

В.С. ЧЕРНЕГА,

к.т.н., доцент кафедры «Информационные системы» Севастопольского государственного университета, г. Севастополь, Россия, e-mail: v_chernega@rambler.ru, ORCID: 0000-0001-5054-0396

А.Н. ЕРЕМЕНКО,

врач-уролог, «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Клинический медицинский многопрофильный центр Святителя Луки, г. Симферополь, Россия, e-mail: medicalyug@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5318-6561

С.Н. ЕРЕМЕНКО,

заведующий урологическим отделением, «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Клинический медицинский многопрофильный центр Святителя Луки, г. Симферополь, Россия, e-mail: medicalyug@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5794-2029

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ДРОБЛЕНИЯ МОЧЕВЫХ КОНКРЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ МНОГОФАКТОРНЫХ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

УДК: 616.62.-003.7-089:519.248

DOI: 10.37690/1811-0193-2020-4-34-42

Чернега В.С.¹, Еременко А.Н.², Еременко С.Н.² *Повышение точности прогнозирования длительности дробления мочевого конкремента на основе многофакторных регрессионных моделей* (1ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, Россия; 2«Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», Клинический медицинский многопрофильный центр Святителя Луки, г. Симферополь, Россия)

Аннотация. Приведены регрессионные модели для прогнозирования длительности контактной гольмиевой литотрипсии. Модели получены на базе расчетных и экспериментальных данных о длительности различных этапов лазерной литотрипсии. Они позволяют на основании объема и рентгенологической плотности мочевого конкремента и учета анатомических особенностей больного рассчитать ожидаемое время полной фрагментации камней с более высокой, по сравнению с известной моделью на основе коэффициента дополнительных затрат, точностью.

Ключевые слова: мочевого конкременты, трансуретральная контактная лазерная литотрипсия, длительность операции, регрессионные модели.

UDC: 616.62.-003.7-089:519.248

Chernega V.S.¹, Eremenko A.N.², Eremenko S.N.² *Increased accuracy of prediction of fragmentation duration of urinary stones based on multifactorial regression models* (1Sevastopol State University, Sevastopol, Russia; 2V. I. Vernadsky Crimean Federal University, St. Luke's Clinical Medical Multidisciplinary Center, Simferopol, Russia)

Annotation. The regression models for prediction of contact holmium lithotripsy duration are given. Models are obtained on the basis of calculated and experimental data on duration of different stages of laser lithotripsy. They allow, based on the volume and radiological density of urinary stones and taking into account the anatomical characteristics of the patient, to calculate the expected time of complete fragmentation of the stones with a higher accuracy than on the factor of additional costs the known model based.

Keywords: urinary stones, transurethral contact laser lithotripsy, operation duration, regression models.

ВВЕДЕНИЕ

При лечении мочекаменной болезни (МКБ) «золотым стандартом» современной урологии является контактная гольмиевая литотрипсия [1]. К важным показателям гольмиевой литотрипсии относится продолжительность операции по удалению мочевого конкремента, так как она оказывает заметное влияние на возникновение послеоперационных осложнений и время нахождения послеоперационных больных в стационаре [2, 3, 4]. От продолжительности операции также зависит выбор



анестезиологического пособия, планирование литотрипсии, что особенно актуально при сложных формах нефролитиаза.

Трансуретральная контактная лазерная литотрипсия (ТКЛЛТ) относится к разряду высокотехнологических операций, характеризующихся довольно высокой стоимостью. Специализированные операционные помещения (ОП), в которых проводятся урологические операции, в том числе и лазерная литотрипсия, являются одними из самых дорогостоящих хирургических ресурсов в лечебно-профилактических учреждениях (ЛПУ). В эпоху дорогостоящего медицинского обслуживания, эффективность здравоохранения возрастает в том случае, если в доступное время работы ОП будет проведено наибольшее количество операций [5, 6]. Поэтому актуальной задачей также является оптимальное планирование операций, при котором степень загрузки операционного помещения и высокотехнологического оборудования будет максимальной. Это позволит увеличить количество плановых операций и приведет к уменьшению очереди ожидающих операции, увеличить доход лечебно-профилактического учреждения. Для осуществления такого планирования требуется на основании диагноза больного и результатов предоперационного обследования спрогнозировать (оценить) время предстоящей операции и разработать мероприятия по его уменьшению.

