

リレー講座

専門医試験から学ぶ核医学の基礎と最近の話題

Vol.6. 消化器・腎核医学

Basic knowledge and recent topics of nuclear medicine learned from the certification examination.

Vol 6. Nuclear medicine in digestive organs and kidneys

澤本 博史 SAWAMOTO Hirofumi

Key words : digestive organs and kidneys, Japanese Nuclear Medicine Board examination, basic clinical nuclear medicine

《はじめに》

本稿では、日本核医学会専門医試験を受験する医師を対象に、2017年(第14回)～2022年(第19回)の専門医試験に出題された消化器・腎核医学の専門の解説を行う。この領域の出題数は毎年2～3問と決して多くはないもののコンスタントに出題されている。また、2020年(第17回)及び2021年(第18回)では従来の択一問題の他に記述式問題も出題されており(コロナ禍にておそらく口頭試問に代わる形での出題であったと推察される)、こちらにもこの領域に関連した出題がみられた。記述式問題の解答についてはあくまでも一例であり、参考程度として戴ければ幸いである。

《消化器核医学検査》

《出題傾向》

消化器核医学では、肝受容体シンチグラフィ、肝胆道シンチグラフィ、消化管出血シンチグラフィ、異所性胃粘膜シンチグラフィ、唾液腺シンチグラフィからの出題が多く、使用薬剤や投与量についての総論的な内容の問題の他、実際の症例に沿った出題もなされている。

問題 検査目的と使用する放射性薬剤の組合せで正しいのはどれか。1つ選べ。(2018年 第35問)

- a. 副脾の診断 $^{99m}\text{Tc-GSA}$
 b. 胆汁漏の診断 $^{99m}\text{Tc-赤血球}$
 c. 肝予備能の評価 $^{99m}\text{Tc-スズコロイド}$
 d. シェーグレン症候群の診断 $^{99m}\text{TcO}_4^-$
 e. 消化管出血の出血源の同定 $^{99m}\text{Tc-PMT}$

正解：d.

副脾の診断には網内系に取り込まれる薬剤である $^{99m}\text{Tc-スズコロイド}$ の他、 ^{99m}Tc 標識熱障害赤血球を用いる(後者はやや手技が煩雑である)。胆汁漏の診断には $^{99m}\text{Tc-PMT}$ を、肝予備能の評価には $^{99m}\text{Tc-GSA}$ を、消化管出血の出血源の同定には $^{99m}\text{Tc-HSA-D}$ 、 $^{99m}\text{Tc-赤血球}$ 、 $^{99m}\text{Tc-コロイド}$ (フチン酸/スズコロイド)等を用いる。よってd.が正解である。

問題 成人における標準的な投与放射線量が最も多い検査はどれか。1つ選べ。(2022年 第39問)

- a. $^{99m}\text{Tc-GSA}$ を用いた肝機能シンチグラフィ
 b. $^{99m}\text{Tc-PMT}$ を用いた肝胆道シンチグラフィ
 c. $^{99m}\text{Tc-スズコロイド}$ を用いた肝シンチグラフィ
 d. $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を用いた異所性胃粘膜シンチグラフィ
 e. $^{99m}\text{Tc-HSA-D}$ を用いた消化管出血シンチグラフィ

正解：e.

a. b. c. は185MBq, d. は185～370MBq, e. は370～740MBqであり、e. が正解である。消化管出血シンチグラフィでは必要に応じて24時間後像を撮像する場合があります。減衰を考慮し投与放射線量を多くする必要があります。

《肝受容体シンチグラフィ》

$^{99m}\text{Tc-GSA}$ を用いたシンチグラフィであり、肝アシアロシンチグラフィとも云われる。 $^{99m}\text{Tc-GSA}$ は肝細胞表面に存在するアシアロ糖蛋白受容体と結合し、肝細胞内に取り込まれ、代謝を受けた後に胆汁中に排泄される。アシアロ糖蛋白受容体は種々の肝疾患で減少するので、肝に摂取される $^{99m}\text{Tc-GSA}$ は減少し、逆に血中濃度は増加する。従って、形態評価のみならず、 $^{99m}\text{Tc-GSA}$ 静注後の肝摂取、血中濃度を算出することにより肝機能(肝障害の程度)を定量化可能である。

定量指標については種々の報告があるが、血中クリアランスの指標である HH15 と、肝摂取率の指標である LHL15 による相対的な定量法が基本且つ簡便でありよく用いられている。これらは静注直後からの dynamic 収集で得られた Planar 前面像において心血液プール及び肝臓に関心領域を設定し、時間放射能曲線での H3, H15 (投与後3分、15分における心血液プールの放射能)、L15 (投与後15分における肝臓の放射能)を用い、 $\text{HH15} = \text{H15}/\text{H3}$ 、 $\text{LHL15} = \text{L15}/(\text{H15} + \text{L15})$ で算出される(正常値は $\text{HH15} : 0.5 \sim 0.6$ 、 $\text{LHL15} : 0.91 \sim 0.96$ 程度)。HH15は肝障害が高度となれば高値となる。LHL15は肝障害が高度になれば低値となるが、軽度の肝障害の場合は感度が低い。SPECT 或いは SPECT/CT を用いることで局所の肝機能や機能

