

特集

第50回日本小児放射線学会学術集会

シンポジウム「小児核医学検査—こんな時にこんな検査を」

3. 小児脳神経核医学検査

浜野晋一郎

埼玉県立小児医療センター 神経科

Brain nuclear medicine of pediatric neurology

Shin-ichiro Hamano

Division of Neurology, Saitama Children's Medical Center

Abstract

Nowadays we can analyze brain function directly or indirectly by evaluating cerebral blood flow, cerebral metabolism and several neuronal proteins such as neuronal receptors, using positron emission tomography (PET), single photon emission computed tomography (SPECT) and other kinds of scintigraphy. These brain nuclear imaging studies provide clinicians with great advantages showing functional abnormal lesions without morphological abnormality corresponding to symptoms. Moreover quantitative analysis using nuclear imaging studies can display diffuse or scattered abnormalities, severity of lesions, responses to treatment and task, and alterations with the clinical courses. The quantitative validity of PET is considered to be superior to that of SPECT. However PET for brain function is limited to institutions with cyclotrons, and so SPECT is more commonly available without huge devices such as a cyclotron. SPECT can produce cerebral blood flow imaging using ^{99m}Tc -ethyl cysteinate dimer, ^{123}I -N-isopropyl-4-iodoamphetamine, ^{99m}Tc -hexamethylpropylene amine oxime, and can also produce central benzodiazepine receptor imaging using ^{123}I -iomazenil. Recently another imaging study has become available, which is dopamine transporter imaging using ^{123}I -ioflupane. These imaging modalities and the combination of these and MRI help us to detect the location, properties and severity of corresponding lesions such as mass lesions, deficit lesions associated with vascular and inflammatory changes and epileptic foci, and also to understand neuronal network systems through the findings of diaschisis. Appropriate brain nuclear imaging studies and these combinations for patients with neurological diseases and disorders can provide significant benefits.

Keywords : *SPECT, Cerebral blood flow, Benzodiazepine receptor agonist*

はじめに

脳神経領域の核医学検査には、脳の血流、糖・酸素代謝、そして特定分子を標的にした受容体分布を計測することにより、間接的、直接的に脳機能評価を行える様々な核種・薬剤を用いたPET、SPECTがあり、その他に脳脊髄腔シンチグラフィ、脳腫瘍シンチグラフィがある。形態的評価のみではなく間接的、直接的に脳機能を

評価できることは、明らかな神経症候を呈しているにもかかわらず形態的異常を同定できない疾患・症例において、特に有用性が高い。例えば、脳血流SPECTにより、形態的障害に至っていない急性脳炎・急性脳症、脳血管障害における機能障害の分布と程度、病態の評価が可能となる。てんかんにおいても、発作時検査を行うことにより発作焦点を含む症候の責任病巣の同定、神

経ネットワークなどの病態生理の解明に役立つ。さらに、定量的な評価を行うことにより、1) びまん性・散在性病変の疾患における症例別、領域別の障害程度の評価、2) 同一症例における治療の効果と経時的変化の評価、3) 治療、負荷の有無による群間比較、が可能となる。

本稿では、小児科領域の臨床現場に広く普及し、てんかんや急性脳炎・脳症などで良く用いられている脳血流SPECTと中枢性ベンゾジアゼピン受容体 (cBZPR) SPECTに関して、疾患別にその有用性と判読上の注意点などを概説する。

1. 脳血管障害

脳血流SPECTにより、局所脳血流分布の異常領域と程度の評価、diaschisis¹⁾も含めた病変局在とネットワークとしての異常、重症度の評価、後遺症の推定が可能となる (Fig.1)。さらに、cBZPR SPECTによる評価を組み合わせる

ことで、血流低下により神経細胞障害が進展しcBZPRが消失した部位と、軽度の血流低下を認めるがcBZPRが保持され神経細胞死を免れている、いわゆるペナンブラ (penumbra) の鑑別にも有用となる。超急性期の脳梗塞においても血流低下部位の検出は可能だが、治療の観点ではその有用性は限定的である。すなわち、組織型プラスミノゲン・アクティベータ (recombinant tissue-type plasminogen activator: rt-PA) 静注療法のために時間的な制約が大きい中では、撮像時間の利便性と空間解像力の面で、脳血流SPECTよりMRI拡散強調画像, narrow-window CTが優位である。

