

両脚立位膝関節側面X線撮影の至適撮影角度の検討

Examination of the optimal imaging angle for lateral X-rays of the knee joint in a biling standing position

堀川 良太^{1)*}, 清水 裕也²⁾, 北野 翔馬²⁾, 鈴木 友博²⁾, 安部 俊²⁾

1) 国立研究開発法人国立長寿医療研究センター 脳機能画像診断開発部

2) 国立研究開発法人国立長寿医療研究センター 放射線診療部

Key words: knee osteoarthritis, knee joint lateral X-rays

【Abstract】

This study aimed to determine the optimum imaging angle suitable for lateral radiography of the knee joint in a standing position with both legs. The femoral rotation angle for knee rotation correction was determined from the knee joint X-ray computed tomography image as the corrected angle of limb position. Next, the X-ray incidence angle for abduction correction was determined from the frontal X-ray image of the knee joint in a standing position with both legs. As a result, the inward femoral rotation angle was 84.6 degrees. The X-ray incidence angle was 3.2 degrees in the cephalocaudal direction when aligned with the supratibial articular line, and 5.4 degrees in the cephalocaudal direction when aligned with the intra-external subcondylar edge line of the femur. This study clarified the optimum imaging angle for lateral X-ray photography of the knee joint in a standing position with both legs.

【要 旨】

本研究は、両脚立位による膝関節側面X線撮影に適した撮影角度を求めることを目的とした。撮影肢位の補正角として、膝関節X線Computed Tomography画像から膝の回旋補正のための大腿骨回転角度を求めた。次に両脚立位膝関節正面X線画像から外転補正のためのX線入射角度を求めた。その結果、適切な側面画像が得られる内側への大腿骨回旋角度は84.6度であった。X線入射角度を脛骨上関節線に合わせる場合は頭尾方向に3.2度、大腿骨内外顆下縁線に合わせる場合は頭尾方向に5.4度であった。本研究により、両脚立位による膝関節側面X線撮影に適した撮影角度が明らかになった。

緒 言

高齢社会において「立つ」「歩く」機能が低下する運動器障害（locomotive syndrome（以下、ロコモ））の評価をする上でX線撮影は必須であり、そのロコモを評価するX線撮影は、臥位撮影ではなく立位撮影が求められる¹⁾。

荷重関節の運動器障害を引き起こす代表的な疾患として膝関節の変形性関節症：osteoarthritis（以下、膝OA）がある。膝OAの重症度分類や疾患の進行・経過においては、立位による膝関節X線撮影の正面画像を用いた評価がスタンダードとなっており、Kellgren Lawrence分類が広く用いられている。立位撮影の肢

位として伸展位と屈曲位があり、屈曲撮影の方が最小関節裂隙幅をより正確に評価できると考えられているが^{2,3)}、本研究は両脚自然立位での側面撮影の至適角度を求めるため伸展位の正面画像を基に研究を行った。

X線撮影は、X線Computed Tomography（以下、CT）やMagnetic Resonance Imaging検査より立位撮影が容易な検査として、関節裂隙の狭小化やアライメント変化の描出に優位とされている。また関節の2方向画像では正面撮影と同じ肢位での側面撮影が重要である³⁾。しかし、多くの施設では正面撮影を両脚起立の立位で撮影しているが、側面撮影は立位ではなく臥位撮影とする現状があり、立位撮影を採用している施設においても撮影肢位はさまざまである⁴⁾。

立位撮影の側面画像が求められる中で、大森らにより片脚起立膝関節側面X線撮影の検討⁵⁾が報告されているが、当センターでは安全性・再現性の観点から、正面と側面撮影で同じ肢位となる両脚立位を採用している（Fig.1）。

実際の両脚立位膝関節側面X線撮影（以下、立位側面撮影）は、両脚立位膝関節正面X線撮影（以下、立位正面撮影）を実施した後に身体を立位正面撮影の体位から横向きにし、Fig.2に示すようにX線受像器を

