

УДК 617-089.168-06:616-002.3]-085.844

АНАЛИЗ ПОЛОЖЕНИЯ И ПОДВИЖНОСТИ ДИАФРАГМЫ У ВЗРОСЛЫХ С НОРМАЛЬНОЙ ФУНКЦИЕЙ ЛЕГКИХ ДО И ПОСЛЕ КАРДИОХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

В. В. Базылев, Т. И. Парамонова, А. В. Вдовкин
Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии, г. Пенза, Россия

ANALYSIS OF THE POSITION AND MOBILITY OF THE DIAPHRAGM IN ADULTS WITH NORMAL LUNG FUNCTION BEFORE AND AFTER CARDIAC SURGERY

V. V. Bazylev, T. I. Paramonova, A. V. Vdovkin
Ministry of Health of the Russian Federation Federal Center of Cardiovascular Surgery, Penza, Russia

© Коллектив авторов, 2017 г.

Проведен статистический анализ положения и подвижности диафрагмы у взрослых с нормальной функцией легких, готовящихся к операциям и после различных кардиохирургических вмешательств. В исследование включен 2441 пациент, выделены группы неоперированных и перенесших различные кардиохирургические вмешательства. Определяли средние показатели положения и подвижности диафрагмы, частоту элевации и дисфункции диафрагмы. С помощью ROC-анализа устанавливали степень прогностического влияния на элевацию и дисфункцию диафрагмы индекса массы тела (ИМТ), коэффициента подвижности диафрагмы (КПД) и показателей положения куполов диафрагмы. Выявлено, что после кардиохирургических операций положение куполов диафрагмы было выше, снижалась подвижность диафрагмы. Элевация и дисфункция диафрагмы среди неоперированных отмечались в единичных случаях, а после кардиохирургических операций в разы чаще. У неоперированных пациентов статистически значимое прогностическое влияние на элевацию правого купола оказывал лишь показатель КПД (AUC 0,99), а на элевацию левого купола диафрагмы — величина ИМТ (AUC 0,89). У них не выявлено прогностического влияния на диафрагмальную дисфункцию ни одного из изучаемых факторов. У послеоперационных пациентов показатели подвижности диафрагмы продемонстрировали хорошие значения прогностического влияния на элевацию (AUC 0,84–0,86), в то время как величина ИМТ показала среднее качество влияния во всех моделях (AUC 0,62–0,65). Статистически значимое прогностическое влияние на диафрагмальную дисфункцию оказывало только положение куполов диафрагмы (AUC 0,78–0,83). У послеоперационных пациентов уменьшение подвижности диафрагмы менее 8–8,9 у. е. с высокой чувствительностью и специфичностью прогнозировало ее элевацию. Увеличение ИМТ более 28–28,6 кг/м² имело среднее прогностическое влияние на элевацию диафрагмы, при высокой чувствительности и малой специфичности. Послеоперационную дисфункцию диафрагмы можно предсказать только по ее положению: хороший баланс чувствительности и специфичности прогноза отмечался при подъеме куполов диафрагмы выше межпозвоночного диска VII–IX грудных позвонков. У неоперированных пациентов на подвижность диафрагмы не влияли ни высота стояния куполов диафрагмы, ни ИМТ.

Ключевые слова: послеоперационная диафрагмальная дисфункция, элевация диафрагмы, парез диафрагмы.

A statistical analysis of position and mobility of the diaphragm in adults with normal lung function is not operated and underwent various cardiac interventions. The study included 2441 the patient, divided into groups non-operated and undergoing various cardiac surgical intervention. Were determined the mean values of the position and mobility of the diaphragm, the frequency of elevation and diaphragm dysfunction. Using ROC analysis established the degree of influence for the elevation and dysfunction of the diaphragm of the body mass index (BMI), the coefficient of mobility of the diaphragm (CMD) and indicators of the position of the domes of the diaphragm. It is revealed that after cardiac operations the position of the domes of the diaphragm was higher and decreased mobility of the diaphragm. Elevation and dysfunction among non-operated diaphragm was noted in a few cases, and after cardiac surgery significantly more often. Non-operated patients have a statistically significant impact on elevation of the right dome had a value of (AUC 0,99) and the elevation of the left dome of the diaphragm the magnitude of BMI (AUC of 0,89). They have not identified effects on diaphragmatic dysfunction none of the studied factors. In postoperative patients, the rates of mobility of the diaphragm showed a good effect on the elevation (AUC of 0,84–0,86), while the value of BMI showed an average quality of effects in all models (AUC of 0,62 to 0,65). A statistically significant effect on diaphragm-

matic dysfunction provided only the position of the domes of the diaphragm (AUC 0,78–0,83). Patients undergoing different cardiac surgical intervention have a statistically significant decrease of mobility and increase the position of the diaphragm, increasing the frequency of elevation and dysfunction. From non-operated patients on the mobility of the diaphragm did not affect any height standing domes of the diaphragm or BMI. On the position of the right dome affects only the rate of mobility of the diaphragm, and the left dome — the value of BMI. Patients after various cardiac surgeries greater impact on the elevation of the diaphragm provided an indicator of its mobility, than BMI and dysfunction of the diaphragm affects only its position.

Key words: diaphragmatic dysfunction, elevation of diaphragm, diaphragm paresis, postoperative dysfunction of the diaphragm, the coefficient of mobility of the diaphragm.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2017-1-53-63>

Введение. Диафрагма — основная инспираторная дыхательная мышца. Декомпенсация функции диафрагмы является важнейшим механизмом танатогенеза у больных, погибающих от дыхательной недостаточности. Приобретенная диафрагмальная дисфункция ухудшает качество жизни, увеличивает сроки госпитализации и может послужить причиной инвалидности у кардиохирургических больных [1, 2].

Ведущая роль в диагностике поражений диафрагмы до сих пор принадлежит рентгенологическому методу [3–5]. На рентгенограммах в качестве индикатора нарушения функции диафрагмы принимают высоту положения диафрагмы, и при элевации одного из куполов диафрагмы предполагается его парез [3, 6, 7]. Подвижность диафрагмы обычно определяют при рентгеноскопии [3, 8]. При этом результат исследования носит качественный характер и в значительной степени основывается на личном клиническом опыте, возникающем после анализа большого количества исследований [9]. Для диагностики диафрагмальной дисфункции актуальнее количественное измерение подвижности диафрагмы, которое обеспечивает более объективную оценку выраженности дисфункции, чем субъективное заключение при банальной рентгеноскопии [4].

В медицинской литературе описаны нормативы положения и подвижности диафрагмы у здоровых людей, но не представлены обоснованные количественные критерии ее элевации и дисфункции, что важно для выявления послеоперационных изменений. Мы не нашли работ со статистическим анализом влияния сопутствующего ожирения, которое, однако, указывают среди причин элевации диафрагмы.

Новизна нашей работы заключается в том, что была проведена количественная оценка положения и подвижности диафрагмы у пациентов до и после различных видов кардиохирургических операций. В анализ был включен фактор, который симультанно влияет на показатели диафрагмы — индекс массы тела (ИМТ). Проведенный статистический анализ показал предсказательные способности различных математических моделей и их влияние на прогнозирование элевации и дисфункции диафрагмы у послеоперационных пациентов.

Цель работы: провести статистический анализ положения и подвижности диафрагмы у взрослых

с нормальной функцией легких, готовящихся к операциям и после различных кардиохирургических вмешательств.

