

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И ТЕРАПИЯ

Магнитно-резонансная томография, ультразвуковая диагностика, рентгенология, компьютерная томография, ядерная медицина, лучевая терапия

№ 4⁽⁸⁾
2017

Учредители: Санкт-Петербургское радиологическое общество
ФГБУН Институт мозга человека им. Н. П. Бехтеревой РАН
Медицинская компания «АВА ПЕТЕР» и «Скандинавия»
Балтийский медицинский образовательный центр

Президент журнала

академик РАН
С. К. Терновой
(Москва)

Главный редактор

профессор
Т. Н. Трофимова
(Санкт-Петербург)

Заместители главного редактора

чл.-корр. РАН
А. Ю. Васильев
(Москва)

профессор
В. И. Амосов
(Санкт-Петербург)

доктор медицинских наук
В. П. Сокурено
(Санкт-Петербург)

Ответственный секретарь

кандидат медицинских наук
Е. П. Магонов
(Санкт-Петербург)

Журнал рекомендован ВАК для публикации материалов диссертаций

Издатель: Балтийский медицинский образовательный центр
Адрес журнала: Санкт-Петербург, 191014, Литейный пр., 55 А.
Тел.: +7 921 956-92-55
<http://radiag.bmoc-spb.ru/jour>
<http://spb.radiomed.ru>
e-mail: infeklcijaids@gmail.com

подписные индексы:
Агентство «Роспечать» 57991
Объединенный каталог
«Пресса России» 42177

Состав редсовета и редколлегии:

профессор *Н. И. Ананьева* (Санкт-Петербург)
академик РАН *С. Ф. Багненко* (Санкт-Петербург)
академик РАН *Н. А. Беляков* (Санкт-Петербург)
профессор *М. Ю. Вальков* (Архангельск)
академик РАН *В. Р. Вебер* (В. Новгород)
профессор *М. В. Вишнякова* (Москва)
профессор *А. П. Дергилев* (Новосибирск)
академик РАН *Б. И. Долгушин* (Москва)
профессор *В. И. Домбровский* (Ростов-на-Дону)
профессор *Г. М. Жаринов* (Санкт-Петербург)
профессор *В. Д. Завадовская* (Томск)
профессор *Н. А. Карлова* (Санкт-Петербург)
академик РАН *А. М. Караськов* (Новосибирск)
академик РАН *В. Н. Корниенко* (Москва)
профессор *П. М. Котляров* (Москва)
профессор *Ю. Б. Курашвили* (Москва)
чл. -корр. РАН *Ю. Б. Лишманов* (Томск)
профессор *В. Н. Макаренко* (Москва)
академик РАН *С. В. Медведев* (Санкт-Петербург)
профессор *М. К. Михайлов* (Казань)
профессор *А. В. Мищенко* (Санкт-Петербург)
профессор *С. П. Морозов* (Москва)
профессор *А. В. Поморцев* (Краснодар)
академик РАН *И. Н. Пронин* (Москва)
профессор *В. А. Ратников* (Санкт-Петербург)
профессор *Р. И. Рахимжанова* (Астана)
профессор *Р. Риенмюллер* (Грац)
профессор *В. А. Рогожин* (Киев)
профессор *Н. А. Рубцова* (Москва)
профессор *В. Е. Савеллю* (Санкт-Петербург)
профессор *В. Е. Синицын* (Москва)
профессор *П. Г. Таразов* (Санкт-Петербург)
профессор *Г. Е. Труфанов* (Санкт-Петербург)
профессор *И. Е. Тюрин* (Москва)
профессор *Л. А. Тютин* (Санкт-Петербург)
профессор *В. М. Черемисин* (Санкт-Петербург)
профессор *М. А. Чибисова* (Санкт-Петербург)
профессор *Б. Е. Шахов* (Н. Новгород)
профессор *А. Л. Юдин* (Москва)

Peer-reviewed journal for science and practice

DIAGNOSTIC RADIOLOGY AND RADIOTHERAPY

Magnetic resonance imaging, diagnostic ultrasound, roentgenology, computed tomography, nuclear medicine, radiotherapy

№ 4⁽⁸⁾
2017

Founders: St. Petersburg Society of Radiology
 N. P. Bechtereva Institute of the Human
 Brain of the Russian Academy of Sciences
 Russian Finnish Medical Holding Company «AVA PETER Scandinavia»
 Baltic Medical Educational Center

President of the journal
Editor-in-chief

S. K. Ternovoy, Full Member of RAS (Moscow)
T. N. Trofimova, professor (St. Petersburg)

Associate Editors

A. Yu. Vasilyev, associate member of RAS (Moscow) *V. I. Amosov*, professor (St. Petersburg)
V. P. Sokurenko, M.D. (St. Petersburg)

Executive Secretary *E. P. Magonov* (St. Petersburg)

Editorial Board and Editorial Council:

N. I. Ananyeva, prof. (St. Petersburg)
S. F. Bagnenko, full member of RAS (St. Petersburg)
N. A. Belyakov, full member of RAS (St. Petersburg)
V. M. Cheremisin, prof. (St. Petersburg)
M. A. Chibisova, prof. (St. Petersburg)
A. P. Dergilev, prof. (Novosibirsk)
B. I. Dolgushin, full member of RAS (Moscow)
V. I. Dombrovskiy, prof. (Rostov-on-Don)
A. M. Karaskov, full member of RAS (Novosibirsk)
N. A. Karlova, prof. (St. Petersburg)
P. M. Kotlyarov prof. (Moscow)
V. N. Korniyenko, full member of RAS (Moscow)
Yu. B. Kurashvili, prof. (Moscow)
Yu. B. Lishmanov, associate member of RAS (Tomsk)
V. N. Makarenko, prof. (Moscow)
S. V. Medvedev, full member of RAS (St. Petersburg)
M. K. Mikhaylov, prof. (Kazan)
A. V. Mishenko, prof. (St. Petersburg)
S. P. Morozov, prof. (Moscow)
A. V. Pomortsev, prof. (Krasnodar)

I. N. Pronin, full member of RAS (Moscow)
V. A. Ratnikov, prof. (St. Petersburg)
R. I. Rakhimzhanova, prof. (Astana)
R. Rienmuller, prof. (Graz)
V. A. Rogozhin, prof. (Kiev)
N. A. Rubtsova, prof. (Moscow)
V. E. Savello, prof. (St. Petersburg)
V. E. Sinitsin, prof. (Moscow)
B. E. Shakhov, prof. (Nizhniy Novgorod)
P. G. Tarazov, prof. (St. Petersburg)
G. E. Trufanov, prof. (St. Petersburg)
I. E. Tyurin, prof. (Moscow)
L. A. Tyutin, prof. (St. Petersburg)
M. Yu. Valkov, prof. (Arkhangelsk)
V. R. Veber, full member of RAS (Novgorod)
M. V. Vishnyakova, prof. (Moscow)
A. L. Yudin, prof. (Moscow)
V. D. Zavadovskaya, prof. (Tomsk)
G. M. Zharinov, prof. (St. Petersburg)

Key title: Lucevaa diagnostika i terapiya **Abbreviated key title:** Lucevaa diagn. ter.

