

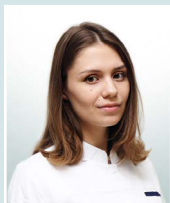
Doi: 10.52341/20738080\_2024\_130\_3\_69

## ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ РЕНТГЕНОГРАФИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ: ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

**ВАСИЛЬЕВ А. Ю.,**

член-корреспондент РАН,

д.м.н., профессор, генеральный директор ООО «Центральный научно-исследовательский институт лучевой диагностики», профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, лауреат премии МВД России, премий Правительства Российской Федерации в области науки и техники, в области образования, заслуженный деятель науки Российской Федерации, полковник вн. службы в отставке, [auv62@mail.ru](mailto:auv62@mail.ru)

**НАУМОВА Д. И.,**

врач-рентгенолог отделе-

ния лучевой диагностики филиала «Онкологический центр № 1» ГБУЗ г. Москвы «Городская клиническая больница имени С.С. Юдина Департамента здравоохранения города Москвы», [daryanaumova71@gmail.com](mailto:daryanaumova71@gmail.com)

**НЕЧАЕВ В. А.,**

к.м.н., заведующий цен-

тром комплексной диагностики филиала «Онкологический центр № 1» ГБУЗ г. Москвы «Городская клиническая больница имени С.С. Юдина Департамента здравоохранения города Москвы», [dfkz2005@gmail.com](mailto:dfkz2005@gmail.com)

**Работа посвящена демонстрации возможностей двухэнергетической рентгенографии в определении рентгенологических симптомов, наиболее часто встречающихся при патологии органов и костных структур грудной клетки.**

**Ключевые слова:** двухэнергетическая рентгенография, цифровая рентгенография, мультисрезовая компьютерная томография, рентгенография органов грудной клетки.

### DUAL-ENERGY RADIOGRAPHY IN THE DIAGNOSTICS OF THE THORACIC DISEASES: PROSPECTIVE STUDY

Vasilyev A., Naumova D., Nechayev V.

The article demonstrates capabilities of the dual-energy radiography to identify most frequent radiological symptoms of the pathology of thoracic organs and bone structures.

**Key words:** dual-energy radiography, digital radiography, multi-slice computed tomography, radiology of thoracic organs.

#### Введение

По данным Росстата за 2021 г., в структуре общей заболеваемости населения Российской Федерации на 1-м месте находятся болезни органов дыхания, удельный вес которых составляет 27%. Наиболее известной и распространенной методикой лучевого обследования органов грудной клетки до настоящего времени остается стандартная рентгенография, однако интерпретация полученных данных зачастую представляет одну из самых сложных диагностических задач, что прежде всего связано с наличием эффекта суммации от органов и тканей исследуемой области. С целью минимизации отрицательных качеств стандартной рентгенографии была предложена двухэнергетическая методика, которая позволяет дополнительно получить две рентгенограммы, выполненных при высоком и низком анодном напряжении и построении на их основе реконструированных изображений тканей, имеющих разные коэффициенты линейного ослабления [1].

Еще в начале 1990-х гг. были проведены первые клинические испытания двухэнергетической рентгенографии (ДЭР), во время которых авторы отмечали высокий диагностический потенциал новой методики, однако неудовлетворительное качество реконструированных изображений и высо-

кий уровень лучевой нагрузки несколько десятилетий ограничивали широкое применение ДЭР. Развитие цифровых технологий, создание плоскопанельных детекторов нового класса и совершенствование алгоритмов постпроцессорной обработки позволили устранить ранее существующие недостатки, препятствующие ее внедрению в клиническую практику [2].

По данным ряда работ эффективность ДЭР в диагностике различных заболеваний легких превосходит стандартную цифровую рентгенографию (ЦР) при сопоставимой дозовой нагрузке, тем не менее двухэнергетическая методика пока не нашла свое место в алгоритме лучевого обследования органов грудной клетки [3–5].

### Цель исследования

Оценить возможности методики ДЭР в диагностике заболеваний и повреждений органов грудной клетки.

