原 著

核医学検査における被検者の被ばく量低減の検討 (^{99m}Tc -MDP について)

河 村 誠 治・*梅 崎 典 良・白 石 嘉 孝

簗 原 亨・近 藤 富士雄・**石 橋 正 敏

森 田 誠一郎・**早 瀬 尚 文

久留米大学医学部附属病院画像診断センター

*久留米大学医学部放射性同位元素施設

**久留米大学医学部放射線医学教室

(論文受理 1991年10月2日)

(最終論文受理 1992年6月19日)

(Code No. 110, 114. 4)

Key words: ^{99m}Tc -methylene diphosphonate (^{99m}Tc -MDP), radioisotope, in vivo, radiation protection exposure dose of bladder wall

CLINICAL TECHNIQUE DECREASING THE EXPOSURE DOSE IN PATIENTS OF
HAVING RADIONUCLIDE STUDY: BONE SCINTIGRAPHY USING
 ^{99m}Tc -METHYLENE DIPHOSPHONATE

SEIJI KAWAMURA, *NORIYOSHI UMEZAKI, YOSHITAKA SIRAIKI

TOHRU MINOHARA, FUJIO KONDOU, **MASATOSHI ISHIBASHI

SEIICHIROU MORITA, **NAOFUMI HAYABUCHI

Department of Medical Science and Technology, Kurume University Hospital

*Radioisotope Institute For Basic and Clinical Medicine, Kurume University School of Medicine

**Department of Radiology, Kurume University School of Medicine

(Article received: Oct. 2, 1991)

Summary

^{99m}Tc -methylene diphosphonate(^{99m}Tc -MDP), which is excreted through the urinary tract and partly accumulated on the content of bladder, is the most common radiopharmaceutical form among the current bone scintigraphy. In order to find the methods decreasing the exposure of the whole body and the bladder, 15 patients were selected for the present study. Neither of them had renal disorder, nor demonstrated abnormal radionuclide increased uptake over the whole bones. They were divided into two groups; i. e 10 patients were forced to take

fluid during examination and the other 5 patients were ordered not to take fluid. After administration of ^{99m}Tc -MDP, whole body activity was compared between these 2 groups. At the same time, exposure of patients' wall of the bladder was estimated from their urine activity. Forced fluid intake group received less radioactive exposure to the whole body than no fluid intake group did. For the forced fluid intake group, it is estimated that exposure of the wall of bladder can be reduced about 40% if one avoids urine in 50 minutes after administration of ^{99m}Tc -MDP instead of avoiding urine in 120 minutes.

1. 緒 言

大部分の放射性医薬品あるいはその代謝産物は尿路系から排泄される。そのため、検査後24～48時間内の水分摂取を多くし、利尿を促進させることによって、膀胱およびその周囲臓器（たとえば生殖腺）の吸収線量を減らすことが可能である¹⁾。

骨シンチグラフィ用医薬品である ^{99m}Tc -methylene diphosphonate (以下 ^{99m}Tc -MDP と略す) は、尿路系排泄薬剤であることから膀胱尿中に含まれ²⁾、その放射能から与えられる膀胱壁への被ばくが問題となる。したがって、膀胱壁の吸収線量の低減を行うことは重要な課題であるにもかかわらず、膀胱壁の吸収線量低減方法について具体的に言及した報告はみられない。そこで、 ^{99m}Tc -MDP を投与した被検者の全身放射能および排泄尿中放射能を測定することにより、膀胱壁の被ばくをより低くするための方法について検討を加えた。

2. 対 象

対象は ^{99m}Tc -MDP による骨シンチグラフィを行い、骨に放射能の異常集積がなくかつ血清学的に腎機能が正常 (Scr: 0.6–1.1 mg/100 ml, BUN: 8–20 mg/100 ml)³⁾ であった15症例である。うち10例は ^{99m}Tc -MDP 投与直後から検査開始までの間に水を200 ml 以上摂取させるなど積極的に水分摂取を行ったもの、ほかの5例は逆に水分摂取をまったく行わなかったものである。

3. 方 法

a. 全身計数率の測定

^{99m}Tc -MDP を投与した被検者の全身計数率を、投与後5分以内と任意時間経過後に甲状腺摂取率測定装置 (東芝製: RDM-52-B) により、被検者を椅子に座らせた状態で60秒間測定した。

測定距離は、甲状腺検査用のコリメータを除去した状態で、2.5 m に設定して十分に全身のカウントを測定できるようにした。なおこの距離での測定感度分布比 (中央部分と周辺部分の測定感度比) は、0.95以上であった

Fig. 1 Arrangement plan of the measurement of whole body count, using the measuring device for the rate of intake by thyroid is shown.

