TKA で良好な可動域を獲得するには

[How to Achieve Good ROM after CR-TKA]

中根邦雄* Kunio Nakane

総合大雄会病院人工関節センター

Key words : TKA/ROM/手術手技/リハビリテーション

はじめに

人工膝関節置換術 (total knee arthroplasty : TKA) の目的は、障害膝の除痛、支持性、可動域 (range of motion : ROM)、耐久性の獲得を求め、患者にとってより適した ADL と QOL を再現することである。

TKA には、後十字靱帯 (posterior cruciate ligament : PCL) を温存する CR (cruciate retention) 型と PCL を切除して脛骨上の post と大腿骨の cam により PCL 機能を代償させる PS (posterior stabilizer) 型が主に使用されている。近年、前十字靱帯 (anterior cruciate ligament : ACL) と PCL の両靱帯を温存する BCR (bi cruciate retaining) 型が使用され始めたが、まだ安定した成績が出ていない。現在では、軟部組織バランスを獲得するためには PS 型のほうがやさしいとする観点から PS 型が多く使用されている。それに対し、CR 型は正常膝の形態と靱帯バランスを再現する必要があるが手技的に難しいとされているが、PCL を温存することで、より高い安定性と脱臼の心配もなく正座が可能となることから、徐々に増えつつある。

筆者らは TKA に際し、日本人の日常生活に適した膝関節の ROM と安定性を得るため、後十字

靱帯温存型人工膝関節置換術 (CR 型 TKA) を行っている^{1, 2)}。

手術では、大腿骨遠位の切除は、大腿骨コンポーネントのメタルの厚さとする“独自の表面置換法”で行っている。また、大腿骨コンポーネントの設置は、日本人の大腿骨遠位の形態 (前弯) を理解し、その膝の本来の位置に設置すべく、仮の joint line を大腿骨遠位の intercondylar notch point (顆間部) と規定し³⁻⁵⁾、大腿骨遠位を軽度屈曲位 (7~8°) に切除して、その膝の本来の位置に設置する。

靱帯バランスは、膝の安定性を得るため軟部組織の剥離は最少とし、ACL は切除するが、PCL は温存し、内側側副靱帯 (medial collateral ligament : MCL)、外側側副靱帯 (lateral collateral ligament : LCL) の解剖学的靱帯バランスの維持に努める。

筆者らの手術手技とリハビリテーションで、150°以上の正座膝が約 10% 得られ、4 種類の人工膝関節機種 (CR 型) で正座が可能であった (図 1)。

CR 型 TKA 術後の良好な ROM と安定性は患者にとってよりよい ADL をもたらし、正座、スポーツも可能となる (図 2)。

CR 型 TKA の考え方

1. 日本人の大腿骨の前弯を考慮

大腿骨コンポーネントの設置位置は、CR 型 TKA では ROM 獲得に重要な要因と考えている。大腿骨コンポーネントをオリジナルな位置に設置

* 総合大雄会病院人工関節センター
(〒491-8551 愛知県一宮市桜 1-9-9)
E-mail : seikei@daiyukai.or.jp
DOI : 10.2490/jjrmc.55.1017

図1 正座膝

図2 TKA術後のスポーツ

TKA術後の良好なROMと安定性は患者にとってよりよいADLをもたらし、正座、スポーツも可能となる。

するには、日本人の大腿骨の形状を理解する必要がある。欧米人の大腿骨遠位がストレートであるのに対し、日本人高齢者の大腿骨遠位は、平均7.5°ほど屈曲位で前弯がみられる⁶⁾。TKAではこの前弯を考慮して大腿骨コンポーネントをオリジナルな軽度屈曲位に設置する(図3)。

筆者らは日本人と中国人(吉林省)の大腿骨の前弯について調査した。Anatomical axisとBlumensaat's lineの遠位点との距離では、日本人が平均10.0 mmに対し、中国人は6.6 mmであり、日本人は大腿骨前弯が中国人より大きく、民族間に生活習慣による差があることがみられた(図4)。

2. 大腿骨コンポーネントの設置角とROM

大腿骨コンポーネントの設置角と術後の屈曲角について検討した。筆者らの研究では、120°以下の屈曲不良群のコンポーネントの設置角が7.0°とやや伸展位に設置されていた。それに対し、145°以上の深屈曲群は7.7°と、ほぼオリジナルな屈曲位に設置されていたが有意差は認められなかった(図5)。

