

УДК: 616.62-003.7-089

Чернега В.С., к.т.н., доцент кафедры «Информационные системы»
Севастопольского государственного университета. Севастополь, Россия;
e-mail: v_chernega@rambler.ru

Тлуховская-Степаненко Н.П., аспирант кафедры «Информационные системы»
Севастопольского государственного университета. Севастополь, Россия;
e-mail: ahauyalyalyaptaa@gmail.com

Еременко А.Н., врач-уролог отделения урологии ГБУЗ «Городская больница №9».
Севастополь, Россия; e-mail: medicalyug@gmail.com

Прогнозирование продолжительности операции контактной лазерной литотрипсии

Аннотация

Приведены результаты измерений и расчета продолжительности этапов контактной лазерной литотрипсии гольмиевым лазером.

Ключевые слова:

мочевые камни, контактная литотрипсия, гольмиевый лазер, удельная потеря массы, скорость фрагментации.

Введение. Для рационального планирования операций по дроблению камней мочевого выделительной системы, своевременной подготовки к ней больных и максимального использования высокотехнологического оборудования, актуальным является знание ориентировочной длительности предстоящей операции. Экспертные оценки врачей-урологов, как правило, завышенные, в 1,5-2 раза превышающие среднее время операции. Это приводит к недогрузке операционных залов и простаиванию дорогостоящего высокотехнологического оборудования. Целью работы является повышение точности оценки времени проведения контактной лазерной литотрипсии.

Методы и материалы. Для оценки длительности предстоящей операции использовались методы экспериментальных исследований параметров случайных процессов и статистической обработки данных, теории вероятности и математического моделирования. Измерения осуществлялись при дроблении камней гольмиевым лазером отечественного производства серии Triple.

Результаты. Операция по удалению мочевых камней состоит из ряда этапов, включающих подготовку операционного помещения, анестезию, ревизию мочевыводящей системы, собственно дробления камня и установку стента. Продолжительность всех этапов такой операции, за исключением анестезии и процедуры дробления камня, может быть задана тремя значениями: минимальным, максимальным и наиболее вероятным временем, которые определяются на основании среднестатистических данных. Длительность этапа анестезии является случайной величиной и зависит от ряда факторов, в частности, пола и возраста больного, массы тела, наличия различных патологий и др. Время дробления мочевого камня также является случайной величиной, зависящей от объема камня, его физико-химических параметров и места локализации. В процессе проведения экспериментальных исследований длительности полной анестезии установлено, что время анестезии является непрерывной случайной величиной, плотность которой подчиняется бета-распределению:

$$f_{\xi}(t, \alpha, \beta) = \left\{ \frac{(t-a)^{\alpha-1} (b-t)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta) (b-a)^{\alpha+\beta-1}} \right\}, \quad a \leq t \leq b,$$

$$f_{\xi}(t, \alpha, \beta) = 0, \quad t < a, t > b,$$

где a и b – наименьшее (оптимистическая оценка) и наибольшее (пессимистическая оценка) значения продолжительности этапа литотрипсии; α и β – параметры бета-распределения; $B(\alpha, \beta)$ – бета-функция, которая может быть представлена в виде интеграла Эйлера или посредством гамма-функций [1]:

$$B(\alpha, \beta) = \int_0^1 x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} dx = \frac{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)}{\Gamma(\alpha+\beta)}.$$

Здесь
$$\Gamma(y) = \int_0^{\infty} e^{-z} z^{y-1} dz$$

- гамма-функция. Для целых значений параметра y гамма-функция $\Gamma(y) = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (y-2) \cdot (y-1) = (y-1)!$.

Установлено, что плотность распределения длительности анестезии имеет следующие параметры: минимальное (оптимистическое) время равно 15 мин, а максимальное (пессимистическое) равно 35 мин, наиболее вероятное время (медиана) – 22 мин. Параметры бета-распределения α и β соответственно равны 3,2 и 5,6.

Для оценки собственно времени дробления камня гольмиевым лазером авторами предложено ввести специальный параметр – удельную величину потери массы камня γ , представляющей собой отношение изменения массы камня к изменению суммарной энергии лазерного излучения, затраченной на полную фрагментацию камня: $\gamma = dm/dE$.

При анализе результатов исследований процессов скорости дробления мочевых камней [2,3] и приведению ее к показателю γ установлено, что удельная величина потери массы камня в явном виде не зависит от объема камня и его плотности, т.к. его масса линейно зависит от этих параметров. В связи с тем, что при компьютерной томографии измеряется рентгенологическая плотность камня в единицах Хаунсфилда HU, то для определения массы камня осуществляется пересчет рентгенологической плотности в физическую ρ по рекурсивной формуле, полученной в [4]:

$$\rho = 1,539 + 0,000485 \times \text{HU} \quad [\text{г/см}^3].$$

Расчетным путем определено, что величина параметра γ при дроблении искусственных образцов мочевых камней [in vitro] гольмиевым лазером равна $0,442 \pm 0,083$ мг/Дж ($p=0,05$). В процессе измерений авторами этого параметра в реальных условиях [in vivo] при дроблении гольмиевым лазером Triple производства фирмы Медоптотех с диаметром оптического зонда 600 мкм, средняя удельная величина потери массы составила $0,401 \pm 0,18$ мг/Дж ($p=0,05$).

Формула, по которой можно рассчитать ожидаемое время T_p полной фрагментации камня при неизменной в процессе дробления частоте и энергии импульсов лазера имеет вид: $T_p = m / (\gamma \times F_i \times E_i)$,

где m – масса камня в мг; E_i – энергия импульсов лазерного литотриптера в Дж, а F_i – частота в Гц; γ – удельная величина потери массы камня.

Общее время $T_{\text{сум}}$ проведения операции контактной лазерной литотрипсии, состоящей из L этапов, определяется путем суммирования средних значений интервалов времени отдельных этапов операции.

$$T_{\text{н0i}} = \sum_{i=1}^L \bar{t}_i.$$

Перед операцией, на основании измеренных по результатам компьютерной томографии объема и рентгенологической плотности камня, определяется его масса. С учетом места локализации и плотности камня хирург выбирает параметры импульсов лазера, на основании которых оценивается время дробления камня, а путем суммирования интервалов времени всех этапов литотрипсии вычисляется ожидаемое время выполнения всей операции. Для упрощения вычислений авторами разработано мобильное приложение, выполняющее необходимые расчеты и выдающее прогнозируемое время длительности всей операции литотрипсии.

Выводы. Таким образом, на основании результатов предоперационного обследования и среднестатистических данных времени выполнения этапов литотрипсии, может быть оценено время всей операции дробления мочевого камня гольмиевым лазерным литотриптером. При использовании других типов лазеров величина удельной потери массы камня будет отличаться от приведенной величины. Для определения этой величины для других типов лазера планируется провести дополнительные исследования.

