

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТАЦИОНАРНОГО ЛЕЧЕНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПО УСТРАНЕНИЮ АРИТМИЙ

Людмила Анатольевна Басова^{1*}, Ольга Евгеньевна Карякина², Лариса Валерьяновна Кочорова³, Наталья Алексеевна Мартынова², Алексей Генрихович Калинин⁴

¹Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск,

²Северный (Арктический) федеральный университет, г. Архангельск,

³Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова,

Медицинский университет имени И.П. Павлова, г. Санкт-Петербург,

⁴Архангельский научный центр Уральского отделения Российской Академии наук, г. Архангельск

Реферат

Цель. Создание математической модели прогнозирования длительности послеоперационного лечения при выполнении высокотехнологичных операций по устранению аритмий.

Методы. Для прогнозирования длительности лечения пациента в условиях стационара при рассматриваемых видах операций проверялись нормальность распределения признаков и равенство генеральных дисперсий, был использован дискриминантный анализ, дисперсионный анализ, статистический критерий Колмогорова-Смирнова, анализ таблиц сопряженности с помощью критерия Пирсона χ^2 . Нормально распределённые количественные признаки представлены как $M \pm m$ (где m — стандартная ошибка). Для построения модели проведено одномоментное (поперечное) проспективное исследование, в ходе которого были проанализированы данные 345 прооперированных пациентов в возрасте от 20 до 88 лет, из них 42,0% мужчин и 58,0% женщин.

Результаты. Было установлено, что основную категорию нуждающихся в операциях по лечению нарушений ритма сердца составляют женщины в возрасте от 61 до 75 лет (в среднем 68 ± 7 лет). В структуре операций наибольшая доля приходится на имплантацию электрокардиостимулятора — 47,0% (162 пациента), на долю радиочастотной абляции — 31,0% (107 пациентов), изоляции устьев лёгочных вен — 22,0% (76 пациентов). Было также установлено, что наличие осложнений в послеоперационном периоде после имплантации электрокардиостимулятора оказывает прямое влияние на длительность лечения, увеличивая данный показатель практически в 2 раза (в среднем $14,3 \pm 4,2$ дня против $7,4 \pm 1,2$ дня у пациентов без осложнений, $p=0,02$). Статистический анализ совокупности рассчитанных значений целевых функций позволил выделить пять уровней, характеризующих длительность стационарного послеоперационного лечения пациента. Разработанная модель послужила основой для создания автоматизированного программного модуля оценки степени риска поступившего на оперативное лечение пациента. Для данной модели показатель точности решающих правил составил 87%, средний показатель точности — 84,7%.

Вывод. Автоматизированный программный модуль прогнозирования длительности стационарного послеоперационного лечения позволяет выявить риск для пациентов на предмет вероятности осложнений после оперативных вмешательств, а также определяет в дальнейшем степень влияния этого риска на использование коечного фонда и финансирование высокотехнологичных операций за счёт средств обязательного медицинского страхования.

Ключевые слова: математическое моделирование, высокотехнологичные операции на сердце, дискриминантный анализ, факторы риска, длительность послеоперационного лечения.

MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTING THE LENGTH OF HOSPITAL STAY AFTER PERFORMING HIGH-TECH OPERATIONS FOR ARRHYTHMIA CORRECTION

¹L.A. Basova, ²O.E. Karyakina, ³L.V. Kochorova, ⁴N.A. Martynova, ⁵A.G. Kalinin. ¹Northern state medical university, Arkhangelsk, Russia, ²Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk, Russia, ³Ist State Medical University of Saint Petersburg named after academician I.P. Pavlov, Saint Petersburg, Russia, ⁴Arkhangelsk Scientific Center, Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia.

Aim. To create a mathematical model for predicting the length of post-operative treatment after performing high-tech surgeries for arrhythmia treatment.

Methods. To predict the in-patient treatment duration after performing high-tech surgeries for arrhythmia treatment, the data set was checked for normality of sample variance distribution and for variability, discriminant function analysis, variability analysis, Kolmogorov-Smirnov test, crosstab Pearson's chi-squared test were performed. Normally distributed quantitative parameters are presented as $M \pm m$ (m — standard error). Cross-sectional prospective study including the data of 345 patients aged 20 to 88 years (males 42.0%, females 58.0%) who underwent high-tech surgeries for arrhythmia treatment, was performed for modeling. **Results.** It was found that the main category of patients who require surgery for cardiac arrhythmia treatment were women aged 61 to 75 years (mean 68 ± 7 years). Pacemaker implantation was the most common surgery type (47.0%, 162 patients), followed by radiofrequency ablation (31.0%, 107 patients) and encircling pulmonary veins isolation (22.0%, 76 patients). It was also found that the presence of postoperative complications after implantation of the pacemaker directly influencing treatment duration, increasing it almost twice fold (to an average of 14.2 ± 5.1 days compared to 7.4 ± 1.2 days in patients without complications, $p=0.02$). Statistical analysis allowed to identify five levels characterizing the duration of in-patient post-operative management. An automated software module for risk assessment in patients admitted for high-tech surgeries for arrhythmia treatment was created basing on the results of the study. The precision of the model reached 87% (mean value 84.7%). **Conclusion.** An automated software module for predicting the length of in-patient