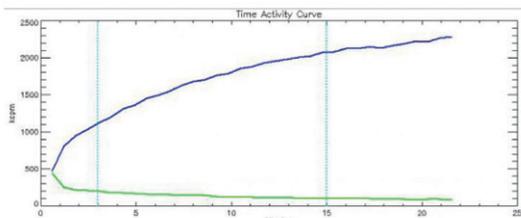
的肝容積の評価(計測)が可能であり、肝切除の場合では、術式の決定、術前後の予備能の評価、術後肝不全の予測等に用いられる。他、肝動脈塞栓術(TAE)での塞栓範囲の決定や、肝腫瘍に対する定位放射線治療での放射線治療計画目的等でも用いられることがある。

後述する ^{99m}Tc -PMTとは異なり、高度黄疸症例でも血中ビリルビンに影響されることなく肝機能の評価が可能である。

腫瘍は大半は欠損像として描出されるが、高分化肝細胞癌、限局性結節性過形成などでは細胞膜のアシアロ糖蛋白受容体が保たれていれば集積することがある。

問題 ^{99m}Tc -GSA シンチグラフィでの時間放射能曲線を示す。肝摂取率指標を示す式はどれか。なお、H3、H15はそれぞれ投与後3分と15分における心血液プールの放射能、L15は投与後15分における肝臓の放射能を表す。(2021年 択一問題 第59問)

- L15 / H3
- H15 / (H15 + L15)
- L15 / (H15 + L15)
- (H15 + L15) / H15
- (H15 + L15) / L15



正解：c.

定量指標については、設問文内に記載の肝摂取率の指標であるLHL15と、血中クリアランスの指標であるHH15が基本であり、LHL15は $L15 / (H15 + L15)$ で、HH15は $H15 / H3$ で算出される。よってc.が正しい。

問題 ^{99m}Tc -GSAを用いた肝機能シンチグラフィについて正しいものはどれか。1つ選べ。(2020年 択一問題 第37問)

- 成人での投与量は約185MBqである。
- 正常では、胆嚢は描出されない。
- 静注15分後に撮像を開始する。
- 中エネルギーコリメータを使用する。
- 肝機能が低下するとLHL15が上昇する。

正解：a.

a.は正しい。正常でも投与20分後以降胆管、胆嚢が描出される。肝受容体シンチグラフィでは投与直後より撮像を開始し、投与約20分後まで連続してdata収集を行う。局所の肝機能(予備能)を評価する場合はこれ以降にSPECTを撮像する場合が多い(局所肝機能の定量、より厳密な肝機能の定量を行う目的で投与直後よりdynamic SPECTを行う施設もある)。 ^{99m}Tc の γ 線のメインエネルギーピークは約140keVであるので、中

エネルギーではなく低エネルギーコリメータを使用する。肝機能が低下するとLHL15は低下する。

《肝胆道シンチグラフィ》

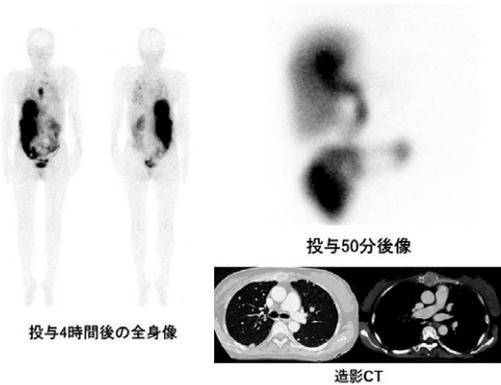
ビタミン B_6 とメチルトリプトファン(縮合体)よりなる ^{99m}Tc -PMTを投与する。肝細胞膜トランスポーターであるOATP1B1及びOATP1B3を介した能動輸送により肝細胞へ速やかに取り込まれた後胆道系に排泄され、総胆管を経て十二指腸へ排泄される為、胆道系の機能評価に用いられる。胆嚢にも取り込まれるが、胆嚢の評価を行うには検査前の絶食が必要である。正常の場合投与5分後で心プールが消失し肝が明瞭に描出され、静注10分後以降で胆道が、30分以内には胆管を経由して腸管が描出される。60分後では胆嚢や腸管に大部分以降し、肝の描出はほぼ不明瞭となる。肝集積はビリルビンと競合する為、黄疸が高度となると肝集積・排泄が低下し、腎尿路系の排泄が亢進する。総ビリルビン値が20~30mg/dLまでは描出可能と云われているが、6mg/dLを超えると腸管への排泄が認められないことがある。

