

<http://doi.org/10.20862/0042-4676-2019-100-6-335-338>

Возможность определения концентрации йода в фантоме с известными титрами йодсодержащего контрастного препарата при помощи двухэнергетической компьютерной томографии

Чабан А.С.^{1, *}, Сеницын В.Е.²

¹ООО «Медскан»,

ул. Нижегородская, 83, стр. 1, Москва, 109052, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
Ломоносовский пр-т, 27, корп. 1, Москва, 119991, Российская Федерация

Резюме

Цель исследования – изучение возможностей двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ) с одним источником излучения в количественной оценке концентрации йода в растворах.

Материал и методы. Проведена компьютерная томография с одним источником излучения в двухэнергетическом режиме на фантоме, представлявшем собой набор из 5 пробирок с разным титром йодсодержащего контрастного препарата Иопамидола. На основе полученных изображений были построены йодные карты, и в пределах объема титрованного контрастного препарата измерена концентрация йода.

Результаты. Несмотря на высокую степень корреляции измеренной концентрации йода в растворе с истинной концентрацией (коэффициент корреляции Пирсона $r=0,98$; $p<0,01$), имеется погрешность в измерении, которая варьировала от 4,8 до 23% при разных разведениях.

Заключение. ДЭКТ с одним источником излучения с быстрым переключением напряжения не позволяет с высокой точностью измерить истинную концентрацию йода в растворе. Для устранения погрешности измерений в дальнейших исследованиях с использованием ДЭКТ с одним источником излучения *in vivo*, возможно, следует обратить внимание на измерение нормализованной концентрации йода.

Ключевые слова: двухэнергетическая компьютерная томография; фантом; концентрация йода.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Чабан А.С., Сеницын В.Е. Возможность определения концентрации йода в фантоме с известными титрами йодсодержащего контрастного препарата при помощи двухэнергетической компьютерной томографии. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2019; 100 (6): 335–8. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2019-100-6-335-338>

Статья поступила 08.06.2019

После доработки 11.07.2019

Принята к печати 31.07.2019

The Possibility for Iodine Concentration Determination in a Phantom with Known Titrers of an Iodine-Containing Contrast Agent, by Using Dual-Energy Computed Tomography

Artem S. Chaban^{1, *}, Valentin E. Sinitsyn²

¹Medscan,

ul. Nizhegorodskaya, 83, stroenie 1, Moscow, 109052, Russian Federation

²Lomonosov Moscow State University,

Lomonosovskiy prospekt, 27, korpus 1, Moscow, 119991, Russian Federation

Abstract

Objective: to study the capabilities of single-source dual-energy computed tomography (DECT) in quantifying the concentration of iodine in solutions.

Material and methods. Single-source DECT was performed using a phantom containing a set of 5 tubes with a different titer of the iodine-containing contrast agent Iopamidol. Further, the obtained images were used to construct iodine maps; and the concentration of iodine was measured within the volume of the titrated contrast agent.

Results. Despite a high correlation between the measured iodine concentration in solution with the true concentration (Pearson's correlation coefficient $r = 0.98$; $p < 0.01$), there is a measurement error that was 4.8 to 23% at different dilutions.

Conclusion. Signal-source rapid voltage switching DECT does not allow precise measurements of the true concentration of iodine in solution. To eliminate measurement errors in further *in vivo* studies using single-source DECT, it may be that attention must be paid to the measurement of normalized iodine concentration.

Keywords: dual-energy computed tomography; phantom; iodine concentration.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study had no sponsorship.

For citation: Chaban A.S., Sinitsyn V.E. The possibility for iodine concentration determination in a phantom with known titers of an iodine-containing contrast agent, by using dual-energy computed tomography. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2019; 100 (6): 335–8 (in Russ.). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2019-100-6-335-338>

Received 08.06.2019

Revised 11.07.2019

Accepted 31.07.2019

Введение

Измерение истинной концентрации йода в тканях является в перспективе возможным инструментом для улучшения дифференцировки доброкачественных и злокачественных образований органов брюшной полости и таза, определения метастатического поражения лимфатических узлов, а также маркером ответа опухоли на проводимое лечение [1].

