

ウシの臨床における X線撮影検査の新展開

みやはら かずろう
宮原 和郎

国立大学法人帯広畜産大学
動物医療センター
(〒080-8555 北海道帯広市稻田町西2線11番地)

(miyahara@obihiro.ac.jp)

ウシの臨床においてもCR(Computed Radiography)が徐々に普及しつつあり、産業動物のX線撮影検査は、従来なく大きく様変わりしてきている。これは、ウシの臨床でも使用され始めたCRが非常に優れているためとも言えるが、一方では、一般社会においてもいわゆる写真屋にフィルムを持って行ってプリント現像してもらう銀塩カメラが過去のものとなり、デジタルカメラが主流となったことがある。メーカーでも銀塩カメラが作られなくなり、プリント用フィルムのみならずX線フィルムが供給されなくなっていることが、必然的にCRを導入せざるを得ない状況になっているとも解釈される。さらに撮影する人の側から考えても、全国の家畜診療所に新規採用される獣医師はすでに銀塩カメラを知らず、全国16獣医系大学のいずれにおいてもフィルム現像を行うS/F(Screen-Film)システムについては実習として行われなくなっている。このことから、学生時代に理論は学習したことはあっても、家畜診療所で従来のS/FシステムでX線撮影検査を行わなければならぬとすると、ほぼ最初から指導を受けなければならない状況である。

ウシにおける X線撮影検査の現状

産業動物におけるX線診断は他の動物種同様に昔から行われ、古い新しいは別としてどこの家畜診療所にもX線装置が備えられている。しかし、ほとんど使用されずにいる、または使用されずに廃棄されてしまったのが一般的ではないだろうか。これには、S/Fシステムの条件設定の難しさと検査の煩雑さに起因するところが大きい。ヒト、伴侶動物、競走馬のX線撮影検査とウシのそれとでは状況が大きく異なるのも、その理由の一つである。

ヒトや伴侶動物のX線撮影検査では、被写体である動物を診療施設に移動させて、据え置き型の比較的高出力のX線装置を利用して行われる。撮影台の上に動物を寝せて、一定のFFD(焦点-フィルム間距離)で垂直方向にX線を照射して行われ、適正な画像が得られなければ何度も再撮影が行われる。競走馬の場合には確かにウシ同様にポータブルX線撮影装置を用い、立位で水平方向にX線を照射して撮影が行われることから、しばしばFFDが一定に

ならず撮影部位によっては条件が不足する。しかし、競走馬ではほとんどの場合に診療施設で撮影が行われることから再撮影は容易であり、撮影部位はほぼ四肢に限定され、なおかつその四肢がウシのように糞尿で著しく汚染していたり、慢性炎症によって異様に肥厚していたりといった状況は皆無である。何より競走馬の診療所では、その必要性から検査を担当する獣医師が日常的にX線撮影検査を実施し、操作に習熟していることがウシの臨床獣医師の場合とは異なる点であろう。

基本的にウシのX線撮影検査においても、ヒトや伴侶動物同様にバックグラウンドは真っ黒で、骨等の硬部組織は白く、いわゆるコントラストのついたきれいなX線写真が好まれ、硬調現像が行われてきたことが、より一層X線撮影検査を難しいものとしている。硬調現像では特に条件設定が難しく、X線の照射条件が高すぎて、撮影時のFFDが近すぎるなどの状況が起これば、できあがった写真は黒くなり、ともすれば肉眼でも判別できない真っ黒な写真となる。

使用するのが本質的に出力の低いポータブルX線撮影装置で前述の逆の状況が重なれば、真っ白な条件不足の写真となる。このような診断価値の乏しい画像が得られた時に再び農家に赴いて再撮影が行われるかと言えば、容易なことではなく、次第にX線撮影検査が敬遠されていく状況になる。日常的にX線撮影検査が行われなければ必然的にX線撮影技術の向上もなく、診断価値の高い画像を得ることはより難しい状況になる。このような悪循環がウシの臨床においてなかなかX線撮影検査が行われない理由と考えられる。

著者は産業動物総合画像診断車による検診の中で、NOSAI獣医師の依頼があれば農家に赴いてX線撮影検査も行うが、診断車には暗室を備えていることからフィルム現像を現地で行うことができ、再撮影も十分に可能である。当初、この診断車には自動現像機が搭載されて一般的な硬調現像を行っていた(図1左上)。現地で自動現像機を使用するために