検査の対象は新生児黄疸(乳児肝炎)と胆道閉鎖症の鑑別、先天性胆道拡張症(総胆管嚢腫)の診断、肝移植後や胆道系術後の評価、胆汁漏、急性胆嚢炎、肝内胆嚢、肝内胆管結石の診断、体質性黄疸の鑑別、肝実質性黄疸と閉塞性黄疸の鑑別等である。体質性黄疸の場合、Rotor症候群では肝集積低下、Dubin-Johnson症候群では肝集積正常・肝排泄低下、Gilbert症候群では肝集積・肝排泄共に正常である。他、肝腫瘍性病変の鑑別にも用いられ、分化度の高い肝細胞癌の原発巣や転移巣には ^{99m}Tc -PMTが集積する場合がある。他、限局性結節性過形成や肝細胞腺腫等にも集積すると云われている。

負荷検査として、胆嚢の収縮機能を評価する目的で胆嚢収縮剤を投与し、投与前後の胆嚢のカウントを測定する場合や、急性胆嚢炎での胆嚢管疎通性の評価目的で1時間後像にて胆嚢描出(-)の際にモルフィン負荷を行う場合がある。

問題 50歳代、男性。肝細胞癌の治療歴あり。CTにて、多発肺腫瘍および胸骨腫瘍を認めたため、核医学検査が施行された。この核医学検査についての記載で誤っているものはどれか。1つ選べ。(2021年 択一問題 第57問)

- 放射性医薬品は ^{99m}Tc -PMTである。
- 腸管への生理的集積を認める。
- 肝細胞癌からの肺転移、胸骨転移が予想される。
- 原発性肺癌とその骨転移も鑑別に挙がる。
- この検査は新生時黄疸と先天性胆道閉鎖症の鑑別に有用である。



正解：d.

肝細胞癌の治療歴、造影CTにて多発肺結節、胸骨に溶骨性腫瘤を認める点からは肝細胞癌の肺転移、胸骨転移ということは容易に予想される。設問の核医学検査は ^{99m}Tc -PMTを用いた肝胆道シンチグラフィであり、a.は正しい。設問の投与50分後像は肝(右葉)からのwashoutがやや悪い印象はあるものの、腸管への排泄(生理的集積)は明瞭であり、b.は正しい。投与4時間後の全身像では腸管、腎及び膀胱への生理的集積の他(正常でも尿路系に少量排泄あり)、両肺野及び胸部正中(前面像)に異常集積が認められる。造影CTでの肺結節、胸骨腫瘤への集積と考えられる。分化度の高い肝細胞癌は本薬剤の集積を認める腫瘍であり、c.は正しい。本検査は上述のような腫瘤の陽性描出の他、選択肢e.の新生時黄疸と胆道閉鎖症の鑑別にも有用とされている。

問題 肝胆道シンチグラフィについて正しいのはどれか。1つ選べ。(2019年 第35問)

- 正常では胆のうは描出されない。
- 放射性医薬品として ^{99m}Tc -フチン酸を用いる。
- 放射性医薬品静注後1時間程度で撮像を開始する。
- 24時間像を撮像する場合は、3時間像よりも収集時間を延長する。
- 24時間像で腸管への排泄が見られなければ、乳児肝炎は除外される。

正解：d.

正常でも胆嚢は描出されるが、検査前の絶食が必要である。使用薬剤は ^{99m}Tc -PMTであり、 ^{99m}Tc -フチン酸はコロイド肝シンチグラフィや消化管出血シンチグラフィで用いられる。撮像開始は投与5分後である。24時間像を撮像する場合は、減衰と排泄による収集カウント低下を考慮し収集時間を延長する(よってd.は正解)。肝胆道シンチグラフィは新生児黄疸(乳児肝炎)と胆道閉鎖症の鑑別に有用であり、胆道閉鎖症では24時間後像でも腸管への排泄(-)であるのでe.は通常は正解と考えられるが、乳児肝炎でも高度肝障害の場合や濃縮された胆汁の影響で胆管や腸管への排泄が認められないことがある。選択肢d.との兼ね合わせもあり不正解とする。

