

人工膝関節置換術における脛骨コンポーネント回旋設置位置

平川雅士¹, 近藤 誠², 泊 一秀³, 加来信広¹, 糸川高史², 池田真一¹, 佐藤美由紀¹, 北川 洋⁴, 藤井唯誌⁴, 東 隆司⁴, 津村 弘¹

¹ 大分大学医学部整形外科

² 大分大学医学部人工関節学講座

³ 国家公務員共済組合連合会新別府病院整形外科

⁴ 医療法人誠洋会香芝旭ヶ丘病院整形外科

はじめに

人工膝関節置換術（以下TKA）において、近年多く議論されている大腿骨コンポーネントの回旋設置位置のみならず脛骨コンポーネントの回旋設置位置も良好な膝関節機能を獲得するためには重要である。また、不適切な脛骨コンポーネントの設置によるポリエチレンインサートの早期摩耗や破損も報告されている。しかしながら実際の手術において、骨質の脆い高齢者や関節リウマチの患者などでは脛骨 AP 軸に一致させた設置よりも骨切り面への被覆度を優先したい症例にしばしば遭遇する。今回脛骨コンポーネント設置を骨切り面への被覆を優先させた際の脛骨 AP 軸との関連について検討したので報告する。

対 象

2006年11月から2008年6月までに内側型変形性膝関節症のため初回TKAの適応となった106症例158膝（男性19膝、女性139膝）の術前検査として行った2方向膝関節XPとCTデータを利用した。平均年齢76.2歳（61～88歳）、すべてKellgren-Lawrence分類（以下K-L分類）grade 3（59膝）またはgrade 4（99膝）であった。機種としてVanguard RP®（Biomet社製）及びLPS-Flex mobile®（Zimmer社製）のCADデータを使用した。

方 法

3D術前計画ソフトウェアAthena®（Soft Cube社製）を用いて被覆率を優先した脛骨コンポーネントの設置をシミュレーションし、Akagiらの提唱している脛骨AP軸¹⁾（脛骨PCL附着部中央と膝蓋腱附着部内側縁を結ぶ線）と比較

した。Athena®はマーカーを付けて膝関節2方向を撮影し、それぞれのX線像を3次元的に関連づけ、CTモデルに合わせることで、インプラントのCADモデルを2方向のX線写真とCTモデル上に投影することができる3D術前計画ソフトである²⁾。X線写真とCTを組み合わせるため、実際の脛骨コンポーネント設置面（脛骨骨切り面）の形状を容易に再構築し確認できる点が、通常の単純CT画像と大きく異なる（図1）。

脛骨コンポーネントの設置は、全例X線前後像で脛骨骨軸に垂直、外側関節面より10mm遠位とし脛骨外側縁にあわせて設置した。側面像では後傾3°で統一した。脛骨骨切り面では外側顆後方にオーバーハングを起こさない範囲で、できる限り大きなコンポーネントを選択し、脛骨前縁の形状にあわせた設置をシミュレーションした。被覆度を優先して設置した際のコンポーネントの後縁を結ぶ線と、Akagiらの脛骨AP軸の垂線とのなす角度を回旋設置角度とし、脛骨AP軸に対して外旋設置を正とした（図2）。変形が著しくPCL附着部の同定が不能であった2膝を除外した156膝について、回旋設置角度と機種、K-L分類の関係について検討した。

結 果

シミュレーションした脛骨コンポーネントはAkagiらの脛骨AP軸より平均 $4.1 \pm 3.3^\circ$ （ $-7.0 \sim 15.7^\circ$ ）外旋設置となった。機種別ではVanguard RPで $4.4 \pm 3.3^\circ$ （ $-6.6 \sim 15.7^\circ$ ）、LPS-Flex mobileで $3.9 \pm 3.2^\circ$ （ $-7.0 \sim 13.1^\circ$ ）であり両機種とも軽度外旋設置となった。K-L分類grade 3ではVanguard



図1 3D術前計画ソフトAthena®（Soft Cube社製）X線写真とCTを組み合わせるため、実際の脛骨コンポーネント設置面（脛骨骨切り面）の形状を容易に再構築し確認できる。

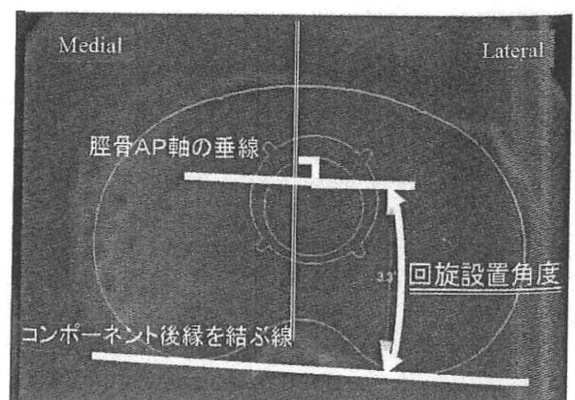


図2 脛骨コンポーネントの回旋設置角度
脛骨AP軸の垂線とコンポーネント後縁を結ぶ線のなす角度を回旋設置角度とした。脛骨AP軸に対して外旋設置を正とした。

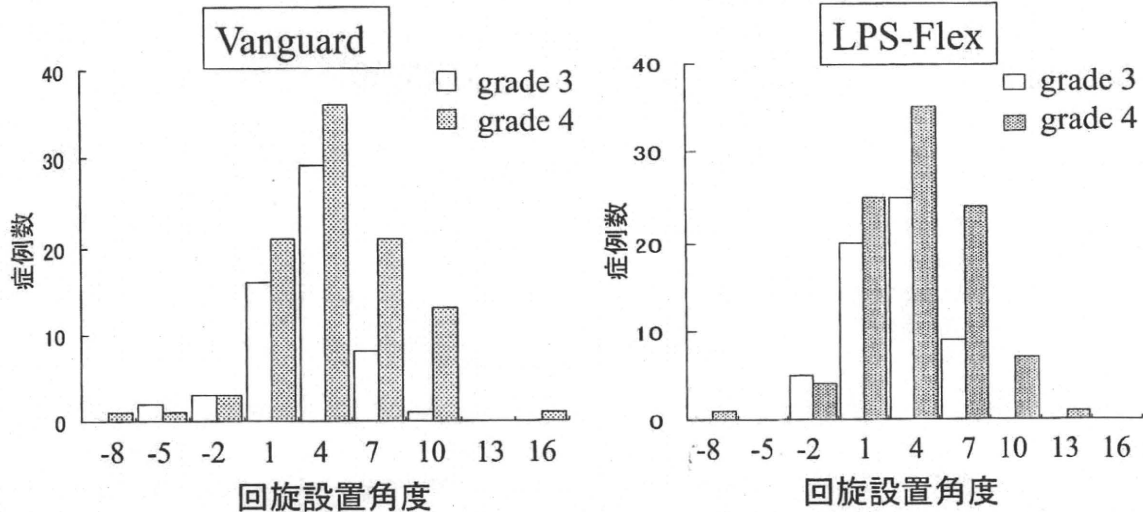


図3 両機種ともにK-L分類 grade 4で7度以上の外旋設置となる症例が多かった。

表1 変形の程度と回旋設置角度

	grade 3 (n=59)	grade 4 (n=97)
Vanguard	3.5±2.8°	4.9±3.5°
LPS-Flex	3.1±2.6°	4.4±3.4°

※: P<0.05

3.5±2.8°, LPS-Flex 3.1±2.6°であったのに対し, grade 4は Vanguard 4.9±3.5°, LPS-Flex 4.4±3.4°と両機種とも grade 4で有意に外旋設置となった (P<0.05) (表1)。また grade 4で7度以上の外旋設置となる症例が多かった (図3)。

考 察

脛骨回旋アライメントの指標にはさまざまな方法が存在するが, 脛骨近位部の形状による方法としては a) 脛骨関節面全体の形状 (脛骨前縁, 脛骨横断軸, 脛骨後方顆部軸), b) 脛骨顆間隆起, 顆間隆起間溝をAP軸とする, c) 被覆の良好な脛骨トレイを脛骨粗面内側1/3の方向へ向けるなどがある。また近年 Akagiら¹⁾は健常膝の検討を行い, 脛骨AP軸はPCL附着部と膝蓋腱附着部内側縁を結んだ線上にあり脛骨コンポーネント設置の指標となると報告している。また脛骨コンポーネントの被覆については, 骨切り面に対して85%以上の被覆がコンポーネントの安定化のために必要であり, 被覆を優先した設置を推奨する報告もある^{3,4)}。

今回 Athena[®]を用いて脛骨骨切り面への被覆を優先させた設置を行うと, 脛骨コンポーネントは90%の症例で膝蓋腱内側縁から内側1/3の間に設置されていた。すなわち大部分の症例では赤木の脛骨AP軸より4度ほど外旋設置す

れば被覆も概ね良好になると考えられた。しかしながら, K-L分類 grade 4の変形が強い症例においては被覆を優先すればさらに強い外旋設置が必要となる可能性がある。また, Matsuiら⁵⁾は変形が進行すれば脛骨が大腿骨に対して外旋し, Yagi⁶⁾や Nagamineら⁷⁾は脛骨の内捻が存在すると報告しており, 大腿骨および脛骨コンポーネントの回旋ミスマッチが生じる可能性がある。その解決策として self alignment機構のある mobile typeのインサートは有用な手段の一つと思われた。

ま と め

・脛骨コンポーネント設置を骨切り面への被覆を優先させた場合の脛骨AP軸との関連を検討した。

・被覆を優先させて設置した際, 9割以上の症例で脛骨AP軸に対して脛骨コンポーネントは外旋設置となり, 変形が高度なものほど過外旋となった。

文 献

- 1) Akagi M, Oh M, Nonaka T, et al.: An Anteroposterior axis of tibia for total knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res, 420: 213-219, 2004.
- 2) 巽 一郎, 平川和男, 仲宗根哲, 他: MIS-TKAのためのnavigation system. 整形・災害外科, 50: 571-581, 2007.
- 3) Bindeglass DF, Cohen JI, Dorr LD: Current principles of design for cemented and cementless knees. Tech Orthop, 6: 80-85, 1991.
- 4) Incavo SJ, Ronchetti PJ, Howe JG, et al.: Tibial plateau coverage in total knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res, 299: 81-85, 1994.
- 5) Matsui Y, Kadoya Y, Uehara K, et al.: Rotational deformity in varus Osteoarthritis of the knee. Clin Orthop Relat Res, 433: 147-151, 2005.
- 6) Yagi T: Tibial torsion in patients with medial-type osteoarthrotic knees. Clin Orthop Relat Res, 302: 52-56, 1994.
- 7) Nagamine R, Miyanishi K, Miura H, et al.: Medial torsion of the tibia in Japanese patients with osteoarthritis of the knee. Clin Orthop Relat Res, 408: 218-224, 2003.

