原 著

片脚起立膝関節側面撮影法の検討

論文受付
2001年11月12日論文受理
2002年3月13日

Code No. 241

大森 寛・菅原 毅・村上功幸・桐内美喜雄
藤原純一・及川 巧・松村 豊・菅原 司

岩手医科大学附属病院中央放射線部

緒 言

膝関節は荷重を受けながら転がり・滑り・回旋といった複雑な動きを伴う蝶番関節であり¹⁾、障害を受けやすく撮影頻度の多い関節の一つである。一般的な膝関節側面撮影法は側臥位側面撮影(屈曲位像)であり、その理想的な側面像は大腿骨内外顆の合致した像(以下、適正な側面像)とされている。合格基準については日本放射線技術学会QCプログラム²⁾(以下、QCプログラム)に示されているが、一般的に大腿骨内外顆の形状から外転と外旋の補正が必要である。外転補正は古くから述べられており、膝外側角(femoro-tibial-

angle: 以下、FTA)に基づいている。外旋補正は、一部を除いてこれまでの撮影法の本にはあまり詳しく述べられていない³⁾。しかし、実際には他動回旋を伴う膝関節を触指と目視のみによって外転と外旋の補正を行いながら整位する事は困難な事が多く、再現性に乏しい撮影法である。その他、側臥位撮影時における骨盤の整位により側面像で外旋が過多となる報告⁴⁾がみられる。

われわれは、前十字靱帯再建術の指標・術後経過観察の必要性から以前より膝関節伸展位側面撮影の検討を行っており^{5), 6)}、その中で片脚起立膝関節側面撮影

Lateral Radiography of the Knee with Single-leg Standing

KAN OHMORI, TSUYOSHI SUGAWARA, KATSUYOSHI MURAKAMI,
MIKIO KIRINAI, JUNICHI FUJIWARA, TAKUMI OIKAWA,
YUTAKA MATSUMURA, and TSUKASA SUGAWARA

Center for Radiological Sciences, Iwate Medical University Hospital

Received Nov. 12, 2001; Revision accepted March 13, 2002; Code No. 241

Summary

The purpose of this investigation was to accomplish reproducible radiography of single-leg standing lateral radiography of the knee by adjusting lateral rotation using a ruler to measure foot position. After preliminary assessment of three-dimensional CT of the knees of normal volunteers, the best adjustment of external rotation was estimated. A ruler was made for use in adjusting the angle of knee rotation by measuring foot rotation. Based on the foot rotation measured by this ruler, the positioning of radiography was adjusted to correct rotation. Rotation was estimated by the distance between the posterior edges of the lateral and medial femoral condyles. Fifteen-degree and 17.5-degree rotations were used for correction. Correction of rotation was 17 degrees on average. This helped not only to correct external rotation in the initial radiography but also to correct rotation for repeat radiography. Our method is quantitative and highly reproducible, and it increases the success rate of lateral knee radiography.

Key words: radiography, technique, standing radiography, standardization, knee lateral rotation

別刷資料請求先: 〒020-8505 盛岡市内丸19番1号
岩手医科大学附属病院中央放射線部 大森 寛 宛

法を用いている。この撮影法では起立時下肢の形態解剖学を基礎にして、膝関節の計測的な撮影が可能となる。本撮影法による臨床データに基づいて、再現性の高い膝関節撮影とその応用について検討したので報告する。

1. 撮影方法の原理

1-1 起立時下肢の形態と本撮影法の概要

大腿骨顆の形状から膝関節の正面像に対する90度側面像は内旋位(Fig. 1)である。これは大腿骨内外顆の形状が矢状方向において内顆が外顆より後方に長いからであり⁷⁾、その差を外旋により補正(以下、外旋補正)をする事で適正な側面像が得られる事になる。

膝関節は起立時伸展位では回旋しないため⁷⁾、膝関節撮影に足底基準線(第2趾と踵の中央を結ぶ線)⁸⁾角度を利用する事ができる。正面撮影時の足底基準線角度に先の外旋補正角度を加えた角度を側面撮影時の足底基準線角度とし、再現性の高い撮影を目指した。

