

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ И ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ДЕЗИНВАГИНАЦИИ В ТЕОРИИ, ЭКСПЕРИМЕНТЕ И ПРАКТИКЕ

М. Ю. ЯНИЦКАЯ*, Б. Ю. МИХАЙЛЕНКО*, В. Г. ОСТРОВСКИЙ**, В. Г. САПОЖНИКОВ***, А. А. КАРЯКИН*

* *Северный государственный медицинский университет,*

пр-т Троицкий, д. 51 г. Архангельск, 163000, Россия, e-mail: medmaria@mail.ru

** *Закрытое Акционерное Общество Проектно-Конструкторское бюро «Автоматика»,*

пр. Стачек, 47 Санкт-Петербург, 198097, Россия, e-mail: ostrowsky.vladimir@yandex.ru

*** *Тульский государственный университет, пр. Ленина, 92, г. Тула, 300012, Россия,*

e-mail: vladim1409@yandex.ru

Аннотация. В данном исследовании выполнена сравнительная оценка безопасности гидростатической дезинвагинации методом гидроэхоколонографии (под УЗ-контролем) в сравнении с пневматической (пневмоирригоскопия). Опираясь на фундаментальные законы физических свойств воздуха и жидкости, теоретически показано, что при использовании воздуха в момент дезинвагинации возникает резкое освобождение запасённой энергии, что травматично для стенки кишки и несёт в себе риск перфорации. При использовании жидкости в момент дезинвагинации давление падает практически до нуля, что приемлемо и не опасно для стенки кишки. Теоретическое обоснование доказано в эксперименте, моделирующем процесс дезинвагинации воздухом и жидкостью. Ретроспективная оценка неоперативного лечения пациентов с использованием пневматической ($n=45$) и гидростатической ($n=160$) дезинвагинации показала, что эффективность пневматического метода ниже гидростатического (84,4; 95,6% соответственно). Сделан вывод, что гидростатическая дезинвагинация (методом гидроэхоколонографии) безопасней пневматической, так как не несёт в себе дополнительного риска, связанного с физическими свойствами воздуха. УЗ-контроль позволяет избежать лучевой нагрузки на больного, дезинвагинация выполняется под постоянным визуальным наблюдением за процессом с оценкой кровотока в брыжейке участвующей в инвагинате кишки, что исключено при пневматической дезинвагинации с рентгенологическим контролем.

Ключевые слова: инвагинация кишечника, пневматическая дезинвагинация, пневмоирригоскопия, гидростатическая дезинвагинация под УЗ-контролем, гидроэхоколонография, дети.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF SAFETY OF HYDROSTATIC AND PNEUMATIC REDUCTION OF THE INTUSSUSCEPTION IN THEORY, EXPERIMENT AND PRACTICE

М. Ю. ЯНИЦКАЯ*, В. Ю. МИХАЙЛЕНКО*, В. Г. ОСТРОВСКИЙ**, В. Г. САПОЖНИКОВ***, А. А. КАРЯКИН*

* *Northern State Medical University, Pr-t Trinity, d. 51 Arkhangelsk, 163000, Russia,*

e-mail: medmaria@mail.ru

** *Design bureau "Avtomatika", Stachek Ave., 47 St. Petersburg, 198097, Russia, e-mail: os-*

trowsky.vladimir@yandex.ru

*** *Tula State University, Lenin Ave., 92, Tula, 300012, Russia, e-mail: vladim1409@yandex.ru*

Abstract. In this research the safety of hydrostatic reduction of intussusception under US-control in comparison with pneumatic reduction is evaluated. Being guided by the fundamental laws of physical properties of air and fluid, it is theoretically shown, using air at the moment of the reduction of the intussusception results in a sharp release of the accumulated energy, which is traumatic for the intestinal wall and bears in itself the risk of perforation. When using fluid at the moment of reduction, pressure reduces practically to zero which is acceptable and not dangerous for the intestinal wall. Theoretical justification is proven in the experiment, modeling the process of pneumatic and hydrostatic reduction of the intussusception. The retrospective evaluation of non-operative treatment of patients applying pneumatic ($n=45$) and hydrostatic ($n=160$) reduction showed, that the efficiency of the pneumatic method is lower than the hydrostatic method (84,4; 95,6% accordingly). Conclusion: the hydrostatic reduction is safer than the pneumatic reduction, as it doesn't bear in itself the additional risks connected to the physical properties of air. US-control allows to avoid radiation exposure of the patient, the reduction is carried out under continuous visual control over the process, evaluating the blood flow of the mesente-

rium of the intestine participating in the intussusceptum, which is impossible using pneumatic reduction with radiological control.

Key words: intussusception, pneumatic reduction, air enema, hydrostatic reduction under US-control, hydrocolonic echography, children.

Введение. *Инвагинация кишечника (ИК)* – наиболее частая причина приобретенной непроходимости кишечника у детей [5]. Несмотря на то, что ИК является хирургической патологией, она может быть пролечена не оперативным методом (консервативно). «Золотым стандартом» консервативного лечения ИК большинством авторов признана *пневмоирригоскопия (ПИС)* или воздушная клизма [1, 2, 5, 12]. При использовании ПИС инвагинат расправляется нагнетанием в просвет толстой кишки воздуха под давлением.