《コロイド肝シンチグラフィ》

最近検査数が減少しており、試験問題の出題も限られているが、伝統的な肝臓核医学検査であり解説する。 ^{99m}Tc -スズコロイドや ^{99m}Tc -フチン酸等のコロイドを形成する薬剤を用い(後者は血中の Ca^{2+} とキレート形成しコロイド化)、類洞に存在するKupffer細胞の貪食作用(細網内皮系の機能)を画像的に評価する。肝細胞に摂取される訳ではないが、肝細胞の機能を反映した分布とはならないが、肝血流には依存すると云われる。正常では肝に80~85%程度、脾に5~10%程度、骨髄に数%程度分布する。肝硬変では肝右葉萎縮/左葉腫大、脾腫、脾/骨髄の集積亢進がみられ、コウモリの飛ぶ姿に似ていることからflying bat appearanceと云われている。他、劇症肝炎では肝集積が全く認められない場合があり、hepatic reticuloendothelial failureと呼ばれる。

肝腫瘤では限局性結節性過形成等にも集積すると云われているが、集積程度は病変内のKupffer細胞の多寡や貪食能の程度により様々である。しかし、MRI造影剤である超常磁性酸化鉄粒子(SPIO)が同様の機序で集積することもあり、腫瘤の評価に関しては他の画像modalityに移行している。

《消化管出血シンチグラフィ》

通常は上部及び下部消化管内視鏡では評価の難しいTreitz靭帯以下(主に小腸)の下部消化管出血が対象である。① ^{99m}Tc -コロイドや、② ^{99m}Tc -RBC 或いは ^{99m}Tc -HSA-Dを投与して撮像する。①の場合、腹部ではバックグラウンドが低い画像が得られるが、薬剤が網内系に移行するまでの約15分間しか出血の検出は困難である為、投与24時間までの間歇性出血を検出可能である②の薬剤が通常用いられている。②の薬剤は正常の場合投与後血管内に留まるが、出血部位から消化管内に漏出すると再吸収されず経時的に移動し広がる。SPECT/CTの併用によりPlanar像単独より診断能が向上すると云われている。但し腸管に排泄された薬剤を出血部位と誤認しないことが肝要である。消化管出血シンチグラフィは血管造影より感度が高く、検出可能な出血量は0.05~0.1 mL/minとされている。

問題 消化管出血が疑われた患者の ^{99m}Tc -RBC投与後5, 10, 20分の腹部正面シンチグラムを示す。以下の記述のうち正しいのはどれか。1つ選べ。(2019年 第36問)

- 異常なし
- 胃出血
- 空腸出血
- 回腸出血
- 下行結腸出血



正解：c.

投与5分後像より肝右葉下部～やや下方のレベルの腹部大動脈の血液プール像の左方に異常集積がみられ、10分後像、20分後像で拡大、増強している。空腸からの漏出像と考えるのが妥当である。

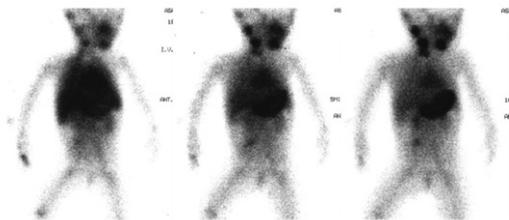
《異所性胃粘膜シンチグラフィ》

$^{99m}\text{TcO}_4^-$ は胃粘膜の粘液産生上皮細胞に取り込まれ、胃内腔に分泌される性質を有している為、異所性胃粘膜が存在する部位に集積する。Meckel憩室は胎生期の卵黄腸管の遺残による先天性小腸憩室で、回盲部より約0.5～1m口側の腸間膜附着部の対側にみられる。Meckel憩室には20～50%の頻度で異所性胃粘膜を内在し、特に下血等の症状を有する小児の場合には高率に胃粘膜を憩室内に有していると云われている。

注意点として、Meckel憩室からの出血直後には胃粘膜が脱落し、偽陰性となることがある。検査前日にH₂ブロッカーを投与することで検出率が向上すると云われている。時に出血により漏出した $^{99m}\text{TcO}_4^-$ が描出されることがあるが、経時的に移動がみられるので鑑別可能である。他偽陽性として、子宮(月経期)や尿路排泄、Barrett食道、腸管重複症、胃嚢胞、Crohn病や潰瘍性大腸炎、腸閉塞等が挙げられる。

問題 消化管出血が疑われた患者(1才)の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ 投与後1, 5, 10分の体幹部正面シンチグラムを示す。最も考えられるものはどれか。1つ選べ。(2020年 択一問題 第39問)

- a. 異常なし
- b. 胃出血
- c. 十二指腸出血
- d. 回腸腫瘍
- e. Meckel憩室



正解：e.

設問のシンチグラムでは、胃の生理的集積と同様の時相で右下腹部に異常集積を認め、増強しているので、e.のMeckel憩室内の異所性胃粘膜への集積とするのが妥当である。

問題 以下の薬剤のうち、異所性胃粘膜シンチグラフィに使用される薬剤はどれか。1つ選べ。(2017年 第36問)

- a. $^{99m}\text{Tc-RBC}$
- b. $^{99m}\text{Tc-Sn}$ コロイド
- c. $^{99m}\text{TcO}_4^-$
- d. $^{99m}\text{Tc-DTPA}$
- e. $^{99m}\text{Tc-DTPA-HSA}$ (HSAD)

正解：c.