■ TKA 術前計画

大腿骨内外側上顆から計測した大腿骨顆部の形態的評価 — 3D 術前計画ソフトウェア (Athena) を用いた計測 —

佐藤美由紀¹, 近藤 誠², 泊 一秀³, 糸川高史², 平川雅士¹, 原 克利¹, 池田真一¹, 加来信広¹, 津村 弘¹

¹ 大分大学整形外科

² 大分大学人工関節学講座

³ 新別府病院整形外科

はじめに

人工関節置換術においては本来の関節面の高さを再現することが重要であるが, 再置換症例では本来の関節面を推測することは困難である。我々は3D術前計画ソフトウェアを用いて大腿骨顆部の形態を計測し, 伸展位および屈曲位関節面について検討した。

対 象

変形が軽微で, 大腿骨遠位端および内外側後顆の輪郭が明瞭な83症例131膝(男性13膝, 女性118膝)から得られた単純X線とCTの画像を用いた。疾患はKellgren-Lawrence分類grade 0~2の変形性膝関節症が113膝, Larsen分類grade 0~IIの関節リウマチが18膝であった。

方 法

計測にはSoft Cube社製の3D術前計画ソフトウェアAthena¹⁾を用いた。このソフトウェアはCTから出力されたデータを3次元のvolume dataとして再構築し, 任意の軸に垂直もしくは平行な断面画像を作成することが可能であ

る。

まず大腿骨2方向単純X線像から大腿骨の機能軸を求め, この機能軸に垂直な横断面で内側上顆と外側上顆を決定する。なお内側上顆はprominenceとsulcusに分類されているが, 今回の計測ではsulcusが同定困難な症例もあり, 再現性よく同定可能なprominenceを用いた。大腿骨機能軸に対する横断面(図1-a, b)では内側上顆および外側上顆から後顆軸(以下, 屈曲位関節面)に垂線を下ろし, 各距離を計測した。内側上顆, 外側上顆間の距離(以下, 横径)を計測し, 膝の大小による相違も検討した(図1-b)。

内側上顆(prominence)と外側上顆を結ぶ線, いわゆる臨床的上顆軸を含み, 且つ大腿骨機能軸に平行な前額面(図1-a, c)で, 内外顆遠位頂点間を結ぶ接線を引き, 伸展位関節面とした。この前額面においては横断面で決定した内側上顆および外側上顆から伸展位関節面へ垂線を下ろし, 各距離を計測した(図1-c)。

結 果

内側上顆および外側上顆から屈曲位関節面までの距離はそれぞれ 29.5 ± 2.3 mm, 21.2 ± 2.2 mm, 伸展位関節面までの距離はそれぞれ 25.3 ± 2.8 mm, 21.5 ± 2.5 mm, 横径は 75.4 ± 4.4 mmであった(表1)。内外側上顆から各関節面までの距離と横径とは正の相関($P < 0.01$)を認めた(図2)。

内側上顆, 外側上顆から屈曲位関節面および伸展位関節面までの距離を膝ごとに横径で割るとそれぞれ 0.39 ± 0.02 , 0.28 ± 0.03 , 0.34 ± 0.03 , 0.28 ± 0.03 であった(表1)。これらの距離対横径比を縦軸に, 横径を横軸とした散布図では横径の大小にかかわらず一定となった(図3)。つまり内外側上顆から屈曲位関節面および伸展位関節面までの距離は膝の大きさに正比例していた。

表1 計測結果

	Average ± SD
①内側上顆-屈曲位関節面 (ME-FJ)	29.5 ± 2.3 mm
②外側上顆-屈曲位関節面 (LE-FJ)	21.2 ± 2.2 mm
③内側上顆-伸展位関節面 (ME-EJ)	25.3 ± 2.8 mm
④外側上顆-伸展位関節面 (LE-EJ)	21.5 ± 2.5 mm
⑤横径 (ML)	75.4 ± 4.4 mm
内側上顆-屈曲位関節面/横径 (ME-FJ/ML)	0.39 ± 0.02
外側上顆-屈曲位関節面/横径 (LE-FJ/ML)	0.28 ± 0.03
内側上顆-伸展位関節面/横径 (ME-EJ/ML)	0.34 ± 0.03
外側上顆-伸展位関節面/横径 (LE-EJ/ML)	0.28 ± 0.03

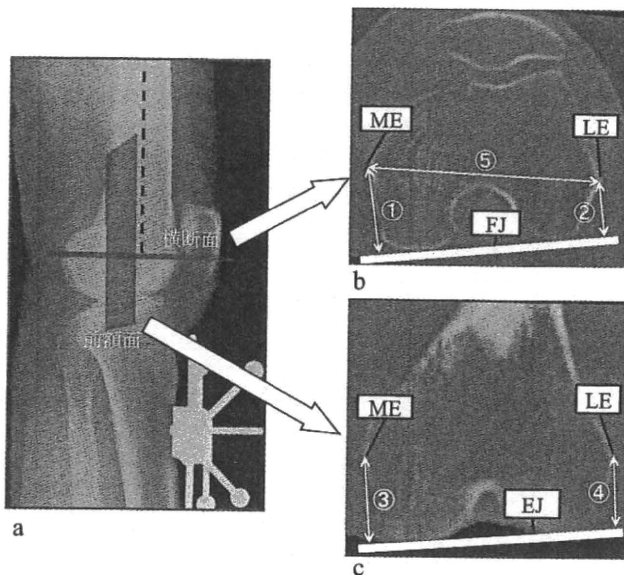


図1 計測方法

a 破線(--)は大腿骨機能軸を示す

b 機能軸に垂直な横断面

c 横断面で決定した内側上顆, 外側上顆を含み, 且つ機能軸に平行な前額面

ME: 内側上顆 (prominence) LE: 外側上顆 FJ: 屈曲位関節面

EJ: 伸展位関節面

① ME-FJ 間距離 ② LE-FJ 間距離 ③ ME-EJ 間距離 ④ LE-EJ 間距離 ⑤横径 (ML)

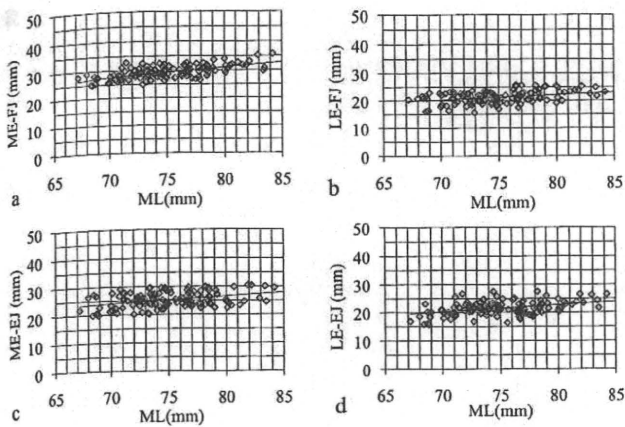


図2 内外側上顆から各関節面までの距離と横径との関係：すべて正の相関を認める

- a $R = 0.66$ $P < 0.01$ $y = 0.3548x + 2.7111$
- b $R = 0.66$ $P < 0.01$ $y = 0.1824x + 7.464$
- c $R = 0.40$ $P < 0.01$ $y = 0.2538x + 6.2015$
- d $R = 0.44$ $P < 0.01$ $y = 0.2495x + 2.7288$

考 察

伸展位における joint line に関しては Stiehl ら²⁾ が cadaver で計測し報告しているが、屈曲位関節面についての記載はない。また、この報告は欧米人の計測であり、横径は 8.3 ± 0.98 cm、臨床的上顆軸から内側関節面まで 3.08 ± 0.44 cm、外側関節面まで 2.5 ± 0.42 cm と、我々の計測とは約 5 mm の差があった。成書としては松野らの人工膝関節置換術³⁾に「joint line をおおむね大腿骨内側上顆から遠位 25 mm、大腿骨外側上顆から遠位 20 mm、腓骨頭端から近位へ 10 mm の位置に想定」と記載されており、我々の結果と一致していた。

今回、機能軸に垂直および平行な断面で計測した値では、外側上顆から屈曲位関節面までの距離と伸展位関節面までの距離はほぼ等しく、いずれも約 21 mm であった。内側上顆から屈曲位関節面までの距離は 29.5 mm、伸展位関節面までの距離は 25.3 mm と約 4 mm の差を認めた。内側上顆の sulcus は prominence より 3~4 mm 後方に位置していることを考慮すると sulcus から屈曲位関節面までの距離は約 25 mm であり、sulcus から伸展位関節面までの距離と一致する。つまりこの sulcus と外側上顆を結ぶ外科的上顆軸 (surgical epicondylar axis : 以下 SEA) からは伸展位関節面および屈曲位関節面までの距離は等しかった。大腿骨コンポーネントの回旋設置位置の指標としては Berger ら⁴⁾ の報告以後、内外側側副靭帯付着部中央を結ぶ軸、つまり SEA に平行に設置することが推奨されてきたが大腿骨顆部の形態の見地からもこれを支持するものと考えられる。大腿骨顆部全体の前後径対横径比は横径と負の相関にあり、小さな膝は縦長で大きな膝は扁平と報告⁵⁾ されているが、今回の計測ではそのような傾向は認めず内外側上顆から伸展位・屈