慢性的な脳虚血状態の治療適応決定においては、脳血流SPECTの臨床的意義が確立している。本来、貧困灌流の判定に必要な酸素摂取率はPETでなければ評価できず、SPECTで貧困灌流の判定はできなかった。血管拡張物質を用い、脳内細動脈の自動調節能による細動脈の拡

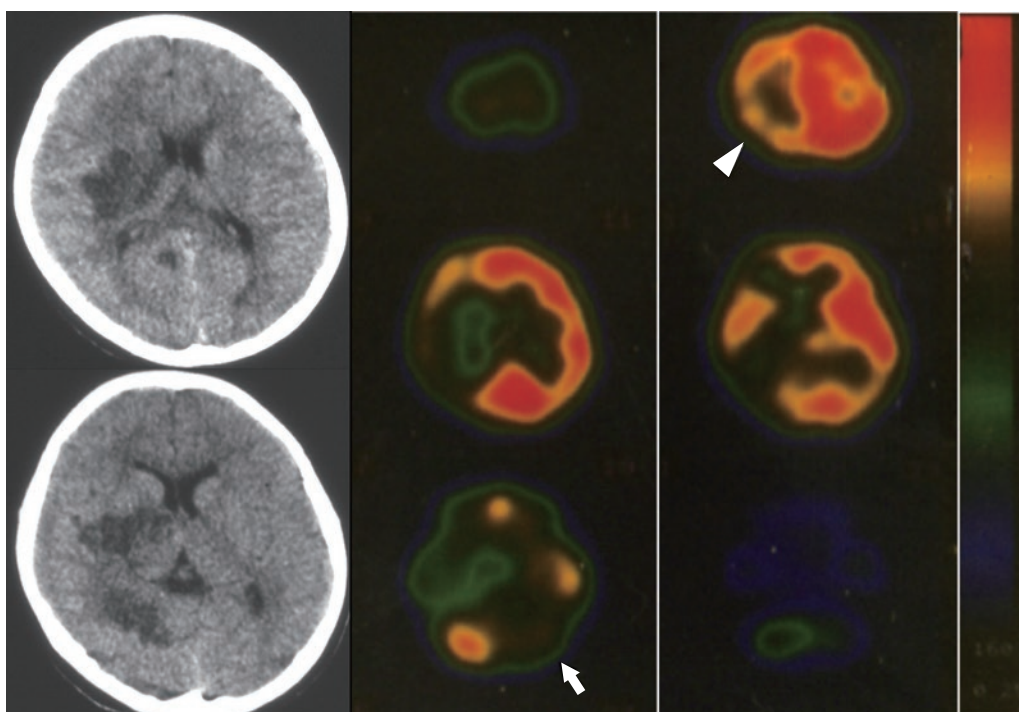


Fig.1 脳血管障害の脳血流SPECT

8歳7か月の右レンズ核内包の脳梗塞で左片麻痺を呈した女児のIMP-SPECT。梗塞巣の右レンズ核内包の血流低下の他、同部位を通過する神経線維の起始部である右中心溝周辺の右大脳半球皮質の広範囲な脳血流低下 (矢頭)、ならびに皮質橋小脳路を介した対側小脳における遠隔効果, crossed cerebellar diaschisis (矢印) が認められる。

張状態を評価することで、間接的に貧困灌流を把握し脳虚血状態の治療適応決定に利用している²⁾。実際には、血管拡張物質であるアセタゾラミド、二酸化炭素を用い、その投与前後に脳血流を計測し、血管反応性を脳循環予備能³⁾として算出し、細動脈の拡張状態、脳循環の重症度の評価に利用している。日本のextracranial-intracranial (EC-IC) bypass術に関する前向き試験(Japanese EC-IC bypass Trial, JET study)⁴⁾では、定量的¹²³I-IMP SPECT評価に基づき、安静時脳血流が正常の80%以下、アセタゾラミドによる血管反応性が10%以下の脳虚血症例が対象となった。成人のような脳主幹動脈の閉塞性病変は小児では稀だが、もやもや病は稀ではない。脳血流SPECTによる脳循環予備能の評価はもやもや病の手術適応の決定、手術後周術期管理と経過観察においても重要である^{5,6)}。なお、定量的評価方法としてはIMP-ARG法⁷⁾やDual-Table ARG法^{8,9)}が、動脈採血を伴うが血管反応性を鋭敏にとらえ、定量的信頼性から用いられる。しかし、採血が不要で簡便なECD-RVR法^{10,11)}も小児ではよく用いられている。

