

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДРОБЛЕНИЯ МОЧЕВЫХ КОНКРЕМЕНТОВ В МОЧЕТОЧНИКЕ ГОЛЬМИЕВЫМ ЛИТОТРИПТЕРОМ

Еременко А. Н.

Клинический медицинский многопрофильный центр Святителя Луки, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», 295051, бульвар Ленина, 5/7, Симферополь, Россия

Для корреспонденции: Еременко Алексей Николаевич, врач-уролог, Клинический медицинский многопрофильный центр Святителя Луки, ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», e-mail: medicalyug@gmail.com

For correspondence: Eremenko A.N. Urologist, St. Luke 's Clinical Medical Multidisciplinary Center, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, e-mail: medicalyug@gmail.com

Information about author:

Eremenko A. N., <https://orcid.org/0000-0002-5318-6561>

РЕЗЮМЕ

Цель: разработка математической модели прогнозирования длительности трансуретральной контактной гольмиевой уретеролитотрипсии в области мочеточника, позволяющей оценить на основании результатов предоперационного обследования больного ожидаемого времени продолжительности вмешательства. Установлено, что количество послеоперационных осложнений при проведении контактной лазерной литотрипсии зависит от длительности процедуры дробления конкрементов. Знание ожидаемого времени проведения литотрипсии позволит правильно спланировать тактику операции, проведение профилактической терапии, выбрать предпочтительный вид анестезии (ТВВА, эндотрахеальная, спинномозговая или эпидуральная). Для построения модели проведены экспериментальные измерения длительностей этапов трансуретральной контактной лазерной литотрипсии *in vivo* гольмиевым лито- триптером при дроблении мочевого конкремента в различных отделах мочеточника. Время выполнения литотрипсии представлено в виде суммы времени дробления конкремента (чистое дробление) и времени дополнительных затрат на проведение вспомогательных манипуляций, неизбежных в процессе литотрипсии. При оценке ожидаемого времени «чистого» дробления учитывается масса конкремента, удельная величина потери массы при воздействии лазерного излучения и параметры гольмиевого литотриптера, в частности энергия и частота лазерных импульсов. По результатам экспериментальных данных построена многофакторная регрессионная модель, позволяющая оценить время проведения гольмиевой литотрипсии

Ключевые слова: трансуретральная контактная гольмиевая литотрипсия, прогнозирование длительности дробления, многофакторная регрессионная модель

MATHEMATICAL MODEL OF FRAGMENTATION OF URINARY CONCREMENTS IN URETER BY HOLMIUM LITHOTRIPTER

Eremenko A. N.

St. Luke 's Clinical Medical Multidisciplinary Center, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

SUMMARY

Purpose: development of a mathematical model for prediction of the duration of transurethral contact holmium lithotripsy in the ureter area, which enables to estimate the duration of lithotripsy on the basis of the patient 's preoperative examination results. It has been found that the number of postoperative complications associated with contact laser lithotripsy depends on the duration of the concretions crushing process. Therefore, knowledge of the expected time of lithotripsy before the beginning of the operation will allow correct splicing of the operation tactics and preventive therapy in accordance with the expected duration of lithotripsy. In order to build the model, experimental measurements of the duration of the transurethral contact laser lithotripsy *in vivo* were carried out by the holmium lithotripter in the fragmentation of urinary concretions in the various sections of the ureter. Lithotripsy time is represented as sum of concretions crushing time (net fragmentation) and additional costs for auxiliary manipulations inevitable during lithotripsy. When estimating the expected time of «pure» crushing, the weight of the concretions, the specific value of mass loss under the influence of laser radiation and the parameters of the holmium lithotripter, in particular the energy and frequency of laser pulses, are taken into account. According to the results of experimental data, a multi-factor regulatory model was built, which allows to estimate the time of holmium lithotripsy.

Key words: Transurethral contact holmium lithotripsy, prediction of crushing duration, multi- factor regression model

К одним из перспективных методов лечения мочекаменной болезни (МКБ) относится трансуретральная контактная лазерная литотрипсия. «Золотым стандартом» проведения контактной лазерной литотрипсии является использование гольмиевого лазерного литотриптера. Гольмиевый лазер генерирует оптические колебания с длиной волны 2100 нм в импульсном режиме. В применяемых на прак-

тике лазерах предусмотрена регулировка энергии излучаемых импульсов и частоты их следования. При этом энергию в большинстве из них можно изменять в диапазоне от 0,2 до 5 Дж, а частоту 0,2 от 5 до 80 Гц. Кроме этого, в лазерах имеется счетчик и индикатор суммарной излученной энергии за время работы.

