膝OA発症のオッズ比は2.5であると報告した³⁰⁾。

Changらは、57例18カ月の検討で、股関節外転筋のモーメントが1単位(%体重×身長)上がるごとに膝OA進行のオッズ比は0.52になると報告し、股関節の外転筋の重要性に言及している³¹⁾。

11) 関節の動揺性

Changらは、230例、18カ月の検討で、varus thrustのある膝OAでは、varus thrustのない膝OAに対して進行するオッズ比は3.96倍であると報告している³²⁾。また、Sharmaらは、片側膝OA患者164例と高齢健常者24例の検討から、片側膝OA患者の健常側の内外反動揺角は4.9°で、高齢健常者では3.4°であり、膝OA患者の健常側で動揺性が大きかったと報告

している³³⁾。

12) 外傷の既往

Bartzらのreviewでは、過去の外傷は危険因子の1つである³⁴⁾。ACL損傷においては、受傷後10年を過ぎると40から50%の症例でX線学的OAが認められ、その発症率は手術療法が保存療法より優れているとは言えない³⁵⁾⁻³⁷⁾。PCL損傷では、膝OAの発症はさまざまであるが、ゆっくりとした変化である。半月損傷も膝OA発症の危険因子である。半月の部分切除では、画像上膝OAは進行するが、臨床症状は良好である³⁴⁾。

13) 日常生活・職業

日常生活での高い活動強度や重量物を運搬などの職業は、膝OA発症を有意に上昇させたという複数の報告がある¹⁷⁾。Bakerらは、202人の患者と333人の対照群の比較から、半月損傷オッズ比は、職業的なひざまずき動作で、3.8になり、スクワットで2.9と報告している³⁸⁾。日本人女性では、総就労年数との関係が報告されているが、正座などの内容とは関係がなかったとの報告もある²⁾。

14) スポーツ

荷重負荷の強いスポーツでは、膝OAとの関連が指摘されている。Bakerらは、前述の論文の中で、膝軟骨損傷のオッズ比は、サッカーで3.7、ラグビーで2.2、ランニングで1.4、水泳で1.5と報告している³⁸⁾。

予 防

予防は、前述した危険因子の中で、排除できるものを排除することが基本である。また、改善すると考えられている因子を実行することも必要であるが、明確でない部分も多い。

体重減少は、縦断的研究で、X線学的膝OAの発症リスクを減少させたとの報告がある¹⁷⁾。動物実験において、中等度のスポーツは軟骨変性の抑制効果があるとの報告がある³⁹⁾。Roosらは、MRIを用いた検討で、ヒトでもボールやゴムバンドを用いた中等度の運動のうち、軟骨基質のglycosaminoglycanが増加したと報告している⁴⁰⁾。下肢筋力訓練は、X線学的OAの進行を緩徐にする⁴¹⁾、あるいは症状を改善させるという報告がある。一方、膝OAの発症頻度を上げるという報告もある⁴²⁾。ビスフォスフォネートによる骨粗鬆症

治療は、X線学的OAの進行を抑制するという報告がある^{43,44)}一方、臨床症状には関係がないという報告⁴⁵⁾もある。

肥満の改善と下肢筋力の増強には、ある程度のエビデンスがあると言える。しかし、運動や骨量など個々人で適正値があると考えられるものについては、疫学的な研究デザインでは有意差が出にくいようであり、明確な結論は得られていない。効果があり、非侵襲的で経済的な予防法の確立は、今後、整形外科が取り組むべき重要な課題である。