### Материалы и методы

Дизайн исследования одобрен межвузовским Комитетом по этике ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Минздрава России (протокол № 11–23 от 16.11.2023; в н.в. – ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России). В работу включались пациенты старше 18 лет, подписавшие добровольное информированное согласие, с выявленными изменениями при ЦР органов грудной клетки. В исследование не включались больные в тяжелом состоянии, требующие проведения неотложных мероприятий, беременные и кормящие грудью.

На базе многопрофильного стационара проспективно обследовано 50 пациентов (27 мужчин и 23 женщины, медианный возраст – 64 года, Q1–Q3: 50–72 лет). Всем больным по клиническим показаниям выполнялась ДЭР органов грудной клетки в прямой проекции на телеуправляемом рентгеновском аппарате «ТелеКоРД-МТ-Плюс» (АО «МТЛ», Россия). При проведении ДЭР использовались следующие физико-технические параметры: напряжение на анодной трубке 60/120 кВ – для астеников и нормостеников и 70/130 кВ – для гиперстеников, фокусное расстояние – 180 см с наличием дополнительного фильтрующего слоя из 1 мм алюминия и 0,2 мм меди. После проведения исследования анализ выполнялся в 2 этапа: на 1-м этапе – интерпретация

только стандартных рентгенограмм, на 2-м – в совокупности с реконструированными изображениями. В качестве референтного метода выступала компьютерная томография (КТ), которая проводилась (в среднем на третьи сутки после выполнения ЦР и ДЭР) на аппарате Aquilion Prime 160 (Toshiba, Япония).

Статистическая обработка результатов проводилась с помощью программного обеспечения STATISTICA ver. 12 (StatSoft, Inc., USA). Оценка нормальности распределения количественных данных осуществлялась с применением критерия Шапиро–Уилка. В связи с тем, что распределение количественных показателей не подчинялось закону нормального распределения, использовались непараметрические характеристики: медиана, нижний и верхний квартили (Q1–Q3). Номинальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. Для ДЭР и стандартной рентгенографии определялись показатели диагностической эффективности: чувствительность, специфичность, точность, прогностическая ценность отрицательных и положительных результатов. Для всех частот рассчитывался 95%-й доверительный интервал (ДИ). В случае отсутствия пересечения ДИ различия показателей признавались статистически значимыми ( $p < 0,05$ ).

### Результаты

Получено и проанализировано 50 стандартных рентгенограмм органов грудной клетки и 100 реконструированных изображений. Все пациенты по результатам лучевого обследования были разделены на 2 группы:

*1-я группа* – с выявленными изменениями в легких ( $n=30$ , 60,0%);

*2-я группа* – с выявленными изменениями в костных структурах грудной клетки ( $n=20$ , 40,0%).

Характеристика групп пациентов представлена в табл. 1 на с. 71.

По данным ЦР, симптом ограниченного затемнения был выявлен у 12 больных. При анализе реконструированных изображений указанный рентгенологический симптом был подтвержден у 11 (91,7%) чел., при этом в 7 (58,3%) случаях удалось уточнить структуру затемнения в виде визуализации полостей распада на фоне участков уплотнения ( $n=1$ , 18,3%), симптома «воздушной бронхографии» ( $n=3$ , 25,0%) и симптома «ампутации бронха»

Таблица 1

## Клиническая характеристика групп пациентов

Подгруппы	Кол-во пациентов		Выявленный рентгенологический симптом	Кол-во пациентов		Пол		Возраст
	Абс.	%		Абс.	%	м	ж	
Легочная патология	30	60	Ограниченное затемнение	12	24	19	11	Me-63 Q1-Q3: 47-68
			Очаги	11	22			
			Кольцевидная тень	7	14			
Костная патология	20	40	Переломы ребер	9	18	8	12	Me-66,5 Q1-Q3: 56-73
			Литические очаги деструкции	11	22			

( $n=1, 18,3\%$ ) (рис. 1). В одном случае за симптом затемнения на рентгенограмме были приняты консолидированные переломы боковых отрезков ребер. КТ позволила в 4 (36,4%) случаях дополнительно определить участки уплотнения легочной ткани по типу «матового стекла», которые не визуализировались на стандартных и реконструированных изображениях. По данным ЦР, у 11 чел. было выявлено 18 очаговых образований, разме-

ры которых находились в следующих диапазонах: от 8 до 10 мм ( $n=4, 22,2\%$ ), 10–20 мм ( $n=9,5\%$ ) и более 20 мм ( $n=5, 27,8\%$ ). Применение ДЭР позволило подтвердить наличие очагов в 16 (88,9%) случаях. В 2 (11,1%) случаях за очаговые изменения были приняты образование ребра, наиболее вероятно – остеохондрома ( $n=1, 5,6\%$ ) и обызвествление первого ребра в месте перехода его в хрящевую часть ( $n=1, 5,6\%$ ) (рис. 2).

