

*Я. А. Острожинский*

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ФУНКЦИИ ЛЁГКИХ

*Научный руководитель: канд. физ.-мат. наук, доц. О. Н. Белая  
Кафедра медицинской и биологической физики,  
Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск*

*Y. A. Astrazhynski*

## PHYSICAL BASES AND METHODS OF TESTING LUNG FUNCTIONS

*Tutor: associate professor O. N. Belaya  
Department of Medical and Biological Physics  
Belarusian State Medical University, Minsk*

**Резюме.** В данной работе проводилось экспериментальное определение жизненной емкости легких у разных возрастных групп курящих и некурящих студентов косвенным путём по методу Архимеда, было проведено исследование зависимости ЖЕЛ от роста и сравнение ЖЕЛфактич с ЖЕЛтеор, определенным по формуле Людвига.

**Ключевые слова:** лёгкие, жизненная ёмкость легких, курение, медицина, тестирование функции.

**Resume.** In this work, an experimental determination of the LVC in different age groups of smoking and non-smoking students was carried out indirectly using the Archimedes method; a study was made of the dependence of LVC on growth and the comparison of LVCpract with LVCtheor determined by the Ludwig's formula.

**Keywords:** lungs, lung vital capacity, smoking, medicine, function testing.

**Актуальность.** Известно, что в процессе дыхания происходит постоянный газообмен между организмом и окружающей средой, при этом в организме человека нет запасов кислорода, и поэтому его непрерывный доступ к организму жизненно необходим. Производя попеременно вдох и выдох, человек вентилирует легкие, поддерживая в альвеолах относительно постоянный газовый состав. В легких кислород из альвеолярного воздуха переходит в кровь, а углекислый газ поступает в легкие. Переход газов из воздуха в жидкость и из жидкости в воздух осуществляется за счет разности парциального давления этих газов в воздухе и жидкости. Если парциальное давление газа в окружающей среде выше, чем напряжение этого газа в жидкости, то газ растворяется в жидкости.

Парциальное давление кислорода в альвеолярном воздухе 100–105 мм рт. ст., а в протекающей к легким крови напряжение кислорода в среднем 80 мм рт. ст., поэтому в легких кислород из альвеолярного воздуха переходит в кровь. Движение газов происходит по законам физики, согласно которым газ распространяется из среды с высоким парциальным давлением в среду с меньшим парциальным давлением. Газообмен в легких совершается между альвеолярным воздухом и кровью путем диффузии. Альвеолы легких оплетены густой сетью капилляров. Стенки альвеол и капилляров очень тонкие, что способствует проникновению газов из легких в кровь и наоборот. Газообмен зависит от величины поверхности, через которую осуществляется диффузия газов и разности парциальных давление (напряжения) диффундирующих газов

[1]. При глубоком вдохе альвеолы растягиваются и их поверхность достигает 100–105 м<sup>3</sup>.

Таким образом, актуальность данного научно-практического исследования заключается в особой необходимости измерения и анализа жизненно важных показателей лёгких для оценки их нормального функционирования как отдельного органа и функционирования всего организма в целом.

**Цель:** изучить физические основы и методы тестирования функции лёгких с помощью метода Архимеда, определить достоинства и недостатки метода Архимеда по сравнению с спирографией, выявить отличие или сходство между определением жизненной ёмкости лёгких у мужчин и женщин по формуле Людвига и методом Архимеда.

**Задачи:**

1. Провести анализ соответствующей литературы по данной тематике.
2. Выполнить экспериментальное исследование жизненной ёмкости лёгких у студентов БГМУ и БГПУ косвенным путём по методу Архимеда.
3. Выявить преимущества и недостатки метода Архимеда в сравнении с методом вычисления жизненной ёмкости лёгких по формуле Людвига.

