

写損管理から考える一般撮影におけるプレショットの有用性

Effectiveness of low-dose preshots in general radiography

福田 智哉^{1)*}, 石本 智洋²⁾, 成瀬 徳恭¹⁾, 小林 且典¹⁾

1) 独立行政法人 労働者健康安全機構 旭ろうさい病院 中央放射線部 診療放射線技師
2) 独立行政法人 労働者健康安全機構 中国労災病院 中央放射線部 診療放射線技師

Key words: shot miss rate, lateral view of the knee joint, low-dose preshot, retake, reshot

【Abstract】

The introduction of software has made it easy to calculate the number of shots and the shot miss rate in general radiography.

In the data for 2021, the overall shot miss rate was 11.4%. By imaging menu, the highest shot miss rate overall was seen in the lateral view of the knee joint, exceeding 40% for the standing lateral view of the knee joint. We tried the method of taking a low-dose preshot on the lateral view of the knee joint, because of its high shot count and high miss rate, and then taking normal shots after confirming the position. After introducing the preshots, the shot miss rate decreased, but was still above zero even after taking preshots.

The success and failure of the first normal shot taken before introducing preshots and the first preshot image were compared as first shots. The results indicated that for situations in which the shot miss rate is high, preshots are effective and do not affect the imaging technique.

【要旨】

一般撮影において、ソフトウェアの導入により撮影数と写損率の算出が容易になった。

2021年のデータでは、全体の写損率は11.4%であった。撮影メニュー別では、膝関節側面が全体の中で高い写損率となっており、立位膝関節側面では40%を超えていた。そこで撮影数が多く写損率の高い膝関節側面に対し、低線量によるプレショットを行い、体位確認を行った後に通常撮影する方法を試みた。プレショットを始めた後で写損率は低下したが、プレショットを行った後も写損率はゼロにはならなかった。

プレショットを始める前の1回目の通常撮影の成功と失敗、プレショットの1回目の撮影の成功と失敗をファーストショットとして比較した結果、高い写損率の場合では撮影技術にも影響はないと考え、プレショットは効果的であると考えられた。

緒 言

放射線検査の一つである一般撮影の受像媒体が、アナログのフィルムスクリーン系から computed radiography (CR) や flat panel detector (FPD) のデジタル装置に変遷した。また近年では、装置の進歩によりデバイスの使用状況やメニューごとの撮影数の状況の確認が可能となった。フィルムスクリーン系の時には、再撮影となった場合はフィルム購入費の損失と

なってしまう、写真損失フィルム（以下、写損）という言葉があった。現在のデジタル装置では再撮影による写損データとなるが、写損という言葉は現在も受け継がれている。

1992年のフィルムスクリーン系における写損の調査結果¹⁾では、写損原因で一番多かったものは撮影条件ミスであった。その他では、機器の故障でフィルムの損失となった場合などもあり、写損率は4%であったと報告されている。フィルムの場合では写損をすると、同じ撮影を繰り返すため被ばくは増加する。患者の待ち時間は長くなり検査が滞ることにもつながり、またフィルム購入費の損失が生じるため、可能な限り少なくする必要もあった。後にデジタルシステムを経てフィルムレスとなり、フィルムスクリーンの時と比較しても再撮影が容易になり、その結果、写損数の増加が予測される。

今回、デジタルシステムになった現在での全体の写損率を下げることを目的として、写損率の高い撮影メニューに対し、最初に低線量での撮影を行い、十分な体位設定ができた後に通常の撮影に入る方法（以下、

FUKUDA Tomoya^{1)*}, ISHIMOTO Tomohiro²⁾,
NARUSE Noriyasu¹⁾, KOBAYASHI Katsunori¹⁾

1) Department of Radiological Technology, Japan Organization of Occupational Health and Safety Asahi Rosai Hospital Radiological technologist

2) Department of Radiological Technology, Japan Organization of Occupational Health and Safety chugoku Rosai Hospital Radiological technologist