3. Posterior condylar offset (PCO) 差とROM

PCOは膝関節の屈曲回転軸として重要である⁷⁾。

非手術側(反対側)のPCO=Aと術側PCO=Bとの差で術後の屈曲角を検討した。X線写真は左右膝とも同じ条件で撮影した。120°以下の屈曲不良群のPCO差が1.46 mmであるのに対し、145°以上の深屈曲群のPCO差は0.58 mmと少なかった。この事実からPCO差の少ないジャストサイズの群に深屈曲が得られていたが、症例数が少ない

ためか、有意差は認められなかった (図 6)。

TKA の術後 ROM 獲得の要因

TKA 術後の ROM の獲得要因として、1999 年に丹羽は次のように述べている⁸⁾。

1. 術前の ROM

欧米人 日本人の大腿骨前弯を考慮

欧米人の anatomical axis は Blumensaat's line の intercondylar notch point をほぼ通過し、大腿骨遠位はストレート

日本人

日本人高齢者の大腿骨遠位は平均 $7.5 \pm 2.3^\circ$ ほど屈曲位
年齢: 平均 76.1 ± 4.7 歳

大腿骨コンポーネントをオリジナルな軽度屈曲位に設置する

図 3 大腿骨の前弯

‡: 山本, 中根, 丹羽, 2011. 2.

†: Zhang Wei, Jilin Univ., 2011. 2.

図 4 大腿骨前弯の比較 (日本人/中国人)

2. 手術手技

3. 人工関節のデザイン

4. 後療法

筆者らはこれらに加え筋肉、軟部組織の柔軟性も ROM 獲得の要因ではと考えている。

1. 術前の ROM

2012 年 1 月～2015 年 12 月の期間で、同一手技で、当院で手術し半年以上経過した FINE Knee (CR) で、内反型変形性膝関節症 (OA) 401 膝と関節リウマチ (RA) 3 膝の計 404 膝の術前後の ROM をみてる。404 膝の平均年齢は 73.6 歳、男性 55 例 71 膝、女性 232 例 333 膝である。術前平均 ROM は $-5.1 (\pm 6.7)^\circ \sim 132.2 (\pm 15.8)^\circ$ 、術前 100° 以下の屈曲不良膝は 20 膝 (5%) であった。術後の平均 ROM は $-1.3 (\pm 2.9)^\circ \sim 135.4 (\pm 2.9)^\circ$ と、術前よりわずかに改善した。膝屈曲角は膝抱えて計測した。

術前 100° 以下の屈曲不良膝の術前後の ROM では、術前の平均 ROM は $-15.5 (\pm 13.7)^\circ \sim 81.8 (\pm 19.2)^\circ$ で、術後の平均 ROM は $-2.6 (\pm 4.7)^\circ \sim 122.0 (\pm 9.5)^\circ$ と予想以上に改善した。術前よ

図5 大腿骨コンポーネントの設置角とROM (文献2より引用)

コンポーネントは屈曲気味設置のほうがよく曲がる。

図6 Posterior condylar offset (PCO) 差とROM (第42回日本人工関節学会)

非手術側と術側と比較したPCO差(A-B).
PCO差の少ない群に深屈曲が得られている。

り術後膝屈曲角が悪化した症例は1例もなかった。また、全症例中41膝(10.1%)に術後正座膝を認めた。正座膝の術前後の最大屈曲角は平均142.3(±8.3)°から術後は149.8(±1.1)°に改善した。術後の正座膝群では、術前120°以下および20°以上の伸展障害の膝はなく、術前のROMはすべて良好であった⁹⁾(図7)。

2. 手術手技(表面置換術)

手術は、この数年間の臨床経験から欧米人のストレートな大腿骨と異なる日本人高齢者の大腿骨の生理的前弯を考慮し、大腿骨遠位の intercondylar notch point (顆間部) を仮の joint line とし、破壊された膝関節の軟骨および骨を切除し、大腿骨コンポーネントを患者の膝の本来の位置に設置する“独自の表面置換術法”である²⁾(図8)。大腿骨遠位は、患者のもつ膝の joint line の位置で、大

図7 術前後の可動域 (404 膝中) (第 47 回日本人工関節学会)

図8 手術手技 (表面置換術のコンセプト) (文献2より引用)

Intercondylar notch point を仮の joint line とし、大腿骨遠位を外反 7°、PCA 基準で外旋 3°で、コンポーネントの厚みを切除。
B : intercondylar notch point