Publisher: Baltic Medical Educational Center
Address: 191014, Liteyny pr., 55 A, St. Petersburg, Russia
 Tel.: +7 921 956-92-55
<http://radiag.bmoc-spb.ru/jour>
<http://spb.radiomed.ru>
 e-mail: infeklcijaids@gmail.com

Subscription indexes:
 Agency «Rospechat» **57991**
 Union Catalogue
 «The Russian Press» **42177**

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

РЕДАКЦИОННАЯ СТАТЬЯ

- ВОЗМОЖНОСТИ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ
В ИЗУЧЕНИИ ФОРМИРОВАНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПЛОДА . 6
Т. Н. Трофимова, А. Д. Халиков, М. Д. Семенова

ОБЗОР

- ДИАГНОСТИКА И СТАДИРОВАНИЕ РАКА МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ. 16
А. Д. Каприн, Б. Я. Алексеев, Н. А. Рубцова, К. М. Ньюшко,
И. И. Семенова, П. В. Шегай

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

- ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ В ПЕРИВЕНТРИКУЛЯРНОЙ ЗОНЕ
И КОРЕ БОЛЬШИХ ПОЛУШАРИЙ ГОЛОВНОГО МОЗГА У НОВО-
РОЖДЕННЫХ С ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКОЙ И ОЧЕНЬ НИЗКОЙ
МАССОЙ ТЕЛА. 25
Т. В. Мелашенко, Т. А. Наркевич, О. Л. Красногорская,
А. В. Поздняков, Р. А. Насыров, Д. О. Иванов

- ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМАКСОЛА У ПАЦИЕНТОВ
С НЕАЛКОГОЛЬНОЙ ЖИРОВОЙ БОЛЕЗНЬЮ ПЕЧЕНИ. 33
Н. Н. Варламова, Е. Н. Зиновьева, О. В. Тесля,
Е. В. Синельникова, В. Г. Часнык

- ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ЭХОКАРДИОГРАФИИ И ПЛАЦЕНТОМЕТРИИ . 38
Л. А. Иванова, К. П. Карпов

- МУЛЬТИПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОНОЭЛАСТОГРАФИИ
И КОНТРАСТНОГО УСИЛЕНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ЛЕЙОМИОМ
ГЛУБОКИХ МЯГКИХ ТКАНЕЙ. 43
Е. А. Бусько, В. В. Щукин, М. С. Синячкин, И. И. Семенов,
А. Н. Зайцев, Е. В. Костромина, Н. В. Крашенинникова,
А. В. Васильев, А. В. Мищенко

- РЕЗУЛЬТАТЫ МНОГОФАЗНОЙ ОСТЕОСЦИНТИГРАФИИ У БОЛЬ-
НЫХ С НЕАКТИВНОЙ СТАДИЕЙ ДИАБЕТИЧЕСКОЙ НЕЙРООСТЕ-
ОАРТРОПАТИИ СТОП (АРТРОПАТИЕЙ ШАРКО) 48
А. Г. Демина, Д. В. Рыжкова, В. Б. Бреговский, И. А. Карпова

НАБЛЮДЕНИЕ ИЗ ПРАКТИКИ

- МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ И КОМПЬЮТЕРНАЯ
ТОМОГРАФИЯ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ
ДИАГНОСТИКЕ ЭКТОПИИ ТКАНИ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ
ЖЕЛЕЗЫ И ЗАБРЮШИННОЙ ОПУХОЛИ. 54
П. М. Котляров, Н. И. Сергеев, В. А. Ребрикова, С. В. Сурков,
О. В. Татарникова

ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ

- НАСКОЛЬКО ОБЪЕКТИВНЫ ДАННЫЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ГОНАРТРИТЕ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКОЙ
НУЛЕВОЙ СТАДИИ. 60
М. В. Макарова, Л. В. Проклова, Г. В. Яворская, А. В. Юницина,
А. Я. Якоби, М. Ю. Вальков

- АНАЛИЗ ДАННЫХ QUANTEC ПО ТОЛЕРАНТНЫМ ДОЗАМ ОБЛУЧЕ-
НИЯ СЕРДЦА И НОВЫЕ КЛИНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ 68
Ж. С. Лебедева, А. П. Литвинов

ОРГАНИЗАЦИЯ СЛУЖБЫ И ОБРАЗОВАНИЕ

- ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА В ЦИФРАХ:
САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, 2016. 75
Т. Н. Трофимова, А. Ф. Панфиленко

- РОЛЬ ИНФОРМИРОВАННОГО ДОБРОВОЛЬНОГО СОГЛАСИЯ
ПРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ 77
А. Л. Юдин, А. Э. Никитин, Е. А. Юматова

- РИСК-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПОТРЕБНОСТИ
В ПЭТ/КТ С ФТОРДЕЗОКСИГЛЮКОЗОЙ У БОЛЬНЫХ СО ЗЛОКА-
ЧЕСТВЕННЫМИ НОВООБРАЗОВАНИЯМИ, СФОРМИРОВАННАЯ
НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА 7 ФОРМЫ ФЕДЕРАЛЬНОГО СТАТИ-
СТИЧЕСКОГО НАБЛЮДЕНИЯ 87
И. Л. Киселев, И. С. Пискунов, В. В. Хвостовой, С. М. Шевченко

ЮБИЛЕЙ

- 80 ЛЕТ АКАДЕМИКУ
МАКАШУ ТЫНЫШТЫКПАЕВИЧУ АЛИАКПАРОВУ 95

EDITORIAL

- THE CAPABILITIES OF MRI IN STUDYING FORMATION OF THE
FETAL BRAIN 6
T. N. Trofimova, A. D. Khalikov, M. D. Semenova