1-2 使用機器と撮影

患者の姿勢の安定を図るために、同一の撮影台(オリオン電機株式会社製長尺カセットフォルダ電動昇降台付撮影台)を使用した。

作成した足底基準線板は、0度を基準に5度ごとに線を引いており、読み取りの最小角度は約2.5度である(Fig. 2)。

本撮影法では、臥位正面撮影と同様に膝蓋骨が真正面を向くように整位して正面撮影するが、その正面撮影時足底基準線角度を計測しておき(Fig. 3)、その角度に外旋補正角度を加えた角度を側面撮影時足底基準線角度として採用した(Fig. 4)。

2. 対象と方法

2-1 対象

大腿骨内外顆の形状が成人型となるのが思春期であるため、対象年齢は13歳以上とし⁷⁾、立位が可能ならゆる疾患の患者を対象とした。

2-2 合格基準

膝関節側面像の計測部位とその合格基準についてQCプログラムでは、臥位側面撮影像(屈曲位像)を用いている。そこで、われわれは伸展位膝関節の適正な側面像として、計測部位を大腿骨内外顆後縁の距離(以下、ズレ)(Fig. 5)とした。その合格基準はQCプログラムの7mm以内に準じながらも、起立撮影ではFTAの関係から被写体-フィルム間に約20cm前後の距離を生じることから、X線像の拡大を考慮した。撮

Fig. 1 Three-dimensional reconstruction of the knee (42-year-old man, healthy volunteer).
(a) Anterior view.
(b) Lateral view (90-degree rotation of Fig. 1a).

Fig. 2 Ruler for foot position (for left side).

影距離150cmに計算上の拡大率を約1.1倍と推定して、8mm以内を合格基準とした。また、ズレには内旋と外旋の場合があり、内旋方向へのズレをマイナス側、外旋方向へのズレをプラス側として回旋方向別についても評価した。なお、人工膝関節置換術術後の場合、同様の計測部では計測不能であるので臨床データからは除外した。

2-3 大腿骨内外顆後縁のズレと回旋角度との関係

大腿骨内外顆後縁のズレと回旋角度との関係を知るために、膝関節に疾患のないボランティア5名の膝関節のCTによる三次元画像再構成を行った。その画像を適正な側面像から2.5度ごとに回旋させ、そのときの回旋角度と生じるズレを計測してそれらの関係を求めた。

Fig. 3 Method for AP view.
(a) Positioning of the knee.
(b) Adjustment using the ruler.

Fig. 4 Method for lateral view.
(a) Positioning of the knee.
(b) Adjustment using the ruler.

2-4 最適な外旋補正角度の推定

本撮影法では、正面撮影時の足底基準線角度に外旋補正角度を加えて側面撮影時足底基準線角度とする。しかし、内外顆の形状には個人差がある事から、最適な外旋補正角度を実際の臨床写真から推測した。なお、従来の記述に基づいて外旋補正角度を10度として数名のボランティアの試験撮影を行った⁸⁾。しかし、すべての写真に外旋不足(5mmを超えるズレ)の側面像を認めた事から、外旋補正角度を15度(以下、15度撮影)として臨床データを収集した。さらに、外旋補正角度が不十分な傾向があったため外旋補正角度17.5度(以下、17.5度撮影)についても、その臨床データを収集した。

以上より、15度撮影の合格基準となった臨床写真のズレの計測とともに、そのズレの回旋方向が内旋か外旋かを判別した。次に、そのズレを基に前項2-3で得られた関係から補正角度を求め、実際の側面撮影時足底基準線角度にズレの回旋方向により加減する事で適正な側面像の足底基準線角度を推測した。つまり、15度撮影の実際の正面撮影時足底基準線角度と推測した適正な側面像の足底基準線角度の関係から最適な外旋補正角度を求めた。

同様の方法で17.5度撮影(足底基準線板の計測目盛が0を基準として5度ごとに引かれているため採用)の合格基準となった臨床写真からも、最適な外旋補正角度を求めた。

2-5 再撮影時の補正角度の推測

前項2-3で求めた関係から得られたグラフは、再撮影時の補正角度を求めるためにも用いた。不合格症例写真のズレの計測値を基に補正角度を推測して再撮影した。再撮影写真のズレを合格基準に照合する事で、

Fig. 5 Estimation of rotation by measuring the distance between the posterior edge of the medial and lateral femoral condyles.
(a) Lateral view without rotation.
(b) Lateral view with rotation.

