

1

脳血流 SPECT 検査適応

- 脳機能的異常の検出, 早期診断, 予後予測
 - 脳血管障害
 - 難治性てんかん
 - 痴呆性疾患
- 外科治療の適応, 予後予測
 - 脳血管障害 (脳主幹動脈閉塞)
 - 難治性てんかん
- 治療効果判定, 経過観察

2

脳血流製剤の特徴

| | IMP | HMPAO | ECD |
|------------------------|------|-------|--------|
| 化合物の安定性 | 良い | 悪い | 良い |
| 一回循環の摂取率 | >90% | 80%程度 | 70%程度 |
| 逆拡散 | 少ない | 多い | 中等度 |
| 取り込み量と血流量の直線性 (コントラスト) | 良好 | 不良 | 中間 |
| 経時的分布変化 | 有り | 無し | ほとんど無し |
| 撮像時間の制約 | 有り | 無し | ほとんど無し |
| 緊急時の対応 | 困難 | 最適 | 可能 |

3

脳 SPECT 検査の流れ

静注 → データ収集 → 画像再構成 → 表示
↓
読影

4

[静注]

- トレーサーの標識不良 (特に HMPAO)
- 注射漏れ
→ 脳へのトレーサー集積量低下 → image quality の低下

甲状腺描出の有無の確認 (標識不良のチェック)
ルート確保後の静注 (注射漏れの回避)

脳血流 SPECT 読影のポイント

福井医科大学 放射線科 土田 龍郎

● 脳血流 SPECT 検査の適応

脳血流 SPECT 検査は現在, 国内で 3, 4 番目の検査数を数え, その適応には図 1 に示すような疾患, 病態がある。

● 脳血流 SPECT 検査のための放射性医薬品

脳血流 SPECT 検査を行うための放射性薬剤は現在, 国内では 3 種類が使用可能である。それぞれの特徴を図 2 に示す。

● 脳血流 SPECT 検査の流れ

脳血流 SPECT 検査は, 図 3 のような流れによっておこなわれるが, その各々の段階において画質に影響をおよぼしうる因子が存在する。以下, 流れに沿って説明する。

静注時における因子として, 1) 標識不良, 2) 注射もれがあげられ, いずれも画質の低下をもたらす (図 4)。

1) 標識不良: 特に HMPAO で見られ, 脳内への薬剤集積低下が認められる。頸部撮像による甲状腺描出があれば, 標識不良の傍証となる。

2) 注射漏れ: 注射漏れを防ぐには, あらかじめ翼状針で注射路を確保することである。

データ収集時の因子には, 1) マトリックスサイズ, 2) エネルギーのピーク, ウィンドウ幅設定, 3) 散乱線補正, 4) 回転半径と回転中心, 5) モー

ションアーチファクトがある (図 5, 6)。

1) マトリックスサイズ：最近では、 128×128 が使われることが多いが、ダイナミック収集などの場合 64×64 が用いられる。 128×128 では、画像の解像度は 64×64 に比べて優れているが、十分なカウントが稼げないとかえって画質を低下させてしまう。

2) エネルギーピーク、ウィンドウ幅設定：エネルギーピークやウィンドウ幅設定が不適切だと散乱線の影響で画質が劣化する。あらかじめ施設ごとにファントムを用いて適切な設定値を確認しておく必要がある。

3) 散乱線補正：散乱線補正を行うことによりバックグラウンドの少ないクリアな画像になるが、カウント自体も減少しているので十分なカウントが稼げないと画質の低下につながる。

4) 回転半径、回転中心：回転半径が大きくなると画像のぼけが目立ち、回転中心のずれは、画像のゆがみをもたらす。回転半径は最小に、回転中心は撮像開始前にカメラを回転させてずれがないことを確認する。

5) モーションアーチファクト：頭部固定が不十分であったり、患者の状態が良好でない場合、撮像中に体動を来し画質の低下を来す。対策として、マルチフレーム収集を行い、動きの激しいフレームは再構成からはずすことにより、画質を保つことが可能である。

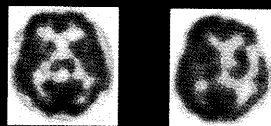
画像再構成時の因子としては、1) フィルター処理条件、2) 吸収補正がある (図 7)。

