

TKA(Total Knee Arthroplasty; 全人工膝関節形成術)後の膝関節における
単純X線膝関節正面位撮影方法の検討大坂麻耶¹ 豊田宏典¹ 東堂剛三¹ 高橋滋²

Key Word: TKA(Total Knee Arthroplasty), 正面位膝関節, 脛骨前縁

要 約

TKA後の経過観察のため、膝関節の単純X線撮影が増えている。一方、当院の撮影方法が確立されておらず、これまでのX線画像では、評価に影響を与えていた可能性がある。そこで、当院TKA後の膝関節正面位の撮影方法を確立するため、脛骨前縁に対する最適なX線入射角度を検討した。

健常関節では、X線が脛骨上関節面に接線入射するよう、脛骨軸に対して頭側から10°斜入射する撮影方法が広く用いられている。これに基づき、脛骨前縁に対するインプラント境界面の後傾角を計測した。対象は、当院でTKAを施行した93関節の膝側面像とした。後傾角は正規性を認め、平均値及び標準誤差は $5.2 \pm 0.2^\circ$ であった。当院使用のX線管球の表示角度が整数であることから、最適なX線入射角度は 5° であると示唆された。また、健常関節の後傾角の正規性が乏しいことから、後傾角の分だけX線を斜入射させる撮影方法において、TKA後は、健常時より求められる正面像を十分に描出できると考えられる。よって、 5° 斜入射する撮影方法は、有用であることが示唆された。

Abstract

Plain X-ray photography in knee joints after TKA has increased due to observation. The photography in our hospital, however, has never decided, therefore X-ray photography could affect observation. Most suitable angle of X-ray to anterior margin of tibia was considered, so that the photography of knee joints in front position after TKA in our hospital is established. In healthy joints, the photography is widely used, that X-ray inclined 10 degrees from cranial to axis of tibia enter knee joint. Following this, the interface of implant to anterior margin of tibia was measured. The target was 93 photographs in lateral position, done TKA in

our hospital. The angle recognized normality, and average and standard error was 5.2 ± 0.2 degrees. X-ray tubes of our hospital show the angle of the tube by natural number, therefore it was suggested that the most suitable angle of X-ray was 5 degrees. Additionally, joints after TKA are suggested that they describe the image demanded in front position well than healthy joints, because it is poor, normality in the angle in healthy joints. It, therefore, was suggested that the photography inclined 5 degrees was useful.

はじめに

近年、osteoarthritis(OA; 変形性膝関節症)の罹患者の増加に伴い、治療法の一つであるTKAが増加している¹⁾。術後の経過状態は、膝関節単純X線画像を用いて骨と金属の接合部、周辺骨及び、関節面について評価される²⁾。そのため、X線画像は、十分に評価を行える画像でなければならない。

一方、TKAに用いられるインプラントあるいは術式が多様で、医師または病院ごとに異なる。そのため、全国的に統一されたTKA後の撮影方法の確立は難しく、学術検討は少ない。当院においても確立されておらず、多くが健常関節と同様の方法で撮影されている。これまでの撮影方法では、術後評価に影響を与えるX線画像になっていた可能性がある。

そこで、当院TKA後の膝関節単純X線撮影のうち、正面位における撮影方法を確立することを目的とした。

I 対象・方法

1. 健常な膝関節

撮影方法は、健常な膝関節の撮影方法に倣った。健常関節における正面位画像で、診察に必要な項目及びそれを

満たすための撮影方法を整理する。

(1) 左右対称性

大腿骨、脛骨及び、膝蓋骨のそれぞれ左右の距離が、等しく描出される必要がある。一般に、膝蓋骨が大腿骨の中央に位置するように内旋させる³⁾。第4足指を中心にするのでおおよそ対称性を満足する経験から、当院では、第4足指と踵を結ぶ直線をカセットに垂直にしている。

(2) 広く描出される関節腔

関節腔を広く描出するには、関節構成部にX線が接線入射する必要がある。大腿骨遠位端は楕円形であるため、X線入射角によらず、接線像として描出される⁴⁾。一方脛骨近位端は、X線入射角度に依存して関節腔が狭く見え得る。そのため、脛骨上関節面に沿ってX線を入射させる必要がある。健常関節において、脛骨上関節面は脛骨軸に対して10°後傾している^{2,3,4,5)}。したがって、一般に、脛骨上関節面がカセット面に対して10°下に傾くように下腿を伸展させ、カセットに垂直にX線を入射させる³⁾。あるいは、膝関節下に適当な枕を入れて、X線をカセットに垂直に入射させる⁵⁾。仰臥位での自然伸展位で、下腿がおおよそ10°下に傾く経験から、当院では下腿を自然伸展位にさせ、X線をカセットに垂直に入射させている。