Гольмиевая литотрипсия характеризуется высокой эффективностью. После проведения операции по удалению камней в мочеиспускательной системе больные выписываются по системе «fasttrack» в кратчайшие сроки после операции. Среднее время пребывания больного в стационаре составляет 1,7 дня. Однако, несмотря на высокую эффективность лазерного дробления мочевого конкремента, в ряде случаев возникают послеоперационные осложнения. Полное удаление камней и отсутствие послеоперационных осложнений наблюдалось лишь в 84,8% [1] или в 81,9% операций [2]. В частности, заболеваемость инфекционными осложнениями после контактной лазерной литотрипсии составила 8,37%, у 6,61% появлялась послеоперационная лихорадка, у 4,41% пациентов развился синдром системного воспалительного ответа (SIRS-systemic inflammatory response syndrome). При этом установлено, что количество осложнений возрастает с увеличением длительности процедуры литотрипсии, а также зависит от квалификации хирурга. Поэтому актуальной задачей является прогнозирование времени проведения литотрипсии и выбор тактики проведения профилактической терапии в зависимости от ожидаемой длительности литотрипсии.

Целью данной работы является разработка математической модели прогнозирования длительности трансуретральной контактной гольмиевой литотрипсии в мочеточниках, позволяющей оценить на основании результатов предоперационного обследования больного ожидаемого времени продолжительности литотрипсии. При этом прогнозируется только время литотрипсии, состоящее из интервала времени «чистого» дробления, т.е. времени, в течение которого лазерные импульсы воздействуют на конкремент и интервалов времени на дополнительные манипуляции, выполняемые в процессе литотрипсии в мочеточнике.

К дополнительным затратам при проведении гольмиевой литотрипсии относятся:

1. затраты времени на «прохождение» уретероскопом участков мочеточника с характерными анатомическими особенностями (S-образный изгиб, наличие стриктуры и др.);
2. затраты времени на осуществление промыванием области дробления с целью устранение замутнения, приводящего к потере видимости камня, вызванного выбросом

микрочастиц с поверхности конкремента при воздействии на него лазерных импульсов;

3. затраты времени на компенсацию смещения лазерного зонда до момента контакта его с поверхностью камня, сменившего свое положение за счет явления ретропульсии;
4. потери времени на коррекцию положения лазерного волокна из-за смещения камня, происходящего вследствие дыхательной экскурсии;
5. затраты времени на смену оптического волокна.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для получения математической модели проводились теоретические расчеты с использованием методов математической статистики и экспериментальные измерения длительностей этапов литотрипсии *in vivo*. Всего было обследовано 117 больных. Из них 69 (59%) женщин и 48 (41%) мужчин. В предоперационном периоде пациенты проходили стандартное обследование, в том числе и КТ мочеиспускательной системы (МБС). Камни располагались в ЧЛС и в различных отделах мочеточника. Объем камня и его средняя плотность определялась на основании КТ-обследования и обработки результатов с помощью программы Inobitec DICOMViewer Professional. Доступ к камню осуществлялся по стандартной трансуретральной методике с помощью полуригидных уретероскопов 9 и 6.5 Ш. Объем камней, расположенных в мочеточниках, колебался от 0,019 до 0,697 см³. Средняя рентгенологическая плотность составляла от 390 до 2400 НУ. Дробление осуществлялось гольмиевым лазером отечественного производства серии Triple с длиной волны лазерного излучения 2,1 мкм и диаметром оптического зонда 600, 400 и 270 мкм. Фрагментация камней выполнялась при энергиях импульсов от 0,6 до 2,5 Дж при частоте импульсов от 5 до 10 Гц. Литотрипсия проводилась до дисперсного состояния или мелких осколков диаметром до 1 мм.

Во время процедуры визуализация улучшалась прерывистым активным орошением, которое выполнялось ассистентом с использованием специального 20-мл шприца с системой обратного клапана (Olympus), подключенного к линии перфузии.