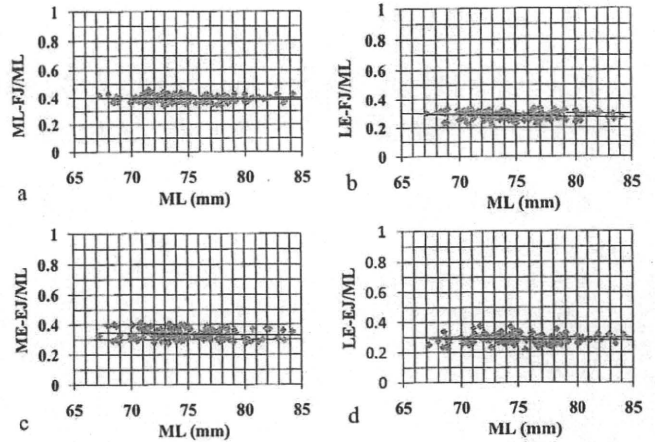


図3 内外側上顆から各関節面までの距離対横径比と横径との関係：すべて相関を認めず

- a $R = -0.09$ $P = 0.33$
- b $R = -0.19$ $P = 0.03$
- c $R = -0.14$ $P = 0.12$
- d $R = -0.06$ $P = 0.47$

曲位関節面までの距離対横径比は一定であった。従って内側上顆 (prominence) から横径 $\times 0.34$ mm 遠位、横径 $\times 0.39$ mm 後方に本来の関節面があると推測され、実際の再置換術時の指標となると考えた。

ま と め

3D 術前計画ソフトウェア Athena を用いて大腿骨顆部の形態を計測した。伸展位関節面は内側上顆 (prominence) から横径 $\times 0.34$ mm 遠位、外側上顆から横径 $\times 0.28$ mm 遠位に存在し、屈曲位関節面は内側上顆 (prominence) から横径 $\times 0.39$ mm 後方、外側上顆から横径 $\times 0.28$ mm 後方に位置する。

文 献

- 1) 巽 一郎, 平川和男, 仲宗根哲, 他: MIS-TKA のための navigation system. 整形・災害外科, 50: 571-581, 2007.
- 2) Stiehl, JB, Abbott, BD, et al.: Morphology of the transecondylar axis and its application in primary and revision total knee arthroplasty. J Arthroplasty, 10: 785-789, 1995.
- 3) 高井信朗: 再置換の考え方と機種の種類 軟部組織バランス. 人工膝関節置換術—基礎と臨床—. 松野誠夫編, 文光堂, 東京, 502-504, 2005.
- 4) Berger, RA, Rubash, HE, Seel, MJ, et al.: Determining the rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty using the epicondylar axis. Clin. Orthop, 286: 40-47, 1993.
- 5) Arakaki A, Nagayama M, Tomiyama S, et al.: Anthropometry of the distal femur to design total knee prosthesis for the Japanese population. ORS Chicago Mar., 19-22, 2006.

■ TKA 術前計画

人工膝関節置換術における術前計画ソフトウェア Athena の精度と軟骨が及ぼす影響

糸川高史¹, 近藤 誠¹, 佐藤美由紀², 平川雅士², 藤井唯誌³, 東 隆司³, 北川 洋³, 泊 一秀⁴, 津村 弘^{1,2}

¹ 大分大学人工関節学講座

² 大分大学整形外科

³ 香芝旭ヶ丘病院整形外科

⁴ 新別府病院整形外科

はじめに

従来から人工膝関節置換術（以下 TKA）における術前計画として膝関節 X 線によるコンポーネントサイズの予測や骨欠損量の確認などが行われている。TKA において目指すべきコンポーネント設置位置，特に大腿骨コンポーネントの適切な回旋設置位置が明らかにされつつあり，より正確な術前計画が必要とされるようになった。近年，X 線や CT を用いた 3D 術前計画ソフトが多く開発されているが，軟骨は描出されず，軟骨が術前計画ソフトに与える影響に関する詳細な報告はない。

今回，大腿骨コンポーネントの外旋設置角度を決定する内外側後顆の骨切除量の差から，軟骨が 3D 術前計画ソフトの精度に与える影響について検討したので報告する。

対 象

対象は 2006 年 11 月より 2008 年 9 月までに初回 TKA を施行した内側型変形性膝関節症，86 症例 134 膝で，全例 Kellgren-Lawrence index にて grade IV であった。使用した 3D 術前計画ソフトは CT から出力されたデータを 3 次元の volume data として再構築し，大腿骨機能軸に垂直な画像が

作成可能な Soft cube 社の Athena^{1,2)} である。

方 法

術後の大腿骨コンポーネントの設置位置を Athena 上でシミュレーションする為には，術中計測した回旋角度に軟骨が影響を及ぼす角度を補正する必要がある。まず初めに，大腿骨後顆の骨切除量と軟骨の厚さを計測するために，術中に切除した内外側後顆の厚さをキャリパーで計測し，軟骨を切削してから再度計測した（図 1A）。軟骨切削前後における後顆の厚さの差を軟骨の厚さとして算出し，軟骨に影響される角度は三角関数（逆正接関数）を用いて計算した³⁾。術中での後顆軸からの回旋設置角度は特別に作成したデバイスを用いて計測した（図 1B）³⁾。術中計測した回旋角度に，軟骨が影響を与える角度分を補正し，Athena 上で大腿骨コンポーネントを後顆軸から外旋設置させた。このように Athena 上で大腿骨コンポーネントの設置位置をシミュレーションした状態で，内外側後顆の骨切除量を計算した。術中に切除した内外側後顆の骨切除量の差（軟骨切削前後）と Athena 上での骨切除量の差を比較し検討した（図 1C，1D）。

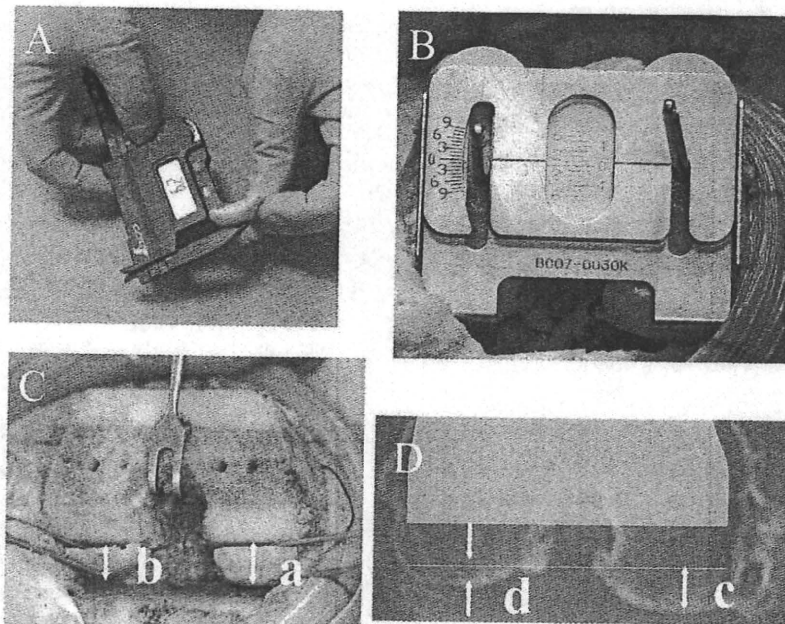


図 1

A: キャリパーにて骨切除量を計測。B: 術中に回旋設置角度を計測する特別なデバイス。C: 術中に切除した内外側後顆の骨切除量の差 (= a - b)。D: Athena 上での骨切除量の差 (= c - d)。

表1 大腿骨コンポーネントの外旋設置角度および軟骨が影響を与える角度

術中の大腿骨コンポーネントの外旋設置角度	5.3±1.6° # (2.0°~9.5°)
軟骨の厚さの差(外側-内側)	1.4±1.0 mm (-1.3mm~3.7mm)
軟骨が影響を与える角度	1.7±1.2° # (-1.6°~4.5°)

#外旋角度を正とする

表2 術中軟骨切除前後および Athena 上での内外側後顆の骨切除量の差

	軟骨切除前	軟骨切除後	Athena上
内外側後顆の厚さの差	4.0±1.4 mm (0.7mm~8.9mm)	5.5±1.6 mm (2.3mm~9.6mm)	5.5±1.4 mm (2.3mm~8.7mm)

結 果

大腿骨コンポーネントが手術中に設置された回旋角度は、軟骨が存在する大腿骨後顆を基準として平均 5.3±1.6° (2.0°~9.5°) 外旋位に設置されていた。外側後顆の軟骨の厚さは内側後顆の軟骨よりも厚く、平均の軟骨の厚さの差は 1.4 ± 1.0 mm (-1.3 ~ 3.7 mm) であった。Athena 上で術後の大腿骨コンポーネントの設置位置をシミュレーションするためには、大腿骨コンポーネントを後顆軸から平均 1.7±1.2° (-1.6°~4.5°) さらに外旋する必要があった (表1)。軟骨を含む内外側後顆の厚さの差 (外側-内側)、骨組織のみの差、Athena 上での差の平均値は、それぞれ 4.1±1.4 mm (0.7 ~ 8.9 mm), 5.5±1.6 mm (2.3 ~ 9.6 mm), 5.5±1.4 mm (2.3 ~ 8.7 mm) であり、骨組織のみの厚さの差と Athena 上での差の平均値は一致していた (表2)。術中計測の骨切除量の差を縦軸に、Athena 上の骨切除量の差を横軸とし、134 症例の相関について検討した。軟骨切除前ではばらつきはあるものの相関係数が 0.587 となり正の相関を認めた。軟骨切除後の相関係数は 0.864 と更に強い正の相関を認め、骨組織のみで評価すれば精度は更に高くなった (図2)。