2. TKA後の膝関節

健常関節と同様、正面位画像で求められることを整理する。

(1) 左右対称性

当院の手術では、第2足指を正面として人工関節が挿入される。したがって、第2足指と踵を結ぶ直線をカセットに垂直にする必要がある。

(2) 術後評価に適切な接線像

大腿骨側は、前後のインプラント接合面が重なって描出されるため、正面位での接合面評価は行われない。ゆえに、あらゆるX線入射角を認める²⁾。一方、脛骨側は正面位で接合面を評価できるため、インプラント境界面及び関節面を接線像として投影する必要がある²⁾。したがって、健常時と同様に脛骨軸に対する後傾角を求め、その角度だけX線を傾けて入射する方法がよい。ただし、脛骨軸を客観的に特定するのは難しいため、今回考案する新しい撮影方法(以下、新法)は脛骨前縁を基準にした。

3. 後傾角の計測

対象は、当院TKA後で、2017年4月1日から2018年7月30日までの間に経過観察を目的に撮影された93関節の膝側面位単純X線画像とした。当院は、富士通のDr ABLE-GX®のRadiology Information System(RIS; 放射線科情報システム)を用いている。Digital Imaging and Communications in Medicine(DICOM)画像をモニタ(EIZO社製Radiforce GX240®)に表示し、RISツールのひとつである角度計を用い角度計測を行った。このツールは、任意の2直線が成す角度を小数点以下第一位まで表示する機能を持っている。まず、脛骨前縁とインプラント境界面の2つに直線を引いた。脛骨前縁は、Fig 1に示すように、脛骨粗面直下の位置

を通り、側面位画像において骨の前縁におおよそ沿う直線と定義した。インプラント境界面は、インプラントと骨の境界面と定義した。しかし、側面性の損失により境界面の判定に揺らぎが生じることから、一度引いた直線をインプラント上縁に平行移動し、同様に直線度を保つことを確認した。直線度が悪いと測定者が判断した場合、上下の面を交互に確認し、両面のずれが最も小さいと推測される位置に直線を引き直した。そして、角度計によって表示された値(以下、 α°)を記録した。求める後傾角(以下、 χ°)は、脛骨前縁に対する垂線とインプラント境界面がなす角度である(1式)。

$$\chi = 90 - \alpha \quad (1)$$

1枚のX線画像につき χ° を3回測定し、その平均値、すなわち対象画像の後傾角に相当する角度を算出した。さらに、同一関節の異なる2枚の側面像に対しても同様に計測した。経年性の歪みなどの変化により、接合面を誤って捉える可能性を避けるため、術後近日の画像とした。ただし、側面性がひどく失われているために、インプラント境界面を誤って捉える可能性があるため計測者が判断した場合は、対象画像を変更した。そして、3枚の角度の平均値、すなわち対象関節の後傾角に相当する角度を算出した。

II 結 果

対象画像及び関節の計測は3回と少ないため、誤差における正規性の検定は困難であった。そこで、当院使用のX線管球の角度が整数で表示されるから、1.0未満を有効として計算したところ、全データが有効であった。対象関節の後傾角のヒストグラムをFig. 2に示す。後傾角は、四捨五入して0-11°となる範囲において正規性を認めた。対象の93関節でなく、母集団すなわち全TKA患者について算出するため、有意に大きい角度の2関節を除いた91関節の平均値を求めた。その算術平均値±標準誤差は、 $5.2 \pm 0.2^\circ$ であった。

管球角度が整数で表示されるから、最適なX線入射角度は 5.2° に最も近い整数値の 5° とわかった。

III 考 察

1. 脛骨前縁と脛骨軸

本研究では、撮影方法は脛骨前縁を基準にしたが、健常な膝関節では、脛骨軸が基準である。そこで、脛骨前縁を基準にすることの有用性を検討した。

後傾角の計測と同様、対象関節の膝側面位画像及び角度計測ツールを用いて、脛骨前縁と脛骨軸が成す角度を算出した。脛骨軸は、後述する通りに定義し、統一した。まず、脛骨粗面直下及び画像上でそこから70mm遠位側の2点を選んだ。70mmは、出来る限り脛骨粗面直下から遠く、かつ膝関節面がカセット中心と多少のずれがあってもカセット内に描出される範囲であることから、選ばれた値である。管球受像面間距離及び被写体受像面間距離に起因する拡大率の把握は不可能であったため、モニタに表示する際の拡大率のみを一致させた。そして、それぞれの

位置における前後径の中点を通る直線を、脛骨軸とした。TKA前はX線画像がない4関節を除く89関節について、TKA後は93関節について計測した。それらの算術平均値±標準誤差は、前者が $2.8 \pm 0.1^\circ$ 、後者が $2.7 \pm 0.1^\circ$ であった(Fig. 3(a)(b))。両結果において、正規性は認められなかった。

