



DOI: 10.24835/1607-0763-2018-1-47-51

## Двухэнергетическая КТ с инертным газом ксеноном у пациентов с патологией легких. Первые данные

Карпов О.Э., Броннов О.Ю.\* , Китаев В.М., Ветшев П.С., Пихута Д.А., Филиппов Ю.А.

ФГБУ “Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва, Россия

## Dual-Energy CT with Xenon in Patients with Lung Pathology. First Data

Karpov O.E., Bronov O.Yu.\* , Kitaev V.M., Vetshev P.S., Pikhuta D.A., Filippov Yu.A.

Pirogov's National Medical Surgical Center, Moscow, Russia

Возможность прогнозирования вентиляционной функции легких перед и после оперативного вмешательства является достаточно острой проблемой. Традиционные методы диагностики имеют известные ограничения. В связи с этим было проведено исследование возможности двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ) с использованием ксенона для оценки вентиляционной функции легких.

**Цель исследования:** отработать методику исследования больных с легочной патологией, оценить возможность обоснования объема оперативного вмешательства и прогнозирования послеоперационной функции легких на основе полученных гибридных изображений.

**Материал и методы.** Для исследования были отобраны 12 пациентов с различной легочной патологией (хроническая обструктивная болезнь легких – 5, новообразования легких – 4, бронхоэктатическая болезнь – 3).

**Результаты.** Первые данные позволили предположить, что применение ДЭКТ с ксеноном более точно отражает функциональное состояние легочной ткани в сравнении с иными применяемыми методами.

**Заключение.** Полученные данные дают предпосылки для планирования оперативного вмешательства и введения метода в современные протоколы предоперационной подготовки.

**Ключевые слова:** двухэнергетическая компьютерная томография, ДЭКТ, ксенон, патология легких.

**Ссылка для цитирования:** Карпов О.Э., Броннов О.Ю., Китаев В.М., Ветшев П.С., Пихута Д.А., Филиппов Ю.А. Двухэнергетическая КТ с инертным газом ксеноном у пациентов с патологией легких. Первые данные. *Медицинская визуализация*. 2018; 22 (1): 47–51. DOI: 10.24835/1607-0763-2018-1-47-51.

Routine diagnostic methods have limitations in terms of predicting the ventilation function of the lungs before and after surgery. It was decided to investigate the possibilities of dual-energy CT (DECT) using xenon in assessment of lung ventilation function.

**Objective:** to master the methods of examination of patients with pulmonary pathology, evaluate the possibility of justifying the volume of operative intervention and prediction of postoperative lung function based on the hybrid images.

**Materials and methods.** For the study, 12 patients with different pulmonary pathologies were selected (COPD – 5, lung cancer – 4, bronchiectasis – 3).

**Results.** It was found that the use of DECT with xenon reflects the functional state of lung tissue.

**Conclusions.** DECT with xenon have potential for planning surgical intervention and introducing the method into modern protocols of preoperative preparation.

**Key words:** dual energy computed tomography, DECT, xenon, lung pathology.

**Recommended citation:** Karpov O.E., Bronov O.Yu., Kitaev V.M., Vetshev P.S., Pikhuta D.A., Filippov Yu.A. Dual-Energy CT with Xenon in Patients with Lung Pathology. First Data. *Medical Visualization*. 2018; 22 (1): 47–51. DOI: 10.24835/1607-0763-2018-1-47-51.

\*\*\*

### Введение

С целью выявления патологических изменений легких рутинно применяют несколько методов, цель которых, в одном случае, показать структурные нарушения паренхимы, в другом – указать функциональную составляющую патологического процесса. Наиболее простой и доступной методи-



кой является спирография [1]. Однако этот метод показывает лишь имеющееся нарушение вентиляции легких в целом и не выявляет конкретный отдел легких с патологическими изменениями и их характер, вид обструкции. В то же время при использовании компьютерной томографии (КТ) можно оценить структурное поражение, но без отражения функционального характера выявленных нарушений. С другой стороны, существует более сложный метод – пневмосцинтиграфия, который способен выявить не только наличие нарушений бронхиальной проходимости и оценить функцию легочной ткани, но также указать на расположение уровня легочной обструкции [2]. Недостатки указанного метода заключаются в отсутствии точной визуализации пораженного участка и использовании достаточно “громоздких” молекул радиофармпрепарата, что ограничивает его тканевую проницаемость. Вышеописанные методы ввиду своего несовершенства не могут с необходимой достоверностью использоваться с целью точного прогнозирования объема функциональных резервов в раннем послеоперационном периоде.

