

《短 報》

小児核医学検査の利用実態： 小児核医学検査実施 14 施設のアンケート調査

唐澤 賢祐 *1,*4 神山 浩 *1,*4 橋本 禎介 *2,*4 小泉 潔 *3,*4

要旨 小児核医学研究会のアンケート調査は、関東地区の 14 施設から 2007–2011 年の 5 年間に年次集計を行った。調査対象年齢は 15 歳以下で、調査項目は小児投与量の決定法および主な検査件数の集計である。

2012 年に調査した小児投与量の主とする決定法は、14 施設中、成人投与量 $\times$ (年齢+1) / (年齢+7) が 11 施設、他の 3 施設では成人投与量を上限にした年齢・体格による換算式を用いる方法であった。2011 年の集計で小児検査数の合計は 3,884 件であり、臓器別検査件数は、多い順に、全体では、腎臓 (全体の 41.5%)、脳 (14.4%)、呼吸器 (12.9%)、腫瘍 (9.0%)、肝胆道 (6.3%)、消化器 (4.8%)、骨 (4.3%)、心臓 (2.5%) およびその他 (4.9%) であった。また、小児病院以外の施設における 15 歳以下の検査件数の割合は、成人を含めた施設の全件数の 3.4% (小児病院では 92.7%) であった。過去の年次変化においても 2011 年の結果と同様な傾向を認めた。

小児は放射線感受性が成人より高くかつ生殖年齢も長いため、核医学検査を行う上では被検者に有益な検査を選択し、適切な投与量および検査法で行うことである。今回の調査から、小児に適した核医学検査の利用実態が明らかになり、さらに適切な普及が期待される。

(核医学 50: 61–67, 2013)

I. はじめに

小児核医学研究会 (2011 年に関東小児核医学研究会から改名) は 2000 年に発足し、その目的は小児核医学の安全性・臨床的有用性を確立することである¹⁾。核医学検査は、被検者が放射線被ばくを受けるので、特に小児を対象に行う場合に

は検査の適応および検査法のスケジュールを十分に検討すべきであり、検査に関しては十分なインフォームドコンセントが必要である。小児は放射線感受性が成人より高くかつ生殖年齢も長く、核医学検査用薬剤 (放射性医薬品) 投与量、検査間隔など適切な検査スケジュールを計画することが重要である。しかし、各施設の実施症例数は限られているため、小児核医学検査を行っている多施設の情報交換が最も有益である。小児核医学研究会では、2007 年から小児に有用な核医学検査を情報開示することを目的として研究会の幹事が所属する施設にアンケート調査を行っている。今回、5 年間の集計結果をまとめ、小児核医学検査の利用実態を報告する。

*1 日本大学医学部小児科学系小児科学分野

*2 獨協医科大学放射線医学教室

*3 東京医科大学八王子医療センター放射線科

*4 小児核医学研究会

アンケート調査ワーキンググループ

受付：25 年 3 月 4 日

最終稿受付：25 年 4 月 12 日

別刷請求先：

東京都板橋区大谷口上町 30-1 (☎ 173-8610)

日本大学医学部小児科学系小児科学分野

唐澤 賢祐

II. 方 法

2008 年から前年の年間検査件数を多施設からアンケート調査を行い、集計した。各年の集計施設数は、2007 年 8 施設、2008 年 10 施設、2009 年 7 施設、2010 年 13 施設、2011 年 14 施設であった。2011 年集計のアンケート調査回収率は、77.8% (18 施設中 14 施設から回答) であった。アンケートは、調査対象年齢を 15 歳以下の小児として、心臓核医学検査、脳核医学検査、腫瘍核医学検査、肝胆道核医学検査、消化器核医学検査、骨核医学検査、腎臓核医学検査、呼吸器核医学検査、および、その他の核医学検査について、使用核種および件数について集計した。2012 年の調査 (2011 年集計) では、14 施設から小児投与量の決定方法について、回答を得た。また、2009 年から 2011 年の集計では、16 歳以上を含めた施設全体の件数も調査した。