$^{99m}\text{Tc-RBC}$ は消化管出血シンチグラフィ、

$^{99m}\text{Tc-Sn}$ コロイドは肝・脾シンチグラフィ、消化管出血シンチグラフィに使用される。 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ は後述する腎動態シンチグラフィに、 $^{99m}\text{Tc-HSA-D}$ は消化管出血シンチグラフィ、蛋白漏出シンチグラフィに使用される。従って、c.の $^{99m}\text{TcO}_4^-$ が正しい。

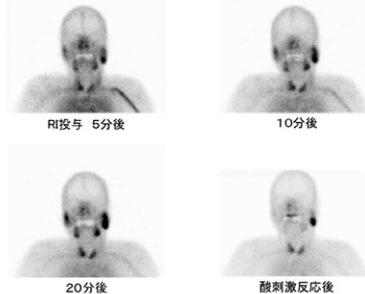
《唾液腺シンチグラフィ》

$^{99m}\text{TcO}_4^-$ は前述した胃粘膜の他、甲状腺及び唾液腺に生理的に集積する。唾液腺はI⁻、Cl⁻等の陰イオンを取り込み濃縮する作用があるが、 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ も同様の機序で唾液腺の排泄管上皮細胞に集積すると考えられている。取り込まれた $^{99m}\text{TcO}_4^-$ は唾液と共に徐々に口腔内に排泄される。正常では耳下腺、顎下腺が左右対称性に明瞭に描出され、集積は経時的に亢進し、15～20分でピークとなる。排泄機能を評価する場合は、前述した撮像終了後にレモン、クエン酸や梅干等の酸味負荷を行い10～15分後に撮像する。

シェーグレン症候群や放射線照射後の機能低下では集積が低下し、酸味負荷後も排泄が殆どみられない。一般に唾液腺腫瘍は $^{99m}\text{TcO}_4^-$ を摂取しない為通常集積低下となるが、Warthin's tumorやoncocytomaでは腫瘍に集積し、酸味刺激後も集積が残存する。

問題 80歳代、男性。唾液腺の病変を指摘され、精査目的に唾液腺シンチグラフィが施行された。正しいのはどれか、1つ選べ。(2017年 第60問)

- a. 使用された薬剤は $^{201}\text{TlCl}$ である。
- b. 甲状腺への集積は異常である。
- c. 左耳下腺癌への集積が考えられる。
- d. シェーグレン症候群が疑われる。
- e. 両側顎下腺の酸刺激反応は良好である。



正解：e.

$^{99m}\text{TcO}_4^-$ が薬剤として使用される。 $^{201}\text{TlCl}$ でも唾液腺や甲状腺に生理的集積を認めるので、いずれにしてもb.は不正解である。 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ では甲状腺や唾液腺の他、胃粘膜にも生理的集積がみられる。設問のシンチグラムでは投与5分後像より左耳下腺下極に結節状の異常集積を認め、酸刺激前のscanにて経時的に集積が亢進し、酸刺激反応後のscanでも薬剤が排泄されず停滞している。Warthin's tumorやoncocytoma等の腫瘍への集積と考えられる。耳下腺癌の場合、 $^{99m}\text{TcO}_4^-$ は集積せず欠損像となる。シェーグレン症候群では大唾液腺への集積低下、酸刺激での反応性不良が特徴である。設問例の酸刺激反応後のscanでは耳下腺、顎下腺の薬剤は良好にwashoutされている

ので、e.は正しい。

《その他の消化器核医学検査》

蛋白漏出シンチグラフィ、脾シンチグラフィ、門脈シンチグラフィ、食道通過性検査、胃食道逆流検査、胃排出能検査、小腸・大腸通過性検査、胆汁胃逆流検査、腹腔シンチグラフィ等がある。使用薬剤は蛋白漏出シンチグラフィ： ^{99m}Tc -HSA-D、脾シンチグラフィ： ^{99m}Tc -スズコロイド或いは ^{99m}Tc 標識熱障害赤血球、門脈シンチグラフィ： $^{201}\text{TlCl}_2$ 、 ^{123}I -IMP或いは $^{99m}\text{TcO}_4^-$ (直腸内投与)、 ^{99m}Tc -MAA(脾臓内注入)、食道通過性検査、胃食道逆流検査、胃排出能検査、小腸・大腸通過性検査： ^{99m}Tc -DTPA或いは ^{99m}Tc -コロイド、胆汁胃逆流検査： ^{99m}Tc -PMT、腹腔シンチグラフィ： ^{99m}Tc -MAA或いは ^{99m}Tc -コロイド等である。詳細は成書を参照されたい。