Прогресс в технологии производства инертных газов и получение их в достаточных объемах создали реальные предпосылки для применения ксенона в медицинской практике. Газ ксенон нетоксичен и нерадиоактивен. Благодаря своей инертности ксенон занимает весь легочный объем, не изменяется в организме и выводится через легкие в течение нескольких минут [3]. При двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ) анализ

поглощения не одного, а двух спектров рентгеновского излучения позволяет получить дополнительную информацию о химическом составе тканей, как бы разделяя их по плотности на отдельных сканах. Зная эти особенности ксенона и ДЭКТ, были предприняты попытки объединить их с целью создания нового метода гибридной диагностики заболеваний легких как с морфологической, так и с функциональной точки зрения [4–9]. Метод перспективный, так как по своей сути объединяет в себе возможности пневмосцинтиграфии и рутинной КТ, позволяет использовать как метод предоперационной диагностики с прогнозированием отдаленных последствий.

### Цель исследования

1. Отработать методику исследования больных с легочной патологией. 2. Оценить возможность обоснования объема оперативного вмешательства и прогнозирования послеоперационной функции легких на основе полученных гибридных изображений.

### Материал и методы

Критериями включения в исследования были: пациенты с наличием установленного диагноза легочной патологии хирургического профиля, в настоящее время они включали в себя хроническую обструктивную болезнь легких (ХОБЛ), периферические образования, бронхоэктатическую болезнь. За период июль 2016 г. – май 2017 г. исследования выполняли 12 пациентам, из них

---

**Для корреспонденции\*:** Броннов Олег Юрьевич – 105203 Москва, Нижняя Первомайская, д. 70. Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова. Тел.: +7-499-464-42-54, +7-916-024-19-34. E-mail: bronovOU@pirogov-center.ru

**Карпов Олег Эдуардович** – член-корр. РАН, доктор мед. наук, профессор, генеральный директор ФГБУ “Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова” МЗ РФ, Москва;

**Броннов Олег Юрьевич** – канд. мед. наук, доцент, заведующий отделением рентгенологии ФГБУ “Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова” МЗ РФ, Москва.

**Китаев Вячеслав Михайлович** – доктор мед. наук, профессор, главный специалист по лучевой диагностике ФГБУ “Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова” МЗ РФ, Москва.

**Ветшев Петр Сергеевич** – доктор мед. наук, профессор, советник по клинической и научной работе ФГБУ “Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова” МЗ РФ, Москва.

**Пихута Дмитрий Александрович** – канд. мед. наук, врач-рентгенолог ФГБУ “Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова” МЗ РФ, Москва.

**Филиппов Юрий Андреевич** – ординатор кафедры рентгенологии с курсом клинической радиологии ИУВ ФГБУ “Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова” МЗ РФ, Москва.

**Contact\*:** Oleg Yu. Bronov – 105203 Nizhnyaya Pervomaiskaya, 70, Moscow. Pirogov’s National Medical Surgical Center. Phone: +7-499-464-42-54, +7-916-024-19-34. E-mail: bronovOU@pirogov-center.ru

**Oleg E. Karpov** – corresponding member of RAS, professor, doct. of med. sci., Director of Pirogov’s National Medical Surgical Center, Moscow.

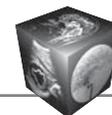
**Oleg Yu. Bronov** – cand. of med. sci., head of the radiology department, Pirogov’s National Medical Surgical Center, Moscow.

**Vyacheslav M. Kitaev** – doct. of med. sci., professor, Chief specialist in radiology of Pirogov’s National Medical Surgical Center, Moscow.

**Petr S. Vetshev** – doct. of med. sci., professor, vice director of Pirogov’s National Medical Surgical Center, Moscow.

**Dmitriy A. Pikhuta** – cand. of med. sci., radiologist of radiology department of Pirogov’s National Medical Surgical Center, Moscow.