Измерение временных интервалов отдельных этапов процесса дробления производилось путем анализа видеозаписи операции литотрипсии, выполненной эндовидеокамерой типа ENDOCAM® Performance HD, с помощью профессиональной программы редактирования и монтажа видео- и аудиопотоков Sony Vegas 16.0. На временной оси, выводимой на экран персонального компьютера,

2020, том 23, № 1

врач, проводивший литотрипсию, на основе просмотра в специальном окне программы Vegas 16.0 хода операции, ставил временные отметки, по которым измерялось время, затраченное на ту или иную процедуру. Измерение временных интервалов выполнялось с точностью до 0,1 с. Обработка данных осуществлялась с помощью табличного процессора Excel и пакета Statistics Toolbox системы Matlab.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе исследований установлено, что на продолжительность дополнительных манипуляций существенное влияние оказывают как анатомические особенности оперируемого, так и некоторые физико-химические свойства мочевых конкрементов. Следует заметить, что длительность дополнительных затрат, так и собственно время чистого дробления может зависеть также и от опыта и квалификации хирурга.

К дополнительным факторам, влияющим на длительность вспомогательных манипуляций при дроблении камня в мочеточнике, относятся:

1. сложная анатомия для мочеточника, связанная с наличием S-образного перегиба и сужением просвета мочеточника;
2. соотношение размера конкремента и диаметра мочеточника;
3. длительность стояния камня в мочеточнике и структура его поверхности;
4. «пыльность» камня.

Наличие S-образного перегиба и сужение просвета мочеточника затрудняет доступ к камню и увеличивает время промывания области операции. Соотношение размеров камня и диаметра мочеточника также оказывает влияние на продолжительность дополнительных затрат. Камень либо перекрывает просвет мочеточника и затрудняет промывание области дробления, либо «летает» в мочеточнике под воздействием ударных волн, что приводит к необходимости затрачивать время на установление непосредственного контакта оптического зонда с поверхностью камня. Длительность стояния камня в мочеточнике и его поверхность (гладкая или шипастая) может влиять на наличие грануляций, отека, контактных кровотечений.

Под «пыльностью» камня подразумевается степень выброса микрочастиц конкремента под воздействием лазерных импульсов, которые приводят к образованию мутной субстанции в области литотрипсии и затрудняют видимость камня. К непыльным относятся твердые камни (оксалаты), к умеренно пыльным – ураты, к сильно пыльным – фосфаты.

Перечисленные факторы, способствующие увеличению длительности дополнительных затрат, не могут быть измерены количественно и поэтому

относятся к качественным показателям. Учет этих факторов при создании модели прогнозирования длительности ТКУЛТ может существенно повысить точность прогнозирования.

Одним из перспективных путей повышения точности прогнозирования длительности контактной трансуретральной лазерной литотрипсии является использование многофакторных линейных регрессионных моделей [3, 4]. Многофакторную регрессионную линейную модель для длительности ТКУЛТ $T_{лт}$ можно в общем виде представить следующим образом

$$T_{лт} = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \dots + \beta_i * X_i + \dots + \beta_n * X_n + \varepsilon, \quad (1)$$

β_i – коэффициенты регрессии; X_i – независимые переменные (факторы); ε – случайная ошибка (погрешность прогнозирования).

Независимые факторы могут иметь как количественный, так и качественный характер. Так время чистого дробления камня имеет количественный характер, а сложность анатомии мочеточника, пыльность камня, длительность его стояния в мочеточнике и некоторые другие носят качественный характер. Для учета влияния качественных показателей на результирующую переменную используют искусственные фиктивные переменные, которым присваивают количественные значения. Наиболее часто для оценки влияния качественных факторов на прогнозируемый параметр используют бинарные (0 или 1) либо (-1, 1) значения факторов.

При оценке коэффициентов многофакторной регрессии применяют метод наименьших квадратов (МНК), который минимизирует сумму квадратов отклонения экспериментальных данных от искомой кривой (в нашем случае ошибку прогнозирования). В математическом виде для оценки длительности контактной лазерной литотрипсии МНК можно представить следующим образом.

$$\sum_{i=1}^K \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^K (T_{лт-ф} - T_{лт-ож})^2 \rightarrow \min,$$

где ε_i – ошибка прогнозирования; $T_{лт-ф}$ – фактическое время литотрипсии, измеренное экспериментальным путем; $T_{лт-ож}$ – ожидаемое (прогнозируемое) время литотрипсии, вычисленное на основе регрессионной модели; K – количество данных измерений.