Одним из способов определения истинной концентрации йода в тканях служит проведение двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ). Программное обеспечение ДЭКТ-сканеров способно создавать изображения плотности материала, построение которых возможно за счет того, что определенные материалы обладают уникальным коэффициентом поглощения излучения, характерным только для данного материала (такие как кальций, йод, золото) или для ткани (такие как жир, кровь, муцин). В связи с этим стало возможно построение на двухэнергетических компьютерных томографах йодных карт и виртуальных бесконтрастных изображений, генерируемых специальным программным обеспечением [2].

На сегодняшний день основными методами проведения ДЭКТ являются: последовательное сканирование при разном напряжении трубки, ДЭКТ с двумя источниками излучения, наличием двух систем «рентгеновская трубка – детектор»,

с разными настройками пикового напряжения рентгеновских трубок, ДЭКТ с одним источником излучения с быстрым переключением между низким и высоким напряжением и ДЭКТ с одним источником излучения с детектором, способным к разложению энергий [2–7] (рис. 1). По техническим параметрам все типы ДЭКТ-сканеров сильно отличаются один от другого. Соответственно, все исследования *in vivo* и *in vitro* должны проводиться на сканерах разного типа, так как нельзя экстраполировать результаты исследований одного типа ДЭКТ-сканера на другой тип [8–10].

Цель нашего исследования – оценить возможности двухэнергетического сканера с одним источником излучения с быстрым переключением напряжения осуществлять количественную оценку концентрации йода в растворе (фантоме).

Материал и методы

Для оценки возможностей ДЭКТ-сканера и программного обеспечения определять истинные значения концентрации йода в веществе была проведена КТ на фантоме (GE Healthcare Discovery CT750 HD) с одним источником излучения в двухэнергетическом режиме (GSI). Фантом представлял собой набор пробирок с разным титром йодсодержащего контрастного препарата Скандлюкс 370 (действующее вещество Йопамидол). Контрастный препарат титровался физиологическим рас-

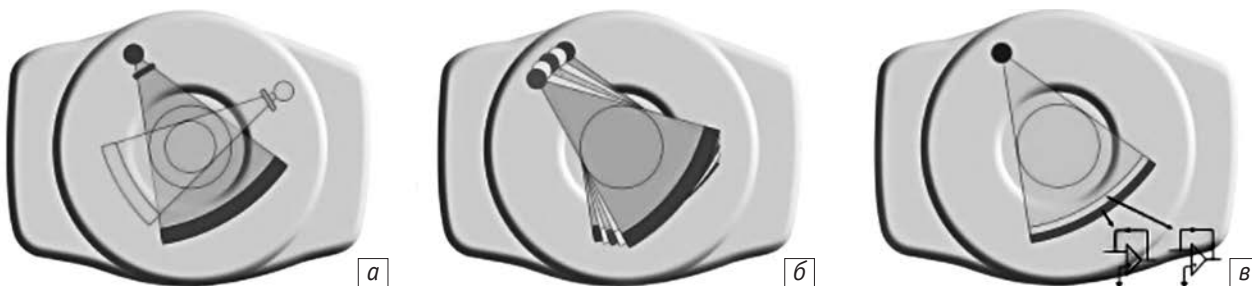


Рис. 1. ДЭКТ с двумя источниками излучения, состоящая из двух систем «рентгеновская трубка – детектор», с разными настройками пикового напряжения рентгеновских трубок (а), ДЭКТ с одним источником излучения с быстрым переключением между низким и высоким напряжением (б) и ДЭКТ с одним источником излучения с детектором, способным к разложению энергий (в) [8]

Результаты измерения концентрации йода в растворах

Раствор йодсодержащего контрастного препарата в титре	Объем измеряемого раствора, мл	Измеренная концентрация йода в растворе, мг/мл	Истинная концентрация йода в растворе, мг/мл	Погрешность измерения концентрации йода в растворе, мг/мл
1:64	6,6	5	6	-1 (16,7%)
1:32	4,5	10	11	-1 (9%)
1:16	4,9	18	22	-4 (18,2%)
1:8	5,4	43	41	2 (4,8%)
1:4	5,8	57	74	-17 (23%)

твором в соотношениях 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64. Соответственно, концентрация вещества в пробирках равнялась 191, 371, 674, 1592, 2324 мг/мл.

Проводилось сканирование фантома на аппарате GE Healthcare Discovery CT750 HD с одним источником излучения в режиме GSI. В рабочую станцию GE загружались изображения фантома с дальнейшим построением изображений плотности материала (йодных карт). Далее на полученных йодных картах в каждой пробирке был обрисован контур в пределах титрованного контрастного препарата с построением объема и его дальнейшей конвертацией в область интереса. Для каждой области интереса была измерена концентрация йода. Полученные результаты были сопоставлены с истинной концентрацией йода в растворе.

