

- 6) 武田和夫, 古賀良生, 杉本英夫ほか:新潟市における学童生徒の骨折に関する調査—スポーツ活動との関連について—. 日本整形外科スポーツ医学学会誌 **11**: 275-278, 1992.
- 7) 武田和夫, 古賀良生, 五十嵐秀一ほか:小児スポーツ外傷(骨折)の予防としての平衡機能訓練. 日本整形外科スポーツ医学学会誌 **12**: 257-259, 1993.
- 8) 古賀良生, 武田和夫, 高橋栄一:スポーツ外傷. 小児科 **48**: 809-813, 2007.
- 9) Cooper C, Dennison EM, Leufkens HG, et al: Epidemiology of childhood fractures in Britain: A study using the general practice research database. J Bone Miner Res **19**: 1976-1981, 2004.
- 10) 高沢晴夫: 児童・生徒の骨折について. 臨床スポーツ医学 **2**: 233-239, 1985.



やさしい 変形性膝関節症の自己管理

大分大学医学部整形外科学教授 鳥巢 岳彦 著

A 4 判 32 頁 定価 1,890 円 (本体 1,800 円 + 税 5 %) 送料実費
ISBN4-7532-2127-X C0047

おもな内容

I. はじめに

II. 変形性膝関節症のエックス線検査

1. 大腿脛骨関節のエックス線撮影
2. 膝蓋大腿関節のエックス線撮影

III. 保存療法(手術をしないで治す方法)

1. 日常生活での留意点(関節軟骨を保護する動作)
2. 温熱療法や冷療法
3. 薬による治療
4. 薬局や通信販売で手に入る薬や食品
5. 運動療法

IV. 付録

1. 膝の解剖と変形性膝関節症の病態
2. 膝に急に痛みが生じる他の病気
 1. 関節リウマチ
 2. 膝周囲の滑液包炎
 3. 偽性痛風
 4. 痛風発作
 5. 膝の特発性骨壊死
 6. 特発性老人性膝関節血症



株式会社 医薬ジャーナル社

〒541-0047 大阪府中央区淡路町3丁目1番5号・淡路町ビル21 電話 06(6202)7280(代) FAX 06(6202)5295 (振替番号) 00910-1-33353
〒101-0061 東京都千代田区三崎町3丁目3番1号・TKビル 電話 03(3265)7681(代) FAX 03(3265)8369

<http://www.iyaku-j.com/>

書籍・雑誌バックナンバー検索, ご注文などはインターネットホームページからが便利です。

変形性膝関節症患者の歩行中に膝関節にかかる力学的負荷と 臨床症状および重症度との関連について

津田 晃佑^{*1} 柿本 明博^{**2} 川上 秀夫^{**3} 中村 宣雄^{**2} 菅野 伸彦^{**4}

Kinetic parameters of the knee joint on 3-dimensional gait analysis were associated with QOL scores in patients with osteoarthritis of the knee.

Kosuke TSUDA, MD., Akihiro KAKIMOTO, PhD., Hideo KAWAKAMI, PhD.,
Nobuo NAKAMURA, PhD., Nobuhiko SUGANO, PhD.

Abstract

We performed 3-dimensional gait analysis in 19 patients (male : 4, female : 15, mean age : 72 years (60-82)) with a medial type of knee osteoarthritis in order to determine whether there is an association between kinetic parameters (gait velocity, flexion and varus moment of the knee joint) and functional and QOL scores (JOA score, Oxford knee score, VAS), lower limb alignment, and Kellgren-Lawrence radiographic staging of osteoarthritis. A decrease in gait velocity and an increase in the peak value of flexion moment of the knee joint correlated with low functional and QOL scores. An increase in the peak value of varus moment of the knee joint was correlated with poor alignment of the lower limb. However, radiographic staging was not correlated with kinetic parameters or QOL scores. We concluded that kinetic parameters of the knee joint during gait could be more indicative of the clinical condition of the knee with osteoarthritis than the radiographic staging of osteoarthritis.

Key words : Osteoarthritis of the knee, 3-dimensional gait analysis, Kinetic parameter of the knee joint, QOL score.

-
- ※ 1 大阪大学大学院 医学系研究科器官制御外科学
〒565-0871 吹田市山田丘2-2
 - ※ 2 協和会病院 人工関節センター
〒564-0001 吹田市岸部北1-24-1
 - ※ 3 大阪警察病院 整形外科
〒543-0035 大阪市天王寺区北山町10-31
 - ※ 4 大阪大学大学院 医学系研究科運動器医工学治療学
〒565-0871 吹田市山田丘2-2

Corresponding Author : Nobuhiko SUGANO, PhD.