**Yury A. Filippov** – resident of radiology department of Pirogov’s National Medical Surgical Center, Moscow.



с ХОБЛ – 5 пациентов, с периферическими образованиями легких – 4 и с бронхоэктатической болезнью – 3.

Все КТ-сканирования проводились на аппарате Siemens Somatom Definition Flash: при проведении обследования больным выполнялось стандартное КТ-сканирование органов грудной клетки “на вдохе”, после чего происходила ингаляция инертного газа ксенона посредством аппарата искусственной вентиляции легких до целевых показателей концентрации 25–30% в выдыхаемом воздухе. Для оценки концентрации ксенона использовались газоанализаторы. Затем проводилось повторное ДЭКТ-сканирование, которое давало возможность проведения спектральной оценки распределения ксенона в легочной ткани с учетом ее морфологического состояния. Впоследствии две полученные серии сканов (до и после ингаляции ксенона) обрабатывались на рабочей станции Leonardo с использованием приложения для оценки двухэнергетического сканирования. При этом выполнялось построение гибридного изображения: на нативный КТ-скан накладывался спектральный КТ-скан с ксеноном с возможностью последующей оценки распределения ксенона по двум направлениям – количественно и качественно. Для этого можно было использовать изменение контрастности изображения (качественная оценка) и установку указателя RoI (Region of Interest, зона интереса – количественная оценка, рис. 1). На основе этих данных проводилось определение легочных резервов у данных пациентов.

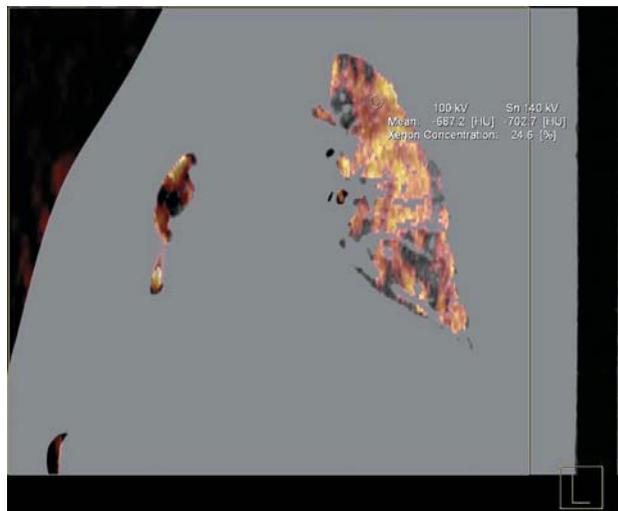
По результатам данного исследования давалась прогностическая оценка в плане оперативного вмешательства, а также прогнозировалась вентиляционная функция легких в послеоперационном периоде.

## Результаты

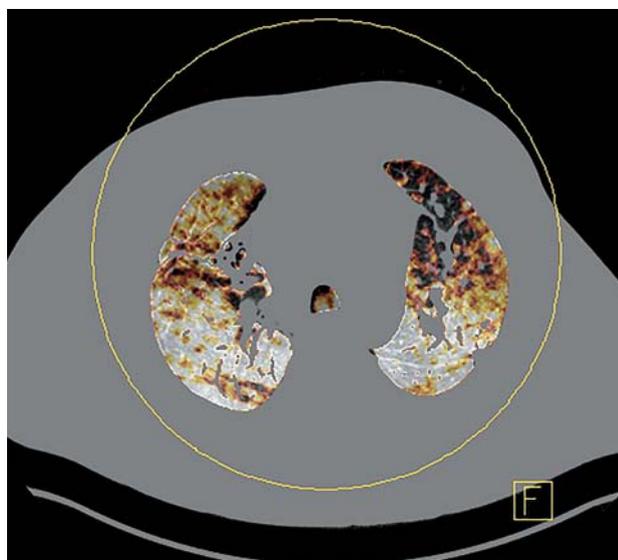
В ходе выполнения исследования оценивали распределение газа ксенона по легочной паренхиме. У пациентов с ХОБЛ кроме стандартных структурных изменений (участки эмфиземы, “воздушные ловушки”, утолщение стенок бронхов) также выявлялись и функциональные изменения в виде зон снижения или повышения накопления ксенона (рис. 2).

У пациентов с периферическими новообразованиями легких на “ксеноновых картах распределения” перифокально определялись участки снижения распространения ксенона, тогда как в остальных отделах легких – вентиляционная функция не нарушена (рис. 3).

