

*Смирнов И.Е., Комарова Н.Л., Герасимова Н.П.***ВЕНТИЛЯЦИОННАЯ СЦИНТИГРАФИЯ ЛЕГКИХ У ДЕТЕЙ**

Научный центр здоровья детей, 119991, Москва, Ломоносовский просп., 2, стр. 1

Сцинтиграфическое исследование вентиляции легких у детей проводится с целью определения локализации, характера и распространенности обструктивных поражений бронхиального дерева. Принцип вентиляционной сцинтиграфии основан на регистрации излучения радиоактивных инертных газов или меченых тонкодисперсных аэрозолей после ингаляции их пациентом. Полученные сцинтиграммы отражают распределение радиофармпрепарата по воздухоносным путям бронхиального дерева и альвеолярным протокам, начиная от полости рта и заканчивая собственно альвеолами. Место абсорбции аэрозольных частиц напрямую зависит от их размера: большие частицы (2–5 мкм), обладая слабой проникающей способностью, откладываются центрально в задней части глотки и трахеи; частицы размером 0,5 мкм и менее задерживаются в бронхах. Проведенное внедрение метода в отделении радионуклидных исследований показало, что ингаляционная сцинтиграфия легких с помощью радиоактивных аэрозолей – объективный метод, позволяющий судить о состоянии воздухоносных путей, вентиляционных нарушениях и функциональной активности эпителия бронхов при различных формах патологии бронхолегочной системы у детей разного возраста.

Ключевые слова: дети; радионуклидные исследования; ингаляционная сцинтиграфия легких; радиоактивные аэрозоли; патология бронхолегочной системы.

*Smirnov I. E., Komarova N. L., Gerasimova N. P.***VENTILATION LUNG SCINTIGRAPHY IN CHILDREN**

Scientific Centre of Child Healthcare, 2, building 1, Lomonosov avenue, Moscow, Russian Federation, 119991

Scintigraphic examination of ventilation in children is carried out to determine the location, character and dissemination of obstructive lesions of the bronchial tree. The principle of ventilation scintigraphy is based on the recording of radiation of radioactive inert gases or labeled finely dispersed aerosols after inhalation them by the patient. Obtained scintigrams reflect the distribution of the radiopharmaceutical (RFP) along the airways of the bronchial tree and alveolar ducts, from the oral cavity up to the proper alveoli. The place of absorption of aerosol particles directly depends on their size: large particles (2-5 microns), having a weak penetrating power are deposited centrally in the back part of the throat and trachea; particles in size of 0.5 microns or less - are retained in bronchi. Implemented introduction of the method in the department of radionuclide studies has shown that inhalation lung scintigraphy with the use of radioactive aerosols is an objective method allowing to assess the condition of the airways, ventilation disorders and functional activity of bronchial epithelium in various forms of bronchopulmonary pathology in children of different ages.

Key words: children, radionuclide studies, inhalation lung scintigraphy, radioactive aerosols, the pathology of bronchopulmonary system.

Радионуклидные методы приобретают все большее значение для анализа функциональных нарушений, количественной и качественной их характеристики при различных формах патологии у детей. Некоторые авторы полагают, что если создать радиофармпрепараты (РФП) на основе метаболитов организма, то радионуклидная диагностика может составлять карты функциональных процессов и степени их изменений в организме больного по аналогии с картами метаболических путей. Тогда по фиксации РФП можно судить о жизнеспособности и функциональной активности ткани или органа, который подвергается изучению [1–3].

Широкий диапазон возможностей тестирования легких для оценки их функции позволяет улучшить диагностику, лечение, а также уточнить прогноз течения ряда заболеваний органов дыхания. На современном уровне развития пульмонологии вопросы рациональной тактики консервативного или оперативного лече-

ния больного решаются комплексно с учетом структурных и функциональных изменений в легких [4, 5]. Однако до настоящего времени еще недостаточно изучены сложные взаимосвязи и зависимости нарушений вентиляции и кровотока, вентиляционно-перфузионных диспропорций в легких, регионарной вентиляции при патологии. Выявление этих закономерностей становится возможным при использовании радионуклидного исследования функционального состояния легких, основанного на регистрации излучений радиоактивных веществ, проникающих в альвеолы через дыхательные пути (вентиляционная сцинтиграфия) или эмболизирующих капиллярное русло легких, при внутривенном введении (перфузионная сцинтиграфия) [3, 6].