* E-mail: staroh@yahoo.co.jp

Received October 5, 2023; accepted March 27, 2024

プレショット)の運用について検討したので報告する。

1. 予備調査

FPDの管理にASSISTA Management (富士フイルムメディカル, 東京)を使用しているが, X線撮影時の諸条件などをデータセンターにアップロードすることで, 自動でさまざまな分析軸のグラフやリストに整理して表示することができる。そこで写損数, 写損率, それぞれの部位別や技師別なども抽出が可能であることから, プレショットの開始前のデータと開始後のデータを比較した。

プレショットとは, 撮影を行う部位の体位設定を行った後に, 低線量の条件で暫定的に撮影を行い, 体位設定が十分であると確認できたら通常の撮影に入り, 不十分であれば再度体位設定を行い, プレショットで確認後, 十分であるとの判断ができた後に通常の撮影に入る方法である。

プレショットを行う部位の決定のため, 2021年4月から9月のデータでメニューごとの写損率を算出した。Fig.1に示す通り, 膝関節の撮影が上位1位から4位を占めた。ただし, 検査数が少なく写損率の高いメニューでは, 全体に及ぼす影響は少ないため, 撮影回数も考慮し, 今回の調査では対象外としている。

写損率の高いメニューである右膝関節立位側面, 左膝関節立位側面および, 右膝関節臥位側面, 左膝関節臥位側面を対象としてプレショットを開始した。

プレショット画像は, 画像濃度の安定化を目的とした感度指標であるS値があまりにも高過ぎて, 画像診断に利用できる画質ではないと判断した。そのため目

安の撮影としてサーバーには保存せず, 写損扱いにもしていない。線量の記録は, 通常の写損でも, プレショット画像の場合でも残るようになっている。

2. 方法

2-1 膝関節の撮影条件

当院ではFPDシステムを採用しており, 管電圧55 kV, 管電流時間積は6 mAsで, Cu 0.1 mm付加フィルターを入れている。焦点受像器間距離は120 cmで, PCXMC²⁾で計算した数値である入射表面空気カーマに後方散乱係数を乗じて, 入射表面線量を算出した。当院の膝関節の入射表面線量は0.052 mGyである。プレショットの撮影条件は, 管電圧は通常撮影と同様に55 kVとしている。管電流時間積は撮影装置の最低曝射時間が0.5 msecであるため0.5 mAsとした。付加フィルターも通常撮影と同じにしており, プレショット撮影の画像は, なるべく入射表面線量が少ない方がよいと判断し, 内類と外類のズレの確認ができることを技師間で視覚評価した結果, 通常撮影線量の約12分の1の線量とした。

なお, 本研究は当院の倫理委員会により承認を受けた(受付番号05-07)。

2-2 再撮影の定義

当院には入職後5年未満の技師がいないため, 再撮影の決定は撮影者自ら判断を行っている。複数人での撮影も多くなっており, その際は複数での判断で再撮影を行う場合もある。撮影範囲の欠損は言うまでもないが, 膝関節側面の合格基準は内類と外類のズレを