В ряде случаев используется гидростатическая дезинвагинация: давлением жидкости, а в качестве контроля служит УЗИ [4, 8, 10]. Данный вид дезинвагинации имеет два названия: методом *гидроэхоколонографии (ГЭК)* [8] и дезинвагинация под УЗ-контролем [4, 10]. ГЭК – метод эхографического исследования толстой кишки с контрастированием её просвета жидкостью, название исследования предложено в 1998 году [9]. Удобство дезинвагинации методом ГЭК заключается в том, что врач опирается на знание эхографической анатомии толстой кишки. Данное знание повышает выявление органической причины инвагинации (опухоль, дивертикул). Гидростатическая дезинвагинация распространена не так широко, как ПИС.

Практически все авторы, использующие ПИС, сообщают о таком осложнении, как перфорация кишки при значительном повышении давления в её просвете [11, 12]. Поэтому в ряде случаев консервативное лечение с использованием ПИС ограничивается временем с начала симптомов инвагинации: при давности заболевания больше 24 часов выполняется операция [11, 12], или временем с момента появления крови из прямой кишки [7]. В последние годы для снижения риска перфорации кишки рекомендуется этапная дезинвагинация и/или более глубокая седация больного с применением *эндотрахеального наркоза (ЭТН)* [1, 2, 11]. При использовании метода гидроэхоколонографии (дезинвагинация под УЗ-контролем) данных о перфорации кишки в литературных сообщениях не встретилось, применения ЭТН не требовалось [4, 8, 11, 12]. Хирурги, использующие гидростатическую дезинвагинацию, ориентируются не на время с момента появления симптомов инвагинации, а на наличие кровоснабжения кишки, участвующей в инвагинате (по данным УЗИ).

Закономерно возникает вопрос, почему не описано ни одного случая перфорации кишки при гидростатической дезинвагинации? И не является ли использование жидкости для дезинвагинации, а также эхографический контроль за процессом дезинвагинации более безопасным и приемлемым методом консервативного лечения инвагинации кишечника у детей?

Цель исследования – оценить безопасность гидростатической дезинвагинации методом гидроэхоколонографии в сравнении с пневмоирригоскопией, опираясь на фундаментальные законы физических свойств воздуха и жидкости, экспериментальные данные, практическое использование обоих методов.

Материалы и методы исследования. Ретроспективно были анализированы две группы пациентов, которым выполнено консервативное лечение ИК, пролеченных на базе Архангельской областной детской клинической больницы с 1981-2016 гг. С 1981-2005 гг. в клинике для консервативного лечения ИК применялся метод ПИС, всего пролечено 45 детей. Дезинвагинация методом ПИС ограничивалась давностью клинических симптомов до 12 часов, возрастом пациентов до 1-го года. Использована общепринятая методика [1, 4, 5].

В 2005-2016 гг. с целью консервативного расправления ИК начали использовать метод ГЭК по собственной методике [8, 9] независимо от давности клинических симптомов и возраста ребёнка, всего пролечено 160 пациентов. Критериями для выполнения ГЭК являлось наличие кровоснабжения в брыжейке кишки, образующей инвагинат (кровоток оценивался методом цветового доплеровского картирования), а также отсутствие признаков перитонита.

На первом этапе исследования сравнили физические свойства жидкости и воздуха и их возможное воздействие на стенку кишки в момент дезинвагинации, опираясь на фундаментальные физические свойства этих сред [3, 6].

На втором этапе выполнили эксперимент: имитировали дезинвагинацию жидкостью и воздухом. Использовали шприц (инвагинат). Поршень шприца выполнял роль инвагинированной кишки. К носику шприца подсоединялся катетер, через который под одинаковым давлением вводилась жидкость или воздух. Давление воздуха создавали с помощью баллона Ричардсона. Гидростатическое давление рассчитывали по высоте расположения кружки Эсмарха, исходя из второго закона гидродинамики: «Давление жидкости на дно или боковые стенки сосуда зависит от высоты столба жидкости и называется гидростатическим давлением». Известно, что столб воды, высотой 10 метров оказывает давление в 1 атмосферу, что составляет 735 мм рт. ст. Нетрудно рассчитать, что вводимая жидкость из кружки Эсмарха, расположенной на высоте 1,36 м от уровня пациента, окажет давление 100 мм рт. ст.

Имитируя процесс дезинвагинации, контролировали скорость продвижения поршня по цилиндру, и скорость его в момент выхода из шприца. Рассчитали предполагаемую силу воздействия давления воздуха и жидкости на стенку кишки в момент дезинвагинации.

Третий этап: анализировали оба процесса и сравнили эффективность дезинвагинации методом ПИС и ГЭК на основе клинического опыта использования обоих методов консервативного лечения инвагинации кишечника.

Результаты и их обсуждение.

Первый этап. Представим схему гидростатической дезинвагинации (рис. 1).