Статистическую обработку проводили в программе IBMSPSSStatisticsv.23.

Результаты

На йодных картах изображений пяти фантомов были измерены концентрации йода и сопоставлены с истинной концентрацией йода в растворе фантома (см. таблицу). Полученные результаты при измерении йода в пробирках с раствором контрастного препарата с разными титрами оказались близко сопоставимы со значениями истинной концентрации контрастного препарата в пробирках.

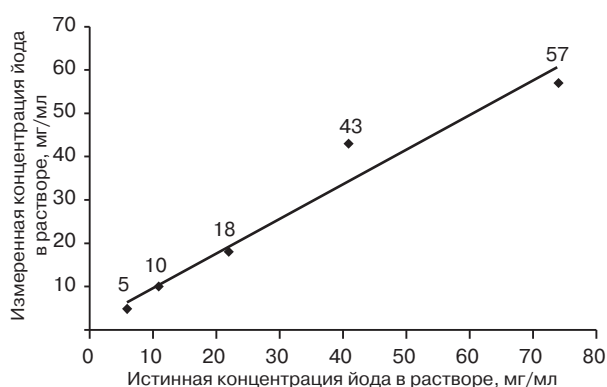


Рис. 2. Точность измерений концентрации йода в растворах фантома по йодным картам

Был проведен расчет коэффициента корреляции Пирсона, на основе которого выявлена сильная корреляция между измеренной и истинной концентрацией йодсодержащего препарата в растворах пробирок ($r=0,98$; $p<0,01$) (рис. 2).

Однако, несмотря на высокую степень корреляции, имеется погрешность в измерении, которая варьировала от 4,8 до 23% при разных разведениях.

Обсуждение

В настоящем исследовании была продемонстрирована возможность ДЭКТ-сканера с одним источником излучения измерять концентрацию йода в водном растворе. Несмотря на высокую корреляцию концентрации йода, измеренной по йодным картам, с истинной концентрацией йода в пробирках, установлена немалая погрешность измерений, что не позволяет на данном этапе использовать ДЭКТ для расчета абсолютной концентрации йода в тканях организма.

В литературе появляется все больше результатов исследований, проведенных на ДЭКТ-сканерах с разными типами сканирования в двухэнергетическом режиме, для количественной оценки содержания йода в растворах. Так G.J. Pelgrim et al. провели исследование фантома на ДЭКТ-сканере с двумя источниками излучения и на ДЭКТ-сканере с детектором, способным к разложению энергий (ДЭКТ-сканер с двухслойным детектором), для оценки количественного содержания йода в растворах. На сканерах с разными типами проведения ДЭКТ авторы выполнили сканирование фантома, состоящего из 5 пробирок с разной концентрацией йода (0, 5, 10, 15, 20 мг/мл). Была показана сильная корреляция между измеряемой концентрацией йода и истинной концентрацией йода во всех растворах как на ДЭКТ-сканере с двумя источниками излучения, так и на ДЭКТ-сканере с детектором, способным к разложению энергий ($R=0,999-1,000$, $p<0,0001$) [11].

Несмотря на выявление сильной корреляции между полученной и истинной концентрацией йода в фантоме, измерение концентрации вещества в тканях живого человека может быть затруднено

и неправильно оценено за счет артефактов движения. Погрешность в измерениях также может быть связана с индивидуальными характеристиками пациента и техническими параметрами сканирования. Данная проблема особенно актуальна, ведь в настоящее время ДЭКТ начинают активно применять в кардиологии. Кроме того, в проведенном нами исследовании йодсодержащий препарат был растворен в воде, а в клинической практике такие вещества организма, как кальций и протеины, могут влиять на точность измерения концентрации йода в тканях [1].

Для устранения вышеописанных факторов, ухудшающих точность количественной оценки йо-

да в тканях, предложено высчитывать нормализованную концентрацию йода относительно паренхимы оцениваемого органа или относительно концентрации йода в аорте [12].