Материалы и методы. В исследование включен 2441 пациент: больные, готовящиеся к операциям и перенесшие различные виды кардиохирургических вмешательств в ФГБУ «ФЦССХ» Минздрава России (г. Пенза) с июня 2014 по февраль 2016 г. Пациенты были в возрасте от 18 до 85 лет, в среднем $58,4 \pm 9,1$ года. Преобладали мужчины — 1821 человек (74,6%). Данные собирались в ходе рутинных обследований пациентов перед госпитализацией и после перевода из отделения реанимации в стационар (в среднем через $4,4 \pm 3,7$ дня после операции). Учитывая, что согласно данным литературы ХОБЛ снижает подвижность диафрагмы, в исследование не включались пациенты с выявленными при спирографии нарушениями вентиляционной функции легких (согласно международному руководству Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease — GOLD, 2014).

Положение и подвижность диафрагмы измерялись при цифровой рентгенографии органов грудной клетки на аппарате Axiom Iconos R200 (Siemens) в вертикальном положении пациентов в переднезадней проекции. Измерения производились на рабочей станции Syngo Imaging XS (Siemens). При определении положения куполов диафрагмы в качестве легко узнаваемых и постоянных анатомических ориентиров использовались поперечные отростки и межпозвоночные диски позвоночного столба, которые не изменяют своего положения при дыхании и достаточно приближены к приемнику рентгеновского излучения. При нумерации цельные величины соответствовали порядковому номеру грудного позвонка, ориентиром тела позвонка служили поперечные отростки (рис. 1, а). Межпозвоночные диски нумеровались как половинные величины между цифровыми значениями двух соседних позвонков.

Подвижность куполов диафрагмы определяли разницей между измерениями амплитуды их движения на двух последовательных снимках — с глубоким вдохом и полным выдохом (рис. 1, б и в). Точкой начала измерения служил анатомический ориентир, не изменяющий свое положение при дыхании — купол плевры. Оценка функции диафрагмы про-

изводилась с помощью индексированного количественного показателя — коэффициента подвижности диафрагмы (КПД) в условных единицах (у. е.). КПД позволяет у пациентов с различным ростом оценить функцию диафрагмы по объективным параметрам. Рассчитывают отношение среднего показателя экскурсий диафрагмы (ЭД, в миллиметрах) к длине тела (в метрах): $КПД = ЭД / \text{длина тела}$ [10].

База данных составлялась в виде электронной таблицы в программе Microsoft Office Excel 2007. Для статистической обработки результатов исполь-

мы пользовались универсальной процентильной шкалой. Патологическими считались показатели меньше десятого перцентиля. На их основании элевацией куполов диафрагмы считалось положение выше тела позвонка Th_{VIII} справа и выше межпозвонкового промежутка Th_{VIII}–Th_{IX} слева. Критерием диафрагмальной дисфункции было снижение КПД менее 6,3 у. е. для правого купола и менее 5,5 у. е. для левого.

При визуальной оценке сравнительную эффективность ROC-кривых оценивали по их расположе-

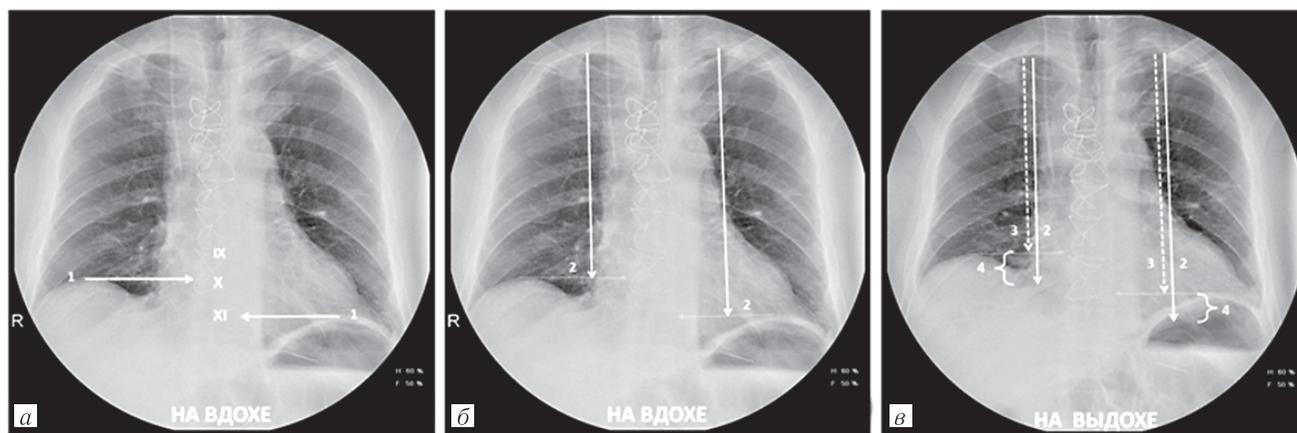


Рис. 1. Измерение положения и подвижности куполов диафрагмы. Цифровая рентгенография органов грудной клетки в вертикальном положении в прямой задней проекции. Измерение положения свода диафрагмы относительно тел грудных позвонков (а). Измерение подвижности на двух последовательных снимках, с глубоким вдохом (б) и полным выдохом (в). 1 — положение купола диафрагмы при вдохе; 2 — апогей движения купола диафрагмы при вдохе; 3 — перигей движения купола диафрагмы при выдохе; 4 — подвижность (амплитуда движения) купола диафрагмы

зовалась программа SPSS Statistics V21 (IBM Corp., 2012). Определяли средние показатели положения и подвижности диафрагмы, распространенность элевации и дисфункции диафрагмы. Исходные количественные данные представлены при нормальном распределении в виде среднего и стандартного отклонения ($M \pm SD$). В итоговых расчетах указаны 95% доверительный интервал (CI) и критический уровень значимости (величина p). Межгрупповая статистическая достоверность различий с учетом их нормального распределения определялась с помощью непарного критерия Стьюдента.

Степень прогностического влияния количественных переменных на дихотомические переменные — элевацию и дисфункцию диафрагмы, устанавливали с помощью ROC-анализа. Влияние на возникновение элевации диафрагмы изучали для показателей подвижности куполов диафрагмы и ИМТ. В модель влияния на развитие диафрагмальной дисфункции были включены показатели положения куполов диафрагмы и ИМТ. При установлении дихотомических переменных количественные данные были переведены в категориальные.

Так как не существует общепринятой классификации выраженности элевации и дисфункции диафрагмы на основе количественных критериев, в нашем исследовании для шкалирования результатов измерения подвижности и положения куполов диафрагмы

относительно друг друга. ROC-кривая, расположенная выше и левее, свидетельствовала о большей предсказательной способности модели. Помимо визуальной составляющей, для получения численного значения теста, его количественной интерпретации и сопоставления результатов ROC-анализа использовалась численные характеристики — оценка площади под ROC-кривыми AUC (Area Under Curve) и определение оптимального порога отсечения (optimal cut-off value). Учитывали, что больший показатель AUC указывает на то, что модель обладает лучшей прогностической силой: интервал AUC 0,9–1,0 показывает отличное качество модели, 0,8–0,9 очень хорошее, 0,7–0,8 хорошее, 0,6–0,7 среднее, 0,5–0,6 неудовлетворительное.

В качестве критериев выбора оптимального порога отсечения использовали два метода: определение точки баланса между чувствительностью и специфичностью и показатели максимальной суммарной чувствительности (Se) и специфичности (Sp) модели. Первому критерию соответствовало значение точки отсечения. Последнему критерию соответствовал индекс Юдена (J, Youden index), который позволяет сравнивать эффективность различных тестов и дает равный вес ложным положительным и ложным отрицательным величинам. Его значение, близкое к нулевому, указывало на бесполезность диагностического теста. Значение индекса Юдена,

близкое к единице, указывало на низкое число ложных положительных сторон или ложных отрицаний.