post-operative treatment allows to stratify the risk of post-surgical complications for patients and shows the influence of those risks on the use of hospital beds, medical aid management and funding of high-tech surgeries by obligatory health insurance funds. **Keywords:** mathematical prediction, high-tech heart surgery, discriminant analysis, risk factors, duration of post-operative treatment.

В настоящее время согласно статистическим данным сердечно-сосудистые заболевания занимают первое место по частоте среди причин летальных исходов. Одной из категорий, связанных с нарушением работы деятельности сердца, являются аритмии — такие состояния, при которых нарушаются одна или обе главные характеристики нормального ритма сердца (регулярность и частота). Для лечения данного рода заболеваний используют следующие виды высокотехнологичных операций: имплантацию электрокардиостимулятора (ЭКС), радиочастотную абляцию и изоляцию устьев лёгочных вен [1].

Имплантация ЭКС используется для устранения брадиаритмий, осуществляется через небольшой разрез в подключичной области. Метод радиочастотной абляции применяется при лечении тахиаритмий и представляет собой устранение дополнительных путей или аномальных водителей ритма путём радиочастотного воздействия на участок сердца, ставший причиной возникновения аритмии.

Выбор данных методов лечения больных с нарушениями ритма сердца обусловлен их высокой эффективностью, относительной безопасностью и минимальной травматичностью [6].

При выполнении описанных процедур могут возникнуть послеоперационные осложнения, вероятность наступления которых в свою очередь оказывает непосредственное влияние на длительность послеоперационного лечения. Для оценки этой вероятности могут быть использованы математические модели.

Наибольшее число современных исследований в области медицинского моделирования в доступной литературе посвящено оценке исхода заболевания, в частности ишемической болезни сердца [2, 5]. Не менее важное направление — медицинское прогнозирование, поскольку оно позволяет выявить факторы риска, определить их значимость и предположить начало заболевания либо определить вероятность осложнений, а также оценить длительность лечения [3, 4, 7, 8].

В настоящем исследовании были использованы сведения об операциях по устранению аритмий, выполненных в хирургическом отделении Архангельской областной клинической больницы за период с 2011 по 2012 гг.

Для построения модели проведено одномерное (поперечное) проспективное исследование, в ходе которого были проанализированы данные 345 прооперированных пациентов в возрасте от 20 до 88 лет, в их числе 145 (42,0%) мужчин и 200 (58,0%) женщин. Было установлено, что в структуре оперативных вмешательств наибольшую долю составляют операции по имплантации ЭКС — 162 (47,0%) из 345, на долю радиочастотной абляции пришлось 107 (31,0%)

вмешательств, изоляции устьев лёгочных вен — 76 (22,0%). Исходя из этого, мы представляем модель прогнозирования длительности послеоперационного стационарного лечения у пациентов после имплантации ЭКС.

Основную категорию нуждающихся в операциях по лечению нарушений ритма сердца составили женщины в возрасте от 61 до 75 лет (в среднем $68,6 \pm 7,4$ года). Среди фоновых заболеваний наиболее часто выявлялись артериальная гипертензия (51,9%, 179 пациентов) и ишемическая болезнь сердца (44,9%, 155 пациентов). Операция по первичной имплантации ЭКС была проведена у 126 (77,8%) больных, в остальных 36 (22,2%) случаях ЭКС подлежал замене.

Среднее время операции имплантации ЭКС составило $43,0 \pm 3,2$ мин, время интраоперационной рентгеноскопии — $4,0 \pm 0,3$ мин. После имплантации ЭКС осложнения возникли у 19 (11,7%) человек. При этом в 3 (15,8%) случаях осложнения были зафиксированы через 1 ч после операции и в течение первых суток, в 10 (52,6%) случаях — в течение первой недели, в 6 (31,6%) — через неделю после операции. В 18 (94,7%) из 19 случаев осложнения были вызваны нарушением работы ЭКС, в 1 (5,3%) случае связаны с нагноением гематомы ложа.

Для оценки выявления факторов риска, влияющих на длительность лечения пациента в условиях стационара после имплантации ЭКС, с помощью дисперсионного анализа нами было выбрано 11 входных переменных, обозначенных баллами по степени их выраженности (табл. 1). В качестве результирующего параметра была выбрана длительность послеоперационного лечения пациента в отделении.