В работе [7] была описана модель прогнозирования длительности операции лазерной контактной литотрипсии, разработанная авторами на основе расчетного времени «чистого» дробления камней и учета коэффициента дополнительных затрат времени Кдз на проведение необходимых технологических манипуляций, связанных с процессом дробления мочевых конкрементов. Оценка длительности дополнительного интервала времени выполнена на основе среднего значения коэффициента дополнительных затрат Кдз, определяемого экспериментальным путем. Однако на практике величина коэффициента дополнительных затрат может почти в два раза отличаться от его среднего значения. Кроме этого, в предложенной авторами модели не учитываются индивидуальные анатомические особенности мочевыделительной системы (МВС) больного, от которых зависит время лазерной литотрипсии. Это зачастую приводит к завышению прогнозируемого времени длительности литотрипсии по сравнению с реальной продолжительностью операции и снижению соответственно эффективности

использования операционного помещения и специализированного высокотехнологического медицинского оборудования.

Целью исследования является разработка модели трансуретральной контактной лазерной литотрипсии, позволяющей при известном объеме мочевого камня и его физико-химических свойств, а также с учетом патологических особенностей МВС больного, оценить с более высокой, по сравнению с методом на основе коэффициента дополнительных затрат, степень точности время предстоящей операции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основным материалом для построения математической модели лазерной литотрипсии послужили результаты собственных измерений *in vivo* общего времени фрагментации мочевого конкремента, расчетное чистое время фрагментации с учетом дополнительных факторов, отображающих как физико-химические свойства мочевого камня, так и патологические особенности МВС оперируемого.

В исследовании приняло участие 117 больных с изолированными формами МКБ. Из них 69 (59%) женщин и 48 (41%) мужчин. Возраст пациентов колебался от 18 до 83 лет, средний возраст 50,4 лет. Всем пациентам выполнялась трансуретральная контактная гольмиевая литотрипсия. В предоперационном периоде все пациенты проходили компьютерную томографию (КТ) мочевыделительной системы. Камни располагались в чашечно-лоханочной системе (ЧЛС) и в различных отделах мочеточника (МТ). Объем камня и его средняя рентгенологическая плотность определялась на основании КТ-обследования и обработки результатов с помощью программы Inobites DICOM Viewer Professional. Измерение временных интервалов отдельных этапов процесса дробления производилось путем анализа видеозаписи операции, выполненной эндовидеокамерой типа ENDOCAM® Performance HD, с помощью профессиональной программы редактирования и монтажа видео- и аудиопотоков Sony Vegas 16.0, установленной на персональном компьютере. Методика измерения временных интервалов детально описана в [7].

Доступ к камню осуществлялся по стандартной трансуретральной методике с помощью полуригидного или гибкого уретероскопа. Объем камней колебался от 0,065 до 4,98 см³. Средняя рентгенологическая плотность составляла от 390 до 2400 HU. 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 0,8 до 2,5 Дж преимущественно при частоте импульсов 5–10 Гц. Литотрипсия проводилась до дисперсного состояния или мелких осколков диаметром до 1 мм. По показаниям прибегали к внутреннему стентированию почки. Интраоперационных осложнений не было. Пациенты выписывались на 1–3 сутки после операции.

Для построения моделей использовались методы математической статистики, дисперсионного и регрессионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общее время фрагментации состоит из «чистого» времени дробления конкремента и времени, затрачиваемого на вспомогательные операции (ревизия области дробления, извлечение осколков, промывание области дробления, перемещение оптического зонда для компенсации сдвига конкремента за счет ретропулсии).

Ожидаемое время «чистого» дробления камня, при заданных энергии и частоте импульсов гольмиевого литотриптера, можно вычислить на основе определенной по результатам КТ массы камня m по формуле, приведенной в статье [7]:

$$T_{рч} = m / (\gamma \times F_i \times E_i), \quad (1)$$

где $T_{рч}$ – чистое время разрушения камня в секундах (с); m – масса камня в миллиграммах; E_i – значение энергии импульса в джоулях (Дж); F_i – частота следования импульсов лазера с E_i энергией в герцах (Гц); γ – удельная величина потери массы камня при гольмиевой литотрипсии, равная $0,402 \pm 0,11$ мг/Дж.

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 МТ;
- 2) соотношение размера конкремента и диаметра мочеточника;
- 3) длительность стояния камня в мочеточнике и стриктура мочеточника;
- 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 перемещается 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 ТКЛЛТ способствует повышению точности прогнозирования.