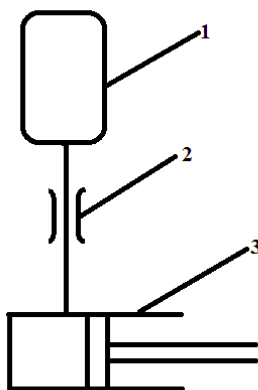


Рис. 1. Схема при гидростатической дезинвагинации: 1 - емкость с жидкостью, находящейся под давлением; 2 – трубопровод, обладающий внутренним трением жидкости о стенки; 3 – цилиндр с поршнем

В данном примере в начальном состоянии жидкость находится при атмосферном давлении (0мм.рт.ст избыточного), длина трубопровода 2,0 м, условный диаметр трубопровода 4 мм, кинематическая вязкость жидкости при 20°C равна 1мм²/с. Давление в ёмкости и цилиндре одинаково. Поршень удерживается в исходном положении за счёт трения о стенки цилиндра. Плавно увеличиваем давление до 0,0133...0,0199 МПа. При давлении, превышающем силу трения, поршень начнёт перемещаться. Определим скорость перемещения, для чего используем основное уравнение гидростатики:

$$P_A = P_O + \rho \times g \times h_A$$

где, P_A – давление в произвольной рассматриваемой точке, кПа; P_O – внешнее давление, кПа; $\rho \times g \times h_A$ – весовое давление столба жидкости высотой h_A (м), ρ – плотность жидкости (кг/м³) $\times 10^{-3}$, (для воды $\rho = 1000 \times 10^{-3}$ кг/м³), $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения. Для нашего случая, когда система рассматривается при атмосферном давлении ($P_O = 0$ избыточного);

$$P_A = \rho \times g \times h_A$$

Различают два режима течения жидкости: ламинарный, когда частицы жидкости движутся параллельно стенкам трубопровода, и турбулентный, когда движение частиц приобретает беспорядочный характер. Режим течения определяется безразмерным числом Рейнольдса (Re).

Ламинарный режим течения переходит в турбулентный при определённом, критическом значении: $Re_{кр} = 2300$.

Потери давления на трение определяются по формуле Пуазейля для ламинарного режима;

$$\Delta h_{mp} = 32 \times \nu \times l \times V / d^2 \times g$$

где, ν – кинематическая вязкость жидкости, м²/с; l – длина гидролинии, м; V – скорость движения жидкости в гидролинии, м/с; d – внутренний диаметр гидролинии, м; $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения. Если искомой величиной является расход жидкости, тогда $V = 4 \times Q / \pi \times d^2$. Представим гидродинамический напор через давление $\Delta h = \Delta p / \rho \times \pi$, в этом случае формула Пуазейля приобретет вид:

$$Q = \Delta p \times d^4 \times \pi / 128 \times \nu \times l \times \rho$$

Рассчитаем расход жидкости из условия свободного её вытекания при следующих условиях:

Жидкость находится под давлением 100 – 150 мм.рт.ст (13,3...20 кПа), длина трубопровода 2,0м, условный диаметр трубопровода 4мм., кинематическая вязкость жидкости при 20°C равна $\nu = 0,01 \cdot 10^4$ м²/с. Следовательно:

$Q = (13,3...20) \times 0,004^4 \times 3,14 / 128 \times 0,01 \times 10^4 \times 2 \times 1000 \times 10^{-3} = 13,3 \times 10^{-6} \dots 20 \times 10^{-6}$ м³/с или, для большей иллюстративности, $Q = 13,3...20$ см³/сек

Далее будем оперировать размерностью Q , см³/сек.

Однако, если принять, что поршень будет после начала перемещения двигаться с противодействием составляющем $3/4$ начального давления, т.е. на трение и заедание поршня тратится $1/4$ начального давления (из-за разницы коэффициента трения покоя и скольжения и наличия жидкостной смазки), то расход жидкости пропорционально уменьшится, т.е.:

$$\Delta p_1 = \Delta p - 3/4 \times \Delta p = (13,3 \dots 20) - 3/4 \times (13,3 \dots 20) = 3,3 \dots 5,0 \text{ кПа, и, следовательно,}$$

$$Q_1 = 0,25 \times Q = 0,25 \times (13,3 \dots 20) = 3,325 \dots 5,0 \text{ см}^3/\text{сек.}$$

Примем диаметр поршня равным $D=15\text{мм}$ ($1,5\text{см}^2$), тогда площадь $S=\pi \times D^2/4$;
 $S=3,14 \times 1,5^2/4=1,77\text{см}^2$

и скорость перемещения поршня V_n (см/сек) равна:

$$V_n = Q_1/S = (3,325 \dots 5,0)/1,77 = 1,9 \dots 2,8$$

Из приведенных расчетов видно, что скорость перемещения поршня, даже при данных, условно принятых величинах, находится в границах не травматичных значений.

Рассмотрим систему при условии, что вместо жидкости используется воздух с избыточным давлением 220 мм.рт.ст ($26,6\text{кПа}$). В качестве резервуара воздуха в данном случае выступает только гидроцилиндр. В исходном состоянии система описывается уравнением политропного процесса:

$$\Delta p \times V^n = \text{const, где } V \text{ объём воздуха, } n \text{ показатель политропы.}$$

При резком изменении давления процесс близок к адиабатическому $\Delta p \times V^{\gamma} = \text{const}$, и $n = \gamma = 1,4$, где γ показатель адиабаты.