REVIEW

- DIAGNOSIS AND STAGING OF BLADDER CANCER. 16
A. D. Kaprin, B. Ya. Alekseev, N. A. Rubtsova, K. M. Njushko,
I. I. Semenova, P. V. Shegai

ORIGINAL RESEARCH

- THE CHANGES IN THE PERIVENTRICULAR ZONE
AND BRAIN CORTEX IN PRETERM NEWBORN WITH
VERY LOW BIRTH WEIGHT AND EXTREME LOW
BIRTH WEIGHT 25
T. V. Melashenko, T. A. Narkevich, O. L. Krasnogorskaya,
A. V. Pozdnykov, R. A. Nasyrov, D. O. Ivanov

- ASSESSMENT OF EFFECTIVENESS OF REMAXOL IN PATIENTS
WITH NONALCOHOLIC FATTY LIVER DISEASE 33
N. N. Varlamova, E. N. Zinov'eva, O. V. Teslya, E. V. Sinel'nikova,
V. G. Chasnyk

- PROGNOSTIC VALUE OF MORPHOMETRIC PARAMETERS
OF ECHO-CARDIOGRAPHY AND PLACENTOMETRY 38
L. A. Ivanova, K. P. Karpov

- MULTIPARAMETRIC ULTRASOUND EXAMINATION
WITH SONOELASTOGRAPHY AND CONTRAST
ENHANCEMENT IN DIAGNOSTICS OF DEEP SOFT
TISSUES LEIOMIOMAS 43
E. A. Bus'ko, V. V. Shchukin, M. S. Sinyachkin, I. I. Semenov,
A. N. Zajcev, E. V. Kostromina, N. V. Krasheninnikova,
A. V. Vasil'ev, A. V. Mishchenko

- THE RESULTS OF MULTIPHASE OSTEOSCINTIGRAPHY IN PATIENTS
WITH AN INACTIVE STAGE OF DIABETIC NEUROOSTEOARTHO-
PATHIES OF THE FEET (ARTHROPATHY OF CHARCOT). 48
A. G. Demina, D. V. Ryzhkova, V. B. Bregovskiy, I. A. Karpova

PRACTICAL CASES

- MAGNETIC RESONANCE IMAGING AND COMPUTED
TOMOGRAPHY IN DIFFERENTIAL DIAGNOSIS
OF ECTOPIC PANCREATIC TISSUE AND RETROPERITONEAL
TUMOR 54
P. M. Kotlyarov, N. I. Sergeev, V. A. Rebrikova, S. V. Surcov,
O. V. Tatarnikova

RADIOTHERAPY

- HOW DATA OF ULTRASOUND EXAMINATION
FOR X-RAY 0 STAGE GONARTHROSIS MAY BE
OBJECTIVE. 60
M. V. Makarova, L. V. Proklova, G. V. Yavorskaya, A. V. Yunitcina,
A. Ya. Yakobi, M. Yu. Valkov

- ANALYSIS OF QUANTEC DATA ON HEART TOLERANT DOSE AND
NEW CLINICAL DATA 68
Zh. S. Lebedeva, A. P. Litvinov

SERVICES MANAGEMENT

- RADIOLOGY IN
SAINT-PETERSBURG '2016 75
T. N. Trofimova, A. F. Panfilenko

- THE ROLE OF INFORMED CONSENT
IN CT SCAN 77
A. L. Yudin, A. E. Nikitin, E. A. Yumatova

- RISK ORIENTED MODEL OF FDG PET/CT REQUIREMENT
CALCULATION IN PATIENTS WITH MALIGNANT
NEOPLASMS, FORMED ON THE BASIS OF ANALYSIS
OF THE 7th FORM OF FEDERAL STATISTICAL
OBSERVATION ANALYSIS 87
I. L. Kiselev, I. S. Piskunov, V. V. Khvostovoy, S. M. Shevchenko

ANNIVERSARY

- 80 YEARS TO THE ACADEMICIAN
MAKASH TYNYSHTYKPAYEVICH ALIAKPAROV 95

УДК 616-006.6:615.849

АНАЛИЗ ДАННЫХ QUANTEC ПО ТОЛЕРАНТНЫМ ДОЗАМ ОБЛУЧЕНИЯ СЕРДЦА И НОВЫЕ КЛИНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Ж. С. Лебедева, А. П. Литвинов

Первый Санкт-Петербургский Государственный Медицинский Университет им. акад. И. П. Павлова,
Санкт-Петербург, Россия

© Ж. С. Лебедева, А. П. Литвинов, 2017 г.

В статье проведен обзор данных о толерантных дозах для сердца при облучении различных локализаций. К имеющимся данным, представленным в QUANTEC, добавлены результаты исследований проведенных в последние семь лет. Сделаны выводы о несопоставимости данных, получаемых при облучении области грудины и молочной железы. Вопрос о дозах на сердце при облучении в техниках VMAT пока плохо освещен в литературе.

Ключевые слова: лучевая терапия, толерантная доза, QUANTEC, сердце, молочная железа, пищевод.

ANALYSIS OF QUANTEC DATA ON HEART TOLERANT DOSE AND NEW CLINICAL DATA

Zh. S. Lebedeva, A. P. Litvinov

First St. Petersburg State Medical University named after academician I. P. Pavlov, St. Petersburg, Russia

The article reviewed data on tolerant doses to the heart in irradiation of different locations. The results of studies conducted in the last seven years after QUANTEC publication are presented. It was concluded that the data obtained upon irradiation of the sternum and breast cancer are uncomparable. The question about tolerant dose to the heart for VMAT technique is poorly covered in the literature

Key words: radiotherapy, tolerant dose, QUANTEC, heart, breast, oesophagus

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2017-4-68-74>

Введение. Первая попытка систематизировать данные о дозовых нагрузках на критические структуры для применения в клинической практике в лучевой терапии была предпринята в 1991 г., когда появилась статья [1], обобщающая опыт проведения лучевой терапии за предыдущие десятилетия. Ко второй декаде XXI века технологии настолько сильно шагнули вперед, что потребовался пересмотр данных по толерантным уровням облучения критических органов. Так, в 2010 г. появилась серия статей под общим названием QUANTEC (Quantitative Analysis of Normal Tissue Effects in the Clinic). Публикация серии статей началась с введения [2] и описания целей данной публикации [3]. В целом, это три статьи общего характера, 16 статей, детально описывающие данные литературы и представляющие моделирование рисков для следующих органов: головной мозг, ствол головного мозга, зрительные нервы, спинной мозг, слуховая система, слюнные железы, глотка и гортаноглотка, легкие, пищевод, сердце, печень, почки, желудок, тонкий кишечник, прямая кишка, мочевого пузырь, луковица полового члена. В статье [4] суммируются данные, полученные по всем органам. Там они собраны в удобную таблицу, которую знают и применяют на практике радиотерапевты мира. Однако в этой же статье настоя-

тельно подчеркивается необходимость знакомства со всеми работами серии для полного понимания особенностей использования предложенных рекомендаций.