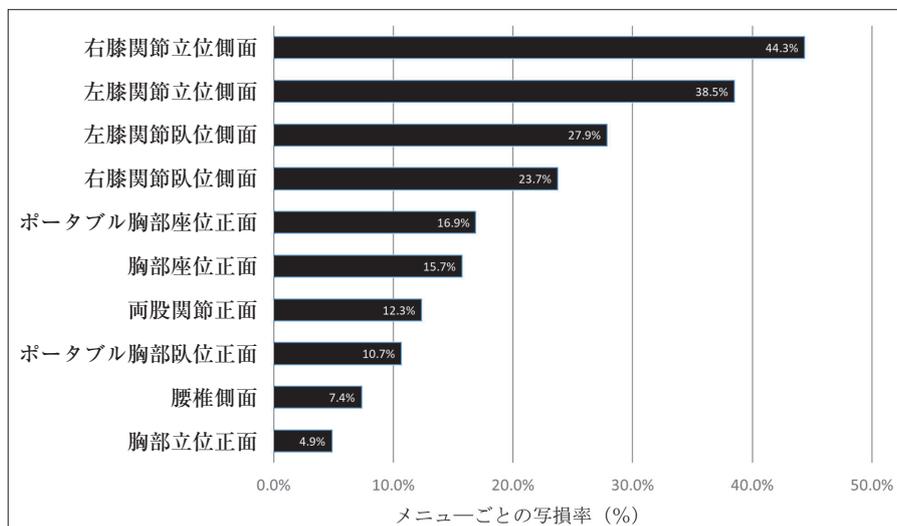


Fig.1 Shot miss rate for each imaging menu

Table 1 2021 and 2022 protocol design
Comparing of success and failure of the first normal shot and pre-shot

year	case	1st shot		2nd shot		3rd shot
2021	Success on the first shot	Normal shot success		-		-
	Success on the second shot	Normal shot mistake	⇒	Normal shot success		-
2022	Success on the first shot	Pre shot success	⇒	Normal shot success		-
	Success on the second shot	Pre shot mistake	⇒	pre shot success	⇒	Normal shot success

7 mmとしている³⁾。

2-3 比較対象期間

本研究は症例対象研究であり、後ろ向きでデータ収集を行った。プレショットを行っていない期間として、当院での2021年4月から2021年12月（以下、2021年）までとし、また2022年1月から2022年12月（以下、2022年）までがプレショットを行った期間とした。

2-4 プレショット開始前後における写損率の変化の検証

Fig.1に示す予備調査で、高い写損率の撮影メニューは左右の膝関節立位側面と左右の膝関節臥位側面であったため、それぞれの撮影メニューに対しプレショットの設定を行い、プレショット開始前と開始後における写損率を調査した。

本稿では、写損率を下げることを目的としているため、膝関節のプレショットを行うことで、2021年と2022年における全体の写損率がどのように変化したかを調査した。

2-5 撮影数の違いによる写損率の検証

在籍する12人全ての技師が一般撮影を担当するが、一般撮影を中心に行う撮影数の多い3人のグループ（以下、Group A）、CTやMRIなどのモダリティが中心で、一般撮影の撮影数が少ない9人のグループ（以下、Group B）として写損に係る関連性を検討した。2021年における膝関節側面の撮影数は、Group Aでは平均200件であり、Group Bでは平均40件であった。比較対象期間内ではグループ間の技師の入れ替わりはない。

2-6 合格基準の検証

膝関節側面について、期間内にサーバーに保存された画像の中で、整形外科からの依頼、手術などを行っていない画像で合格基準の変化についても検証を行っ

た。21.3インチの2メガピクセルのモニターによりズレの計測を行い、平均値と標準偏差を算出した。

2-7 ファーストショットの検証

線量の低いプレショットを利用することで、最初の体位設定が、ひとまず撮影してみるというような、不適切な設定になっていないかの検証も必要であると考えた。

そこで最初の撮影をファーストショットと呼称し（以下、1st shot）、その1st shotの成功と失敗の割合が2021年と2022年ではどのように変化したかを検証した。

Table 1に、2021年と2022年の撮影順序のプロトコルを示す。2021年の1st shotは通常の撮影のことである。1st shotが写損（mistake）の場合、2nd shotでも通常の撮影が続くことになる。

2022年の1st shotはプレショットの撮影のことである。プレショットが成功（success）した場合でも2nd shotの通常の撮影が必要となる。また1st shotで失敗した場合は、2nd shotでもプレショットを行い、その後、通常撮影となる。