Department of Orthopaedic Medical Engineering, Osaka University

Graduate School of Medicine

Tel : 06-6879-3271 Fax : 06-6879-3272

E-mail address : address:n-sugano@umin.net

緒 言

変形性関節症は高齢者が要支援となる疾患の第1位を占め、高齢化社会を迎える日本の医療においてその適切な診断・治療に対するニーズは大きい。中でも変形性膝関節症(OA膝)は、近年の食生活の欧米化に伴う肥満化により増加傾向にあるが、病状の進行により歩行能力が低下しADLを大きく障害する。進行したOA膝に対する人工膝関節全置換術(TKA)、単顆型人工関節置換術(UKA)、あるいは脛骨骨切り術は確立した治療法であるが、早期からの適切な診断と治療、さらには進行の予防法が確立され、手術加療を回避することが可能になれば、絶大な医療経済効果を生み出すと考えられる。OA膝の診断には通常単純X線を用いるが、患者が症状を訴えるのは歩行や階段昇降、しゃがみこみなどの実際の動作中であり、静的評価である単純X線では実際の病態を反映しないことも多い。われわれは、下肢CTと光学的歩行解析装置(VICON)を組み合わせた4次元動作解析で、Dynamicな下肢荷重線の動きの可視化と膝のThrustの計測表示が可能なソフトを開発してOA膝の病態を評価してきたが^{4),5)}、今回はVICONの簡易検査で評価しようと試みている。単純X線に変わる新たな評価方法として、内側型OA膝に対する3次元歩行解析を行い、歩行中の膝関節にかかる力学的負荷の計測を行った。そして、算出されたパラメータと臨床症状や重症度との関連を検討することで、得られた解析パラメータがOA膝の病態を反映しているか、さらには進行予測や予防法評価に有用な指標となりうるかを検証することが本研究の目的である。

研究方法

内側型OA膝19例を対象に、3次元動作解析装置を用いて歩行解析を行った。男性4例、女性15例、解析時年齢は平均72歳(60~82)で、11例は両側罹患例であった。各症例のローゼンバーグ撮影によるKellgren-Lawrence分類(KLS)⁶⁾、および立位単純X線による大腿骨脛骨角(FTA)により重症度を評価し、日本整形外科学会変形性膝関節症治療判定基準(JOASコア)のうちの疼痛・歩行能スコア(JOAS)、Oxford knee score(OKS)、歩行時のVASスコア(VAS)により臨床評価を行った。

本研究における動作解析の概略は以下の通りである。まず対象症例の骨盤および下肢の体表面に直径25mmの赤外線反射マーカを貼付した。貼付部位は、Plug-in-gaitマーカセット(VICON Motion Systems)に従って、両上前腸骨棘、両下前腸骨棘、両大腿部外側、両膝関節外側上顆、両下腿部外側、両足関節外果、両第2中足骨頭、両踵部の計16点である。使用した3次元動作解析装置はVICON512(VICON Motion Systems)で、CCDカメラ6台と2枚の床反力計(AMTI)を組み合わせ、対象症例の体表面に貼付された赤外線反射マーカを追跡することで動作情報を取得した。サンプリングレートは120Hzとし、4.5mの歩行路を自由歩行させ、3回の歩行データを取得し、それらの平均値をPolygon(VICON Motion Systems)を用いて分析処理した。評価側下肢の接地から同側下肢の次の接地までを1歩行周期とし、膝関節にかかる力学的負荷として1歩行周期中の屈曲モーメント値、内反モーメント値、および歩行速度を算出した。そして、これらの解析パ

ラメータと、単純X線による重症度、臨床症状および筋力との関連を検討した。

統計学的評価にはMann-Whitney's U-test, Pearson product-moment correlation coefficientを用い、 $p < 0.05$ を有意差ありとした。

結 果

KLSによる重症度評価は、I度が1例、II度が4例、III度が5例、IV度が9例であった。FTAは平均184度(176~190)であった。臨床評価として、JOASは平均18点(5~25)、OKSは平均33点(16~45)、VASは平均56(20~100)であった。歩行解析パラメータとして、歩行速度は平均1.05m/sec(0.55~1.89)、最大屈曲モーメントは平均2.25Nm/kg/m(0.10~6.49)、最大内反モーメントは平均4.70Nm/kg/m(0.28~8.00)であった。いずれの症例においても、最大屈曲モーメントは立脚中期に、最大内反モーメントは接地直後に、それぞれ観察されていた。

これらの歩行解析パラメータ、単純X線による重症度、臨床症状の関連を検討した。まず、重症度であるが、KLSがIおよびII度を軽症群(N=5)、IIIおよびIV度を重症群(N=14)と

した時に、両群間でFTA、臨床評価、歩行解析パラメータのいずれの項目とも有意な差を認めなかった(表1)。次に、JOASが20点以上を軽症群(N=12)、20点未満を重症群(N=7)として、同様に関連を調べた時、両群間でFTAと臨床評価においては有意な差を認めなかったが、重症群の方が最大屈曲モーメントが有意に大きかった($p=0.007$)(表2)。また、VASが50以下を軽症群(N=9)、50以上を重症群(N=10)として、同様に関連を調べたが、JOASのみ有意な差を認めた($p=0.03$)(表3)。最後に、歩行解析パラメータと重症度評価、および臨床評価との関係をPearson product-moment correlation coefficientにより調べた(表4)。歩行速度とVAS、最大屈曲モーメントとJOASが、ともに負の相関を認め($r=-0.49$, $p=-0.57$)、最大屈曲モーメントとVASが正の相関を認めた($r=0.33$)。一方、最大内反モーメントとFTAが正の相関を認めた($r=0.31$)。