III. 結 果

(1) 小児投与量の決定方法

2012 年に調査した小児投与量の主とする決定方法 (複数併用あり) は、14 施設中、成人投与量 $\times$ (年齢+1) / (年齢+7) の算出式を 11 施設 (78.6%)、成人投与量 $\times$ 体表面積 (m^2) / 1.73 の算出式を 3 施設、成人投与量を上限にした体重別投与量を作り、それによるを 2 施設、成人投与量 $\times$ 身長 / 174 を 1 施設、生後 6 月までは成人の投与量の 1/4、4 歳までは成人の投与量の 1/3、8 歳までは成人の投与量の 1/2、8 歳以上は成人の投与量の 2/3 を目安とするを 1 施設、年齢別に成人投与量に対する補正係数を作り、それによるを 1 施設、各放射性医薬品ごとに体重別投与量の一覧表によるを 1 施設、日本核医学会の放射性医薬品の適正使用におけるガイドライン (平成 13 年度、14 年度) の小児投与量 (MBq/kg) を 1 施設であった。

(2) 小児核医学検査が行われる疾患群

第 1 回アンケート調査で行った結果では、以下

のごとくである。

腎臓： 尿路奇形、水腎症、膀胱尿管逆流症、腎瘢痕の有無など。

脳： てんかんの診断および術後の経過観察、もやもや病術前・術後、頭蓋骨早期癒合症、脳炎・脳症など。

呼吸器： 先天性心疾患の血行動態の把握、先天性心疾患術後の経過観察、肺高血圧症、横隔膜ヘルニア術後、心肺血管奇形術後、短絡疾患の検索など。

腫瘍： 悪性リンパ腫、神経芽腫・褐色細胞腫など。

消化器： メッケル憩室、嚥下障害・胃食道逆流現象、蛋白漏出性胃腸症など。

肝胆道： 先天性胆道閉鎖、生体肝移植後など。

骨： 神経芽腫などの小児がん骨転移の全身検索、骨髄炎、線維性骨異形成症など。

心臓： 川崎病冠動脈障害の経過観察、心筋症、冠動脈奇形・大動脈狭窄など先天性心疾患の術前・術後評価、心電図異常の精査、化学療法前後の心機能評価など。

その他： 不明熱をきたす炎症性疾患、唾液腺・リンパ管異常、甲状腺機能低下症などであった。

(3) 小児核医学検査の臓器別件数 (2011 年の実施件数)

2011 年の全調査施設における小児核医学検査件数の集計では、小児検査数の合計は 3,884 件であり、臓器別では多い順に腎臓：1,603 件 (全体の 41.5%)、脳：556 件 (14.4%)、呼吸器：497 件 (12.9%)、腫瘍：346 件 (9.0%)、肝胆道：245 件 (6.3%)、消化器：186 件 (4.8%)、骨：167 件 (4.3%)、心臓：96 件 (2.5%)、その他：positron emission tomography (PET)、甲状腺および炎症などの 188 件 (4.9%) であった。Fig. 1 は、過去の年次変化を示したもので 2011 年の結果と同様な傾向を認めた。また、Fig. 2 に 15 歳以下の小児病院、総合病院および総合病院の全件数について臓器別検査割合を示した。15 歳以下の核医学検

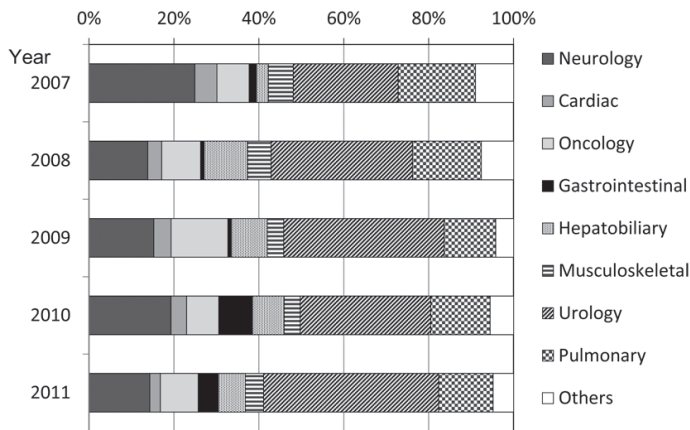


Fig. 1 Chronological change in pediatric nuclear medicine.