У пациентов с бронхоэктатической болезнью распределение газа ксенона было в крайней сте-

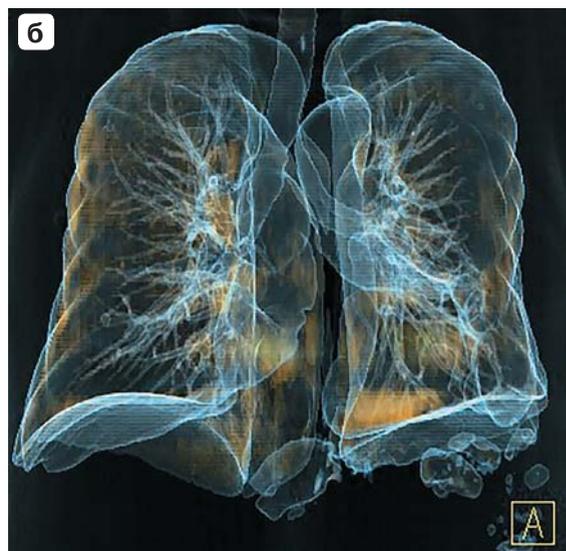
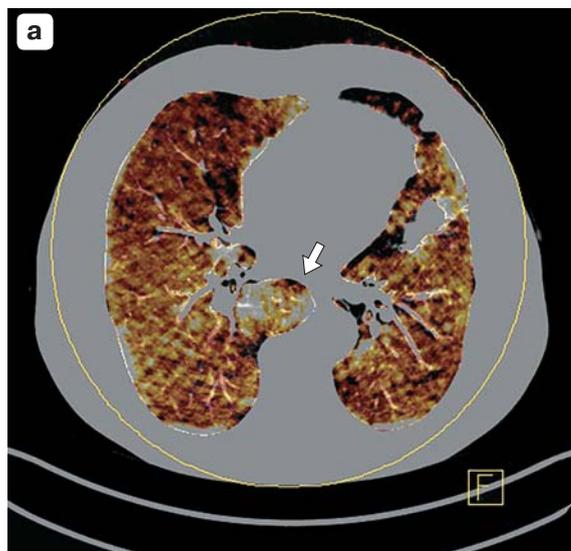
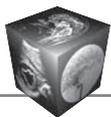


**Рис. 1.** ДЭКТ гибридное изображение. “Ксеноновая карта”, сагиттальная проекция. Установленное RoI с показателем концентрации ксенона (xenon concentration) в легочной паренхиме.

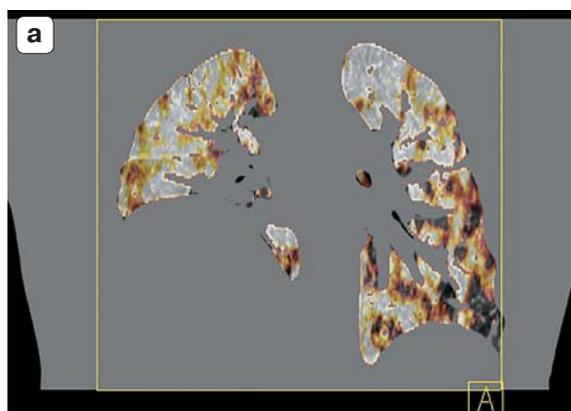


**Рис. 2.** ДЭКТ гибридное изображение. “Ксеноновая карта”, аксиальная проекция. Отмечаются зоны неравномерного снижения (в зависимости от окраски) распределения ксенона.

пени неравномерным, при наличии больших бронхоэктазов в этих областях газ практически не распределялся. В результате обследования было решено отказаться от оперативного вмешательства у одного из пациентов (рис. 4). Первоначально планировали выполнение атипичной резекции нижней доли левого легкого, однако после проведенного исследования и построения гибридного изображения было установлено существенное снижение показателя дыхательного резерва после предполагаемой атипичной резекции.



**Рис. 3.** ДЭКТ-изображения. а – гибридное изображение, “ксеноновая карта”, аксиальная проекция. Стрелкой указано периферическое новообразование. Перифокально зона снижения распределения ксенона; б – трехмерное изображение распределения газа ксенона в паренхиме легких.