Внедрение в клиническую практику меченых аэрозолей и радиоаэрозольных наборов с небулайзером делает это исследование доступным для изучения вентиляционных нарушений при патологии легких у детей, что определяет актуальность и своевременность данной технологии.

Указанная медицинская технология показана детям в возрасте от 5 до 18 лет с врожденными и приобретенными формами патологии бронхолегочной системы.

Для корреспонденции (correspondence to): Смирнов Иван Евгеньевич, доктор мед. наук, проф., зам. директора по научной работе НИИ педиатрии ФГБНУ НЦЗД, e-mail: smirnov@nczd.ru

Использование в клинических условиях этой диагностической технологии определяется наличием квалифицированных радиологов, ибо функциональную визуализацию на уровне метаболизма понять могут только специалисты, обязательны также 2–3-детекторная гамма-камера, соответствующая инфраструктура наборов РФП.

Для проведения вентиляционной сцинтиграфии легких используют группу РФП в форме аэрозолей. В качестве ингалируемых агентов приемлемыми являются: ксенон-133 (^{133}Xe), ксенон-127 (^{127}Xe), криптон-81т ($^{81\text{т}}\text{Kr}$), микросферы альбумина человеческой сыворотки крови и диэтилентриаминпентаацетилловая кислота (ДТПА), меченные технецием ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) [3].

Приготовление аэрозольной смеси осуществляется с помощью ультразвуковых смесителей, позволяющих при помощи системы многократной сепарации создавать аэрозольное облако высокой дисперсности. Пациент вдыхает приготовленный *ex tempore* радиоаэрозоль в течение 4–5 мин, после чего проводится сцинтиграфическое исследование по той же методике, что и для оценки перфузии легких.

Вентиляционная сцинтиграфия легких проводится непосредственно после ингалиции аэрозоля, используя аналог диэтилентриаминпентаацетата, меченного $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пентаатех («Диамед», Россия). Для приготовления радиоактивного аэрозоля в специальную емкость ингалятора помещали указанный РФП (в объеме 3 мл с удельной активностью 74–111 МБк/мл (555–740 МБк в 3 мл). Продолжительность ингалиции составляла не более 5–7 мин при обычном для пациента ритме и глубине дыхания и подаче ингалируемой смеси под давлением 0,5–0,7 МПа [3, 6].

Полипозиционную статическую сцинтиграфию легких проводили в планарном режиме непосредственно после окончания ингалиции аэрозоля. Регистрацию сцинтиграфических изображений проводили в заднепрямой (POST) – 1-я минута после ингалиции, затем – переднепрямой (ANT) и боковых (LL 90°, RL 90°) проекциях, после этого пациенту повторно выполняли статическую сцинтиграфию легких лишь в заднепрямой проекции через 10 и 30 мин после ингалиции РФП. Время экспозиции на каждую проекцию составило 2 мин [3, 6].

После завершения исследования проводится качественный анализ полученных сцинтиграфических изображений на предмет выявления ингалиционных дефектов накопления РФП, после чего используется математический анализ ингалиционных сцинтиграмм легких для расчета процента аккумуляции препарата каждым легким в отдельности, а также оценки перераспределения РФП по трем зонам для каждого легкого в процентах от общей легочной вентиляции.

Для определения степени выраженности нарушений перераспределения легочной вентиляции определяют апикально-базальный градиент вентиляции ($U/L_{(V)}$), отражающий соотношение радиоактивности в верхних и нижних отделах легких [3, 7].

Для оценки скорости альвеолярно-капиллярной проницаемости выделяли «зоны интереса» левого и правого легких в заднепрямой проекции с последую-

щим определением количества импульсов в указанных областях через 1, 10 и 30 мин после ингалиции радиоаэрозоля [3]. Счет импульсов от каждого легкого на 1-й минуте принимали за 100%, на 10-й и 30-й минутах после ингалиции – за X_1 и X_2 %.

Определение вентиляционно-перфузионного соотношения (V/Q) проводили путем деления процента аккумуляции ингалированного радиоаэрозоля каждым легким в отдельности на аналогичный показатель перфузируемого РФП [3, 8–10].