脳血流SPECTの判読で注意すべき点は、¹²³I-IMP、^{99m}Tc-HMPAO、^{99m}Tc-ECDの3つの製剤による差異である。¹²³I-IMPや^{99m}Tc-HMPAOでは脳梗塞の急性期から亜急性期にみられる血流増加領域が高集積を示すが、^{99m}Tc-ECDではむしろ低集積となる事がある。組織障害により、保持機構の違いによる差が顕著となるので、それぞれの製剤の脳内保持機構を理解し、判読の際にその差異を念頭に置く必要がある¹²⁾。また、脳血管障害の判読時に限らず小児では常に、前頭葉は後頭葉など他領域に比し発達が遅いという発達変化の特性^{13,14)}を考慮し判読することが重要である。

2. てんかん

てんかん診療における脳血流SPECTの最大の意義は、発作焦点の局在診断である。てんかん発作時には、てんかん焦点の神経細胞は過剰興奮しており、需要に見合う血流の供給が必要となり、焦点部位の血流は増大する。その後、てんかん発射の拡張に引継ネットワークが高灌流

を呈する。同時に、一部はてんかん発射の内在的抑制が生じ、その後の結果として灌流低下を示すこともあり、発作の経過時間によっては増加部位と低下部位が混在する。発作が終了し十分な時間が経過すると、多くのてんかん焦点部位は灌流低下を呈する。発作焦点は糖代謝も低下しており、神経細胞の消失、グリオーシスに起因していると推定されている。てんかん焦点同定の正確さは薬剤投与のタイミングで左右され、発作起始時に迅速に薬剤を投与できるかに依存しているが、脳波同時記録により検出率と正確さが改善できる。一般的には脳血流SPECTによるてんかん焦点の局在診断において、発作時では同定率が90%以上、発作直後で50~70%程度^{9,10)}とされ、MRI、PETと比較して発作時脳血流SPECTは感度、特異度ともに優れている¹⁰⁾。これに対し発作間欠時脳血流SPECTによるてんかん焦点検出率は低く、側頭葉てんかんで10~70%、非側頭葉てんかんでは10~50%と、報告による差も大きい。

発作間欠時検査として、てんかん焦点の一部でcBZPRが減少していることを利用して、¹²³I-IMZによるcBZPR SPECTが焦点同定に有用である。脳活動の二次的変化である代謝、血流を可視化する検査とは異なり、cBZPR SPECTは神経細胞活動に直結する情報が得られる為、さらなる臨床応用が期待される。

前述の如く、発作時脳血流SPECTによるてんかん焦点同定の正確性は、発作起始と薬剤静注のタイミングにかかっているが、発作間欠時脳血流画像と発作時脳血流画像のサブトラクション画像により検出感度を高めることもできる¹⁵⁾。サブトラクション画像の2標準偏差以上の領域のみを患者自身のMRI上に表示するsubtraction of ictal and interictal SPECT co-registered to MRI (SISCOM)^{16,17)}を利用すると、てんかん焦点の検出率は一層向上するうえ、患者自身のMRI上に表示することで、てんかん外科の術前評価として有用性が高い(Fig.2)。SISCOM等の統計学的解析を取り入れた画像解析ソフトの発展により、てんかん焦点の診断精度は向上しててんかん外科の治療成績に改善がもたらされている。

てんかんの原因疾患の一つであり、てんか

ん外科治療において重要な皮質形成異常では、SPECTで乳児期早期に特徴的所見を捉えることができる。脳血流SPECTでは発作間欠時であっても病変部の脳血流が乳児期早期に一過性が増加することがある^{18,19)} (Fig.3)。すなわち、髄鞘化が不十分でMRIによる皮質形成異常の判読が困難な時期において、発作間欠時に血流増加部位がみられた場合は皮質形成異常の可能性がある。cBZPR SPECTでも、皮質形成異常では乳児期早期に形成異常部位が高集積を呈することがあり、異常神経細胞、シナプス増生の過剰発現が生じていることが推定されている²⁰⁾ (Fig.4)。

3. 急性脳炎，急性脳症

急性脳炎において脳血流SPECTを用いた研究は、単純ヘルペス脳炎に関するものが多い^{21~24)}。急性期には主たる炎症部位は高灌流となり、亜急性期以降に正常から低灌流に変化する。PETにより単純ヘルペス脳炎の急性期病変が高代謝であることが示され²⁵⁾、脳血流SPECTで見ている高集積像は単なる脳血管閉塞の破綻による高集積でなく真の脳血流の増加と考えられる。炎症巣の脳血流増加の原因として、症状の一つであるけいれん発作や、炎症に伴うアシドーシスによる脳血管自動調節能の変化、ならびに神経