1) フィルター処理条件：処理前フィルターとしてよく使われる Butterworth フィルターでは、カットオフ周波数により画像の雰囲気が変わるので、適切なカットオフ周波数を選びできるだけ同じものを使用する。

2) 吸収補正：吸収補正により深部灰白質が目立つようになるので、吸収補正の有無を銘記しないと

[データ収集]

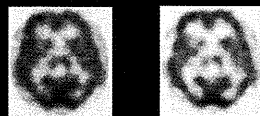
マトリックスサイズ ($64 \times 64, 128 \times 128$)



・エネルギーピークとウィンドウ幅
-> 散乱線過多による image quality の低下

5

・散乱線補正



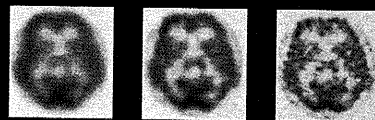
TEW(-) TEW(+)

TEW: triple energy window method

6

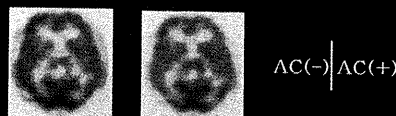
[画像再構成]

・フィルタ処理条件



Butterworth 0.07 0.10 0.25

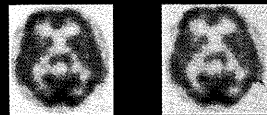
・吸収補正



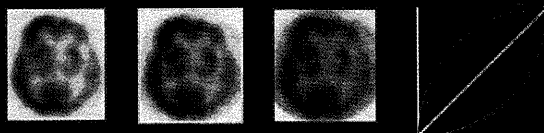
7

[表示]

・ウィンドウ幅の設定



・表示パターン



8

9

〔正常脳血流 SPECT 画像の特徴〕

- 左右対象
- 白質と脳室の分離困難
- 前頭葉集積 > 後頭葉集積 (閉眼時)
- 前頭葉集積 = 後頭葉集積 (閉眼時)

10

〔脳血流分布に影響を及ぼす因子〕

- トレーサーによる違い
IMP: ほぼ均一 (小脳でやや低い)
HMPAO: 小脳で高い
ECD: 後頭葉で高い (海鳥で低い)
- 加齢による変化
小児: 小脳 < 大脳
老齢: 小脳 > 大脳

13

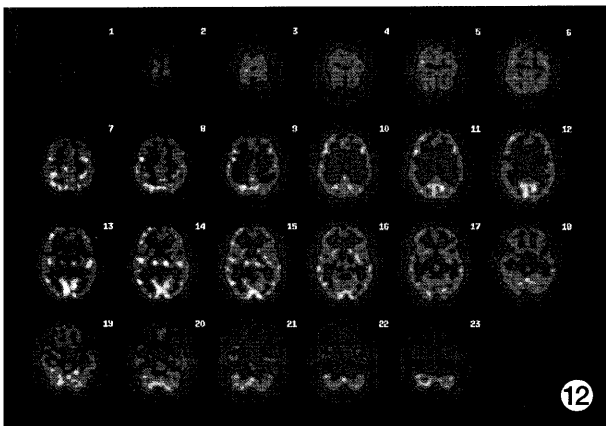
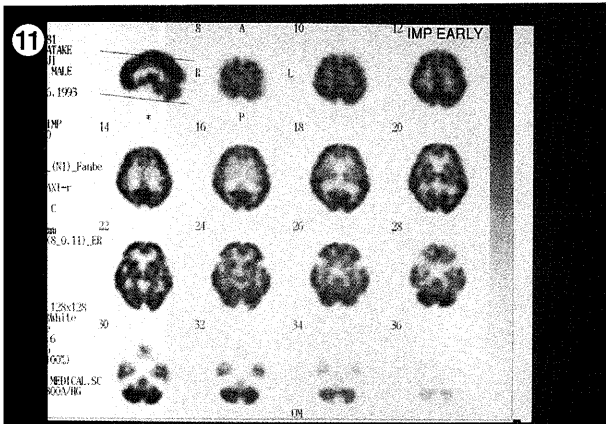
脳機能異常と血流異常

- 経神経性の機能抑制——血流低下
—crossed cerebella diaschisis
- 血流低下——神経機能の保持
—Autoregulation
—血管予備能, 代謝予備能による代償
- 神経異常興奮——血流増加 (てんかん)
- 血管障害 (虚血後)——血流増加
(luxury perfusion)