Одним из перспективных путей повышения точности прогнозирования длительности трансуретральной контактной лазерной литотрипсии является использование многофакторных линейных регрессионных моделей [8, 9]. Многофакторную регрессионную линейную модель для оценки длительности ТКЛЛТ $T_{лт}$ можно в общем виде представить следующим образом:

$$T_{лт} = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \dots + \beta_i * X_i + \dots + \beta_n * X_n + \varepsilon, \quad (2)$$

где β_i – коэффициенты регрессии; X_i – независимые переменные (факторы); ε – абсолютная 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:

$$\sum_{i=1}^K \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^K (T_{\text{лмф}} - T_{\text{лтож}})^2 \rightarrow \min,$$

где ε_i – ошибка прогнозирования; $T_{\text{лмф}}$ – фактическое время литотрипсии, измеренное экспериментальным путем; $T_{\text{лтож}}$ – ожидаемое (прогнозируемое) время, вычисленное на основе регрессионной модели; K – количество данных измерений.

Аналитические выражения для вычисления коэффициентов регрессии приведены во многих литературных источниках [8]. В настоящее время существуют программные средства, в частности пакеты MS Excel, SPSS Statistics 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 трансуретральной контактной лазерной литотрипсии гольмиевым лазером представим в виде многофакторной линейной регрессионной модели с учетом количественных и качественных факторов X_i на основании формулы (2) следующим образом:

$$\begin{aligned} \text{Тлт-ож} = & \beta_0 + \beta_1 * \text{Тлтч} + \beta_2 * X_2 + \\ & + \beta_3 * X_3 + \beta_4 * X_4 + \beta_5 * X_5 + \varepsilon, \end{aligned} \quad (3)$$

где Тлт-ож – ожидаемое (прогнозируемое) время дробления камня в мочеточнике; Тлтч – расчетное 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 – качественный 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».

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.

В таблице 2 представлены параметры данных трансуретральной контактной лазерной литотрипсии в различных частях мочеточника. Здесь Тлт-ф – фактическое значение длительности литотрипсии, определенное в результате обработки записей эндовидеокамеры с помощью программы Vegas 16.0; Тч-пр – чистое прогнозируемое время полной фрагментации камня, рассчитанное по формуле (1); Еотн – относительная ошибка прогнозирования.

По измеренным значениям фактического времени Тлт-ф выполнения литотрипсии в МТ и рассчитанного ожидаемого (прогнозируемого) времени

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?)



Таблица 2

**Параметры моделирования процедуры прогнозирования
длительности лазерной литотрипсии в мочеточнике**

Ф. И. О.	Тлт-ф	Тч-пр	X_2	X_3	X_4	X_5	Тлт-ож	Еотн
А	4,1	0,32	1	1	1	-1	4,030064	0,017058
Б1	4,3	0,63	-1	-1	1	1	4,491501	-0,04454
Б2	18,5	3,1	-1	-1	-1	-1	13,92117	0,247504
Б3	6,4	0,8	-1	1	1	-1	6,34876	0,008006
В	27,3	4,3	-1	1	1	1	25,14661	0,078879
Д	1,5	0,26	1	-1	-1	-1	0,409702	0,726865
Е1	7,3	0,9	-1	1	1	-1	6,73663	0,077174
Е2	8,7	1,67	-1	1	1	-1	10,38851	-0,19408
Е3	3,38	0,64	-1	-1	1	-1	2,254128	0,333098
К1	5,34	1,49	-1	-1	1	-1	6,285423	-0,17705
К2	3,43	0,25	1	1	1	-1	3,611675	-0,05297
К3	24	3,1	-1	1	1	1	19,54177	0,18576
К4	4,1	0,53	-1	1	1	-1	4,981831	-0,21508
К5	13,03	4,05	-1	-1	-1	-1	18,42674	-0,41418
Р1	13,8	2	1	1	1	-1	11,9114	0,136855
Р2	10,2	1,8	-1	1	1	-1	11,00506	-0,07893
Р3	11,1	1,51	1	1	1	1	11,87228	-0,06957
С1	4,77	0,54	-1	1	1	-1	5,029258	-0,05435
С2	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
Х	5,5	0,47	1	1	1	-1	4,698269	0,145769

разрушения мочевого конкремента Тлт-ож с помощью пакета «Анализ данных. Регрессия» системы Excel был выполнен расчет коэффициентов регрессии и параметров, характеризующих качество модели. Результаты вычислений приведены на рис. 1, представляющем собой скриншот экрана системы Excel.

