

## **Применение математической модели для прогноза состояния больных с послеоперационными грыжами живота**

Д. В. Арапов, email: arapovdv@gmail.com<sup>1</sup>

С. А. Скоробогатов, email: stanislav.magic@mail.ru<sup>2</sup>

Е. Ф. Чередников, email: facult-surg.vsmuburdenko@yandex.ru<sup>2</sup>

Г. В. Полубкова, email: facult\_surg@vsmaburdenko.ru<sup>2</sup>

В. А. Курицын, email: vakuricin@gmail.com<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Воронежский государственный медицинский университет имени Н.Н. Бурденко»

<sup>3</sup> ЗАО «Инженерные системы автоматизации», г. Воронеж

**Аннотация.** *В данной работе рассматривается разработка комплекса алгебраических моделей для прогнозирования послеоперационного состояния пациентов с срединными вправимыми грыжами живота разных размеров и различной операционной пластикой.*

**Ключевые слова:** *срединные вправимые грыжи живота, послеоперационное состояние пациента, математическая модель.*

### **Введение**

Проблема лечения грыж передней брюшной стенки живота до настоящего времени актуальна, так как оперативные вмешательства по поводу послеоперационных срединных грыж живота реализуются сравнительно часто [1-5]. Эти операции достаточно сложны и опасны: примерно каждая четвертая из их сопровождается осложнением и, в среднем, 4% операций имеют летальный исход [6]. Практически у половины пациентов пожилого и старческого возраста возникают рецидивы при пластике собственными тканями [7,8]. В этой связи широко используется «не натяжная» методика протезирования брюшной стенки с использованием сетчатых протезов при лечении послеоперационных срединных грыж [9-12]. Но, и при использовании синтети-ческих эндопротезов, частота рецидивов довольно высокая и достигает 30 % и более [13]. В последние годы стали активно внедряться сепарационные методики с установкой сеток больших размеров [14-16], однако, недостатком этих операций является их достаточно высокая продолжительность и травматичность, не изученность отдаленных последствий. Очевидно, оптимальным вариантом хирургического лечения послеоперационных срединных

грыж является пластика собственными тканями, которая, однако, часто сопровождается резким повышением внутрибрюшного давления из-за погружения грыжевого содержимого в брюшную полость и сведения грыжевых ворот. Поэтому, в целях безопасности пациентов операционное вмешательство должно сопровождаться контролем величины и динамики изменения внутрибрюшного давления [17]. Чаще всего внутрибрюшное давление оценивают по давлению в мочевом пузыре с использованием трансуретрального катетера [6]. Недостатком этого метода является его инвазивность, плохая переносимость и частые осложнения. Более перспективной является не инвазивная методика опосредованной оценки изменений внутрибрюшного давления путем измерения сатурации крови кислородом на различных этапах лечения пациентов [5, 18, 19]. Важным моментом в лечении больных с послеоперационными вентральными грыжами является восстановление функции мышц брюшной стенки после герниопластики [5, 19]. Общим недостатком известных публикаций является то, что в них применена только общепринятая описательная статистическая обработка экспериментальных данных с использованием критериев Вилкоксона, Манна-Уитни. Задача разработки математических зависимостей для прогнозирования послеоперационного состояния больных в них не ставилась и не рассматривалась, в то время как математическое моделирование является мощным средством для прогнозирования поведения различных объектов, например [20-22].

В задачи исследования входила разработка на основе методов нелинейного программирования оригинальных математических моделей (ММ), позволяющих выбрать метод лечения и с высокой точностью прогнозировать послеоперационное состояние пациентов с срединными послеоперационными грыжами разных размеров – от малых до больших.

## **1. Материалы и методы**

Вычислительные эксперименты проводились в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» на кафедре высшей математики и информационных технологий. Обработка экспериментальных данных реализована с помощью методов нелинейного и линейного программирования.

Экспериментальное исследование выполнено на базе БУЗ ВО «Воронежская городская клиническая больница №1», БУЗ ВО «Воронежская городская клиническая больница скорой медицинской помощи №10» и научно – исследовательского института герниологии им. проф. Любых Е.Н. «Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко» Минздрава России у 55 пациентов.

Определены три основные группы пациентов в зависимости от ширины грыжевых ворот и размеров грыжи: 1) 16 человек (29.1 %) были с грыжами малого размера и имели ширину грыжевых ворот до 5 см; 2) 20 больных (36,4 %) имели грыжи среднего размера и ширину ворот от 5 до 9 см; 3) у 19 пациентов (34,5 %) зарегистрированы грыжи обширного и гигантского размера (ширина грыжевых ворот от 10 до 16 см). Больные имели разный возраст и пол, которые при разработке ММ не учитывались.