考 察

術前計画は人工膝関節においても重要であり、X線やCT画像を用いてコンポーネントサイズ、その設置位置や骨切除量などをあらかじめ予想し、術中での骨切り量と比較することにより、より正確な手術を可能としている。

近年、大腿骨コンポーネントの回旋設置位置がTKAの術後成績に大きな影響を与えると報告されている^{4,5)}。measured resectionでの回旋角度の決定法の一つとして、後顆軸を基準とする方法がある。しかし、我々は大腿骨後顆を基準として大腿骨コンポーネントの外旋設置角度を決定する際、大腿骨後顆に残存する軟骨が影響を与えると報告してきた³⁾。現在、3D術前計画ソフトが普及しつつあるが大部分のソフトはX線やCTを利用している。従って大腿骨後顆を基準として大腿骨コンポーネントの外旋設置角度を決定する場合、大腿骨後顆の残存軟骨の厚さを無視することができない。我々は80例のTKAの症例において、Athenaで術前計画を立て、術後の結果と比較し、Athenaの

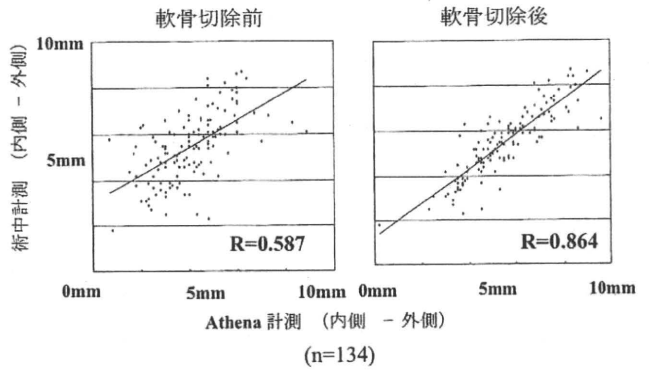


図 2

術中計測の骨切除量の差を縦軸に、Athena 上の骨切除量の差を横軸とし、134 症例の相関について検討した。軟骨切除前 (左) では相関係数が 0.587 となりばらつきはあるものの正の相関を認めた。軟骨切除後 (右) の相関係数は 0.864 と更に強い正の相関を認めた。

精度について報告した。大腿骨後顆の予定骨切除量と実測値には、平均内側 1.2±0.7 mm, 外側 1.6±1.4 mm の差があった²⁾。また以前我々は、後顆内側及び後顆外側にそれぞれ、残存軟骨は 0.5±0.7 mm, 2.0±0.8 mm の厚さの軟骨が残存していることを報告している³⁾。このことから、異らが報告した骨切除量の差のばらつきは、ソフト自体の精度の問題だけではなく、外側に多く残存する軟骨も影響していると考えられた。我々が用いた 3D 術前計画ソフト Athena は軟骨が存在する実際の手術においても術前計画として、十分に満足の得られるソフトであったが、骨組織のみで評価すれば更に精度の高いものである事が示された。

ま と め

- (1) 3D 術前計画ソフト Athena を用いて、精度と軟骨の影響について検討した。
- (2) 軟骨を含む内外側後顆の厚さの差は平均 4.0 mm で、骨組織のみの厚さの差は 5.5 mm, Athena 上での骨切り量の差は 5.5 mm であった
- (3) 軟骨を含む厚さの差と Athena 上での差の比較でも正の相関 (R = 0.587) を認めたが、骨組織のみの場合ではさらに強い正の相関 (R = 0.864) を示した。
- (4) 術前計画ソフト Athena は軟骨の厚さを考慮しない場合でも十分な精度があるが、軟骨の厚さを考慮すると、更に精度が上がる事が示された。

文 献

- 1) 巽, 他: MIS-TKA のための navigation system. 整形・災害外科, 50: 571-581, 2007.
- 2) 巽, 他: 人工膝関節置換術のための三次元術前計画ソフト 'Athena' の検討. 日整会雑誌, 82 (2): S46, 2008.
- 3) 藤井, 他: 大腿骨後顆部軟骨が大腿骨コンポーネント外旋設置角度に及ぼす影響. 膝, 32 (1): 70-72, 2007.
- 4) Akagi et al.: Effect of rotational alignment on patellar tracking in total knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res., 366: 155-163, 1999.
- 5) Berger et al.: Malrotation causing patellofemoral complications after total knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res., 356: 144-153, 1998.

転倒予防に対する下肢筋力訓練の効果

大分大学医学部附属病院リハビリテーション部 片岡晶志
大分大学医学部整形外科 津村 弘

1. はじめに

日本整形外科学会プロジェクト研究および厚生労働省長寿科学総合研究事業の一環として変形性膝関節症に対する研究をおこなった。このうち、転倒予防にたいする下肢筋力訓練の効果についての検討をおこなったので報告する。

2. 対象

下肢の手術や外傷の既往のない変形性膝関節症（膝 OA）をもつ男女134人のうち、12週間の追跡が可能であった96名（平均69.2歳）（男性8名、女性88名）を本研究の対象とした。（図1）

3. 方法

訓練方法は①股関節外転訓練と②大腿四頭筋訓練（セッティング）とした。1日それぞれ100回を目標に自宅で訓練をしてもらうよう指導した。施行した回数は日記に記録してもらった。初回来院した際に訓練方法を十分に指導した。その後

1. 片脚起立時間測定

2. 表面筋電計による測定（大腿直筋、外側広筋、中殿筋、大殿筋）

3. Hand held dynamometer (HHD) による筋力測定

4. Foot scan による足底荷重分析（動作バランス）

5. フォースプレートによる荷重バランスと重心動揺

6. Visual analog scale

を測定し、以後4週ごとに合計12週まで測定した。

4. 結果

1) 年齢別片脚起立時間

96人の片脚起立時間を示した。これに関しては坂田らは日本人女性の65-69歳の平均値は44秒程度、また80歳から84歳では14秒程度と報告しており、それに比べると本研究の被験者はかなり優秀であった。（図2）

2) 訓練による片脚起立時間の改善度

片脚起立時間は120秒を上限として測定した。64歳以下では早期に120秒に到達していた。一方で65歳以上の改善率はわるく、80歳以上の改善はみられないことがわかった。

（図3）

3) 膝 OA の重症度と片脚起立時間の改善度

膝 OA の重症度と片脚起立時間の改善度の関係を示した。

膝 OA の重症度を Kellgren and Lawrence (K-L) 分類にしたがって示した。KL-1 以外は MAX に到達することはなかった。しかしながら KL-4 でも訓練により片脚起立時間は改善

することがわかった。

(図4)

4) 訓練開始時の筋力と片脚起立時間の関係

開始時の HHD による大腿四頭筋も股関節外転筋値を体重で除した値の分布示した。

(図5) これによれば大腿四頭筋も股関節外転筋も強い群では片脚起立時間は長い、両者とも低い場合は片脚起立時間が短いことがわかった。

5) 訓練後の HHD による筋力の変化と片脚起立時間の関係

股関節外転筋や大腿四頭筋の筋力強化により片脚起立時間は延長した。しかしながら股関節外転筋のみの強化では片脚起立時間の延長は少なかった。また筋力の増強がない場合は片脚起立時間の改善は見られなかった。

5. 考察

転倒は高齢者介護のもっとも大きな問題となっている。厚生労働省の報告では要介護となる原因のなかで転倒は第5位を占め、全体の10.9%であった。また同じく寝たきりの原因では転倒・骨折は全体の14%を占め第3位となっている。

膝 OA と転倒とは関連があるといわれている。なかでも Nick らの報告のなかで、膝の伸展筋力は65歳～75歳の高齢者の静的・動的バランスの重要な因子であり、膝 OA は伸展筋力が大幅に低下した状態であり、転倒しやすいことを報告している。また膝 OA の高齢者は骨密度に関係なく転倒により脊椎以外の骨折をきたしやすいことを Nigel や Graemo は報告している。

坂田らは2002年から2005の3年間の日本人男性と女性の転倒群と非転倒群の片脚起立時間を年齢ごとに出した。また同時に転倒を回避できる体力として目標時間を年齢ごとに設定した。

さらに北らは片脚起立時間の基準値を15秒に設定し、65歳以上の慢性疼痛を有し、かつ15秒以下の患者を運動器虚弱高齢者として、注意を喚起した。

われわれの被験者を坂田の基準で見ると開始時には30名が転倒群に属していたが、訓練の結果8名に減少した。また坂田の基準では同様に開始時に18名いたが、訓練終了後には5名に減少していた。この5名は坂田の基準においても該当していた。訓練を指導すれば、ほとんどの方で転倒は回避できるが、その一方で転倒を回避できないグループが存在することがわかった。また HHD による検討で大腿四頭筋の筋力強化は不可欠であることもわかった。今後は転倒を訓練によって回避できないグループにたいする介入研究と、いかに有効な訓練を指導するかが課題である。

人数			平均年齢(歳)
全体(100%)	96人	全体	69.2
男(8%)	8人	男	68.9
女(92%)	88人	女	69.2

30代	1人
40代	2人
50代	4人
60代	41人(男3+女38)
70代	42人(男5+女37)
80代	6人

	KL-1	KL-2	KL-3	KL-4
全体	4人(4%)	45人(47%)	35人(36%)	12人(13%)
男	3人	3人	1人	1人
女	1人	42人	34人	11人

図1 対象の内訳を図示した。96人中女性は88人(92%)であった。(上段)また年齢の内訳は60歳台、70歳台がもっとも多かった。(中段)さらに膝OAの重症度分類ではKL2, 3が全体の83%を占めていた。