考 察

今回の症例群では、KLSにより重症度の評価を行ってもFTA、臨床評価、歩行解析パラメータのいずれの項目とも有意な関連を認めること

表1. Results classified according to KLS grading: Average (range)

| | KLS: I, II (N=5) | KLS: III, IV (N=14) | p value |
|---|---------------------|------------------------|---------|
| FTA (degree) | 180 (176-189) | 185 (177-190) | 0.07 |
| JOAS | 21 (10-25) | 18 (5-25) | 0.16 |
| OKS | 29 (26-31) | 34 (16-45) | 0.18 |
| VAS | 50 (20-100) | 59 (20-100) | 0.51 |
| Gait velocity (m/sec) | 1.2 (1-1.3) | 1 (0.6-1.4) | 0.39 |
| Peak value of flexion moment (Nm/kg/m) | 1.3 (0.1-2.7) | 2.6 (0.2-6.5) | 0.16 |
| Peak value of varus moment (Nm/kg/m) | 4.2 (3.3-5) | 4.9 (0.3-7.3) | 0.31 |

Mann Whitney's U-test

表2. Results classified according to JOAS : Average (range)

| | JOAS \geq 20 (N=12) | JOAS<20 (N=7) | p value |
|---|--------------------------|------------------|---------|
| KLS | 3 (1-4) | 3 (2-4) | 0.68 |
| FTA (degree) | 184 (176-190) | 183 (176-190) | 0.55 |
| OKS | 31 (16-45) | 35 (25-42) | 0.27 |
| VAS | 51 (20-100) | 66 (40-100) | 0.21 |
| Gait velocity (m/sec) | 1 (0.8-1.4) | 1.1 (0.6-1.9) | 1 |
| Peak value of flexion moment (Nm/kg/m) | 1.5 (0.1-6.3) | 3.5 (1.9-6.5) | 0.007 |
| Peak value of varus moment (Nm/kg/m) | 4.9 (0.3-5.9) | 4.4 (1.7-7.3) | 0.5 |

Mann Whitney's U-test

表3. Results classified according to VAS : Average (range)

| | VAS \leq 50 (N=9) | VAS>50 (N=10) | p value |
|---|------------------------|------------------|---------|
| KLS | 3 (1-4) | 3 (2-4) | 0.93 |
| FTA (degree) | 185 (176-190) | 183 (176-190) | 0.46 |
| JOAS | 21 (10-25) | 16 (5-20) | 0.03 |
| OKS | 34 (26-38) | 32 (16-45) | 0.69 |
| Gait velocity (m/sec) | 1.2 (0.8-1.4) | 0.9 (0.6-1.3) | 0.16 |
| Peak value of flexion moment (Nm/kg/m) | 2.1 (0.1-6.5) | 2.3 (0.1-6.3) | 0.51 |
| Peak value of varus moment (Nm/kg/m) | 4.7 (0.3-7.3) | 4.7 (1.7-8) | 0.93 |

Mann Whitney's U-test

はなく、KLSを用いた単純X線による評価は、実際の病態を反映しにくいことを示唆していると考えられた。

一方、3次元動作解析によりOA膝を動的に評価する試みもこれまでになされている。OA膝における重要な関節負荷指標として、歩行中

の膝関節内反モーメントが提唱され、病態・予後との関連が研究されてきた^{2), 3), 7), 8)}。これらによれば、内側型OA膝の進行に伴って歩行中の膝関節内反モーメントが増大するため、膝関節内反モーメントがOA膝の進行指標になるとされている。

表4. Correlation between kinetic parameters and radiographical evaluation. QOL Scores or Muscular force of quadriceps : r value.

| | Gait velocity | Peak value of flexion moment | Peak value of varus moment |
|------|---------------|------------------------------|----------------------------|
| KLS | -0.22 | 0.02 | 0.15 |
| FTA | -0.2 | -0.01 | 0.31 |
| JOAS | 0.03 | -0.57 | 0.15 |
| OKS | 0.06 | -0.16 | 0.19 |
| VAS | -0.49 | 0.33 | -0.03 |

Pearson product-moment correlation coefficient

今回行った3次元歩行解析の結果では、内反モーメントと歩行時痛との関連は認められなかったが、FTAが増加するに伴い歩行中の内反モーメントが大きくなる傾向を認めていた。FTAの増加は膝関節の内反変形の進行を意味しており、接地直後の膝内反動揺 (lateral thrust) が生じていることを反映していると考えられ、内反モーメントが膝関節の内反変形の進行指標になる可能性を示唆していると考えられる。

また、OA膝の進行に伴い、歩行速度が減少する、あるいは、OA膝では屈曲モーメントが増加することが報告されている¹⁾。今回の検討においても、歩行速度の減少と歩行時の屈曲モーメントの増加が歩行時痛の増悪を反映していたことから、これらの歩行解析パラメータと臨床症状との関連が認められ、臨床症状を反映する指標になる可能性を示唆していると考えられる。

今回の研究で我々が使用した3次元動作解析装置はX線を用いることなく、非侵襲的に様々な動作中の関節負荷を計測することが可能であり、患者が症状を訴える歩行や階段昇降などのADL動作を計測することで、より病態を反映した指標を取得できると考えている。本研究のLimitationとして、19例の結果によるものであり、明確な結論を出すには症例数が少ないこと、取得した動作データが歩行のみであり、階段昇

降やしゃがみこみなど、OA膝において膝関節痛が誘発されるような動作を網羅していないことが挙げられる。しかし、今後さらなる動作解析のデータを蓄積することで、OA膝の進行の指標となりうる運動力学的なパラメータを導き出し、より簡単な動作分析により疾患評価のための統一的な計測手法を確立し、的確な診断のための簡便な指標を提唱することが可能になると考えている。同時に、実際の日常生活動作を動的に評価することで、各々の病態に応じた適切な装具治療の選択や生活指導指針の作成を通じて有効な進行予防法の提唱も可能になると考えられる。