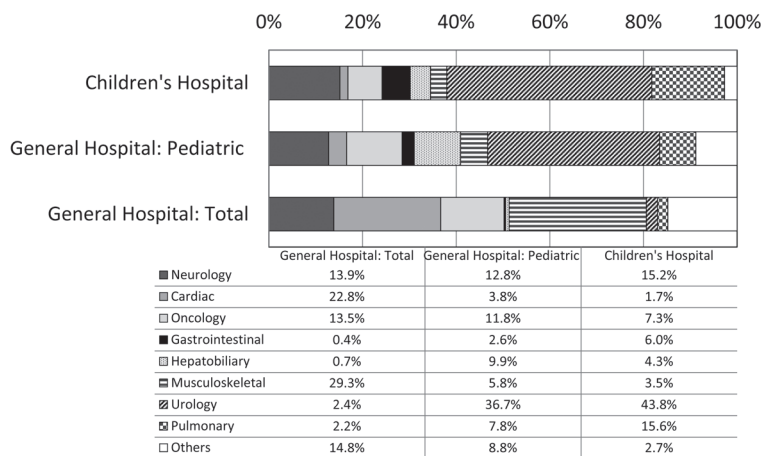


Fig. 2 Comparison between children's hospitals and general hospitals in pediatric nuclear medicine in 2011.

査は、多い順に小児病院では腎臓、呼吸器、脳、腫瘍、消化器、肝胆道、骨、心臓、総合病院では腎臓、脳、腫瘍、肝胆道、呼吸器、骨、心臓、消化器であった。

総合病院における 15 歳以下の検査件数の割合は成人を含めた全件数の 3.4% であり、小児病院における 15 歳以下の検査件数の割合は 94.7% であった。Fig. 2 に示すように総合病院における成人を含めた施設全体の臓器別検査割合は、多い順に骨、心臓、脳、腫瘍、腎臓、呼吸器、肝胆道、消化器であり、小児検査と異なる頻度であった。

(4) 各施設内における小児核医学検査の年次変化

小児病院 2 施設、総合病院 5 施設の 15 歳以下の核医学検査の検査数について、Fig. 3 に年次変化を示す。5 年間の推移では、各施設内では明らかな傾向はないが、検査件数は小児病院の方が明らかに多数であった。

(5) 臓器別使用核種の使用頻度 (2011 年の実施件数)

腎臓核医学検査：

Technetium (^{99m}Tc)-dimercaptosuccinic acid

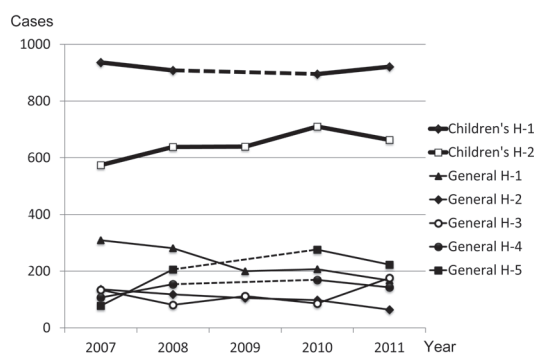


Fig. 3 Chronological change in the number of pediatric nuclear medicine examinations in 7 institutes.

(DMSA) が 67.5%, ^{99m}Tc -mercaptoacetyltryglycine (MAG3) が 23.2%, ^{99m}Tc -diethylenetriamine pentaacetic acid (DTPA) が 9.3% であった。

脳核医学検査：

^{99m}Tc -ethyl cysteinate dimer (ECD) が 57.4%, *N*-isopropyl-*p*-(^{123}I)iodoamphetamine (IMP) が 24.4%, ^{123}I -iomazenil (IMZ) が 14.9%, ^{99m}Tc -hexamethylpropylene amine oxime (PAO) が 2.7% およびその他 0.5% であった。

呼吸器核医学検査：

^{99m}Tc -macroaggregated albumin (MAA) が 96.5%, ^{81m}Kr ガスが 2.7%, ^{133}Xe ガスが 0.8% であった。

腫瘍核医学検査：

^{123}I -metaiodobenzylguanidine (^{123}I -MIBG) が 56.4%, ^{67}Ga が 34.7%, ^{201}Tl が 8.4% およびその他 0.6% であった。

肝胆道核医学検査：

^{99m}Tc *N*-pyridoxyl-5-methyltryptophan (PMT) が 70.3%, ^{99m}Tc galactosyl human serum albumin diethylenetriamine pentaacetic acid (GSA) が 28.5%, ^{99m}Tc スズコロイドが 1.2% であった。

消化器核医学検査：

DTPA による胃食道逆流現象の診断が 47.8%, ^{99m}Tc sodium pertechnetate ($^{99m}\text{TcO}_4^-$) によるメツケル憩室の診断が 30.1%, ^{99m}Tc -human serum albumin diethylenetriamine pentaacetic acid (HSAD) が 12.0%, DTPA による嚥下機能検査などのその他

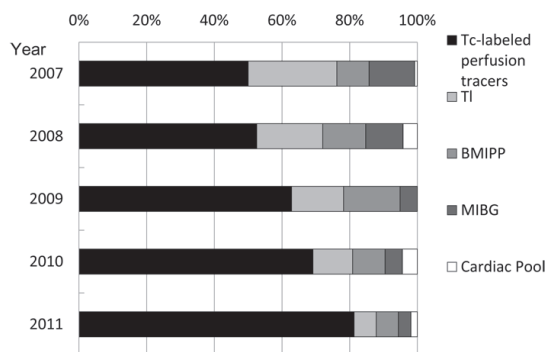


Fig. 4 Chronological change in pediatric nuclear medicine examinations in cardiology.