Аналитические выражения для вычисления коэффициентов регрессии приведены во многих литературных источниках [5]. В настоящее время существуют программные средства, в частности пакет MSExcel, SPSSStatistics [6] и др., позволяющие сравнительно просто получить значения коэффициентов множественной регрессии.

В связи с тем, что количество и тип факторов при дроблении камней в мочеточнике и чашечно-лоханочной системе различны, то и регрессионные модели прогноза длительности литотрипсии в этих частях МВС будут отличаться.

Модель прогнозирования длительности лазерной контактной литотрипсии гольмиевым лазером в мочеточнике представим в виде многофакторной линейной регрессионной модели с учетом количественных и качественных факторов (1) следующим образом:

$$T_{\text{лт-ож}} = \beta_0 + \beta_1 * T_{\text{ч-ож}} + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_3 + \beta_4 * X_4 + \beta_5 * X_5 \quad (2)$$

где $T_{\text{лт-ож}}$ – ожидаемое (прогнозируемое) время дробления камня в мочеточнике; $T_{\text{ч-ож}}$ – расчетное (ожидаемое) время чистого времени дробления камня без учета дополнительных затрат (количественный фактор); X_2 – качественный фактор, учитывающий сложность анатомии мочеточника, определяемой при предоперационном обследовании на основании результатов УЗИ и КТ; X_3 – ка-

чественный фактор, учитывающий соотношение размера конкремента и диаметра мочеточника; X_4 – качественный фактор, учитывающий длительность стояния камня в мочеточнике и структуру поверхности камня; X_5 – качественный фактор, учитывающий физико-химические свойства камня, сказывающиеся на его «пыльности».

Вычисление ожидаемого (расчетного) чистого дробления мочевого конкремента $T_{\text{ч-ож}}$ выполнялось по авторской методике [8]. При этом в качестве исходных параметров использовалась масса камня, рассчитанная на основании его объема и плотности. При этом рентгенологическая плотность конкремента в единицах Хаунсфилда, определенная при КТ, пересчитывалась в физическую плотность в г/см³.

Качественным факторам X_2 - X_5 , исходя из количества качественных признаков, присвоены фиктивные количественные двоичные значения: -1 и +1. В таблице 1 приведены количественные значения качественных факторов.

Таблица 1

Связь между качественными показателями и количественными значениями качественных факторов

Факторы	-1	+1
X_2 Сложность анатомии мочеточника	Отсутствие S-образного перегиба и сужений просвета.	Наличие S-образного перегиба и сужений просвета
X_3 Соотношение размера конкремента и диаметра мочеточника	Камень не блокирует просвет мочеточника	Камень полностью блокирует просвет
X_4 Длительное стояние камня в мочеточнике, приводящее к отеку, состояние поверхности камня	Стояние камня от 4 до 6 дней, поверхность гладкая	Стояние камня больше 4-6 дней и поверхность шипастая
X_5 Пыльность камня	«Непыльный», твердый (оксалатный).	«Пыльный» (уратный, фосфатный?)

В таблице 2 представлены параметры данных трансуретральной контактной лазерной литотрипсии в различных частях мочеточника. Здесь $T_{\text{лт-ф}}$ – фактическое значение длительности литотрипсии, определенное в результате обработки записей эндовидеокамеры с помощью программы Vegas 16.0.

По измеренным значениям фактического времени выполнения литотрипсии в МТ и расчетного ожидаемого (прогнозируемого) времени разрушения мочевого конкремента с помощью пакета «Анализ данных. Регрессия» системы Excel был выполнен расчет коэффициентов регрессии и параметров, характеризующих качество модели. Результаты вычислений приведены на рисунке 1, представляющего собой скриншот экрана системы Excel.