結 論

内側型OA膝の歩行時の膝関節の力学的負荷を解析した結果、膝関節痛の増悪に伴う歩行速度の減少と屈曲モーメントの増加、および、下肢のアライメント不良に伴う内反モーメントの増加が、それぞれ観察され、膝関節の運動力学パラメータがOA膝の臨床症状や内反変形の進行を反映する指標になる可能性が示唆された。

<謝 辞>

本研究は、「厚生労働科学研究費補助金(長寿科学総合研究事業):動作解析装置を用いた歩行障害・ADL障害の解明に関する研究」の一環として行った。また、上杉裕子看護師(神

戸大学大学院保健学研究科看護学領域)より患者データを提供頂いた。

文 献

- 1) Heiden TL, Lloyd DG, et al. : Knee joint kinematics, kinetics and muscle co-contraction in knee osteoarthritis patient gait. *Clin Biomech* 2009 [Epub ahead of print].
- 2) Hurwitz DE, Ryals AR, et al. : Knee pain and joint loading in subjects with osteoarthritis of the knee. *J Orthop Res* 18 : 572-579, 2000.
- 3) Hurwitz DE, Ryals AB, et al. : The knee adduction moment during gait in subjects with knee osteoarthritis is more closely correlated with static alignment than radiographic disease severity, toe out angle and pain. *J Orthop Res* 20 : 101-107, 2002.
- 4) Kawakami H, Sugano N, et al. : Gait analysis system for assessment of dynamic loading axis of the knee. *Gait Posture* 21 : 125-1, 2005.
- 5) Kawakami H, Sugano N, et al. : Change in the locus of dynamic loading axis on the knee joint after high tibial osteotomy. *Gait Posture* 21 : 271-278, 2005.
- 6) Kellgren JH, Lawrence JS. : Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis* 16 : 494-502, 1957.
- 7) Mündermann A, Dyrby CO, et al. : Potential strategies to reduce medial compartment loading in patients with knee osteoarthritis of varying severity : reduced walking speed. *Arthritis Rheum* 50 : 1172-1178, 2004.
- 8) Miyazaki T, Wada M, et al. : Dynamic load at baseline can predict radiographic disease progression in medial compartment knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 61 : 617-622, 2002.

運動療法 — 自主訓練プログラムの進め方

片岡晶志¹⁾

Key Words 変形性膝関節症 大腿四頭筋訓練 股関節外転訓練 保存的治療

内容のポイント Q&A

Q1 自主訓練プログラムの具体的方法は？

Sherrington らのメタ解析の結果、歩行訓練により転倒のリスク増加することが判明した。したがって、膝 OA の訓練プログラムに歩行訓練を含む際には注意が必要である。また膝関節の屈曲に問題がなければ、自転車エルゴメーターも勧めるが、自宅への購入は勧めない。

Q2 効果とエビデンスはどうか？

対象、期間、介入方法、訓練の種類、量、評価方法等に関してさまざまであり「どの方法が最も有効か？」については不明である。

自主訓練のポイントは、「いかに継続してもらえるか」である。種々の等尺性運動はエビデンスは十分にあるので、安全に継続さえしてもらえば効果は得られると思われる。

Q3 課題と展望は？

予防から始まって保存的治療まで網羅した日本独自の变形性膝関節症保存的治療のガイドラインができれば、標準的な予防・治療が浸透し、治療する医療側、受ける患者側にメリットがあるのみではなく、エビデンスの構築も容易になるとと思われる。

はじめに

ROAD 研究によれば、X 線像における Kellgren-Lawrence (KL) グレード 2 以上の有病率は 40 歳以上の住民で男性 42.6%、女性が 62.4% であり、これらのうち膝関節痛を認めるものは 1/3 程度で

あった。また、この比率からわが国の変形性膝関節症(膝 OA)の推定患者数(40 歳以上)は 2,530 万人、そのうち有症状のものは約 800 万人と報告されている¹⁾。

総務省統計局によれば、現在生産年齢人口は年間 57 万人減少し、年少人口も 18.5 万人減少している。一方 65 歳以上の老年人口は毎年 61.4 万人増加している。超高齢化社会といわれて久しいが、いまだに回復の兆しはみえない²⁾。今後ますます高齢化は進み、それとともに膝 OA の占める割合が増加する可能性は否定できない。

* Home exercise program for osteoarthritis knee patients

¹⁾ Masashi Kataoka MD

大分大学医学部附属病院リハビリテーション部

Nigel ら³⁾は膝の慢性疼痛や OA の人は股関節周辺骨折や脊椎以外の骨折の危険性が大きく、Graemo ら⁴⁾は骨密度に関係なく OA 患者は姿勢制御問題や易転倒性により脊椎以外の骨粗鬆症骨折の発生頻度が高いと報告しており、膝 OA は、転倒や骨折等運動器全般にわたる障害のトリガーといっても過言ではない。

膝 OA の治療のうち、NSAIDs, ヒアルロン酸の関節注射, 装具療法, 人工膝関節置換術(TKA)等, 病期に合った多くの治療法があるが, 初期から末期関節症に至るまでどの病期でも有効であるといわれているのが運動療法である。これまでに患者に訓練方法を指導し, かつその効果を上げるための運動療法プログラムは多く報告されている。訓練の種類や負荷の量等さまざまであることはいうまでもない。本稿ではこれまでに報告された訓練プログラムを検証し, かつ筆者らの自主訓練プログラムを紹介する。