14

● 脳血管障害

- 責任血管(どのレベルまで固定するか)
- 病変範囲の記述(形態画像との比較)
- 発症からの時期を考慮(特に亜急性期)
- 主病室以外での所見(remote effect)
- 負荷試験における読影



読影に混乱を来す可能性がある。

表示の際の因子としては、1) ウィンドウ幅の設定、2) 表示パターンがある (図 8)。

1) ウィンドウ幅: フルスケールで表示する場合と最高カウントの 10% 以下をカットした場合、後者のほうがクリアな画像となる。(散乱線補正をかけたような画像)

2) 表示パターン: 表示パターンを変えることにより、画像のコントラストが変化する。常に同じものを使わないと読影に支障を来す。

● 脳血流 SPECT 画像について

正常像の特徴は、図 9 に示すとおりである。トレーサーによる違い、加齢による変化も存在する (図 10)。図 11 に I-123 IMP の、図 12 に Tc-99m ECD 脳血流 SPECT の正常像を示す。

● 脳血流 SPECT に反映されるもの (図 13)

脳血流 SPECT で見ているのは、本来脳血流のほうであるが、実際には脳機能も反映されている。その代表が図 13 に示すようなものである。読影時

にはこういった点も念頭においておかねばならない。以下さまざまな病態の脳血流 SPECT 画像に説明を加える。

1. 脳血管障害

最も脳血流 SPECT が施行される頻度が高い病態で、発症早期より異常を検出しうるためその有用性は高い。脳血管障害において読影時に考慮するポイントを図 14 に示す。

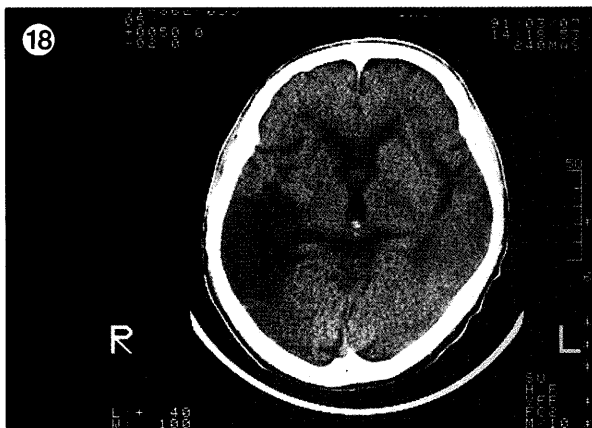
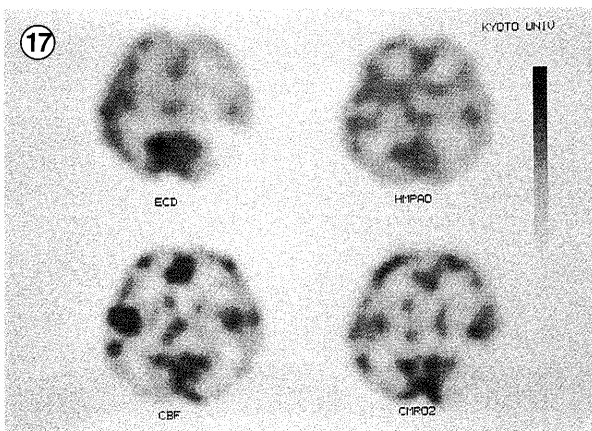
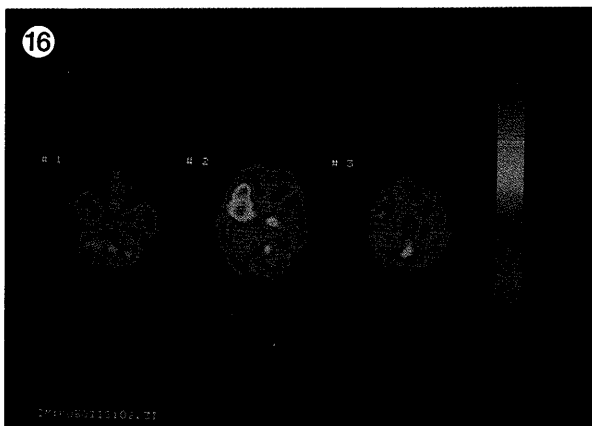
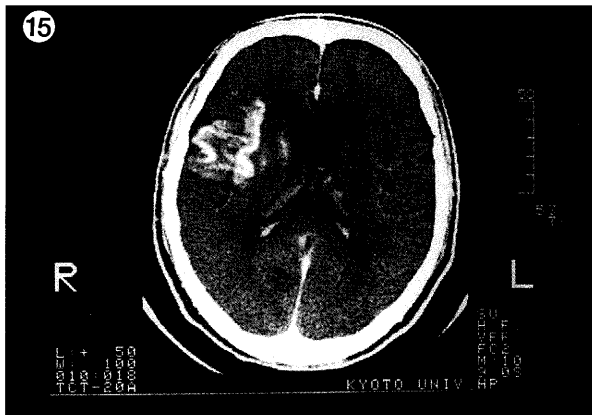
責任血管の同定については、脳血流 SPECT では分解能に限界があるため、前、中、後大脳動脈といった Major vessel とどめてもさしつかえないと考える。ただし、症状や血流低下領域が特定の領域にとどまることが強く疑われる場合はこの限りではない。病変範囲は、超急性期を除いて形態画像との比較を行い、血流低下が梗塞によるものは remote effect によるものかを判断する必要がある。