Коэффициенты при количественном факторе $T_{\text{ч-ож}}$ (X_1) и качественных факторах X_2 - X_5 приведены в столбце «Коэффициенты» нижней таблицы скриншота. У-пересечение представляет собой коэффициент β_0 уравнения (2). Таким образом выражение для прогнозируемого времени продолжительности лазерной литотрипсии в мочеточнике принимает следующий вид:

$$T_{\text{лт-ож}} = 2,008 + 4,7427 * T_{\text{ч-ож}} - 0,0211 * X_2 + 1,6247 * X_3 - 0,0432 * X_4 + 1,1424 * X_5 \quad (3)$$

Показателем качества регрессионной модели (3) является коэффициент детерминации R^2 , который в данном случае равен 0,9046, что свидетельствует о достаточно высоком качестве модели и соответствии модели экспериментальным данным.

Таблица 2

Параметры моделирования процедуры прогнозирования длительности лазерной литотрипсии в мочеточнике

Больной	T _{л-ф}	T _{ч-ож}	X2	X3	X4	X5	T _{л-ож}	ОтнОш
A	4,1	0,32	1	1	1	-1	4,030064	0,017058
B1	4,3	0,63	-1	-1	1	1	4,491501	-0,04454
B2	18,5	3,1	-1	-1	-1	-1	13,92117	0,247504
B3	6,4	0,8	-1	1	1	-1	6,34876	0,008006
B	27,3	4,3	-1	1	1	1	25,14661	0,078879
E1	7,3	0,9	-1	1	1	-1	6,73663	0,077174
E2	8,7	1,67	-1	1	1	-1	10,38851	-0,19408
E3	3,38	0,64	-1	-1	1	-1	2,254128	0,333098
K1	5,34	1,49	-1	-1	1	-1	6,285423	-0,17705
K2	3,43	0,25	1	1	1	-1	3,611675	-0,05297
K3	24	3,1	-1	1	1	1	19,54177	0,18576
K4	4,1	0,53	-1	1	1	-1	4,981831	-0,21508
K5	13,03	4,05	-1	-1	-1	-1	18,42674	-0,41418
P1	13,8	2	1	1	1	-1	11,9114	0,136855
P2	10,2	1,8	-1	1	1	-1	11,00506	-0,07893
P3	11,1	1,51	1	1	1	1	11,87228	-0,06957
C1	4,77	0,54	-1	1	1	-1	5,029258	-0,05435
C2	21,4	4,1	-1	1	1	1	24,19807	-0,13075
У	4,74	0,63	1	1	1	1	7,741901	-0,63331
X	5,5	0,47	1	1	1	-1	4,698269	0,145769

	A	B	C	D	E	F	G	H
25								
26		Регрессионная статистика						
27		Множественный R	0,951115006					
28		R-квадрат	0,904619755					
29		Нормированный R	0,872826339					
30		Стандартная ошибка	2,645008776					
31		Наблюдения	21					
32								
33		Дисперсионный анализ						
34			df	SS	MS	F	Значимость F	
35		Регрессия	5	995,2979858	199,0599972	28,453054	3,78112E-07	
36		Остаток	15	104,9410713	6,996071423			
37		Итого	20	1100,239057				
38								
39			Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	P-Значение	Нижние 95%	Верхние 95%
40		У-пересечение	2,008222742	1,783954533	1,125714084	0,2779761	-1,794186336	5,81063182
41		Переменная X 1	4,742730795	0,658936568	7,197552885	3,086E-06	3,338240747	6,14722084
42		Переменная X 2	-0,021158734	0,799367252	-0,026469354	0,9792319	-1,724969701	1,68265223
43		Переменная X 3	1,624673332	0,958472713	1,695064774	0,1107157	-0,418262896	3,66760856
44		Переменная X 4	-0,047228511	1,394289502	-0,033872815	0,9734252	-3,019086236	2,92462921
45		Переменная X 5	1,142375895	0,811450295	1,407810928	0,1795705	-0,587180466	2,87104126

Рисунок 1. Скриншот со значениями коэффициентов и параметров качества регрессии

Расчитанное по уравнению (3) ожидаемое время контактной лазерной литотрипсии приведено в таблице 2 в столбце Тлт-ож, а в последнем столбце таблицы 2 значения относительных погрешностей прогнозирования. Средняя относительная погрешность прогнозирования равна 0,5%. Причем, прогнозирование дает завышенную оценку, что гаран-

тирует то, что процедура литотрипсии не превысит прогнозируемое значение.