図9 ジャストサイズに設置

日本人の大腿骨前弯を考慮し、ジャストサイズの大腿骨コンポーネントをオリジナルな位置 (軽度屈曲位) に設置。

腿骨カッティングジグ (丹羽十手ジグ) により外反 7° に切除する。大腿骨遠位前後面の切除は、軟骨の摩耗が比較的温存されている後顆軸 (posterior condylar axis : PCA) を基準として、外旋 3° に大

腿骨カッティングブロックジグで大腿骨コンポーネントのメタルの厚み幅を切除し、PCO を術前後で等長とする。大腿骨コンポーネントの設置は、ジャストサイズのコンポーネントをオリジナルな位置に設置する (図9)。膝関節の機能を温存するため、軟部組織の剥離は最小限にとどめ、PCL は脛骨部で島状に温存し、MCL の剥離は深層のみとする。内反膝に対する靭帯バランスは、脛骨内顆部の骨棘および脛骨内側の骨切除 (reduction osteotomy) で対応する。拘縮膝に対しては、半月板の全切除と大腿骨後顆の後方骨棘を十分に切除し、膝

脛骨内旋と大腿骨ロールバック (ACL 不全と比較)

図10 インプラント特性 (正座膝) (第44回日本人工関節学会)

a: 脛骨内旋度.

脛骨内旋度は, 機種間に差があり, ACL 不全膝と差を認めた (機種間のインサートの形状特性によるか).

b: 大腿骨ロールバック率.

大腿骨ロールバックは, 機種間に比較的差を認めず, ACL 不全膝に近い値であった.

図11 NG-ROM マシン (特許取得)

関節後方に十分なスペースをつくる. 手術には独自の手術器具を使用し, 人工膝関節コンポーネント (大腿骨, 脛骨, 膝蓋骨) はすべてセメント固定とする. 全例膝蓋骨の置換と lateral release を行う.

3. 人工関節のデザイン

筆者は 1988 年に丹羽らが開発した SEAP (CR) : 19 膝を使用して以来, Whiteside (CR) : 10 膝, Omnifit (CR) : 9 膝, Duracon (CR) : 440 膝, NexGenCR-Flex : 472 膝, FINE Knee (CR) : 740

膝, Vanguard (CR) : 27 膝, Triathlon (CR) : 30 膝, Evolution (CR) : 28 膝, Persona (CR) : 27 膝などの CR 型人工膝関節を 2,000 膝ほど同一術式で行ってきた. これらの機種の中で, 日本人の骨モデルを参考につくられた国産人工膝関節 FINE Knee (CR) は日本人の膝の形態によく適合し, 良好な術後の膝 ROM が得られた.

術後正座膝のインプラント間の特性について

膝関節の屈曲には, 脛骨の内旋と大腿骨のロールバックが伴うことが知られている^{10, 11)}. 筆者らが ACL 不全膝と比較したデータでは, 脛骨内旋度は, NexGenCR-Flex 13.7°, Triathlon (CR) 5.7°, FINE Knee (CR) 11.1° と機種間に差を認め, ACL 不全膝 21.7° とともに差を認めた. このことは, 機種間でのインサートの形状特性によると考えられる. 一方, 大腿骨ロールバック率では, NexGen CR-Flex 51.1%, Triathlon (CR) 57.2%, FINE Knee (CR) 63.4% と機種間にあまり差を認めず, ACL 不全膝の 65.8% に近い値を示した¹²⁾ (図10). この事実より, CR 型 TKA の屈曲には, 脛骨の内

図 12 術後のリハビリテーションの比較 (文献 13 より)

旋より大腿骨のロールバックが重要と考える。

4. 後療法 (リハビリテーション療法)

TKA で良好な ROM を獲得するには、手術手技に次いで術後のリハビリテーション療法が重要である。それにもかかわらず、整形外科医は TKA 術後にあまり興味をもたず、各施設の理学療法士 (PT)、作業療法士 (OT) 任せである。当院では、術後の ROM 訓練に際し CPM (continuous passive motion) マシンを使用せず、筆者らが特許取得した手動式の NG-ROM マシン (non gravity-range of motion machine) を使用している (図 11)。このマシンは、踵を台座に置くことにより、下肢を無重力状態にし、筋活動をゼロにし、さらに手紐を引っ張ることにより足関節が背屈位になり、ハムストリングの緊張を高め、膝の屈曲をアシストできることが特徴である。また、この NG-ROM マシンは CPM マシンと違って疼痛コン