図1 当初診断車に搭載されていた自動現像機(左上)。次に採用した超軟調現像法を用いた手焼き現像(右上)。CRを利用したX線撮影診断(左下)とCR読み取り機(右下)

は水平に現像機を設置し、組み立て、現像液の温度を40°Cに設定する必要がある。しかし、X線検査が始まれば撮影条件設定が難しくとも、何度も再撮影が可能であり、診断のために何枚もの撮影を行っていたが、検査終了後には再び移動のために、自動現像機から薬液を抜き、装置を洗浄して解体する必要があった。このような状況から、よりスピーディーにX線撮影診断を行うために自動現像機を降ろし、手焼き現像で診断に特化した超軟調現像を行っていた(図1右上)。現在では、さらに手焼き現像から暗室を必要としないCRを搭載して、X線撮影診断を行っている(図1左下; CRによる画像調整と観察、右下; CR読み取り機)。

S/Fシステムを使用するなら超軟調現像

超軟調現像は、白黒のコントラストがはっきりしている硬調現像に対して、現像を進めていても真っ黒にはならない超軟調現像という現像法である¹⁾。これは航空写真のために開発された現像法と言われ、基本的に手焼き現像であることから、暗室内で目視によって現像の進み具合を確認しながら、観察したい関心領域が観察できるまで現像できる現像法である。図2に示すように、左の従来の硬調現像

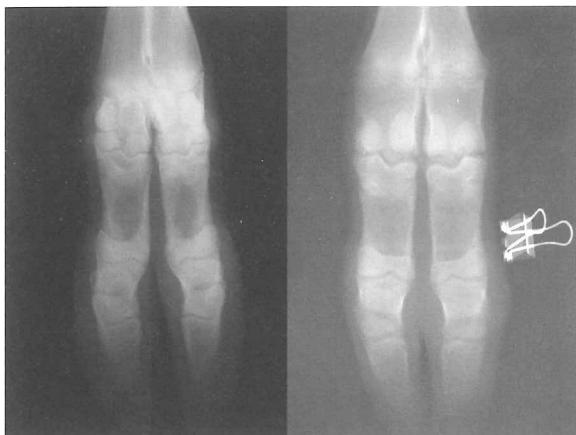


図2 硬調現像(左)と超軟調現像(右)

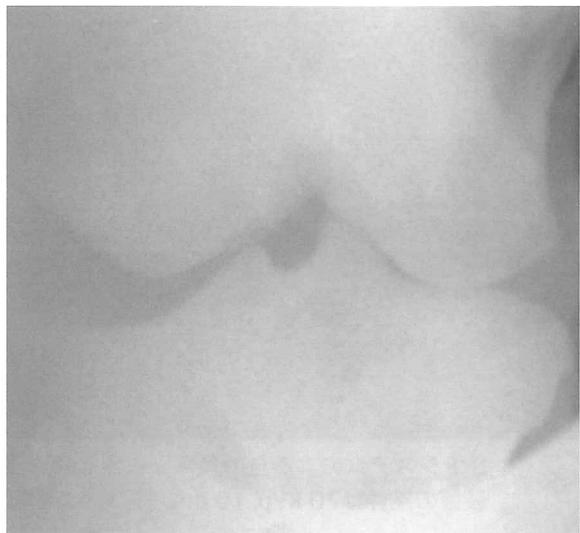


図3 60 kV, 10 mA定格の歯科用X線撮影装置
で未経産牛の膝関節を尾頭側方向に撮影

に比べれば右の超軟調現像ではいかにも現像不良のような画像である(2枚の症例は異なる)が、いわゆるワイドラチチュードな画像であり、高精度な画像処理装置である肉眼を持って観察すると、多くの情報を識別することが可能である。図2ではやや比較が難しいが、硬調現像ではバックグラウンドが真っ黒であるにも拘わらず、近位種子骨周囲についてはやや条件不足のように白く不明瞭である。しかし、超軟調現像ではバックグラウンドも淡い灰色ながら、第三・第四中手骨遠位に重複する近位種子骨の輪郭も良好に識別できる。著者は超軟調現像液(1,000 mLの蒸留水にフェリドン1.5 gと無水亜硫酸ソーダ30 gを溶解したもの)にさらにモノール1 gを加えた佐藤ら(1987)が記載しているPOTA-86現像液を使用している⁷⁾。