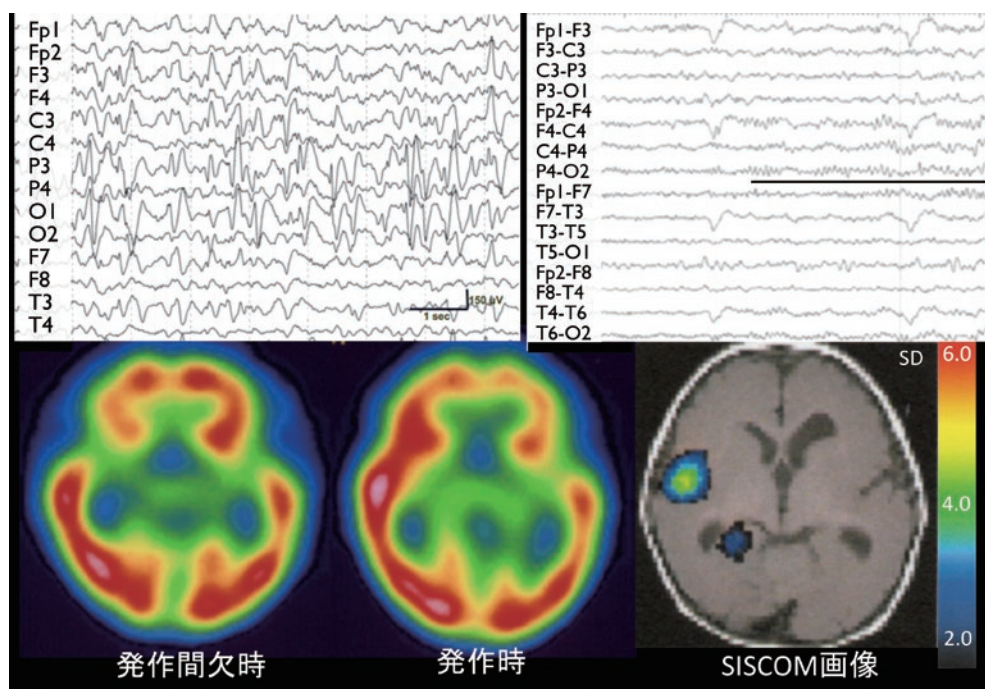


Fig.2 発作間欠時・発作時脳血流SPECTとSISCOM解析

皮質下帯状灰白質でDCX遺伝子のエクソン2に1塩基置換を認めた症例の11か月時の脳波、SPECT、SISCOM解析の画像。定額 3か月、座位 7か月で生後10か月から30秒程度、頭部が右に向反し、四肢強直する発作を連日認めた。発作間欠時脳波(上段左図)では左後頭頭頂部(P3,O1)に鋭波、鋭徐波を頻回に認めているが、発作時脳波(上段右図)では右頭頂(C4-P4, P4-O2)に律動性速波(下線部)が起始し、右側焦点であることが示されている。下段はそれぞれ左から順に、^{99m}Tc ECDによる発作間欠時SPECT、発作時SPECT、そしてSISCOM解析で、SISCOMにより明瞭に右側頭弁蓋部の高灌流所見が示されている。

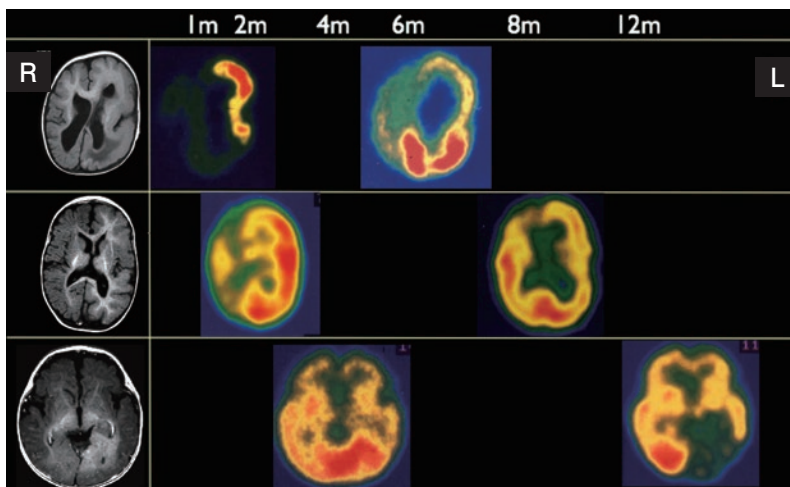


Fig.3 皮質形成異常の脳血流SPECT画像の乳児期変化

上段、中段は左側の片側巨脳症でいずれも ^{123}IMP -SPECT画像、下段は左後頭の限局性皮質形成異常で4か月時脳血流SPECTは $^{99\text{m}}\text{Tc ECD}$ 、12か月時は ^{123}IMP -SPECTによる画像。