Как видно из выражения 3 коэффициенты регрессии при факторах X2 и X4 более чем на порядок меньше остальных коэффициентов и могут быть опущены вследствие незначительного влияния на прогнозируемое время длительности литотрипсии.

Таблица 3

Параметры упрощенной модели прогнозирования длительности лазерной литотрипсии в мочеточнике

Больной	Тлт-ф	Тч-ож	X3	X5	Тлт-ож	АбсОш	ОтнОш
А	4,1	0,32	1	-1	3,955284	0,144716	0,035297
Б1	4,3	0,63	-1	1	4,487081	-0,18708	-0,04351
Б2	18,5	3,1	-1	-1	13,98487	4,51513	0,244061
Б3	6,4	0,8	1	-1	6,23946	0,16054	0,025084
В	27,3	4,3	1	1	25,15111	2,14889	0,078714
Е1	7,3	0,9	1	-1	6,71533	0,58467	0,080092
Е2	8,7	1,67	1	-1	10,379529	-1,67953	-0,19305
Е3	3,38	0,64	-1	-1	2,278468	1,101532	0,325897
К1	5,34	1,49	-1	-1	6,323363	-0,98336	-0,18415
К2	3,43	0,25	1	-1	3,622175	-0,19218	-0,05603
К3	24	3,1	1	1	19,44067	4,55933	0,189972
К4	4,1	0,53	1	-1	4,954611	-0,85461	-0,20844
К5	13,03	4,05	-1	-1	18,505635	-5,47564	-0,42023
Р1	13,8	2	1	-1	11,9499	1,8501	0,134065
Р2	10,2	1,8	1	-1	10,99816	-0,79816	-0,07825
Р3	11,1	1,51	1	1	11,874337	-0,77434	-0,06976
С1	4,77	0,54	1	-1	5,002198	-0,2322	-0,04868
С2	21,4	4,1	1	1	24,19937	-2,79937	-0,13081
У	4,74	0,63	1	1	7,686681	-2,94668	-0,62166
Х	5,5	0,47	1	-1	4,669089	0,830911	0,151075

Результаты вычислений показали достаточно большое значение коэффициента детерминации ($R^2 = 0,9046$), что свидетельствует о высоком качестве модели. Таким образом модель длительности литотрипсии в мочеточнике может быть представлена в упрощенном виде следующим образом.

$$T_{\text{лт-ож}} = 1,9608 + 4,7587 * T_{\text{ч-ож}} + 1,5998 * X_3 + 1,1281 * X_5 \quad (4)$$

Для обоснования правомочности использования качественных факторов X3, X5 была выполнена оценка степени взаимосвязи между этими качественными факторами на основе коэффициента ассоциации Юла [6]. Данные для расчета коэффициента Юла приведены в таблице 4.

Коэффициент Юла рассчитывается по формуле:

$$KJ = (ad - bc) / (ad + bc) = (25 - 10) / (25 + 10) = 0,428$$

Оценивание степени связи между факторами осуществляется по шкале Чеддока [9] (таблица 5). На основании шкалы Чеддока можно сделать вывод, что связь между факторами X3 «Соотношение размера конкремента и диаметра мочеточника» и X5 «Пыльность камня» малозаметная (умеренная) и эти факторы могут быть использованы для построения регрессионной модели оценки длительности контактной лазерной литотрипсии в мочеточнике.

Из таблицы 3 следует, что средняя относительная погрешность прогнозирования не превышает 0,5 %, что свидетельствует о возможности использования упрощенной регрессионной модели контактной литотрипсии мочеточника.

Таблица 4

Количество встречаемости комбинации факторов

Значения фактора X3	Значения фактора X5		Произведения
	+1	-1	
+1	a = 5	b = 10	ad = 25 bc = 10
-1	c = 1	d = 5	

Таблица 5

Значения показателей степени связей Чеддока

Значение коэффициента	0,1 - 0,3	0,3 - 0,5	0,5 - 0,7	0,7 - 0,9	0,9 - 1,0
Характеристика зависимости	Слабая	Умеренная	Заметная	Высокая	Весьма высокая

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученная математическая модель длительности контактной лазерной литотрипсии конкрементов мочеточника адекватно отображает экспериментальные данные и позволяет оценить на основании предоперационного обследования больного время дробления мочевых камней в мочеточнике. Полное время операции рассчитывается путем прибавления среднестатистического времени, затрачиваемого на предоперационную подготовку операционного помещения, размещение больного на операционном столе, проведение наркоза, установки стента и транспортировку больного из операционной.

