

УДК 615.837.3:616.617-003.7

РАСЧЁТ НЕОБХОДИМОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКА ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ КОНКРЕМЕНТОВ МОЧЕИСПУСКАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

*Юрко А.А., к.т.н., доц., Проворова М.С., магистрант
Кременчугский государственный политехнический университет
имени Михаила Остроградского
39614, Полтавская обл., г. Кременчуг, ул. Первомайская 20
E-mail: mashacute@rambler.ru*

Проведені експериментальні дослідження сечового каменя на міцність з метою визначення необхідного значення інтенсивності ультразвуку для його руйнування. Отримані дані можуть бути основою для вибору ультразвукового випромінювача при контактній літотрипсії.

Ключові слова: міцність, інтенсивність ультразвуку, сечове каміння

The conducted experiment researches of urinary stone on durability with the purpose of determination of necessary value of intensity of ultrasound for his destruction. Finding can be a basis for the choice of ultrasound emitter at contact litotripsy.

Keywords: durability, intensity of ultrasound, urinary stone

Введение. Мочевые камни, в зависимости от типа нарушенный обмена веществ или наличия инфекции, могут быть различны: часть из них имеет монокристаллическое строение, но чаще встречаются полиминеральные, или камни смешанного строения. Знание структуры камня играет немаловажную роль при выборе методов лечения и профилактики. Мочевые конкременты являются смешанными и представляют собой смесь минералов с органическими веществами. Камни, как правило, слоистые, число камнеобразующих элементов не более трёх, остальные минералы могут обнаруживаться в виде примесей.

Анализ предыдущих исследований. Сегодня мочекаменная болезнь лечится благодаря дистанционной литотрипсии, что целесообразно при не очень больших размерах камня, когда мочевые пути имеют условия для нормального отхождения осколков (без сужений, перегибов) и отсутствует выраженный воспалительный процесс в почке. Нельзя забывать: каждое дробление камня в почке — это контузия органа. Ударная волна фиксируется не только на каком-то маленьком фрагменте камня, она захватывает и ряд окружающих структур. Нередко дробление проводится в несколько сеансов.

Так, если уровень ультразвуковой мощности ударной волны в фокусе составляет порядка 20 – 30 Вт, то с учётом коэффициента затухания, от излучателя необходимо подавать порядка 516 Вт [1], что превышает предельно допустимые значения мощности и может привести к повреждению тканей организма.

Цель работы. Подбор значения интенсивности ультразвуковой волны, необходимой для разрушения конкремента мочеиспускательной системы, исходя из его прочностных характеристик.

Материалы и результаты исследований.

Этапной вехой в лечении мочекаменной болезни стало внедрение в клиническую практику дистанционной ударно-волновой литотрипсии. Достоинствами метода являются постоянный ультразвуковой контроль за разрушением камня, отсутствие необходимости во внутреннем наркозе, возможность выполнения операции амбулаторно.

С точки зрения физики ультразвука ткани человеческого тела близки по своим свойствам жидкой среде, поэтому давление на них ультразвуковой волны может быть описано как сила, действующая на жидкость.

Изменение давления в среде может происходить перпендикулярно в плоскости вибрации источника ультразвука [2]. В этом случае волну называют продольной. Звуковые волны являются механическими по своей природе, т. к. в их основе лежит смещение частиц упругой среды от точки равновесия. Именно за счет упругости и происходит передача звуковой энергии через ткань. Чем больше плотность материала, тем медленнее должны распространяться в нем (при одинаковой упругости) ультразвуковые волны. Но к этому физическому параметру следует подходить с осторожностью. Скорость звука при прохождении его через разные среды биологического организма может быть различной, ниже представлены скорости распространения ультразвука в различных средах: мягкие ткани (в среднем) – 1540 м/с; головной мозг – 1541 м/с; жир – 1450 м/с; печень – 1549 м/с; почка – 1561 м/с; мышцы – 1585 м/с; кости черепа – 4080 м/с.

Для определения интенсивности ультразвука, необходимого для разрушения конкремента, был

проведён експеримент с целью установления прочностных свойств камней, извлечённых из почки хирургическим путём. Были проведены замеры массогабаритных характеристик образцов, и определена предельная прочность на сжатие $[\delta_{сж}]$. Для установления последнего параметра камням придавалась кубическая форма, объёмом 1см^3 . Например, для образца массой $m = 4,9\text{ г}$ и объёмом $V = 4\text{ см}^3$, была зафиксирована предельная прочность $\delta_{сж} = 53\text{ кг/см}^2$.