が 10.0% であった。

骨核医学検査：

^{99m}Tc -methylene diphosphonate (MDP) が 54.2%, ^{99m}Tc -hydroxymethylenebisphosphonic acid (HMDP) が 45.8% であった。

心臓核医学検査：

^{99m}Tc 心筋血流製剤が 81.3%, ^{201}Tl が 6.5%, ^{123}I -15-(*p*-iodephenyl)-3-(*R,S*)-methylpentadecanoic acid (BMIPP) が 6.5%, ^{123}I -MIBG が 3.7%, 心プールが 1.9% であった。Fig. 4 に経年変化を示した。 ^{201}Tl が減少し、 ^{99m}Tc 心筋血流製剤が増加している傾向を認めた。心筋血流イメージングの検査方法は、安静時検査が 47.8%, アデノシン負荷が 27.2%, 運動負荷が 19.6%, ジピリダモール負荷が 3.3%, ドブタミン負荷が 2.2% であった。

その他の検査：

PET が 41.6% (内訳は ^{18}F -fludeoxyglucose : 58.3%, ^{11}C -methionine : 41.7%), 甲状腺・副甲状腺核医学検査が 26.0% (内訳は ^{123}I : 55.6%, $^{99m}\text{TcO}_4^-$: 33.3%, ^{99m}Tc -sestamibi : 6.7%, ^{201}Tl : 4.4%), ^{67}Ga の炎症シンチグラフィが 19.1%, $^{99m}\text{TcO}_4^-$ シヤント検査が 7.5%, その他 5.8% であった。

IV. 考 察

小児の核医学検査は一般に腎疾患を中心に行われているものであるが、その利用実態に関する報

告は少ない。小児は放射線感受性が高かつ生殖年齢も長いので、核医学検査を行う上では被検者に有益な検査を選択し、適切な投与量および検査法で行う必要がある。また、成人で低侵襲的検査として確立された核医学検査は、小児においても病態把握、治療効果判定のために重要である。今回の調査結果で、小児に核医学検査の有用性がある疾患群で多用されている核種が明らかになった。

小児の投与量に関しては、1986年に米国からの報告²⁾があり、本邦では1988年に小児への放射性医薬品投与に関する勧告³⁾がある。本邦の勧告では、成人投与量に対する年齢換算法としての成人投与量 $\times$ (年齢+1) / (年齢+7) が推奨されている。今回のアンケート結果からも、71.4%の施設でこの換算式が利用されていた。小児の投与量は成人投与量を基準にしたものが多かったため、近年、小児の被ばく低減を目指したガイドラインが欧州および米国核医学会から報告されている^{4~6)}。両者のガイドラインの特徴として、体重換算で投与量を決定していることと、最小の投与量を設定していることが注目すべき点である。よって、良好な画質を担保して、被ばく低減を目指した適切な投与量を決定している。現状では、小児の投与量基準は個々の施設で決めているため⁷⁾、多施設における検討によって適性利用の指針を示すことが必要であると考えられた。近年、小児においても、CTを中心とした画像診断法の進歩によって放射線画像診断法が頻用されていることから、小児の放射線画像診断の被ばく低減を目的とした検査法および適正利用についての提言が示されている。日本核医学会発行の核医学診断ガイドライン 2008⁸⁾では小児に関する記載が部分的な言及に留まっているため、日本核医学会と日本核医学技術学会が共同で欧州・米国のガイドラインを参考にして小児核医学検査適正施行のコンセンサスガイドラインを検討している。小児核医学検査は、有用性の高い適応疾患に行われるべきであり、施行するにあたっては、被ばく低減を念頭にいた検査内容、撮像方法に応じて、年

齢・体格に見合った投与量の決定が重要である。実際には年齢を考慮した体重換算の投与量決定が望ましいと考えられる。また、個々の検査についても、適切な核種選択、検査方法、必要に応じて鎮静が必要である。しかし、小児の核医学検査を多数行っている専門施設は限られるため、今後も多施設による集約的検討が不可欠である。