HORIKAWA Ryota^{1)*}, SHIMIZU Yuya²⁾,
KITANO Syoma²⁾, SUZUKI Tomohiro²⁾,
ABE Takashi²⁾

1) Department of Brain Function Imaging Development, National Center for Geriatrics and Gerontology

2) Department of Radiology, National Center for Geriatrics and Gerontology

* E-mail: horikawa.ryota.rc@mail.hosp.go.jp

Received July 26, 2024; accepted December 17, 2024

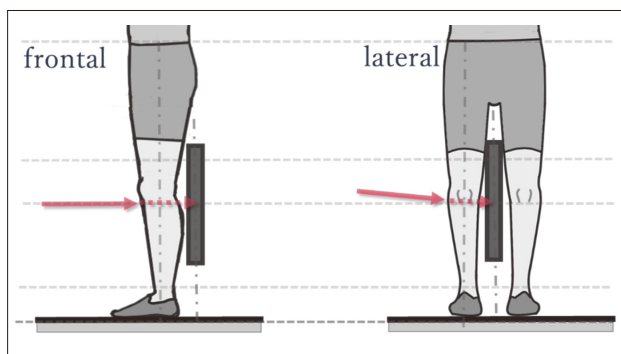


Fig.1 X-ray of knee joint in standing position with both legs

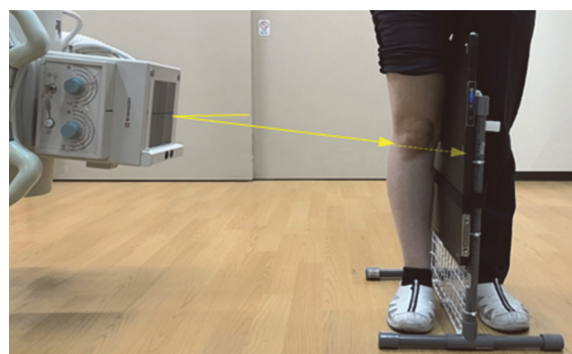


Fig.2 Lateral X-ray of knee joint in standing position with both legs

撮影補助具に設置した状態でX線受像器を挟むように両脚立位（自然立位）で、膝関節の外側から内側へX線を入射する。撮影補助具は日本診療放射線技師会の骨関節撮影分科会で紹介されているものである。

膝関節X線の側面画像は、Fig.3に示すように側面性として大腿骨遠位端の内顆と外顆の両顆部がそろい、脛骨上関節面（以下、脛骨平面）にX線束を接線入射させる必要がある³⁾。膝OAを対象とする臨床画像では、膝関節軟骨の減少などにより下腿骨および大腿骨の回旋などのアライメント異常が生じる⁶⁾。そのため側面撮影の側面性の整位には、Fig.4に示すように回旋方向と外転方向の2軸補正を考慮する必要がある。

本研究は、撮影技術としての立位側面撮影の整位の際の基礎資料として至適撮影角度を求めることを目的とした。

臥位における膝関節の側面撮影で必要とする補助具を提案するため、補正角度を安田らが報告している⁷⁾。しかし、立位撮影での側面肢位の整位に対する補正角度やX線入射角度についての報告はない。そこで当センターで実施した膝OAに対する臨床画像を用いて、立位側面撮影を撮影する際の回旋補正のための大腿骨回旋角度および外転補正のためのX線入射角度を測定し、その角度分布について明らかにしたので報告する。

膝OAと診断され膝関節X線CT検査を受けた73人74膝、および膝OAと診断され立位正面撮影を受けた366人498膝を対象とした。ただし、立位正面撮影を受けた人工膝関節置換術後は対象から除外した。