トロールが自分のできるため、楽しんで ROM 訓練ができることも特徴である。従来法の徒手矯正法と、NG-ROM マシンを使用したリハビリテーションの比較では、術後 2 週目の 120° 膝屈曲獲得率では、従来法が 45.5% に対し、NG-ROM マシン法は 58.1% で有意差は認められなかったが、術後 4 週目の 130° 膝屈曲獲得率では従来法が 15.2% に対し、NG-ROM マシン法は 61.3% で明らかに有意差を認めた (図 12)。この NG-ROM マシンの使用で、術後の ROM は約 20% の改善が得られた¹³⁾。

当院のリハビリテーション療法について

術後のリハビリテーション療法では下肢の腫れをつくらないことが最も重要であり、術直後からの起立歩行は行っていない。当院では術後大腿部から足先まで dressing (圧迫包帯) と術部のアイシング、そして膝関節内にサクションドレナージを 2 日間行い、ベッド上安静とする。さらに、10 cm ほど

図 13 術後の安静とリハビリテーション

- ①手術肢の腫脹予防 (dressing), アイシングと患肢挙上 (2 日間安静).
- ②翌日より DVT 予防, Calf muscle setting (アクセル運動) を行う.
- ③ 4 日目より本格的リハビリテーション (歩行訓練など) 開始.

のスポンジクッションで 10 日ほど下腿を挙上し、腫れと深部静脈血栓症 (DVT) 予防に努める (図 13). また、リハビリテーション療法期間中の疼痛管理も重要で、当院では術直前に麻酔科医による大腿神経ブロックと選択的腓骨神経ブロックを行い、その後、疼痛時とリハビリテーション療法開始前に非ステロイド性抗炎症薬 (NSAIDs) 座薬、オピオイドなどの鎮痛薬で十分に痛みをコントロールして ROM 訓練を行う。リハビリテーション療法は、手術翌日より DVT 予防のため足関節の自動運動 (calf pumping: 当院ではアクセル運動と称す) を指導する。術後 3 日目で dressing とドレナージなどすべてをオフとし、トイレ許可とベッド上での NG-ROM マシン訓練を開始する。術後 4 日目から歩行訓練などの本格的リハビリテーション療法を開始する。NG-ROM マシンは個人に購入していただき (約 3 万円)、ベッドサイドで 1 日、朝、昼、夕の 3 回、1 回 40~50 回目安で 1 日 150 回ほど行う。膝屈曲角は術後 1 週目で 90°, 2 週目で 120° を目標に指導し、大体 70% の人がこの目標をクリアできる。当院では、関節チームの看護師がベッドサイドで NG-ROM マシン訓練と DVT 予防のアクセル運動、ボールを使った大腿四頭筋の筋トレ (相反性抑制でハムストリングのストレッチ) による膝関節伸展障害改善の指導を行う (図 14).

図 14 ボール訓練 (大腿四頭筋の筋トレ)

もちろん筆者らも毎日 ROM、腫れ、感染のチェックを行い、3 週目の退院時には、おおむね 130° の ROM が得られ、ほぼゴールの状態である。今年から、PT と OT チーム、看護師チーム、われわれ医師チームと合同で、歩容改善の時間を設け、正しい歩容獲得の指導を行い、入院中切れ目なくリハビリテーション療法を行っている。

退院後の外来通院リハビリテーション療法は行っていないが、1~2 カ月に 1 回、外来診察時に ROM、感染のチェックと、曲げるためのモチベーションを患者に指導する。NG-ROM マシンの使用は最低半年間行うように指導し、外来でのフォローは 4~5 年間ほど行っている。最大 ROM が得られるのは、術後 6 カ月~1 年後頃である。中には 3 週目の退院時に正座が可能となった人が 1 人いた。

CR 型 TKA で正座膝の要因

CR 型 TKA の術後で正座膝が得られるには、表 1 に示す要因のうち 80% ほど満たす必要があるのではと考えている。

表1 CR 型 TKA で正座膝の要因

1. Joint line を一定 (Intercondylar notch point を仮の joint line)
2. 大腿骨コンポーネントをオリジナルな位置に設置 (軽度屈曲位)
3. ジャストサイズ (大腿骨コンポーネント)
4. 軟部組織の剥離は最小 ACL, 半月板は全切除, PCL, MCL, LCL は温存
5. 靱帯バランスは骨切除で行う
6. 脛骨の後傾 (7~9°)
7. 関節後方のスペース (大腿骨後顆後方骨棘の全切除)
8. PF の問題 (patella tracking) 膝蓋骨の厚さ: 8~9 mm, lateral release 行う
9. GAP (屈曲≒伸展)
10. 後療法 (NG-ROM マシン)

まとめ

CR 型 TKA に際し, 良好な ROM を得るためには, 以下がポイントになる.