В реальном случае процесс находится между состояниями ($1 < n < 1,4$), принимаем $n=1,2$.

Из анализа уравнения видно, что при изменении давления с

$$\Delta p = 26,6 \text{ кПа до } \Delta p_1 = 0,75 \Delta p, \text{ т.е. } \Delta p_1 = 20\text{кПа, объём воздуха } V_1 \text{ будет равен } \Delta p \times V^{1,2} = \Delta p_1 \times V_1^{1,2}$$

$$V_1 = \sqrt[1,2]{\frac{\Delta p \times V^{1,2}}{\Delta p_1}} = \sqrt[1,2]{\frac{0,0266 \times V^{1,2}}{0,02}} = \sqrt[1,2]{1,33 \times V^{1,2}}$$

В относительных величинах при $V=1$, $V_1 = \sqrt[1,2]{1,33} = 1,27$

Следовательно, объём почти мгновенно увеличится на 27%, что повышает риск перфорации при дезинвагинации.

Второй этап. Для иллюстрации процессов проведён эксперимент воздушного и водного способов имитации дезинвагинации с использованием шприца (инвагинат) полным объёмом 180см^3 , начальным избыточным давлением воздуха $0,0266 \text{ МПа}$ (рис. 2).

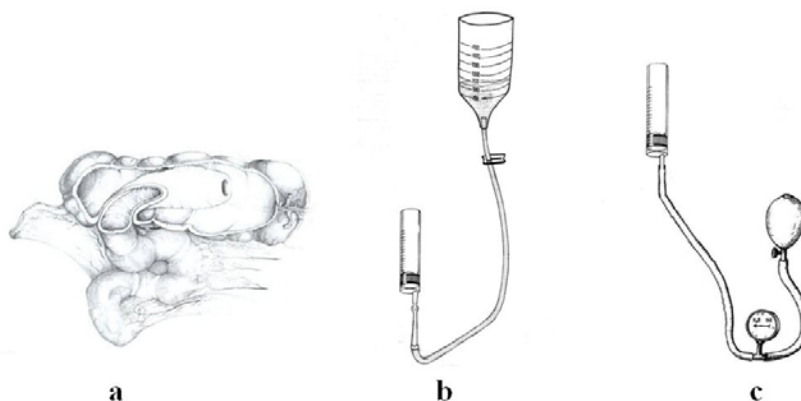


Рис. 2. Схема илеоцекальной инвагинации (а), способ дезинвагинации жидкостью (b), и воздухом (c) в эксперименте: шприц имитирует инвагинат, стенка шприца – влаглище инвагината, поршень – инвагинированную кишку

Определим работу A , которая может быть произведена содержащимся в шприце воздухом при расширении его до давления окружающей среды по изотерме и по адиабате. При расчётах в формулах использованы величины абсолютного давления и температуры в градусах Кельвина, т.е. к рассматриваемым давлениям добавим атмосферное давление. Таким образом,

$$p_1=0,1266\text{МПа, } p_2=0,1\text{МПа, } V_1=0,18 \times 10^{-3}\text{м}^3.$$

Работа изотермического расширения определялась по уравнению:

$$A_{\text{изот}} = p_1 \times V_1 \times \ln(p_1/p_2),$$

где A , кДж; p_1, p_2 – давление в системе до и после движения поршня соответственно, МПа, $p_1=0,1266\text{МПа, } p_2=0,1\text{МПа}$; V_1 – начальный объём воздуха в поршне, $\text{м}^3, V_1=0,18 \times 10^{-3}\text{м}^3$;

$$A_{изот} = 0,1266 \times 0,18 \times 10^{-3} \times \ln(0,1266/0,1) = 0,0228 \times 10^{-3} \times 0,236 = 5,38 \times 10^{-6} \text{ кДж.}$$

Объём воздуха в конце движения поршня соответственно составит:

$$V_2 = V_1 \frac{p_1}{p_2}$$

$$V_2 = 0,18 \times 10^{-3} \frac{0,1266}{0,1} = 0,228 \times 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Для преодоления атмосферного давления должна быть затрачена работа

$$A_{атм} = p_2(V_2 - V_1)$$

что соответственно составит

$$A_{атм} = 0,1(0,228 \times 10^{-3} - 0,18 \times 10^{-3}) = 4,8 \times 10^{-6} \text{ кДж}$$

Таким образом, полезная работа воздуха:

$$A_{полез} = A - A_{атм} = 5,38 \times 10^{-6} - 4,8 \times 10^{-6} = 0,58 \times 10^{-6} \text{ кДж} = 0,58 \times 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Работа адиабатического расширения определяется по уравнению:

$$A_{ад} = (p_1 \times V_1 / \gamma - 1) \times [1 - (p_2/p_1)^{(\gamma-1/\gamma)}]$$

Где γ – показатель адиабаты, в нашем случае 1,2. Следовательно:

$$A_{ад} = (0,1266 \times 0,18 \times 10^{-3} / 0,2) \times [1 - (0,1/0,1266)^{0,167}] = 0,114 \times 10^{-3} \cdot (1 - 0,96) = 4,5 \times 10^{-6} \text{ кДж}$$