Fig.3 Lateral X-ray image of knee joint in standing position with both legs

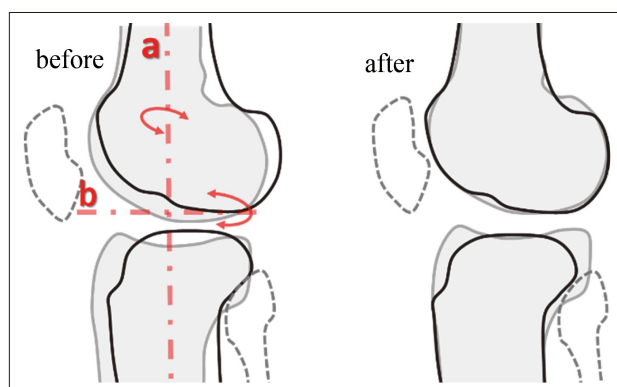


Fig.4 Correction of rotation and abduction
(a) Rotation shaft (b) Abduction shaft

方法

1. 大腿骨回旋補正

本計測に使用する画像は、当センターで膝OAと診断され膝関節X線CT検査を受けた男女74膝、平均年

齢 78.0 ± 6.5 歳（男性14膝、 77.6 ± 6.7 歳、女性60膝、 78.1 ± 6.5 歳）を対象とした（Table 1）。

対象となったX線CT画像より、側面肢位の大腿骨回旋補正のための大腿骨回旋角度を求めた。Fig.5に示す疑似X線画像の基準正面画像（A）は、X線CT画

Table 1 Femoral rotation correction

	Male (n=10)	Female (n=64)	Total (n=74)
Age, mean±SD	77.6±6.7	78.1±6.5	78.0±6.5

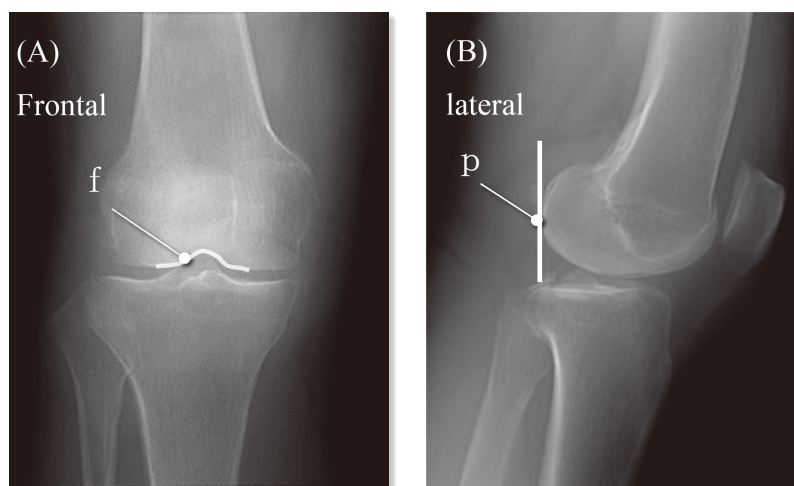


Fig.5 Ray Sum images
(f) Fossa intercondylaris (p) Posterior region

Table 2 Abduction correction of the tibiofemoral joint

	Male (n=129)	Female (n=369)	Total (n=498)
Age, mean±SD	77.3±9.9	78.6±8.8	78.3±9.1

像を3D-Work Station（以下、3D-WS）で画像処理したRay Summation（以下、Ray Sum）画像により大腿骨の顆間窩（f）が左右対称となるようにした。正面画像（A）から3D-WS上で回転させ、内顆・外顆（p）がそろった状態の側面画像（B）になるために必要な内側へ的大腿骨回転角度を求めた。得られた回転角度を実際の立位側面撮影での大腿骨の回旋補正角度とした。X線CT装置はAquilion ONE TSX-305A, Aquilion CXL64（キヤノンメディカルシステムズ、栃木）、3D-WSはZiostation2（ザイオソフト、東京）を使用した。