再撮影時の補正グラフとしても有用であるか否かを検証した。

2-6 再検査時の足底基準線角度のばらつき

15度撮影、17.5度撮影の臨床データから再検査症例を抽出し、側面像のズレから適正な側面像の足底基準線角度を推測する事によって個々の患者の足底基準線角度にどの程度のばらつきが出るか調べた。

なお、本撮影法の臨床データ収集には、経験年数年から20年の診療放射線技師10名が携わった。

3. 結果

3-1 対象患者の年齢分布と疾患

15度撮影の症例数は197例であり平均年齢51.4歳(男性45.6歳、女性54.9歳)、17.5度撮影の症例数は247例であり平均年齢48.0歳(男性42.0歳、女性52.0歳)であ

Fig. 6 Age and gender of the population that underwent 15-degree rotation view.

Fig. 7 Age and gender of the population that underwent 17.5-degree rotation view.

Table 1 Summary of clinical data

15-degree rotation view		17.5-degree rotation view	
osteoarthritis	91	osteoarthritis	100
rheumatoid arthritis	3	rheumatoid arthritis	14
post ACL reconstruction	12	post ACL reconstruction	26
post osteotomy	2	post osteotomy	3
post patellar tendon transfer	5	post patellar tendon transfer	6
knee pain, unspecified	35	knee pain, unspecified	43
meniscal injury	11	meniscal injury	9
libamentous injury	12	libamentous injury	13
reccurent patellar dislaction	2	reccurent patellar dislaction	3
neoplasm	6	neoplasm	11
others	14	others	19
uncertain	4	uncertain	1
n=197		n=248	

った。それぞれの撮影の年齢分布をFig. 6, 7に示す。

対象患者の疾患についてTable 1に示し、臨床写真例をFig. 8に提示した。

3-2 合格率

合格率をTable 2に示す。合格判定となった側面像のズレは、15度撮影が平均 3.6 ± 2.6 mm、17.5度撮影が平均 3.3 ± 2.5 mmであった。回旋方向別に区別した場合のズレは、15度撮影は平均 -1.4 ± 4.2 mm、17.5度撮影は平均 0.3 ± 4.2 mmであった。

なお、本撮影法では適正な正面像を基に適正な側面像が得られると仮定しているため、正面像が不適正なために側面像が不適正となった症例は合格率評価から除外した。

3-3 大腿骨内外顆後縁のズレと回旋角度との関係

X軸を大腿骨内外顆後縁のズレ、Y軸を回旋角度と

すると、補正係数1.1をもつグラフ $Y=1.1X$ が得られた (Fig. 9)。

3-4 最適な外旋補正角度

15度撮影の臨床データを基に作成した正面撮影時足底基準線角度と推測した適正な側面像の足底基準線角度の関係 (Fig. 10) から得られた最適な外旋補正角度は、16.8度であった。

同様に17.5度撮影の臨床データを基に作成したグラフ (Fig. 11) から得られた最適な外旋補正角度は、17.3度であった。

3-5 再撮影時の補正グラフ

不合格症例数は90症例であり、すべて1回の再撮影で合格基準を満たした。その不合格症例のズレは平均 11.7 ± 2.6 mmであったが、再撮影後には平均 2.1 ± 2.1 mmとなった。Fig. 9は再撮影時の補正グラフ

Fig. 8 Radiography using this technique (35-year-old woman after ACL reconstruction).
(a) AP view (17.5-degree rotation on the foot ruler).
(b) Lateral view (35-degree rotation on the ruler).

Fig. 9 Relationship between rotation and distance between the posterior edge of the condyles.

としても有用であった。

再撮影症例写真をFig. 12に提示する。

3-6 再検査時の足底基準線角度のばらつき

対象となった2年間に再来歴が2回から4回の24症例を検討した。Fig. 13は横軸を再検査患者例とし、縦軸を再検査時写真のズレから推測した適正な側面像の足底基準線角度として各患者のそのばらつきを表した。各患者の最適な側面足底基準線角度のばらつきの程度は平均 3.3 ± 2.5 度であった。

4. 考 察

膝関節側面撮影では、内外顆を合致させるために“外旋補正”と“外転補正”をしなければならない。本撮影法では、起立時の大腿骨軸は垂直ではなく外方へ傾

Table 2 Success rates for each view

	Success rates (%)	
	15-degree rotation	17.5-degree rotation
Male	90	92
Female	90	89
TOTAL	90	90

Fig. 10 Adjustment of lateral rotation based on a 15-degree rotation view.