Установлено, что чем больше у пациента фоновых заболеваний, тем длительнее его пребывание в стационаре: при наличии трёх фоновых заболеваний длительность послеоперационного лечения составила в среднем $9,3 \pm 3,2$ дня, при наличии одного заболевания — $6,5 \pm 2,1$ дня ($p < 0,05$).

Кроме того, на длительность лечения прямое влияние оказывало наличие осложнений в послеоперационном периоде, увеличивая данный показатель в 2 раза (в среднем до $14,3 \pm 4,2$ дня), без осложнений длительность послеоперационного лечения в среднем составляла $7,4 \pm 1,2$ дня ($n=162$, $p=0,02$).

Таким образом, в ходе проведения многомерного статистического анализа данных пациентов, подвергшихся оперативному вмешательству, были выявлены факторы риска, влияющие на продолжительность послеоперационного лечения. Для операции по имплантации ЭКС данными факторами можно считать следующие: клинические симптомы, показания к операции по данным электрокардиографии, длительность операции и рентгеноскопии, возраст, а также

Перечень входных переменных (факторов) при имплантации электрокардиостимулятора (ЭКС)

Фактор	Степень выраженности фактора (коды)
Количество сопутствующих заболеваний	По 1 баллу на каждое заболевание
Основной диагноз	1 – блокады сердца: атриовентрикулярная блокада, синдром слабости синусового узла; 2 – фибрилляция предсердий
История имплантации ЭКС	1 – первичная имплантация; 2 – замена
Режим стимуляции	1 – однокамерный; 2 – двухкамерный
Клинические симптомы	1 – синкопе; 2 – головокружение; 3 – брадикардия
Показания к операции по данным электрокардиографии	1 – атриовентрикулярная блокада I-II степени; 2 – полная поперечная блокада; 3 – синдром слабости синусового узла; 4 – трепетание, фибрилляция предсердий
Этиология заболевания	1 – ишемия, постинфарктный кардиосклероз; 2 – миокардит, приобретённый порок сердца
Время операции, мин: - однокамерные - двухкамерные	1 – не более 30; 2 – 30-40; 3 – не менее 40; 1 – не более 30; 2 – 30-45; 3 – не менее 45
Время рентгеноскопии операции, мин	1 – не более 2; 2 – 2-4; 3 – не менее 4
Возраст пациента, годы	1 – 41-60; 2 – 61-75; 3 – 76-90
Осложнения	1 – отсутствуют; 2 – присутствуют

послеоперационные осложнения.

С использованием дисперсионного анализа на первом этапе были выявлены основные факторы, влияющие на длительность послеоперационного стационарного лечения. Было установлено, что чем больше у пациента фоновых заболеваний, тем длительнее его пребывание в стационаре. При имплантации ЭКС основной диагноз пациента не оказывает существенного влияния на длительность послеоперационного лечения.

Для достоверного прогнозирования длительности лечения пациента в условиях стационара при имплантации ЭКС нами был использован дискриминантный анализ. Он представляет собой метод многомерной статистики, применяемый для решения задач классификации (распознавания образов) и позволяет отнести объект с определённым набором признаков (симптомов) к одному из известных классов. Информативность включённых в модель показателей оценивали с помощью F-критерия Фишера.

По результатам дискриминантного анализа был сделан вывод о том, что при операции имплантации ЭКС для автоматического распознавания длительности послеоперационного лечения наиболее информативны этиология за-

болевания и возникшие в послеоперационном периоде осложнения. В результате многомерного статистического анализа были выявлены основные факторы риска, оказывающие существенное влияние на длительность стационарного послеоперационного лечения. Каждому из выявленных факторов был присвоен весовой коэффициент значимости в баллах от 1 до 3.

С целью создания модели прогнозирования длительности послеоперационного лечения после имплантации ЭКС было проведено ранжирование совокупности значимых выделенных факторов, область допустимых значений которых была разделена на баллы по степени их выраженности.

Все наблюдения в исходной базе данных были преобразованы в матрицы ранговых оценок. На основании составленных матриц с учётом весовых коэффициентов для каждого пациента были рассчитаны значения целевых функций, которые количественно отражают степень влияния факторов риска на длительность стационарного послеоперационного лечения.

Значение целевой функции рассчитывали по формуле:

$$T_k = \sum W_k \cdot b_{nk},$$

Таблица 2

Диапазоны значений целевых функций, характеризующих длительность послеоперационного лечения пациента после имплантации электрокардиостимулятора

Степень риска	Диапазон значений
Низкая	≤16
Пониженная	17-20
Средняя (нормальная)	21-30
Повышенная	31-35
Высокая	>35

где W_k – весовой коэффициент значимости фактора риска в баллах; b_{nk} – элемент матрицы оценок параметров факторов риска.

