

УДК 616.12

<http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-1-52-58>

© Драгунов Д.О., Першина Е.С., Соколова А.В., Проскурина М.Ф., Арутюнов Г.П., Митрохин В.М., 2020 г.

## ВЫЯВЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА НАТРИЯ В МИОКАРДЕ В УСЛОВИЯХ НАТРИЕВОЙ НАГРУЗКИ С ПОМОЩЬЮ ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

<sup>1</sup>Д. О. Драгунов\*, <sup>2</sup>Е. С. Першина, <sup>1</sup>А. В. Соколова, <sup>3</sup>М. Ф. Проскурина, <sup>1</sup>Г. П. Арутюнов, <sup>1</sup>В. М. Митрохин<sup>1</sup>Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова, Москва, Россия<sup>2</sup>Городская клиническая больница № 1 им. Н. И. Пирогова, Москва, Россия<sup>3</sup>Департамент Компьютерной Томографии, GE Healthcare, Москва, Россия

**Введение.** Учитывая прямую взаимосвязь между уровнем потребления натрия (Na), артериальной гипертензией с последующим развитием сердечной недостаточности, достаточно вероятным представляется гипотеза непосредственного влияния избыточного накопления Навгликозаминогликанах миокарда, что в дальнейшем может способствовать возникновению диастолической дисфункции и сердечной недостаточности. **Цель исследования:** выявление избыточного количества натрия у крыс, находящихся в условиях натриевой нагрузки, в сравнении с крысами, находящимися на нормальном уровне потребления натрия. **Материалы и методы.** Десять самцов крыс рода Wistar с одинаковой массой тела были разделены на две группы: группа избыточного потребления соли и группа нормального потребления соли. Оценка количества натрия и NaCl в миокарде животных была выполнена при двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ) образцов. Сканирование образцов выполняли на томографе RevolutionGSI (GEHealthcare). Для статистической обработки полученных данных использовали язык R. **Результаты исследования** показали: накопление натрия и NaCl, не зависит от среднего уровня потребления корма животным, отсутствует корреляция между весом и уровнем накопления избытка натрия в тканях, уровень натрия и NaCl в ткани миокарда значимо повышают вероятность высокосолевого диеты у крысы, выявлена зависимость между содержанием натрия в миокарде и NaCl + H<sub>2</sub>O. **Заключение.** Эксперимент подтвердил наличие достоверной связи вычисленных на основании ДЭКТ значений соединений натрия с содержанием этих соединений в образцах. Малое количество образцов не позволило нам рассчитать нормализованные показатели для крыс, однако мы отметили четкое различие между контрольной группой и группой с высоким содержанием натрия в диете.

**Ключевые слова:** натрий, миокард, сердечная недостаточность, двухэнергетическая компьютерная томография

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Драгунов Д.О., Першина Е.С., Соколова А.В., Проскурина М.Ф., Арутюнов Г.П., Митрохин В.М. Выявление избыточного количества натрия в миокарде в условиях натриевой нагрузки с помощью двухэнергетической компьютерной томографии // *Лучевая диагностика и терапия*. 2020. Т. 6, № 1. С. 52–58, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-1-52-58>.

Контакт: Драгунов Дмитрий Олегович, [tatops2211@gmail.com](mailto:tatops2211@gmail.com)

© Dragunov D.O., Pershina E.S., Sokolova A.V., Proskurina M.F., Arutyunov G.P., Mitrokhin V.M., 2020

## DETECTION OF EXCESS SODIUM IN THE MYOCARDIUM UNDER CONDITIONS OF SODIUM LOADING USING DUAL-ENERGY COMPUTED TOMOGRAPHY

<sup>1</sup>Dmitriy O. Dragunov\*, <sup>2</sup>Ecatherina S. Pershina, <sup>1</sup>Anna V. Sokolova, <sup>3</sup>Marina F. Proskurina,<sup>1</sup>Gregory P. Arutyunov, <sup>1</sup>Vadim M. Mitrokhin<sup>1</sup>Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia<sup>2</sup>City Clinical Hospital No. 1 named after N. I. Pirogov, Moscow, Russia<sup>3</sup>Department of Computed Tomography, GE Healthcare, Moscow, Russia