先行研究より、脛骨前縁と脛骨軸が成す角度は 3° とわかっている⁶⁾。ただし、脛骨前縁及び脛骨軸の定義が明示されていないため、結果に大きな揺らぎがあると考えられる。有効桁数及び定義が異なるが、TKA直前すなわちOAの状態及びTKA後の、健常時に対する変動率は、それぞれ93%、90%であった。

以上より、脛骨および膝関節の様態に関わらず、脛骨軸と脛骨前縁が成す角度は大きく変動しないから、脛骨軸の代わりに脛骨前縁を基準にした撮影方法は有用であると考えられる。

2. 新法の精度

対象画像の後傾角を計測したときの標準誤差を、Fig. 4(a)に示す。最頻値は 0.2° で、単純な個人誤差が主な原因であると考えられる。大きな誤差は、側面性が低い画像においてインプラント境界面を正しく捉えられなかったことが考えられる。また、対象関節の後傾角を計測したときの標準誤差を、Fig. 4(b)に示す。最頻値は、 0.2° である。計測対象の3枚の画像間で、脛骨前縁あるいはインプラント面の見え方に差があったことが考えられる。計測誤差の要因になる計測ツールは、 0.1° 未満の誤差であると推測される。これらは、最大値が大きいものの、全体は0に非常に近い値であった。よって、本計測は精度良く行えたと言える。

管球の角度計は、 1° 未満の誤差と推測される。これから当院で新法を運用する際、カセットと脛骨前縁が成す角度を角度計で計測する予定である。そして、脛骨前縁とカセットの角度及び後傾角から決定した角度に、X線を傾けて入射させる。このとき、当院で使用する角度計の誤差は、最大で 0.5° である。誤差の伝搬は(2)式より、新法は 1.1° 未満の誤差内に担保される。

$$\sqrt{0.5^2+1.0^2}=\sqrt{1.25} \sim 1.08(2)$$

3. 後傾角の揺らぎ

後傾角は、他の多くの研究をまとめて、 $7-13^\circ$ の幅を持って 10° に収束すると言われる^{2,4)}。本研究において、正規分布に対して94.45%を含む範囲である 2σ の範囲を算出したところ、 $1-9^\circ$ で、平均値からの幅は健常関節より両側 1° ずつ大きい。しかし、 $7-13^\circ$ は総合的な値で、本研究での標準偏差と単純に比較することはできない。

そこで、本研究の対象関節のうちTKA直前の89関節に対し、後傾角の計測を行った(Fig. 5)。この結果に正規性は認められなかった。当院では、大腿骨遠位及び脛骨近位が各々の骨軸に対して垂直になるように切除する。そのため、関節の形状のバラツキは元の個体差によるものより小さくなり、TKA後を対象とした本研究において、正

規性が認められたと考える。正規性が認められる事象は、認められない事象よりバラツキが小さいことは自明である。したがって、後傾角の平均値の分だけX線を傾けて入射させる撮影方法において、TKA後は、健常時より求められる正面像を十分に描出できると考えられる。

健常関節では、平均から大きく外れた後傾角がある⁴⁾。これらは、 10° 傾ける方法を適応した場合において、関節等の描出が不良で、診断に不十分な画像になる傾向がある。このとき、診断に適切な画像を得られるまで、個人の後傾角に合ったX線入射角度で撮影し直す必要がある。また、TKA後においても正規分布から外れる有意に大きな後傾角があることがわかった。これらは健常関節と同様、角度を変更して再撮影される必要が生じる。本研究の目的は、汎用性の高い撮影方法の確立であるから、再撮影が必要になる症例がわずかに存在することは、この目的を大きく逸脱しない。

IV 結 論

当院TKA後の膝関節において、インプラント境界面は脛骨前縁に対して $5.2 \pm 0.2^\circ$ 後傾していることが明らかになった。当院TKA後の正面位撮影について、X線を脛骨前縁に対して 5° 後傾させる、すなわち頭側から 5° 傾けて入射させると、インプラント境界面が接線像に投影されると示唆された。したがって、新法は、術後評価を適切に行える画像を得られる方法であると示唆された。

本研究は、平成30年度旭川放射線技師会会員研究発表会(旭川市)にて発表した。

文 献

- 1) 川口浩, 村木重之, 岡敬之, 他: 変形性膝関節症の大規模臨床統合データベースの構築と、これを用いた観察疫学・ゲノム疫学研究, 日本整形外科学会雑誌, 82(2), 2008.
- 2) 安藤英次: 診療放射線技師が知っておきたいTKAのX線撮影その2(立位による荷重撮影のTKA正面像について), INNERVISION, 90, 11, 2016.
- 3) 金森勇雄: (診療画像検査法)X線撮影法膝蓋骨, (株)医療科学社, 308, 2013.
- 4) 香月伸介: 膝関節の痛みについて考える(前編), 北海道放射線技師会々報, 52, 2018.
- 5) 小田敏弘, 土井司, 安藤英次: 放射線技術学シリーズ X線撮影技術学(改訂2版), (株)オーム社, 268, 2014.
- 6) 後藤敏文: X線単純撮影, 整形外科領域の撮影と読影, The News of The Sapporo Association of Radiological Technologists, 55 (9), 2014.