Статистический анализ совокупности рассчитанных значений целевых функций позволил выделить пять уровней, характеризующих длительность стационарного послеоперационного лечения пациента после имплантации ЭКС (табл. 2).

Рассчитанные диапазоны значений целевых функций были использованы нами при создании автоматизированного программного модуля для прогнозирования длительности стационарного послеоперационного лечения, который был разработан с использованием среды визуального программирования «Borland Delphi 7» (рис. 1).

Разработанный программный модуль позволяет пользователю вводить данные для операции имплантации ЭКС и на их основании выводить результат об отнесении пациента к одной из определённых в модели степеней риска, предоставляя информацию о наиболее вероятном по длительности периоде послеоперационного лечения.

Полученные нами на первом этапе результаты позволили выявить наиболее значимые факторы риска, влияющие на длительность послеоперационного лечения пациентов с имплантацией ЭКС, которые в последующем были положены в основу расчётов по прогнозированию итогового показателя с использованием дискриминантных

уравнений и разработанной авторской модели.

Следует также отметить, что результаты проведённого моделирования подтверждаются расчётными значениями точности для прогнозируемых периодов длительности лечения. Так, для распознавания длительности послеоперационного лечения при имплантации ЭКС показатель точности решающих правил составил 87%. Средний показатель точности составил 84,7%, что отражает удовлетворительное качество полученной модели, которая может служить дополнительным методом прогнозирования длительности лечения конкретного больного.

Модель прогнозирования длительности стационарного лечения пациентов, перенёсших оперативные вмешательства на сердце, была успешно апробирована в кардиохирургическом отделении.

ВЫВОД

Разработанный автоматизированный программный модуль прогнозирования длительности стационарного послеоперационного лечения позволит выявить риск для пациентов на предмет вероятности послеоперационных осложнений, а также определять в дальнейшем степень влияния этого риска на использование коечного фонда и финансирование высокотехнологичных операций за счёт средств обязательного медицинского страхования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Заболеваемость населения по основным классам болезней в 2000–2010 гг. // Мед. статистика и оргметод-работа в учрежд. здравоохран. – 2011. – №9. – С. 59–60.
2. Зволинская Е.У., Александров А.А. Оценка риска развития сердечно-сосудистых заболеваний // Кардиология. – 2010. – №8. – С. 37–47.
3. Карякина О.Е., Добродеева Л.К., Мартынова Н.А. и др. Применение математических моделей в клинической практике // Экол. человека. – 2012. – №7. – С. 55–64.
4. Комаров А.Л., Шахматова О.О., Стамбольский Д.В. Факторы риска тромботических осложнений и прогноз у больных с хронической формой ишемической болезни сердца // Кардиология. – 2009. – №11. – С. 4–10.
5. Комаров А.Л., Шахматова О.О., Стамбольский Д.В. Факторы, определяющие прогноз у больных со стабильной формой ишемической болезни сердца (по результатам пятилетнего проспективного наблюдения) // Кардиология. – 2012. – №1. – С. 4–14.
6. Латфуллин И.А. Клиническая аритмология. – М.: Кардиология, 2002. – 372 с.
7. Олофинская И.Е. Операции на сердце с искусственным кровообращением у больных пожилого возраста: факторы риска, прогноз // Кардиология. – 2008. – №8. – С. 76–81.
8. Семакова Е.И., Ерофеев С.Н. Прогностическое значение дисперсии интервала Q-T и variabilityности сердечного ритма при остром инфаркте миокарда // Вестн. новых мед. технол. – 2000. – №1. – С. 61–63.

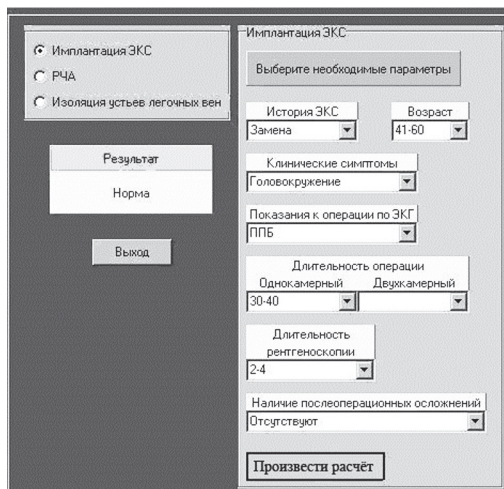


Рис. 1. Диалоговое окно модуля прогнозирования длительности стационарного послеоперационного лечения.