Внутрибрюшное давление оценивалось по сатурации крови кислородом [18, 19]. Для этого использовали пульсоксиметры «Армед», Vitmos Sat 816» и ОП-31.1 «Тритон Т-31». Значимых отличий в определении значений сатурации данными приборами не выявили. Величину сатурации крови определяли: 1) до операции в состоянии покоя и при физическом моделировании послеоперационной ситуации, включающем погружение посредством пелота в брюшную полость больного грыжевого содержимого с одновременным утягиванием живота и сближением бандажом грыжевых ворот. Фиксировалось снижение сатурации крови кислородом; 2) после операции в 1-е, 2-е и 7-е сутки.

Для оценки функционального состояния мышц передней брюшной стенки живота (общая электрическая активность и степень утомляемости мышц) проводили электромиографию до операции и спустя полгода после операции. Для этой цели использовали электромиограф Нейрософт «Нейро-МВП».

## 2. Результаты и их обсуждение

1. Математическое моделирование зависимости сатурации спустя 1 сутки после операции от дооперационных показателей больного:

1) Модель для грыж малых размеров (выбранный способ пластики – «по Сапежко»):

$$\begin{aligned}
 s_1 = & a_1 \cdot s^M + a_2 \cdot s^M \cdot 10^3 \exp^{-0,025 \cdot s^M} + a_3 \cdot s^M \cdot \ln s^M + \\
 & + a_4 \cdot s^M \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{s^0 - s^M} \cdot \ln A^0 / U^0 + a_5 \cdot \ln U^0 / \ln A^0 + \\
 & + a_6 \cdot \left( \sqrt{s^0 - s^M} \cdot \ln A^0 / U^0 \right)^{a_7} + a_8 \cdot \left( \sqrt{s^0 - s^M} \cdot \ln A^0 / U^0 \right)^{a_8},
 \end{aligned} \quad (1)$$

где  $s_1$  - сатурация крови больного через одни сутки после операции, %;  $s^0$  - сатурация крови больного перед операцией в спокойном состоянии, %;  $s^M$  - сатурация крови больного после

имитации операции при физическом моделировании, %;  $A^0$ ,  $U^0$  - соответственно общая электрическая активность мышц живота и степень их утомляемости перед операцией в спокойном состоянии.

2) Модель для грыж средних размеров (выбранный способ пластики – «иммобилизация операционной раны» ИОР):

$$S_1 = a_1 \cdot S^M + a_2 \cdot S^M \cdot 10^8 \exp^{-0,28 \cdot S^M} + a_3 \cdot S^M \cdot \ln S^M + \\ + a_4 \cdot S^M \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{S^0 - S^M} \cdot \ln A^0 / U^0 + a_5 \cdot \ln U^0 / \ln A^0 + \\ + a_6 \cdot \left( \sqrt{S^0 - S^M} \cdot \ln A^0 / U^0 \right)^{a_7} + a_8 \cdot \left( \sqrt{S^0 - S^M} \cdot \ln A^0 / U^0 \right)^{a_8} . \quad (2)$$

3) Модель для грыж средних размеров (выбранный способ пластики – «ИОР с укреплением») и для грыж больших размеров (способ пластики – «двухэтапный»):

$$S_1 = a_1 \cdot S^M + a_2 \cdot S^M \cdot 10^{11} \exp^{-0,3 \cdot S^M} + a_3 \cdot S^M \cdot \ln S^M + \\ + a_4 \cdot S^M \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{S^0 - S^M} \cdot \ln A^0 / U^0 + a_5 \cdot \ln U^0 / \ln A^0 + \\ + a_6 \cdot \left( \sqrt{S^0 - S^M} \cdot \ln A^0 / U^0 \right)^{a_7} + a_8 \cdot \left( \sqrt{S^0 - S^M} \cdot \ln A^0 / U^0 \right)^{a_8} . \quad (3)$$

4) Модель для обширных грыж (выбранный способ пластики – «задняя сепарация»):

$$S_1 = a_1 \cdot S^M + a_2 \cdot S^M \cdot 10^{11} \exp^{-0,3 \cdot S^M} + a_3 \cdot S^M \cdot \ln S^M . \quad (4)$$

5) Формула для обширных грыж (выбранный способ пластики – «протезирование»):

$$S_1 = a_1 \cdot S^M + a_2 \cdot S^M \cdot 10^{10} \exp^{-0,28 \cdot S^M} + a_3 \cdot S^M \cdot \ln S^M + \\ + a_4 \cdot S^M \cdot 10^{-2} \cdot \sqrt{S^0 - S^M} \cdot \ln A^0 / U^0 + a_5 \cdot \ln U^0 / \ln A^0 + \\ + a_6 \cdot \left( \sqrt{S^0 - S^M} \cdot \ln A^0 / U^0 \right)^2 . \quad (5)$$

Таким образом, получена зависимость послеоперационной сатурации от дооперационных показателей больного для малых, средних и больших грыж. Погрешность ее моделирования составляет не более  $\pm 0,2\%$ .