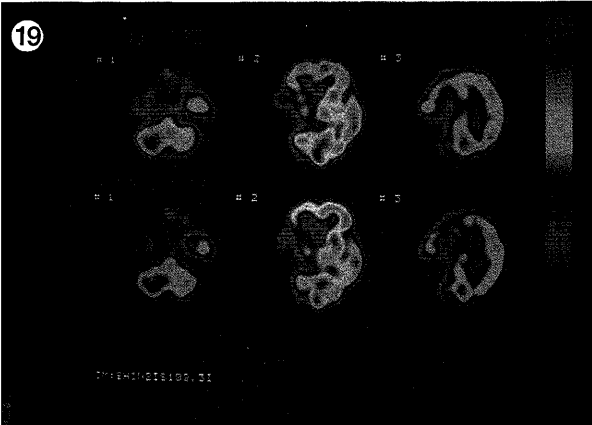
発症からの時間を考慮することは、亜急性期脳梗塞の SPECT 画像を読影する際に重要である。症例を交えながら後述する。

負荷試験時の読影も加えて、以下に症例を提示する。

luxury perfusion (ぜいたく灌流) (図 15-17)

脳梗塞発症 1-2 週間程度の亜急性期でおこる病態で、図 15 の CT では、右脳梗塞発症 1-2 週間程度の亜急性期でおこる病態で、図 15 の CT では、右側頭葉に造影効果の増強を認める。同時期の IMP SPECT (図 16) では、同部に集積増加を認める。その原因は梗塞後の血液脳関門を持たない新生血管への滞留、IMP の水溶性代謝物の蓄積などといわれている。Luxury perfusion で気をつけなければならないのが、図 17 に示すような症例である。右上段の HMPAO SPECT、左下段の O-15H₂O PET では、異常の検出は困難であるが、左上段の ECD SPECT では左頭頂葉に集積低下を認める。

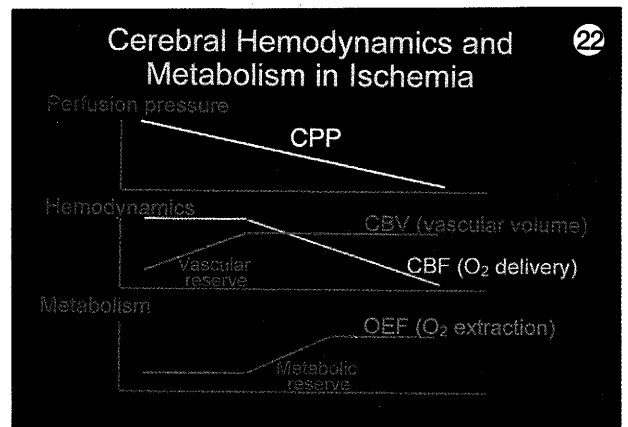
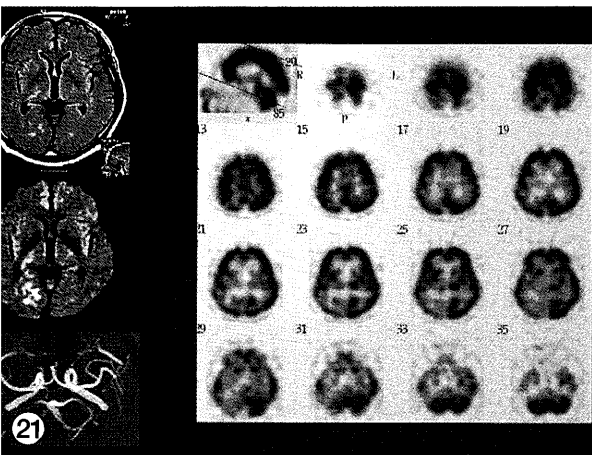
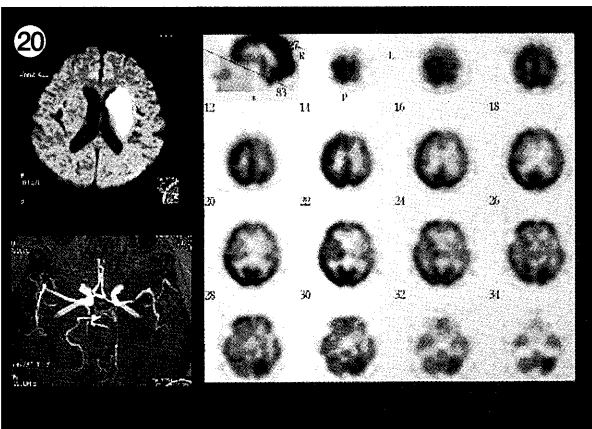