2. 脛骨大腿関節の外転補正

本計測に使用する画像は、当センターで膝OAと診断され立位正面撮影を受けた男女498膝、平均年齢78.3±9.1歳（男性129膝、77.3±9.9歳、女性369膝、78.6±8.8歳）を対象とした（Table 2）。X線撮影装置システムはRADspeed Safire（島津製作所、京都）、CALNEO U（富士フイルムメディカル、東京）を使用した。

2-1 脛骨平面にX線を接線入射する角度の計測

Fig.6のように、正面画像（C）から脛骨平面の外顆上端部中点（a）と内顆下端部中点（b）を結ぶ線（脛骨平面ライン）と、床面（c）とが成す角度を計測した。脛骨平面ラインが床面に平行な場合を0度として、内顆よ

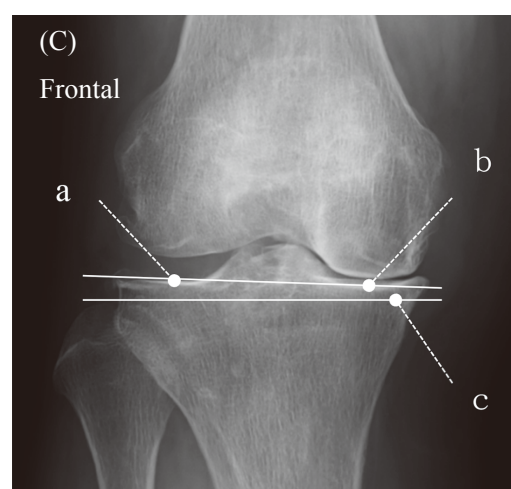


Fig.6 Tibial plane line

(a) Midpoint of the upper end of the lateral condyle
(b) Midpoint of upper end of medial condyle
(c) Floor surface line

り外顆の方が高い位置にある場合を正の角度、外顆より内顆の方が高い位置にある場合を負の角度とした。

2-2 大腿骨内外顆下縁にX線を接線入射する角度の計測

Fig.7のように、正面画像(D)では大腿骨内顆・外顆の下端部の2点(d)を結ぶ線(大腿骨内外顆下縁ライン)と、床面(e)とが成す角度(Fig.5)を計測した。大腿骨内外顆下縁ラインが床面(e)に平行な場合を0度、内顆より外顆の方が高い位置にある場合を正の角度、外顆より内顆の方が高い位置にある場合を負の角度とした。

3. 倫理的配慮

本研究は、国立研究開発法人国立長寿医療研究セン

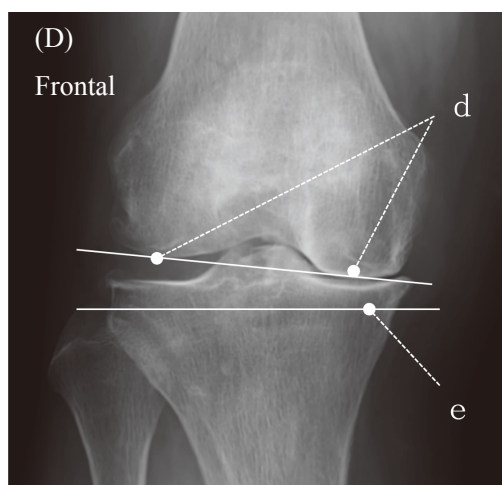


Fig.7 Lower edge line of medial and lateral femoral condyles

(d) Midpoint of the lower end of both femoral condyles
(e) Floor surface line

ター倫理・利益相反委員会の承認(受付番号1789)を受け実施した。

結果

1. 大腿骨回旋補正

膝関節X線CTのRay Sum画像から求めた基準正面画像より適切な側面画像が得られる内側への大腿骨回転角度は、男性 86.1 ± 2.1 度、女性 84.6 ± 3.3 度で男女total 84.6 ± 3.3 度であった(Fig.8)。得られた3D-WS上での内側への大腿骨回転角度を大腿骨回旋補正角度とした。