Конечный объём воздуха:

$$V_2 = V_1 \times (p_1 / p_2)^{1/\gamma} = 0,18 \times 10^{-3} \times (0,1266/0,1)^{1/1,2} = 0,219 \times 10^{-3} \text{ м}^3$$

Для преодоления атмосферного давления должна быть затрачена работа

$$A_{атм} = p_2(V_2 - V_1) = 0,1 \times (0,219 \times 10^{-3} - 0,18 \times 10^{-3}) = 3,9 \times 10^{-6} \text{ кДж}$$

Таким образом, полезная работа воздуха:

$$A_{полез} = A - A_{атм} = 4,5 \times 10^{-6} - 3,9 \times 10^{-6} = 0,6 \times 10^{-6} \text{ кДж} = 0,6 \times 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Считая, что плотность воздуха при нормальном атмосферном давлении и температуре плюс 20°C равна 1,2 кг/м³, масса воздуха в шприце обратно пропорциональна объёму и прямо пропорциональна избыточному давлению. Следовательно: $m_{возд} = 1,2 \times 0,18 \times 10^{-3} \times 26,6 = 0,0058 \text{ кг}$ и работа указанного количества воздуха:

$$A_{полезт} = 0,6 \times 10^{-3} \times 0,0058 = 3,5 \times 10^{-6} \text{ Дж}$$

Работа – это запасённая энергия сжатого воздуха, которая может реализоваться в силу или импульс в зависимости от конкретных обстоятельств и привести к травматическим последствиям.

Для лучшего понимания модели эксперимента представим дезинвагинацию в виде замкнутого контура, в который подаётся воздух или жидкость под давлением (рис. 3). На данной модели изменяется только один показатель, это вид давления, подаваемого в контур: в одном случае это давление воды, а во втором – давление воздуха. Для регистрации давления при подаче в контур воздуха использовался тонометр баллона Ричардсона. При заполнении контура водой, давление определялось согласно второму закону гидродинамики.

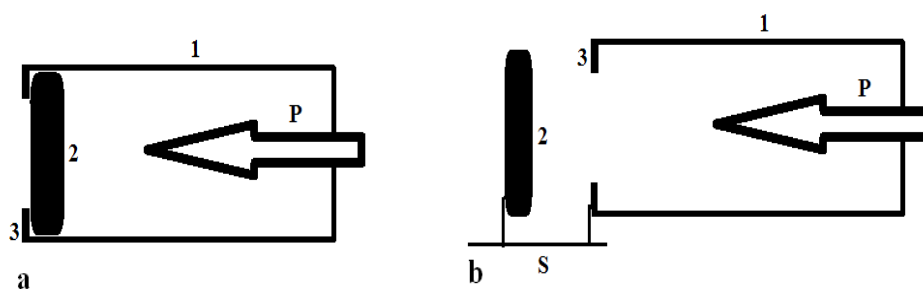


Рис.3. Схема дезинвагинации (а– до дезинвагинации, б – после дезинвагинации): 1 –цилиндр (влагилице инвагината), 2 –поршень (инвагинированная кишка), 3 – створки (шейка инвагината), P – давление, подаваемое в контур, S – путь поршня (после «дезинвагинации»)

Создадим одинаковое давление в цилиндрах с воздухом и жидкостью, измерим путь, который пройдет поршень после дезинвагинации (рис. 3). По результатам эксперимента получено, что путь поршня при нагнетании воздуха составил 0,2 м, а при нагнетании жидкости – 0,01 м. Следовательно, при пневматической дезинвагинации в момент расправления инвагината в просвете кишки создаётся усилие, которое превышает гидростатическое в 20 раз. Несмотря на то, что давление при пневматическом и гидростатическом методах изначально задавалось одинаковое, в конце пути поршня оно значительно различается. Представим, что у нас имеются два датчика: первый датчик установлен в начало системы, а второй

датчик установлен непосредственно на поршень. В начальный момент времени давление, создаваемое в цилиндрах, будет одинаково. Постепенно увеличиваем давление до тех пор, пока поршень не преодолет створки цилиндра.

Если для расправления инвагинации использовали жидкость, дезинвагинация произойдет при том же давлении, которое изначально создавалось, или даже меньшем, т.к. поступление жидкости для поддержания давления ограничивается трением в трубопроводе. Если воздух – к резкому кратковременному силовому воздействию от запасённой энергии сжатого воздуха на кишку в момент дезинвагинации (рис. 4).