2. Моделирование сатурации крови на вторые и седьмые сутки после операции:

$$\begin{aligned}
s_{2,7} = & b_1 + b_2 \cdot \left( \sqrt{S^0 - S^M} \cdot \ln A^0 / U^0 \right) + \\
& + b_3 \cdot \left( \sqrt{S^0 - S^M} \cdot \ln A^0 / U^0 \right) \cdot \exp -b_4 \cdot \tau + \\
& + b_5 \cdot S^M \cdot \ln A^0 / U^0 + b_6 \cdot S_1 - S^M + b_7 \cdot \ln U^0 / \ln A^0, \quad (6)
\end{aligned}$$

где  $s_2$  и  $s_7$  – соответственно сатурация крови больного на 2 –е и 7 –е сутки после операции.

Средняя ошибка моделирования составляет  $\pm 0,1\%$ .

3. Моделирование утомляемости и электрической активности мышц живота больного через полгода после операции:

$$\begin{aligned}
U_{0,5} = & U^0 + c_1 \cdot S_7 + c_2 \cdot S_7^2 + c_3 \cdot \sqrt{S^0 - S^M} \cdot \ln A^0 / U^0 + \\
& + c_4 \cdot S^0 - S^M + c_5 \cdot S_7 - S^M^2; \quad (7)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{0,5} = & A^0 + d_1 \cdot S_7 + d_2 \cdot S_7^2 + d_3 \cdot \sqrt{S^0 - S^M} \cdot \ln A^0 / U^0 + \\
& + d_4 \cdot S^0 - S^M + d_5 \cdot S_7 - S^M^2, \quad (8)
\end{aligned}$$

где  $U_{0,5}$  и  $A_{0,5}$  – соответственно утомляемость мышц живота и их общая электрическая активность через 0,5 года после операции. Погрешность моделирования этих свойств составляет в среднем  $\pm 2 - 3\%$ .

### Заключение

Проведено экспериментальное исследование и математическое моделирование основных послеоперационных показателей больных с срединными вправимыми грыжами живота. Разработан комплекс математических моделей (1) – (8), позволяющих при выбранном методе хирургического вмешательства прогнозировать с достаточной точностью послеоперационное состояние больного. Регрессионные коэффициенты  $a, b, c, d$  получены для каждого вида модели (1) – (8).

### Список литературы

1. Черных, А.В. Возможности определения размеров сетчатого протеза на дооперационном этапе пахового грыжосечения / А.В. Черных, Е.И. Закурдаев, Е.Ф. Чередников // Новости хирургии. – 2016. – Т. 23, №6. – С. 619 – 623.

2. Оценка результатов лапароскопической трансабдоминальной преперитонеальной пластики в лечении пациентов с паховыми грыжами / Г.В. Полубкова [и др.] // Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья. – 2016. - №65. – С. 10 – 13.

3. Опыт применения топографически и анатомически обоснованных, функционально-ориентированных способов пластики паховых грыж / О.В. Стрыгин [и др.] // Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья. – 2016. - №65. – С. 14 – 19.

4. Гогия, Б.Ш. Первичное закрытие лапаротомной раны сетчатым эндопротезом с целью предупреждения возникновения послеоперационных грыжи / Б.И. Гогия // Материалы VII Всероссийской конференции общих хирургов. – Красноярск, 2012. – С. 876.

5. Выбор способа хирургического лечения пациентов с послеоперационными срединными вправимыми грыжами на основе не инвазивной оценки внутрибрюшного давления / Е.Ф. Чередников [и др.] // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. – 2017. – Т.10. – №2. – С. 103 – 110.

6. Синдром абдоминальной гипертензии: состояние проблемы / Б.Р. Гельфанд [и др.] // Медицинский алфавит. Неотложная медицина. – 2010. - № 3. – С. 34 – 42.

7. Berger, D. Operative therapie der narbenherni technische prinzipien / D. Berger, A. Lux // Chirurg. – 2013. – Vol. 84. – P. 1001–1011.

8. Hanna, M. Mesh ingrowth with concomitant bacterial infection resulting in inability to explant: a failure of mesh salvage [Text] / M. Hanna, S. Dissanaikie // Hernia. – 2015. – Vol. 2. – P. 339 – 344.