**Introduction.** The direct relationship between the level of sodium intake, arterial hypertension, followed by the development of heart failure, a hypothesis of the direct influence of excessive sodium accumulation in myocardial glycosaminoglycans seems quite probable, which can further contribute to the occurrence of diastolic dysfunction and heart failure. The aim of the study was to identify excess sodium in rats under conditions of sodium loading, in comparison with rats at a normal level of sodium intake. **Materials and methods.** Ten male Wistar rats with the same body weight were divided into two groups: the excess salt intake group and the normal salt intake group. Estimation of the amount of Na and NaCl in the animal myocardium was performed using dual energy computed tomography (DECT) samples. Samples were scanned on a Revolution GSI tomograph (GE Healthcare). For statistical processing of the obtained data, the R language was used. **Results.** The results of the study showed that the accumulation of Na and NaCl does not depend on the average level of animal feed intake, there is no correlation between weight and accumulation of excess Na in tissues, the level of Na and NaCl detected in myocardial tissue significantly increases the likelihood of a high salt diet in rats, and a relationship between the content Na in the myocardium and NaCl + H<sub>2</sub>O. **Conclusion.** The experiment confirmed the existence of a reliable relationship between the sodium compounds calculated on the basis of DECT and the

content of these compounds in the samples. The small number of samples did not allow us to calculate normalized rats, but we noted a clear difference between the control group and the high sodium diet.

**Key words:** sodium, myocardium, heart failure, dual-energy computed tomography

**Conflict of interest:** the authors stated that there is no potential conflict of interest.

**For citation:** Dragunov D.O., Pershina E.S., Sokolova A.V., Proskurina M.F., Arutyunov G.P., Mitrokhin V.M. Detection of excess sodium in the myocardium under conditions of sodium loading using dual-energy computed tomography // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2020. Vol. 6, No. 1. P. 52–58, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2020-11-1-52-58>.

Contact: Dragunov Dmitry Olegovich, [tamops2211@gmail.com](mailto:tamops2211@gmail.com).

**Введение.** Еще в 1980 г. в работах Ганса Селье было показано негативное влияние солей натрия (Na) на миокард, в том числе и избытка NaCl. На сегодняшний день существуют данные негативного влияния натриевой нагрузки на функцию миокарда в виде снижения его диастолической функции [1]. Однако авторы в своих работах Laffer C.L. et al. показали изменения жесткости миокарда, что привело к изменению его диастолической функции, но не показали, что натрий депонируется в гликозаминогликанах (ГАГ) и в интерстициальном пространстве миокарда, также как в мышцах. В наших работах по изучению сердца внезапно умерших пациентов нам удалось найти взаимосвязь между концентрацией натрия и артериальной гипертензией, которая наблюдалась при жизни у этих пациентов, кроме того отмечалась корреляция содержания натрия и возрастом умерших [2]. Учитывая, что уровень потребления натрия в современном обществе составляет 12 г и более в сутки [3], человек постоянно находится в состоянии «натриевой перегрузки». Учитывая прямую взаимосвязь между уровнем потребления натрия, артериальной гипертензией и развитием сердечной недостаточности, ведущей причиной, которой во всех развитых странах мира является именно гипертоническая болезнь, достаточно вероятным представляется гипотеза непосредственного влияния избыточного накопления натрия на ГАГ миокарда, что в дальнейшем способствует диастолической дисфункции и сердечной недостаточности со снижением фракции выброса.

**Целью исследования** является выявление избыточного количества натрия у крыс, находящихся в условиях натриевой нагрузки, в сравнении с крысами, находящимися на нормальном уровне потребления натрия.

**Материалы и методы.** Все эксперименты на животных проводились в соответствии с руководящими принципами Американского общества физиологии и были одобрены этическим комитетом. Десять самцов крыс рода Wistar в возрасте от 15 до 16 недель с одинаковым весом тела были разделены на две группы:

— группа избыточного потребления соли (высокосолевая, группа вмешательства) с весом тела в среднем  $252,0 \pm 67,4$  г (маркировка крыс В1, В2, В3, В4, В5);

— группа нормального потребления соли (бессолевая, контрольная группа) с весом тела в среднем  $297,4 \pm 68,4$  г (маркировка крыс К6, К7, К8, К9, К10).

**Протокол кормления животных.** Согласно протоколу первые 3 недели все крысы получали 15 г корма на 200 г массы тела. Начиная с третьей недели крысам давали разные диеты. Диета считалась низкосолевой, если содержание Na в пище на 200 г массы тела крысы составляло 0,2 мэкв/сут. Высоосолевая диета считалась, если содержание Na в пище на 200 г массы тела крысы составляло 2,0 мэкв/сут [4, 5]. Все увеличения содержания Na в диете проводились на фоне стандартного кормления крыс с нормальным уровнем потребления H<sub>2</sub>O (деионизированная H<sub>2</sub>O 25 мл / 15 г корма). Время нахождения на высокосолевой диете составило 8 недель, до возникновения гипертрофии миокарда [6].

Через 8 недель крыс анестезировали метогекситом (100 мг/кг массы тела внутривенно) и декапетировали. Был забран материал — сердца, фиксированы в 10% забуференном нейтральном формалине для дальнейшего проведения двухэнергетической компьютерной томографии (ДЭКТ).