Итак, установим взаимосвязь между прочностными характеристиками и необходимой интенсивностью излучения ультразвука I .

Так, амплитуда звукового давления

$$\Delta p_0 = \rho v u_x, \quad (1)$$

где ρ - плотность среды, г/см^3 ; v - скорость волны, м/с .

Для плоской гармонической волны с циклической частотой ω , если амплитуда смещения частиц имеет величину x_0 , то амплитуда колебательной скорости:

$$u_0 = \omega x_0,$$

Интенсивность ультразвука определяется по формуле:

$$I = \frac{1}{2} \rho v u_0^2. \quad (2)$$

Интенсивность плоских звуковых волн, вследствие поглощения, после прохождения пути x :

$$I_x = I_0 e^{-2\alpha x},$$

где I_0 - начальная интенсивность, Вт/см^2 ; α - коэффициент поглощения звука.

Выразим u_0 из формулы (2):

$$u_0 = \sqrt{\frac{2I}{\rho v}}$$

Подставим полученное выражение в формулу (1) и получим:

$$\Delta p_x = \sqrt{2I\rho v}.$$

Для достижения разрушения конкремента необходимо, чтобы давление создаваемое ультразвуком превышало предел прочности конкремента на растяжение:

$$\delta_p \leq n\sqrt{2I\rho v}, \quad (3)$$

где n - поправочный коэффициент для учёта прочности структуры. Выразим из условия (3) значение интенсивности:

$$I \geq \frac{1}{2} \times \frac{1}{\rho v n} \left(\frac{\delta_p}{n}\right)^2,$$

где v_n - скорость продольной волны в твёрдом теле которую можно определить по формуле:

$$v_n = \sqrt{\frac{E}{\rho} \times \frac{1-v}{(1+v)(1-2v)}},$$

где E - модуль Юнга, кг/см^2 ; v - коэффициент Пуассона.

После подстановки окончательно получим:

$$I \geq \frac{1}{2} \frac{1}{\sqrt{E\rho \frac{1-v}{(1+v)(1-2v)}}} \left(\frac{\delta_p}{n}\right)^2. \quad (4)$$

Для примера произведён расчёт интенсивности ультразвука для разрушения некоторых образцов горных пород (табл.1), наиболее близких по свойствам к экспериментальным значениям параметров конкрементов, описанных выше.

Таблица 1 – Свойства некоторых горных пород

	ρ , г/см^3	$E \times 10^5$, кг/см^2	v	$\delta_{сж_2}$ кг/см^2	δ_{p_2} кг/см^2
Уголь	1,98	1,8-2,5	0,14-0,16	120- 245	2,5-22,5
Уголь бурый	1,22	1,8	0,43	110- 150	8-12
Песчаник	2,66	0,5-5	0,19-0,21	350- 1500	30-100

Сравнив все величины придём к выводу, что наиболее подходящим аналогом для данного конкремента является бурый уголь. Подставим значения в формулу (4), получим график зависимости $I = f[\delta_p]$ (рис.1):

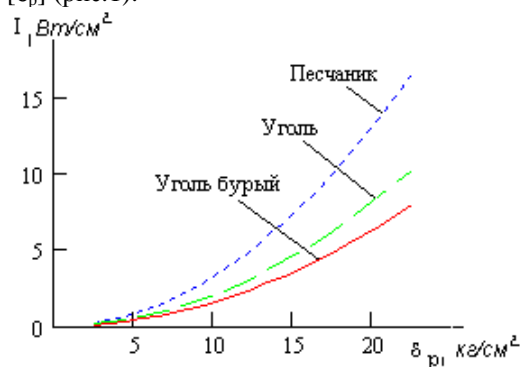


Рисунок 1 – График зависимости интенсивности ультразвуковой волны от δ_p

Из графика видно, что для дробления камня будет достаточна интенсивность в пределах от 1,2 до 16,4 Вт/см^2 , что меньше значений интенсивностей, используемых для дистанционной литотрипсии.

Вывод. Проведённые исследования показали, что для разрушения конкремента мочеиспускательной системы необходимая интенсивность ультразвука ниже полученных значений при дистанционной литотрипсии. Для определения точных значений необходимы дальнейшие исследования пористости конкремента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Применение ультразвука в медицине. Физические основы / Под ред. К. Хилла - М., 1989. – 564 с.
2. Дидковский В.С., Найда С.А. Пьезоэлектрические преобразователи медицинских ультразвуковых сканеров: Науч. пособие. – К.:НМЦВО, 2000. – 178 с.

Статья поступила 27.11.2007.

Рекомендовано к печати к.т.н., доц. Мосьпаном В.А.