このように、1st shotの成功と失敗を2021年と2022年で比較することで、プレショットにおける体位設定が不適切な設定となっていないかの検証を試みた。

プレショットのデータは写損としていないため、2-3で示した期間ではなく、一般撮影装置の患者情報などを登録し、画像確認を行うCRコンソール内にある画像データを利用し検証を行った。なお、CRコンソール内データは2カ月程度しか保存されていない。そのためプレショット開始前のデータも同様の期間とし、2021年10月から12月までとした。プレショット開始後のデータは2022年10月から12月までとした。

2-8 統計解析

統計解析は、福井⁴⁾のCollege Analysis Ver.8.6を使用した。技師数が少ないため、写損率などは平均

Table 2 Before pre shot (2021) and after pre shot (2022) for shot miss rate (Only lateral view of the knee joint)

Year	site	Number of shots	Miss shots	Shot miss rate (%)
2021	Right - Standing lateral view	208	92	44.2
	Right - Lying lateral view	364	91	25.0
	Left - Standing lateral view	188	71	37.8
	Left - Lying lateral view	394	110	27.9
2022	Right - Standing lateral view	192	10	5.2
	Right - Lying lateral view	248	26	10.5
	Left - Standing lateral view	170	8	4.7
	Left - Lying lateral view	233	25	10.7

値での検定ではなく、それぞれのグループにおいて、集計結果の数値の差に関連性があるかどうかをカイ2乗検定で求めた。内観と外観のズレの検定には、正規分布ではないためWilcoxonの順位和検定を用いた。有意水準は1%として、 $P < 0.01$ で統計的有意差を示すものとした。

3. 結果

3-1 膝関節側面におけるメニュー別の写損率の変化

比較対象期間における膝関節のメニュー別の写損率をTable 2に示す。プレショットを行う前の写損率は、右膝関節立位側面が44.2%、右膝関節臥位側面が25.0%、左膝関節立位側面が37.8%、左膝関節臥位側面が27.9%であったものが、プレショットを開始した後のデータでは、右膝関節立位側面が5.2%、右膝関節臥位側面が10.5%、左膝関節立位側面が4.7%、左膝関節臥位側面が10.7%となった。

3-2 一般撮影の全体における写損率の変化

2021年と2022年における一般撮影の全体での写損率をTable 3に示す。プレショットを開始する前の撮影全体の写損率は11.7%だったものが、膝関節のプレショットを開始した2022年では、7.3%まで低下していた。

3-3 撮影数の違いによる膝関節側面全体の写損率の比較

Group AとGroup Bでの2021年、2022年の膝

Table 3 Before pre shot (2021) and after pre shot (2022) for shot miss rate

Year	Number of shots	Miss shots	Shot miss rate (%)
2021	11907	1395	11.7
2022	8087	589	7.3

Table 4 Shot miss rate of lateral view of the knee joint in 2021 and 2022

year		Success image	Failure image	Mean (%)
2021	Group A	523	242	31.6
	Group B	267	122	31.4
				$P = 0.910$
2022	Group A	581	40	6.4
	Group B	193	29	13.1
				$P = 0.017$

All technologist had been employed for at least five years, so lack of experience was not thought to be a factor

Table 5 Investigation of misalignment between the medial and lateral condyles

year	Standing position (mm)		Lying position (mm)	
	AV	SD	AV	SD
2021	3.78	2.60	3.90	2.71
2022	3.36	2.11	3.67	2.41
		$P = 0.130$	$P = 0.483$	

関節側面全体の写損率の結果をTable 4に示す。2021年では、Group Aの写損率は31.6%、Group Bでは31.4%であった。

またプレショットを開始した後の2022年の写損率は、Group Aでは6.4%まで減少し、Group Bも13.1%まで低下した。

2021年の検定の結果では $P = 0.910$ であり、2022年の結果でも $P = 0.017$ であったため、グループ間での有意差は認めなかった。

Table 6 1st shot for knee joint lateral view

year	site	Success	Mistake	Shot miss rate (%)
2021 (Normal shot)	standing lateral view	69	62	47.3
2022 (Pre shot)		32	39	54.9
P = 0.302				
2021 (Normal shot)	lying lateral view	202	83	29.1
2022 (Pre shot)		84	91	52.0
P = 9.01 × 10 ⁻⁷				