**Материал и методы.** В качестве материалов были использованы: научная литература по данному вопросу, научные форумы, Интернет-ресурсы, данные определения жизненной ёмкости лёгких, антропометрические данные обследуемых. Для получения данных жизненно важных показателей лёгких и антропометрических данных к эксперименту привлекались студенты Белорусского государственного медицинского университета и Белорусского государственного педагогического университета им. М. Танка. Методы исследования: синтез, анализ, сравнительный анализ, эксперимент.

Первым этапом исследования являлось объяснение процесса дыхания с точки зрения биологии и медицины. Затем процесс дыхания был рассмотрен как физических процесс, происходящий в организме человека. Следующий этап исследования заключался в определении жизненной ёмкости лёгких методом Архимеда.

Методика проведения эксперимента для определения жизненной ёмкости лёгких методом Архимеда:

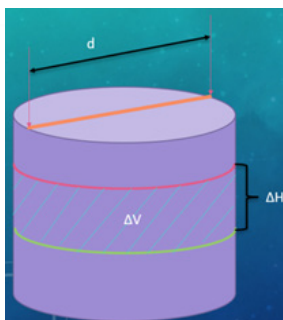
1. Налить в ведро 4-5 л воды и отметить ее уровень карандашом.
2. Вдохнуть максимально возможное количество воздуха, затем выдохнуть в шарик (шарик при этом должен быть предварительно хорошо раздут).
3. Опустить надутый шарик в ведро и отметить изменение уровня воды.

По объему количество вытесненной воды равно объему воздуха в шарике, согласно закону Архимеда, т.е. экспериментальное определение жизненной ёмкости лёгких основано на явлении выталкивания погруженной в неё части тела (в данном случае – шарик целиком) водой. Данный объем выдохнутого воздуха соответствует жизненной ёмкости лёгких и может быть определен по формуле (1).

$$\square_{\text{ЖЕЛ}} \square_{\text{факт}} = (\pi d^2 \Delta H) / 4 \quad (1)$$

ЖЕЛфакт имеет приборно-вычислительную погрешность 7,93%.

В качестве оборудования использовались: резиновый шарик, цилиндрическое ведро, линейка, карандаш (рисунок 1).



**Рис. 1** – Схема экспериментальной установки с обозначениями параметров, использующихся при расчёте ЖЕЛ косвенным путём по методу Архимеда

Для оценки точности полученного значения жизненной ёмкости лёгких (ЖЕЛ-факт) использовались формулы Людвига [2]:

$$\square \text{ЖЕЛ} \square_{\text{теор муж}} = (\square \text{Рост} \square_{\text{((см)}}) \cdot 0,052) - (\square \text{Возраст} \square_{\text{((лет)}}) \cdot 0,022) - 5,7) \cdot 1000 \quad (2)$$

$$\square \text{ЖЕЛ} \square_{\text{теор жен}} = (\square \text{Рост} \square_{\text{((см)}}) \cdot 0,041) - (\square \text{Возраст} \square_{\text{((лет)}}) \cdot 0,018) - 3,9) \cdot 1000 \quad (3)$$

Оценка точности проводилась путем сравнения ЖЕЛфакт с ЖЕЛтеор по относительной погрешности:

$$\Delta \epsilon = (\square \text{ЖЕЛ} \square_{\text{теор}} - \square \text{ЖЕЛ} \square_{\text{факт}}) / \square \text{ЖЕЛ} \square_{\text{теор}} \cdot 100 \% \quad (4)$$

Сравнительная точность определения ЖЕЛ составляла в среднем порядка 5–12%.

Результаты определения ЖЕЛфакт по формуле (1), ЖЕЛтеор по формулам (2) и (3) и оценка точности по формуле (4) представлены в таблице 1.