- ・ Joint line を一定にして, 脛骨の切除量で, 膝関節の kinematics を維持する.
- ・ オリジナルな位置に, ジャストサイズの大腿骨コンポーネントを設置する.
- ・ 靱帯バランスは骨切除で行い, 剥離は最少で, PCL, MCL, LCL の生理的靱帯バランスを維持する.
- ・ リハビリテーション療法では患者側に深屈曲獲得のモチベーションを与える.
- ・ 同じ術式, 術者でも術後の ROM に差があり, 術前の ROM, 年齢, 疼痛, 筋肉, 靱帯の柔軟性などの患者側に要因があるのではと考えている.

文献

- 1) 中根邦雄, 長谷川太郎, 唐澤善幸, 藤岡克博, 寺田聡史, 山本隆博, 丹羽滋郎: 後十字靱帯温存型人工関節置換術の成績向上のための手術手技とその考察. 医療法人大雄会病院誌 2008; 17: 9-18
- 2) 中根邦雄, 丹羽滋郎, 寺田聡史, 山本隆博: CR-TKA における靱帯バランスについて. Monthly Book Orthopaedics 2014; 27: 1-11
- 3) 寺田聡史, 中根邦雄, 余語鎮治, 小林正明, 丹羽滋郎: PCL 温存型人工関節置換術の深屈曲と joint line の関係. 日本人工関節学会誌 2008; 38: 404-405
- 4) Martin JW, Whiteside LA: The influence of joint line position on knee stability after condylar knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res 1990; 259: 146-156
- 5) Cope MR, O'Brien BS, Nanu AM: The influence of the posterior cruciate ligament in the maintenance of joint line in primary total knee arthroplasty. Arthroplasty 2002; 17: 206-207
- 6) 堀和一郎, 中根邦雄, 獅子目 亨, 山本隆博, 寺田聡史, 丹羽滋郎: 日本人の大腿骨は, 正中から前方に弯曲している—人工膝関節 (TKA) における比較. 日本人工関節学会誌 2016; 46: 39-310
- 7) Bellemans J, Banks S, Victor J, Vandenuecker H, Moemans A: Fluoroscopic analysis of the kinematics of deep flexion in total knee arthroplasty. Influence of posterior condylar offset. J Bone Joint Surg 2002; 84: 50-53
- 8) 丹羽滋郎: 人工膝関節の ROM の改善. 骨・関節・靱帯 1999; 12: 965-968
- 9) 中根邦雄, 寺田聡史, 大谷真史, 吉田 映, 武川竜久, 湊 しおり, 廣瀬恵介, 牧野英之, 山本隆博, 堀和一郎: FINE Knee (CR) 404 膝の ROM を中心とした中期成績—術前屈曲不良膝と術後の正座膝. 日本人工関節学会誌 2017; 47: 7-8
- 10) Walker PS, Hajek JV: The load-bearing area in the knee joint. J Biomech 1972; 5: 581-589
- 11) Nakagawa S, Kadoya Y, Todo S, Kobayashi A, Sakamoto H, Freeman MA, Yamano Y: Tibio femoral movement 3: full flexion in the living knee studied by MRI. J Bone Joint Surg Br 2000; 82: 1199-1200
- 12) 中根邦雄, 丹羽滋郎, 唐津善幸, 日下部賢治, 獅子目 亨, 吉田 映, 湊 しおり, 寺田聡史, 大谷真史, 中島 晶, 山本隆博: 表面置換術で行った CR 型人工膝関節置換 (TKA) 術後正座膝の動態解析について. 日本人工関節学会誌 2015; 45: 410
- 13) 中根邦雄, 獅子目 亨, 丹羽滋郎, 長澤範和, 吉田映, 日下部賢治, 中島 晶, 唐澤善幸, 石原敦司, 山本隆博: 後十字靱帯温存型人工膝関節置換 (CR-TKA) 術後, 良好な ROM を獲得できる新しい機器の (Non Gravity-Range of Motion Machine: NG-ROM マシン) の効果. 社会医療法人大雄会誌 2014; 21: 1-8