前述のように、ポータブルX線撮影装置を使用するウシの臨床では自ずと条件が不足になることが予想される。すなわち「放射線の逆二乗則」を考えれば、条件不足となるウシのX線撮影では常に距離を一定にして撮影するよりはFFDを短くしてX線量を上げて撮影し、なおかつ超軟調現像を行えば診断価値のある画像が得られ易いことになる。一例として、図3は60 kV, 10 mA定格の歯科用X線撮影装置で未経産牛の膝関節を尾頭側方向に撮影したものである。膝関節の前後幅は32 cmであったが体表にX線装置を接して撮影し(FFD : 32 cm), 超軟調現像を

行えば何とか関節面を評価できる画像が得られている。

CRは魔法の機器か

冒頭にもCRが非常に優れているためにウシの臨床で使用され始めたと記載したが、CRは本当に魔法の機器なのか。CRは富士フィルムが1981年に開発したX線画像診断システムであり、このことから当初はFCR(Fuji Computed Radiography)と呼ばれていたが、近年特許期間が過ぎて各社が製造・販売を始めたことからCRと呼ばれるようになった。

FCRは当初、被ばく線量を大幅に低減可能であり、診断精度を飛躍的に高める新しいX線診断システムとして登場した。事実、図4上段に示すように、S/Fシステムでは撮影条件が低すぎれば黒化せずに画像にならず、適正条件(図4上段④)をオーバーすれば全体に黒化が進んで診断価値が著しく低下する。これに対してCRでは図4下段に示すように条件不足でもある程度画像が得られ、S/Fシステムにおける適正条件を遥かに超えても比較的良好な画像が得られている。しかし、これはあくまでも概説的な話であって、最適条件とされる図4上段④でS/FシステムとCRの画像を拡大して比較すると、CRよ

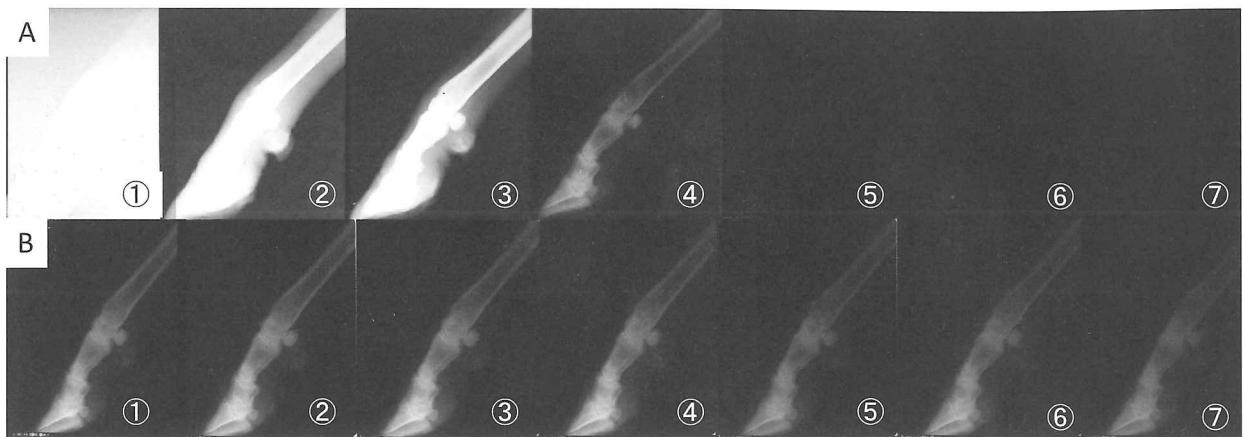


図4 S/Fシステムによる自動現像機による撮影画像(上段)とCRによる撮影画像(下段)。ポータブルX線撮影装置の条件は70 kVp, 10 mA, FFD75 cmで①0.01秒②0.05秒③0.1秒④0.5秒⑤1.0秒⑥1.5秒⑦2.0秒