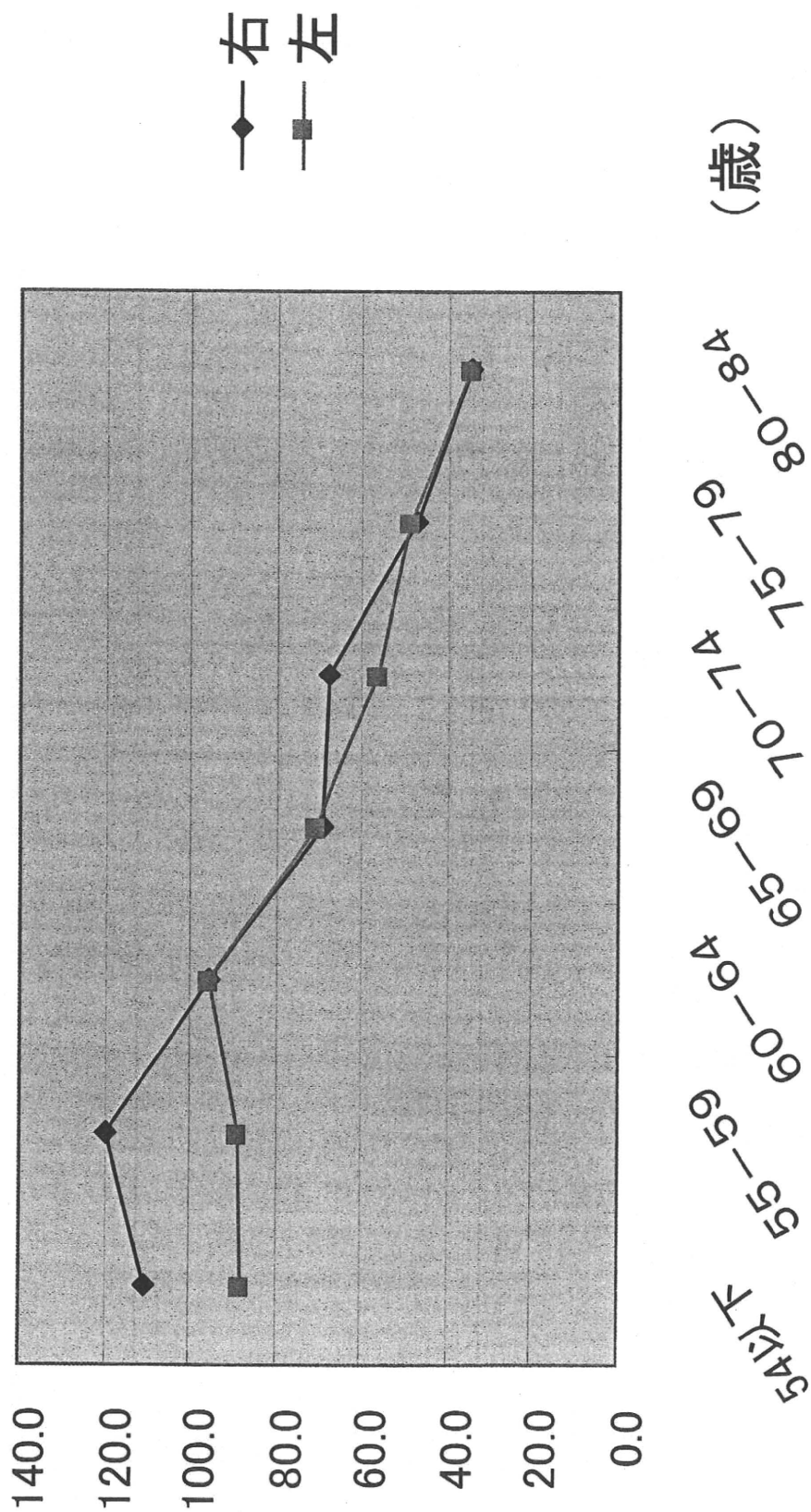


図2 96人の片脚起立時間を示した。

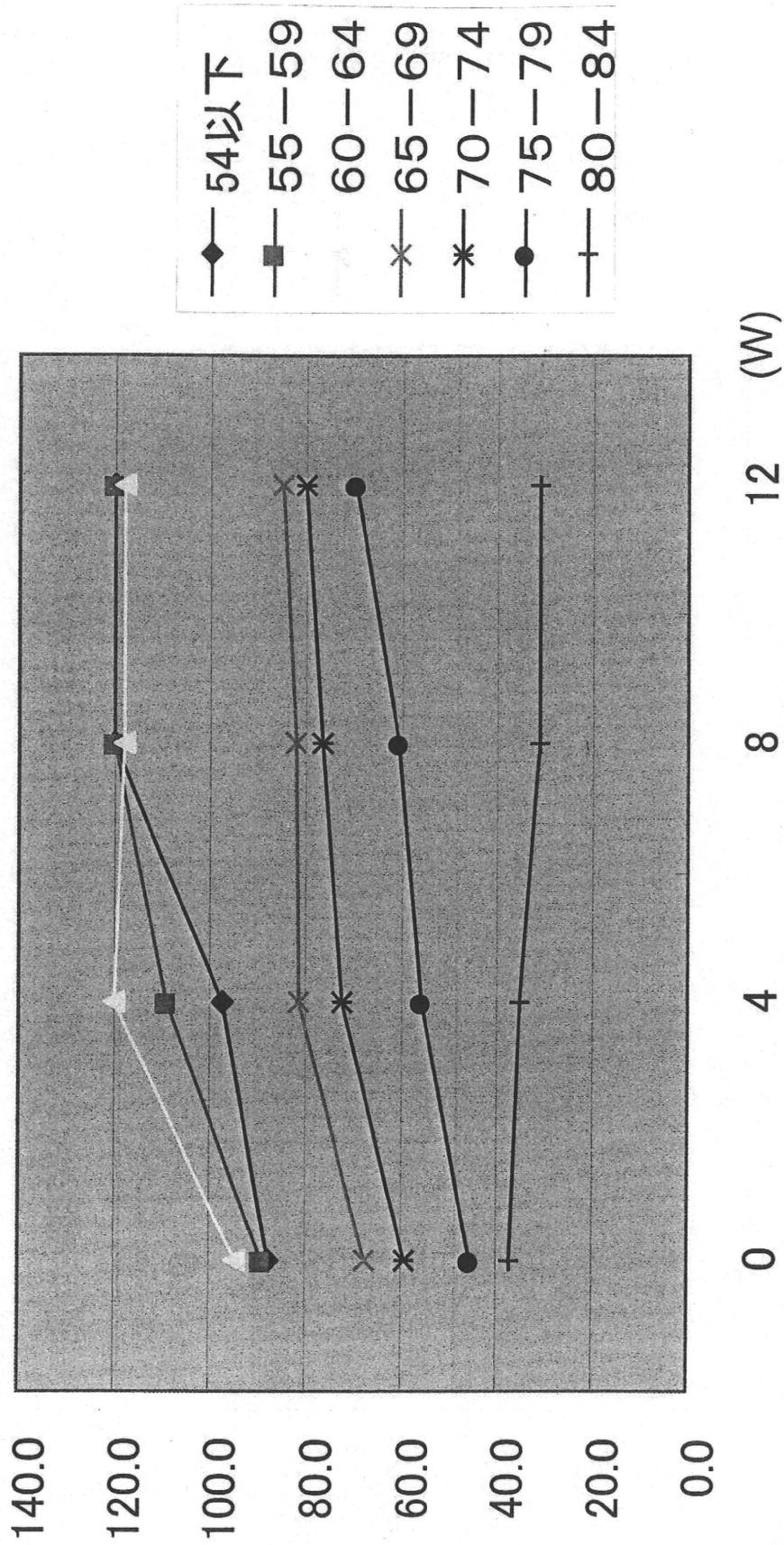


図3 訓練後の片脚起立時間を年齢ごとに示した。

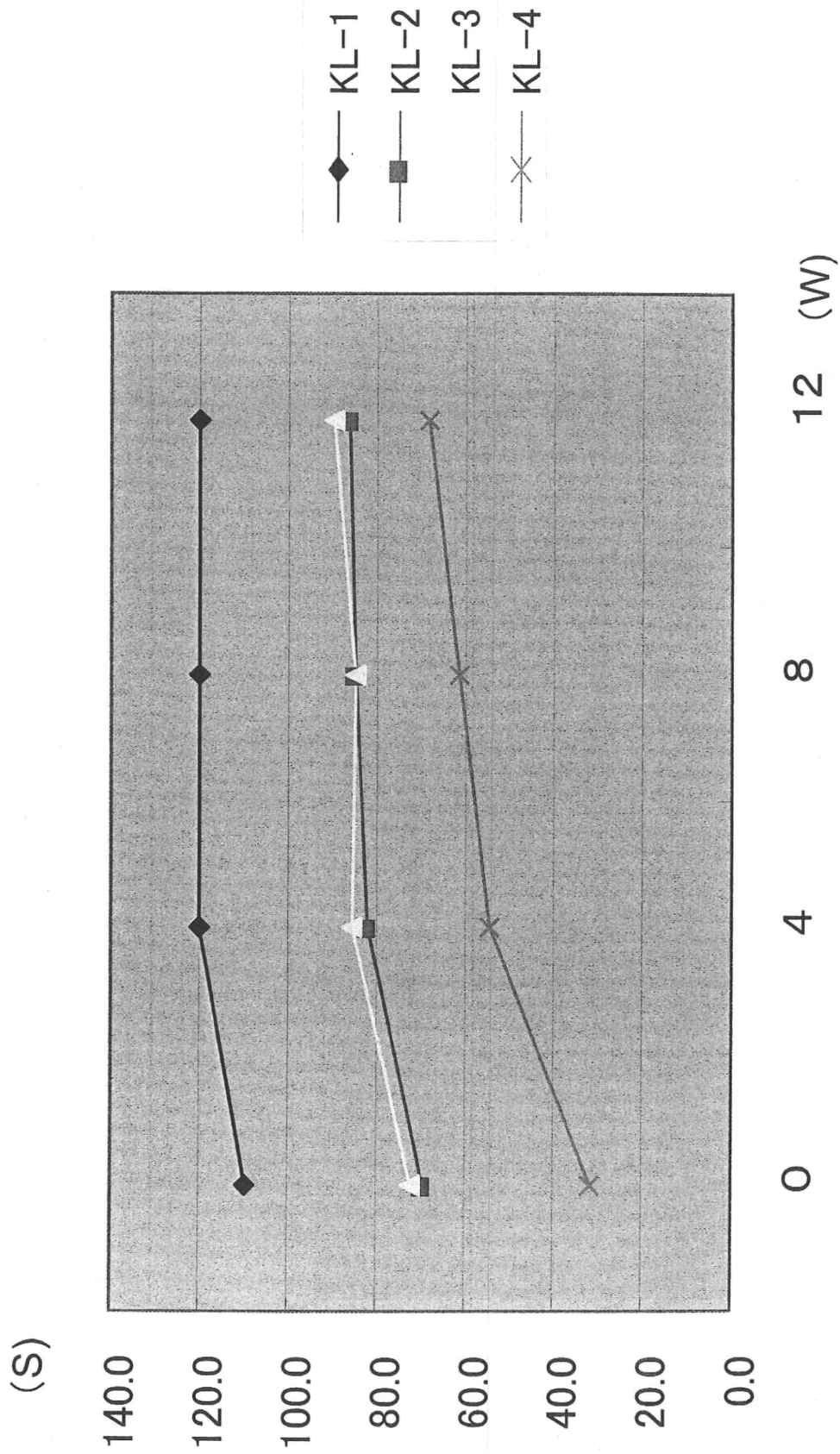


図4 膝OAの重症度と片脚起立時間の関係を示した。