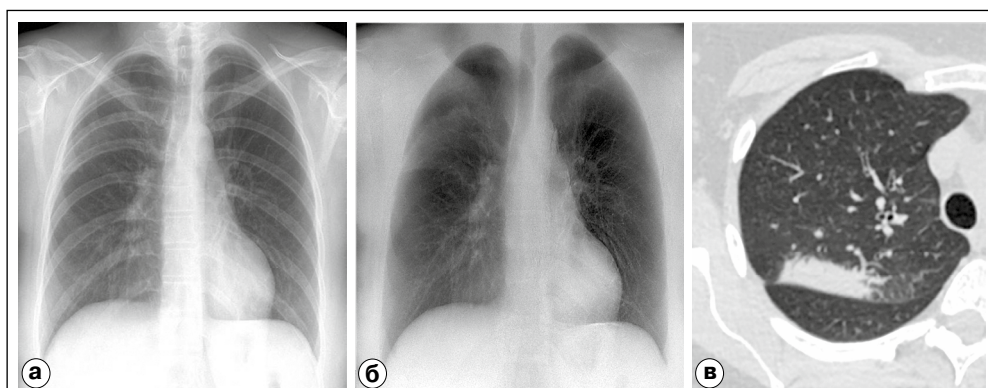


Рис. 1: а) стандартная рентгенограмма органов грудной клетки, б) реконструированное изображение мягких тканей (РИМТ), в) компьютерная томограмма (легочное окно). На РИМТ в верхней доле правого лёгкого четко определяется участок затемнения, границы которого трудноразличимы на стандартной рентгенограмме.

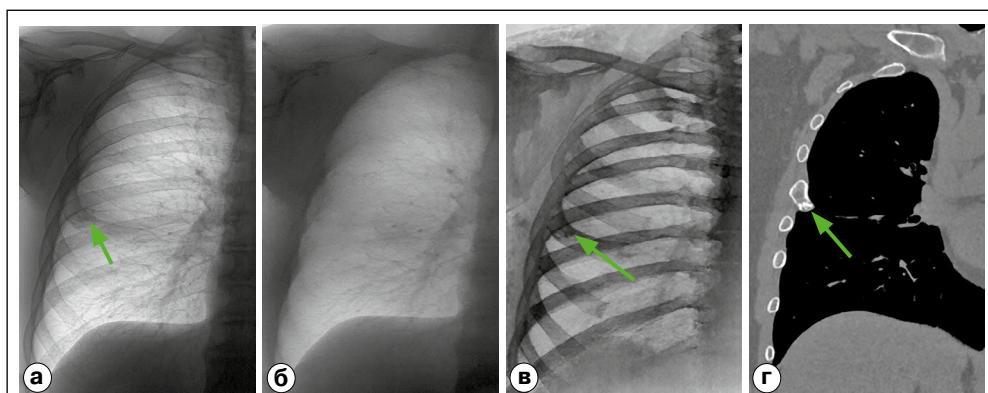


Рис. 2: а) стандартная рентгенограмма, б) РИМТ, в) реконструированное изображение костной ткани (РИКТ), г) компьютерная томограмма (костное окно). На стандартной рентгенограмме в 4-м межреберье справа определяется округлая тень, субстратом которой является образование переднего отрезка 5-го ребра, наиболее вероятно – остеохондрома (стрелки). Данное образование не определяется на мягкотканном изображении, при этом отчетливо прослеживается при выполнении костного режима.