Коэффициенты при количественном факторе Тлт-ч (X_1) и качественных факторах X_2 – X_5 приведены в столбце «Коэффициенты» нижней таблицы скриншота. У-пересечение представляет собой коэффициент β_0 уравнения (3). Таким образом, выражение для прогнозируемого времени продолжительности лазерной литотрипсии в мочеточнике принимает следующий вид:

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

Показателем качества регрессионной модели (4) является коэффициент детерминации R^2 , который в данном случае равен 0,9046, что свидетельствует

о достаточно высоком качестве модели и соответствия модели экспериментальным данным.

Рассчитанное по уравнению (4) ожидаемое время контактной лазерной литотрипсии приведено в таблице 2 в столбце Тлт-ож, а в последнем столбце таблицы — значения относительных погрешностей прогнозирования Еотн. Средняя относительная погрешность прогнозирования равна 0,5%. Причем, прогнозирование дает завышенную оценку, что гарантирует то, что процедура литотрипсии не превысит прогнозируемое значение.

Как видно из выражения (4), коэффициенты регрессии при факторах X_2 и X_4 более, чем на порядок меньше остальных коэффициентов и могут быть опущены вследствие незначительного влияния на прогнозируемое время длительности литотрипсии.

Полученный в процессе вычислений коэффициент детерминации достаточно близок к единице ($R^2 = 0,9046$), что свидетельствует о высоком качестве модели. Таким образом, модель длительности литотрипсии в мочеточнике может быть



	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			<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>	
35		Регрессия	5	995,2979858	199,0595972	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		Y-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	3,66760956
44		Переменная X 4	-0,047228511	1,394289502	-0,033872815	0,9734252	-3,019086236	2,92462921
45		Переменная X 5	1,142375895	0,811450295	1,407819928	0,1795705	-0,587189466	2,87194126

Рис. 1. Скриншот со значениями коэффициентов и параметров качества регрессии

Таблица 3

Параметры упрощенной модели прогнозирования длительности лазерной литотрипсии в мочеточнике

Ф. И. О.	Тлт-ф	Тчпр	X_3	X_5	Тлт-ож	ϵ	Еотн
A	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
Д	1,5	0,26	-1	-1	0,470162	1,029838	0,686559
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

представлена в упрощенном виде следующим образом:

$$T_{\text{лт-ож}} = 1,9608 + 4,7587 * T_{\text{лтч}} + 1,5998 * X_3 + 1,1281 * X_5 \quad (5)$$

Для обоснования правомочности использования качественных факторов X_3 , X_5 выполнена оценка степени взаимосвязи между этими качественными факторами на основе коэффициента ассоциации Юла [10]. Данные для расчета коэффициента Юла приведены в *таблице 4*.

Коэффициент Юла рассчитывается по формуле:

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

Оценивание степени связи между факторами осуществляется по шкале Чеддока [10]. На основании шкалы Чеддока можно сделать вывод, что связь между факторами X_3 «Соотношение размера конкремента и диаметра мочеточника» и X_5 «Пыльность камня» малозаметная (умеренная), и эти факторы могут быть использованы для построения регрессионной модели оценки длительности контактной лазерной литотрипсии в мочеточнике (*табл. 5*).

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

Дробление мочевых камней в чашечно-лоханочной системе (ЧЛС) существенно отличается от дробления конкрементов, находящихся в мочеточниках. К особенностям контактной лазерной литотрипсии в ЧЛС относятся следующие факторы:

1) более сложный и продолжительный во времени доступ к камню;

2) возможность установки (выведение) оптического зонда зачастую только под определенным углом к поверхности камня;

3) объем ЧЛС часто значительно превышает объем камня, который мигрирует по ЧЛС, что может привести к дополнительным затратам времени на репозиционирование эндоскопа;

4) возникновение замутнения области литотрипсии в моменты воздействия на камень лазерных импульсов, причем степень замутнения зависит от «пыльности» камня.

Возможность установки зонда только под острым углом по отношению к поверхности камня приводит к тому, что не вся энергия лазерного импульса поглощается камнем, так как оптический луч частично «скользит» по поверхности камня. Это приводит к снижению удельной скорости расхода массы камня и дополнительной погрешности расчета чистого времени дробления.

Если объем ЧЛС превышает объем камня, то под действием лазерных импульсов происходит отскок камня от конца световода, т.е. проявляется явление ретропульсии. В связи с этим требуются дополнительные затраты времени хирурга, чтобы выйти на камень и подвести к нему дистальный конец световода.