膝 OA の運動療法

(1) これまでの報告

実に内外の多くの報告があり, それぞれ参加者, 参加者数, 期間, 運動方法, 評価方法, 効果が異なることはいうまでもない。特に運動方法において単一運動を指導した研究報告は少なく, いずれもいくつかの組み合わせによる方法で行っている。したがってこれらの結果をみて, 運動方法の優劣を決定することは不可能に近い。

これまでわが国において単一運動を指導し検証した黒澤らのグループ(清水⁵⁾, 桜庭⁶⁾, 黒澤⁷⁾)の3報告と日本整形外科学会のRCTの報告⁸⁾はSLRについて検証しており参考にできる。一方Jamtvedtらは23の報告の解析を行い, 体重減少と自転車, プール内運動, 膝筋力訓練が有効であると結論づけている⁹⁾。

運動療法には数多くの方法があり, エビデンスも多い。鳥巢らは関節軟骨の破壊や滑膜炎の再発を予防するためには筋肉の萎縮を回復させ, dynamicな安定性が必要であり, 筋力訓練の重要性を強調している¹⁰⁾。等尺性運動, 等張性運動,

等速性運動, 経皮的電気刺激法等があるが, 膝OAの患者は高齢者が多いことから, 自分でできる単純な訓練で, 屈曲伸展により関節を痛めることのないという観点からSLRと股関節外転訓練を勧めている。しかしながら, Elizabethらは8週間の股関節外転筋訓練において, 股関節外転筋力は増強し, 機能面と疼痛の改善はみられたが, 膝の内反モーメントにおいては変化がなかったと報告し, 股関節外転訓練は機能的改善や疼痛改善に効果はあるが, 膝の負荷を減ずることはない結論づけている¹¹⁾。また, Doiらは膝OA患者142人を2つのグループに分け, 対象群にはSLRを指導, コントロール群にはNSAIDsを投与し8週間のスタディを行った結果, 両者に有意差はないものの, JKOMの平均値はわずかにSLR群が勝っていたと報告している¹²⁾。

(2) 転倒と膝 OA

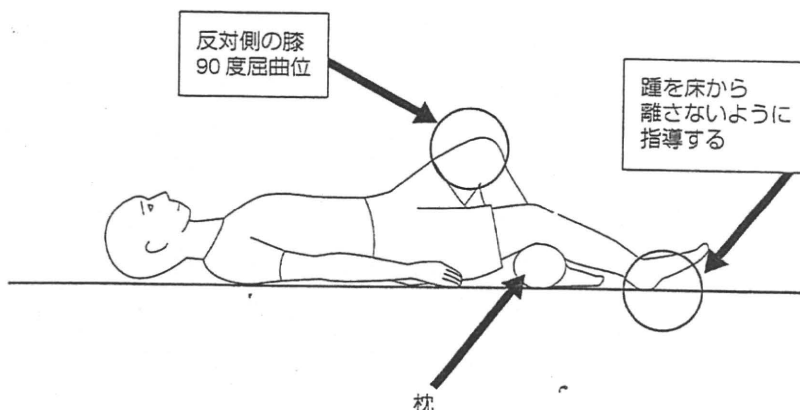
Nickらは膝伸展筋力は65～75歳の静的, 動的バランスの重要な決定因子であり, 膝OAと転倒とは密接な関係があると報告している¹³⁾。

2008年, Sherringtonらは転倒防止に関する有効な44論文(9,603人参加)のメタ解析を行った結果, 全体で平均17%の転倒防止効果があった¹⁴⁾。注目すべき点は転倒防止に効果的な因子はバランス訓練と下肢筋力訓練量, 歩行練習プログラムを含まないことの3点である。すなわち, バランス訓練と下肢筋力訓練量の違いにより転倒率はそれぞれ0.79倍, 0.80倍に減少するのに対して, 歩行練習プログラムが入っている場合, 転倒率は1.32倍に増加していた。その理由として, 参加者はプログラム中により大きな転倒のリスクにさらされ, 実際に多くの転倒が起こっていること, またバランス訓練に費やす時間を歩行訓練に使ってしまう点をあげている。歩行訓練はフィットネスや体重減少, 血圧低下等健康に有益とされているため, 高齢者の運動プログラムに含まれがちであるが, 転倒防止を主目的としたプログラムを考える場合, 十分なバランス訓練を第一に考えるべきであると報告している。

(3) 運動療法の実際

理想的な膝OAの訓練プログラムは, 安全性,

■ 図1 セッティング



反対側の膝を90度屈曲して行う。訓練側の踵を床から離さないように注意する(足関節を背屈する必要はない)。枕の大きさはバスタオル2枚を丸めたくらいのものがちょうどよい。一気に力を入れ、5秒間持続し、さっと力を抜くことが大切である。