Максимальная абсолютная погрешность прогнозирования составила 4,6 мин, что при средней общей продолжительности операции лазерной литотрипсии 80 мин [10] является практически приемлемой величиной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Leijte J. A., Oddens J. R., Lock T.M. Holmium laser lithotripsy for ureteral calculi: predictive factors for complications and success. *J. Endourol.* 2008;22(2):257-60. doi: 10.1089/end.2007.0299.
2. Song Fan, Binbin Gong, Zongyao Hao. Risk factors of infectious complications following flexible ureteroscope with a holmium laser: a retrospective study. *Int J Clin Exp Med.* 2015;8(7):11252-11259.
3. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: МедиаСфера; 2003.
4. Сергиенко В. И., Бондарев И. Б. Математическая статистика в клинических исследованиях. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006.
5. Елисева И. И., Курышева С. В., Гордиенко Н. М. Практикум по эконометрике. М.: Финансы и статистика; 2005.
6. Ермолаев-Томин О. Ю. Математические методы в психологии. М.: Юрайт; 2014.

7. Мисюк Н. С., Мастыкин Н. С., Кузнецов Г. П. Корреляционно-регрессионный анализ в клинической медицине. М.: Медицина; 1975.

8. Чернега В. С., Глуховская-Степаненко Н. Р., Еременко А. Н., Еременко С. Н. Оценка скорости фрагментации мочевых камней при контактной литотрипсии гольмиевым лазером. *Урология.* 2018;(5):37-40.

9. Медик В. А., Токмачев М. С., Фишман Б. Ю. Статистика в медицине и биологии. Руководство. В 2-х томах / под ред. Ю. М. Комарова. Т.1. Теоретическая статистика. М.: Медицина; 2000.

10. Ke Xu, Jie Ding, Bowen Shi. Flexible ureteroscopic holmium laser lithotripsy with PolyScope for senile patients with renal calculi. *Experimental and therapeutic medicine.* 2018;16:1723-1728.

REFERENCES

1. Leijte J. A., Oddens J. R., Lock T.M. Holmium laser lithotripsy for ureteral calculi: predictive factors for complications and success. *J. Endourol.* 2008;22(2):257-60. doi: 10.1089/end.2007.0299.
2. Song Fan, Binbin Gong, Zongyao Hao. Risk factors of infectious complications following flexible ureteroscope with a holmium laser: a retrospective study. *Int J Clin Exp Med.* 2015; 8(7): 11252-11259.
3. Rebrova O. J. Statistical analysis of medical data. Application of the application package STATISTICA. М.: Media Sphere; 2003. (In Russ.)
4. Sergienko V. I., Bondarev I. B. Mathematical statistics in clinical trials. М.: GEOTAR-media; 2006. (In Russ.)
5. Eliseeva I. I., Kurysheva S. V., Gordienko N. M. et al. Workshop on econometrics. Moscow: Finance and Statistics; 2005. (In Russ.)
6. Yermolayev-Tomin O. Y. Mathematical methods in psychology. Moscow: Jurayt; 2014. (In Russ.)
7. Misyuk, N. S., Mastykin N. S., Kuznetsov G. P. Correlation-regression analysis in clinical medicine. М.: Medicine; 1975. (In Russ.)

8. Chernega V. S., Tluhovska-Stepanenko N. P., Eremenko A. N., Eremenko S. N. Evaluation of the rate of fragmentation of urinary stones in contact lithotripsy with a holmium laser. *Urologia*. 2018;(5):37-40. (In Russ.)
9. Medik V. A., Tokmachev M. S., Fishman B. Yu. Statistics in medicine and biology. Management. In 2 volumes / under the editorship of Yu.M. Komarov. Т. 1. Theoretical statistics. М.: Medicine, 2000.(In Russ.)
10. Ke Xu, Jie Ding, Bowen Shi. Flexible ureteroscopic holmium laser lithotripsy with PolyScope for senile patients with renal calculi. *Experimental and therapeutic medicine*. 2018;16:1723-1728.