Замутнение, возникающее в момент воздействия лазерного излучения на камень и образования акустической ударной волны, связано с выбросом микрочастиц камня, вспенивающих окружающую его физиологическую жидкость, образуя непрозрачную эмульсию, которая скрывает камень.

Отмеченные факторы приводят к увеличению длительности дополнительных затрат при выполнении процедуры дробления мочевых конкрементов. Они не могут быть измерены количественно и поэтому относятся к качественным показателям.

Таблица 4

Количество встречаемости комбинации факторов

Значения фактора X_3	Значения фактора X_5		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, – 0,5	0,5–0,7	0,7–0,9	0,9–1,0
Характеристика зависимости	Слабая	Умеренная	Заметная	Высокая	Весьма высокая



Учет этих факторов при создании модели прогнозирования длительности ТКЛЛТ может существенно повысить точность прогнозирования длительности литотрипсии в ЧЛС.

Многофакторную регрессионную линейную модель для оценки ожидаемой длительности ТКЛЛТ Ллт-ож в области ЧЛС Тлт можно в общем виде представить следующим образом:

$$\text{Ллт-ож} = \alpha_0 + \alpha_1 * \text{Ллт-тч} + \alpha_2 * Z_2 + \dots + \alpha_i * Z_i + \dots + \alpha_n * Z_n + \varepsilon, \quad (6)$$

где α_i – коэффициенты регрессии; Z_i – независимые переменные (факторы); ε – случайная абсолютная ошибка (погрешность прогнозирования).

Изменение символов для обозначения коэффициентов регрессии и дополнительных факторов введено для подчеркивания отличия модели прогнозирования длительности литотрипсии в ЧЛС от модели длительности литотрипсии в мочеточнике.

Общее время литотрипсии, по аналогии с литотрипсией в мочеточниках, зависит как от собственно «чистого» времени разрушения конкремента в области ЧЛС Ллт-ч, так и от времени дополнительных затрат. К дополнительным затратам при дроблении в ЧЛС относятся:

- ожидание до появления видимости в результате промывания области литотрипсии контуров камня и рабочей части оптического зонда;
- репозиционирование оптического зонда при перемещении камня за счет ретропульсии.

Время чистого дробления камня имеет количественный характер Ллт-ч, а возможность выведения оптического зонда на камень, соотношение объемов области ЧЛС и камня, «пыльность» конкремента и некоторые другие – качественный характер. Качественным параметрам, по аналогии с процессом получения оценки времени дробления конкрементов в мочеточнике, присваиваются бинарные количественные значения факторов (-1, 1).

Z_2 – качественный фактор, учитывающий сложность анатомии мочеточника, определяемой при предоперационном обследовании на основании результатов УЗИ и КТ; Z_3 – качественный фактор, учитывающий соотношение размера конкремента и объема ЧЛС (лоханки, чашечки); Z_4 – качественный фактор, учитывающий физико-химические свойства камня, сказывающиеся на его «пыльности».

По измеренным значениям фактического времени выполнения литотрипсии в ЧЛС Ллт-ож и рассчитанного ожидаемого (прогнозируемого) чистого времени разрушения мочевого конкремента Ллт-ч с помощью

пакета «Анализ данных. Регрессия» системы Excel был выполнен расчет коэффициентов регрессии и параметров, характеризующих качество модели.

Коэффициент детерминации, полученный на основе вычислений в системе Excel, достаточно большой ($R^2 = 0,831$), а остатки распределены симметрично, что свидетельствует о высоком качестве модели. Таким образом, прогнозируемое время выполнения трансуретральной контактной гольмиевой литотрипсии в ЧЛС может быть оценено по формуле:

$$\text{Ллт-ож} = 6,7371 + 2,2448 * \text{Ллт-ч} - 1,355 * Z_2 + 2,0653 * Z_3 + 1,3168 * Z_n + \varepsilon. \quad (7)$$

Рассчитанные на основании выражений (5) и (7) показали, что выигрыш в планируемом использовании операционного помещения и высокотехнологического оборудования, представляющего собой разность между максимальным (пессимистическим прогнозом) временем, оцениваемым экспертами, и прогнозируемым максимальным временем, рассчитанным на основе предложенной модели, составляет в среднем $21,5 \pm 2,7$ мин. (37%) при дроблении конкрементов в области мочеточников и $51 \pm 6,2$ мин. (53,4%) при дроблении в чашечно-лоханочной системе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проведенных исследований установлено, что длительность трансуретральной контактной гольмиевой литотрипсии можно оценить до начала операции с помощью уравнений многофакторной линейной регрессии. В качестве факторов используется время собственно дробления мочевого конкремента, рассчитанное по полученным в результате компьютерной томографии объему и рентгенологической плотности камня, сложность анатомии мочеточника, соотношение размера конкремента и диаметра мочеточника или объема ЧЛС (лоханки, чашечки), длительность стояния камня в МТ и «пыльность» камня.