**Протокол проведения ДЭКТ.** Оценка количества натрия и NaCl в миокарде животных была выполнена также при ДЭКТ образцов. Сканирование образцов выполняли на томографе RevolutionGSI (GEHealthcare). На данном томографе опция одноментного двухэнергетического сканирования реализована за счет переключения на трубке 80 и 140 кВ, интервал между излучениями составляет 0,25 мс, детектор GSI обеспечивает точный сбор данных с таким минимальным интервалом между излучениями. Оценка количества Na проводилась на рабочей станции AW 4.7 (GEHealthcare) в программе GSIVIEWER. Для этого были построены карты разделения материалов натрия с вычитанием H<sub>2</sub>O и NaCl с вычитанием H<sub>2</sub>O, на этих картах оценили среднее количество указанных соединений в миокарде. Показатели измерений приведены в табл. 1. Анализировали количество натрия и NaCl, H<sub>2</sub>O на картах с вычитанием натрия и NaCl (H<sub>2</sub>O|Na и H<sub>2</sub>O|NaCl), а также рентгеновскую плотность миокарда (HU).

**Методы статистической обработки данных.** Для статистической обработки полученных данных использовали язык R с программной средой RStudio использовали пакеты readxl, psych, ggplot2, ggpubr, dplyr, tidyр. Нормальность распределения определяли с помощью критериев Шапиро–Уилка и Колмогорова–Смирнова, асимметрии и экспресса, построение графиков распре-

Таблица 1

## Описательные статистики\*

Table 1

## Descriptive Statistics\*

Показатель	Группа	Средние	Медиана	Q0,25	Q0,75	p. value
Масса, г	Бессолевая	424,1±43,3	400	393	450	0,13
	Высокосолевая	407±27,2	404	382,2	428,8	
Длина, см	Бессолевая	25,7±1	25	25	27	0,58
	Высокосолевая	25,5±0,9	25	25	25,5	
Гипертрофия ЛЖ	Бессолевая	4,6±0,5	5,0	4,0	5,0	<0,0001
	Высокосолевая	6,0±0,0	6,0	6,0	6,0	
Na КТ	Бессолевая	43,5±9,3	40,6	35,4	51,1	0,04
	Высокосолевая	30,5±13,2	30	19	43,5	
НУ КТ	Бессолевая	41,6±5,7	41,3	35,3	45,6	0,13
	Высокосолевая	44,5±5,3	45,5	42,8	47,3	
H <sub>2</sub> O   NaCl КТ	Бессолевая	1068,4±13,7	1070	1059	1080	0,55
	Высокосолевая	1065,8±5,6	1067,5	1063,8	1069,5	
NaCl КТ	Бессолевая	11,9±2,4	13,2	10,2	13,3	0,014
	Высокосолевая	7,6±3,5	7,6	4,6	10,6	
H <sub>2</sub> O   Na КТ	Бессолевая	1081,6±38,7	1095	1091	1102	0,042
	Высокосолевая	1072±20,7	1076	1057	1091	

Примечание: ЛЖ — левый желудочек, Na КТ — натрий, определенный методом компьютерной томографии, НУ КТ — рентгеновскую плотность миокарда, определенная методом компьютерной томографии, H<sub>2</sub>O | NaCl КТ — хлорид натрия с учетом H<sub>2</sub>O в миокарде, определенная методом компьютерной томографии, NaCl КТ — хлорид натрия в миокарде, определенная методом компьютерной томографии, H<sub>2</sub>O | Na КТ — натрий с учетом H<sub>2</sub>O в миокарде, определенная методом компьютерной томографии.

\* Представлены данные без учета образца В4.

Note: LV — left ventricle, Na CT — sodium determined by computed tomography, HU CT — X-ray myocardial density determined by computed tomography, H<sub>2</sub>O | NaCl CT — sodium chloride taking into account H<sub>2</sub>O in the myocardium, determined by computed tomography, NaCl CT — sodium chloride in the myocardium, determined by computed tomography, H<sub>2</sub>O | Na CT — sodium taking into account H<sub>2</sub>O in the myocardium, determined by computed tomography.