Результаты и их обсуждение. В группу готовящихся к кардиохирургическим операциям включили 480 пациентов, в группу послеоперационных — 1961 пациента. Исследуемые группы статистически значимо ($p < 0,001$) различались по полу, хотя в обеих преобладали мужчины, в группе дооперационных пациентов их было 60,8%, среди послеоперационных — 78% (табл. 1). Статистически незначимые межгрупповые различия наблюдались по возрасту ($p = 0,049$), массе тела ($p = 0,686$), площади поверхности тела ($p = 0,337$). Хотя группы различались по росту ($p = 0,001$) и индексу массы тела ($p = 0,004$), но доля лиц с ожирением ($ИМТ > 30 \text{ кг/м}^2$) не имела статистически значимого межгруппового различия ($p = 0,021$) (табл. 1).

ских операций положение куполов диафрагмы было выше, практически на высоту позвонка.

Подвижность куполов диафрагмы имела заметно меньшие показатели в группе перенесших кардиохирургические вмешательства ($p < 0,001$) (табл. 2). В группе неоперированных подвижность правого купола составила $25,1 \pm 6,8$ мм, левого — $30,6 \pm 8,2$ мм, КПД соответственно $15,0 \pm 4,1$ у. е. справа и $18,3 \pm 4,8$ у. е. слева. В группе послеоперационных показатели подвижности куполов диафрагмы были ниже: справа $20,2 \pm 8,6$ мм, слева $20,8 \pm 10,5$ мм, КПД соответственно $12,0 \pm 5,1$ у. е. справа и $12,3 \pm 6,1$ у. е. слева. Таким образом, подвижность диафрагмы на 5–10 мм снижалась после оперативных вмешательств.

Межгрупповая разница в большой степени проявилась и при анализе распространенности элева-

Таблица 1

Демографические и конституциональные характеристики групп исследования

Характеристика	Группа неоперированных (n=480)	Группа послеоперационных (n=1961)	p
Мужчины	292 (60,8%)	1529 (78,0%)	<0,001
Возраст, годы	$59,2 \pm 9,1$	$58,2 \pm 9,1$	0,049
Рост, см	$167,8 \pm 8,9$	$169,3 \pm 8,4$	0,001
Масса тела, кг	$83,5 \pm 15,1$	$83,2 \pm 15,3$	0,686
Индекс массы тела, кг/м^2	$29,7 \pm 5,1$	$29,0 \pm 4,7$	0,004
Индекс массы тела $> 30 \text{ кг/м}^2$	219 (45,6%)	781 (39,8%)	0,021
Площадь поверхности тела	$1,93 \pm 0,19$	$1,94 \pm 0,20$	0,337

Выявлены статистически значимые ($p < 0,001$) межгрупповых различия средних показателей положения и подвижности диафрагмы (табл. 2). У неоперированных пациентов правый купол диафрагмы определялся на уровне $10,5 \pm 0,7$ грудного позвонка, левый купол — на уровне $10,9 \pm 0,7$ грудного

позвонка и дисфункции диафрагмы (табл. 3). Их частота статистически значимо ($p < 0,001$) чаще наблюдалась в группе послеоперационных пациентов. Среди неоперированных пациентов двусторонняя элевация диафрагмы или элевация одного из куполов отмечались в единичных случаях — по 2 (0,4%).

Таблица 2

Сравнение межгрупповых различий средних показателей положения и подвижности диафрагмы

Показатель	Группа неоперированных, n=480	Группа послеоперационных, n=1961	Разность средних	p
Правый купол диафрагмы				
Положение *	$10,5 \pm 0,71$	$9,4 \pm 1,1$	$1,1 \pm 0,04$	<0,001
Подвижность **	$25,1 \pm 6,8$	$20,2 \pm 8,6$	$4,9 \pm 0,37$	<0,001
Коэффициент подвижности диафрагмы, у. е.	$15,0 \pm 4,1$	$12,0 \pm 5,1$	$0,22 \pm 3,5$	<0,001
Левый купол диафрагмы				
Положение *	$10,9 \pm 0,73$	$9,8 \pm 1,0$	$1,1 \pm 0,04$	<0,001
Подвижность **	$30,6 \pm 8,2$	$20,8 \pm 10,5$	$9,8 \pm 0,44$	<0,001
Коэффициент подвижности диафрагмы, у. е.	$18,3 \pm 4,8$	$12,3 \pm 6,1$	$0,26 \pm 6,5$	<0,001

Примечания: * — высота стояния по уровню грудного позвонка; ** — амплитуда экскурсии, мм.

позвонка. В группе послеоперационных пациентов правый купол определялся на уровне $9,4 \pm 1,1$ грудного позвонка, левый — на уровне $9,8 \pm 1,0$ грудного позвонка. Таким образом, после кардиохирургиче-

Одиночным явлением была односторонняя диафрагмальная дисфункция — по одному случаю (0,2%) для правого и левого купола. Не наблюдалось двусторонней элевации. После кардиохирургических

операций элевация правого купола наблюдалась у 189 пациентов (9,6%), левого купола — у 167 (8,5%), двусторонняя — в 143 случаях (7,3%). Диафрагмальная дисфункция правого купола выявлена у 187 пациентов (9,5%), левого купола — у 198 (10,1%), двусторонняя — в 46 случаях (2,3%). Таким образом, у послеоперационных пациентов распространенность элевации и дисфункции диафрагмы в разы выше.

были на одной высоте (36,5%), но левый купол был выше правого в 7 раз чаще (14%).

ROC-анализ в группе неоперированных пациентов показал статистически значимое прогностическое влияние ($p < 0,0001$) на элевацию правого купола лишь величины КПД и на элевацию левого купола диафрагмы величины ИМТ. При визуальном анализе расположения ROC-кривых лишь графики этих показателей располагались не только максимально

Таблица 3

Сравнение межгрупповых различий распространенности элевации и дисфункции диафрагмы и распространенности вариантов расположения куполов диафрагмы

Показатель	Группа неоперированных пациентов, n=480	Группа послеоперационных пациентов, n=1961	p
Элевация диафрагмы			
Правого купола	2 (0,4%)	189 (9,6%)	<0,001
Левого купола	2 (0,4%)	167 (8,5%)	<0,001
Обоих куполов	2 (0,4%)	143 (7,3%)	<0,001
Дисфункция диафрагмы			
Правосторонняя	1 (0,2%)	187 (9,5%)	<0,001
Левосторонняя	1 (0,2%)	198 (10,1%)	<0,001
Двусторонняя	0	46 (2,3%)	<0,001
Расположение куполов относительно друг друга			
Правый купол выше	387 (80,6%)	971 (49,5%)	<0,001
Левый купол выше	10 (2,1%)	274 (14,0%)	<0,001
На одной высоте	83 (17,3%)	716 (36,5%)	<0,001

Анализ расположения куполов диафрагмы относительно друг друга показал, что при глубоком вдохе у неоперированных пациентов чаще правый купол был выше левого (80,6%), реже купола были на одной высоте (17,3%), и редко был выше левый купол

высоко (высокая чувствительность), но и левее (высокая специфичность) (рис. 2). Прогностическое влияние этих факторов на уровне точек отсечения было с максимальной чувствительностью и высокой специфичностью (табл. 4). Точка отсечения для КПД