2. 脛骨大腿関節の外転補正

2-1 脛骨平面にX線を接線入射する角度の計測

両脚立位膝関節正面X線画像から求めた脛骨平面ラインと床面とが成す角は、男性 4.6 ± 2.7 度、女性 2.8 ± 3.2 度、男女total 3.2 ± 3.2 度であった(Fig.9)。得られた脛骨平面ラインと床面とが成す角を、脛骨平面にX線を接線入射する際の脛骨大腿関節の外転補正角度とした。

2-2 大腿骨内外顆下縁にX線を接線入射する角度の計測

両脚立位膝関節正面X線画像から求めた大腿骨内外顆下縁ラインと床面とが成す角は、男性 5.8 度 ± 3.0 度、女性 5.3 ± 2.8 度で男女total 5.4 ± 2.9 度であった(Fig.10)。得られた大腿骨内外顆下縁ラインと床面とが成す角を、大腿骨内外顆下縁にX線を接線入射する際の脛骨大腿関節の外転補正角度とした。

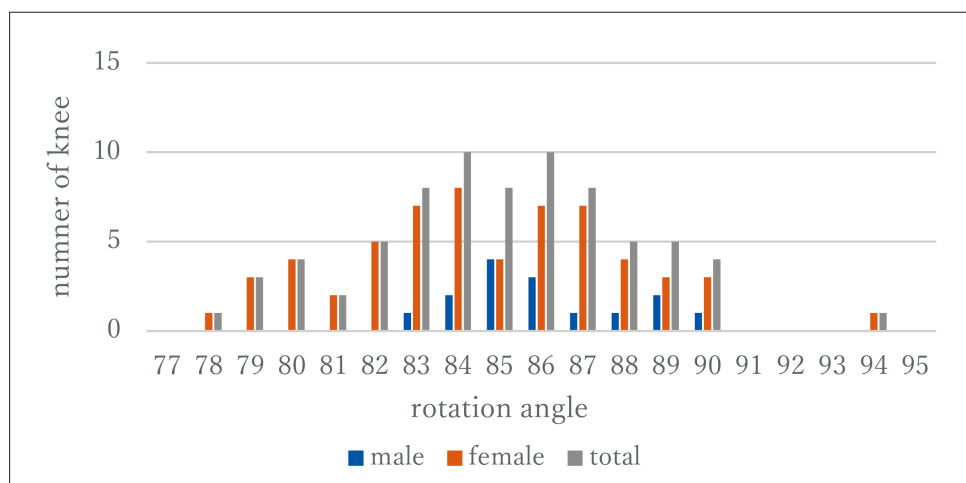


Fig.8 Femoral rotation angle

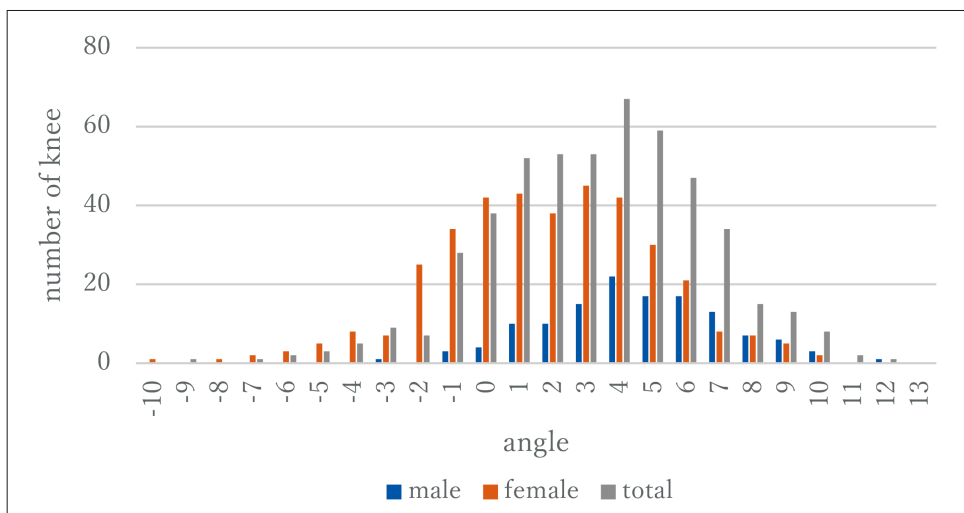


Fig.9 Angle between supratibial joint line and floor

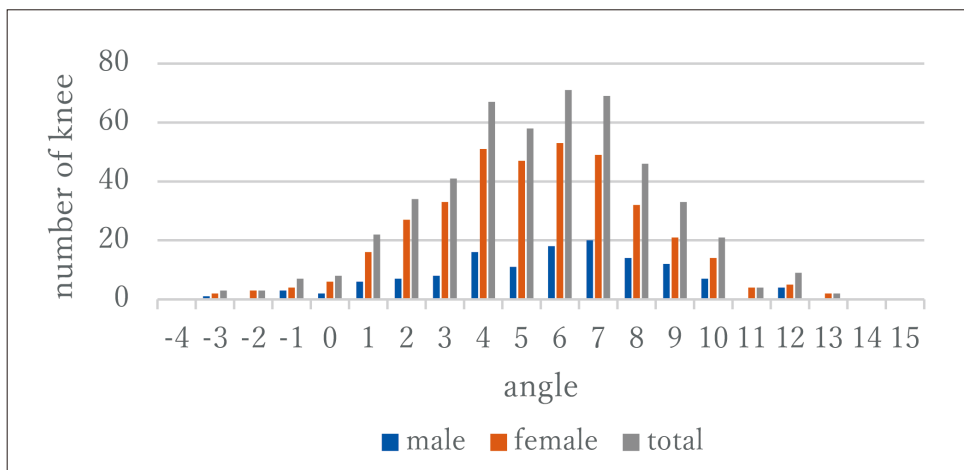


Fig.10 Angle between the lower edge line of medial and lateral femoral condyles and floor

考 察