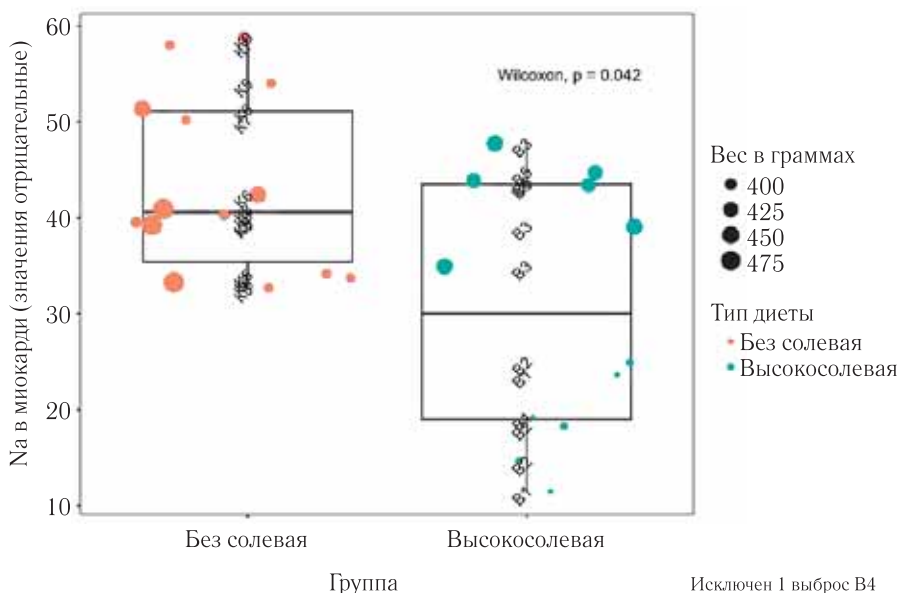
\* Presents data excluding sample B4.

ления. Применяли методы непараметрической и параметрической статистики. Количественные показатели представлены в виде среднего значения (M) и стандартного отклонения (SD) или медианы, 25 и 75 перцентилей. Различия между переменными проверяли с помощью дисперсионного анализа, критерия Стьюдента при правильном распределении и критерия Манна–Уитни при неправильном. Если данные были представлены в номинальной шкале, различия изучали с помощью критерия  $\chi^2$  Пирсона. Для изучения зависимости переменных между собой и моделирования данных использовался логистический регрессионный анализ. При проверке статистических гипотез нулевую гипотезу отвергали при уровне значимости менее 0,05.

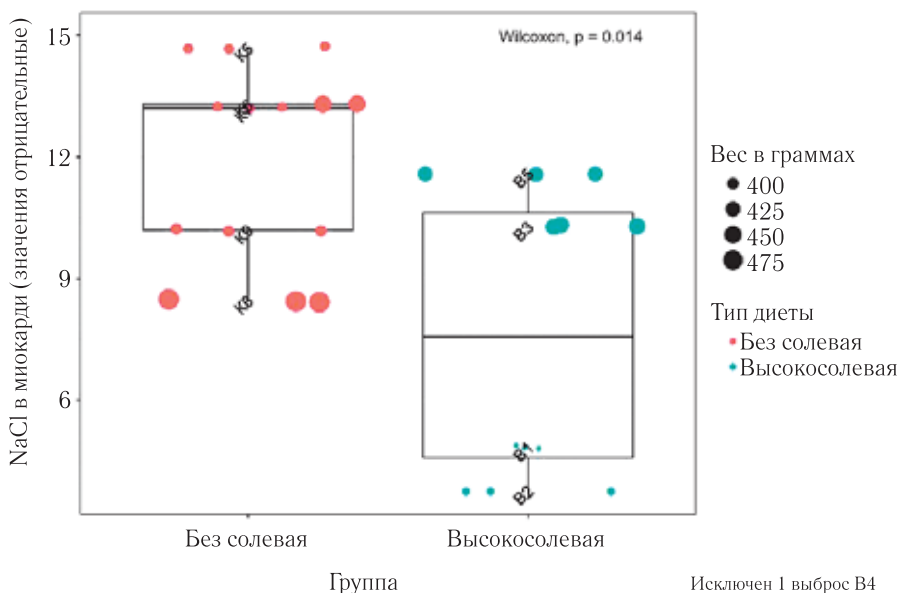
**Характеристика экспериментальной группы.** В табл. 1 представлены основные характеристики крыс линии Вистар. Как можно видеть, масса тела в группах к моменту окончания эксперимента значительно не отличался, хотя можно отметить, что в группе крыс, находящихся на высокосолевогой диете, масса тела была несколько ниже. Обращает на себя внимание несколько большие размеры стенки левого желудочка у крыс на высокосолевогой диете  $6,0 \pm 0,01$  ( $p < 0,0001$ ). Дельта прироста веса у крыс на высокосолевогой диете составила 76,2 (20; 116) г, на низкосолевогой —  $40,4 \pm 7,3$  г ( $W = 15$ ,  $p\text{-value} = 0,69$ ).

Особого внимания заслуживает крыса из группы высокосолевогой диеты № 4 («В4»): в процессе анализа мы обратили внимание на значительно более низкая масса тела крысы 334 г при средней массе тела крыс в группе  $407 \pm 27,2$  г, также крыса «В4» обладала минимальной длиной по сравнению со всей группой 21 см, при этом толщина стенки левого желудочка составила 7 мм. При анализе лабораторных журналов наблюдения было обнаружено, что «В4» потребляла минимальное количество корма. В связи с этим, а также аномальным поведением результатов, полученных при исследованиях миокарда данной крысы, ее результаты были исключены из анализа.