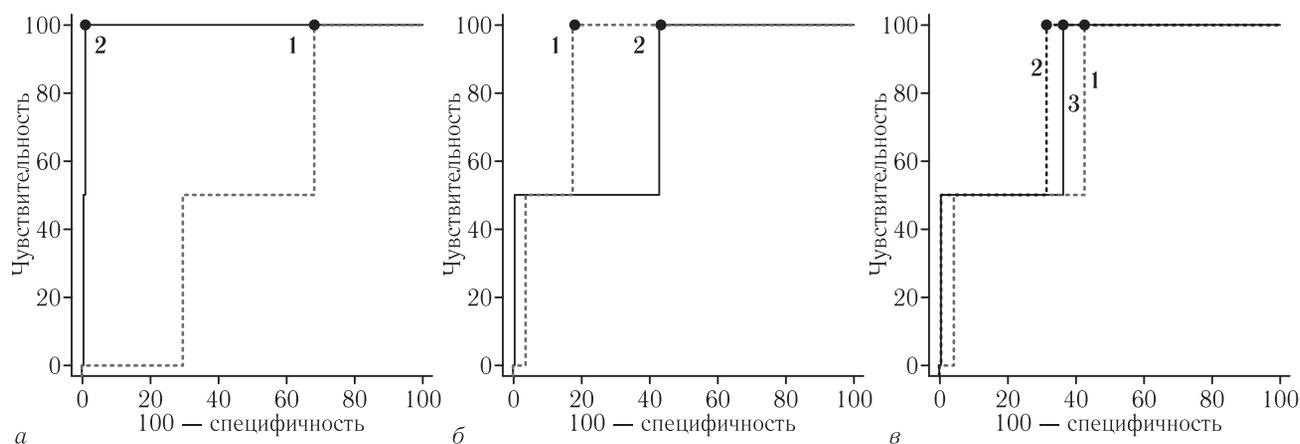


Рис. 2. Графический результат ROC-анализа влияния ИМТ и КПД на элевацию куполов диафрагмы в группе неоперированных пациентов. Источники ROC-кривой: (а) 1 — ИМТ: точка отсечения $\geq 31,7$ кг/м² (Se 100%, Sp 32,2%); 2 — КПД справа: точка отсечения $< 7,6$ у. е. (Se 100%, Sp 98,9%); (б) 1 — ИМТ: точка отсечения выше $> 34,1$ кг/м² (Se 100%, Sp 82,4%); 2 — КПД слева: точка отсечения $< 17,6$ у. е. (Se 100%, Sp 57,1%); (в) 1 — ИМТ: точка отсечения $> 30,0$ кг/м² (Se 100%, Sp 54,6%); 2 — КПД справа: точка отсечения $< 13,4$ у. е. (Se 100%, Sp 60,9%), 3 — КПД слева: точка отсечения $< 16,8$ у. е. (Se 100%, Sp 65,5%)

(2,1%) (см. табл. 3). У послеоперационных пациентов пропорция расположения куполов диафрагмы статистически значимо ($p < 0,001$) отличалась. Реже правый купол был выше левого (49,5%), в 2 раза чаще купола

при элевации правого купола $< 7,6$ у. е. (Se 100%, Sp 98,9%). Точка отсечения для ИМТ при элевации левого купола диафрагмы $> 34,1$ кг/м² (Se 100%, Sp 82,4%). При количественной интерпретации ROC-

анализа статистически значимое ($p < 0,0001$) и с хорошей прогностической силой влияние на элевацию правого купола оказывал показатель КПД (AUC 0,99 (95% CI 0,98–1,0); $J=0,99$), а на элевацию левого купола — величина ИМТ (AUC 0,89 (95% CI 0,87–0,92); $J=0,82$) (табл. 4). Таким образом, у неоперированных пациентов выявлено статистическое значимое прогностическое влияние на элевацию правого купола только показателя подвижности диафрагмы и на элевацию левого купола диафрагмы — только величины ИМТ.

фрагмы не показал статистически значимого воздействия ни одного из включенных в модель факторов. ROC-анализ в группе послеоперационных пациентов показал статистически значимое прогностическое влияние ($p < 0,0001$) на элевацию диафрагмы всех включенных в модель факторов. При визуальном анализе расположения ROC-кривых относительно друг друга меньший изгиб ROC-кривой и более близкое ее расположение к диагональной прямой отмечались при анализе влияния на элевацию диафрагмы индекса массы тела (рис. 3).

Таблица 4

Количественные результаты ROC-анализа влияния ИМТ и КПД на элевацию куполов диафрагмы в группе неоперированных пациентов

Показатель	AUC (95% CI)	Значение p	J индекс	Точка отсечения	Se (95% CI)	Sp (95% CI)
Правый купол						
ИМТ	0,51 (0,47–0,56)	0,9208	0,32	$\geq 31,7$ кг/м ²	100 (15,8–100)	32,2 (28,0–36,6)
КПД	0,99 (0,98–1,0)	<0,0001	0,99	<7,6 у. е.	100 (15,8–100)	98,9 (97,6–99,7)
Левый купол						
ИМТ	0,89 (0,87–0,92)	<0,0001	0,82	$> 34,1$ кг/м ²	100 (15,8–100)	82,4 (78,7–85,7)
КПД	0,79 (0,75–0,82)	0,0586	0,57	<17,6 у. е.	100 (15,8–100)	57,1 (52,5–61,6)
Оба купола						
ИМТ	0,73 (0,70–0,78)	0,0804	0,55	$> 30,0$ кг/м ²	100 (15,8–100)	54,6 (50,0–59,1)
КПД справа	0,79 (0,75–0,82)	0,0223	0,60	<13,4 у. е.	100 (15,8–100)	60,9 (56,3–65,3)
КПД слева	0,82 (0,78–0,85)	0,0041	0,65	<16,8 у. е.	100 (15,8–100)	65,5 (61,0–69,7)

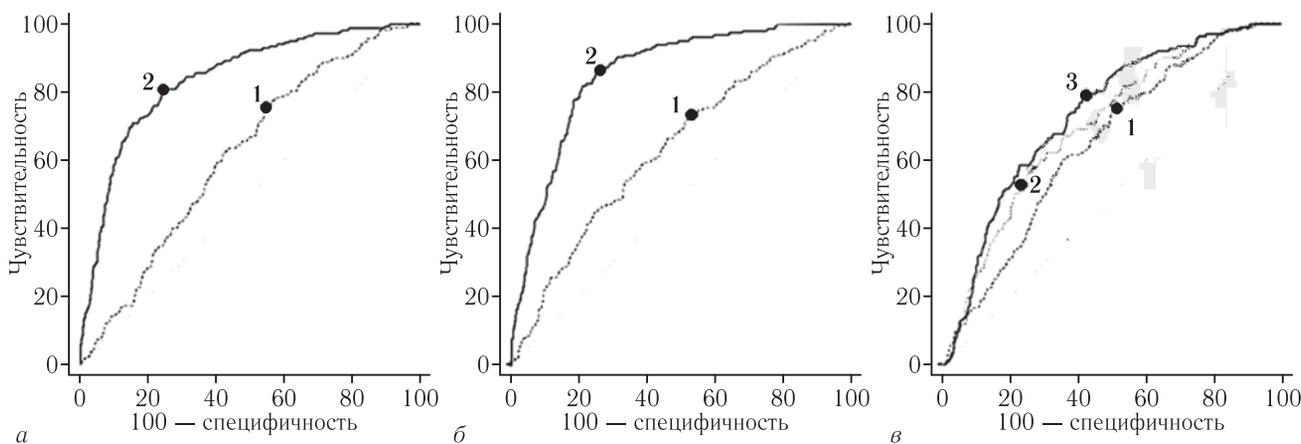


Рис. 3. Графический результат ROC-анализа влияния ИМТ и КПД на элевацию куполов диафрагмы в группе пациентов после операций. Источники ROC-кривой: (а) 1 — ИМТ: точка отсечения $> 28,0$ кг/м² (Se 75,7%, Sp 45,7%); 2 — КПД справа: точка отсечения $< 8,5$ у. е. (Se 80,4%, Sp 75,6%); (б) 1 — ИМТ: точка отсечения выше $> 28,1$ кг/м² (Se 73,7%, Sp 47,1%); 2 — КПД слева: точка отсечения $< 8,5$ у. е. (Se 87,4%, Sp 73,9%); (в) 1 — ИМТ: точка отсечения $> 28,6$ кг/м² (Se 76,2%, Sp 49,7%); 2 — КПД справа: точка отсечения $< 9,7$ у. е. (Se 79,7%, Sp 58,2%), 3 — КПД слева: точка отсечения $< 16,8$ у. е. (Se 57,3%, Sp 74,3%)

В группе неоперированных пациентов ROC-анализ прогностического влияния на диафрагмальную дисфункцию величины ИМТ и положения куполов диа-

Расположенными выше и левее были ROC-кривые показателей подвижности диафрагмы. Точка отсечения для КПД при элевации правого купола $< 8,9$ у. е.