継続率を考えた場合に、①高齢者が簡単にできる運動、②下肢伸展筋の筋力強化訓練を含む、③等尺性運動が主体、④歩行訓練を含むないことが主体になると考えている。

a. 通常の外来では患者にセッティング、SLR、股関節外転訓練を勧めている。セッティングは膝下に小枕を置き、枕を潰すように指導する。踵を床から離さないようにし、5秒間行う。大腿四頭筋に力を入れるときは一気に入れ、リラックスするときもすっと力を抜くように行う。1セット30回、1日3セット指導している(図1)。

b. SLRに関しては必ず足関節を最大背屈し、膝完全伸展位で行う。反対側の膝は90度屈曲し、腰部の負担を軽減する。また、付加を追加する際には足関節部ではなく、大腿部に置くように指導する。1セット30回、1日3セットを目標に指導する(図2)。

c. 股関節外転訓練では、股関節の過度の外転で股関節痛を訴えることがあるので注意する。外転の目安は体幹の高さより少し高い程度でよい。SLRと同様に足関節を最大背屈し、膝完全伸展位で行う。また股関節を外転する際には体幹軸に沿ってか、やや後方に向けて外転を指導する。1セット30回、1日3セットを目標に指導する(図3)。個人的な印象では一般外来での指導ではセッティングが最も継続でき、患者も「膝が伸びたような

感じがして楽になった」「階段を下る際に楽になった」と満足するケースが多い。もちろんこれだけでは不十分であるが、何もしていなかった患者には著効する。

運動療法の評価法

これまでの膝OAの研究報告においても多くの評価法が用いられている。医師主導型の評価法は日本整形外科学会変形性膝関節症治療成績判定基準(JOAスコア)がある。

(1) 患者立脚型

① WOMAC

(Western Ontario and McMaster Universities)

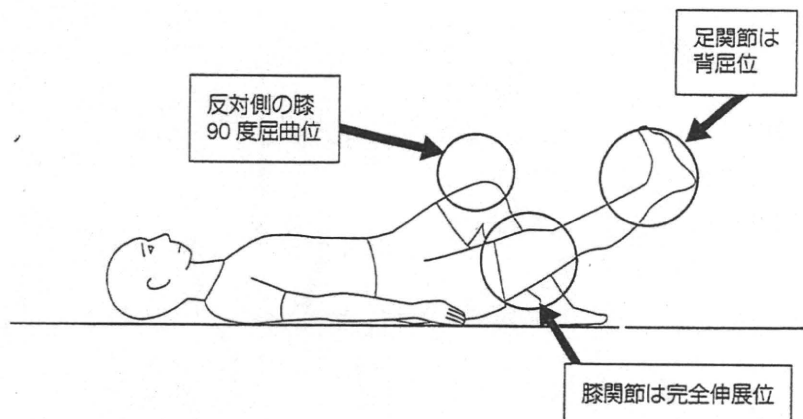
疾患特異的QOLの評価法であり、1988年にBellamyにより開発、公開された。日本語翻訳版があり、疼痛5項目と機能17項目に分かれており、100点満点に換算可能である。効果判定に医療側の評価に加え、WOMACによる評価を加えるとさらに質の高い研究となる¹⁵⁾。

② JKOM

(Japanese Knee Osteoarthritis Measure)

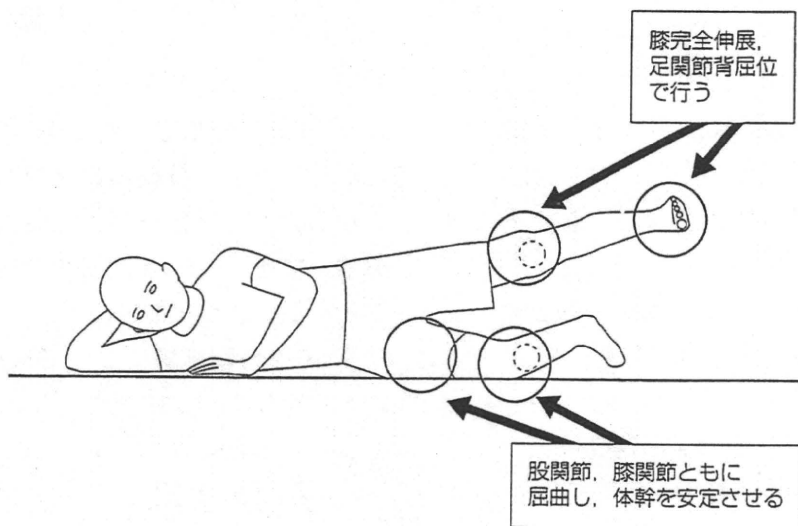
疾患特異的QOLの評価法で日本整形外科学会等3学会で作成し、2005年Akaiらによって報告された。膝OAに由来する疼痛、日常生活活動、移動、家事、趣味、社会活動から成る25からの

■ 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、膝蓋骨の外側偏移力は増大する。

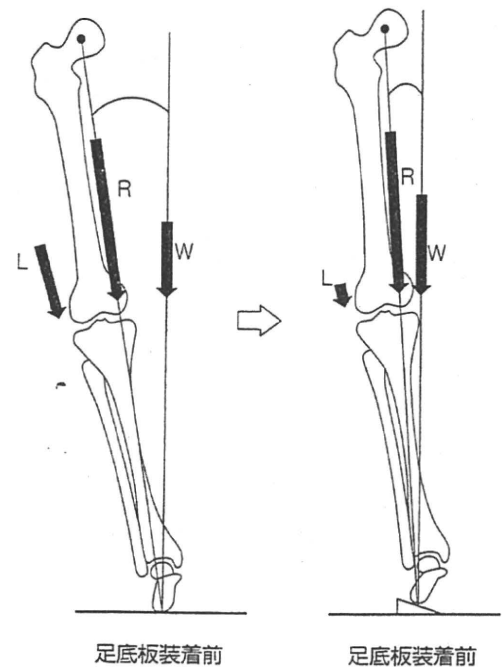
(2) 股関節外転筋強化を中心とする運動療法

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す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