(Fig. 1). 測定器の高さは、被検者を椅子に座らせた状態の高さの中心に調節した。

b. 尿中および投与放射能測定

^{99m}Tc -MDP を投与した被検者の排尿毎の尿 1 ml の放射能をキュリーメータ (ALOKA: IGC-3) で測定し、尿量を乗ずることにより排泄放射能を求めた。また被検者への投与量を求めるために、投与前後の注射器の放射能をキュリーメータで測定した。

4. 結 果

Fig. 2 に ^{99m}Tc -MDP 投与被検者の全身計数率の時間推移を示した。水分摂取を積極的に行った10例の任意時間経過後の全身計数率を○印で示し、水分摂取を全く行わなかった5例を●印で示している。この値は、 ^{99m}Tc -MDP 投与後5分以内に測定した全身計数率により正規化し、さらに全身計数率は壊変定数により補正を行っている。したがって○印と●印の差は2対照群の生物学的排泄の違いを示している。水分摂取を行った時および水分摂取を全く行わなかった時の生物学的排泄は、 ^{99m}Tc -MDP 投与2時間後では、それぞれ約48%および約30%であり、水分摂取を行った群が体外排泄は早かった。

Fig. 3 に尿中放射能を測定した結果を示す。丸印は水分摂取を行った時の尿中放射能比を示し、三角印は水分摂取を行わなかった時の尿中放射能比を示している。丸印と三角印それぞれの白抜きは初回排尿の尿中放射能比

核医学検査における被検者の被ばく量低減の検討 (^{99m}Tc -MDP について) (河村・他)

Fig. 2 Comparative whole body counts after an arbitrary lapse of time between both conditions of positive fluid intake and absolutely therewithout following ^{99m}Tc -MDP administration are shown. ○: forced fluid intake group (N=10) ●: no fluid intake group (N=5)

Fig. 3 Comparative results of the measurement of urine radioactivity ratio (%) between both conditions of positive fluid intake and absolutely therewithout are expressed in ○ and △, respectively.

で、黒塗は初回排尿と2回目の排尿放射能を加算したものである。なお尿中放射能比は壊変定数により減衰を補正して示しており、丸印と三角印の差はFig.2と同様に、2対照群の生物学的排泄の違いを示している。

+印は初回排尿と2回目の排尿の平均排尿時間と尿中の平均放射能比を表わしている。

水分摂取を行った時の初回排尿までの平均時間は約2時間、2回目の排尿までは約4時間で、平均排尿間隔は約2時間であった。また、この時の初回排尿では、投与放射能の約50%が排泄され、第2回目の排尿で投与放射能の約8%が排泄されている。

これに対して、水分摂取を行わなかった時の初回排尿までの平均時間は約1.8時間、2回目の排尿までは約4.2時間で、平均排尿間隔は約2.4時間であった。水分摂取を行わなかった時の初回排尿では投与放射能の約26%が排泄され、第2回目の排尿で投与放射能の約18%が排泄されている。

5. 膀胱尿中放射能による膀胱壁の吸収線量の推定

膀胱での放射能の推移を決定すれば、この放射能を時間積分することにより Medical Internal Radiation Dose Committee (MIRD 法)^{4,5)} によって膀胱尿中の放射能による膀胱壁の吸収線量を求めることができる。

したがって、膀胱尿中放射能の推移および排尿間隔の実験結果を基に次のように推定した。

水分摂取を行わなかった時の排泄放射能は、初回排尿および2回目排尿中に含まれる放射能の比から、飽和域に達しているとは考えられない。

これに対して水分摂取を行った時の排泄放射能は、初回排尿および2回目排尿中に含まれる放射能比から、飽和域に達していると考えた。この時の排泄尿中放射能(Y)と排尿時間(t)の関係は、

$$Y = 0.599 \times (1 - \exp(-0.994 \times t)) :$$

(t は ^{99m}Tc -MDP 投与後の経過時間)