(Se 80,4%, Sp 75,6%), при элевации левого купола <8,5 у. е. (Se 87,4%, Sp 73,9%) (табл. 5). При двусторонней элевации отличалось влияние КПД правого и левого куполов. Точка отсечения для КПД правого купола (<10,7 у. е.) была больше чем левого (<8 у. е.), но справа отмечалась низкая специфичность (Se 79,7%, Sp 58,2%), а слева — низкая чувствительность (Se 57,3%, Sp 74,3%). При оценке влияния величины ИМТ отмечалась при высокой чувствительности неприемлемо малая специфичность, как при элевации правого купола (Se 75,7%, Sp 45,7%), так и левого (Se 73,7%, Sp 47,1%), и при двусторонней элевации (Se 76,2%, Sp 49,7%). Таким образом, в точках отсечения показатели чувствительности и специфичности были больше при оценке подвижности диафрагмы, а более низкие показатели точек отсечения отмечались при анализе прогностического влияния на элевацию индекса массы тела (табл. 5).

0,61–0,66); J=0,21), так и при двусторонней элевации (AUC 0,65 (95% CI 0,63–0,67); J=0,26). Таким образом, степень прогностического влияния на элевацию показала хорошие значения при оценке подвижности диафрагмы и средние при оценке ИМТ.

При визуальной оценке результатов ROC-анализа предсказания развития диафрагмальной дисфункции в группе послеоперационных пациентов расположенными выше и левее были ROC-кривые показателей подвижности диафрагмы, а меньший изгиб и более близкое расположение ROC-кривой к диагональной прямой отмечались при оценке влияния индекса массы тела (рис. 4). Точка отсечения при односторонней дисфункции для показателей положения правого (<9,5 у. е.) и левого (<9,5 у. е.) куполов равны, но отличались показателями чувствительности и специфичности (табл. 6). Справа отмечался оптимальный баланс показателей (Se 72,7%, Sp 73,9%), а слева при высокой чувствительно-

Таблица 5

Количественные результаты ROC-анализа влияния ИМТ и КПД на элевацию куполов диафрагмы в группе пациентов после операций

Показатель	AUC (95% CI)	Значение p	J индекс	Точка отсечения	Se (95% CI)	Sp (95% CI)
Правый купол						
ИМТ	0,62 (0,59–0,64)	<0,0001	0,21	>28,0 кг/м ²	75,7 (68,9–81,6)	45,7 (43,4–48,1)
КПД	0,84 (0,82–0,86)	<0,0001	0,56	<8,9 у. е.	80,4 (74,0–85,8)	75,6 (73,6–77,6)
Левый купол						
ИМТ	0,63 (0,61–0,66)	<0,0001	0,21	>28,1 кг/м ²	73,7 (66,3–80,2)	47,1 (44,8–49,4)
КПД	0,86 (0,84–0,87)	<0,0001	0,61	<8,5 у. е.	87,4 (81,4–92,0)	73,9 (71,8–75,9)
Оба купола						
ИМТ	0,65 (0,63–0,67)	<0,0001	0,26	>28,6 кг/м ²	76,2 (68,4–82,9)	49,7 (47,3–52,0)
КПД справа	0,74 (0,72–0,76)	<0,0001	0,38	<10,7 у. е.	79,7 (72,2–86,0)	58,2 (55,9–60,5)
КПД слева	0,71 (0,69–0,73)	<0,0001	0,32	<8 у. е.	57,3 (48,8–65,6)	74,3 (72,2–76,3)

При количественной интерпретации ROC-анализа на предсказание развития элевации диафрагмы очень хорошая прогностическая сила модели отмечалась при оценке влияния на одностороннюю элевацию показателей подвижности правого (AUC 0,84 (95% CI 0,82–0,86); J=0,56) и левого куполов (AUC 0,86 (95% CI 0,84–0,87); J=0,61) (см. табл. 5). При анализе двусторонней элевации выявлены хорошие показатели влияния подвижности как правого (AUC 0,74 (95% CI 0,72–0,76); J=0,38), так и левого купола (AUC 0,71 (95% CI 0,69–0,73); J=0,32). Влияние величины ИМТ на элевацию куполов диафрагмы показало среднюю прогностическую силу во всех моделях. Результаты анализа были близки как при элевации правого (AUC 0,62 (95% CI 0,59–0,64); J=0,21) или левого купола (AUC 0,63 (95% CI

сти — низкая специфичность (Se 92%, Sp 58%). При двусторонней дисфункции показатели точки отсечения для правого купола (<9 у. е.; Se 71,7%, Sp 75,2%) и левого купола (<9,5 у. е.; Se 78,3%, Sp 70,3%) близки. При оценке влияния величины ИМТ при элевации правого купола отмечалась высокая чувствительность и неприемлемо малая специфичность (Se 77,5%, Sp 31,2%), а при элевации левого купола отмечалась малая чувствительность и высокая специфичность (Se 31,8%, Sp 74,8%). При двусторонней элевации влияние ИМТ обладало небольшой чувствительностью и низкой специфичностью (Se 69,6%, Sp 51,9%). Таким образом, при оценке прогностического влияния положения диафрагмы на ее дисфункцию в точках отсечения показатели чувствительности и специ-