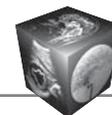


**Рис. 4.** ДЭКТ-изображения. а – гибридное изображение, “ксеноновая карта”, аксиальная проекция. Отмечаются зоны неравномерного снижения (коричневого и черного цветов) распределения ксенона в нижней доле левого легкого, отсутствие распределения ксенона в нижней доле правого легкого; б – трехмерное изображение распределения газа ксенона в паренхиме легких.

## Обсуждение

В настоящее время в связи с продолжающимся ростом заболеваний легких, в частности хирургического профиля, весьма актуальна проблема оценки распространенности поражения легочной паренхимы и ее связи с функциональным резервом легочной паренхимы. Традиционные методы диагностики имеют ограничения, большая часть из них призвана оценить лишь функциональные расстройства либо структурные изменения легочной паренхимы. В связи с этим чрезвычайно востребовано клиницистами создание инновационной технологии оценки, совмещающей функциональные и структурные исследования. Одним из перспективных методов можно считать ДЭКТ с использованием инертного газа ксенона. Метод

позволяет получать гибридные изображения, выявляя как структурные, так и функциональные нарушения. Полученные данные на небольшой когорте пациентов позволили помочь хирургам в определении тактики хирургического лечения, а в одном из случаев у пациента с бронхоэктатической болезнью аргументированно отказаться от проведения оперативного вмешательства, так как планируемый объем оперативного вмешательства существенно снижал вентиляционную функцию легких. Отсутствие во многих стационарах, а также в поликлиническом звене двухэнергетических компьютерных томографов и специальных рабочих станций для оценки распределения ксенона накладывает ограничение на распространение данной методики на территории Российской



Федерации. В сравнении с подобными исследованиями, описанными в зарубежной литературе, получены похожие результаты, на основе которых можно говорить о рациональности и целесообразности использования данного метода диагностики [4–6]. В связи с этим при должном заинтересованном внимании это инновационное диагностическое исследование может по праву считаться весьма перспективным. Проведение дальнейших исследований и накопление клинического материала, призванных показать его клиническую эффективность, позволит включить метод в число уточняющих в ходе предоперационной подготовки пациентов с патологией легких.

### Заключение

В Национальном медико-хирургическом центре им. Н.И. Пирогова впервые в России выполнено изучение ДЭКТ с инертным газом ксеноном. Несмотря на небольшое число пациентов, полученные результаты представляются обнадеживающими. Возможность гибридной оценки структурных изменений паренхимы и оценка вентиляционного резерва позволяют более точно определить показания к оперативным вмешательствам, спрогнозировать вентиляционную функцию остаточной паренхимы легких.

### Список литературы

1. Milne S., King G.G. Advanced imaging in COPD: insights into pulmonary pathophysiology. *J. Thorac Dis.* 2014; 6 (11): 1570–1585. DOI:10.3978/j.issn.2072-1439.2014.11.30.
2. Zubovskiy G.A., Chernogortsev A.V., Nazarov A.A. Пневмосцинтиграфия: перспективы применения в клинической практике. *Вестник РНЦПР.* 2004; 3: 33–36.
3. Буров Н.Е., Корниенко Л., Арзамасцев Е., Коротич А., Голубых В. Изучение токсичности ксенона в условиях субхронического эксперимента. *Анестезиология и реаниматология.* 1998; 3: 58–60.
4. Park E.A., Goo J.M., Park S.J. Chronic obstructive pulmonary disease: quantitative and visual ventilation pattern analysis at xenon ventilation CT performed by using a dual-energy technique. *Radiol. J.* 2010; 256 (3): 985–997. DOI: 10.1148/radiol.10091502.
5. Honda N., Osada H., Watanabe W., Nakayama M., Nishimura K., Krauss B., Otani K. Imaging of ventilation with dual-energy CT during breath hold after single vital-capacity inspiration of stable xenon. *Radiology.* 2012; 262 (1): 262–268. DOI: 10.1148/radiol.11110569.
6. Kyoyama H., Hirata Y., Kikuchi S. Evaluation of pulmonary function using singlebreath-hold dual-energy computed tomography with xenon. *Medicine (Baltimore).* 2017; 96 (3): 21–26. DOI: 10.1097/MD.0000000000005937.
7. Lee S.M., Seo J.B., Hwang H.J., Kim N., Oh S.Y., Lee J.S., Lee S.W., Oh Y.-M., Kim T.H. Assessment of regional emphysema, air-trapping and Xenon-ventilation using