右下段の $CMRO_2$ PET でも同部に集積低下を認め、酸素代謝量の低下を示している。Luxury perfusion は時々刻々と変化する病態であり、その過程において正常部と同等の脳血流を示す相対的 luxury perfusion の時期も存在しうる。Tc-99m ECD においては、脳梗塞亜急性期においても集積増加を示さず、その診断に苦慮することは少ない。

Crossed cerebellar diaschisis (CCD) (図 18-21)

remote effect の代表として有名である。脳梗塞をはじめとする障害が神経路に沿って神経活動を抑制するために器質的病変がない領域にも血流低下がみられる現象である。図 18 では右中大脳動脈領域の陳旧性脳梗塞が見られる。図 19 の IMP SPCT では、同部の高度血流低下および対側小脳の血流低下が見られる。図 20 では、MRI diffusion image にて左放線冠に high intensity が見られ、同部の急性期脳梗塞と診断される。大脳皮質には明かな異常が見られないが、IMP SPECT では、左大脳半球および対側小脳の血流低下が見られ、いずれも remote effect を見ているものであることがわかる。一方、図 21 では MR angiography にて右後大脳動脈が閉塞し、diffusion image にて右後頭葉に high intensity spot が見られる。IMP SPECT では、同部の血流低下は見られるが明かな CCD は見られない。これは、CCD が主に前頭葉、頭頂葉といった