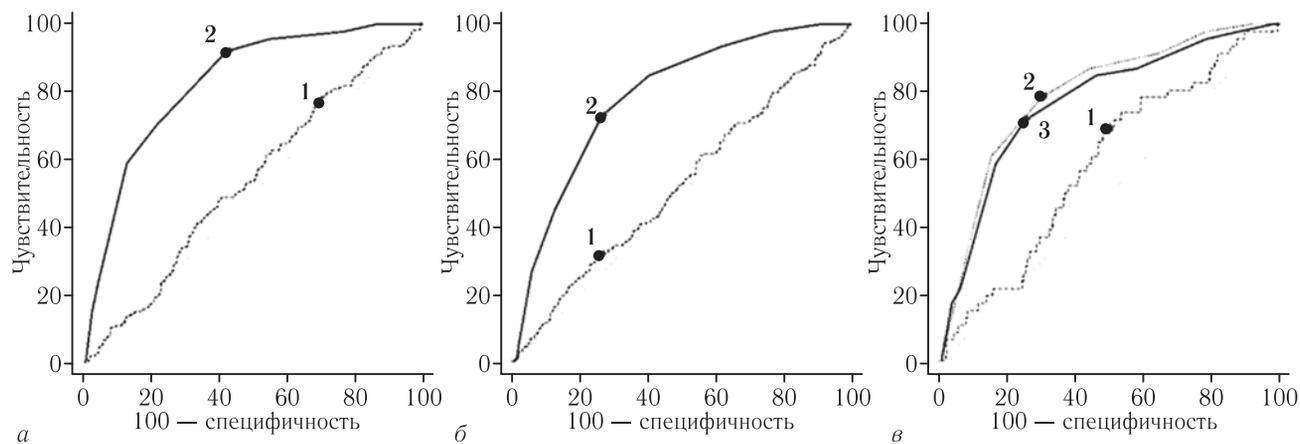


Рис. 4. Графический результат ROC-анализа влияния ИМТ и положения куполов на дисфункцию диафрагмы в группе послеоперационных пациентов. Источники ROC-кривой: (а) 1 — ИМТ: точка отсечения >26,4 кг/м² (Se 77,5%, Sp 31,2%); 2 — положение правого купола: точка отсечения ниже Th_{VIII}–Th_{IX} межпозвонкового промежутка (Se 92%, Sp 58%); (б) 1 — ИМТ: точка отсечения выше >25,8 кг/м² (Se 31,8%, Sp 74,8%); 2 — положение левого купола: точка отсечения ниже Th_{VIII}–Th_{IX} межпозвонкового промежутка (Se 72,7%, Sp 73,9%); (в) 1 — ИМТ: точка отсечения >29,0 кг/м² (Se 69,6%, Sp 51,9%); 2 — положение правого купола: точка отсечения ниже позвонка Th_{IX} (Se 71,7%, Sp 75,2%), 3 — положение левого купола: точка отсечения ниже Th_{IX}–Th_X межпозвонкового промежутка (Se 78,3%, Sp 70,3%)

Таблица 6

Количественные результаты ROC-анализа влияния ИМТ и положения куполов на дисфункцию диафрагмы в группе послеоперационных пациентов

Показатель	AUC (95% CI)	Значение p	J индекс	Точка отсечения	Se (95% CI)	Sp (95% CI)
Правый купол						
ИМТ	0,54 0,51–0,56	0,1029	0,09	>26,4 кг/м ²	77,5 70,9–83,3	31,2 29,1–33,4
Положение	0,83 0,81–0,85	<0,0001	0,50	≤9 межреберья	92,0 87,1–95,4	58,0 55,7–60,3
Левый купол						
ИМТ	0,52 0,50–0,55	0,2823	0,07	>25,8 кг/м ²	31,8 25,4–38,8	74,8 72,7–76,8
Положение	0,79 0,77–0,81	<0,0001	0,47	<9 межреберья	72,7 66,0–78,8	73,9 71,8–75,9
Оба купола						
ИМТ	0,59 0,57–0,61	0,1288	0,11	>29,0 кг/м ²	69,6 54,2–82,3	51,9 49,6–54,1
Положение справа	0,78 0,76–0,79	<0,0001	0,47	<9 ребра	71,7 56,5–84,0	75,2 73,2–77,1
Положение слева	0,80 0,78–0,82	<0,0001	0,49	<9 межреберья	78,3 63,6–89,1	70,3 68,2–72,4

фичности обладали хорошим балансом, кроме влияния на левый купол при односторонней дисфункции, а влияние ИМТ обладало либо небольшой чувствительностью, либо низкой специфичностью.

Количественная оценка ROC-анализа влияния на развитие диафрагмальной дисфункции в группе послеоперационных пациентов показала статистически значимое влияние (p<0,0001) только положения куполов диафрагмы. Величина ИМТ не оказывала статистически значимого влияния (p>0,05) на развитие диафрагмальной дисфункции (табл. 6).

Отмечались хорошая прогностическая сила модели при оценке положения диафрагмы и неудовлетворительная — при оценке ИМТ. Показатели модели были близки как при элевации правого купола (AUC

0,83 (95% CI 0,81–0,85); J=0,50), так и левого купола (AUC 0,79 (95% CI 0,77–0,81); J=0,47). При двусторонней диафрагмальной дисфункции показатели влияния так же близки для правого купола (AUC 0,78 (95% CI 0,76–0,79); J=0,47), как и для левого купола (AUC 0,80 (95% CI 0,78–0,82); J=0,49). Таким образом, на возникновение послеоперационной дисфункции диафрагмы статистически значимое прогностическое влияние оказывали только показатели ее подвижности.

Положение диафрагмы обычно определяют, используя общепринятые нормативы ее стояния относительно костных структур. Считается нормальным положением правого купола диафрагмы на уровне переднего отрезка V–VI ребер, левого —

на 1 ребро ниже и, соответственно, на уровне шеек задних дуг X–XII ребер [11–13]. Хотелось бы отметить, что определение положения диафрагмы по уровню передних дуг ребер не может служить стабильным анатомическим ориентиром. Во-первых, реберный каркас по-разному смещается при различной глубине дыхательных движений. Во-вторых, наблюдается отчетливая зависимость проекции ребер от хода рентгеновского луча, что актуально при проведении прямой задней рентгенографии на палатном аппарате. Более стабильными, в том числе при акте дыхания, остаются анатомические образования позвоночного столба. Обстоятельное исследование положения куполов диафрагмы относительно позвоночника выявило, что правый купол диафрагмы располагается на уровне $9,7 \pm 0,8$ грудных позвонков (в диапазоне от 7,4 до 11,3 грудного позвонка), левый — на уровне $10,2 \pm 0,8$ грудного позвонка (от 8,1 до 11,8 грудного позвонка) [9]. В нашем исследовании мы также ориентировались на костные ориентиры позвоночного столба. Установлено, что у неоперированных пациентов правый купол диафрагмы определялся на уровне $10,5 \pm 0,7$ грудного позвонка, левый купол на уровне $10,9 \pm 0,7$ грудного позвонка. После кардиохирургических вмешательств положение куполов диафрагмы было выше в среднем на высоту позвонка: правый купол на уровне $9,4 \pm 1,1$ грудного позвонка и левый на уровне $9,8 \pm 1,0$ грудного позвонка.

Считается, что в 98% случаев правый купол диафрагмы выше левого, гораздо реже левый купол выше правого (1%) или они находятся на одинаковой высоте (1%) [14]. В нашем исследовании при оценке стояния куполов диафрагмы относительно тел грудных позвонков при вдохе, у неоперированных пациентов чаще правый купол был выше левого (80,6%), реже купола были на одной высоте (17,3%) или выше был левый купол (2,1%). У послеоперационных пациентов правый купол был выше левого купола заметно реже (49,5%), в 2 раза чаще они были на одной высоте (36,5%), и в 7 раз чаще левый купол был выше правого (14%).

О подвижности диафрагмы обычно судят по субъективному качественному заключению после рентгеноскопии. При рентгенологическом исследовании диафрагма опускается до 20 мм при спокойном дыхании и до 80 мм при форсированном дыхании [3]. Кроме цифровой рентгенографии, количественная оценка подвижности диафрагмы возможна с помощью УЗИ и МРТ [3, 5, 15, 16]. Критериями диафрагмальной дисфункции при УЗИ в М-режиме являются вертикальные экскурсии меньше 10 мм или парадоксальные движения купола диафрагмы [17]. При МРТ средняя амплитуда движения диафрагмы составляет $27,3 \pm 10,2$ мм, а во время глубокого вдоха — до $32,5 \pm 16,2$ мм [18]. В нашем исследовании у неоперированных пациентов подвижность правого купола достигала $25,1 \pm 6,8$ мм, левого

купола — $30,6 \pm 8,2$ мм. Подвижность диафрагмы достоверно снижалась после кардиохирургических вмешательств на $5–10$ мм, уменьшаясь справа до $20,2 \pm 8,6$ мм и слева — до $20,8 \pm 19,5$ мм.