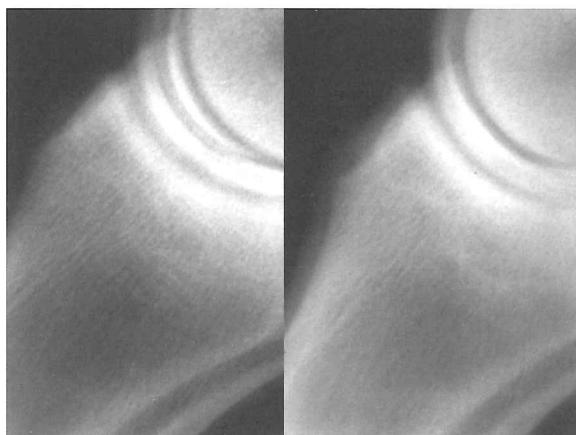


図5 S/Fシステム(左)とCR(右)の画像を拡大した比較

りもS/Fシステムのフィルムの方がより詳細に観察可能である(図5:画像として示したが、これらの画像を掲載するためにも多くの段階を踏んでいることから、あくまでもイメージとして理解願いたい)。これは一般的な銀塩カメラのフィルムとデジタルカメラの画像の比較でも同じで、デジタルカメラで1,000万画素、2,000万画素といっても、S/Fシステムのフィルムの銀粒子との比較ではレベルが違う。

ヒト医療においても、発売当初はS/Fシステムの画像に慣れているほとんどの医師が、CRの画像をさらにモニター画面で観察することにより画像の質の低下を生じるため、モニターでは診断はせずに、CRであっても最低限フィルムに落としてから読影

することを希望した。メーカー側もX線照射条件を下げた画像では画質の低下が明らかであることから、すぐに被ばく線量の低減が可能とは言わなくなつた。

X線照射条件を変えたCR画像を肉眼で詳細に観察すると、CRではS/Fシステムで適正条件とされる撮影条件よりもさらに撮影条件を上げることで画質が改善される。伴侶動物におけるCRの応用ではこのような理由から、S/Fシステムの時よりも一般に撮影条件を上げて撮影が行われている。近年ではヒト医療においても伴侶動物臨床においてもCRによるX線検査でプリントすることはほとんどなくなった。DICOM(Digital Imaging and Communication in Medicine)システムと呼ばれる米国放射線学会と北米電子機器工業会が開発した医用画像のフォーマットと、医用画像機器間の通信プロトコルを定義した標準規格が使用されるようになり、読影に際しては、このシステムによって画像調整をしながら観察できるようになったためである。それ以上に、CTやMRIを含めて得られる画像が膨大となり、いちいちフィルムに落としていられないこと、さらにプリントしたフィルムは非常に重量があり、これを保管するためには膨大な費用がかかるために、デジタル化が一般的になっている。

実際にシャウカステンにフィルムを掛けてフィルムを透かしながら観察する場合に比較して、同じ画

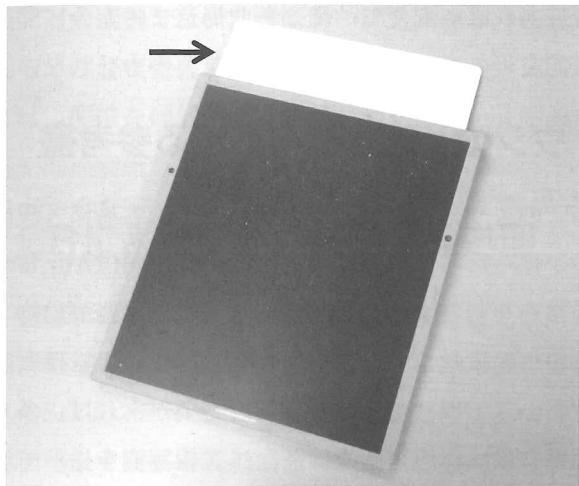


図6 CRでフィルムの役目をするIP

像を明るいモニター画面に映して観察する場合には入念に画像調整しながら観察しても見にくいものである。しかし、このヒト医療や伴侶動物さらには競走馬におけるX線画像のデジタル化に伴う長所短所の状況と、ウシの臨床における状況は大きく異なる。ウシの臨床では、先に現状として記載したように撮影機材、撮影体位、撮影場所などの状況から全く診断価値のない画像しか得られないことが多かった状況から、S/Fシステムのフィルムに比較してCRの画像は劣るとは言える。厳密な条件設定なしであっても画像が得られることから、格段の進歩であり、非常に有用と言える。