- dual-energy computed tomography in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Eur. Radiol.* 2017; 27 (7): 2818–2827. DOI: 10.1007/s00330-016-4657-z.
8. Lee S.W., Lee S.M., Shin S.Y., Park T.S., Oh S.Y., Kim N., Hong Y., Lee J.S., Oh Y.-M., Lee S.-D., Seo J.B., Improvement in Ventilation-Perfusion Mismatch after Bronchoscopic Lung Volume Reduction. *Radiology.* 2017; 285 (1): 250–260. DOI: 10.1148/radiol.2017162148.
9. Ohno Y., Yoshikawa T., Takenaka D., Fujisawa Y., Sugihara N., Kishida Y., Seki S., Koyama H., Sugimura K. Xenon-enhanced CT using subtraction CT: Basic and preliminaryclinical studies for comparison of its efficacy with that of dual-energy CT and ventilation SPECT/CT to assess regional ventilation and pulmonary functional loss in smokers. *Eur. J. Radiol.* 2017; 86: 41–51. DOI: 10.1016/j.ejrad.2016.10.035.

### References

1. Milne S., King G.G. Advanced imaging in COPD: insights into pulmonary pathophysiology. *J. Thorac Dis.* 2014; 6 (11): 1570–1585. DOI:10.3978/j.issn.2072-1439.2014.11.30.
2. Zubovskiy G.A., Chernogortsev A.V., Nazarov A.A., Pneumocystography: prospects of application in clinical practice. *Vestnik RNCRR.* 2004; 3: 33–36. (In Russian)
3. Burov N.E., Kornienko L., Arzamastsev E., Korotich A., Golubyh V. The study of xenon toxicity in a subchronic experiment. *Anesteziologiya i reanimatologiya.* 1998; 3: 58–60. (In Russian)
4. Park E.A., Goo J.M., Park S.J. Chronic obstructive pulmonary disease: quantitative and visual ventilation pattern analysis at xenon ventilation CT performed by using a dual-energy technique. *Radiol. J.* 2010; 256 (3): 985–997. DOI: 10.1148/radiol.10091502.
5. Honda N., Osada H., Watanabe W., Nakayama M., Nishimura K., Krauss B., Otani K. Imaging of ventilation with dual-energy CT during breath hold after single vital-capacity inspiration of stable xenon. *Radiology.* 2012; 262 (1): 262–268. DOI: 10.1148/radiol.11110569.
6. Kyoyama H., Hirata Y., Kikuchi S. Evaluation of pulmonary function using singlebreath-hold dual-energy computed tomography with xenon. *Medicine (Baltimore).* 2017; 96 (3): 21–26. DOI: 10.1097/MD.0000000000005937.
7. Lee S.M., Seo J.B., Hwang H.J., Kim N., Oh S.Y., Lee J.S., Lee S.W., Oh Y.-M., Kim T.H. Assessment of regional emphysema, air-trapping and Xenon-ventilation using dual-energy computed tomography in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Eur. Radiol.* 2017; 27 (7): 2818–2827. DOI: 10.1007/s00330-016-4657-z.
8. Lee S.W., Lee S.M., Shin S.Y., Park T.S., Oh S.Y., Kim N., Hong Y., Lee J.S., Oh Y.-M., Lee S.-D., Seo J.B., Improvement in Ventilation-Perfusion Mismatch after Bronchoscopic Lung Volume Reduction. *Radiology.* 2017; 285 (1): 250–260. DOI: 10.1148/radiol.2017162148.
9. Ohno Y., Yoshikawa T., Takenaka D., Fujisawa Y., Sugihara N., Kishida Y., Seki S., Koyama H., Sugimura K. Xenon-enhanced CT using subtraction CT: Basic and preliminaryclinical studies for comparison of its efficacy with that of dual-energy CT and ventilation SPECT/CT to assess regional ventilation and pulmonary functional loss in smokers. *Eur. J. Radiol.* 2017; 86: 41–51. DOI: 10.1016/j.ejrad.2016.10.035.