Ингалиционная сцинтиграфия легких с помощью радиоактивных аэрозолей – достаточно объективный метод, позволяющий судить о состоянии воздухоносных путей, вентиляционных нарушениях и функциональной активности эпителия бронхов. Следует иметь в виду, что разные отделы легких вентилируются и перфузируются неодинаково в зависимости от положения тела. При вертикальном положении тела нижние отделы легких вентилируются и перфузируются лучше, чем верхние.

В норме вентиляционные и перфузионные сцинтиграммы легких по своей форме и топографии соответствуют друг другу. В отличие от перфузионной сцинтиграммы на бронхосцинтиграммах выявляется наличие РФП в области гортани, трахеи, а иногда и желудка. Последнее обусловлено частичным проглатыванием препарата со слюной. Максимальное накопление аэрозоля наблюдается в центральных и нижних отделах легких, минимальное – в верхних. В передней проекции левое легочное поле на сцинтиграмме несколько сужено по сравнению с правым за счет прилегания сердца. При этом область расположения сердца и средостения выявляется как зона резкого уменьшения или полного отсутствия радиоактивности. В задней проекции этих различий не наблюдается. Сцинтиграмма в переднезадней проекции характеризует состояние вентиляции верхней и средней долей правого легкого, а слева – преимущественно верхней доли. Сцинтиграмма в заднепередней проекции имеет относительно большие вертикальные размеры за счет близкого прилегания нижних отделов легких к детектору гамма-камеры.

При патологии бронхолегочной системы можно обнаружить зоны различной степени гипо- или гиперфиксации аэрозоля локального или диффузного характера, которые обуславливают неоднородность сцинтиграфического изображения легких вплоть до дефекта накопления РФП. Для частичной непроходимости бронхов характерна гиперфиксация аэрозоля в местах обструкции. Дистальнее этого участка на периферии обычно выявляется зона гипофиксации препарата.

Необходимо подчеркнуть, что хронические обструктивные заболевания легких с сужением и нарушением архитектоники воздухоносных путей, как правило, приводят к появлению фокальной аккумуляции РФП в данных областях и указывает на анатомо-топографическое место локализации зоны стеноза или обструкции бронхиальной системы [5, 11].

Для решения определенных клинических задач (особенно при врожденных формах патологии брон-

холегочной системы) радиологи прибегают к комбинированному проведению вентиляционной и перфузионной сцинтиграфии легких.

Для анализа эффективности внешнего дыхания проводят исследование трех процессов: легочной вентиляции, легочной перфузии и диффузии газов через альвеолярно-капиллярную мембрану путем определения альвеолярно-капиллярной диффузии. При различных формах патологии легких в разной степени нарушаются звенья этой функциональной системы, поэтому целесообразно использовать методики, позволяющие определить интегральные результаты исследования, такие как вентиляционно-перфузионное отношение и альвеолярно-капиллярная проницаемость с РФП ^{99m}Tc -пентатех (аналог ДТПА), который является высокочувствительным, но неспецифичным маркером повреждения легочного эпителия [3, 5].

У больных с бронхиальной патологией отмечается низкое соотношение распределения РФП между легкими и воздухопроводящими путями, поэтому иногда следует увеличивать продолжительность ингаляции или выполнять ее двукратно после отдыха больного.

Проведенный ранее качественный анализ вентиляционно-перфузионных пульмоносцинтиграмм не выявил каких-либо отклонений легочной микроциркуляции и проходимости воздухопроводящей системы [3, 11, 12]. Основные показатели вентиляционно-перфузионной пульмоносцинтиграфии у условно здоровых курящих и некурящих лиц как для правого, так и для левого легкого и по зонам (верхняя, средняя и нижняя) легких – регионарные показатели, не различались и были сопоставимы между собой, вследствие чего был проведен расчет интегральных показателей для легких и по зонам в целом. Сопоставление интегральных показателей выявило различия только по одному параметру – альвеолярно-капиллярной проницаемости. У курящих данный показатель был достоверно ускорен как на 10-й, так и на 30-й минуте исследования. Была установлена корреляция между качественными результатами вентиляционной сцинтиграфии, на которой диагностические признаки нарушения альвеолярной вентиляции проявляются демонстративно, и результатами оценки функции внешнего дыхания (ФВД). При отрицательных данных ФВД о бронхиальной обструкции вентиляционная аэрозольная сцинтиграфия легких представляет диагностическую значимость [3, 11, 12].