Данные QUANTEC. Прежде чем использовать данные QUANTEC необходимо учесть следующие соображения:

1) клинические данные, на которых базируются модели NTCP (Normal Tissue Complication Probabilities), получены из данных литературы, зачастую плохо сопоставимых между собой;

2) данные применимы к стандартному фракционированию. В случаях нестандартного фракционирования используется линейно-квадратичная модель, содержащая в себе неопределенность значений α/β . Особую осторожность стоит соблюдать при стереотаксическом облучении, где неприменим не только QUANTEC, но и линейно-квадратичная модель. В этих случаях используются иные протоколы;

3) комбинированное лечение, в частности предшествующая химиотерапия или сочетанные курсы дистанционной и контактной лучевой терапии могут сильно влиять на данные о чувствительности тканей;

4) хронические заболевания и фенотипические особенности могут давать резкие «индивидуальные скачки» в толерантности тканей;

5) клинические результаты, полученные в вашей клинике, а также в других, на основе которых составлен QUANTEC, могут довольно сильно отличаться от рассчитанного значения за счет качества доставки плана;

6) расчет вероятности осложнений здоровых тканей может происходить на базе различных подходов к NTCP (Normal Tissue Complication Probability) моделированию.

Большинство моделей можно разделить на три типа: модели, основанные на переходе от неравномерного облучения к равномерному (DVH reduction model), модели, основанные на архитектуре органов и многопараметрические модели. Каждый тип имеет свои особенности и должен быть хорошо понятен. Достаточно полное и подробное описание предложено, например, ААРМ [5]. В QUANTEC применяется подход, предложенный в 1985 г. Lyman [6] и дополненный концепцией эквивалентной дозы равномерного облучения gEUD (generalized equivalent uniform dose):

$$gEUD = \left[\frac{1}{N_{\text{voxels}}} (d_1^{1/n} + d_2^{1/n} + \dots + d_{N_{\text{voxels}}}^{1/n}) \right]^n, \quad (1)$$

где N_{voxels} — число равноценных элементарных объемов (или вокселей), а d_i — доза в i -м объеме. Объединение модели Lyman и gEUD носит название Lyman–Kutcher–Burman (LKB) [6–9].

Математическое описание NTCP модели впервые предложил Mohan [10].

$$NTCP = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{x^2}{2}} dx, \quad (2)$$

$$t = \frac{D_{\text{eff}} - TD_{50}}{mTD_{50}}, \quad (3)$$

$$D_{\text{eff}} = (\sum_i v_i D_i^{1/n})^n, \quad (4)$$

D_{eff} эквивалентно gEUD, TD_{50} — доза равномерного облучения всего органа, приводящая к 50% риску развития осложнений, m — параметр, определяющий наклон кривой «доза-отклик», n — параметр, определяющий объемный эффект.

Данная работа появилась в результате решения практической клинической задачи. При активной загрузке отделения пациентами, медицинские физики и врачи вынуждены оценивать большое количество планов и анализировать большое количество гистогрэм «доза-объем» (DVH — dose volume histogram). В различных коммерческих системах дозиметрического планирования существуют более или менее удобные инструменты для оценки DVH. Наиболее приемлемое решение для планирующей системы Eclipse v. 13.0, используемой в радиологическом отделении ПСПбГМУ им. акад. И. П. Павлова, использование возможностей Eclipse Scripting API, начиная с версии v. 11 не требующей специальной установки [11]. Скрипт, решающий поставленную

задачу, доступен на сайте разработчиков [12]. В базовой версии, которая быстро адаптируется под шаблоны структур в отделении, сравнение проводится в рамках параметров, представленных в таблице QUANTEC [4]. Скрипт для Eclipse, содержащий параметры QUANTEC с добавленными в него новыми данными по сердцу вместе с соответствующими шаблонами структур, можно запросить по почте у авторов статьи (zhanna-med.phys@mail.ru).

Применение скрипта наглядно показало несостоятельность некоторых ограничений в клинической практике. Одним из органов, данные о котором в QUANTEC кажутся недостаточными, является сердце.

Детальное знакомство со статьей, посвященной в QUANTEC развитию сердечных патологий [13], показывает источники сложностей в интерпретации данных. Но прежде чем погрузиться в детали, оценим информацию из [4]. В табл. 1 представлен интересный нас фрагмент таблицы из работы [4]. Итак:

1. Существует как минимум три способа оконтуривания критических структур сердца: весь орган, перикард, левый желудочек, поскольку именно с ним связывают развитие серьезных осложнений [14]. Последние два способа представляют собой еще более сложную задачу, чем первый ввиду недостаточности методов визуализации и движения органов. Для перикарда иногда используют методы автоматического оконтуривания и определяют толщину перикарда в 1 см. Относительно определения целого органа существуют рекомендации RTOG 1106 OAR, которые в известной степени унифицируют подход [15]. Однако в таблице лишь один способ оценки, который относится к целому органу. Также в ряде работ проводят исследование облучения отдельно левой передней нисходящей коронарной артерии, определение которой также вносит некоторую вариативность.

2. Критерии оценки осложнений также играют ключевую роль в оценке кардиотоксичности. В целом выделяют: перикардит, ишемическую болезнь, хроническую сердечную недостаточность, приобретенные пороки сердца. О разнообразии методов оценки речь пойдет далее.