В практике статистики индексированные показатели наряду со средними величинами являются наиболее характерными статистическими показателями изучаемых явлений. И поэтому для количественной оценки функции диафрагмы будет более показательна не абсолютная величина подвижности, а индексированный количественный показатель, позволяющий оценить и сопоставить подвижность диафрагмы у пациентов с различным ростом [10]. Нами использовался коэффициент подвижности диафрагмы, который у неоперированных пациентов определялся справа на уровне $15,0 \pm 4,1$ у. е., слева — $18,3 \pm 4,8$ у. е., достоверно уменьшаясь после кардиохирургических вмешательств до $12,0 \pm 5,1$ у. е. справа и до $12,3 \pm 6,1$ у. е. слева.

На рентгенограммах грудной клетки в качестве индикатора нарушения функции диафрагмы обычно используется высота положения диафрагмы. В медицинской литературе предполагается, что выявление элевации одного из куполов диафрагмы, при отсутствии паренхиматозного или плеврального поражения, указывает на диафрагмальную дисфункцию на стороне элевации [3, 6, 9]. Отмечается, что этот метод оценки при высокой чувствительности (90%), обладает неприемлемо малой специфичностью (44%), что требует осторожность при его интерпретации [8]. Это обусловлено, прежде всего, визуализацией только высокого положения диафрагмы, которое может наблюдаться также при абдоминальном ожирении и при различной патологии брюшной полости [3, 12]. В нашем исследовании у неоперированных пациентов статистически значимого прогностического влияния на подвижность диафрагмы ни высота стояния куполов диафрагмы, ни ИМТ не оказывали. При оценке прогностического влияния на элевацию диафрагмы двух индексированных по росту показателей — ИМТ и КПД, установлено, что статистически значимым влиянием, с высокими показателями чувствительности и специфичности, обладали для правого купола показатель КПД (Se 100% и Sp 98,9%), и для левого купола — величина ИМТ (Se 100% и Sp 82,4%).

У послеоперационных пациентов показатели чувствительности и специфичности были больше при оценке прогностического влияния на одностороннюю элевацию диафрагмы подвижности унилатерального купола (Se 80,4–87,4%, Sp 73,9–75,6%). При двусторонней элевации влияние КПД правого и левого куполов отличались: влияние справа отличалось низкой специфичностью (Se 79,7%, Sp 58,2%), а слева — низкой чувствительностью (Se 57,3%, Sp 74,3%). А вот при оценке влияния величины ИМТ отмечалась при высокой чувствительности неприемлемо малая специфичность как при односторонней,

так и при двусторонней элевации диафрагмы (Se 73,7–76,2%, Sp 45,7–49,7%). При оценке прогностического влияния положения диафрагмы на ее дисфункцию отмечался оптимальный баланс показателей для правого купола (Se 72,7%, Sp 73,9%), а для дисфункции левого купола отмечалась при высокой чувствительности низкая специфичность влияния (Se 92%, Sp 58%). При двусторонней дисфункции были близки показатели для правого и левого купола (Se соответственно 71,7% и 78,3%, Sp соответственно 75,2% и 70,3%). При оценке прогностического влияния ИМТ на дисфункцию диафрагмы ее показатели обладали либо небольшой чувствительностью, либо низкой специфичностью во всех вариантах моделей.

Показатели порога отсечения показали, что в точке баланса между чувствительностью и специфичностью модели доля истинно положительных случаев (чувствительность) и доля истинно отрицательных случаев (специфичность), правильно идентифицированных моделью, была больше при оценке подвижности диафрагмы. Можно предположить, что высокий исходный ИМТ способствует высокому положению диафрагмы, а уменьшение КПД, как отражение развития диафрагмальной дисфункции, проявляется развитием патологической элевации диафрагмы. Хотелось бы подчеркнуть, что элевация купола диафрагмы не аналогична его дисфункции. У части пациентов мы наблюдали при элевации купола достаточную амплитуду его движения, а при нормальном положении отмечали снижение ее подвижности.

Визуальный анализ расположения ROC-кривых относительно друг друга позволил сопоставить влияние включенных в модель количественных переменных. В нашем исследовании меньший изгиб ROC-кривой и более близкое ее расположение к диагональной прямой отмечались при анализе прогностического влияния на элевацию и дисфункцию диафрагмы индекса массы тела. Расположенными выше и левее были ROC-кривые показателей подвижности и положения диафрагмы, что свидетельствовало о наибольшем влиянии этих переменных на развитие элевации и дисфункции диафрагмы. Помимо визуальной составляющей, при количественной оценке результатов ROC-анализа сравнение площадей под кривыми и значений индекса Юдена позволило сделать вывод, что у послеоперационных больных большая предсказательная способность модели отмечалась при оценке влияния на элевацию диафрагмы показателя ее подвижности, чем ИМТ. На возникновение дисфункции диафрагмы статистически значимо и с хорошей прогностической силой влияло только ее положение.

В ФЦССХ г. Пензы при переводе пациентов из реанимации рутинным исследованием является цифровая рентгенография, позволяющая исключить развитие пневмоторакса после удаления дренажей из плевральных полостей, наличие и выраженность гидроторакса, паренхиматозных изменений. Параллельно с этими целями мы проводили монито-

ринг положения и подвижности диафрагмы [4]. Проведенное исследование показало, что после кардиохирургических вмешательств распространенность элевации и дисфункции диафрагмы в разы чаще, чем до операций. У неоперированных пациентов дисфункция и элевация диафрагмы встречалась в единичных случаях (0,2–0,4%). После различных кардиохирургических вмешательств на порядок чаще — элевация правого купола наблюдалась у 9,6% случаев, левого купола — в 8,5% и двусторонняя — в 7,3% случаев. Диафрагмальная дисфункция выявлена в 9,5% случаев справа, в 10,1% — слева и в 2,3% случаев — с двух сторон.

К сожалению, в настоящее время не существует классификации выраженности диафрагмальной дисфункции на основе количественных критериев. В доступной литературе также не отражены количественные измерения функциональной активности диафрагмы в раннем послеоперационном периоде, когда особенно актуально выявление дыхательных нарушений вследствие элевации и дисфункции диафрагмы. И поэтому в нашем исследовании мы пользовались достаточно распространенной шкалой стандартизации с помощью процентиля, так как этот метод очень удобен и понятен. К тому же он универсален, потому что может использоваться для стандартизации как нормально распределенных баллов, так и данных с ненормальным распределением. Используя показатели десятого процентиля, определили маркер элевации диафрагмы — стояние правого купола выше тела VIII грудного позвонка и левого выше межпозвонкового диска VIII–IX грудных позвонков. Критерием диафрагмальной дисфункции, на основании этой шкалы послужил коэффициент подвижности диафрагмы менее 6,3 у. е. для правого купола и 5,5 у. е. для левого.

Выводы. Пациенты, перенесшие различные кардиохирургические вмешательства, имеют статистически значимое снижение подвижности диафрагмы (на 5–10 мм), повышение ее положения (в среднем на высоту позвонка) и увеличение частоты элевации диафрагмы (в 18–24 раза) и ее дисфункции (в 48–51 раз).

У послеоперационных пациентов уменьшение подвижности диафрагмы менее 8–8,9 у. е. с высокой прогностической силой влияло на ее элевацию. Увеличение ИМТ более 28–28,6 кг/м² оказывало среднее прогностическое влияние на элевацию диафрагмы при высокой чувствительности и малой специфичности.

Послеоперационную дисфункцию диафрагмы можно прогнозировать только по ее положению: хорошая предсказательная способность модели отмечалась при подъеме куполов диафрагмы выше межпозвонкового диска VIII–IX грудных позвонков.