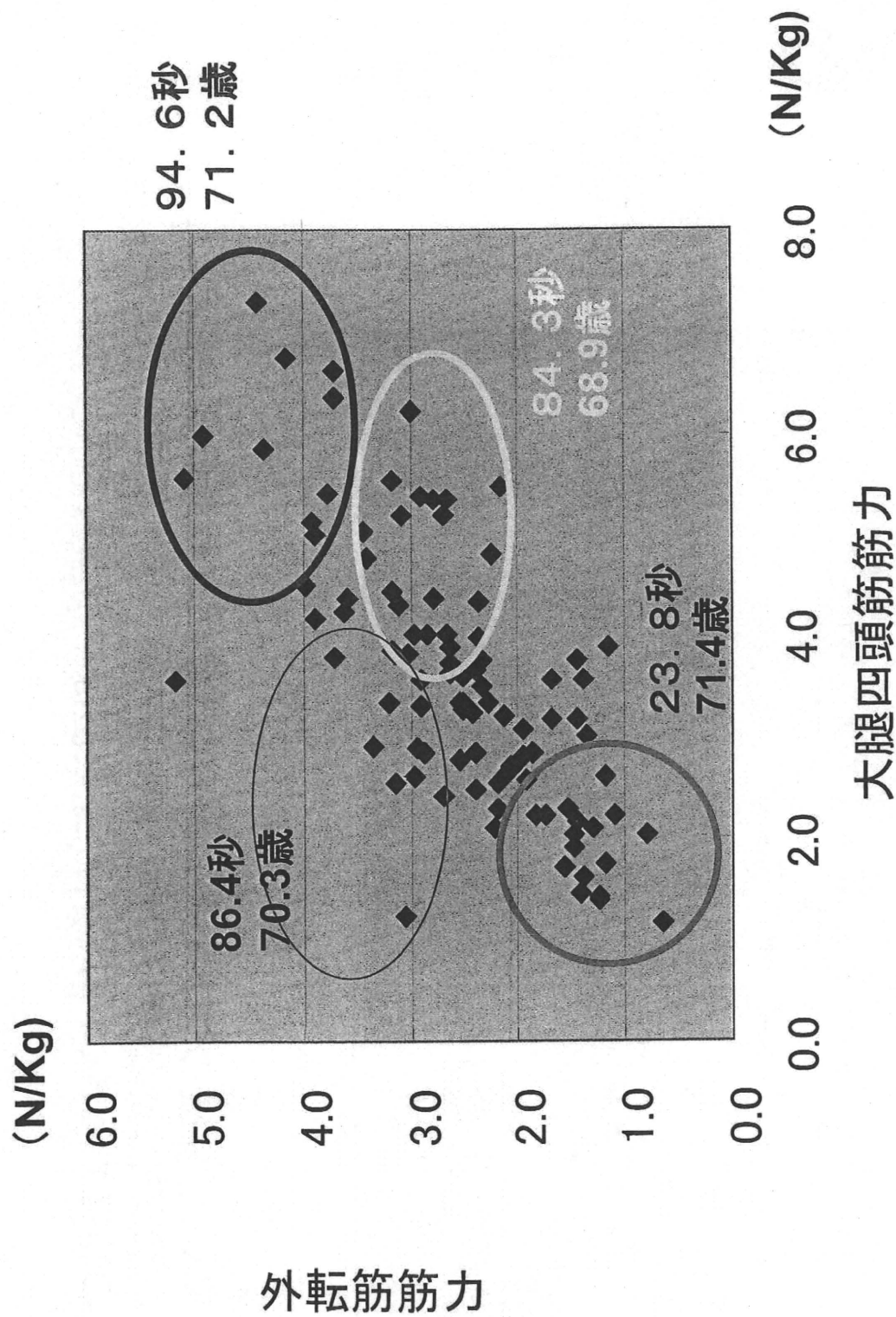


図5 訓練開始時のHHDによる股関節外転筋力・大腿四頭筋力と片脚起立時間の関係を示した。

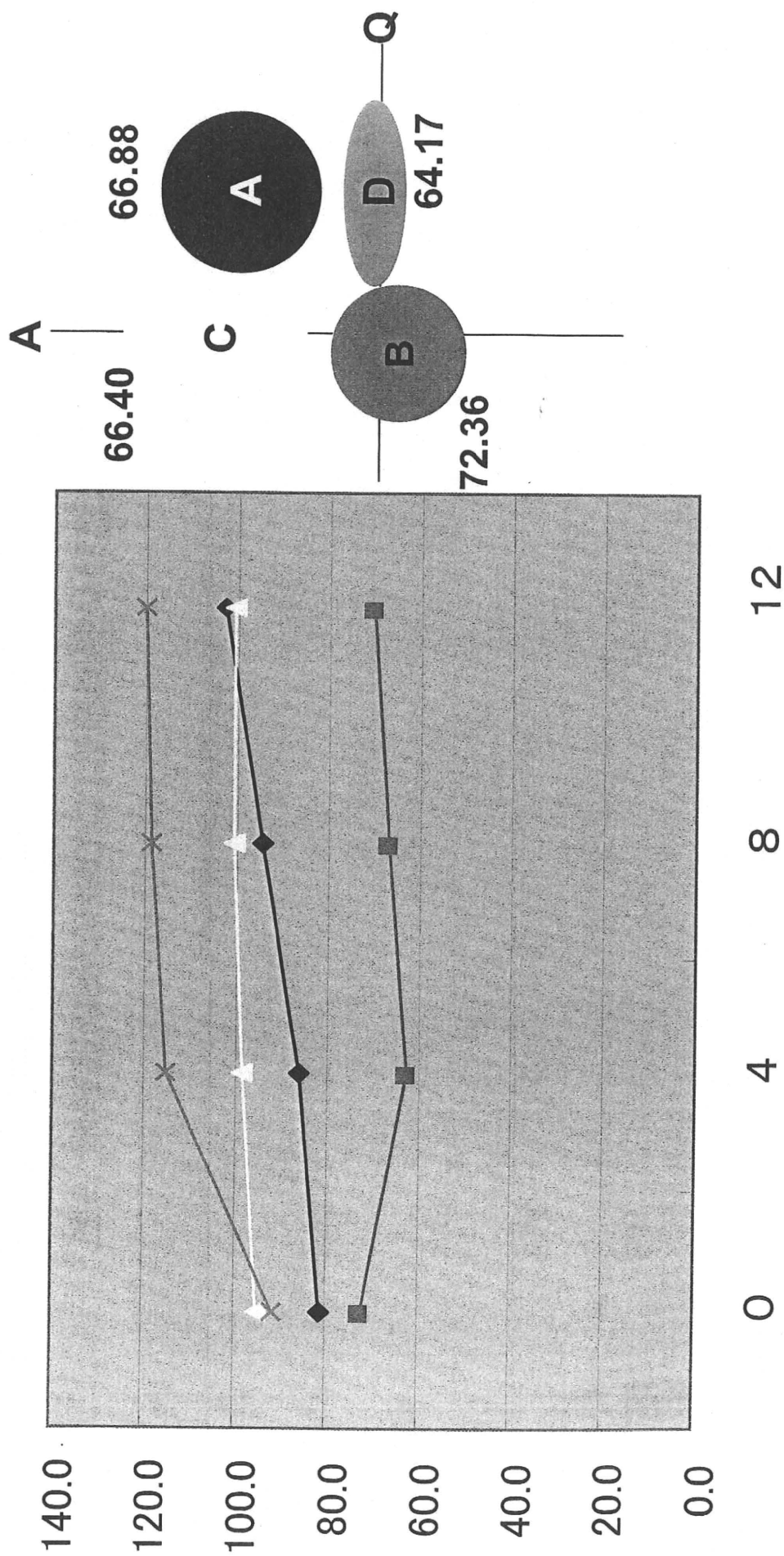


図6 訓練後のHHDによる筋力と片脚起立時間の関係を示した。右のグラフの縦軸は外転、横軸は大腿四頭筋筋力を示し、訓練による改善の程度で大きく4つに分けた。数値は平均年齢を示した。