3. Уровень вероятности осложнений, который можно было бы считать приемлемым, должен быть сопоставим с уровнем вероятности появления рецидива. Очевидно, что для различных локализаций он различен. 15% вероятность развития осложнений со стороны сердца может быть приемлема для облучения пищевода, и соответственно можно утверждать, что это толерантный уровень, и неприемлема для профилактического облучения молочной железы.

4. Столбец с комментариями заставляет читателя обратить особое внимание на результаты: в первом случае — единичное исследование, в последнем — предсказание.

Теперь обратим внимание на статью, посвященную анализу данных о толерантных дозах облучения сердца [13].

Таблица 1

Данные QUANTEC

Орган	Объем для оценки	Тип облучения	Критерий оценки	Параметры доза (Гр)/доза/объем (Гр/%)	Вероятность (%)	Комментарий
Сердце	Перикард	3D-ЛТ	Перикардит	$D_{\text{mean}} < 26 \text{ Gy}$	< 15	Основано на единичном исследовании
Сердце	Перикард	3D-ЛТ	Перикардит	$V_{30} < 46\%$	< 15	Основано на единичном исследовании
Сердце	Целый орган	3D-ЛТ	Смерть от сердечной патологии	$V_{25} < 10\%$	< 1	Оценка риска на базе моделирования

Облучение сердца возможно при ЛТ легкого, пищевода, левой (и при некоторых методах правой) молочной железы, ходжкинской лимфомы. Очевидно, что облучение ходжкинской лимфомы или пищевода и молочной железы дают совершенно разное распределение дозы в сердце. При этом в работе [13] все источники информации о перикардитах относятся именно к облучению этих двух локализаций: 377 и 499 — ходжкинская лимфома; 57 и 101 — пищевод (см. таблицу 2 [13]). Отметим также, что ходжкинская лимфома традиционно лечится при помощи химиотерапии, которая вносит значительные изменения в чувствительность органов, как было отмечено ранее. Исследование Кармела и Каплана, относящееся к 377 пациентам, проводилось на базе данных о пациентах, пролеченных в 1964–1972 гг. В соответствии с методиками, применявшимся в то время, облучение сердца было равномерным, что никак нельзя сопоставить с современной ситуацией.

Таблица 3 в работе [13] посвящена случаям смертности от ишемической болезни сердца/инфарктам миокарда. Здесь пять источников: ходжкинская лимфома — 2232 и 157 пациентов; молочная железа — 809 и 619 (оба исследования на базе 2D-планирования, однако в первом проведена 3D-реконструкция на усредненном пациенте); язва желудка — 1859 пациентов. Последнее исследование заслуживает особого внимания. Оно проводилось на базе реконструкции лечения пациентов с язвой желудка в 1936–1965 гг. на рентгено-терапевтическом оборудовании с напряжением на трубке 250 кВ в дозе 1,5 Гр на фантоме Алдерсона. Перенос полученных данных на реалии облучения, например, левой молочной железы представляется еще более сложной задачей, чем работа с данными по лимфоме.

Резюмируя вышесказанное можно заключить, что к 2010 г. данных по облучению сердца, которые бы коррелировали с реальной клинической ситуацией на 2010, а тем более на 2017 г., нет. Моделирование, проведенное авторами QUANTEC, позволило сформулировать единственное клинически приемлемое ограничение: $V_{25} < 10\%$. Оно должно рассматриваться как стартовое условие, на базе которого стоит организовывать новые исследования. В работе [16]

описаны основные сложности, не позволяющие проводить полноценный мета-анализ из-за отсутствия унифицированного подхода к изложению данных исследований. Рекомендации QUANTEC подстегнули новые исследования, обзор которых и является целью данной работы.

Новые клинические данные. В 2013 г. было опубликовано исследование группы женщин, облучавшихся по поводу рака молочной железы в 1958–2001 гг. в Дании и Швеции [17]. 963 женщины имели последствия в виде: инфаркта миокарда (МКБ-10 I21–I24), коронарной реваскуляризации и смерти от ишемической болезни сердца (МКБ-10 I20–I25). В контрольную группу входили пациентки, также получавшие лучевую терапию и не имеющие последствий ЛТ со стороны сердца. Отсутствие рандомизации относительно группы, не проходившей курс ЛТ, авторы объясняют тем, что при отборе на ЛТ имеет значение общий статус здоровья, что может вносить неточность в оценку риска.

Облучавшиеся пациенты проходили лечение в эру до 3D-ЛТ, в связи с этим планы 2D были реконструированы на 20 КТ-сканах и усреднены. Все дозы предварительно приведены к EQD2 с помощью линейно-квадратичной модели. При этом средняя доза на сердце при облучении правой молочной железы составила 2,9 Гр, левой 6,6 Гр, 4,9 Гр в среднем (0,03–27,72 Гр). Информации о методах оконтуривания сердца нет, поскольку происходила оценка на некотором усредненном пациенте.

Исследователи пришли к выводу о том, что осложнения на сердце лучше всего коррелируют со средней дозой. Зависимость числа осложнений на сердце линейно зависит от средней дозы и увеличивается на 7,4% с увеличением дозы на 1 Гр. Авторы не нашли корреляции с облучением левой передней нисходящей коронарной артерии.

Авторы статьи пришли к выводу о независимости риска развития осложнений на сердце от размера опухоли и статуса лимфатических узлов. При этом в качестве факторов риска отмечается наличие в анамнезе ишемической болезни сердца до постановки онкологического диагноза, других болезней системы кровообращения, диабета, постоянного употребления анальгетиков, курение, высокий индекс массы тела.