Заключение

ДЭКТ с одним источником излучения с быстрым переключением напряжения не позволяет с высокой точностью измерить истинную концентрацию йода в растворе. Для устранения погрешности измерений в дальнейших исследованиях с использованием ДЭКТ с одним источником излучения *in vivo* возможно, следует обратить внимание на измерение нормализованной концентрации йода.

Литература / References

- Euler A., Solomon J., Mazurowski M.A., Samei E., Nelson R.C. How accurate and precise are CT based measurements of iodine concentration? A comparison of the minimum detectable concentration difference among single source and dual source dual energy CT in a phantom study. *Eur. Radiol.* 2019; 29 (4): 2069–78. DOI: 10.1007/s00330-018-5736-0
- Coursey C.A., Nelson R.C., Boll D.T., Paulson E.K., Ho L.M., Neville A.M. et al. Dual-energy multidetector CT: how does it work, what can it tell us, and when can we use it in abdominal/pelvic imaging? *Radiographics.* 2010; 30: 1037–55. DOI: 10.1148/rg.304095175
- Hartman R., Kawashima A., Takahashi N., Silva A., Vrtiska T., Leng S. et al. Applications of dual-energy CT in urologic imaging: an update. *Radiol. Clin. North Am.* 2012; 50: 191–205. DOI: 10.1016/j.rcl.2012.02.007
- Kaza R.K., Platt J.F., Cohan R.H., Caoili E.M., Al-Hawary M.M., Wasnik A. Dual-energy CT with single- and dual-source scanners: current applications in evaluating the genitourinary tract. *RadioGraphics.* 2012; 32: 353–69. DOI: 10.1148/rg.322115065
- Fornaro J., Leschka S., Hibbeln D., Butler A., Anderson N., Pache G. et al. Dual- and multi-energy CT: approach to functional imaging. *Insights Imaging.* 2011; 2: 149–59. DOI: 10.1007/s13244-010-0057-0
- Graser A., Johnson T.R.C., Chandarana H., Macari M. Dual energy CT: Preliminary observations and potential clinical applications in the abdomen. *Eur. Radiol.* 2009; 19: 13–23. DOI: 10.1007/s00330-008-1122-7
- Silva A.C., Morse B.G., Hara A.K., Paden R.G., Hongo N., Pavlicek W. Dual-energy (spectral) CT: applications in abdominal imaging. *RadioGraphics.* 2011; 31: 1031–46. DOI: 10.1148/rg.314105159
- Johnson T.R.C., Trc J. Dual-energy CT: general principles. *Am. J. Roentgenol.* 2012; 199: 3–8. DOI: 10.2214/AJR.12.9116
- Pourmorteza A., Symons R., Sandfort V., Mallek M., Fuld M.K., Henderson G. et al. Abdominal imaging with contrast-enhanced photon-counting CT: first human experience. *Radiology.* 2016; 279 (1): 1–7. DOI: 10.1148/radiol.2016152601
- Wang X., Meier D., Taguchi K., Wagenaar D.J., Patt B.E., Frey E.C. et al. Material separation in X-ray CT with energy resolved photon-counting detectors. *Med. Phys.* 2011; 38: 1534–46. DOI: 10.1118/1.3553401
- Pelgrim G.J., van Hamersvelt R.W., Willeminck M.J., Schmidt B.T., Flohr T., Schilham A. et al. Accuracy of iodine quantification using dual energy CT in latest generation dual source and dual layer CT. *Eur. Radiol.* 2017; 27 (9): 3904–12. DOI: 10.1007/s00330-017-4752-9
- Lv P., Lin X.Z., Li J., Li W., Chen K. Differentiation of small hepatic hemangioma from small hepatocellular carcinoma: recently introduced spectral CT method. *Radiology.* 2011; 259: 720–9. DOI: 10.1148/radiol.11101425

Сведения об авторах | Information about the authors

Чабан Артем Сергеевич*, врач-рентгенолог, 000 «Медскан»;
orcid.org/0000-0002-5661-0620

E-mail: chabanartem91@gmail.com

Синицын Валентин Евгеньевич, д. м. н., профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и лучевой терапии, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»; orcid.org/0000-0002-5649-2193

Artem S. Chaban*, Radiologist, Medscan,
orcid.org/0000-0002-5661-0620

E-mail: chabanartem91@gmail.com

Valentin E. Sinitsyn, Dr. Med. Sc., Professor, Chief of Radiology and Radiotherapy Chair, Lomonosov Moscow State University; orcid.org/0000-0002-5649-2193