皮質から橋、小脳へと至る神経路に起こるからであり、後頭葉から小脳への神経投射が少ないため、影響が出にくいと考えられる。

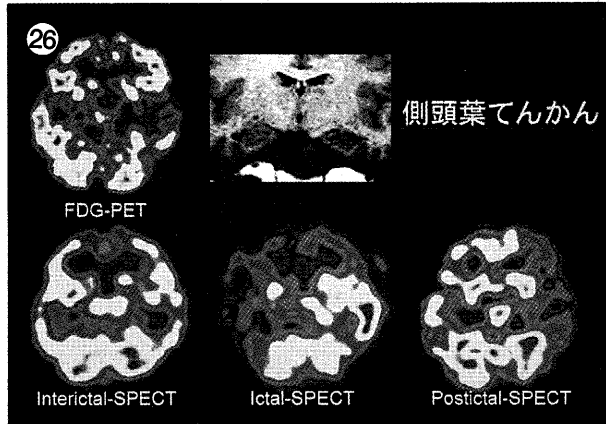
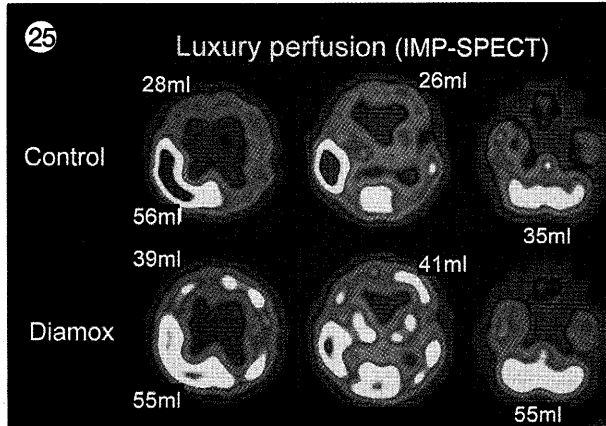
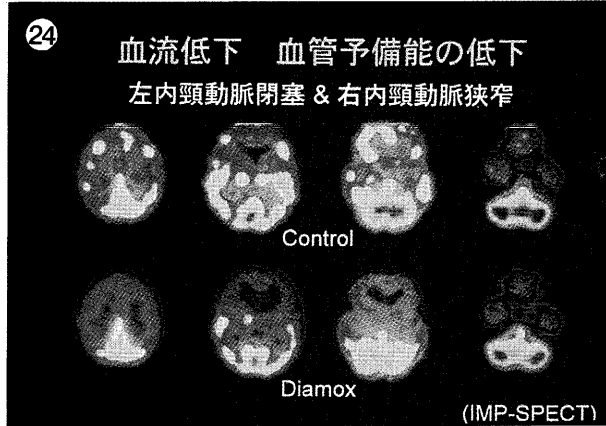
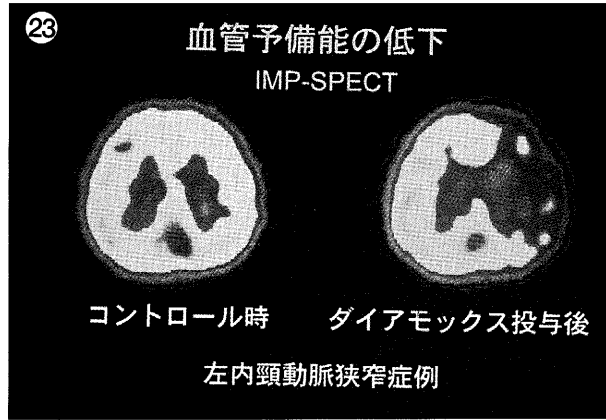
脳血管予備能の判定 (図 22-25)

脳血流 SPECT を用いて脳血管障害の外科的手術の適応を決める際にダイアモックス負荷が施行される。図 22 に脳血管障害における脳血流、代謝の血行力学的変化を示す。脳灌流圧 (cerebral perfusion pressure, CPP) 低下に対してまず代償的に働くのは、脳血流量 (cerebral blood volume, CBV) の増加、すなわち血管の拡張である。こうして脳血流量 (cerebral blood flow, CBF) 保たれる。血管拡張が最大限に達した後の灌流圧低下により脳血流量の低下が起こるが、その代償として脳酸素摂取率 (oxygen extraction fraction, OEF) は増加し、脳酸素代謝量 (cerebral metabolic rate of oxygen, CMRO₂) 保たれる。酸素摂取率が最大限に達した後の灌流圧低下では、もはや代償機構は働かず、脳酸素代謝量は低下、脳組織は梗塞に至る。ダイアモックス負荷で見ているのは、最初の段階の代償機構の有無である。以下に症例を示す。

図 23 は、左内頸動脈狭窄症例の IMP SPECT である。コントロール時には明かな血流低下は認められないが、ダイアモックス負荷では左中大脳動脈領域に血流低下が認められる。

図 24 は、左内頸動脈閉塞および右内頸動脈狭窄症例の IMP SPECT である。コントロール時に両側の前・中大脳動脈領域の血流低下が見られ、ダイアモックス負荷において同部の左右差は認められないが、椎骨脳底動脈領域とのコントラストは鮮明になっている。両側の血管予備能の低下は明かな左右差として認められない場合もあるので、小脳、後大脳動脈領域の血流とのコントラストを参考にする必要がある。