Таблица 2

Новые клинические данные

Авторы, год	Диагноз, число пациентов, годы лечения	OAR	Осложнение	Данные о дозе	Параметры предсказания	NTCP параметры
Darby et al., 2013	Молочная железа, 2168 пациентов, 1958–2001	Сердце	Инфаркт миокарда (МКБ-10 I21-I24), коронарная реваскуляризация и смерть от ишемической болезни сердца (МКБ-10 I20-I25)	6,6 Гр при облучении левой молочной железы, 2,9 Гр для правой (средняя доза на самый орган)	$D_{mean}=2$ Гр 10% $D_{mean}=2-4$ Гр 30% $D_{mean}=5-9$ Гр 40%	—
Van den Bogaard, 2017	Левая молочная железа, 910 пациентов, 2005–2008	Левый желудочек (Mirada RTx)	Аналогично	50,4/1,8 Гр + 14–16,8 Гр (интегрированный буст)	$V_{5Gr}<30\%$ (3–7,5% в зависимости от наличия факторов риска Для группы 80 лет). $V_{5Gr}<50\%$ (2–5% в зависимости от наличия факторов риска Для групп до 60 лет) $V_{25Gr}<5-10\%$ (0,5%) $Mean <4$ Гр $D_2 <10$ Гр	$D_{50}=52,4$ Гр, $\gamma=1,28$, $s=1,00$
Moiseenko et al., 2016	Левая молочная железа (без надключичных, аксиллярных и внутригрудных узлов), 109 пациентов, 2012–2014	Сердце (RTOG)	RTOG (3,4) CTCAE v3 (1–4)	50/2 Гр, 50,4/1,8 Гр	$V_{20}<70\%$ (0%) $V_{30}<65\%$ (0%) $V_{40}<60\%$ (0%)	
Konski et al., 2012	Пищевод 102 пациента*, 2002–2007	Сердце, левый желудочек		50,4 Гр/1,8 Гр		

* Химиолучевое лечение (преимущественно цисплатин и 5-фторурацил). Медиана наблюдения 10,7 мес.

Недавний анализ данных, полученных Darby [18], показывает, что зависимость числа осложнений от средней дозы может быть нелинейной. Авторы использовали данные, полученные Darby, и провели NTCP моделирование. В результате была получена типичная сигмоидальная кривая зависимости риска осложнений от средней дозы на сердце, а приближение Darby о том, что 1 Гр дает 7,4% увеличения риска осложнений, признано некорректным. Выводы о нелинейной зависимости были ранее сделаны также другими авторами [19, 20].

В 2017 г. проведен аналогичный анализ [11]. В исследовании рассматривались 910 пациенток, проходивших курс лучевой терапии по поводу рака левой молочной железы в 2005–2008 гг. Средний доза облучения 50,4 Гр за 28 фракций с интегрированным бустом в 14–16,8 Гр. Медиана наблюдения 7,6 лет. Были выбраны те же критерии осложнений, что и в работе [17]. Для уменьшения ошибки, связанной с человеческим фактором, при оконтуривании сердца и его структур (левый и правый желудочек, левое и правое предсердие) использовались методы автоматического оконтуривания (Mirada RTx [21]).

В работе был проведен многопараметрический регрессионный анализ с использованием тех же прогностических факторов, что и в работе Darby. Аналогично авторам работы [17] было получено кумулятивное увеличение риска развития острой кардиотоксичности (Acute Coronary Event, ACE) на 16,5% в течение 9 лет. Была найдена статистически значимая корреляция со средней дозой, однако главным прогностическим фактором авторы называют V_5 для левого желудочка. Данные о связи вероятности от V_5 для левого желудочка представлены на четырех графиках: без факторов риска, пациенты с сахарным диабетом, пациенты с гипертензией, пациенты с ишемической болезнью. Также пациенты разбиты на группы по возрасту: 40 лет, 50 лет, 60 лет, 70 лет, 80 лет. Вариации вероятности осложнений в зависимости от возраста и других факторов риска значительны. Так, например для группы пациенток

в возрасте 70 лет при $V_{5Gr} < 50\%$ для левого желудочка риск составляет 2,52%, а для пациентов этой же группы с ишемической болезнью в анамнезе 8,42%. Совместный анализ графиков показывает, что, кроме группы пациентов с ишемической болезнью и в возрасте 80 лет, при соблюдении $V_{5Gr} < 30\%$ для всех групп пациентов риск развития осложнений не превышает 5%.

В 2016 г. в свет вышло исследование, проведенное в США и обладающее тем преимуществом, что оно проведено на базе клинических данных, полученных при использовании современных технологий. 109 пациентов, включенных в исследование, были пролечены по поводу рака левой молочной железы в двух центрах, в США и Швеции, в период с 2010 по 2014 г. Из статистики были исключены пациенты, которым требовалось облучение аксиллярных, надключичных и внутригрудных лимфатических узлов. Рассматривались случаи облучения в дозе до 50 Гр по 2 Гр во фракции и в дозе 50,4 Гр по 1,8 Гр. Сердце оконтуривалось в соответствии с рекомендациями RTOG B-39, при планировании минимизировался объем 105% изодозы, не допускались горячие точки выше 110%, при этом 95% изодоза должна была идти как минимум по границе легкого и грудной стенки. Обязательным условием при планировании было соблюдение рекомендаций QUANTEC $V_{25} < 10\%$. Отметим сразу, что часть пациентов лечилась на свободном дыхании, часть с задержкой дыхания. Также в исследовании не рассматривалась доза от буста на ложе опухоли, на 15 пациентах она была оценена как 0,11 Гр, что составляет 10% дозы, получаемой от основного этапа. Параметры для моделирования модели NTCP заимствованы из работы [20]: $TD_{50} = 52,4$ Гр; $\gamma = m = 1,28$; $s = 1,00$ (отвечает за степень «серийности» органа).

В исследовании рассматривалось несколько групп пациентов: пролеченные на свободном дыхании на спине, на животе и с задержкой дыхания. Авторы оценили риск смертности от кардиотоксичности для группы с задержкой дыхания в 0,01%. Для группы пациентов, лечившихся в технике «свободного дыхания», риск оказался менее 1%. Несмотря на то, что критерий $V_{25} < 10\%$ являлся обязательным при планировании, в большинстве случаев были достигнуты значения $V_{25} < 5\%$, а для случая методики с вывешиванием молочной железы в положении на животе и с задержкой дыхания эти значения достигали $V_{25} < 0,5\%$. Авторы акцентируют внимание на том, что даже при достижении значения $V_{25} < 5\%$ есть группа пациентов, риск для которых близок к 1%. Средняя доза на сердце для всех пациентов была меньше 4 Гр.

Оценка корреляции с параметрами DVH показала одинаковую связь осложнений с параметрами V_{25} и D_2 (коэффициент Спирмена 0,95), а также со средней дозой на сердце (коэффициент Спирмена 0,76). При этом наблюдается отсутствие корреляции

с максимальной дозой на сердце (коэффициент Спирмена 0,38).