文 献

- 1) Muraki S, Oka H, Akune T, et al. Prevalence of radiographic knee osteoarthritis and its association with knee pain in the elderly of Japanese population-based cohorts: the ROAD study. *Osteoarthritis Cartilage* 2009; 17: 1137-43.
- 2) Yoshida S, Aoyagi K, Felson DT, et al. Comparison of the prevalence of radiographic osteoarthritis of the knee and hand between Japan and the United States. *J Rheumatol* 2002; 29: 1454-8.
- 3) Zhang Y, Xu L, Nevitt MC, et al. Comparison of the prevalence of the knee osteoarthritis between the elderly Chinese population in Beijing and whites in the United States. The Beijing osteoarthritis study. *Arthritis Rheum* 2001; 44: 2065-71.
- 4) Dillon CF, Rasch EK, Gu Q, et al. Prevalence of knee osteoarthritis in the United States: arthritis data from the third national health and nutrition examination survey 1991-94. *J Rheumatol* 2006; 33: 2271-9.
- 5) Zhai G, Hart DJ, Kato BS, et al. Genetic influence on the progression of radiographic knee osteoarthritis: a longitudinal twin study. *Osteoarthritis Cartilage* 2007; 15: 222-5.
- 6) Neame RL, Muir K, Doherty S, et al. Genetic risk of knee osteoarthritis: a sibling study. *Ann Rheum Dis* 2004; 63: 1022-7.
- 7) Du H, Chen S, Bao C, et al. Prevalence and risk factors of knee osteoarthritis in Huang-Pu district, Shanghai, China. *Rheumatol Int* 2005; 25: 585-90.
- 8) Srikanth VK, Fryer JL, Zhai G, et al. A meta-analysis of sex differences prevalence, incidence and severity of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage* 2005; 13: 769-81.
- 9) Zhang Y, McAlindin TE, Hannan MT, et al. Estrogen replacement therapy and worsening of radiographic knee osteoarthritis. The Framingham study. *Arthritis Rheum* 1998; 41: 1867-73.
- 10) Sowers MR, McConnell D, Jannausch M, et al. Estradiol and its metabolites and their association with knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 2006; 54: 2481-7.
- 11) Von Muhlen D, Morton D, Von Muhlen CA, et al. Postmenopausal estrogen and increased risk of clinical osteoarthritis at the hip, hand, and knee in older women. *J Womens Health Gen Based Med* 2002; 11: 511-8.
- 12) Richette P, Corvol M, Bardin T. Estrogens, cartilage, and osteoarthritis. *Joint Bone Spine* 2003; 70: 257-62.
- 13) Sandmark H, Hogstedt C, Lewold S, et al. Osteoarthritis of the knee in men and women in association with overweight, smoking, and hormone therapy. *Ann Rheum Dis* 1999; 58: 151-5.
- 14) Zhang Y, Hannan MT, Chaisson CE, et al. Bone mineral density and risk of incident and progressive radiographic knee osteoarthritis in women: the Framingham study. *J Rheumatol* 2000; 27: 1032-7.
- 15) Bergink AP, Uitterlinden AG, Leeuwen V, et al. Bone mineral density and vertebral fracture history are associated with incident and progressive radiographic knee osteoarthritis in elderly men and women: the Rotterdam study. *Bone* 2005; 37: 446-56.
- 16) Terauchi M, Shirakura K, Katayama M, et al. The influence of osteoporosis on varus osteoarthritis of the knee. *J Bone Joint Surg Br* 1998; 80: 432-6.
- 17) Felson DT, Zhang Y, Hannan MT, et al. Risk factors for incident radiographic knee osteoarthritis in the elderly. The Framingham study. *Arthritis Rheum* 1997; 40: 728-33.
- 18) Amin S, Niu J, Guermazi A, et al. Cigarette smoking and the risk for cartilage loss and knee pain in men with knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 2007; 66: 18-22.
- 19) Felson DT. The epidemiology of knee osteoarthritis: results from the Framingham osteoarthritis study. *Semin Arthritis Rheum*. 1990; 20(3 Suppl 1): 42-50.
- 20) Hart DJ, Doyle DV, Spector TD. Association between metabolic factors and knee osteoarthritis in women: the Chingford study. *J Rheumatol* 1995; 22: 1118-23.
- 21) Szoek CEI, Cicuttini FM, Guthrie JR, et al. Factors affecting the prevalence of osteoarthritis in healthy middle-aged women: data from the longitudinal Melbourne women's midlife health project. *Bone* 2006; 39: 1149-55.
- 22) Cooper C, Snow S, McAlindon TE, et al. Risk factors for the incidence and progression of radiographic knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 2000; 43: 995-1000.