家畜診療所におけるCRの応用

家畜診療所においてCRを導入する場合に理想を言えば、CRのみならず、新しいX線装置を導入した方が性能は高く、より様々な部位の撮影が可能となる。基本的にX線が出るのであれば、旧タイプのX線装置であっても使用は可能である。先に示したように歯科用のポータブルX線撮影装置であっても、何とか条件を揃えれば膝関節の尾頭側像を撮影することができる。S/Fシステムでは、各メーカーによってフィルムとカセット内に増感紙の組み合せが決まっている。同様にCRにおいてもカセットとフィルムの役目をするIP (Imaging Plate) の組み合せは決まっている(図6)が、さらにCRではこ

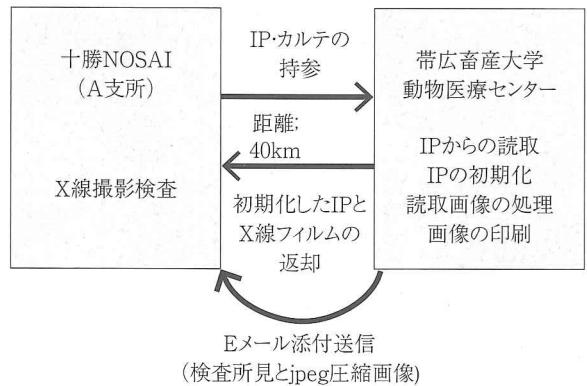


図7 十勝NOSAIと帯広畜産大学とのCR試験運用

のカセットやIPによって読み取り機や画像調整本体も決まってしまう。利用者側からすれば、統一規格のIPやカセットがあれば理想であるが、そのようにはなっていない。

ウシの臨床において、S/Fシステムに比較してCRが如何に有用な診断機器であるかの一例として、十勝NOSAIの例を挙げたい(図7)。十勝NOSAIではCRの導入を検討していたが、その判断基準として本学に設置していたCRのメーカーのIPとカセットのセット4冊を購入し、十勝NOSAI・A支所に設置し、必要に応じてX線撮影検査を行った。X線撮影検査が行われると、撮影したIPを本学動物医療センターまで持参し、画像の読み取り、画像処理、画像のプリントを行うと共に、IPの初期化をして持ち帰った。

デジタル画像であることから、得られた画像については、後日診断結果と共にjpegファイルに圧縮してA支所にメール添付で送信した。これを実施した結果、約1年間に30症例約100枚のX線撮影検査が行われ、それ以前の状況に比較してX線検査回数は飛躍的に伸びた。この約100枚の撮影像のうち全く読影に値しない画像は僅かに3枚であった。

当初は多くの獣医師が、S/Fシステムの場合と同様に同一方向で撮影条件を少しづつ変えて撮影していたが、いずれの条件でもほぼ同様な画像が得られることがわかつてからは、4冊のIPを有効に使うべ

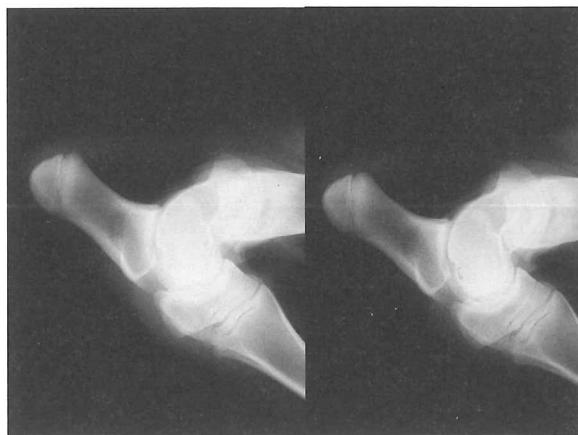


図8 撮影直後(左)と撮影4日後(右)に読み取った画像の比較

く、比較対照として健常対側肢を撮影したり、斜像の撮影を行うようになった。さらに四肢の骨折等では、経過観察のために同一症例に対してしばしば再検査が行われるようになり、検査対象が四肢のみならず頭部や胸部に広がった。十勝NOSAIではすでにCRが導入され、活用しているが、この状況がウシの臨床におけるCRの有用性を物語っている。