いずれの症例も、臨床発作の頻発、electrical statusなどの突発異常波が高頻度に認められることで局所脳血流が増加している状態ではなく、乳児期早期に形成異常部位に高灌流を認め、その後同部位が低灌流と変化している。片側巨脳症ではてんかん反射が片側後半で、画像の局在とは関連が不明確となるが、下段の左後頭の限局性皮質形成異常の症例では、12か月時には4か月時に比し、より高頻度で左後頭にてんかん性異常波が出現していた。

略；L左，R右

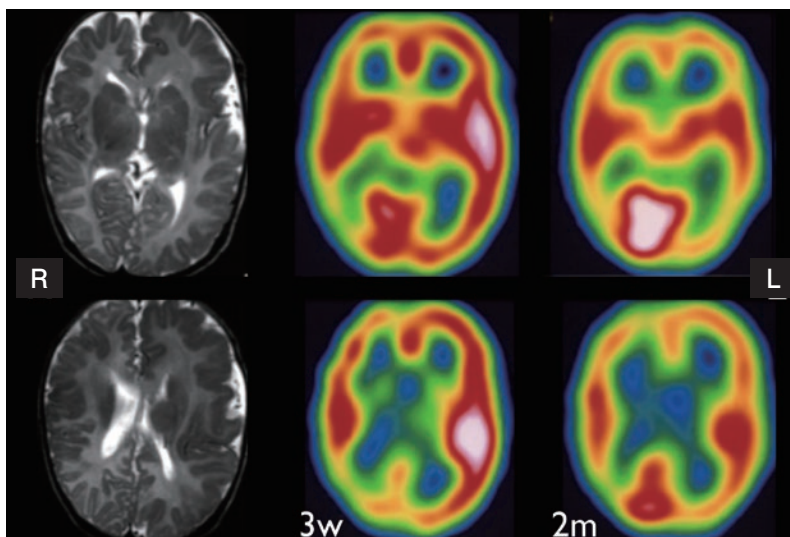


Fig.4 皮質形成異常のcBZPR SPECT画像の乳児期変化

左から順に、左片側巨脳症の2か月時MRI画像と生後3週、生後2か月のcBZPR SPECT画像。生後3週時にはMRIの病変部である左片側にcBZPR SPECTで顕著な集積を認めるが、生後2か月時にはその集積が減少し、左右差が顕著ではなくなっている。

略；L左，R右，3w生後3週，2m生後2か月

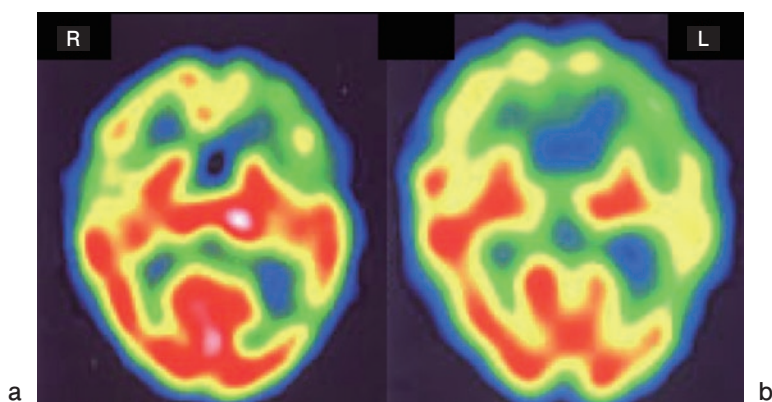


Fig.5 前頭葉が優位に障害されたHHV6感染による
痙攣重積型脳症の急性期と回復期の ^{123}I -IMP-SPECT

12か月男児で、発熱当日にけいれん、その後2日間意識は清明だったが3日後に発作重積あり、ジアゼパム、ミダゾラム、フェニトインで頓挫せず、リドカイン、チオペンタールによる発作抑制と人工呼吸管理を要した。発疹は認めなかったがHHV6 IgM抗体の有意な上昇を認めた。14日間意識障害は持続し、重度の知的障害と痙攣四肢麻痺を残した。a：第12病日、b：第28病日の ^{123}I -IMP-SPECTでいずれも左前頭葉優位で両側性に低灌流を認める。第28病日のBでは灌流低下が顕著となっており、左側頭まで低下領域が拡大し、基底核視床も低下している。(本症例の局所脳血流量の定量的評価をTable 1に示す)