《腎核医学検査》

腎核医学検査には腎動態シンチグラフィと腎静態シンチグラフィがある。前者では薬剤負荷も行われ、過去問でも出題されている。核医学的手法による体外計測法での腎機能の評価は、非放射性薬剤を含めた採血や採尿等を利用(或いは併用)する方法よりも定量性は劣るが、簡便であることと、分腎機能が評価できる点で有用性が高い。

腎動態シンチグラフィでは ^{99m}Tc -MAG₃及び ^{99m}Tc -DTPAが現在使用されている。 ^{99m}Tc -MAG₃は近位尿細管分泌物質であり、1回腎循環で5%程度が糸球体で濾過され、60%前後が近位尿細管より分泌し、ほとんど再吸収されずに尿中に排泄される。有効腎血漿流量(effective renal plasma flow: ERPF)が算出可能である。同様の物質として ^{131}I または ^{123}I -OIHが以前は用いられており、1回腎循環での抽出率は85%程度と ^{99m}Tc -MAG₃の60%よりも高くバックグラウンドの低い画像が得られていたが、現在は発売中止となっている。 ^{99m}Tc -DTPAは糸球体濾過物質であり、1回腎循環で20%が糸球体で濾過され、尿細管より殆ど分泌されない。糸球体濾過率(GFR)が算出可能である。

検査前には前処置として水負荷(例として検査30分前に5ml/kg、最大量300ml等)が必要である。

定性的評価として両腎に関心領域を設定し、腎時間放射能曲線(レノグラム曲線)を作成する。レノグラム曲線は3つの相に分けられる。①血管相(投与直後の急速な上昇を示す部、腎外組織と腎血流)、②分泌相或いは機能相(血管相に続く緩徐な上昇を示す部、腎血流と分腎機能)、③排泄相(分泌相或いは機能相に続く下降を示す部、腎盂や尿管の排泄機能)。投与から最高計数までの時間は T_{\max} 、最高計数から1/2の計数にまで減じるまでの時間は $T_{1/2}$ といわれ、前者は4~6分、後者は6~10分程度が正常範囲内である。レノグラム曲線のパターンは視覚的評価により、漸増していく閉塞型、 T_{\max} または $T_{1/2}$ が延長する遅延型、ピークを認めるが著明に低下している機能低下型、平坦な無機能型に分類される。

腎動態シンチグラフィではフロセミド、カプトプリル等の薬剤を用いた負荷試験が行われる。フロセミド負荷は水腎症が閉塞性(器質性)か非閉塞

性(機能性)かの鑑別に用いられる。但し、腎機能障害或いは水腎症が高度の場合は判定が困難となる。カプトプリル負荷は腎血管性高血圧の診断に用いる。ACE阻害薬であるカプトプリルは、アンジオテンシンI→IIへの変換を阻害し、輸出細動脈に対する血管収縮作用を低下させることにより糸球体濾過率を低下させる。腎血管性高血圧では、レニン-アンジオテンシン系の亢進によるアンジオテンシンIIの産生亢進がカプトプリルにより抑制される結果、患側腎の集積低下、通過時間の延長や排泄遅延が生じる。なお、両側性の腎動脈狭窄の場合は診断精度が低下する。

検査対象は、尿流障害、腎血管性高血圧、閉塞性腎疾患の他、移植腎の合併症の診断等である。移植腎の診断の場合、急性尿細管壊死と急性拒絶反応の鑑別(典型例)では前者は血流相は正常~比較的良好であるが機能相で集積低下及び排泄遅延を示し、後者では血流、機能相共に集積低下する。

腎静態シンチグラフィでは ^{99m}Tc -DMSAが使用される。近位尿細管の上皮細胞に直接取り込まれ、長時間留まる。一部は糸球体より濾過された後に尿細管で再吸収されて集積する。正常では2時間後に投与量の40~50%(片腎で20~25%)が集積し、尿中排泄は2時間後で8~17%と非常に少ない。大部分が血漿蛋白と結合し、1回腎循環での腎除去率は5%と低い為、撮像は投与2~3時間後に行う(集積のピークは投与5~6時間後である)。膀胱尿管逆流に伴い生じる尿路感染により引き起こされる腎実質障害や腎瘢痕の評価に優れ、US、CTよりも高感度と云われている。定量的評価として算出される分腎摂取率は皮質機能を反映しており、GFR、ERPFやCcr等と相関する。

《出題傾向》

腎核医学では、腎動態シンチグラフィ、腎静態シンチグラフィでの使用薬剤や投与量の他、腎動態シンチグラフィで行われる負荷検査の薬剤に関する出題が多い。《はじめに》に記載のように、この領域に関連した記述式問題もみられた。