■ TKA 感染

人工膝関節置換術手術部位感染に対する新予防プロトコールとその薬物動態

榎本宏之¹, 大野恵子², 岸野吏志², 二木康夫¹, 松本秀男³, 大谷俊郎⁴, 戸山芳昭¹, 須田康文¹

¹ 慶應義塾大学整形外科

² 明治薬科大学薬剤情報解析学

³ 慶應義塾大学スポーツ医学総合センター

⁴ 慶應義塾大学看護医療学部

はじめに

人工膝関節置換術 (TKA) における手術部位感染 (SSI) の発症率は約 1~3% と報告されている^{1,2)}。しかし, TKA の臨床成績が向上するに伴い, その適応が高齢者に拡大したこと, 糖尿病や透析患者が増大していること, SSI 起因菌が多剤耐性化していること, などを背景に TKA 後 SSI の発症リスクの潜在的な増大が危惧される。当科では, 1996 年以降の 8 年間で TKA 後 SSI の発症は皆無であったが, 2004 年以降の 5 年間で 264 症例中 8 例の SSI が発症し, その起因菌はすべて多剤耐性ブドウ球菌であった³⁾。これら現状をふまえて, 2006 年 11 月以降に当科で施行している抗 MRSA 薬を用いた TKA 後 SSI の新予防プロトコールを紹介し, その薬物動態も解析したので報告する。

対象と方法

2006 年以降に当科で TKA を施行した 187 症例に適応した。術直前にテイコプラニン (TEIC) 400 mg とフロモキシセフナトリウム (FMOX) 1 g を 30 分以上かけて点滴静注し, 約 12 時間後に再投与する。以後は抗菌薬をいっさい投与しない (図 1)。本プロトコールは当大学感染専門委員会と倫理委員会の承認を得て施行している。今回, 加刀時 (TEIC 点滴静注開始約 1~2 時間後) の滑膜組織中および 2 回目の静脈投与直前の血漿中 TEIC 濃度につき電気化学検出器を装着した HPLC⁴⁾ により測定した。

結 果

新プロトコールに変更後, 現在までに TKA を施行した 187 症例で SSI は発症していない。有害事象として, 1 例に軽度の喉頭浮腫によると推測される嗄声を認めたが, ただちに投与を中止すると症状は消失した。加刀時の滑膜組織中 TEIC 濃度は平均で $3.00 \pm 1.51 \mu\text{g/g tissue}$ であった (表 1)。

一方, 術当日 2 回目の抗菌薬投与直前の血漿中 TEIC 濃度は $6.08 \pm 0.75 \mu\text{g/ml}$ であった (表 2)。

考 察

近年, TKA 後 SSI の主要な起因菌であるブドウ球菌が多剤耐性化しており, 米国内感染サーベイランスによれば, 表皮ブドウ球菌の約 90%, 黄色ブドウ球菌の約 60% が多剤耐性株であると報告されている¹⁾。2006 年における当院微生物検査室の統計でも同様の傾向であった³⁾。米国では TKA 時の抗菌薬予防プロトコールとして, セファゾリンナトリウムまたは塩酸バンコマイシン (ペニシリンまたはセフェムのアレルギー歴がある場合) の投与が推奨されており, 米国 Hospital Infection Control Practice Advisory Committee によれば MRSA による SSI の発症が多い施設では抗 MRSA 薬の周術期予防投与を考慮すべきであると勧告されている⁵⁾。

今回の検討で, TEIC 初回投与 12 時間後の血漿中トラフ値が平均 $6.08 \mu\text{g/ml}$, 加刀時の滑膜組織中 TEIC 濃度が平均 $3.00 \mu\text{g/g tissue}$ と, いずれも MRSA に対する MIC₉₀ ($1.56 \mu\text{g/ml}$)⁶⁾ 以上であったこと, また, 新プロトコールへ変更後に SSI が発症していないことから, 多剤耐性ブドウ球菌による TKA 後 SSI に対する予防プロトコールとして有効であると考えられる。一方で, TEIC は他の抗菌薬に比してコストが非常に高いため, 将来的には適切な Criteria に基づき設定した SSI の高リスク患者に適応を限定して投与することが望ましい。しかし, Lidwell らは SSI を 1 症例減少させるのに, コストが最も低い方法は適切な抗菌薬の予防投与であると報告しており⁷⁾, 多剤耐性ブドウ球菌による TKA 後 SSI が比較的多く発症している施設では, 少なくとも SSI 発症頻度が低下するまで抗 MRSA 薬を必要最小限の

出 棟 時

テイコプラニン (TEIC; タゴシッド®) 400 mg
フロモキシセフナトリウム (FMOX; フルマリン®) 1 g



その 12 時間後に再度投与
(以後は経静脈・経口とも抗菌薬投与しない)

図 1 当科における TKA 後 SSI に対する新予防プロトコール

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。

表1 加刀時の滑膜組織中TEIC濃度

年齢	性別	疾患	TEIC濃度(μg/g tissue)
55	F	RA	2.65
62	M	OA	2.98
77	F	OA	1.97
80	F	OA	1.99
81	F	RA	2.71
76	F	OA	6.36
80	M	OA	1.67
82	F	OA	3.72
平均±S.D.			3.00±1.51

表2 手術当日2回目投与直前の血漿中TEIC濃度

年齢	性別	疾患	TEIC濃度(μg/ml)
55	F	RA	5.16
62	M	OA	6.06
77	F	OA	6.57
80	F	OA	5.31
76	F	OA	6.25
82	F	OA	7.13
平均±S.D.			6.08±0.75

範囲で予防的抗菌薬として使用することを躊躇すべきでないと考えられる。

まとめ

多剤耐性ブドウ球菌を標的にしたTKA後SSIの新予防プロトコールと薬物動態につき報告した。

文献

- 1) NNIS System: National Nosocomial Infections Surveillance (NNIS) System Report, Am J Infect Control, 32: 470-485, 2004.
- 2) Barnes S, et al.: An enhanced benchmark for prosthetic joint replacement infection rates. Am J Infect Control, 34: 669-672, 2006.
- 3) 榎本宏之, 他: 多剤耐性コアグラエゼ陰性ブドウ球菌による人工関節置換術後手術部位感染症例の検討. 日本骨関節感染症学会雑誌, 21: 1-3, 2007.

- 4) Mochizuki N, et al.: Quantitative determination of individual teicoplanin components in human plasma and cerebrospinal fluid by high-performance liquid chromatography with electrochemical detection. J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci, 847: 78-81, 2007.
- 5) Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. Infect Control Hosp Epidemiol, 20: 250-278, 1999.
- 6) 井上松久, 他: グラム陽性球菌に対するTeicoplaninの抗菌力とその基礎的検討. 日本化学療法学会雑誌, 41(Suppl. 2): 47-55, 1993.
- 7) Lidwell OM: The cost implications of clean air systems and antibiotic prophylaxis in operations for total joint replacement. Infect Control, 5: 36-37, 1984.



特集／変形性膝関節症のリハビリテーション

MIS 人工膝関節置換術後の
リハビリテーション松本秀男*¹ 岩本 潤*²

Abstract 人工膝関節置換術(TKA)は安定した成績が得られる手術法であるが、高齢者に対する手術としては侵襲が大きく、できるだけ低侵襲で行う方法として、MIS-TKA が開発された。皮膚切開が約 7~10 cm と小さく、大腿四頭筋に対する侵襲が少ないことが特長である。さらに早期のリハビリテーションが可能な大腿神経と坐骨神経ブロックを併用する麻酔方法も開発されている。MIS-TKA は Mid-Vastus, Sub-Vastus, QS のいずれのアプローチを用いても美容的に優れていることや術後の疼痛を緩和できる長所ばかりでなく、早期の機能回復訓練や社会復帰が期待できる。しかし、一方で手術時間が長くなることや、learning curve が強いことなどの欠点も存在する。MIS-TKA は未だ完成された手術ではなく、今後、麻酔方法、手術方法、リハビリテーション等についても新たな開発が必要である。

Key words : 膝関節(knee joint), 人工膝関節置換術(total knee arthroplasty ; TKA), 最小侵襲手術(minimum invasive surgery ; MIS), リハビリテーション(rehabilitation), 麻酔(anesthesia)

はじめに

人工膝関節置換術(TKA)は極めて安定した成績が得られる手術法であり、高度の変形を伴う変形性膝関節症(OA)や関節リウマチ(RA)に対して、現在では必要不可欠な手術法になっている。しかし、大きな皮膚切開や広範囲に及ぶ大腿四頭筋の展開を要し、高齢者に対する手術としては、侵襲が大きいことが欠点の1つであった。近年、この TKA をできるだけ低侵襲で行う方法として、MIS(minimum invasive surgery)-TKA が開発された^{1)~5)}。MIS-TKA は美容的に優れていることや術後の疼痛を緩和できる長所ばかりでなく、早期の機能回復訓練や社会復帰が期待できる。しかし、一方で手術時間が長くなることや、learning curve が強いことなどの欠点も存在す

る^{6)~8)}。本稿ではこの MIS-TKA の長所と欠点を検討し、術後のリハビリテーション(以下、リハ)について解説する。

MIS-TKA の手術方法

MIS-TKA は従来の TKA に比べ手術侵襲をできるだけ小さくすることが目的である。しかし、実際に挿入する人工膝関節のコンポーネントそのものの大きさや形は従来のものとほぼ同じであり、骨切りや人工膝関節の挿入手技自体の手術侵襲を小さくすることはできない。したがって、従来の TKA との最も大きな相違点は、皮膚切開を小さくすることと大腿四頭筋に対する侵襲をできるだけ抑えることである。さらに MIS-TKA の長所を最大限生かすべく、早期のリハが可能な麻酔方法も開発されている。