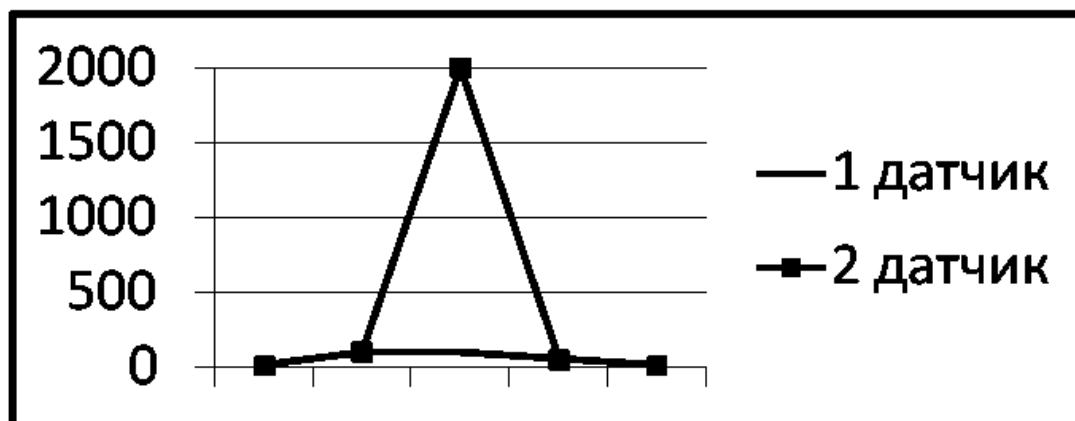


Рис. 4. Изменение эквивалентного усилия в контуре при использовании воздуха

Теперь в этом же цилиндре создадим гидростатическое давление (рис. 5). Ситуация кардинально поменялась. На первом датчике мы видим, что давление не меняется, а на втором происходит серия «малых гидростатических ударов», которые постепенно вытесняют поршень из цилиндра.

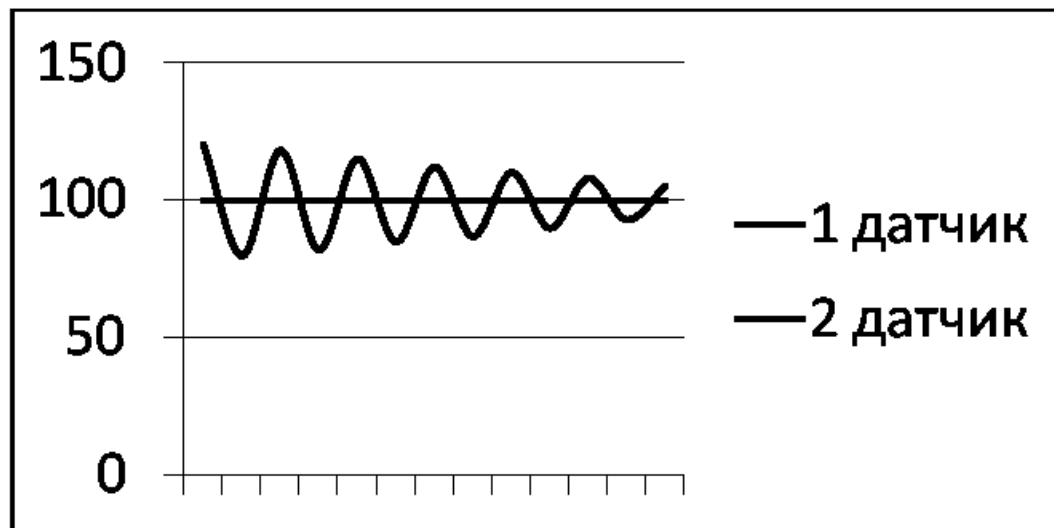


Рис. 5. Изменение эквивалентного усилия в контуре при использовании жидкости

Такое различие основано на фундаментальном свойстве этих сред – сжимаемость. В нормальных условиях плотность воздуха в 800 раз меньше плотности воды, поэтому воздух с лёгкостью сжимается, в отличие от воды, которой требуется большая сила для реализации этого процесса. Когда воздух под давлением наполняет цилиндр, то происходит его сжатие, и именно это приводит к тому, что в момент выхода поршня из цилиндра появляется мощная струя воздуха, которая выбрасывает поршень с большой силой, а в случае дезинвагинации с силой, подчас неприемлемой для отечной стенки кишки. Жидкость, наоборот, практически не сжимаема, следовательно, давление, создаваемое водой внутри цилиндра, равномерно распределяется между поршнем и стенками кишки, что приводит к равномерному продвижению поршня, ограниченному возможностью поступления жидкости из резервуара, а значит, не вызывает разрыва кишки. Вода, при заполнении цилиндра встречается с поршнем, ударяется об него и создаёт

усилие. Поршень под действием усилия жидкости постепенно продвигается, освобождая дополнительный объём и уменьшая давление. Дополнительный объём заполняется постепенно поступающей жидкостью и давление восстанавливается. Серия таких микроударов продвигает поршень и в момент выхода поршня давление жидкости падает практически до нуля, что приемлемо и не опасно для стенки кишки.

При визуальном наблюдении выхода поршня из шприца под давлением воздуха, последний вылетал с громким хлопком и отлетал на 0,5-1 м от шприца. Под давлением жидкости поршень совершал равномерное поступательное движение в просвете шприца и просто «вываливался» из просвета, находясь от шприца на расстоянии 0,05-0,01 м.

Третий этап. Анализ клинического использования обоих методов показал их высокую эффективность с преимуществом гидростатического метода. Дезинвагинация методом ПИС была эффективна в 84,4%, методом ГЭК – 95,6%. Эффективность дезинвагинации методом ГЭК в последние годы ее использования достигла 100%, исключая случаи, когда причиной инвагинации был дивертикул. Эти инвагинаты не расправились, но перфорации кишки не произошло. Однако сравнивать две группы больных, которым использован пневматический и гидростатический способ дезинвагинации нельзя, так как методом ГЭК расправились все инвагинаты независимо от давности заболевания. Попытки дезинвагинации предпринимались, если регистрировался кровоток в брыжейке кишки, образующей инвагинат и отсутствовали клинические признаки перитонита. При использовании ПИС время ограничивалось 12 часами из-за невозможности оценить жизнеспособность кишки при рентгенологическом контроле.