問題 腎盂尿管移行部狭窄の手術適応を決める際、腎動態シンチグラフィで負荷に用いる薬剤はどれか。1つ選べ。(2022年 第38問)

- アデノシン
- フロセミド
- カプトプリル
- アセタゾラミド
- パラアミノ馬尿酸

正解：b.

a.は薬剤負荷心筋血流シンチグラフィ、d.は負荷脳血流シンチグラフィに用いる薬剤である。c.は前述の通り腎動態シンチグラフィで腎血管性高血圧の診断に用いる。e.は有効腎血漿流量測定のgold standardとされている非放射性薬剤である。よってb.が正解である。

問題 ^{99m}Tc -MAG₃を用いた腎動態シンチグラフィについて、正しいものはどれか。1つ選べ。(2021年 択一問題 第39問)

- 糸球体濾過率を算出する。

- b. 検査前は4時間以上絶食とする。
 c. 投与量として740MBqは標準的である。
 d. 分腎機能の評価には排泄相の撮影が必要である。
 e. 機能相における腎の描出は $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ を用いた場合よりも明瞭である。

正解：e.

$^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ では有効腎血漿流量が算出される。糸球体濾過率を算出するのは $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ である。絶食は不要であるが、検査前の水負荷が必要である。投与量はキット製剤で200~400MBq、シリンジ製剤で200~555MBqであり、c.の740MBqは標準的の言い難い。尿路狭窄や腎実質障害が進行している場合、レノグラム曲線は右肩上がりパターンのパターン(閉塞性パターン)を示し、検査時間(通常20~30分程度)では排泄相が確認不可能となるので、排泄相の撮影が必要であるとはいえない。 $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ は $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ と比べ1回循環での腎除去率が高く、尿中排泄率が高い為、バックグラウンドが低く良好な画像が得られると共に、腎機能低下時でも腎形態、尿排泄等の診断に優れている。よってe.は正しい。

問題 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ を用いた腎動態シンチグラフィで、糸球体ろ過能の定量評価に最も適した時相はどれか。1つ選べ。(2020年 択一問題 第38問)

- a. 静注30秒以内
 b. 静注3分後
 c. 静注5分後
 d. 静注10分後
 e. 静注20分後

正解：b.

$^{99m}\text{Tc-DTPA}$ を用いた腎動態シンチグラフィでは、諸家の報告により異なるが、静注1~2分後、静注2~3分後の腎時間放射能曲線の下方の面積を積算してGFRを算出している。従って、選択肢ではb.が正解と思われる。

問題 カプトプリル負荷腎動態シンチグラフィの適応となる疾患はどれか。1つ選べ。(2019年 第37問)

- a. 腎盂尿管移行部狭窄
 b. 腎血管性高血圧
 c. 膀胱尿管逆流
 d. 急性腎不全
 e. 腎盂腎炎

正解：b.

閉塞性水腎症と非閉塞性水腎症の鑑別にフロセミド負荷腎動態シンチグラフィが適応となる。a.の腎盂尿管移行部狭窄の場合、フロセミドによる反応性が手術適応の判断に用いられる。c.による腎癥痕の検出や、e.の腎盂腎炎における感染巣の検出は $^{99m}\text{Tc-DMSA}$ による腎静態シンチグラフィの適応である。d.の急性腎不全は負荷検査の対象ではない(なお腎機能低下例であるので、腎動態シンチグラフィを行う場合 $^{99m}\text{Tc-DTPA}$ よりも $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ の使用が望ましい)。よってb.が正しい。

問題 腎動態シンチグラフィで腎血管性高血圧を評価する際に、負荷のために用いる薬剤はどれか。1つ選べ。(2018年 第36問)

- a. イヌリン
 b. カプトプリル
 c. パラアミノ馬尿酸
 d. フロセミド
 e. レニン

正解：b.

a.はGFR測定、c.は有効腎血漿流量(ERPF)測定、gold standardとなる非放射性薬剤である。d.は閉塞性水腎症と非閉塞性水腎症の鑑別に用いる。e.のレニンは腎臓の輸入細動脈壁にある傍糸球体細胞より分泌される内因性物質であり、血中のアンギオテンシノーゲンからアンギオテンシンIを遊離する。よってb.が正しい。

問題 以下の薬剤のうち腎糸球体ろ過量の定量に最も有用な薬剤はどれか。1つ選べ。(2017年 第37問)

- a. $^{99m}\text{Tc-DTPA}$
 b. $^{99m}\text{Tc-DMSA}$
 c. $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$
 d. $^{99m}\text{TcO}_4^-$
 e. $^{99m}\text{Tc-HMDP}$

正解：a.