膝関節は荷重関節であり、OA変性により関節裂隙の狭小化や下肢アライメント変化⁸⁾を伴うため、膝関節側面撮影は診療放射線技師（以下、技師）を悩ませる撮影の一つである^{7,9)}。当センターでは、膝関節立位撮影の側面肢位は片脚立位と両脚立位に分かれる中で、高齢者に優しく安全な肢位としてFig.1に示す自然位の両脚立位を採用している。この肢位における正確な立位側面画像を整位するための、大腿骨の回旋および脛骨大腿関節の外転補正のための角度を測定し求めた。

側面性を補正する大腿骨回旋補正については、基準正面画像が得られた正面肢位より適切な側面画像が得られる内側への大腿骨回旋角度は平均で84.6度であった。基準正面画像が得られた正面肢位から90度で

はなく、84.6度で大腿骨内顆外顆の後縁がそろった画像となる。適切な側面画像が得られる内側への大腿骨回旋角度は、Fig.6のように男女差は1.5度であることから、男女で撮影角度を変える必要はないと考える。男女共に同じ84.6度を回旋補正角度として提案したい。

脛骨大腿関節へのX線入射角となる外転補正であるが、脛骨平面ラインに接線に入射する場合が男女totalで平均3.2度、大腿骨内外顆下縁ラインに接線入射する場合が男女totalで平均5.3度と、2.1度の差が生じていたが、内反型膝OAの影響を受けていると思われる¹⁰⁾。

脛骨平面ラインに接線に入射する場合が男女totalで 3.2 ± 3.2 度、大腿骨内外顆下縁ラインに接線入射する場合が男女totalで 5.4 ± 2.9 度とバラツキを持っていた。このバラツキには男女差や個人差、膝