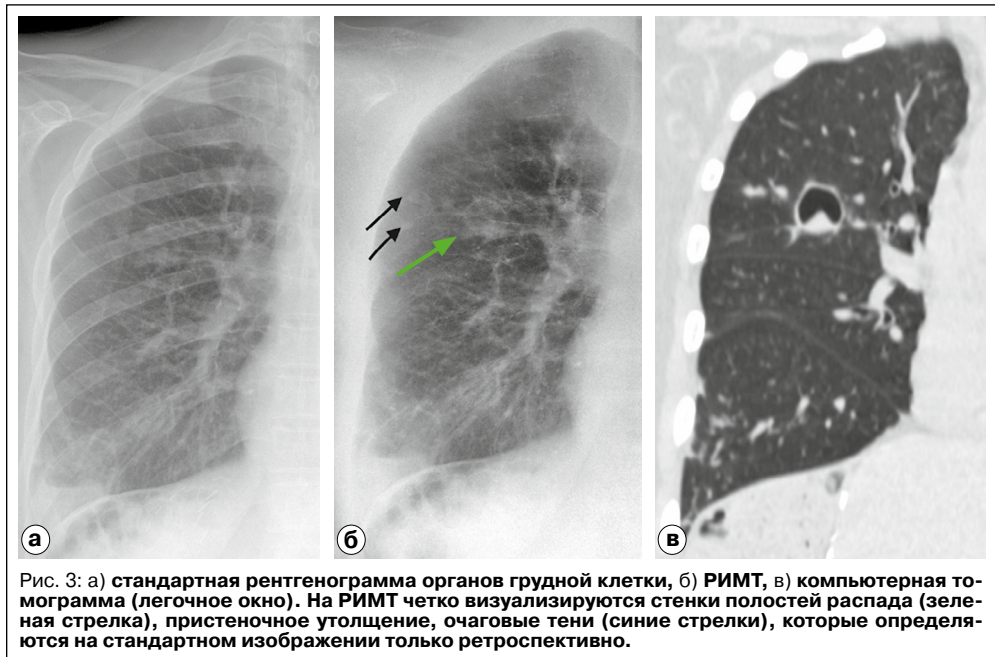


Таблица 2

**Диагностическая эффективность ЦР и ДЭР в диагностике заболеваний легких**

Методика исследования	Показатели информативности диагностических методик, %				
	Чувствительность	Специфичность	Точность	Прогностическая ценность положительных результатов	Прогностическая ценность отрицательных результатов
ЦР	63,3 [50,4–71,6]	70,0 [50,5–85,4]	66,0 [50,4–78,4]	76,0 [60,4–88,4]	56,0 [40,4–68,4]
ДЭР	83,3 [72,5–88,7]	90,0 [72,0–98,1]	86,0 [71,8–92,5]	92,6 [79,4–98,6]	78,3 [62,8–85,3]

При интерпретации реконструированных изображений были выявлены дополнительно 6 очаговых образований, преимущественно локализованных в апикальных отделах легких. КТ позволила визуализировать 5 очагов размерами до 6 мм, которые не определялись на стандартных и реконструированных изображениях даже ретроспективно. В 2 (18,2%) случаях симптом очаговой тени не был подтвержден, что связано с недостаточным подавлением элементов костной плотности на РИМТ.

ДЭР позволила подтвердить наличие кольцевидных теней во всех случаях (n=7), при этом у 3 (42,9%) пациентов визуально определялось большее количество указанных изменений, чем на стандартных изображениях. Более того, при анализе РИМТ детально визуализировались стенки полостей, наличие внутриволостного содержимого (рис. 3).

Для сравнения информативности ЦР и ДЭР была определена диагностическая эффективность изучаемых методик в выявлении основных рентгенологических признаков при легочной патологии (табл. 2). При анализе полученных данных, различия показателей чувствительности оказались статистически значимыми (p<0,05).

В общей группе пациентов повреждения костных структур выявлены в 9 (18,0%) случаях. Свежие переломы ребер были у 4 пациентов. Консолидированные переломы наблюдались у 5 больных. В процессе интерпретации реконструированных изображений костной ткани (РИКТ) у 2 чел. (22,2%) удалось дополнительно определить переломы ребер без признаков консолидации, локализованных по подмышечным линиям, которые не визуализировались на стандартных



рентгенограммах (рис. 4). У 1 чел. на реконструированном изображении определялся участок вздутия ребра, который на нативном изображении был ошибочно интерпретирован как консолидированный перелом.