Fig.1 脛骨前縁の定義

脛骨粗面直下を通り、骨の前縁に沿うような直線である。左膝関節の場合、右肩上がりに直線が引かれる。

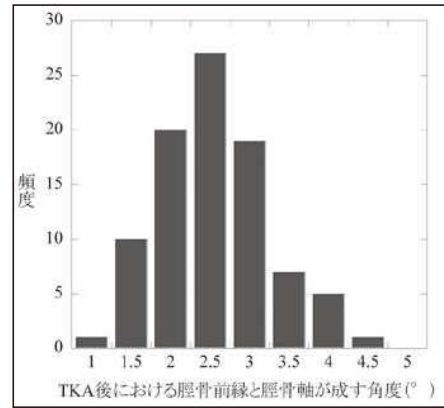


Fig.3 脛骨前縁と脛骨軸が成す角度のヒストグラム (b)TKA後

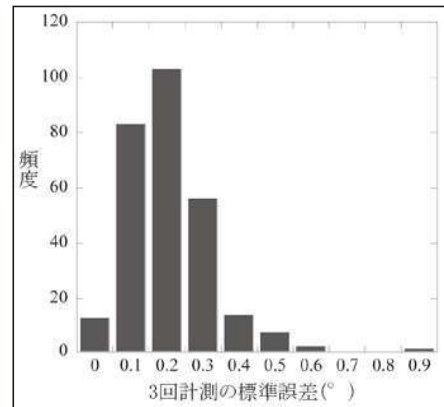


Fig.4 標準誤差のヒストグラム (a)対象画像の標準誤差

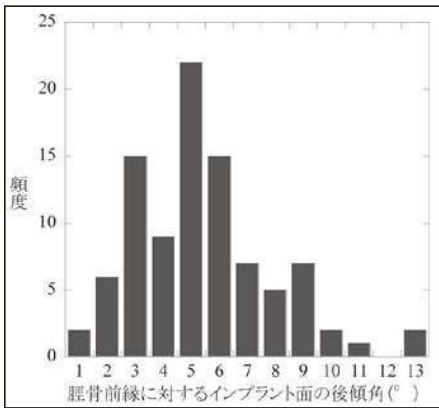


Fig.2 後傾角のヒストグラム

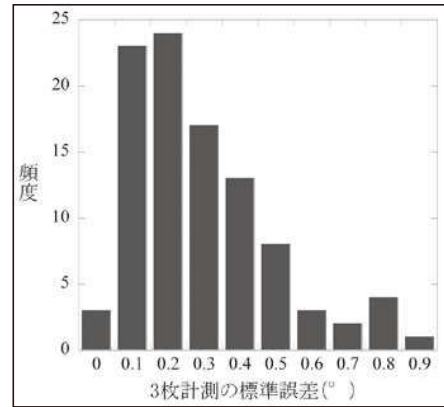


Fig.4 標準誤差のヒストグラム (b)対象関節の標準誤差

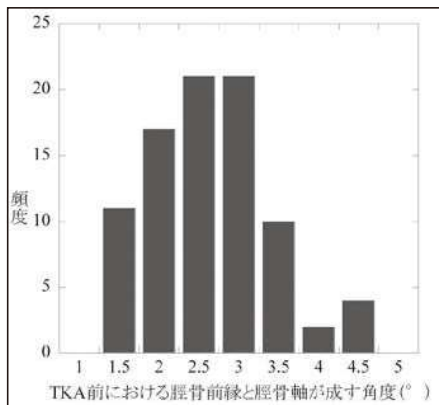


Fig.3 脛骨前縁と脛骨軸が成す角度のヒストグラム (a)TKA前

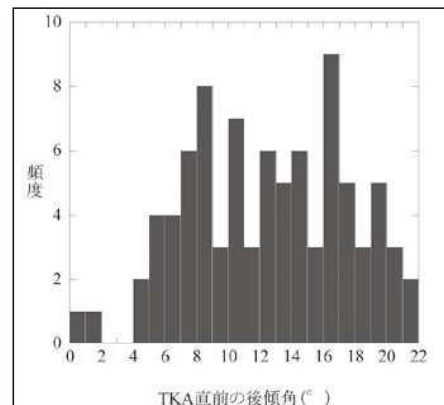


Fig.5 TKA直前の後傾角のヒストグラム