細胞のみにとどまらず支持組織にも炎症が波及するため神経細胞以外のグリア、血管内皮細胞などの炎症も脳血流増加に関与していると推測されている²⁶⁾。そのため、急性期の高灌流所見は単純ヘルペス脳炎以外の多くの急性ウイルス性脳炎でも認められ²⁷⁾、起炎ウイルスに依存しない所見である。ウイルス性脳炎とは異なり自己免疫性脳炎の代表である急性散在性脳脊髄炎では、血流増加病変と血流低下病変が同一時期に混在する²⁸⁾。急性散在性脳脊髄炎で、活動性が高く症候に関与する病変と、活動性が低く無症候の病変が混在していることを反映しているのかも知れない。また、同じく自己免疫性脳炎である非ヘルペス性辺縁系脳炎・抗NMDA受容体脳炎でもMRIが正常な症例においても血流増加病変と低下病変が同一時期に混在し、その一部の病変はcBZPR SPECTで初期に集積低下を認め経過に伴い回復した²⁹⁾。通常は脳血流低下を伴うcBZPR SPECTの集積低下病変は、神経細胞消失等の永続的な障害を意味し、回復する

ことは考えられない。非ヘルペス性辺縁系脳炎・抗NMDA受容体脳炎ではNMDA受容体の活性化やサイトカインなどにより、可逆性変化であるGABA受容体の内在化が生じている可能性が考えられる²⁹⁾。

急性脳症は種々の疾患、雑多な症候群の集合体でその病態は未解明である。脳血流SPECTの検討も乏しく、臨床病型に応じた特徴的、特異的所見の報告はない。

急性脳炎・脳症のSPECT判読時には、これまでと同様に発達変化をふまえるほかに、下記の2点に留意しなければならない。1つは脳血管障害の項で述べたように製剤の違いである。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAOが脳血管関門の障害で集積しやすくなり、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECDは脳内保持にエステラーゼ活性が関与するため、組織障害により脳内保持が変化し局所脳血流を正確に反映できなくなる^{30, 31)}。つぎに留意すべき点は、視察のみの定性的評価の限界である。左右差の顕著な病変の評価は定性的評価で可能であるが、集積の高低はあくま

Table 1 HHV6感染による痙攣重積型脳症における脳血流量の変化：急性期と回復期の比較

後遺症 \ 症例(月齢)	病 期	前 頭	側 頭	後 頭	小 脳	視 床	尾状核
症例 1 (12m, Fig.5の症例) 知的障害, 痙性四肢麻痺	急性期	<u>22.3</u>	<u>27.5</u>	<u>31.0</u>	26.0	34.2	34.0
	回復期	<u>19.0</u>	<u>22.4</u>	<u>29.5</u>	<u>22.6</u>	<u>27.9</u>	<u>32.1</u>
症例 2 (11m) 知的障害	急性期	<u>17.9</u>	<u>23.0</u>	<u>19.3</u>	28.5	22.7	26.6
	回復期	<u>26.6</u>	<u>19.9</u>	<u>25.1</u>	27.3	24.0	27.7
症例 3 (12m) 後遺症なし	急性期	<u>31.9</u>	<u>34.9</u>	35.4	30.8	43.7	44.8
	回復期	<u>27.0</u>	45.4	49.7	39.6	44.3	50.5
対照群(10例, 平均月齢13.5か月)		40.2 ± 4.0	45.7 ± 4.9	44.7 ± 5.0	35.6 ± 4.8	42.4 ± 5.1	40.1 ± 3.6

局所脳血流量の算出は¹²³IMP-SPECTでARG法による。なお、症例1はFig.5の症例
対照群の数字は平均±SD, 各症例の下線数字は対照群に比し2SD以下を示す。

注 対照群は2007年までにてんかんなどの疑いで¹²³IMP-SPECTを施行した症例でSPECT画像で明らかな異常なく、頭部MRIならびに発達を含め神経学的にも正常で月齢が10～16か月の症例。