Результаты, полученные при облучении молочной железы, лимфом и пищевода, не могут сравниваться между собой, поскольку нет полноценной модели, описывающей механизм развития кардиотоксичности [22], а также дающей адекватную оценку значимости различных анатомических структур. В настоящий момент предлагается идея опосредованного микрососудистого и макрососудистого повреждения миоцитов. Постулируется, что ЛТ вызывает острое воспалительное состояние в капиллярах, приводящее к пролиферации и образованию тромбов и обструкции просвета капилляров миокарда [23].

Как отмечалось ранее, равномерное облучение сердца значительно отличается от ситуации облучения, когда высокую дозу получает малый объем, возможно использование только тех ограничений, которые получены в аналогичных условиях облучения.

Группы пациентов в исследованиях, посвященных облучению центрально расположенных локализаций, таких как пищевод и лимфомы, базирующиеся на современных данных, значительно меньше ввиду меньшей распространенности этих заболеваний. Группа исследователей из университета Гронингема провела анализ публикаций, посвященных кардиотоксичности при облучении пищевода [24]. Из 44 публикаций, найденных по интересующей теме, 22 были исключены, поскольку относились к данным по облучению пациентов до 1980 г. Из 13 исследований лишь два содержат группу пациентов более 100 человек и данные по дозиметрическим параметрам облучения [25, 26]. Выводом из проведенного анализа стало заключение о том, что адекватной модели, позволяющей предсказать вероятность развития кардиотоксичности при облучении пищевода пока нет. В работе Konski [26] безопасными уровнями облучения сердца как целого органа названы $V_{20} < 70\%$, $V_{30} < 65\%$, $V_{40} < 60\%$. Однако медиана наблюдения составляет 10,7 мес, в то время как в исследованиях на молочной железе речь идет в основном об отдаленных последствиях. Результатом работы стал любопытный вывод о зависимости частоты осложнений от гендерной принадлежности. Вероятность развития кардиотоксичности у женщин выше. Стоит при этом отметить, что в группе пациентов присутствовало всего 9 женщин, что не обеспечивает стабильную выборку.

Отметим также, что поскольку механизм развития осложнений не очевиден, то существует вероятность того, что на этот процесс влияет также множество других параметров, не выделяемых в большинстве исследований. Так, в работе [27] отмечается специфическая кардиотоксичность в зависимости от того облучается ли сердце и легкие вместе или по отдельности. В большинстве клинических случаев, на которые опираются исследования кардиотоксичности, облучается и то и другое. Многопарамет-

рический регрессионный анализ, проведенный на небольшой группе пациентов с ходжкинской лимфомой (56 человек) [28], показывает, что фактором риска при оценке кардиотоксичности является объем облученного легкого. Несмотря на то, что механизм, связывающий постлучевые осложнения со стороны сердца и легкого, не выяснены, проведенные математические оценки позволяют сделать вывод о необходимости в будущем использовать параметры облучения легкого как фактор риска.

Данные, накопленные к настоящему моменту, представленные в логике QUANTEC, суммированы в табл. 3.

ми, проводившими анализ на базе пациентов, которые лечились с использованием современных технологий. В табл. 3 содержатся обновленные клинические данные.

5. Обычно при планировании требуется оценивать множество параметров DVH. Процедура оценки должна быть унифицирована и документирована. В разных системах планирования для этого используются разные инструменты. Например, в Eclipse, как было отмечено ранее, удобно пользоваться скриптами [12].

6. Облучение левой молочной железы на задержке дыхания доказало свою эффективность. При

Таблица 3

Обобщенные данные

Орган	Объем для оценки	Тип облучения	Критерий оценки	Параметры: доза, Гр/доза/объем, Гр/%	Вероятность, %	Комментарий
Сердце	Целый орган	3D-ЛТ	Смерть от сердечной патологии	$V_{25} < 5-10\%$ $D_2 < 10\%$ $D_{mean} < 4\text{Гр}$	< 1	
Сердце	Целый орган	2D-ЛТ	Инфаркт миокарда (МКБ-10 I21-I24), смерть от ишемической болезни сердца (МКБ-10 I20-I25)	$D_{mean} = 2\text{ Гр}$ $D_{mean} = 2-4\text{ Гр}$ $D_{mean} = 5-9\text{ Гр}$	10 30 40	Оценка риска на базе популяционного исследования
Сердце	Целый орган	3D-ЛТ	Смерть от сердечной патологии	$V_{25} < 10\%$	< 1	Оценка риска на базе моделирования

Заключение. Дискуссия относительно кардиотоксичности при ЛТ продолжается. С момента публикации QUANTEC накопился ряд данных, которые проанализированы в представленной работе. На их основе можно сформулировать следующие практические рекомендации.

1. При оценке дозы на сердце, равно как и всех прочих критических органов, возможно исходить только из данных, полученных для того типа облучения (например, тангенциальное облучение левой молочной железы), которое будет использовано.

2. При анализе данных литературы стоит учитывать, что проводить аппроксимацию на другие методы можно только на основе NTCP или иного биологического моделирования, но не прямым способом.

3. Совершенно необходимо соблюдать рекомендации QUANTEC $V_{25} < 10\%$ — как по причине значимости этого параметра в предсказании кардиотоксичности, так и по причине возможности дальнейшего сравнения данных разных исследователей.

4. Необходимо также максимально придерживаться параметров, предложенных исследователя-

налиции технической возможности вне зависимости от увеличения длительности лечения эта возможность должна быть использована. В оценке частоты осложнений должны быть проанализированы как положения пациентов при планировании и облучении, так и использование различных фиксирующих приспособлений.

7. Анатомические особенности каждого пациента могут быть причиной индивидуальных проявлений осложнений ЛТ. Выработка рекомендаций в зависимости от анатомо-топометрических данных окажет существенное влияние на выбор способа лучевого лечения.

8. Объективных данных о кардиотоксичности при лечении молочной железы в техниках с модуляцией интенсивности (IMRT/VMAT) пока нет. Разумным представляется применение гибридных техник, когда $2/3$ дозы отпускается с тангенциальных полей, а $1/3$ — с модуляцией интенсивности.

9. При наличии факторов риска, которые с каждым годом уточняются и обновляются, лучше предписывать наименьшую возможную дозу.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Emami B., Lyman J., Brown A. et al. Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation, 1991, Vol. 21, pp. 109–122.
2. Marks L.B., Haken R.K., Martel M.K. et al. Guest editor's introduction to quantec: a users guide, 2010, Vol. 76, No. 3, pp. 1–2.
3. Bentzen S.M., Constine L.S., Deasy J.O. et al. Quantitative analyses of normal tissue effects in the clinic (QUANTEC): an introduction to the scientific issues, *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 2010, Vol. 76, No. 3, pp. 3–9.