### Результаты и их обсуждение.

**Табл. 1.** Полученные данные экспериментального исследования ЖЕЛ косвенным путем по методу Архимеда и теоретического ЖЕЛ по формулам Людвига

№ п/п	Возраст, лет	Рост, см	Разность, см	Пол	Курение?	ЖЕЛтеор, мл	ЖЕЛфакт, мл	Отклонение, %
1	20	185	8,5	ж	нет	3325	2670,36	19,69
2	21	175	9,5	ж	нет	2897	2984,52	3,02
3	21	174	8	ж	да	2856	2513,28	12,00
4	22	169	8,5	ж	нет	2633	2670,36	1,42
5	21	181	9	м	нет	3250	2827,44	13,00
6	28	189	12	м	нет	3512	3769,92	7,34
7	21	164	7,5	ж	нет	2446	2356,20	3,67
8	22	184	10	м	да	3384	3141,60	7,16
9	21	194	12	м	да	3926	3769,92	3,98
10	23	184	11	м	да	3362	3455,76	2,79
11	19	152	7	ж	да	1990	2199,12	10,51
12	21	178	10	м	да	3094	3141,60	1,54

13	20	179	9,5	м	да	3168	2984,52	5,79
14	20	183	13	м	нет	3376	4084,08	20,97
15	20	159	7,5	ж	нет	2259	2356,20	4,30
16	21	180	8	м	нет	3198	2513,28	21,41
17	19	170	7,5	ж	нет	2728	2356,20	13,63
18	19	170	8,2	ж	нет	2728	2576,11	5,57
19	21	188	8,8	ж	да	3430	2764,61	19,40
20	24	191	9,5	м	да	3704	2984,52	19,42
21	20	177	10,2	м	нет	3064	3204,43	4,58
22	21	178	10,9	ж	нет	3020	3424,34	13,39
23	18	187	9,6	м	нет	3628	3015,94	16,87
24	22	179	10,1	ж	нет	3043	3173,02	4,27
25	21	169	9,3	ж	нет	2651	2921,69	10,21
26	18	186	10,5	м	да	3576	3298,68	7,76
27	23	182	11,3	м	нет	3258	3550,01	8,96
28	24	184	11,6	м	нет	3340	3644,26	9,11
29	22	175	8,9	ж	да	2879	2796,02	2,88
30	18	176	8,5	м	нет	3056	2670,36	12,62

Были построены диаграммы зависимости ЖЕЛфакт от антропологических характеристик (рост, возраст) для курящих и некурящих женщин и мужчин (рис. 2, а - зависимость ЖЕЛфакт от роста для мужчин; б - зависимость ЖЕЛфакт от роста для женщин; в - зависимость ЖЕЛфакт от возраста).