a.は正しい。b.は腎静態シンチグラフィに使用される。c.はa.と同様に腎動態シンチグラフィに使用されるが、有効腎血漿流量(ERPF)の定量に有用である。d.は唾液腺・甲状腺・異所性胃粘膜シンチグラフィ等に、e.は骨シンチグラフィに用いられる。

問題 小児核医学検査につき以下の問いに答えよ。

- (1) 国内で用いることができる腎動態シンチグラフィおよび腎静態シンチグラフィの放射性医薬品を挙げよ。
 (2) 腎動態シンチグラフィを実施する際の注意点を3つ挙げよ。

(2021年 記述問題 第5問)

解答例

- (1) 腎動態シンチグラフィ： $^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ 及び $^{99m}\text{Tc-DTPA}$

腎静態シンチグラフィ： $^{99m}\text{Tc-DMSA}$

- (2) 以下のような内容が注意点として考えられ、これらのうちの3つを記載すればよいと思われる。

- 検査前の水分摂取状態が評価に大きく影響するので、経口あるいは輸液により十分な水負荷を行う(乳幼児では投与ルートの確保が望ましい)。
- 安静の確保が必要であるので、鎮静や、家族の検査中の付き添い等を検討する。
- 適正な投与量にて検査施行する。被曝に配慮するのは当然ではあるが、過度に減量すると撮像時間が延長し、画質劣化、定量値の誤差の増大を生じる結果となる。
- 乳児では膀胱が相対的に大きく、腎下極と膀胱が重なることがある為、関心領域の設定に配慮

が必要である(必要に応じ膀胱カテーテルを留置する)。

- ・尿路奇形の可能性について考慮する(重複腎盂尿管の場合、上腎、下腎の水腎症の程度や腎実質菲薄化の程度が異なる場合があり、それぞれに別々の関心領域を設定する必要がある)。

問題 A 病院では、 ^{99m}Tc -DTPA を用いた腎動態シンチグラフィを行う際に、診断参考レベル(Diagnostic Reference Level, DRL)のチェックを行った。

- (1) 診断参考レベルとは何か。簡潔に説明せよ。
- (2) ^{99m}Tc 標識製剤のうちで、診断参考レベルが 555MBq 以下の検査・放射性薬剤を解答例以外に3つ挙げよ(解答例:腎動態シンチグラフィ・ ^{99m}Tc -DTPA)。
- (3) 腎動態シンチグラフィにおける ^{99m}Tc -DTPA の診断参考レベルは400MBqである。A 病院では、2019年1~12月における ^{99m}Tc -DTPA 腎動態シンチグラフィの投与量の中央値が450MBqであった。A 病院のこの検査での投与量は適正か。また、A 病院で今後この検査を行う際にとるべき方策について述べよ。
(2020年 記述問題 第5問)

解答例

- (1) 医療放射線(診断・IVR)による被曝防護の最適化のツール。通常の場合において、ある特定の検査による患者の線量はその手法に対して異常に高いか低いかを示すものである。通常、施設毎に標準的な体格の患者に用いる放射線の線量の中央値を地域や国で集計し、線量の分布の75パーセンタイル値として設定される。
- (2) 腎動態シンチグラフィ・ ^{99m}Tc -MAG₃
腎静態シンチグラフィ・ ^{99m}Tc -DMSA

肝受容体シンチグラフィ・ ^{99m}Tc -GSA

- (3) 診断参考レベルを超過しており必ずしも適正とは言い難い可能性がある。今後は患者の体格、また年齢(特に若年例)等に応じ実投与量を見直す必要があると考えられる。画質を担保する為に必要に応じ data 収集や画像再構成の方法についても再検討すべきと思われる。腎動態シンチグラフィについては、実投与量の減量が難しい場合は検査前のみでなく検査後も水分摂取や輸液を行うことにより薬剤の排泄促進を促すことも肝要である。

診断参考レベル(DRL)は、核医学検査においては標準的な体格の成人の検査における実投与量(MBq, 検定量ではない)の中央値である。注意点として、DRLは線量限度ではないということ、優れた診療と劣った診療の境界を示すものではなく、臨床的な必要性があれば超過してもよい(逆に、診断参考レベル以下の線量であっても最適化の余地の可能性がある)ことが挙げられる。

医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)が公開している日本の診断参考レベル2020年版(インターネットで無料で入手可能)では、設問文中の ^{99m}Tc -DTPA は390MBq、解答例の ^{99m}Tc -MAG₃ は380MBq、 ^{99m}Tc -DMSA は210MBq、 ^{99m}Tc -GSA は260MBqである。

《おわりに》

日本核医学会専門医試験に出題された消化器・腎核医学検査について解説を行った。形態画像診断に評価が移行している検査も存在する一方で、形態画像検査では得られない情報をもたらす、依然日常臨床に有用である分野であることは間違いない。本稿がお役に立てれば幸いである。