Вместе с тем аэрозольная ингаляционная пульмоносцинтиграфия позволяет обнаружить у больных регионарные нарушения альвеолярной вентиляции, которые не всегда распознаются функциональным тестированием дыхательных потоков и объемов. Очевидно, что вентиляционная сцинтиграфия легких, проводимая до и после аэрозольного введения бронхолитиков, может быть информативным исследованием, позволяющим выяснить, насколько обратима обструкция дыхательных путей [3, 7, 12].

Для определения преобладания вентиляционной или микроциркуляторной дисфункции следует использовать систему вентиляционно-перфузионных индексов. При этом варианты синхронного и

асинхронного колебаний индексов регионарных вентиляционно-перфузионных отношений указывают на преобладание у больных нарушений вентиляции или перфузии. При этом скорость легочного клиренса ^{99m}Tc -пентатеха из правого и левого легких рекомендуется использовать как дополнительный критерий оценки изменений легочной ткани [8, 11].

Нужно учитывать, что компенсаторные возможности пораженного легкого при хронических формах патологии в случаях перфузионной и вентиляционной дисфункции могут быть ограничены. Как было показано ранее, компенсаторная синхронизация вентиляционно-перфузионного отношения при сниженных показателях регионарной перфузии и/или вентиляции отмечается у 45% обследованных детей [3, 11].

Таким образом, вентиляционная сцинтиграфия легких является безопасным неинвазивным методом, который позволяет объективно выявлять функциональные нарушения у больных с различными формами патологии легких. Простота выполнения, непродолжительность, отсутствие необходимости специальной подготовки и хорошая переносимость позволяют широко проводить это исследование у больных детей. Можно полагать также, что появление в последнее десятилетие новых методов визуализации путем создания гибридных систем с компьютерными технологиями, позволяющими совмещать изображения органов, полученные на различных диагностических аппаратах, увеличит возможности лучевой диагностики и повысит их эффективность при раннем обнаружении патологических процессов [13, 14].

ЛИТЕРАТУРА

1. Баранов А.А., Намазова-Баранова Л.С., Ильин А.Г., Булгакова В.А., Антонова Е.В., Смирнов И.Е. Научные исследования в педиатрии: направления, достижения, перспективы. *Российский педиатрический журнал*. 2013; 5: 4–14.
2. Смирнов И.Е., Хворостов И.Н., Комарова О.В. Кучеренко А.Г., Зоркин С.Н. Радионуклидные исследования структурно-функционального состояния почек при гидронефрозе у детей. *Российский педиатрический журнал*. 2013; 3: 7–13.
3. Кривоногов Н.Г., Завадовский КВ. Радионуклидная диагностика в пульмонологии. В кн.: *Национальное руководство по радионуклидной диагностике*. Т.2 / Под ред. Ю.Б. Лишманова, В.И. Чернова. Томск: STT; 2010: 163–89.
4. Cukic V., Begic A. Potential role of lung ventilation scintigraphy in the assessment of COPD. *Acta Inform. Med.* 2014; 22(3): 170–3.
5. Skarlovnik A., Hrastnik D., Fettich J., Grmek M. Lung scintigraphy in the diagnosis of pulmonary embolism: current methods and interpretation criteria in clinical practice. *Radiol. Oncol.* 2014; 48(2): 113–9.
6. Cherng S.C., Yang S.P., Wang Y.F., Jen T.K., Huang W.S., Lo A.R. Krypton-81m ventilation and technetium-99m macroaggregated albumin perfusion scintigraphy for detection of pulmonary embolism: the first experience in Taiwan. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi (Taipei)*. 2000; 63(12): 876–84.
7. Howarth D.M., Booker J.A., Voutnis D.D. Diagnosis of pulmonary embolus using ventilation/perfusion lung scintigraphy: more than 0.5 segment of ventilation/perfusion mismatch is sufficient. *Intern. Med. J.* 2006; 36(5): 281–8.
8. Roach P.J., Schembri G.P., Bailey D.L. V/Q scanning using SPECT and SPECT/CT. *J. Nucl. Med.* 2013; 54(9): 1588–96.