1. 麻酔方法

通常の全身麻酔でも手術はもちろん可能であるが、麻酔に工夫を凝らすことにより、より早期のリハが可能となる。まず、電気刺激装置またはエ

*¹ Hideo MATSUMOTO, 〒160-8582 東京都新宿区信濃町 35 慶應義塾大学スポーツ医学総合センター, 教授

*² Jun IWAMOTO, 同センター

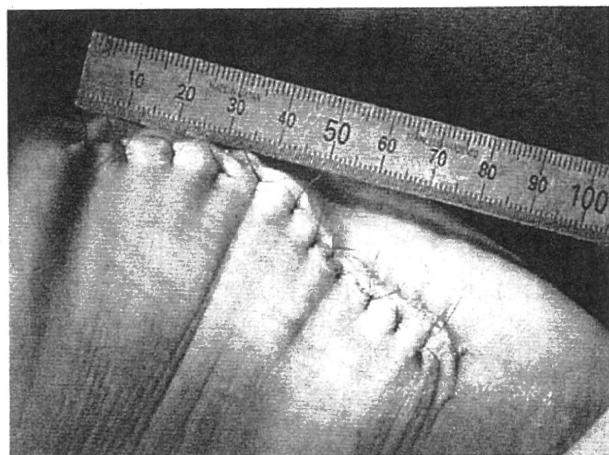


図 1. 皮膚切開

通常のTKAと同様の傍膝蓋内側皮切であるが、皮切長は約7~10 cmである。

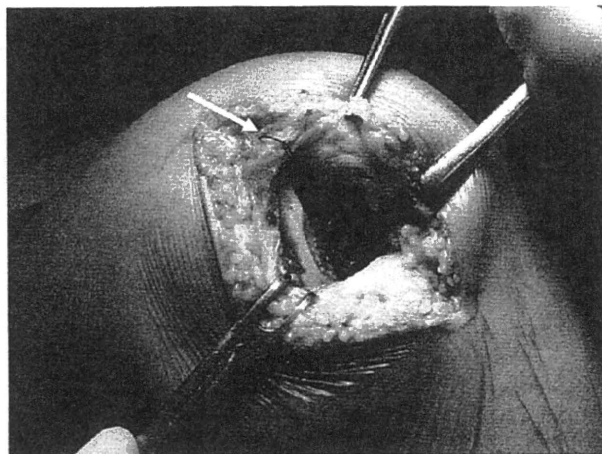


図 2. Mini mid-vastus アプローチ

術中に内側広筋が裂けることがあることが欠点である。

コーを用いて大腿神経と坐骨神経を同定し、それぞれの神経ブロックを行った後、カテーテルを留置する。これにより、患肢の運動神経をある程度残したまま、知覚神経を遮断することができる。さらに術中は腰椎麻酔または硬膜外麻酔、必要により全身麻酔を追加し、必要によりセデーションを行う。術後2日間はカテーテルから麻酔薬を注入することにより鎮痛を行う。運動神経はほとんど遮断されないため、除痛が得られた状態で、術直後からのリハビリが可能になる。

2. 皮膚切開

皮膚切開は通常のTKAと同様に傍膝蓋内側皮切を用いる。しかし、一般のTKAでは皮切長が12~20 cm程度であるのに対し、MIS-TKAでは膝蓋骨の上縁付近から関節裂隙の末梢2 cm程度まで、約7~10 cmである(図1)。

3. 大腿四頭筋の展開

内側関節包の切開は通常のTKAと同様に皮切の直下で行うが、その中枢部で大腿四頭筋に如何に侵襲を加えずに膝関節を展開するかがMIS-TKAの重要なポイントである。同じMIS-TKAでも大腿四頭筋への様々なアプローチが開発されている。それぞれ展開に長所と欠点があるが、どのアプローチを選択するかは変形の程度、術中必要な処置や使用する機種などによっても異なる。

1) Mid-vastus アプローチ

通常のTKAで用いるmid-vastusアプローチと同様、内側関節包を内側広筋の大腿直筋付着部

まで展開し、ここからさらに内側広筋筋腹の線維の走行方向に沿って展開する。通常のTKAでは内側広筋の展開は数cm必要であるが、MIS-TKAでは2 cm程度で良い(mini mid-vastusアプローチと呼ばれる)。内側広筋そのものを展開するため、ある程度、筋組織の損傷が避けられないことと、術中に内側広筋が裂けることがあることが欠点であるが(図2)、わずかな展開で、比較的良好な視野が得られるのが長所である。Mini mid-vastusのほうがmini sub-vastusに比べ、同じだけの膝蓋骨の外側へのシフト量を得るための切開は小さくて済む。また、その際に筋膜をできるだけ温存すると、その後の手術操作中に内側広筋がさらに裂けるのを予防できる。

2) Sub-vastus アプローチ

通常のsub-vastusアプローチと同様、内側関節包の切開を内側広筋筋腹下縁に沿って後方に展開する。通常のTKAよりは切開が小さくて済むが(mini sub-vastusアプローチと呼ばれる)、mini mid-vastusに比べると膝蓋骨の外側へのシフト量は少ない。しかし、内側広筋の筋線維そのものには手術操作を加えないため、筋組織の損傷は小さい。特にMIS-TKA用に開発された内側広筋の下縁を持ち上げて、関節包は大腿直筋のすぐ内縁から進入する方法(sub-rectus approachと命名されている)は侵襲が小さいわりに良い展開が得られ、膝蓋骨を外側に反転する必要のないMIS-TKAでは極めて有用な展開方法である⁹⁾。

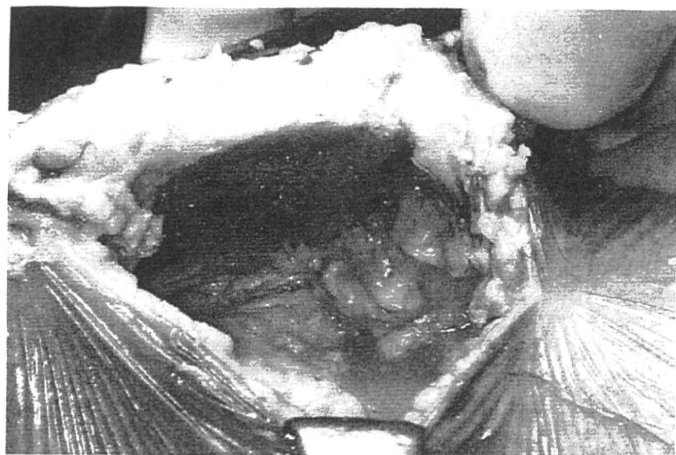


図 3. Quadriceps sparing アプローチ
大腿四頭筋には切開を加えずに行う方法であるが、術野が極めて狭い。

3) Quadriceps-sparing(QS)アプローチ

QSは、内側広筋の大腿直筋付着部より末梢部の関節包を切開した後、大腿四頭筋には切開を加えずに行う方法である(図3)。QSで術野の十分な展開が可能であれば、手術侵襲は最も小さいが、解剖学的にQSが可能な症例は少ない。これは内側広筋の付着部位に様々なタイプがあるためで、内側広筋が遠位に付着するものでは膝蓋骨の中央部付近にまで及ぶものもあり、これを切開しないと関節内の十分な手術操作ができない。このような症例では、はじめから mini mid-vastus または mini sub-vastus で展開する必要がある。特に日本人は欧米人に比べ、内側広筋が末梢、すなわち膝蓋骨中央部にまで付着していることが多く、QSの適応は欧米人よりも限られる。渡邊らはMD-CTを用いた研究で、日本人の85%は内側広筋が膝蓋骨に付着していると報告している¹⁰⁾。また、我々の検討でもQSのアプローチで最後まで手術が可能であったのは、わずか10%であった。したがって、関節包を切開した段階で十分な展開が得られない場合には、QSにこだわらず、mid-vastus または sub-vastus で展開する必要がある。

4) その他のアプローチ

以上のアプローチの他、通常の大腿直筋と内側広筋間をある程度切開して関節内に進入する方法も行われている。また、外側型OAやRAなどに対して、外側傍膝蓋皮切で進入し、外側関節包を展開する方法も考案されているが、症例は少ない。

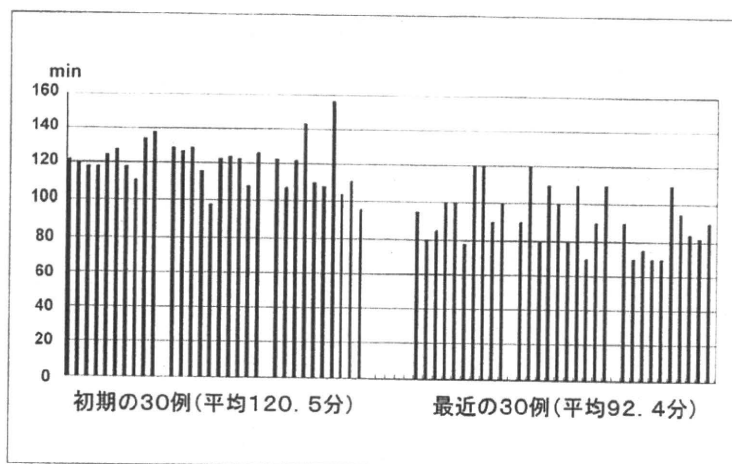


図 4. Learning curve(手術時間)
初期の30例では最近の30例に比べ、より長い手術時間を要した。

MIS-TKAの長所

これまでのTKAは大腿四頭筋への侵襲が大きく、これが術後の機能回復訓練のスケジュールに大きく影響してきた。したがって、この大腿四頭筋への侵襲を最小限に抑えられれば、術後の疼痛を緩和できるばかりでなく、早期の機能回復訓練や社会復帰が可能になる。MIS-TKAはmid-vastus, sub-vastus, QSのいずれのアプローチを用いても、通常のTKAに比べて大腿四頭筋への侵襲が明らかに小さい。特にQSが可能な症例では、大腿四頭筋には全く侵襲を加えずに済む。このため、MIS-TKAで従来のTKAと同等の手術成績を得ることができれば、疼痛軽減に極めて有利であり、患者にとっても極めて有意義である。また術後の疼痛が緩和されるばかりでなく、術翌日からSLRが可能な症例が多く早期のリハビリに極めて有利である。特に、麻酔方法として大腿神経ブロックと坐骨神経ブロックを併用すると、術直後から運動神経はほとんど遮断されない状態で除痛が得られるので、早期のリハビリが可能になる。

さらに、皮切長は従来のTKAに比べて、約1/2である。TKAの適応は女性に圧倒的に多いため、美容上の問題も無視できない。また、皮膚切開が小さいことにより、術直後の疼痛を緩和できるため、早期のリハビリに有利である。