で表現できる。

この式は、 ^{99m}Tc -MDP 投与後に膀胱中に流入してくる放射能を表しているものと考えた。また、排尿間隔は、水分摂取を行った群の排尿間隔である2時間とした。

これらの条件下で、初回排尿を投与直後から投与2時間後まで変化したときの膀胱壁吸収線量をMIRD法により計算した結果をFig.4に示した。この表は投与2時間後の膀胱壁被ばく量を100%として表している。

投与50分後に排尿した時の吸収線量が最低で、投与2時間後に排尿した時の吸収線量が最高になった。

Fig.5に積極的に水分摂取を行ったときの投与放射能に対する膀胱尿中の放射能比の時間推移を示した。破線は初回排尿を ^{99m}Tc -MDP投与2時間後に行った時の膀

Fig. 4 The relationship between bladder wall exposure dose ratio (%) and initial urinating time, as determined by MIRD method is shown.

Fig. 5 The time-course of bladder urine radioactivity ratio (%) is shown at positive fluid intake.

膀胱中の放射能比の時間推移で、実線は ^{99m}Tc -MDP 投与後初回排尿を50分にして、以後2時間毎に排尿を行った時の膀胱尿中放射能比の時間推移を示している。

初回排尿を ^{99m}Tc -MDP 投与2時間後とした時の膀胱壁吸収線量は水分摂取を行った時約 $2.84 \mu\text{Gy}/\text{MBq}$ であり、また50分後に初回排尿を行った時の吸収線量は、約 $1.76 \mu\text{Gy}/\text{MBq}$ となり、初回排尿を ^{99m}Tc -MDP 投与2時間後とした時の約60%になった。

5. 考 察

この研究は、 ^{99m}Tc -MDP を投与した被検者の放射能の生物学的排泄を検討することにより、膀胱壁および全

身被ばくの低減化の検討を行ったものである。

^{99m}Tc -MDP の胃液への排泄は無視できるとの報告がある⁶⁾。したがって Fig. 2 に示された測定結果は、排尿により確実に放射能が体外に排泄されたことを示していると考えられる。Fig. 2 および Fig. 3 において水分摂取群の投与2時間後における生物学的排泄は、それぞれ約48%および約50%となり、また、水分摂取を行わなかった群においても、それぞれ約30%および約26%となりよく一致した。 ^{99m}Tc -MDP は尿中に排泄される薬剤であることから、水分摂取を行った場合の測定値と水分摂取を行わなかった場合の測定値との差は水分摂取を強制的に行うことで利尿作用が促進した結果によると考えられる。

時間累積放射能が全身被ばくを表すことから水分摂取を行わなかった時に比べ水分摂取を行った時のほうが全身被ばくは少ないと考えられる。

また、水分摂取を行った時の排泄放射能は、初回排尿および2回目排尿中に含まれる放射能比から、飽和域に達していると考えた。これに対して、水分摂取を行わなかった時の排泄放射能は、初回排尿および2回目排尿中に含まれる放射能の比から、飽和域に達しているとは考えられない。Fig. 3 から明らかなように、 ^{99m}Tc -MDP は水分摂取を行ったとき、投与後数時間で尿中に投与量の約60%が排泄されるが、その間にも膀胱尿中放射能は腹部臓器に被ばくをもたらすと考えられる。

^{99m}Tc -MDP は尿路系排泄薬剤のため、膀胱尿中の放射能による膀胱壁への被ばくが最も多くなると考えられる。膀胱壁の被ばく低減を行うことは、結果として周辺臓器（例えば生殖腺）の被ばくの低減につながる。したがって、膀胱尿中放射能をできる限り早急に排泄し、被ばくを低減することが望まれる。

放射線による内部被ばくは MIRD 法によると、放射能量の時間積分で決定される^{4,5)}。核医学検査時の全身の器官および組織の吸収線量を計算するためには、全身・各臓器・器官および組織などの放射能と時間との関係を求めねばならない。ある臓器の内部被ばくを計算するためには、全身血中からの被ばく、他の主な蓄積臓器からの被ばく、さらにある臓器そのものからの被ばくを合計しなければならない。水分摂取を行わなかった時は、水分摂取を行った時に比べて膀胱壁の被ばくは少ないが、全身被ばくは多いと考えられた。そのため本研究では、全身被ばくと水分摂取を行った時の膀胱尿中放射能の膀胱壁に及ぼす影響にのみ限定して検討を行った。