Fig. 11 Adjustment of lateral rotation based on 17.5-degree rotation view.

斜しており両顆はほぼ水平に位置することから⁷⁾、外転補正の必要はない。ただし、起立撮影であることから所見の一つとなろうが、正常なFTAから大きく逸脱する変形性膝関節症の場合には、脛骨・大腿骨関節面での大腿骨内外顆のズレがみられた。

外旋補正では、起立時に伸展位では回旋不能となる事から、膝関節撮影に足底基準線からの角度を計測する事による撮影が可能となった。合格率は、15度撮影・17.5度撮影ともに90%であった。そのズレの評価はほぼ同程度であるが、17.5度撮影の方がわずかながらばらつきが減少した。また、回旋方向別のズレの評価についても、17.5度撮影の方がより適正な側面像に

Fig. 12 Correction of rotation A (37-year-old woman).
 (a) Initial radiography (37.5-degree on the ruler, distance 15mm).
 (b) Repeat study (20-degree on the ruler, distance 0 mm).
 Correction of rotation B (36-year-old woman).
 (c) Initial radiography (30-degree on the ruler, distance 13mm).
 (d) Repeat study (45-degree on the ruler, distance 3mm).

近づくと考えられた。

最適な外旋補正角度は、理論的には15度撮影・17.5度撮影の臨床データともに同値となるはずである。それぞれの臨床データから推定された最適な外旋補正角度は、約17度であり一致をみた。内顆が外顆に比較し前後方向において10~20mm長いとされているが⁷⁾、約17度という外旋補正角度は、Fig. 8から約15mmのズレに相当し、ほぼ一致する角度である。

10%を占める不合格症例の原因としては以下の点が考えられる。本撮影法の合格基準は8mm以内であるが、内外顆の長さの差が 15 ± 8 mmを外れた場合、および正面位を基準にしていることから正面位が若干偏った場合などが考えられる。疾患によって不合格となりうる原因があるかに関しては、今後より一層の経験が必要である。

再撮影用の修正パターンの記述を含む教科書もみられるが⁹⁾、再撮影をするために初撮影時の整位を再現する事自体困難な事が多い。しかし、本撮影法では、再撮影においても足底基準線角度の修正以外は特に体位の修正は必要なく、初撮影時の整位が容易に再現でき、1回の再撮影で合格基準像とする事ができた。さらに、不適正な正面像についても側面像と同様の補正角度で再撮影が可能であった。

本撮影法では計測的に撮影できるとしているが、計測的に撮影できるとすれば患者個々の足底基準線角度は決定されるはずである。本研究の臨床データにおいては、側面撮影時足底基準線角度が最小15度の患者から最大55度の患者があり、平均的な側面撮影時足底基準線角度は22度であった。また、再検査患者24症例

Fig. 13 Foot position in initial and follow-up radiography.

による足底基準線角度のばらつきは平均 3.3 ± 2.5 度であり、この程度のばらつきは単純撮影としての角度読み取り時の誤差とも考えられるが、その他の要因として手術前後の症例の場合や疾患の進行などによる外旋量の変移なども考えられ、さらに症例数を増やし検討する必要がある。

本撮影法の再現性については、その臨床データによる合格率、再撮影時の補正法、再検査患者による足底基準線角度のばらつきの程度などから単純撮影として十分な再現性であると考えられる。また、当院における側臥位膝関節側面像として過去に整理提出された写真を無作為抽出(197症例)し、QCプログラムに準じて判定したところ、合格率は72%であった。これは再撮影を含めた整理済み写真であることを考慮すると、実際の初撮影時の合格率はさらに低いものと推察される。以前

の当院のデータと比べると、明らかに再現性の向上が認められた。そのため、現在では当院の膝関節撮影は片脚起立による膝関節2方向撮影をルーチン検査としている。

さらに、起立困難あるいは不能な患者においては、他動回旋のリスクは高くなるであろうが、本撮影法は仰臥位でも応用が可能と考えられるため今後の検討課題としていきたい。

5. 結 語

側臥位膝関節側面撮影法は、骨盤の整位を含め膝関節の他動回旋の影響を受けやすく整位が困難な再現性の低い撮影法であった。本撮影法では足底基準線を用いることで計測的に撮影することが可能である。立位可能な患者であれば、特に疾患にとらわれずに撮影で