Результаты и их обсуждение. Содержание натрия, NaCl и H<sub>2</sub>O в миокарде крыс. С помощью ДЭКТ было проанализировано, содержание натрия в миокарде крыс, находящихся на разных типах диеты. Из рис. 1 и 2 можно видеть, что присутствуют различия в концентрации как натрия, так и NaCl в группах, причем более значимый результат был продемонстрирован в уровне NaCl. Также анализируя массу тела животных, можно прийти к выводу, что накопление натрия и NaCl не зависело от этого показателя: так, в группе высокого потребления натрия животные с меньшей массой тела имели большую



**Рис. 1.** Сравнение групп высоко- и низкосолевой диеты по содержанию натрия в миокарде  
**Fig. 1.** Comparison of the high and low salt diet groups in terms of Na in the myocardium



**Рис. 2.** Сравнение групп высоко- и низкосолевой диеты по содержанию NaCl в миокарде  
**Fig. 2.** Comparison of the high and low salt diet groups in terms of NaCl in the myocardium

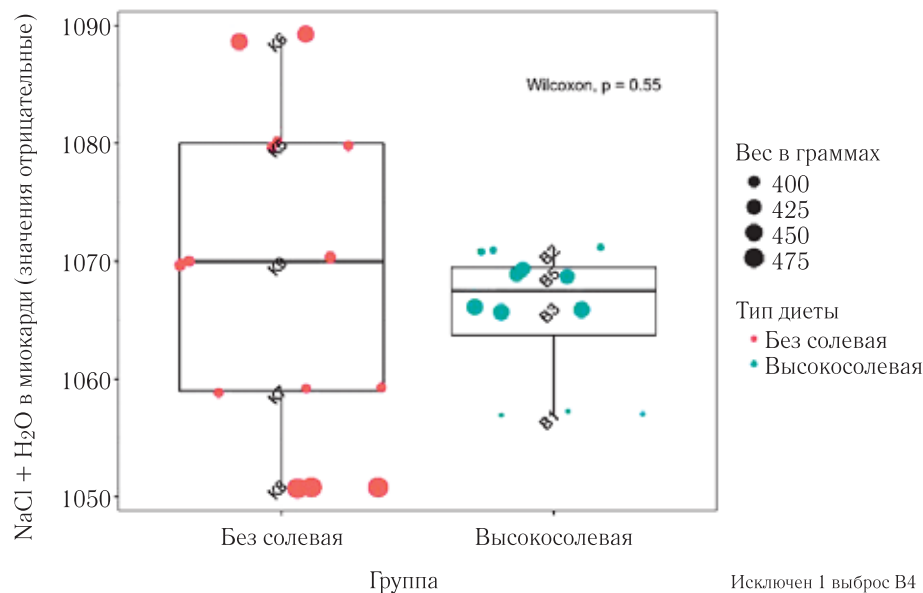
концентрацию натрия в тканях, в группе низкого потребления — наоборот. Это говорит о том, что накопление натрия и NaCl, не зависело от среднего уровня потребления корма животным, а также о том, что отсутствует корреляция между массой тела и уровнем накопления избытка натрия в тканях.

Совместный анализ содержания NaCl и H<sub>2</sub>O различий в группах не показал, однако в контрольной группе этот параметр в большей степени был связан с массой тела животного (рис. 3).

**Регрессионный анализ.** Для выявления зависимости между уровнем потребления натрия и другими параметрами, измеренными с помощью ДЭКТ, был последовательно построен ряд логит-регрессионных моделей. В результате анализа было получено три

наиболее удачные модели, представленные в табл. 2. Параметр «содержание натрия в ткани миокарда» был достоверным во всех моделях, наименьшая его значимость была выявлена в третьей модели, где учитывалась взаимосвязь с уровнем рентгеновской плотности. Сама по себе рентгеновская плотность ткани значимого влияния не продемонстрировала. Более значимые результаты демонстрируют 1 и 2 модели, где уровень выявленного натрия и NaCl в ткани миокарда значимо повышают вероятность высокосолевой диеты у крысы. Также стоит отметить, что важным является параметр комбинации натрия и H<sub>2</sub>O как в первой и второй модели.