3-4 合格基準の検証

プレショットの開始前後で、合格基準である内顆と外顆のズレを調べた結果を Table 5 に示す。立位は 3.78 mm から 3.36 mm、臥位は 3.90 mm から 3.67 mm と減少が見られたものの、有意差は認めなかった。

3-5 1st shotの比較

Table 6 に、立位および臥位の 1st shot の結果を示す。立位の結果では、2021 年の 1 回目の撮影で成功した件数は 69 件、失敗した件数は 62 件、2022 年では 1 回目のプレショットが成功し、そのまま撮影に入った件数は 32 件、ミスにより手直しをして 2 回以上プレショットを行った件数は 39 件となり、それぞれの成功と失敗を、カイ 2 乗検定を用いて算出した結果、 $P = 0.302$ となり有意差は認めなかった。

同様に、臥位の結果では、2021 年の 1 回目の撮影で成功した件数は 202 件、失敗は 83 件、2022 年では 1 回目のプレショットが成功した件数は 84 件で、手直しして 2 回以上プレショットを行った件数は 91 件で、成功と失敗に関連性があるかを検定すると $P = 9.01 \times 10^{-7}$ となり、 $P < 0.01$ であるため有意差を認め、関連性を否定した結果となり、臥位の場合はプレショットを行った場合の方が、写損が多いと判定された。

4. 考察

4-1 2021 年の膝側面の写損率の状況

予備調査では、撮影頻度の高い部位を順に並べ、かつ写損率の高い撮影は膝関節側面となり上位を占めていた。当院では立位、臥位のみでその他の撮影法はないが、前任の病院では通常の立位側面、臥位側面の他に、Gravity Sag View 撮影法⁵⁾ や伸展位側面なども

あり、同一患者に対して複数回の写損が生じることもあった。当院では特殊な撮影法はないものの、全置換人工関節側面の撮影⁶⁾⁻⁸⁾ では、大腿骨コンポーネントの 2 本のベグの重なりなどを意識して撮影を行うことは前任地と同様であった。撮影を依頼する医師からは、正面性、側面性の精度や再現性を求められることが増加している。理由として、人工関節を固定する骨セメントの状態を確認する場合、人工関節が斜めに撮影されると、セメントと人工関節の接着部分が確認できなくなる場合もあるためである。またクレームがあった画像のズレを確認すると 2.5 mm であった。これは、Table 5 で示した人工関節の手術歴のない膝のズレの平均値より小さい数値であり、より再現性を求められるため写損が増え、2021 年の調査による写損率に反映しているものと考えられた。

4-2 2021 年と 2022 年における膝関節の写損率

2021 年の写損率の結果から、プレショット開始後の 2022 年では大幅に低下しているが、Table 2 の 2022 年のデータで示すように完全に写損はなくなっていない。プレショットを利用しないで撮影する場合（救急など）や、立位側面では非検側を補助具に乗せ、両手で握り棒を持つことで体を支えているが、プレショット後に体位保持ができず動いてしまい再撮影になるケースもあった。

またプレショットの撮影メニューと通常の撮影メニューが混在することで、人的要因によるエラーも起きていた。撮影順序は、正面、側面、軸位撮影としているが、患者の状態でその撮影順序を変えることで、プレショットの撮影メニューの順序も変わってしまいミスにつながるケースがあった。

4-3 撮影数の違いが写損率に及ぼす影響

当院では、経験の浅い技師がいないため経験値の差を結果に示すことができなかったが、撮影数の多いグループと少ないグループでの写損率の比較では、2021年、2022年共に有意差を認めなかった。7～8年の経験があれば、撮影数に関わらず同等の写損率であることや、一般撮影を多く撮影している技師であっても高い写損率であることが示唆された。プレショット開始後では、グループ間の写損率に有意差は認めないものの、グループBの写損率が少し多くなっていた。これは、グループAでは夜間や休日の緊急時の撮影は少なく、グループBでは救急での事例がグループAと比較して多かったことに起因していた。今後、救急に対しても必要に応じ、プレショットが利用できるか検討していく。