臓器別の小児核医学検査は、腎臓検査が最も多く、核種ではDMSAが多いことから、尿路感染を伴う膀胱尿管逆流現象による腎障害の検査が主たるものであった。脳検査では、脳炎、てんかんなどの疾患における脳血流評価が行われている。呼吸器検査は、ほとんどがMAAによる肺血流評価であり、先天性心疾患に伴う肺血流不均衡の評価が目的で行われている。腫瘍検査では、¹²³I-MIBGが多く、神経芽腫の診断に用いられている。消化器検査は、メッケル憩室の診断、胃食道逆流現象の診断に利用されている。肝胆道検査は、胆道検査が主たるもので、胆道閉鎖の術前・術後評価および肝移植後の術後評価に用いられている。骨検査、心臓検査は、成人では頻用されている核医学検査であるが、小児では汎用されていない検査である。小児の心臓検査は、川崎病冠動脈障害、完全大血管転位における冠動脈再建術後などにおける心筋血流SPECTが有用であり、今後も、小児における重要な検査である。また、心筋血流製剤の核種は、従来、汎用されていた²⁰¹Tlから被ばくの少ない^{99m}Tc心筋血流製剤への移行が明らかであった。

小児病院と総合病院の比較では、頻度の多い検査では同様の傾向であるが、総合病院では心臓検査、腫瘍検査、肝胆道検査の頻度がやや多い傾向を認めた。心臓検査の主体が負荷心筋血流SPECTであることから、成人で多用されている心臓核医学検査の体制が確立されている総合病院で行われている影響が示唆された。また、総合病院の成人を含めた全検査における小児検査の割合は3.4%であり、個々の施設での件数は少なく、検査件数の多い小児専門病院との情報交換は重要であると考えられた。過去5年間の年次変化を追

跡できた 5 施設の検討では、検査件数の増減に一定の傾向はなかった。2009 年に発生したカナダ原子炉の稼働停止に伴うテクネチウム製剤の供給不足、および 2011 年の福島第一原子力発電所の事故による放射線被ばくに対する心理的な影響も今回の調査では明らかではなかったと思われる。

今回の集計結果による小児核医学検査の特徴は、1) 画質が比較的良好で、被ばくの少ないテクネチウム製剤が最も選択される、2) 成人に比べ、腎臓検査が多く、心臓、骨検査が少なく、特に小児病院でその傾向が強かった、3) 腎臓検査では DMSA、脳検査では ECD、呼吸器検査では MAA、腫瘍検査では ^{123}I -MIBG、肝胆道検査では PMT、心臓検査では $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 心筋血流製剤の頻度が多く、4) 小児病院ではメッケル憩室や胃食道逆流現象の診断に用いられる消化器核医学検査が多い傾向があった。

アンケート調査の限界として、臓器別使用核種の集計結果を詳細に調査できなかったため、記載のあった使用核種の報告数から使用頻度を呈示することに留めた。

V. 結 語

小児核医学検査は、成人に比較して使用頻度は少ないが、膀胱尿管逆流現象による腎障害、先天性心疾患などの肺血流不均等、神経芽腫、胆道奇形、メッケル憩室などの小児特有の疾患群で頻用されている。小児の投与量基準は個々の施設で決められているため、被ばく低減を示した適正利用の指針を示すことが必要であると考えらる。

小児核医学研究会

アンケート調査ワーキンググループ委員：

内山真幸（東京慈恵会医科大学放射線医学講座）、奥野光男（日本大学医学部附属板橋病院中央放射線部）、小熊栄二（埼玉県立小児医療センター放射線科）、小泉 潔（東京医科大学八王子医療センター放射線科）、河野達夫（東京都立小児総合医療センター診療放射線科）、近藤千里・金谷信一（東京女子医科大学画像診断・核医学科）、寺田一志（東邦大学医療センター佐倉病院放射線科）、中西 淳（順天堂大学放射線科）、橋本禎介（獨協医科大学病院放射線医学教室）、濱野晋一郎（埼玉県立小児医療センター神

経科）、藤田之彦・唐澤賢祐・神山 浩（日本大学医学部小児科）、星野 健（慶應義塾大学医学部小児外科）、正木英一・北村正幸（国立成育医療研究センター病院放射線診療部）、松田博史（国立精神・神経医療研究センター脳病態統合イメージングセンター）、矢野正幸（静岡県立こども病院放射線科）。