В остальных случаях применение ДЭР позволило четко визуализировать линии переломов в зонах краевого снижения пространственного разрешения, оценить структуру ребер даже на фоне субтотального затемнения легочного поля, что крайне затруднительно при анализе стандартных рентгенограмм без выполнения дополнительных проекций.

Изменение структуры костной ткани в виде наличия литических очагов деструкции при верифицированном диагнозе «множественная миелома» были определены у 11 (22,0%) пациентов. Применение ДЭР позволило получить больше информации о наличии дополнительных очагов деструкции в ребрах, ключицах, лопатках, проксимальных отделах плечевых костей у 6 (54,5%) больных. В 2 (18,2%) случаях были выявлены патологические переломы ребер (рис. 5). По данным

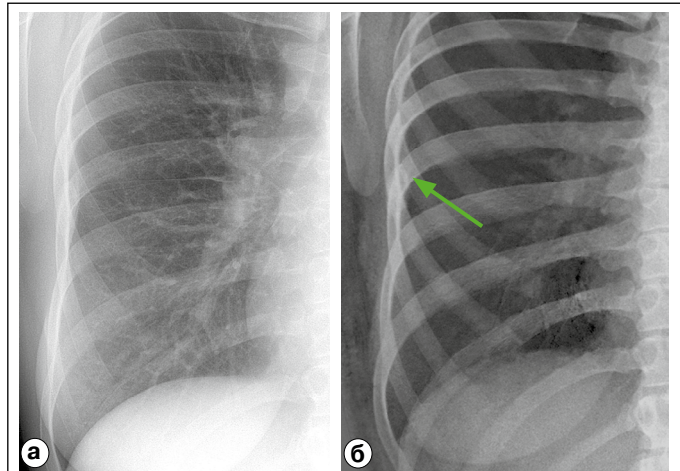


Рис. 4: а) стандартная рентгенограмма органов грудной клетки, б) РИКТ. На реконструированном изображении по задней подмышечной линии визуализируется перелом 7-го ребра без признаков консолидации (стрелка), который не определялся на стандартной рентгенограмме.

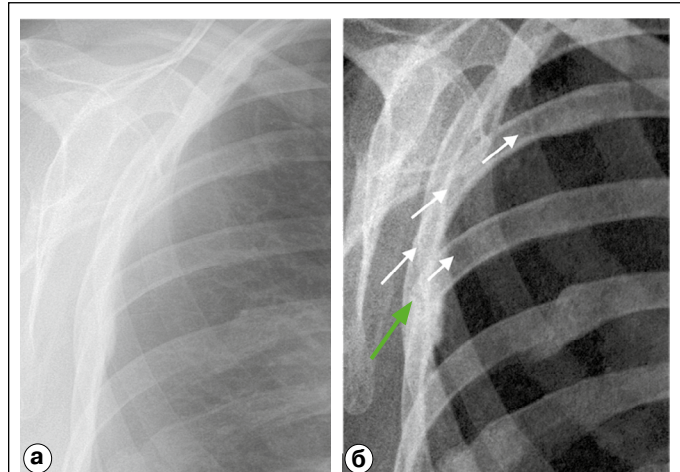


Рис. 5: а) стандартная рентгенограмма органов грудной клетки, б) РИКТ. На реконструированном изображении на фоне костной мозоли 7-го ребра четко визуализируется линия перелома вышележащего ребра (зеленая стрелка). Дополнительно в структуре ребер определяются множественные очаги деструкции (белые стрелки), которые не визуализируются на стандартной рентгенограмме даже ретроспективно.

Таблица 3

**Диагностическая эффективность ЦР и ДЭР в диагностике патологии костных структур грудной клетки**

Методика исследования	Показатели информативности диагностических методик, %				
	Чувствительность	Специфичность	Точность	Прогностическая ценность положительных результатов	Прогностическая ценность отрицательных результатов
ЦР	45,0 [28,3–53,2]	93,3 [82,9–98,8]	74,0 [60,6–80,5]	81,8 [51,4–96,7]	71,8 [63,2–76,0]
ДЭР	85,0 [67,4–94,6]	90,0 [78,3–96,4]	88,0 [74,6–95,6]	85,0 [67,4–94,6]	90,0 [78,3–96,4]

КТ, в 3 (27,3%) случаях очаги деструкции костной ткани, локализованные в лопатке (n=2), дистальном отделе ключицы (n=1), выявленные ДЭР, не были подтверждены, что, в первую очередь, было связано с выраженными артефактами в виде «зернистости».