luxury perfusion を呈する症例にダイアモックス負荷を施行した場合 (図 25)、コントロール時には

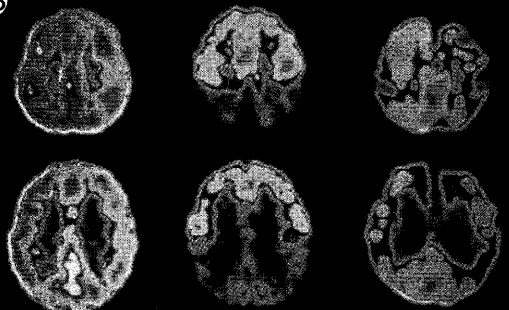


27

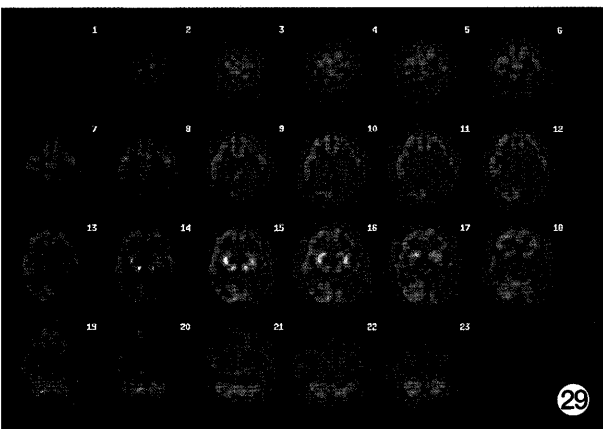
- 変性疾患（痴呆性疾患）
 - 病変の主座による鑑別
 - 後方優位：Alzheimer 病（頭頂葉）
（DLBD（後頭葉））
 - 前方優位：Pick 病
 - 優位性なし：血管性痴呆

DLBD : Diffuse Lewy Body Disease

28



正常 アルツハイマー病 脳血管性痴呆



29

luxury perfusion を示す領域は、高血流を示す。しかしダイアモックス負荷では、正常部とのコントラストは小さくなっており、これも血管予備能の低下を示す所見である。通常、luxury perfusion は梗塞に陥ってゆく領域なので外科的手術が施行されることはない。

2. てんかん

焦点の同定に有用といわれてきたが、実際には発作間歇期での焦点同定は困難である。検出率の向上には、発作と検査のタイミングをはかることが必要であろう。

図 26 に側頭葉てんかん症例を示す。MRI では、明らかな形態的異常は認められず、FDG-PET においては左側頭葉に糖代謝の低下を認める。同症例に HMPAO SPECT を施行したが、発作間歇期では明らかな異常は認められず、発作期には FDG 集積低下に一致した高血流を呈した。また、発作後においては同部に血流低下を認めた。てんかん焦点の同定に発作期の脳血流 SPECT を施行することは困難な場合が多いので、発作後の血流低下描出をめざして検査を施行することが一般的と考えられる。

3. 変性疾患（痴呆性疾患）（図 27-31）

アルツハイマー病をはじめとする変性疾患においても脳血流 SPECT 検査が施行される。図 27 に示すように病変の主座の違いが鑑別に有用とされている。図 28 に典型例を示す。正常例では、明かな脳血流の不均等分布はみられないが、アルツハイマー病では、頭頂葉の血流低下が優位である。また、脳血管性痴呆では、全体的に不均一な血流低下を示す。

脳血流 SPECT は、病勢の進行の把握にも有用である。ECD SPECT を用いたアルツハイマー病の経時的血流分布の変化を示す。アルツハイマー病早期においては、片側頭頂葉の血流低下が見られる

のみであるが (図 29), 進行すると血流低下は両側頭頂葉へと広がり (図 30), さらに進行すると全般的大脳皮質の血流低下が見られ, 小脳, 後頭葉, 大脳基底核などの血流が保たれるのみとなる (図 31)。近年では, アルツハイマー病の治療薬も現れ, その効果判定にも脳血流 SPECT が用いられている。