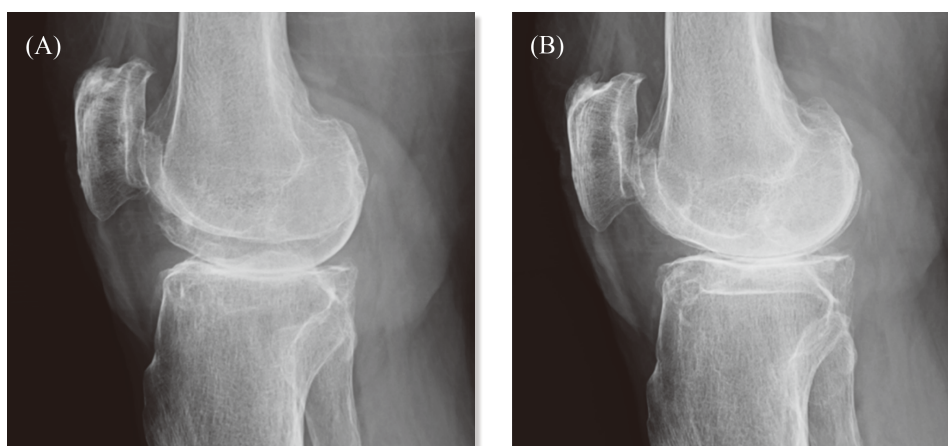


Fig.11 Lateral image with abduction correction

(A) Tangential incidence to the tibial plane line

(B) Tangent to the lower border of the medial and lateral condyle of the femur incident

OAの疾患の進行程度による差が含まれていると考えられる。

男女差は、脛骨平面ラインに接線に入射する場合で男性 4.6 ± 2.7 度、女性 2.8 ± 3.2 度と平均 1.8 度の違い、大腿骨内外顆下縁ラインに接線入射する場合で男性 5.8 ± 3.0 度、女性 5.3 ± 2.8 度と平均 0.5 度の違いでしかなかった。男女で撮影角度を変えると煩雑であり、男女で同じ外転補正角度を利用した方が合理的と考えられる。立位正面画像を参考にする方法も考えられるが毎回行うと煩雑である。よって最も成功確率が高いであろう脛骨平面ラインに接線に入射する場合の外転補正角度として頭尾方向に 3.2 度を、大腿骨内外顆下縁ラインに接線に入射する場合の外転補正角度として頭尾方向に 5.4 度を提案したい。X線を脛骨平面ラインに接線に入射するか (Fig.11A)、大腿骨内外顆下縁ラインに接線に入射するか (Fig.11B) は施設により判断が異なると考えられるため、両方について適している外転補正角度を提案した。どちらの入射角にするかは今後の課題としたい。立位での撮影においては加重により膝OAでのアライメント異常が臥位よりも強調される。正常の場合はFig.3のように、脛骨平面ラインと大腿骨内外顆下縁ラインの両方そろった画像が適正であるが、膝OAの場合はアライメント異常があるため、その両方を合わせることができず、どちらかに合わせる必要がある。しかし、現在、膝OAの撮影方法が確立していないため各施設で医師と協議の上、決定するべきと考察する。

外転補正は、正面肢位と側面肢位で両足の開き方がズレると補正角度が大きく異なるため、撮影する際には同じ足幅の肢位が必要である。この正面肢位と側面

肢位の再現性の確保のため自然立位での足幅による撮影を推奨する。

現在、膝OAにおける撮影は立位で撮影することが推奨されている²⁾。しかし、側面撮影においては臥位で撮影している施設が多いのが現状ではないだろうか。これは現在、立位側面撮影の撮影法が一般化されておらず、多くの技師が立位側面画像を提供していないため、客観的視点からの評価がなされていないことが原因になっていると考えられる。本研究で膝関節X線CT画像から大腿骨回旋補正角度と脛骨大腿関節の外転補正角度を明らかにすることで、立位側面撮影法を確立し、膝OAの診断に寄与できると考えた。本研究が立位側面撮影の普及の一助となれば幸甚である。