9. Gutte H., Mortensen J., Jensen C.V., von der Recke P., Petersen C.L., Kristoffersen U.S., Kjaer A. Comparison of V/Q SPECT and planar V/Q lung scintigraphy in diagnosing acute pulmonary embolism. *Nucl. Med. Commun.* 2010; 31(1): 82–6.
10. Sinzinger H., Rodrigues M., Kummer F. Ventilation/perfusion lung scintigraphy. *Multiple applications besides pulmonary embolism.* *Hell. J. Nucl. Med.* 2013; 16(1): 50–5.
11. Xie B.Q., Wang W., Zhang W.Q., Guo X.H., Yang M.F., Wang L. et al. Ventilation/perfusion scintigraphy in children with post-infectious bronchiolitis obliterans: a pilot study. *PLoS One.* 2014; 9(5): e98381. doi: 10.1371/journal.pone.0098381.
12. Лишманов Ю.Б., Кривоногов Н.Г., Агеева Т.С., Дубоделова А.В., Мишустина Е.Л. Основные показатели вентиляционно-перфузионной сцинтиграфии легких у здоровых лиц. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2007; 6: 34–9.
13. Цыб А.Ф., Крылов В.В., Давыдов Г.А., Гулидов И.А. Ядерная медицина в России: успехи, проблемы и перспективы. *Медицина: целевые проекты.* 2012; 11: 8–12.
14. Oehme L., Zöphel K., Golgor E., Andreeff M., Wunderlich G., Brogssitter C. et al. Quantitative analysis of regional lung ventilation and perfusion PET with (68)Ga-labelled tracers. *Nucl. Med. Commun.* 2014; 35(5): 501–10.
5. interperetation criteria in clinical practice. *Radiol. Oncol.* 2014; 48(2): 113–9.
6. Cherng S.C., Yang S.P., Wang Y.F., Jen T.K., Huang W.S., Lo A.R. Krypton-81m ventilation and technetium-99m macroaggregated albumin perfusion scintigraphy for detection of pulmonary embolism: the first experience in Taiwan. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi (Taipei).* 2000; 63(12): 876–84.
7. Howarth D.M., Booker J.A., Voutnis D.D. Diagnosis of pulmonary embolus using ventilation/perfusion lung scintigraphy: more than 0.5 segment of ventilation/perfusion mismatch is sufficient. *Intern. Med. J.* 2006; 36(5): 281–8.
8. Roach P.J., Schembri G.P., Bailey D.L. V/Q scanning using SPECT and SPECT/CT. *J. Nucl. Med.* 2013; 54(9): 1588–96.
9. Gutte H., Mortensen J., Jensen C.V., von der Recke P., Petersen C.L., Kristoffersen U.S., Kjaer A. Comparison of V/Q SPECT and planar V/Q lung scintigraphy in diagnosing acute pulmonary embolism. *Nucl. Med. Commun.* 2010; 31(1): 82–6.
10. Sinzinger H., Rodrigues M., Kummer F. Ventilation/perfusion lung scintigraphy. *Multiple applications besides pulmonary embolism.* *Hell. J. Nucl. Med.* 2013; 16(1): 50–5.
11. Xie B.Q., Wang W., Zhang W.Q., Guo X.H., Yang M.F., Wang L. et al. Ventilation/perfusion scintigraphy in children with post-infectious bronchiolitis obliterans: a pilot study. *PLoS One.* 2014; 9(5): e98381. doi: 10.1371/journal.pone.0098381.
12. Lishmanov Yu.B., Krivonogov N.G., Ageeva T.S., Dubodelova A.V., Mishustina E.L. Main indicators of ventilation-perfusion scintigraphy of the lungs in healthy persons. *Vestnik rentgenologii i radiologii.* 2007; 6: 34–9. (in Russian)
13. Tsib A.F., Krylov V.V., Davydov G.A., Gulidov I.A. Nuclear medicine in Russia: achievements, problems and prospects. *Meditsina: tselevye projekty.* 2012; 11: 8–12. (in Russian)
14. Oehme L., Zöphel K., Golgor E., Andreeff M., Wunderlich G., Brogssitter C. et al. Quantitative analysis of regional lung ventilation and perfusion PET with (68)Ga-labelled tracers. *Nucl. Med. Commun.* 2014; 35(5): Поступила 11.09.14

REFERENCES

Received 11.09.14

Сведения об авторах:

Комарова Надежда Львовна, врач-радиолог лаб. патофизиологии с блоком радионуклидных исследований НИИ педиатрии ФГБНУ НЦЗД; **Герасимова Надежда Петровна**, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. лаб. патофизиологии с блоком радионуклидных исследований НИИ педиатрии ФГБНУ НЦЗД.