4-4 全体の写損率の増加に関する見解

限りなく低い写損率が望ましいことに議論の余地はないが、実際のところ再撮影は増えている。1992年のフィルムスクリーン時の写損率は4%であった¹⁾が、デジタルシステムになり、当院では2021年は11%を超えていた。デジタルシステムでは、容易に再撮影が可能であることも写損率が増加している一因と考える。

Table 2の2021年の右膝関節立位側面の写損率の結果では、44.2%となっており、約2人に1人は再撮影となっていた。また右膝関節臥位側面では25.0%であり、およそ4人に1人が再撮影となることから、ミスが多い撮影部位と考えられる。2022年のプレショット開始後では立位側面が5%程度、臥位側面が10%程度であったため、再撮影の割合が低減できている。

さらにTable 3では、2021年の全体の写損率が11.7%と、10%を超えていたことを鑑みても、高い写損率の部位の撮影システムをプレショットに変更した結果、2022年では全体の写損率が7.3%まで下がり、プレショットの効果が示唆された。

4-5 膝関節におけるプレショットの効果

プレショットは撮影技術に関わる問題でもあり、さまざまな意見があることは理解している。撮影技術がないがしろにするわけではなく、より精度を求められる撮影については、プレショットの存在意義があると考えている。

立位側面の場合、Table 5の内観と外観のズレの測定の結果、プレショット開始前後で有意差を認めず、

さらにTable 6で1st shotの検証を行い、ひとまず撮影してみるといった不適切な設定になっていると有意差を認めると仮定したが、有意差は認めなかった。通常撮影の場合でも、プレショットの場合でも、最初の撮影でのミスは同等であった。従ってひとまず撮影してみるといった不適切な体位設定を行っていることは否定された。

プレショットを始める前の立位側面の写損率は、左右平均で40%を超えており、プレショット開始後の写損率が5%であったことから、大幅に改善できたことも踏まえ、積極的にプレショットを利用するべきであると考えられた。

同様に臥位側面の場合、Table 5の内観と外観のズレの測定の結果は有意差を認めず、Table 6で1st shotを検証した結果では有意差を認めた。プレショット開始後では1st shotのミスの回数が多くなっている結果となった。

臥位側面で1st shotのミスの回数が多くなったのは、低線量なのでもう少し調整をして良い画像を提出するという意識から、プレショットを繰り返す傾向にあった。つまり再撮影を行っているという認識が薄れていることが要因であると考えられた。そのためTable 6で示した立位側面の1st shotのミスの割合が54.9%に対し、臥位側面は52.0%と、ミスの割合が立位側面と同等になったという結果として表れた。

臥位側面では、Table 2で示したプレショット開始前の2021年での写損率は左右平均で25%程度（右25.0%、左27.9%）で、プレショット開始後の写損率は10%程度となり、立位側面に比較して効果的に下がってはいない。また1st shotではミスの割合が増えており、積極的にプレショットを利用しても効果は少ないと判断している。入職後1～3年の新人技師が使用する、あるいは人工関節の撮影時などの精度を求める場合にのみ利用の方が望ましいと考えられた。

4-6 プレショットにおける被ばく線量の低下

通常撮影で再撮影となった場合、通常撮影を繰り返すことになる。最初に失敗すると通常撮影を2回撮影することになり、1回で成功した場合の2倍の被ばく線量となる。それがプレショットを行った場合は、1回目を失敗して、再度プレショットを行い、その後に通常撮影を行ったとしても、入射表面線量は1.16倍となり大幅に線量を低下できる。しかし、再撮影のない患者にとっては余分な被ばくとなり得る。再撮影のない患者とは、1st shotで撮影成功のことであるが、そ