На рис. 4 представлена зависимость между содержанием натрия в миокарде и NaCl + H<sub>2</sub>O. Из графика



**Рис. 3.** Сравнение групп высоко- и низосолевой диеты по содержанию NaCl и H<sub>2</sub>O в миокарде.

**Fig. 3.** Comparison of the high and low salt diet groups for the content of sodium chloride and water in the myocardium

Таблица 2

### Логит-регрессионные модели

Table 2

#### Logite Regression Models

Связь содержания натрия, NaCl и H <sub>2</sub> O в миокарде с уровнем потребления натрия			
	Зависимая переменная		
	Тип диеты		
	(1)	(2)	(3)
Na и H <sub>2</sub> O	-0,1* (-0,3; 0,002)	-0,1 (-0,2; 0,03)	
Rg плотность			-0,7 (-1,5; 0,2)
Na	-4,4** (-8,4; -0,4)		-1,1* (-2,1; 0,01)
Комбинация Na + Na H <sub>2</sub> O	0,004** (0,000, 0,01)		
NaCl		-17,9* (-36,0; 0,2)	
Комбинация NaCl + Na H <sub>2</sub> O		0,02* (-0,000; 0,03)	
Rg плотность + Na			0,02* (-0,000; 0,05)
Constant	148,0** (0,02; 296,0)	108,6 (-35,2; 252,4)	31,1 (-7,0; 69,3)
Объекты	29	29	29
LogLikelihood	-13,7	-12,8	-14,6

Достоверность:

\* p<0,1; \*\* p<0,05; \*\*\* p<0,01

The relationship between the content of Na, NaCl and H<sub>2</sub>O in the myocardium with the level of Na consumption.

ка можно видеть наибольшую линейную зависимость и более высокий уровень корреляции ( $r=0,91$ ;  $p<0,0001$ ) в группе высокого потребления соли, тогда как контрольная группа фактически не обладает какой-либо зависимостью ( $r=0,087$ ;  $p=0,77$ ). Таким образом, можно видеть, что для крыс с наибольшим содержанием натрия в ткани миокарда характерно и большое количество комбинированного параметра NaCl и H<sub>2</sub>O. При этом количество натрия и NaCl не зависело от массы тела животного.

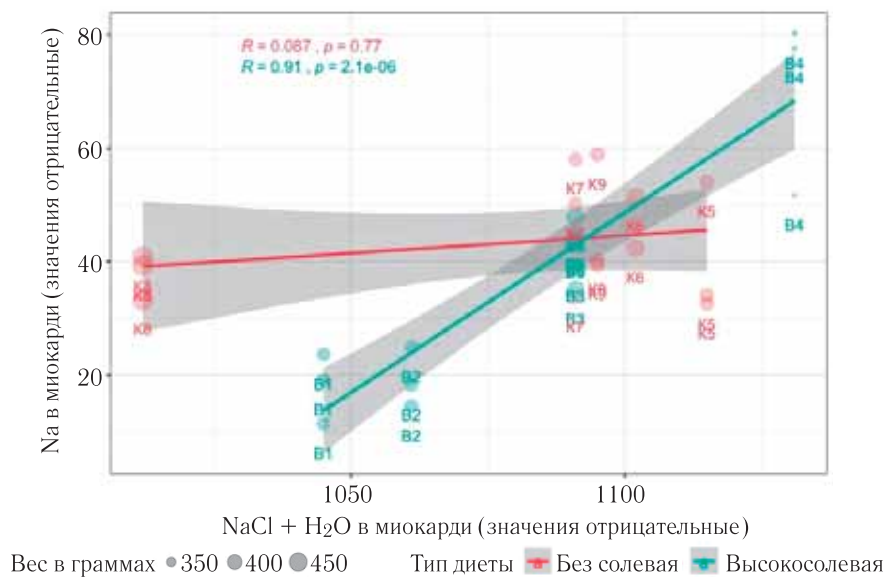
С момента начала эксплуатации сканеров с технологией ДЭКТ уже накопилось большое количество публикаций, подтверждающих эффективность метода в дифференциальной диагностике патологически

измененных и здоровых тканей и органов на основании в различии химического состава [7–10]. Именно поэтому нас заинтересовал этот метод как возможность оценить химический состав в тканях живого организма.

В методе ДЭКТ анализ химического состава тканей основан на алгоритме разделения (декомпозиции) материалов [8].

Разделение материалов основано на учете стандартных коэффициентов поглощения для анализируемых материалов при всех значениях энергии рентгеновского излучения в диапазоне анализируемых спектров (от 40 до 140 кэВ). Это позволяет при обработке данных определить плотность каждого





**Рис. 4.** Взаимосвязь содержания натрия и комбинации NaCl с H<sub>2</sub>O у крыс, находящихся на диете с разным содержанием натрия

**Fig. 4.** Relationship between Na and NaCl water combinations in rats on a diet with different Na contents

из заданных материалов в вокселе сканированной области на основании коэффициентов поглощения, вычисленных для двух спектров рентгеновского излучения, и построить изображения, соответствующие распределению плотности каждого материала в отсканированном срезе [11–13]. Обычно строится карта распределения для пары материалов отражая распределение одного материала за вычитанием второго. В пару стандартно берется один из базовых материалов (йод, H<sub>2</sub>O, кальций).