Следует отметить, что при дезинвагинации методом ГЭК возможно было контролировать процесс визуально и на любом этапе оценивать кровоснабжение кишки методом ЦДК на этапах дезинвагинации, учитывая, что УЗИ позволяет видеть структуру тканей. Кроме того, после дезинвагинации методом ГЭК возможно было оценить жизнеспособность кишки по ее перистальтике и кровоснабжению, что исключительно при рентгенологическом контроле.

Следует отметить, что довольно часто дезинвагинация методом ГЭК не требовала глубокой седации больного. У детей старше года с небольшой давностью заболевания анестезия вообще не использовалась. При неэффективности дезинвагинации без наркоза, после введения в медикаментозный сон, отмечена более легкая дезинвагинация, чем обычно, так как инвагинат был уже частично расправлен.

Изучение физических свойств жидкости и воздуха доказало, что воздействие воздуха на стенку кишки в момент дезинвагинации несет в себе больше травматического потенциала, чем при использовании гидростатической дезинвагинации.

Кроме того, клиническое использование обоих методов убедительно показало, что методика выполнения ГЭК имеет ряд преимуществ по сравнению с ПИС. При выборе метода ПИС хирург ориентируется на данные рентгенологической картины, по которой может лишь приблизительно судить о продвижении инвагината, но не может оценить его структуру и кровоснабжение. Производится серия рентгеновских снимков, ребёнок подвергается лучевой нагрузке. Опасность перфорации заставляет хирурга, использующего дезинвагинацию воздухом, применять этапную дезинвагинацию или глубокую седацию (ЭТН), что повышает лучевую нагрузку, удлиняет процесс, создает дополнительные риски, связанные с наркозом. При этом, выполняя неоперативную дезинвагинацию, хирургу важно знать, что происходит непосредственно в самой кишке. Метод ГЭК позволяет хирургу оценивать процесс дезинвагинации, даёт возможность в любой момент времени оценить кровоток, исключить органическую причину (так как ГЭК позволяет оценить просвет кишки одновременно со структурой ее стенки), а также определить визуально полноту расправления инвагинации. Очень важно, что пациент не подвергается лучевой нагрузке независимо от длительности процедуры.

Эффективность обоих методов высокая, но эффективность метода ГЭК, выше, чем при НД методом ПИС. Причём, следует учитывать, что ПИС выполнялась при наличии двух основных критериев: дети до года и давность клинических симптомов до 12 часов. Если применять НД методом ПИС с давностью клинических симптомов более 12 часов, то эффективность этого метода снижается, а риск перфорации кишки повышается [11].

Эксперимент позволил заглянуть в глубину механизмов, происходящих в момент расправления ИК при ПИС и ГЭК. Во время пневматического расправления ИК, головка инвагината «выстреливает» из приводящей кишки, возникает так называемый «хлопок», который многие клиницисты слышат, когда расправляют ИК воздухом под лапароскопическим контролем. При гидростатическом расправлении ИК головка инвагината «вываливается» из приводящей кишки без резкого повышения давления в момент дезинвагинации. Теоретическая модель, построенная нами, полностью доказывает видимые наблюдения при постановке эксперимента и практическом использовании методов. «Хлопок» – это струя сжатого воздуха, устремляющегося в только что раскрытое узкое отверстие отёчной кишки после того, как инвагинат расправился. Эта струя с большой силой раскрывает просвет дальше, подвергая отечные стенки кишки значительному удару. При гидростатической дезинвагинации происходит мягкая дезинвагинация под серией «малых гидростатических ударов». Когда инвагинат расправился, жидкость попадает в вышележащую кишку, не оказывая сильного травматического воздействия.

Выводы. Гидростатическая дезинвагинация методом ГЭК безопасней пневматической, так как не несёт в себе дополнительного риска, связанного с физическими свойствами воздуха, а именно способностью сжиматься. УЗ–контроль позволяет избежать лучевой нагрузки на больного. Метод ГЭК позволяет выполнять дезинвагинацию под постоянным визуальным контролем за процессом, с оценкой кровотока в брыжейке вовлеченной в инвагинат кишки, дает возможность визуализировать органическую причину, что исключено при пневматической дезинвагинации с рентгенологическим контролем.