また、広域NOSAIの場合には大学と十勝NOSAIのように、各地区の家畜診療所で撮影されたIPを本部へ送って画像出力してもらうことになる。しかし、X線撮影を行ってから読み取り機で読み取るまでの時間経過によって、IPからの発光量が減少するフェーディングという減少が起こることが知られている^{2,3)}。このフェーディングは時間が長く、保管温度が高いほど大きくなるといわれる。撮影から読み取るまでの経過時間が8時間の場合、発光量は25%ほど減少すると言われている²⁾。このことを考えると、ウシの臨床においてもヒトや伴侶動物の診療施設同様に各家畜診療所にCRの読み取り機があるほうが望ましい。しかし、図8に示すように実際に足根関節を撮影し、撮影直後に読み取ったものと撮影4日後に読み取ったものを比較しても、提示した画像ではほとんど変化がない。実際にオリジナル画像を詳細に観察すると粒状性などの違いはあるが、従来のS/Fシステムで得られた画像のばらつきに比べれば、殆ど問題にならないと思われる。それよりも、

4日あれば宅配便で沖縄から北海道まで充分に郵送可能な世の中であることの方が重要かもしれない。

ウシのX線画像に関する参考書

このように、ウシの臨床においても容易にX線画像が得られるようになると、得られた画像が正常か異常かを判断する必要がある。海外では経済動物であるウシに対してX線撮影検査を行うことはほとんどない。どうしても検査を行う必要があれば、多くの場合は、専門の画像診断医へX線写真を送って読影依頼したり、大学等へウシを移送して撮影が行われたりしている。このため海外においてもウシのX線画像に関する図書は非常に少なく、唯一Bargalら(1989)のBovine Radiologyのみであり⁴⁾、撮影技術については他の動物種と共にMorgan(1993)が記載している程度である⁵⁾。一方、ヒトや伴侶動物、競走馬については多くのX線像に関する図書があり、日常的にX線撮影検査が行われていることから、数多くの正常画像に関する図書も存在する。しかし、ウシに関するものは海外においても全く存在しない。

従来、著者にフィルムが送られて読影依頼され、読影所見を専門用語で記載してこれを担当獣医師に報告しても、担当獣医師はさらにその所見を畜主である農家に説明する必要があることから、より分かり易い読影報告が求められた。そこで、送られてくるX線像の多くが四肢疾患に関するものであることから、出生後から1カ月毎に10カ月齢まで、さらに15カ月齢と20カ月齢を加えて各月齢の正常牛の肢端部、手根関節部、足根関節部の基本的な側像と背-掌(底)側像(あるいは掌(底)-背側像)、さらに2方向の斜像を加えて撮影し、この中から読影依頼された画像に最も該当する月齢と撮影方向の画像を読影所見と共に返却した。正に百聞は一見に如かずであり、健常対側肢の撮影画像同様に、このような比較対象となる画像が診断には最も有用となる⁶⁾。CRを導入した家畜診療所ではX線撮影検査を行う機会が増加しているが、本学周囲のNOSAIの状況を見ても対照となる正常画像と比較することによって、ほ

とんどの症例では概ね診断がつけられるように思われる。四肢疾患において助言を求められる症例としては、明瞭な硬部組織変化が認められない骨端線骨折や関節疾患などが多いようである。

CRによるウシのX線画像処理

CRでは様々な画像処理が行われ、また異なる画像調整も可能であるが、前述のように基本的には従来のS/Fシステムのフィルム画像に如何に近づけて違和感なく観察・読影できるかという方向で、画像が作製されてきた²⁾。この目的に沿って、ウシでは先行する競走馬の画像処理条件が使用されてきている。しかし、ウシの臨床においては、競走馬とは比較にならないほど様々な状況下でX線撮影検査が行われ、CRを操作して画像を作製・診断する人間も、撮影した獣医師あるいはCR本体が設置されている本部？の獣医師であって画像診断を専門とする者ではない。したがって、できる限り読み落としの少ない超軟調現像のようなワイドラチチュードで、新たに調整することなく軟部組織も硬部組織も観察可能な画像が自動的に出力されることが望ましい。さらにウシの臨床においてはヒトや伴侶動物のように必ずしもIPの中央部分に被写体があるとは限らず、このような状況においても適切に画像認識して良好な画像が出力されることが理想である。これを実現するためには、使用する獣医師のみならず各メーカーの絶大なる協力とプログラムの変更が必要と考えられる。