У неоперированных пациентов на подвижность диафрагмы не влияли ни высота стояния куполов диафрагмы, ни ИМТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базылев В. В., Черногринов А. Е., Воеводин А. Б. Оценка отдаленной выживаемости у больных с периферическим атеросклерозом, перенесших вмешательство на коронарных артериях // *Ангиология и сосудистая хирургия*. — 2013. — Т. 19, № 1. — С. 93–100.
2. Diehl J. L., Lofaso F., Deleuze P. et al. Clinically relevant diaphragmatic dysfunction after cardiac operations // *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* — 1994. — Vol. 107. — P. 487–498.
3. Линденбратен Л. Д. Лучевая диагностика поражений диафрагмы // *Радиология и практика*. — 2001. — Т. 2. — С. 6–21.
4. Парамонова Т. И., Вдовкин А. В. Факторы, влияющие на развитие диафрагмальной дисфункции в раннем послеоперационном периоде после кардиохирургических вмешательств // *Диагностическая и интервенционная радиология*. — 2016. — Т. 10, № 2. — С. 11–16.
5. Nason L. K., Walker C. M., McNeeley M. F. et al. Imaging of the Diaphragm: Anatomy and Function // *Radio. Graphics*. — 2012. — Vol. 32. — P. 51–70.
6. Freedman B. Unilateral paralysis of the diaphragm and larynx associated with inflammatory lung disease // *Thorax*. — 1950. — Vol. 5. — P. 169–182.
7. Wynn-Williams N. Hemidiaphragmatic paralysis and paresis of unknown aetiology with out any marked rise in level // *Thorax*. — 1954. — Vol. 9. — P. 299–303.
8. Chetta A., Rehman A. K., Moxham J. et al. Chest radiography cannot predict diaphragm function // *Respir. Med.* — 2005. — Vol. 99. — P. 39–44.
9. Suwatanapongched T., Gierada D. S., Slone R. M. et al. Variation in Diaphragm Position and Shape in Adults With Normal Pulmonary Function // *Chest*. — 2003. — Vol. 123, № 6. — P. 2019–2027.
10. Андрианова Е. Н., Решетова Т. Г., Рывкин А. И. и др. Способ диагностики подвижности диафрагмы при бронхиальной астме у детей // Патент RU 2229845. — 2002.
11. Armstrong P. *Imaging of diseases of the chest* // London. — 2000. — P. 21–62.
12. Fraser R. S., Muller N. L., Colman N. et al. *Diagnosis of diseases of the chest* // Philadelphia. — 1999. — P. 246–268.
13. Lennon E. A., Simon G. The height of the diaphragm in the chest radiograph of normal adults // *Br. J. Radiol.* — 1965. — Vol. 38. — P. 937–943.
14. Salih H. A., Ayad C. E., Abdalla E. A. et al. Height Difference between right and left hemi Diaphragm in Normal Sudanese Adults using Postero-Anterior Computed Chest Radiography // *Global Journal of Medical research Radiology, Diagnostic, Imaging and Instrumentation*. — 2013. — Vol. 13, No 3. — P. 9–16.
15. Gottesman E., McCool F. D. Ultrasound evaluation of the paralyzed diaphragm // *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.* — 1997. — Vol. 155. — P. 1570–1574.
16. Kiryu S., Loring S. H., Mori Y., et al. Quantitative analysis of the velocity and synchronicity of diaphragmatic motion: dynamic MRI in different postures // *Magn. Reson. Imaging*. — 2006. — Vol. 24 (10). — P. 1325–1332.
17. Kim W. Y., Suh H. J., Hong S.-B. et al. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: Influence on weaning from mechanical ventilation // *Critical Care Medicine*. — 2011. — Vol. 12. — P. 2627–2630.
18. Kolar P., Neuwirth J., Šanda J. et al. Analysis of Diaphragm Movement during Tidal Breathing and during its Activation while Breath Holding Using MRI Synchronized with Spirometry // *Physiol.* — 2009. — Vol. 58. — P. 383–392.

REFERENCES

1. Bazylev V. V., Chernogrirov A. E., Voevodin A. B., *Angiologiya i sosudistaya hirurgiya*, 2013, vol. 19, No. 1, pp. 93–100.
2. Diehl J. L., Lofaso F., Deleuze P. et al., *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 1994, vol. 107, pp. 487–498.
3. Lindenbraten L. D., *Radiologiya i praktika*, 2001, vol. 2, pp. 6–21.
4. Paramonova T. I., Vdovkin A. V., *Diagnosticheskaya i intervencionnaya radiologiya*, 2016, vol. 10, No. 2, pp. 11–16.
5. Nason L. K., Walker C. M., McNeeley M. F. et al., *Radio. Graphics*, 2012, vol. 32, pp. 51–70.
6. Freedman B., *Thorax*, 1950, vol. 5, pp. 169–182.
7. Wynn-Williams N., *Thorax*, 1954, vol. 9, pp. 299–303.
8. Chetta A., Rehman A. K., Moxham J. et al., *Respir. Med.*, 2005, vol. 99, pp. 39–44.
9. Suwatanapongched T., Gierada D. S., Slone R. M. et al., *Chest*, 2003, vol. 123, No. 6, pp. 2019–2027.
10. Andrianova E. N., Reshetova T. G., Ryvkin A. I. et al. *Sposob diagnostiki podvizhnosti diafragmy pri bronxialnoj astme u detej*, Patent RU 2229845, 2002.
11. Armstrong P. *Imaging of diseases of the chest*, London, 2000, pp. 21–62.
12. Fraser R. S., Muller N. L., Colman N. et al. *Diagnosis of diseases of the chest*, Philadelphia, 1999, pp. 246–268.
13. Lennon E. A., Simon G., *Br. J. Radiol.*, 1965, vol. 38, pp. 937–943.
14. Salih H. A., Ayad C. E., Abdalla E. A. et al., *Imaging and Instrumentation*, 2013, vol. 13, No 3, pp. 9–16.
15. Gottesman E., McCool F. D., *Am. J. Respir. Crit. Care. Med.*, 1997, vol. 155, pp. 1570–1574.
16. Kiryu S., Loring S. H., Mori Y. et al., *Magn. Reson. Imaging*, 2006, vol. 24 (10), pp. 1325–1332.
17. Kim W. Y., Suh H. J., Hong S.-B. et al., *Critical Care Med.*, 2011, vol. 12, pp. 2627–2630.
18. Kolar P., Neuwirth J., Šanda J. et al., *Physiol.*, 2009, vol. 58, pp. 383–392.

Поступила в редакцию: 29.07.2016 г.

Контакт: Парамонова Татьяна Иннокентьевна, paramonti@yandex.ru

Сведения об авторах:

Базылев Владлен Владленович — доктор медицинских наук, главный врач ФГБУ «ФЦССХ» Минздрава РФ, 440071, г. Пенза, ул. Стасова, д. 6, сердечно-сосудистый хирург, тел.: +7 412 25-05-80, e-mail: cardio-penza@yandex.ru;

Парамонова Татьяна Иннокентьевна — кандидат медицинских наук, заведующий отделением лучевой диагностики, врач-рентгенолог ФГБУ «ФЦССХ» Минздрава РФ, 440071, г. Пенза, ул. Стасова, д. 6, тел.: +7 937 413-32-36, e-mail: paramonti@yandex.ru;

Вдовкин Александр Валентинович — врач-рентгенолог отделения лучевой диагностики ФГБУ «ФЦССХ» Минздрава РФ, 440071, г. Пенза, ул. Стасова, д. 6, тел.: +7 902 207-97-54, e-mail: wdovkin@yandex.ru.