でも相対的である。痙攣重積型脳症、または遅発性拡散低下を呈し二相性痙攣を有する急性脳症は、前頭優位に脳血流低下を示す(Fig.5)ことが多いが、前頭以外の領域が正常か否かの判断は困難である。Table1に示す様に、定量評価により前頭のみならず、びまん性低下が明らかとなった。定量的評価は急性脳炎・脳症における病態の解釈³²⁾、予後評価³³⁾と治療効果の評価³⁴⁾に有用である。定量により発達変化に起因する判読の困難さも解消できるので、できる限り定量的評価に努めるべきと思われる³⁵⁾。もちろん施設によってはその対応ができない場合もあり、視察による定性的評価のみの場合は、MRIと脳波の所見を考慮し総合的に判断するべきである。

●文献

- Hamano S, Nara T, Nakanishi Y, et al : Secondary changes in cerebellar perfusion (diaschisis) in hemiplegia during childhood : SPECT study of 55 children. *Pediatr Neurol* 1993 ; 9 : 435-443.
- Vorstrup S, Henriksen L, Paulson OB : Effect of acetazolamide on cerebral blood flow and cerebral metabolic rate for oxygen. *J Clin Invest* 1984 ; 74 : 1634-1639.
- 浜野晋一郎 : アセタゾラミド負荷SPECT. *小児内科* 2006 ; 38 : 1480-1483.
- JET Study Group : Japanese EC-IC Bypass Trial (JET Study) 中間解析結果(第二報). *脳卒中の外科* 2002 ; 30 : 434-437.
- Touho H, Karasawa J, Ohnishi H : Preoperative and postoperative evaluation of cerebral perfusion and vasodilatory capacity with ^{99m}Tc-HMPAO SPECT and acetazolamide in childhood Moyamoya disease. *Stroke* 1996 ; 27 : 282-289.
- Saito N, Nakagawara J, Nakamura H, et al : Assessment of cerebral hemodynamics in childhood moyamoya disease using a quantitative and a semiquantitative IMP-SPECT study. *Ann Nucl Med* 2004 ; 18 : 323-331.
- Iida H, Itoh H, Nakazawa M, et al : Quantitative mapping of regional cerebral blood flow using iodine-123-IMP and SPECT. *J Nucl Med* 1994 ; 35 : 2019-2030.
- Kim KM, Watabe H, Hayashi T, et al : Quantitative mapping of basal and vasoreactive cerebral blood flow using split-dose ¹²³I-io-damphetamine and single photon emission computed tomography. *Neuroimage* 2006 ; 33 : 1126-1135.