女性獣医師が ウシのX線撮影検査を変える

近年、産業動物総合画像診断車による検診で現地に赴いても、担当獣医師が女性であることが多くなった。実際に一緒に検診してみて、従来、男性獣医師が力強くて被検牛を保定してX線撮影検査を行うことが多かったが、女性獣医師ではキシラジンを使用して検査を行うことが多いようと思われる。化学的保定を行うとは言え、非常にスピーディーに良

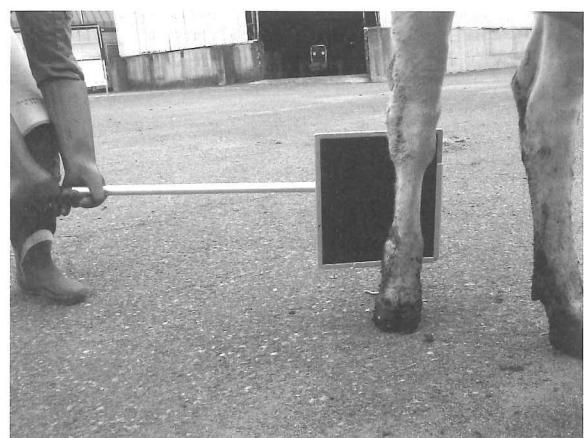


図9 しっかりとした放射線防護措置を講じた上で検査を

好なX線撮影ポジションで撮影を行い、できあがったX線写真の質も非常に高い。どんなにCRによって改善されるといっても、良好なポジショニングや適切な撮影条件、体動の抑制等がなければ、決して診断価値の高い画像は得られない。女性獣医師の進出が、牛の臨床におけるX線撮影検査の診断向上に寄与していくようにも思われる。

また、被ばく防護に関してX線診療従事者の実効線量は5年間に100 mSvで、なおかつ年間50 mSvを超えてはならないとされているが、女性ではさらに3カ月間に5 mSvを超えてはならず、妊娠中の女子の腹部表面については妊娠の事実を知った時から出産までの間に2 mSvを超えてはならないとされている⁷⁾。CRの普及によりX線撮影検査が増加して、診断が向上することは望ましいが、従来のように年に1回撮影するかどうかという状況ではカセッテを手に持って撮影しても殆ど影響はなかったかもしれない。しかし、検査回数が増加すればするほどカセッテホルダーを使用するなど、しっかりとした放射線防護措置を講じた上で検査をすることを心がけなくてはならない(図9)。

ウシのX線撮影検査では、とくに水平方向へのX線照射の機会が多く、鏡面像(液体貯留による水平ライン)等の異常所見を検出しやすい利点もあるが、十分な被ばく防護知識とその実践が求められること

を、女性獣医師の進出と共に改めて再確認すべきである。

ウシのX線撮影検査においても、好むと好まざるに係わらずデジタル化が進んでいる。CRはデジタルとは言え、読み取り段階でアナログのレーザースキャンが入るが、ヒトや伴侶動物や競走馬ではさらにCRからDR (Digital Radiography) の導入が進んできている。現状ではCRのIPとは桁違いにDRのFPD (Flat Panel Detector ; 平面型検出器) が高額であるため、ウシの臨床ではまだ先のことと思われるが、X線撮影検査の基本原理が変わった訳ではなく、デジタル機器=スイッチを押すだけのブラックボックスにならないように、診断価値の高い画像の取得に努めたいものである。

参考文献

- 1) 佐藤基佳, 広瀬恒夫 : 北海道獣医師会雑誌, 31(7)126-129(1987)
- 2) 岩崎信之 : FCR画像処理解説書, 第2版, 富士写真フィルム株式会社(2002)
- 3) 岸本海織, 住谷峻ら : 日本獣医師会雑誌, 63, 431-434(2010)
- 4) Bargai Uri, Pharr JW, Morgan JE : Bovine Radiology. Iowa State University Press(1989)
- 5) Morgan JP : Techniques of Veterinary Radiography . Iowa State University Press(1993)
- 6) 大村寛, 三好雅史, 宮原和郎 : 乳牛の正常X線画像. 第1版, インターズー, 東京(2013)
- 7) 日本獣医師会 : 獣医療における放射線診療技術研修教材——放射線防護技術編——, 139(2007)