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

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)

図1 表面置換型の人工膝関節

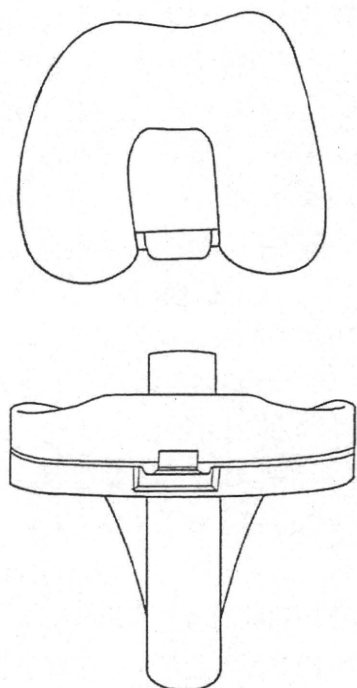


図2 蝶番型（拘束型）の人工膝関節

Shiers型の人工関節である。

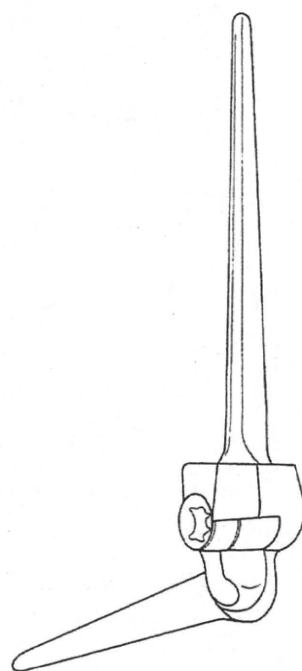
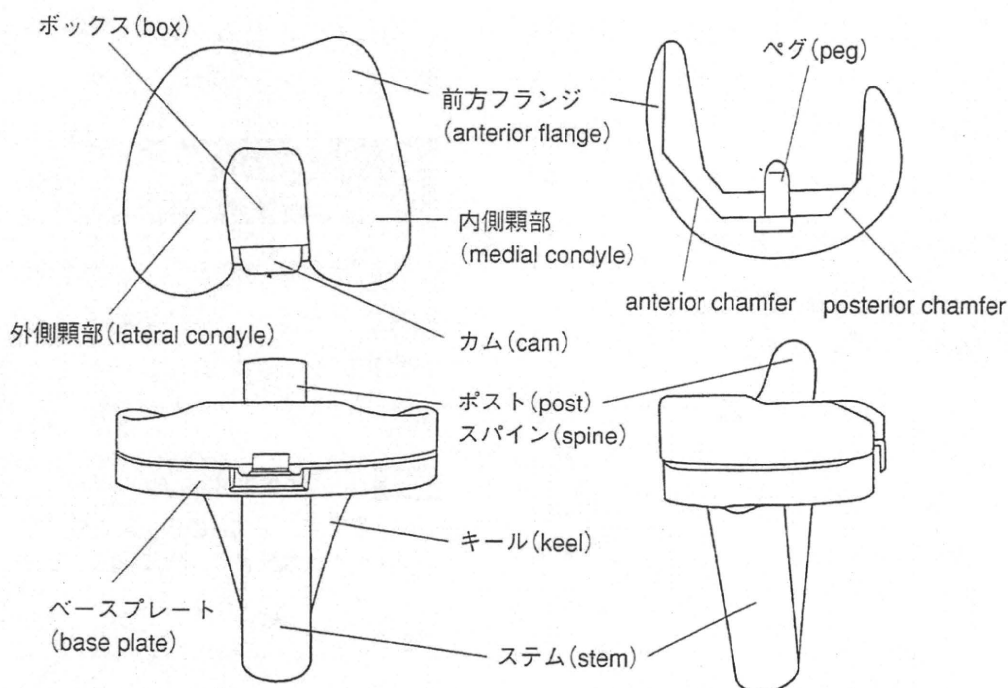


図3 人工膝関節の各部分の名称



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ってよい。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**)。

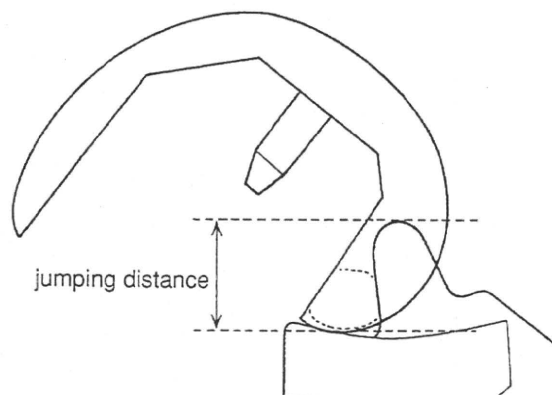
脛骨側では、ポリエチレンがベースプレート(base plate)と固定されているもの(fixed)となんらかの可動性をもつもの(mobile)に大別される。また、脛骨コンポーネントは、脛骨内に挿入するためのステム(stem)と傾きを防ぐためのキール(keel)をもつ。セメントレスのものでは、ステムやキールのない比較的薄いベースプレートも存在する。脛骨関節面の後傾を人工関節に内蔵しているものと、骨切りで形成するものがある。全体に共通する構造と個性のある部分が混在しているため、医師はその特徴を熟知して機種の選択をしなければならない。



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⁶⁾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。