- 9) Iida H, Nakagawahara J, Hayashida K, et al : Multicenter evaluation of a standardized protocol for rest and acetazolamide CBF assessment using quantitative SPECT reconstruction program and split-dose ^{123}I -IMP. J Nucl Med 2010 ; 51 : 1624-1631
- 10) 松田博史, 中野正剛, 田中正明 : $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECD による acetazolamide 負荷前後における非侵襲的局所脳血流量測定. 核医学 1996 ; 33 : 759-766.
- 11) Takeuchi R, Matsuda H, Yonekura Y, et al : Noninvasive quantitative measurements of regional cerebral blood flow using technetium-99m-L,L-ECD SPECT activated with acetazolamide : quantification analysis by equal-volume-split $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECD consecutive SPECT method. J Cereb Blood Flow Metab 1997 ; 17 : 1020-1032.
- 12) Shishido F, Uemura K, Inugami A, et al : Discrepant $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECD images of CBF in patients with subacute cerebral infarction: a comparison of CBF, CMRO2 and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO imaging. Ann Nucl Med 1995 ; 9 : 161-166.
- 13) Chugani HT, Phelps ME, Mazziotta JC : Positron emission tomography study of human brain function development. Ann Neurol 1987 ; 22 : 487-497.
- 14) 平田佑子, 浜野晋一郎, 南谷幹之, 他 : ^{123}I -IMP SPECT の定量的評価による小児期の局所脳血流量変化. 脳と発達 2014 (印刷中).
- 15) Runge U, Kirsch G, Petersen B, et al : Ictal and interictal ECD-SPECT for focus localization in epilepsy. Acta Neurol Scand 1997 ; 96 : 271-276.
- 16) O'Brien TJ, So EL, Mullan BP, et al : Subtraction ictal SPECT co-registered to MRI improves clinical usefulness of SPECT in localizing the surgical seizure focus. Neurology 1998 ; 50 : 445-454.
- 17) Matsuda H, Matsuda K, Nakamura F, et al : Contribution of subtraction ictal SPECT coregistered to MRI to epilepsy surgery : a multicenter study. Ann Nucl Med 2009 ; 23 : 283-291.
- 18) Maehara T, Shimizu H, Yagishita A, et al : Interictal hyperperfusion observed in infants with cortical dysgenesis. Brain Dev 1999 ; 21 : 407-412.
- 19) 浜野晋一郎, 森川建基, 松田一己, 他 : 脳形成異常をもつ乳児てんかんの継時的脳血流 SPECT 所見 - 発作間欠時に一過性局所脳血流増加を認めた3例 -. てんかん研究 2000 ; 18 : 45.
- 20) Higurashi N, Hamano S, Oritsu T, et al : Iomazenil hyperfixation in single photon emission computed tomography study of malformations of cortical development during infancy. Eur J Paediatr Neurol 2011 ; 15 : 372-375.
- 21) Launes J, Nikkinen P, Lindroth L, et al : Diagnosis of acute herpes simplex encephalitis by brain perfusion single photon emission computed tomography. Lancet 1988 ; 1 : 1188-1191.
- 22) Kao CH, Wang SJ, Mak SC, et al : Viral encephalitis in children: detection with technetium-99m-HMPAO brain single-photon emission CT and its value in prediction of outcome. AJNR Am J Neuroradiol 1994 ; 15 : 1369-1373.
- 23) Launes J, Sirén J, Valanne L, et al : Unilateral hyperfusion in brain-perfusion SPECT predicts poor prognosis in acute encephalitis. Neurology 1997 ; 48 : 1347-1351.
- 24) Ogasawara K, Yasuda S, Yukawa H, et al : Atypical finding of brain Tc-99m-ECD SPECT imaging in herpes simplex encephalitis. Ann Nucl Med 2002 ; 16 : 347-350.
- 25) Meyer MA, Hubner KF, Raja S, et al : Sequential positron emission tomographic evaluations of brain metabolism in acute herpes encephalitis. J Neuroimaging 1994 ; 4 : 104-105.

- 26) Launes J, Hokkanen L, Nikkinen P, et al : Hyperfixation of ^{99m}Tc -HMPAO and hypofixation of ^{123}I -iomazenil in acute herpes encephalitis. *Neuroreport* 1995 ; 6 : 1203-1206.
- 27) 長町茂樹, 陣之内正史, Flores IILeo G, 他 : 脳炎患者に対する脳血流SPECTの有用性. *核医学* 1997 ; 34 : 7-17.
- 28) Broich K, Horwich D, Alavi A : HMPAO-SPECT and MRI in acute disseminated encephalomyelitis. *J Nucl Med* 1991 ; 32 : 1897-1900.
- 29) 平田佑子, 浜野晋一郎, 大場温子, 他 : 抗NMDA受容体脳炎における ^{123}I -IMP-SPECTと ^{123}I -MZ-SPECTの変化. *日小放誌* 2014 ; 30 (suppl) : 50.
- 30) Fazekas F, Roob G, Payer F, et al : Technetium-99m-ECD SPECT fails to show focal hyperemia of acute herpes encephalitis. *J Nucl Med* 1998 ; 39 : 790-792.
- 31) Rieck H, Adelwöhrer C, Lungenschmid K, et al : Discordance of technetium-99m-HMPAO and technetium-99m-ECD SPECT in herpes simplex encephalitis. *J Nucl Med*. 1998 ; 39 : 1508-1510.
- 32) 浜野晋一郎: SPECT “エキスパートに学ぶけいれん重積・意識障害” 水口雅編. 総合医学社, 東京, 小児科学レクチャー 2012 ; 2 (4) : 802-809.
- 33) 吉成 聡, 浜野晋一郎, 伊東 建, 他 : ヒト・ヘルペスウイルス6型脳炎・脳症の脳血流SPECT所見. *日児誌* 2006 ; 110 : 33-37.
- 34) Yoshinari S, Hamano S, Tanaka M, et al : Alteration of regional cerebral blood flow to thyrotropin-releasing hormone therapy in acute encephalitis and encephalopathy during childhood. *Eur J Pediatr Neurol* 2006 ; 10 : 124-128.
- 35) 浜野晋一郎: 小児神経疾患における脳血流SPECT —いい加減さと有用性—. “小児神経学の進歩 第36集” 日本小児神経学会編. 東京, 診断と治療社, 2007, 120-131.