9. Передняя протезирующая герниопластика комбинированным способом при больших и гигантских вентральных грыжах / В.И. Белоконев [и др.] // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2018; (5): 45 – 50. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2018545-50>.

10. Экспериментально-клиническое изучение нового способа уменьшения внутрибрюшного давления при протезирующей герниопластике Sublay по поводу срединных послеоперационных грыж / А.В. Черных [и др.] // Оперативная хирургия и клиническая анатомия. 2017; 1(1): 37 – 43. <https://doi.org/10.17116/operhirurg20171137-43>

11. Лечение сложных послеоперационных вентральных грыж / А.М. Лембас [и др.] // Тезисы докладов; IV Всероссийский съезд гернитологов «Актуальные вопросы гернитологии 2019» 01 – 02 ноября 2019 г., г. Москва. – М.: Всероссийское общество гернитологов, 2019. – С. 69 – 71.

12. Применение самофиксирующихся имплантантов в хирургическом лечении вентральных грыж / М.Н. Навид [и др.] // Тезисы докладов; IV Всероссийский съезд гернитологов «Актуальные вопросы гернитологии 2019» 01 – 02 ноября 2019 г., г. Москва. – М.: Всероссийское общество гернитологов, 2019. – С. 75 – 77.

13. Гогия, Б.Ш. Первичное закрытие лапаротомной раны сетчатым эндопротезом с целью предупреждения возникновения послеоперационной грыжи / Б.Ш. Гогия // Материалы VII Всероссийской конференции общих хирургов. Красноярск, 2012. С. 876.

14. Горский, В.А. Сравнительное исследование непосредственных и отдаленных результатов интраперитонеальной и сепарационных герниопластик у больных с вентральными грыжами / В.А. Горский, А.С. Сивков, Б.Е. Титов // Тезисы докладов; IV Всероссийский съезд гернитологов «Актуальные вопросы гернитологии 2019» 01 – 02 ноября 2019 г., г. Москва. – М.: Всероссийское общество гернитологов, 2019. – С. 39 – 41.

15. Горский, В.А. Вариант применения коллагеновой пластины при вентральных грыжах / В.А. Горский, А.С. Сивков, М.Д. Поливода // Практическая медицина. – 2016. -№ 5 (97). – С. 67 – 72.

16. Магомедов, М.М. Опыт использования задней сепарационной пластики при послеоперационных вентральных грыжах / М.М. Магомедов, М.А. Халидов, М.А. Магомедов // Тезисы докладов; IV Всероссийский съезд гернитологов «Актуальные вопросы гернитологии 2019» 01 – 02 ноября 2019 г., г. Москва. – М.: Всероссийское общество гернитологов, 2019. – С. 71 – 72.

17. Шаповальянц, С.Г. Выбор способа сепарационной пластики при больших вентральных грыжах / С.Г. Шаповальянц, А.И. Михалев, А.Г. Паньков // Тезисы докладов; IV Всероссийский съезд гернитологов «Актуальные вопросы гернитологии 2019» 01 – 02 ноября 2019 г., г. Москва. – М.: Всероссийское общество гернитологов, 2019. – С. 148 – 150.

18. Malbrain M. Intra-abdominal hypertension: definition, monitoring, interpretation and management // Best. Pract. Res. Clin. Anaesthesiol. – 2013. – Vol. 27 (2). – P. 249–270.

19. Способ оценки внутрибрюшного давления у пациентов с грыжами живота [Текст]: пат. №2575336 Российская Федерация: МПК А 61 В 5/107, А 61 В5/145. / С.А. Скоробогатов, Е.И. Баскаков, Е.Н. Любых; заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. мед. университет им. Н.Н. Бурденко. – № 201415475/14; заявл. 31.12.2014; опубл. 20.02.2016, Бюл. №5.

20. Результаты применения не инвазивной оценки внутрибрюшного давления при хирургическом лечении пациентов с послеоперационными срединными вправимыми грыжами / Е.Ф. Чередников [и др.] // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2017. – Т.16. – № 2. – С.328 – 334.

21. Kuritsyn, V.A. Optimization of circulation water cooling process in forced draft towers / V.A. Kuritsyn, D.V. Arapov, R.L. Gorilchenko // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2012. – V.48. - №2. – pp. 97 – 108.

22. Arapov, D.V. Software-algorithmic complex for the synthesis of catalyst of ethylene acetoxylation process / D.V. Arapov, O.V. Karmanova, S.G. Tikhomirov, V.V. Denisenko // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Survey37 ing Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing. 2017. pp. 587-594.

23. Петров, С.М. Вероятностная модель включения несахаров в растущие кристаллы сахара / С.М. Петров, Д.В. Арапов, В.А. Курицын // Сахар.-2011.- № 8.- С. 34-38.