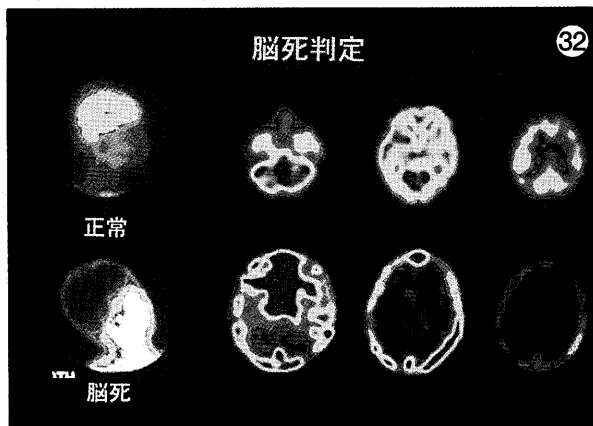
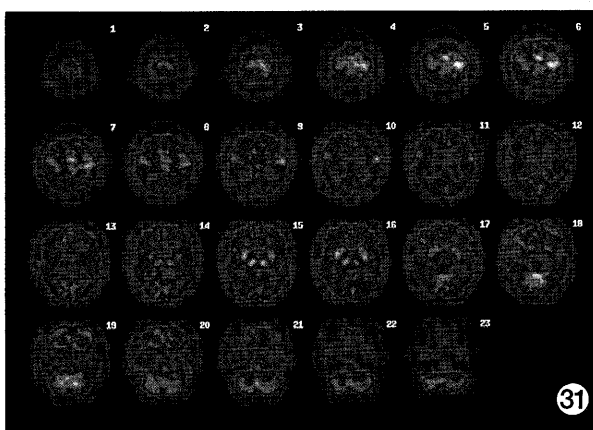
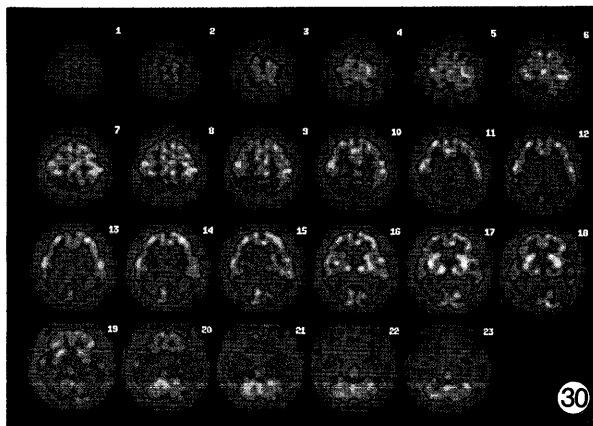
4. 脳死判定 (図 32)

脳死は, 様々な病態による脳への血流遮断が引き起こすもので, 脳血流 SPECT のよい適応になりうるが, 使用できる施設が限られているため, 脳死判定基準項目には含まれていない。しかし, その客観性が評価され, 判定基準の補助項目にあげている施設もある。

図 32 に示すように, 脳死状態においては内頸, 椎骨脳底動脈成分の血流が存在しないため, 外頸動脈成分のみが描出され, “Hollow skull” という特異な画像を呈する。

まとめ

脳血流 SPECT 読影は, 基本的に血流低下領域を検出することであるが, その背景にはさまざまな病態が存在する。実際の読影時には SPECT 画像のみならず, 病歴, 形態画像も参考にしながら, 脳血流 SPECT の解釈を行うことが必要である。



質疑応答

多田：検査に使用する SPECT 製剤は、依頼する側が決めるのか、または検査する側で決めるのか？また、ダイアモックス負荷は検査する側からはたらきかけるのか、それとも依頼に応じて行うのか？

土田(演者)：薬剤は、ルーチン検査には以前から IMP を使用しており、特に依頼科からのクレームもないので変更はしていない。緊急検査においては、ジェネレータの状態に左右されない ECD を使用している。またダイアモックス負荷は、依頼があれば行うが、積極的にこちらからは検査を呼びかけてはいない。

多田：IMP の定量は必ずやるのか？

土田：現在は、外科的手術の対象になりそうな症例を週 1 例のみダイアモックス負荷も併せて定量を行っている。その他の症例は、定性画像のみで診断している。

清水：アルツハイマー病などでは海馬長軸断面像を作成しているのか？自分たちの病院では、ECD を用いて海馬長軸断面像を作成しているがカウントが低く診断能の改善については疑問である。

土田：側頭葉てんかんなど海馬領域に焦点がありそうな場合など海馬長軸断面像を作成しているが、あまり診断能があがるといった印象はない。経験した症例が少ないので断定はできないが、ECD では、正常例でも海馬領域の集積は想定的に低く、同領域の診断には向かない印象がある。

久田：アルツハイマー病の治療薬（アリセプト）が発売されたが、その治療効果を SPECT でフォローされた経験があればお聞きしたい。

土田：薬が発売されたのは最近で我々は治療症例に SPECT を施行した経験はない。治療といっても病勢の進行を遅らせる作用が主であると思われ、SPECT でフォローしてもその変化の度合いは小さく、SPECT で評価するのは難しいような印象がある。

久田：アリセプトが治験の段階で、症例は少ないが、血流が改善したというような話を聞いたことがあったが、その後どうなったかわからない。