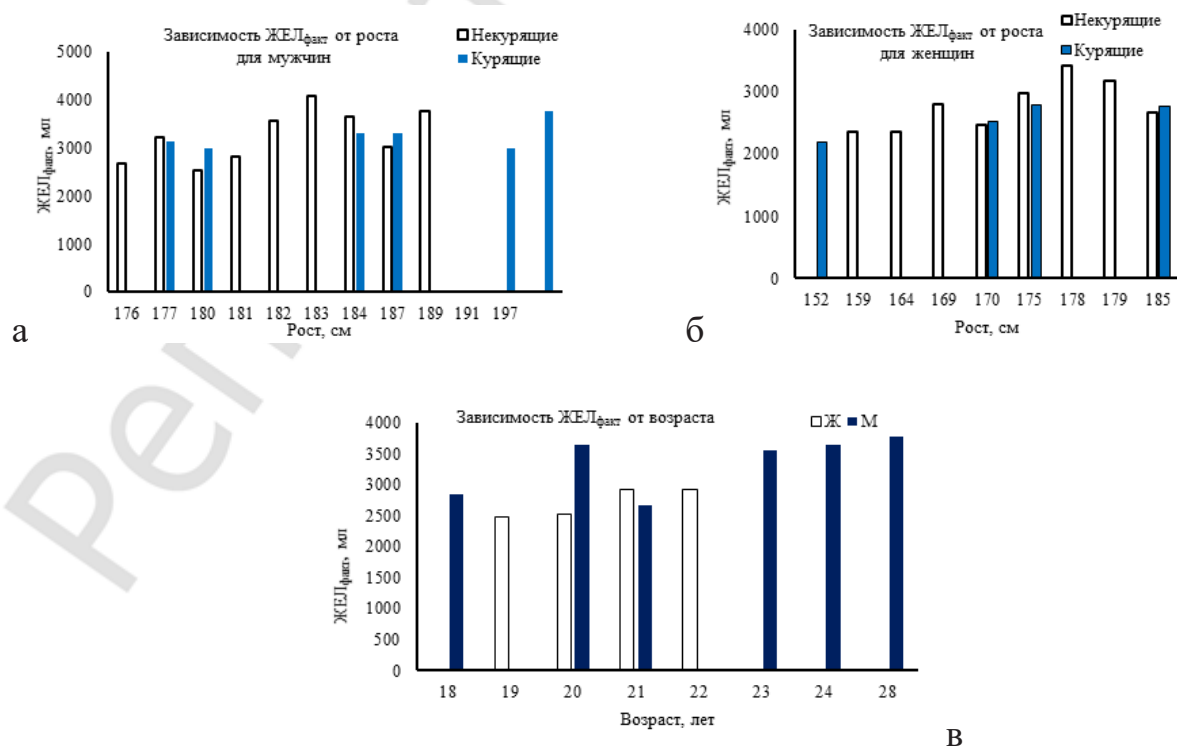


Рис. 2 – Зависимости ЖЕЛфакт от антропологических характеристик

Как следует из представленных данных, фактические и теоретические значения ЖЕЛ у большинства испытуемых практически совпадают с учетом погрешности.

Снижение жизненной ёмкости лёгких у курильщиков по сравнению с некурящими объясняется уменьшением эффективного объема дыхания, которое напрямую зависит от суммарного объема альвеол. Выдвинуто предположение, что смолы, содержащиеся в табачном дыме, откладываются на стенках альвеол, связывают сурфактант и блокируют его функцию, заключающуюся в предотвращении слипания стенок альвеол при выходе воздуха из них (рисунок 3).



**Рис. 3** – «Чистые» лёгкие некурильщика (1) и лёгкие курильщика (2) с отложениями смол в результате курения

В настоящее время широко применяется в клинической практике функциональной диагностики при бронхообструктивных заболеваниях спирометрия [3]. Данный метод позволяет получить данные, достаточные для оценки нарушений внешнего дыхания. При проведении спирометрии пациент вдыхает и выдыхает с максимальной силой, при этом измеряются объемная скорость воздушного потока и изменения объема дыхательной системы. Метод Архимеда по своим физиологическим основам согласуется с клиническим методом и позволяет получить достоверные результаты.

#### **Выводы:**

1. Работоспособность человека определяется в основном тем, какое количество кислорода получено из наружного воздуха в кровь легочных капилляров и доставлено в ткани клетки. Это предъявляет повышенные требования к функциям дыхательной системы.

2. Предложенный метод определения ЖЕЛ методом Архимеда по своим физиологическим основам согласуется с клиническим методом определения ЖЕЛ и позволяет получить достоверные результаты.

3. Отклонения фактических значений ЖЕЛ от теоретически рассчитанных напрямую зависят от состояния дыхательной системы и являются следствием табачной зависимости.

#### **Литература**

1. Давидовская, Е.И. Комплексное исследование респираторной функции легких в клинической практике: учебно-методическое пособие / Е.И. Давидовская, П.Н. Зуева. – Минск: БелМАПО, 2012. – 79 с.

2. Няшин, Ю.И. Экспериментальные методы в биомеханике: учебное пособие / Ю.И. Няшин. – Пермь: Издательство Пермского государственного технического университета - 2008. – 400 с.

3. Рауз, Х. Механика жидкости / Х. Рауз. – М.: Изд. литературы по строительству - 1967. – 392 с.