Экспериментально установлено, что выигрыш в планируемом использовании операционного помещения и высокотехнологического оборудования, представляющего собой разность между максимальным (пессимистическим прогнозом) временем, оцениваемым экспертами и прогнозируемым максимальным временем, рассчитанным на основе предложенной модели составляет в среднем $21,5 \pm 2,7$ мин. (37%) при дроблении конкрементов в области мочеточников и $51 \pm 6,2$ мин. (53,4%) при дроблении в чашечно-лоханочной системе.



ЛИТЕРАТУРА



1. Мартов А.Г., Гордиенко А.Ю., Ергаков Д.В. и др. Гольмиевая контактная литотрипсия в трансуретральном лечении крупных камней верхней трети мочеточника // Астраханский медицинский журнал. – 2011. – № 2. – Т. 6. – С. 185–190.
2. Гудков А.В., Бощенко В.С., В.Я. Афонин, Лозовский М.С. Зависимость эффективности и безопасности ретроградной контактной электроимпульсной уретеролитотрипсии от расположения и размеров конкремента // Экспериментальная и клиническая урология. – 2013. – № 3. – С. 100–106.
3. Leijte J.A., Oddens J.R., Lock T.M. Holmium laser lithotripsy for ureteral calculi: predictive factors for complications and success. J. Endourol. 2008 Feb; 22(2): P. 257–60. doi: 10.1089/end.2007.0299.
4. Song Fan, Binbin Gong, Zongyao Hao et al. 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.
5. Kayis E, Wang H., Patel M., Gonzalez T., Jain S., Ramamurthi R.J., Santos C., Singhal S., Suermondt J., Sylvester K. Improving Prediction of Surgery Duration using Operational and Temporal Factors. AMIA Annu Symp Proc. 2012; 2012:456–462. Epub. 2012. Nov. 3. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3540440/pdf/amia_2012_symp_0456.pdf
6. Stepaniak, P.S., Heij C., De Vries G.: Modeling and prediction of surgical procedure times. Statistica Neerlandica 64(1), 1–18 (2010).
7. Чернега В.С., Еременко А.Н., Еременко С.Н., Тлуховская-Степаненко Н.П. Прогнозирование времени длительности гольмиевой литотрипсии в лечении уролитиаза // Врач и информационные технологии. – 2020. – № 2. – С. 72–80.
8. Мисюк Н.С. Корреляционно-регрессионный анализ в клинической медицине / Н.С. Мисюк, А.С. Мاستыкин, Г.П. Кузнецов. М.: Медицина, 1975. – 200 с.
9. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: МедиаСфера, 2003. – 305 с.
10. 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. – 412 с.

Новости отрасли

МИНЗДРАВ ПЛАНИРУЕТ ИСПОЛЬЗОВАТЬ ФЕДЕРАЛЬНУЮ ИЭМК
ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Министерство здравоохранения РФ предложило использовать обезличенные медицинские данные пациентов из Федеральной интегрированной электронной медицинской карты Единой государственной информационной системы в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ) для обучения программ на основе технологий искусственного интеллекта (ИИ). В настоящее время в системе формируются базы данных обезличенной информации только по отдельным нозологиям и профилям – для изучения течения и исхода заболеваний, клинической и экономической эффективности методов профилактики, диагностики, лечения и реабилитации.

Ведомство предлагает добавить к действующим положениям хранение, поддержку разметки и подготовки наборов обезличенных медицинских данных для формирования систем поддержки принятия врачебных решений, создания и применения технологических решений на основе ИИ.

Кроме того, в ЕГИСЗ предполагается внедрить поддержку разработки технологических решений на основе ИИ, их хранение, функционирование, верификацию и обеспечить к ним доступ медицинских организаций.

Правки предусматривают создание в ЕГИСЗ подсистемы модернизации первичного звена для мониторинга и контроля за реализацией профильных региональных программ, стартующих с начала 2021 года.

Подробнее: <https://vademec.ru/news/2020/11/13/minzdrav-razreshit-ispolzovat-meditsinskie-dannye-patsientov-iz-egisz-dlya-obucheniya-ii/>