Построенные изображения распределения материала это уже не стандартное рентгеновское изображение распределения рентгеновской плотности в отсканированном срезе и измеренные в области интереса показатели соответствуют на этих изображениях не истинной рентгеновской плотности воксела, а количеству в вокселе анализируемого вещества (в мг/см<sup>3</sup>), по которому изображение взвешено [14].

Данная возможность ДЭКТ определить количество изучаемого химического соединения в тканях широко используется в различных клинических исследованиях. Так, Nathan S. Artz и соавт. (2012) в эксперименте на животных и в исследованиях на фантомах показали хорошую корреляцию между реальным содержанием триглицеридов в образцах и значением плотности жира в срезе при ДЭКТ, с одной стороны, и построением карт разделения материалов жир/H<sub>2</sub>O и оценкой эффективного атомного числа в области интереса (eff-Z) — с другой, что позволило авторам утверждать: ДЭКТ без контрастного усиления может использоваться для количественной оценки содержания жира в ткани и позволяет определить содержание триглицеридов с такой же точностью, как магнитно-резонансная томография (МРТ) [15]. В работе Desiree E. Morgan и соавт. (2013) [16] показана статистическая достоверность оценки содержа-

ния жира в образованиях надпочечников, что позволяет без дополнительного контрастного КТ-исследования и МРТ выделить группу новообразований надпочечников с высоким содержанием липидов. В подобном исследовании Achille Mileto и соавт. (2015) подтвердили возможность дифференцировать аденомы надпочечников от не-аденом на основании спектрального анализа в ДЭКТ с внутривенным контрастированием без дополнительного использования нативного исследования и применения МРТ с чувствительностью 96% и специфичностью 100% [17]. Работ, в которых изучали содержание натрия в тканях животных, мы не встретили.

**Заключение.** Понятно, что на основании сканирования в режиме ДЭКТ точно построить кривую поглощения для химического соединения невозможно, так как проводится только два измерения вместо множественных, поэтому в таком эксперименте можно оценить количество вещества, значительно отличающегося от состава тканей.

Поэтому одной из задач нашего исследования было изучение возможности выполнения оценки соединений натрия в животных тканях с помощью ДЭКТ. Эксперимент подтвердил наличие достоверной связи вычисленных на основании ДЭКТ значений соединений натрия с содержанием этих соединений в образцах. Малое количество образцов не позволило нам рассчитать нормализованные показатели для крыс, однако мы отметили четкое различие между контрольной группой и группой с высоким содержанием натрия в диете. Как видно из таблицы зависимость в цифровых показателях имеет обратную направленность, что отражает не абсолютный а относительный характер измерений, подобная тенденция отмечалась также в работах по определению жира в надпочечниках [16].

\*\*\*

Работа выполнена на базе кафедры пропедевтики внутренних болезней педиатрического факультета и научно-исследовательской лаборатории электрофизиологии Российского

национального исследовательского медицинского университета им. Н. И. Пирогова.