大腿骨回旋補正角度を求めた膝関節X線CT撮影は臥位で行い、実際に撮影する立位側面撮影は自然立位と撮影体位が異なっている。大腿骨の形状により補正角度が決まると考えているが、加重の有無で下肢アライメントが変化するため、求めた大腿骨回旋補正角度は立位側面撮影において変わる可能性も考えられる。

結 語

膝OAを対象とした立位側面撮影は、立位正面撮影の肢位から 84.6 度内側へ回旋し、X線入射角度を脛骨平面に合わせる場合は頭尾方向に 3.2 度、大腿骨内外顆下縁に合わせる場合は 5.4 度斜入すると診断価値の高い両脚立位膝関節側面X線画像が得られることが示唆された。

利益相反

本研究に関して開示すべき利益相反事項はない。

謝 辞

本研究に際し多大な協力を頂きました，滋慶医療科学大学大学院 安藤英次先生，国立病院機構金沢医療センター 原田高行先生，国立研究開発法人国立長寿医療研究センター放射線診療部の方々に深謝致します。

なお，本研究は第1回日本放射線医療技術学術大会において発表した。

表の説明

Table 1 大腿骨回旋補正のための対象者年齢

Table 2 外転補正のための対象者年齢

図の説明

Fig.1 両脚立位膝関節X線撮影肢位

Fig.2 撮影補助具を用いた両脚立位膝関節側面X線撮影

Fig.3 撮影補助具を用いた両脚立位膝関節側面X線画像

Fig.4 下腿骨および大腿骨の回旋および外転の補正

(a) 回旋軸

(b) 外転軸

Fig.5 Ray Sum画像で作成した基準正面画像(A)，側面画像(B)

(f) 顆間窩

(p) 大腿骨内顆外顆後縁

Fig.6 脛骨平面ラインと床面

(a) 脛骨平面の外顆上端部中点

(b) 内顆下端部中点

(c) 床面と平行の線

Fig.7 大腿骨内外顆下縁ラインと床面

(d) 大腿骨内顆下縁と大腿骨外顆下縁を結ぶ線

(e) 床面と平行の線

Fig.8 大腿骨回旋角度

Fig.9 脛骨平面ラインと床面の成す角度

Fig.10 大腿骨内外顆下縁ラインと床面の成す角度

Fig.11 外転補正した側面画像

(A) 脛骨平面ラインに接線入射

(B) 大腿骨内外顆下縁ラインに接線入射

参考文献

- 1) 張 英士，他：ロコモシリーズ1 変形性膝関節症. 日大医誌, 72(2), 77-80, 2013.
- 2) 日本整形外科学会 監修：変形性膝関節症診療ガイドライン2023. 37, 南江堂, 2023.
- 3) 安藤英次：図解 下肢撮影法(改訂2版). 35-46, 2023.
- 4) 公益社団法人日本診療放射線技師会 骨関節撮影分科会：膝関節X線撮影アンケート結果報告. 日放技誌, 71(7), 92-101, 2024.
- 5) 大森 寛，他：片脚起立膝関節側面撮影法の検討. 日放技学誌, 58(7), 940-947, 2002.
- 6) 吉井一郎，他：内反型変形性膝関節症の下腿の回旋変形—片脚立位X線像を用いた評価法—, 整形外科と災害外科, 37(3), 1000-1003, 1989.
- 7) 安田 優，他：膝関節側面撮影における再撮影率減少を目的とした補助具の提案. 日放技学誌, 69(10), 1140-1145, 2013.
- 8) 古賀良生：変形性膝関節症の疫学—下肢アライメント3次元測定システム開発の背景—, 理学療法学, 34(8), 340-344, 2007-12-20.
- 9) 田中大輝，他：類似画像検索を用いた膝関節側面X線撮影の再撮影支援. 大阪物療大学紀要 10(0), 39-43, 2022.
- 10) 有菌 剛，他：高位脛骨骨切り術における膝関節面開き角の検討. 整形外科と災害外科, 35(4), 1244-1246, 1987.