- 23) Cheng Y, Macera CA, Davis DR, et al. Physical activity and self-reported, physician-diagnosed osteoarthritis: Is physical activity a risk factor? *J Clin Epidemiol* 2000; 53: 315-22.
- 24) Otero M, Lago R, Lago F, et al. Leptin, from fat to inflammation: old questions and new insights. *FEBS Lett* 2005; 579: 295-301.
- 25) 大森 薫, 古賀 良生, 日向野 行正 他. 変形性膝関節症に対する疫学的縦断調査—松代膝検診の検討. 別冊整形外科 2002; 42: 7-11.
- 26) Cerejo R, Dunlop DD, Cahue S, et al. The influence of alignment on risk of knee osteoarthritis progression according to baseline stage of disease. *Arthritis Rheum* 2002; 46: 2632-6.
- 27) Hunter DJ, Niu J, Felson DT, et al. Knee alignment does not predict incident osteoarthritis. The Framingham osteoarthritis study. *Arthritis Rheum* 2007; 56: 1212-8.
- 28) Slemenda C, Heilman DK, Brandt KD, et al. Reduced quadriceps strength relative to body weight. A risk factor for knee osteoarthritis in women? *Arthritis Rheum* 1998; 41: 1951-9.
- 29) Thorstensson CA, Petersson IF, Jacobsson LTH, et al. Reduced functional performance in the lower extremity predicted radiographic knee osteoarthritis five years later. *Ann Rheum Dis* 2004; 63: 402-7.
- 30) Ikeda S, Tsumura H, Torisu T. Age-related quadriceps-dominant muscle atrophy and incident radiographic knee osteoarthritis. *J Orthop Sci* 2005; 10: 121-6.
- 31) Chang A, Hayes K, Dunlop D, et al. Hip abduction moment and protection against medial tibiofemoral osteoarthritis progression. *Arthritis Rheum* 2005; 52: 3515-9.
- 32) Chang A, Hayes K, Dunlop D, et al. Thrust during ambulation and the progression of knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 2004; 50: 3897-903.
- 33) Sharma L, Lou C, Felson DT, et al. Laxity in healthy and osteoarthritic knees. *Arthritis Rheum* 1999; 42: 861-70.
- 34) Bartz RL, Laudicina L. Osteoarthritis after sports knee injuries. *Clin Sports Med* 2005; 24: 39-45.
- 35) Lohmander LS, Ostenberg A, Englund M, et al. High prevalence of knee osteoarthritis, pain, and functional limitations in female soccer players twelve years after anterior cruciate ligament injury. *Arthritis Rheum* 2004; 50: 3145-52.
- 36) Von Porat A, Roos EM, Roos H. High prevalence of osteoarthritis 14 years after an anterior cruciate ligament tear in male soccer players: a study of radiographic and patient relevant outcomes. *Ann Rheum Dis* 2004; 63: 269-73.
- 37) Segawa H, Omori G, Koga Y. Long-term results of non-operative treatment of anterior cruciate ligament injury. *The Knee* 2001; 8: 5-11.
- 38) Baker P, Coggon D, Reading I, et al. Sports injury, occupational physical activity, joint laxity, and meniscal damage. *J Rheumatol* 2002; 29: 557-63.
- 39) Otterness IG, Eskra JD, Bliven ML, et al. Exercise protects against articular cartilage degeneration in the hamster. *Arthritis Rheum* 1998; 41: 2068-76.
- 40) Roos EM, Dahlberg L. Positive effects of moderate exercise on glycosaminoglycan content in knee cartilage. A four-month, randomized, controlled trial in patients at risk of osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 2005; 52: 3507-14.
- 41) 岩谷 力, 赤居 正美, 黒沢 尚 他. 変形性膝関節症に対する大腿四頭筋訓練の効果に関する RCT. *リハビリテーション医学* 2006; 43: 218-22.
- 42) Mikesky AE, Mazuca SA, Brandt KD, et al. Effects of strength training in the incidence and progression of knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 2006; 55: 690-9.
- 43) Hayami T, Pickarski M, Wesolowski GA, et al. The role of subchondral bone remodeling in osteoarthritis. Reduction of cartilage degeneration and prevention of osteophyte formation by alendronate in the rat anterior cruciate ligament transection model. *Arthritis Rheum* 2004; 50: 1193-206.
- 44) Spector TD, Conaghan PG, Buckland-Wright JC, et al. Effect of risedronate on joint structure and symptoms of knee osteoarthritis: results of the BRISK randomized, controlled trial. *Arthritis Res Ther* 2005; 7: R625-33.
- 45) Bingham CO III, Buckland-Wright JC, Garner P, et al. Risedronate decreases biochemical markers of cartilage degradation but does not decrease symptoms or slow radiographic progression in patients with medial compartment osteoarthritis of the knee. Results of the two-year multinational knee osteoarthritis structural arthritis study. *Arthritis Rheum* 2006; 54: 3494-507.

V. 人工膝関節の課題克服への工学的技術の挑戦

新潟大学でも工学者と医学者が一体となって人工膝関節の研究を行っています。

① 人工関節設置状態の応力解析

人工関節の耐久性向上には、金属部品と骨との固定状態を詳細に知る必要があります。新潟大学の研究グループでは、コンピュータ上で人間の骨に人工関節を挿入し、その時の金属部品と骨の間の荷重負荷環境（力のかかり具合）を解析できるシステムを開発して研究を進めています。金属と骨の固定部分で骨への応力が集中する部分を少なくして均一にする事が人工関節の耐久性向上に必要とされます。

② 人工膝関節のコンピュータナビゲーション手術

人工膝関節の耐久性を向上させより良く機能させるためには、正確な位置に設置する事が極めて重要です。近年、より正確な手術を行う目的でコンピュータが導入されコンピュータ手術もしくはナビゲーション手術と呼ばれています。新潟大学でも新潟医療センター整形外科の先生方が開発したナビゲーション手術システムを実際に用いています。このシステムでは、手術前の患者さんのひざの詳細な情報をコンピュータに入れ、さらに人工膝関節をどの位置に設置したら良いかをシミュレーションします。そして、手術時には事前に計画した位置に正確に人工膝関節を設置する事が可能となっています。

VI. 最後に一人工膝関節の未来

人工膝関節は、ひざの変形や痛みに苦しむ多くの人に恩恵を与えてきました。しかし、現在の人工膝関節はまだ十分に患者さんの満足に答えているとはいえません。今後、より良い人工膝関節を目指すためには、工学者と医師の協力によるたゆまない研究が必要です。