4. Marks B.L., Yorke E.D., Jackson A. et al. Use of normal tissue complication probability models in the clinic, *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 2010, Vol. 76, No. 3, pp. 10–19.
5. Allen Li X., Alber M., Deasy J.O. et al. The use and QA of biologically related models for treatment planning: short report of the TG-166 of the therapy physics committee of the AAPM, *Med. Phys.*, 2012, Vol. 39, No. 3, pp. 1386–409.
6. Lyman J.T. Complication probability as assessed from dose-volume histograms. *Radiat. Res.*, 1985, Vol. 8, pp. 13–19.
7. Kutcher G.J., Burman C., Brewster L. et al. Histogram reduction method for calculating complication probabilities for three-dimensional treatment planning evaluations, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 1991, Vol. 21, pp. 137–146.
8. Burman C., Kutcher G.J., Emami B. et al. Fitting of normal tissue tolerance data to an analytic function, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 1991, Vol. 21, pp. 123–135.
9. Niemierko A. A generalized concept of equivalent uniform dose (EUD). *Med. Phys.*, 1999, Vol. 26, pp. 1100.
10. Mohan R., Mageras G.S., Baldwin B. et al. Clinically relevant optimization of 3-D conformal treatments. *AAPM*, 1992, Vol. 19, pp. 933–944.
11. Van den Bogaard V.A.B., Ta B.D.P., van der Schaaf A. et al. Validation and Modification of a Prediction Model for Acute Cardiac Events in Patients with Breast Cancer Treated with Radiotherapy based on Three-Dimensional dose distributions to Cardiac Substructures. *J. Clin Oncol.*, 2017, Vol. 35, No. 11.
12. Varian Developer Forum. <https://variandeveloper.codeplex.com/SourceControl/latest>
13. Gagliardi G., Constine L.S., Moiseenko V. et al. Radiation dose-volume effects in the heart. *Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys.*, 2010, Vol. 73, No. 3, pp. S77–S85.
14. Nieder C., Schill S., Kneschaurek et al. Influence of different treatment techniques on radiation dose to the LAD coronary artery. *Radiat Oncol.*, 2007, Vol. 2, p. 20.
15. RTOG. <https://www.rtog.org/CoreLab/ContouringAtlases.aspx>
16. Jackson A., Yorke E.D., Marks L.B. et al. The lessons of QUANTEC: recommendations for reporting and gathering data on dose-volume dependencies of treatment outcome. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 2010, Vol. 76, pp. S155–160.
17. Darby S.C., Ewertz M., McGale P. et al. Risk of ischemic heart disease in women after radiotherapy for breast cancer. *N. Engl. J. Med.*, 2013, Vol. 368, pp. 987–998.
18. Schneider U., Ernst M., Hartmann M. The dose-response relationship for cardiovascular disease is not necessarily linear. *Radiat Oncol.*, 2017, Vol. 12, pp. 74.
19. Eriksson F., Gagliardi G., Liedberg A. et al. Long-term cardiac mortality following radiation therapy for Hodgkin's disease: analysis with the relative seriality model. *Radiother Oncol.*, 2000, Vol. 55, pp. 153–162.
20. Gagliardi G., Lax I., Ottolenghi A. et al. Long-term cardiac mortality after radiotherapy of breast cancer: application of the relative seriality model. *Brit. J. Radiol.*, 1996, Vol. 69, pp. 839–846.
21. Van Dijk-Peters F.B.J., Sijtsma N.M., Kierkels R.G.J. et al. Validation of a multi-atlas based autosegmentation of the heart in breast cancer patients. *Radiother Oncol.*, 2015, Vol. 115, pp. 132–133.
22. Schultz-Hector S., Trott K.R. Radiation-induced cardiovascular diseases: is the epidemiologic evidence compatible with the radiobiologic data? *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2007, Vol. 67, pp. 10–18.
23. Sardaro A., Petruzzelli M.F., D'Errico M.P. et al. Radiation-induced cardiac damage in early left breast cancer patients: risk factors, biological mechanisms, radiobiology, and dosimetric constraints. *Radiother. Oncol.*, 2012, Vol. 103, pp. 133–142.
24. Beukema J.C., van Luijk P., Widder J. et al. Is cardiac toxicity a relevant issue in the radiation treatment of esophageal cancer? *Radiotherapy and Oncology*, Vol. 114, pp. 80–85.
25. Wei X., Liu H.H., Tucker S.L., Wang S. et al. Risk factors for pericardial effusion in inoperable esophageal cancer patients treated with definitive chemoradiation therapy. *Int. J. Radiat Oncol Biol Phys.*, 2008, Vol. 70, pp. 707–714.
26. Konski A., Li T., Christensen M., Cheng J.D. et al. Symptomatic cardiac toxicity is predicted by dosimetric and patient factors rather than changes in 18F-FDG PET determination of myocardial activity after chemoradiotherapy for esophageal cancer. *Radiother Oncol.*, 2012, Vol. 104, pp. 72–77.
27. Ghobadi G., van der Veen S., Bartelds B. et al. Physiological interaction of heart and lung in thoracic irradiation. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 2012, Vol. 84, No. 5, pp. 639–646.
28. Cella L., Liuzzi R., Conson M. Modeling of Heart Valve Dysfunction in Hodgkin Lymphoma Survivors. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 2013, Vol. 87, No. 2, pp. 304–331.

Поступила в редакцию: 7.09.2017 г.

Контакт: Лебедева Жанна Сергеевна, zhanna-med.phys@mail.ru

Сведения об авторах:

Лебедева Жанна Сергеевна — кандидат физико-математических наук, медицинский физик, Первый Санкт-Петербургский Государственный Медицинский Университет им. И. П. Павлова, 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого 6/8, zhanna-med.phys@mail.ru.

Литвинов Андрей Петрович — заведующий радиологическим отделением, ассистент кафедры рентгенологии и радиационной медицины, Первый Санкт-Петербургский Государственный Медицинский Университет им. И. П. Павлова, 197022, Санкт-Петербург, ул. Льва Толстого 6/8, apetrovich@me.com.