の場合の被ばく線量は1.08倍となる。当院の場合では0.052 mSvから0.06 mGyに増加する。当院の撮影管電圧が低電圧領域であることから、CR、FPDでも検出効率は変わらない⁹⁾といわれており、CRシステムの場合も利用は可能である。

プレシヨットを開始してから1人当たりのプレシヨットの平均回数が1.8回となっており、ミスが起こりやすい撮影では、被ばく線量が増加することも含めると、プレシヨットは必要なシステムであると考えられる。

5. 結論

一般撮影における写損の調査を行い、写損率の高い撮影メニューに対しプレシヨットの効果を検討した結果、膝関節立位側面のような写損率が40%を超える撮影では、プレシヨットを積極的に利用する方が、写損率の低下や、ミスによる複数回の撮影による入射表面線量の増加を防ぐことができるため、効果的であると考えられた。また膝関節臥位側面のような写損率が25%程度の場合、プレシヨットを用いると撮影回数が増えるだけで、プレシヨットの効果が発揮できない場合も考えられ、より再現性を求められる場合などに用いるのが望ましいと考えられた。

再撮影そのものの考え方が撮影技術に直結することや、FPDの普及率と線量の最適化の現状も踏まえ、再現性を求められるなどを考察した結果、プレシヨットの有用性が確認できた。

6. 謝辞

本研究を遂行するに当たり、多大なご協力を賜りました。中国労災病院 中央放射線部長の篠津順二氏をはじめ、協力していただいた旭ろうさい病院中央放射線部各氏に深謝致します。

7. 利益相反

筆頭著者ならびに共著者全員に開示すべき利益相反事項はない。

表の説明

Table 1	2021年、2022年の撮影順序、2021年の通常撮影のファーストシヨットと2022年のプレシヨット採用時のファーストシヨットの比較をするための考え方
Table 2	プレシヨットを開始する前の2021年の膝関節立位と臥位、左右の写損率と、プレシヨットを開始した後の写損率の変化
Table 3	プレシヨットを開始する前後での写損率全体の比較
Table 4	2021年、2022年の膝関節撮影におけるグループ別の写損率の比較
Table 5	2021年と2022年の内観と外観のズレの比較
Table 6	膝関節立位および臥位における、ファーストシヨットの成功と失敗の比較

図の説明

Fig.1 2021年の撮影メニュー別の写損率

参考文献

- 1) 原 津治, 他: 写損フィルムの原因と対策. 中国労災病院医誌, 第1巻 第1号, 1992.
- 2) Servomaa A, et al.: Organ dose calculation in medical x ray examinations by the program PCXMC. Radiat Prot Dosim, 80 (1-3), 213-219, 1998. doi:10.1093/oxfordjournals.rpd.a032509.
- 3) 日本放射線技術学会 監修: X線撮影技術学 (9-4_膝関節側面像269). オーム社, 2014.
- 4) 福井正康: College Analysis. <https://sites.google.com/view/fukuimasayasu> (Accessed 2023.12.16.)
- 5) 日高国幸, 他: 膝グラビティ撮影法 (Gravity Sag View) の検討. 日放技学誌, 63 (4), 412-419, 2007.
- 6) 安藤英二: 診療放射線技師が知っておきたいTKAのX線撮影 その1 (CR型とPS型インプラントの違い). INNERVISION, 31 (10), 82-85, 2016.
- 7) 安藤英二: 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, 31 (11), 90-94, 2016.
- 8) 安藤英二: 診療放射線技師が知っておきたいTKAのX線撮影 その3 (臥位による非荷重撮影のTKA側面画像について). INNERVISION, 31 (12), 72-76, 2016.
- 9) 國友博史, 他: 低線量域におけるDigital Radiographyの物理的画質特性の検討. 日放技学誌, 68 (8), 961-969, 2012.