Литература

1. Беляев М.К. Оптимизация лечебного алгоритма при инвагинации кишечника у детей // Детская хирургия. 2012. № 6. С. 8–11.
2. Беляев М.К. Расширение показаний к консервативному лечению инвагинации кишечника у детей // Детская хирургия. 2010. № 4. С. 25–29.
3. Бульба Е.Е. Основы гидравлики: учебное пособие. Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 109 с.
4. Григович И.Н. Гидростатическая дезинвагинация под контролем сонографии // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2009. №1. С. 36.
5. Исаков Ю.Ф., Дронов А.Ф. Детская хирургия: национальное руководство. М.: ГЭОТАР–Медиа, 2009. 1168 с.
6. Трофимова Т.И., Фирсов А.В. Курс физики. Задачи и решения: учеб. пособие для учреждений высш. проф. образования. 4-е изд. испр. М.: Издательский центр «Академия», 2011. 592 с.
7. Морозов Д.А., Филиппов Ю.В., Городков С.Ю., Николаев Е.А., Лукьяненко Е.А., Масевкин В.Г. Продолжительность выделения крови из прямой кишки – основной критерий выбора способа лечения инвагинации // Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. 2012. Том II. №4. С. 17–20.
8. Яницкая М.Ю., Голованов Я.С. Анализ традиционных, лапароскопических и современных неинвазивных методов диагностики и лечения инвагинации кишечника у детей // Детская хирургия. 2009. № 6. С.13–16.
9. Яницкая М.Ю. Клинико-физиологические критерии эхографического исследования толстой кишки у детей в норме и при патологии: Дисс. ... канд. мед. наук. Архангельск. 1998. 152 с.
10. Krishnakumar, Hammed S., Umamaheshwari. Ultrasound guided hydrostatic reduction in the management of intussusception // Indian J. Pediatr. 2006. № 73. P. 217–220.
11. Sanchez T.R. Nonsurgical management of childhood intussusception: retrospective comparison between sonographic and fluoroscopic guidance // J Ultrasound Med. 2015. № 34(1). P. 59–63.
12. Tareen F. Does the length of the history influence the outcome of pneumatic reduction of intussusception in children? // Pediatric Surgery International. 2011. № 27. P. 587–589.

References

1. Beljaev MK. Optimizacija lecebnoho algoritma pri invaginaciji kishechnika u detej [Optimization of therapeutic algorithm for intussusception of intestines in children]. Detskaja hirurgija. 2012;6:8-11. Russian.
2. Beljaev MK. Rasshirenie pokazanij k konservativnomu lecheniju invaginaciji kishechnika u detej [Extension of indications for conservative treatment of intussusception in children]. Detskaja hirurgija. 2010;4:25-9. Russian.
3. Bul'ba EE. Osnovy gidravliki: uchebnoe posobie [The fundamentals of hydraulics: a tutorial]. Tomskij politehnicheskij universitet. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta; 2010. Russian.
4. Grigovich IN. Gidrostaticheskaja dezinvaginacija pod kontrolom sonografii [Disinvagination under the control of sonography]. Medicinskij vestnik Severnogo Kavkaza. 2009;1:36. Russian.
5. Isakov JuF, Dronov AF. Detskaja hirurgija: nacional'noe rukovodstvo [Pediatric surgery: national guidelines]. Moscow: GJeOTAR–Media; 2009. Russian.
6. Trofimova TI, Firsov AV. Kurs fiziki. Zadachi i reshenija: ucheb. posobie dlja uchrezhdenij vyssh. prof. obrazovanija [Course of Physics. Tasks and solutions: Textbook. Allowance for institutions of higher education. Prof. Of education]. 4-e izd. ispr. Moscow: Izdatel'skij centr «Akademija», 2011. Russian.
7. Morozov DA, Filippov JuV, Gorodkov SJ, Nikolaev EA, Luk'janenko EA, Masevkin VG. Prodlzhitel'nost' vydelenija krovi iz prjamoj kishki – osnovnoj kriterij vybora sposoba lechenija invaginaciji [The duration of blood separation from the rectum is the main criterion for choosing the method of treatment of intussusception]. Rossijskij vestnik detskoj hirurgii, anesteziologii i reanimatologii. 2012;4:17-20. Russian.
8. Janickaja MJ, Golovanov JS. Analiz tradicionnyh, laparoskopicheskikh i sovremennyh neinvazivnyh metodov diagnostiki i lechenija invaginaciji kishechnika u detej [Analysis of traditional, laparoscopic and modern

non-invasive methods for diagnosis and treatment of intussusception in children]. Detskaja hirurgija. 2009;6:13-6. Russian.

9. Janickaja MJu. Kliniko-fiziologicheskie kriterii jehograficheskogo issledovanija tolstoj kishki u detej v norme i pri patologii [Clinical and physiological criteria for colon echography in children in normal and pathological conditions] [dissertation]. Arhangel'sk (Arhangel'sk region); 1998. Russian.

10. Krishnakumar, Hammed S, Umamaheshwari. Ultrasound guided hydrostatic reduction in the management of intussusceptions. Indian J. Pediatr. 2006;73:217-20. Russian.

11. Sanchez TR. Nonsurgical management of childhood intussusception: retrospective comparison between sonographic and fluoroscopic guidance. J Ultrasound Med. 2015;34(1):59-63. Russian.

12. Tareen F. Does the length of the history influence the outcome of pneumatic reduction of intussusception in children? Pediatric Surgery International. 2011;27:587-9. Russian.

Библиографическая ссылка:

Яницкая М.Ю., Михайленко Б.Ю., Островский В.Г., Сапожников В.Г., Карякин А.А. Сравнительная характеристика безопасности гидростатической и пневматической дезинвагинации в теории, эксперименте и практике // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2017. №2. Публикация 3-1. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2017-2/3-1.pdf> (дата обращения: 07.04.2017). DOI: 10.12737/article_58f0b8942f4466.90324668.