Fig. 5 に示す膀胱尿中放射能比の時間推移曲線を積分することで、MIRD 法により膀胱壁被ばく量を算出でき

核医学検査における被検者の被ばく量低減の検討 ($^{99m}\text{Tc-MDP}$ について) (河村・他)

た。Fig. 4 に示した膀胱壁被ばく量と初回排尿時刻との関係から、 $^{99m}\text{Tc-MDP}$ 投与後、50分後に排尿を行い、その後2時間間隔で排尿を行ったとすれば、水分摂取を行った時、膀胱壁被ばく量は、2時間後に排尿した場合の約60%に低下した。

さらに積極的な被ばく量の低減の方法として腎障害を有しない被検者には、利尿剤投与や点滴をして水分を投与することなども考えられる。利尿剤投与を行うと排尿間隔は2時間より短くなると考えられる。例えば排尿間隔を20, 40, および60分と変化させて水分摂取を行った場合の膀胱壁吸収線量を算出すると、それぞれ約0.405 $\mu\text{Gy/MBq}$, 0.85 $\mu\text{Gy/MBq}$, および1.3 $\mu\text{Gy/MBq}$ となり、排尿間隔の短いほうが被ばく量は少なくなる。また、妊婦の骨シンチ時には、膀胱尿中の放射能による胎児の被ばくが問題となる。このため、Baker ら⁷⁾ は、Foley カテーテルを膀胱内に挿入して導尿を行うことにより、膀胱尿中放射能から胎児への被ばくを約41%低減できたと報告している。

以上より、現在の $^{99m}\text{Tc-MDP}$ による骨シンチグラフィでは、全身被ばくおよび膀胱壁被ばくの両方の低減を行うためには、 $^{99m}\text{Tc-MDP}$ 投与前の排尿は行わずに、投与後水分摂取を積極的に行い50分前後に排尿を行うことが重要であると考えられる。

いずれにせよ、必要な臨床情報の収集を妨げない限り、被ばく量低減を行うために、水分摂取を促し排尿回数を増加させるなどの試みを検査手順の一環として行うべきであると考ええる。

5. 結 語

$^{99m}\text{Tc-MDP}$ 投与後の膀胱壁および全身被ばく量の低減方法を検討し以下の結果を得た。

- (1) 水分摂取を行ったほうが全身被ばくを低減できる。
- (2) 初回の排尿を $^{99m}\text{Tc-MDP}$ 投与後50分前後にすることにより、自然に排尿させた場合と比較して、膀胱壁被ばく量を約40%低減できると推定した。

以上より、必要な臨床情報の収集を妨げない限り、被ばく量低減を行うために、水分摂取を促し排尿回数を増加させるなどの試みを検査手順の一環として行うことを提言する。

この論文の要旨は第47回日本放射線技術学会総会ならびに第19回秋季大会核医学分科会で報告した。

参 考 文 献

- 1) 日本アイソトープ協会：核医学における患者の防護 (Protection of the patient in nuclear medicine, Annals of the ICRP, 17, No. 4, 1987. ICRP Publ. 52), 丸善株式会社, 東京, (1990).
- 2) Subramanian, G., McAfree, J.G., Blair, R.J., Kallfelz, F.A. and Thomas, F.D.: Technetium-99 m-methylene diphosphonate—a superior agent for skeletal imaging: comparison with other technetium complexes. J. Nucl. Med. 16, 744-755, (1975).
- 3) 日本臨牀 43巻 広範囲 血液. 尿化学検査免疫学的検査—その数値をどう読むか— 243-246, 254-257, 株式会社日本臨牀社, 東京, (1985).
- 4) MIRD Pamphlet No.1-3: J. Nucl. Med. suppl. No. 1, (1968).
- 5) 核医学診断マニュアル. インビボ編VII- 1 ~47, 株式会社テクノ, 東京, (1987).
- 6) Fleming, J.S., Ramsay, B., Waller, D.G. and Ackery, D.: Measurement of glomerular filtration rate with a portable cadmium telluride detector. Nuclear Medicine Communications, 8, 751-757, (1987).
- 7) Baker, J., Ali, A., Groch, M., Fordham, E. and Economou, S.: Bone scanning in pregnant patients with breast carcinoma. Clinical Nuclear Med., 12, 519-524, (1987).