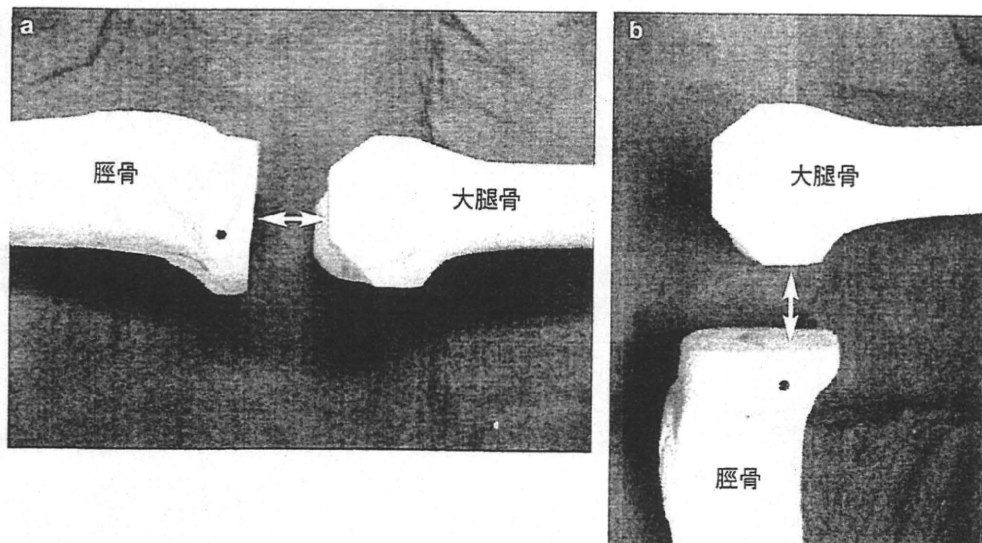
手術手技

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

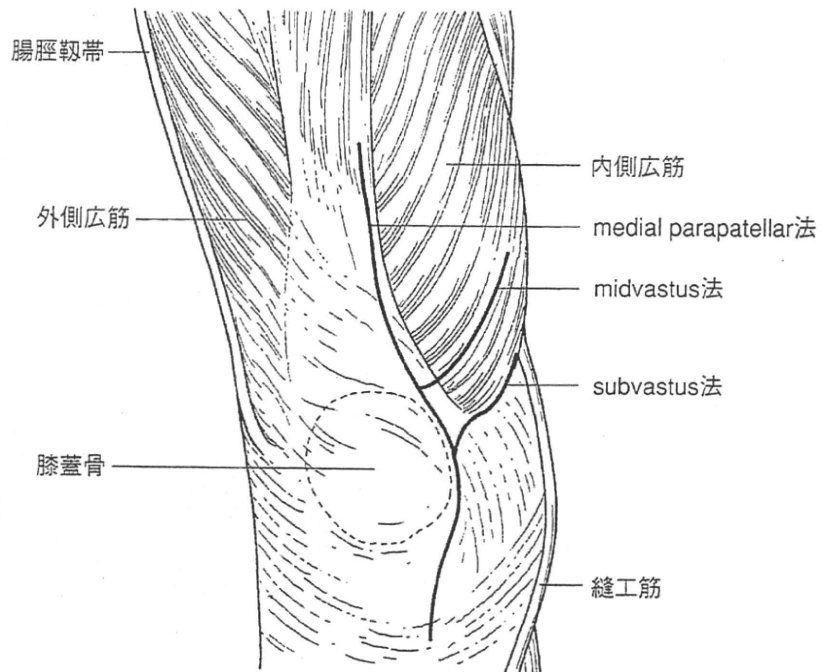
るバランスの矯正を組み合わせる必要がある。骨切りによるアライメント矯正の指標は、膝正面からみたとき大腿脛骨角(FTA)で 174° 、あるいは、膝機能軸が膝関節中央を通るようにすることでわかりやすいが、軟部組織バランス矯正の指標は、客観的には表現しにくい。

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。

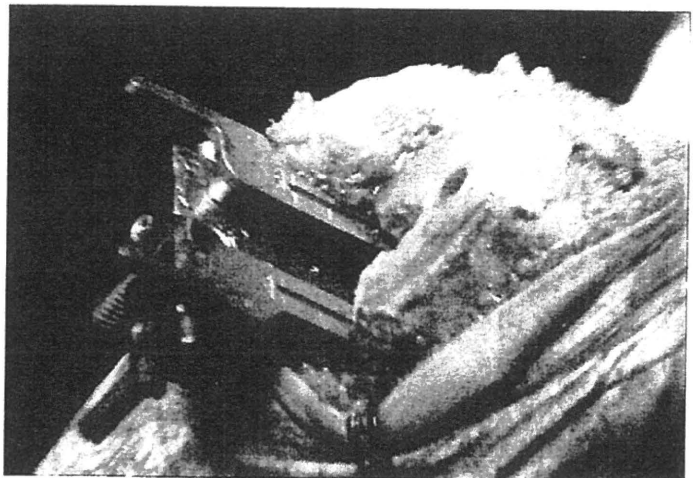
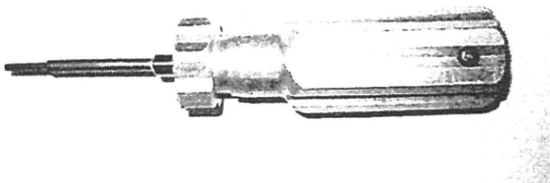


図8 【症例】

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。