Была определена эффективность ДЭР и ЦР в диагностике патологии костных структур (табл. 3 на с. 73). Полученные данные свидетельствуют о повышении чувствительности ДЭР, которая превосходит возможности традиционной методики почти в 2 раза.

Специфичность ДЭР при анализе результатов данной подгруппы оказалась несколько ниже, чем при традиционной методике, – 90,0% и 93,3%, соответственно, однако различия не были статистически значимыми (p>0,05).

### Обсуждение

В ряде исследований изучались возможности ДЭР в диагностике заболеваний органов грудной клетки. Так, К. Martini и соавт. (2017) определили, что внедрение новой методики позволяет добиться статистически значимого повышения показателя чувствительности в оценке очаговых, инфилтративных, интерстициальных изменений [4]. В крупном исследовании Н. Mogami и соавт. (2021) было подтверждено, что применение ДЭР позволило повысить процент выявляемости рака легкого в сравнении с традиционной мето-

дикой, выполненной в двух проекциях [6]. Данные положения источников литературы не противоречат результатам данного исследования, поскольку за счет «разделения» тканей двухэнергетическая методика способна визуализировать патологические изменения, локализованные за тенью ребер и ключиц.

В мировой литературе присутствуют единичные работы, посвященные оценке диагностической эффективности высокоэнергетического режима, однако в данных исследованиях сравнение ДЭР с традиционной методикой проводилось в рамках общего рентгенологического исследования органов грудной клетки, по результатам которого выявленные патологические изменения костных структур были случайными находками и в большинстве случаев никак не верифицировались [3, 5].

### Заключение

Представленные результаты свидетельствуют о том, что ДЭР превосходит ЦР в выявлении многих рентгенологических симптомов и может быть использована на первом этапе диагностического поиска, заменив традиционную методику, для более уверенного выявления патологических процессов в легочной ткани и костных структурах грудной клетки. ДЭР не рассматривается как альтернатива или замена КТ, но в ряде случаев позволяет от нее отказаться, тем самым снизив нагрузку на кабинеты компьютерной томографии.

### Литература

1. Шуников Ю.Е., Кобылкин И.С., Прохоров А.В., Поздняков Д.В., Касюк Д.М., Нечаев В.А., Алексеева О.М., Наумова Д.И., Дабагов А.Р. Уменьшение артефактов движения пациента в двухэнергетической рентгенографии // *Медицинская техника*. – 2021. – № 6. – С. 31–34.
2. Kim C., Yang S.H., Kim J. Effects of the technique parameters on the imaging performance of the dual-energy chest radiography // *Journal of the Korean Physical Society*. – 2021. – Vol. 78. – P. 849–859.
3. Gezer M., Algin O., Durmaz A., Arslan H. Efficiency and reporting confidence analysis of sequential dual-energy subtraction for thoracic x-ray examinations // *QMG*. – 2019. – Vol. – 2019. – № 1. doi: 10.5339/QMJ.2019.9
4. Martini K., Baessler M., Baumueller S., Frauenfelder T. Diagnostic accuracy and added value of dual-energy subtraction radiography compared to standard conventional radiography using computed tomography as standard of reference. *PloS one*. – 2017. – Vol. 12. – № 3. doi: 10.1371/journal.pone.0174285
5. Minato K., Yamazaki M., Yagi T., Hirata T., Tominaga M., You K., Ishikawa H. Effectiveness of one-shot dual-energy subtraction chest radiography with flat-panel detector in distinguishing between calcified and non-calcified nodules // *Scientific Reports*. – 2023. – Vol. 13. – № 1. doi: 10.1038/s41598-023-36785-y
6. Mogami H., Onoike Y., Miyano H., Arakawa K., Inoue H., Sakae K., Kawakami T. Lung cancer screening by single-shot dual-energy subtraction using a flat-panel detector // *Japanese Journal of Radiology*. – 2021. – Vol. 39. – № 12. – P. 1168–1173. doi: 10.1007/s11604-021-01163-z ■