謝辞：アンケート調査にご協力いただきました慶應義塾大学病院、国立成育医療研究センター、国立精神・神経医療研究センター病院、埼玉医科大学国際医療センター、埼玉県立小児医療センター、静岡県立こども病院、東京医科大学八王子医療センター、東京慈恵会医科大学病院、東京女子医科大学病院、東邦大学医療センター佐倉病院、獨協医科大学病院、都立小児総合医療センター・都立清瀬小児病院、日本大学板橋病院・練馬光が丘病院、および各施設の放射線診療技師の方々に深謝いたします。

本論文の要旨は小児核医学研究会および第 51 回日本核医学会学術総会（2011 年 10 月、つくば）において発表した。

日本核医学会の定める利益相反に関する開示事項はありません。

文 献

- 1) 小泉 潔：報告記 [第 10 回関東小児核医学研究会]。臨床核医学 2010; 43: 86-87.
- 2) Shore RM, Hendee WR: Radiopharmaceutical dosage selection for pediatric nuclear medicine. *J Nucl Med* 1986; 27: 287-298.
- 3) 日本アイソトープ協会医学・薬学部核医学イメージング規格化専門委員会：核医学イメージングのための小児への放射性医薬品投与に関する勧告。 *RADIOISOTOPES* 1988; 37: 627-632.
- 4) Lassmann M, Biassoni L, Monsieurs M, Franzius C, Jacobs F: EANM Dosimetry and Paediatrics Committees. The new EANM paediatric dosage card. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2007; 34: 796-798.
- 5) Treves ST, Parisi MT, Gelfand MJ: Pediatric radiopharmaceutical doses: new guidelines. *Radiology* 2011; 261: 347-349.
- 6) Gelfand MJ, Parisi MT, Treves ST: Pediatric Nuclear Medicine Dose Reduction W. Pediatric radiopharmaceutical administered doses: 2010 North American consensus guidelines. *J Nucl Med* 2011; 52: 318-322.
- 7) Treves ST, Davis RT, Fahey FH: Administered radiopharmaceutical doses in children: a survey of 13 pediatric hospitals in North America. *J Nucl Med* 2008; 49: 1024-1027.
- 8) 日本核医学会核医学イメージングガイドライン作成委員会：核医学診断ガイドライン 2008. 日本核医学会，東京，2008.

Summary

Survey Questionnaire of Pediatric Nuclear Medicine Examinations in 14 Japanese Institutes

Kensuke KARASAWA^{*1,*4}, Hiroshi KAMIYAMA^{*1,*4}, Teisuke HASHIMOTO^{*2,*4}
and Kiyoshi KOIZUMI^{*3,*4}

^{*1} *Department of Pediatrics and Child Health, Nihon University School of Medicine*

^{*2} *Department of Radiology, Dokkyo Medical University School of Medicine*

^{*3} *Department of Radiology, Tokyo Medical University Hachioji Medical Center*

^{*4} *Working Group of Japanese Society of Pediatric Nuclear Medicine*

Under the auspices of the Japanese Society of Pediatric Nuclear Medicine, an annual aggregate from a 5-year period, 2007 to 2011, of a survey questionnaire of pediatric nuclear medicine examinations performed at 14 institutes in the Kanto region was conducted. The subjects were pediatric patients 15 years old or younger. The survey questions included the determination method for administered dose of radiopharmaceuticals, the items examined and number of examinations. Of 14 institutes, 11 determined administered doses using the formula: $\text{adult dose} \times (\text{age} + 1) / (\text{age} + 7)$, while the remaining 3 used the adult dose as the maximum dose and used a conversion formula based on age and physical condition. In 2011, in a total of 3,884 pediatric patients, renoscintigraphy accounted for 41.5%, brain 14.4%, pulmonary

scintigraphy 12.9%, oncology 9.0%, hepatobiliary scintigraphy 6.3%, gastrointestinal scintigraphy 4.8%, musculoskeletal scintigraphy 4.3%, cardiology 2.5%, and other 4.9% of all nuclear medicine examinations. Pediatric nuclear medicine examinations in general hospitals accounted for only 3.4% of all examinations. A similar trend was observed in previous years.

Since pediatric patients have a longer reproductive term and higher sensitivity to radiation exposure, pediatric nuclear medicine requires a strict selection of appropriate studies and administered dose. These results show the current practice and would warrant further consideration.

Key words: Pediatric nuclear medicine, Radiopharmaceutical agents, Administered doses, Children.