Исследование выполнено по личной инициативе авторов.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Laffer C.L. et al. Hemodynamics and Salt-and-Water Balance Link Sodium Storage and Vascular Dysfunction in Salt-Sensitive Subjects: Novelty and Significance // *Hypertension*. 2016. Vol. 68, No. 1. P. 195–203. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.116.07289.
- Арутюнов Г.П. et al. Влияние уровня общего натрия, депонированного в миокарде, на его жесткость // *Терапевтический архив*. 2017. Т 89, № 1. С. 32–37. [Arutyunov G.P. et al. The effect of the level of total sodium deposited in the myocardium on its stiffness. *Therapeutic Archive*, 2017, Vol. 89, No. 1, pp. 32–37 (In Russ.)]. doi: 10.17116/terarkh201789132-37.
- Oh Y.S. et al. National Heart, Lung, and Blood Institute Working Group Report on Salt in Human Health and Sickness // *Hypertension*. 2016. Vol. 68, No. 2. P. 281–288. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.116.07415
- Kwon T.-H. et al. Regulation of collecting duct AQP3 expression: response to mineralocorticoid // *Am. J. Physiol. — Ren. Physiol.* 2002. Vol. 283, No. 6. P. F1403–F1421. doi: 10.1152/ajprenal.00059.2002
- Kim G.-H. et al. The thiazide-sensitive Na–Cl cotransporter is an aldosterone-induced protein // *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 1998. Vol. 95, No. 24. P. 14552–14557.
- Patten R.D., Hall-Porter M.R. Small Animal Models of Heart Failure Development of Novel Therapies, Past and Present // *Circ. Heart Fail.* 2009. Vol. 2, No. 2. P. 138–144. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.108.839761
- Karçaaltıncaba M., Aktaş A. Dual-energy CT revisited with multidetector CT: review of principles and clinical applications // *Diagn. Interv. Radiol. Ank. Turk.* 2011. Vol. 17, No. 3. P. 181–194. doi:10.4261/1305-3825.DIR.3860–10.0
- Siegel M.J. et al. White Paper of the Society of Computed Body Tomography and Magnetic Resonance on Dual-Energy CT, Part 1: Technology and Terminology // *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2016. Vol. 40, No. 6. P. 841–845. doi: 10.1097/RCT.0000000000000531.
- Foley W.D. et al. White Paper of the Society of Computed Body Tomography and Magnetic Resonance on Dual-Energy CT, Part 2: Radiation Dose and Iodine Sensitivity // *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2016. Vol. 40, No. 6. P. 846–850. doi: 10.1097/RCT.0000000000000539
- De Cecco C.N. et al. White Paper of the Society of Computed Body Tomography and Magnetic Resonance on Dual-Energy CT, Part 3: Vascular, Cardiac, Pulmonary, and Musculoskeletal Applications // *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2017. Vol. 41, No. 1. P. 1–7. doi: 10.1097/RCT.0000000000000538
- Biondi M. et al. Water/cortical bone decomposition: A new approach in dual energy CT imaging for bone marrow oedema detection. A feasibility study // *Phys. Medica PM Int. J. Devoted Appl. Phys. Med. Biol. Off. J. Ital. Assoc. Biomed. Phys. AIFB*. 2016. Vol. 32, No. 12. P. 1712–1716. doi: 10.1016/j.ejmp.2016.08.004.
- Goo H.W., Goo J.M. Dual-Energy CT: New Horizon in Medical Imaging // *Korean J. Radiol.* 2017. Vol. 18, No 4. P. 555–569. doi: 10.3348/kjr.2017.18.4.555.
- Hawkes D.J., Jackson D.F., Parker R.P. Tissue analysis by dual-energy computed tomography // *Br. J. Radiol.* 1986. Vol. 59, No. 702. P. 537–542. doi: 10.1259/0007-1285-59-702-537.
- Patino M. et al. Material Separation Using Dual-Energy CT: Current and Emerging Applications // *Radiogr. Rev. Publ. Radiol. Soc. N. Am. Inc.* 2016. Vol. 36, No. 4. P. 1087–1105. doi: 10.1148/rg.2016150220.
- Artz N.S. et al. Quantification of hepatic steatosis with dual-energy computed tomography: comparison with tissue reference standards and quantitative magnetic resonance imaging in the ob/ob mouse // *Invest. Radiol.* 2012. Vol. 47, No. 10. P. 603–610. doi: 10.1097/RLI.0b013e318261fad0.
- Morgan D.E. et al. Differentiation of high lipid content from low lipid content adrenal lesions using single-source rapid kilovolt (peak)-switching dual-energy multidetector CT // *J. Comput. Assist. Tomogr.* 2013. Vol. 37, No. 6. P. 937–943. doi: 10.1097/RCT.0b013e3182aa1996.
- Mileto A. et al. Dual-energy multidetector CT for the characterization of incidental adrenal nodules: diagnostic performance of contrast-enhanced material density analysis // *Radiology*. 2015. Vol. 274, No. 2. P. 445–454. doi: 10.1148/radiol.14140876.

Поступила в редакцию/Received by the Editor: 6.02.2020 e.

### Сведения об авторах:

**Драгунов Дмитрий Олегович** — кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней педиатрического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1; e-mail: tamops2211@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1059-8387;

**Першина Екатерина Сергеевна** — Руководитель Центра лучевой диагностики государственного бюджетного учреждения здравоохранения «Городская клиническая больница № 1 им. Н. И. Пирогова Департамента здравоохранения Москвы»; 119049, Москва, Ленинский пр-т., д. 8;

**Соколова Анна Викторовна** — кандидат медицинских наук, доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней педиатрического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1; e-mail: rsmu@rsmu.ru; ORCID ID: 0000-0003-0823-9190;

**Проскурина Марина Федоровна** — кандидат медицинских наук, медицинский советник, Департамент Компьютерной Томографии, GE Healthcare;

**Арутюнов Григорий Павлович** — доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой пропедевтики внутренних болезней педиатрического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1; e-mail: rsmu@rsmu.ru; ORCID ID 0000-0002-6645-2515;

**Митрохин Вадим Михайлович** — кандидат биологических наук, доцент, научно-исследовательская лаборатория электрофизиологии федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, г. Москва, ул. Островитянова, д. 1; e-mail: rsmu@rsmu.ru; ORCID ID: 0000-0002-2576-1207.