きる。また、再撮影となった場合でもそのX線像のズレから補正角度を推測し計測的に再撮影が可能である。本撮影法では高い再現性が得られ、さらに機能的撮影であることから臨床上有用な撮影法であると考ええる。

謝 辞

本研究に際し、ご指導いただきました岩手医科大学附属病院放射線科助教授 江原茂先生、同整形外科講師 一戸貞文先生に厚く御礼申し上げます。

なお、本論文の要旨は平成12年4月7日第56回総会学術大会、平成13年4月5日第57回総会学術大会、平成12年11月3日、日本放射線技師総合学術大会にて発表した。

参考文献

- 1) 渡辺正毅, 広畑和志: III膝関節の機能解剖と生体力学. 膝関節の外科. pp. 30-31, 医学書院, 東京, (1985).
- 2) 日本放射線技術学会専門委員会: 一般撮影における合格基準. 放射線技術QCプログラム. pp. 59-60, 日本放射線技術学会, 東京, (1992).
- 3) 小川敬壽編, 鍵田政雄著: 4.膝関節(I). 図説 単純X線撮影法. pp. 98, 金原出版, 東京, (1999).
- 4) 梅木智子, 葉山和弘, 渡辺雅弘: 膝関節側位撮影における形態解剖学的検討. 日放技学誌, 52(10), 1402, (1996).
- 5) 石橋俊郎, 朝日奈信太郎, 宗田大, 他: 再建前十字靱帯の脛骨側固定位置の決定方法について. 東京膝関節学会会誌, 12, 63-66, (1992).
- 6) 福島直, 小原昇, 鴫田文男, 他: ACL再建術における脛骨側骨孔の位置についての検討. 東京膝関節学会会誌, 13, 38-42, (1992).
- 7) 山田致知, 津山直一(監訳): 3膝関節. ランツ下肢臨床解剖学. pp. 237, 医学書院, 東京, (1979).
- 8) 鍵田政雄: 膝関節. 図説救急X線撮影法. pp. 102, 金原出版, 東京, (1985).
- 9) 編集 小川敬壽, 原案鍵田政雄: 【付】修正用パターン/8. 膝関節側面像. 図説単純X線撮影法. pp. 155, 金原出版, 東京, (1999).

図表の説明

- Fig. 1 CTの三次元再構成画像(膝に問題のないボランティア42歳男性)
(a) 膝関節正面像
(b) (a)を90度回転させた像
- Fig. 2 足底基準線板(左膝関節撮影用)
- Fig. 3 正面撮影法
(a) ポジショニング
(b) 足底基準線角度測定
- Fig. 4 側面撮影法
(a) ポジショニング
(b) 足底基準線角度測定
- Fig. 5 大腿骨内外顆後縁のズレの計測・大腿骨内顆と外顆後縁の距離をフィルム上で計測する.
(a) ズレのない側面像
(b) ズレを生じた側面像
- Fig. 6 15度撮影を行った患者の年齢・性別構成
- Fig. 7 17.5度撮影を行った患者の年齢・性別構成
- Fig. 8 本撮影法による撮影例(ACL再建術後の女性, 35歳)
(a) 正面像(足底基準線角度17.5度で撮影)
(b) 側面像(足底基準線角度35度で撮影)
- Fig. 9 大腿骨内外顆後縁のズレと回旋角度の関係
- Fig. 10 15度撮影臨床データによる外旋補正角度の推定
- Fig. 11 17.5度撮影臨床データによる外旋補正角度の推定
- Fig. 12 再撮影における補正A(37歳, 女性)
(a) 初撮影, 足底基準線角度37.5度で撮影, ズレ外旋15mm
(b) 再撮影, 足底基準線角度20.0度で撮影, ズレ 0mm
再撮影における補正B(36歳, 女性)
(c) 初撮影, 足底基準線角度30.0度で撮影, ズレ内旋13mm
(d) 再撮影, 足底基準線角度45.0度で撮影, ズレ内旋 3mm
- Fig. 13 再検査時の側面撮影時足底基準線角度のバラツキ
- Table 1 臨床データの要約
- Table 2 本撮影法における合格率