Медицинские технологии. Оценка и выбор
2025, №3 (47), с. 103–112
https://doi.org/10.17116/medtech202547031103

Medical Technologies. Assessment and Choice
2025, no. 3 (47), pp. 103–112
https://doi.org/10.17116/medtech202547031103

Дистракционный энтерогенез: эффективность экспериментальных устройств и перспективы клинического внедрения (систематический обзор литературы)

© М.Г. РЯБКОВ, М.С. КОШМАНЁВ, А.И. РОТКОВ, Е.Б. КИСЕЛЕВА

ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, Нижний Новгород, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Определить перспективные для внедрения в клиническую практику устройства для дистракционного энтерогенеза (ДЭ), анализируя на основе данных литературы их конструкцию, эффективность и возникающие при использовании осложнения.

Материал и методы. Проведен поиск в базах PubMed, Google Scholar, eLibrary и систематический анализ данных литературы об устройствах, применяемых в эксперименте для ДЭ. В анализ включено 25 источников. Устройства классифицированы на внутрипросветные и внепросветные; контролируемые (извлекаемые) и неконтролируемые.

Результаты. Установлено, что внутрипросветные неконтролируемые устройства обеспечивают прирост длины кишки на 176 [114; 243]% при самом высоком риске абдоминальных осложнений. Применение внутрипросветных контролируемых устройств характеризуется приростом длины кишки на 69 [45; 80]% при меньшем риске осложнений. Внепросветные устройства обеспечивают прирост длины кишки на 100% как в контролируемом, так и в неконтролируемом варианте исполнения.

Заключение. Оптимальный баланс эффективности и безопасности, необходимый для клинического внедрения метода дистракционного энтерогенеза, характерен для устройств с возможностью быстрого атравматичного удаления независимо от локализации относительно просвета кишки.

Ключевые слова: *дистракционный энтерогенез, устройство для дистракционного энтерогенеза.*

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:
Рябков М.Г. — https://orcid.org/0000-0002-9555-190X
Кошманёв М.С. — https://orcid.org/0000-0002-4171-0063
Ротков А.И. — https://orcid.org/0000-0002-6678-8422
Киселева Е.Б. — https://orcid.org/0000-0003-4769-417X
Автор, ответственный за переписку: Кошманёв М.С. — e-mail: mihailkoshmanyov@yandex.ru

КАК ЦИТИРОВАТЬ:
Рябков М.Г., Кошманев М.С., Ротков А.И., Киселева Е.Б. Дистракционный энтерогенез: эффективность экспериментальных устройств и перспективы их клинического внедрения (сетевой обзор литературы). *Медицинские технологии. Оценка и выбор*. 2025;47(3):103–112. https://doi.org/10.17116/medtech202547031103

Distraction enterogenesis: effectiveness of experimental devices and clinical prospects

© M.G. RYABKOV, M.S. KOSHMANYOV, A.I. ROTKOV, E.B. KISELEVA

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

ABSTRACT

Objective. To identify perspective devices for distraction enterogenesis (DE) through analysis of their design, efficiency and complications.

Material and methods. The PubMed, Google Scholar and eLibrary databases were screened regarding data on devices for experimental DE. Analysis included 25 articles. Devices were classified as intraluminal and extraluminal, controlled (retrievable) and uncontrolled.

Results. Intraluminal uncontrolled devices increase intestinal length by 176% [114; 243] with the highest risk of abdominal complications. Intraluminal controlled devices are characterized by intestinal length increase by 69% [45; 80] with small risk of complications. Extraluminal devices provide a 100% increase in intestinal length in both controlled and uncontrolled versions.

Conclusion. Optimal balance of effectiveness and safety required for clinical implementation of distraction enterogenesis method is typical for devices with possible rapid atraumatic removal regardless of localization relative to intestinal lumen.

Keywords: *distraction enterogenesis, device for distraction enterogenesis.*

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Ryabkov M.G. — https://orcid.org/0000-0002-9555-190X
Koshmanyov M.S. — https://orcid.org/0000-0002-4171-0063
Rotkov A.I. — https://orcid.org/0000-0002-6678-8422
Kiseleva E.B. — https://orcid.org/0000-0003-4769-417X
Corresponding author: Koshmanyov M.S. — e-mail: mihailkoshmanyov@yandex.ru

TO CITE THIS ARTICLE:
Ryabkov MG, Koshmanyov MS, Rotkov AI, Kiseleva EB. Distraction enterogenesis: effectiveness of experimental devices and clinical prospects. *Medical Technologies. Assessment and Choice.* 2025;47(3):103–112. (In Russ.).
https://doi.org/10.17116/medtech202547031103

Введение

Дистракционный энтерогенез (ДЭ) — процесс, при котором механическое растяжение кишечной стенки трансформируется в каскад биохимических реакций и сигнальных путей, запускающих структурные изменения ткани и приводящих в итоге к удлинению кишки, росту ее массы и увеличению площади ее стенки. Целью проведения ДЭ является, как правило, увеличение всасывательной поверхности дистрагируемой кишки [1].

Необходимость в ДЭ возникает при синдроме короткой кишки (СКК) — патологическом состоянии, которое характеризуется сокращением функционально активной поверхности кишечного тракта в результате хирургических вмешательств либо заболеваний и явлениями хронической интестинальной недостаточности [2]. Распространенность СКК, по зарубежным данным, достигает 30 случаев на 100 тыс. живорожденных [3]. В России доля СКК составляет примерно 6,31 на 1 млн детей в возрасте от 0 до 18 лет, согласно данным общероссийского регистра пациентов с СКК [4]. Истинная распространенность СКК у взрослых в Российской Федерации неизвестна, поскольку пока не существует единого национального регистра учета пациентов данной группы. Основные причины развития СКК включают спаечную непроходимость кишечника, тромбоз верхней брыжеечной артерии, болезнь Крона, опухоли, ранения и травмы кишки, язвенный колит, дивертикул Меккеля и другие. Для лечения СКК используется длительное парентеральное питание, аутологические реконструкции кишечника, трансплантация кишечника. Однако даже при современных методах лечения СКК остается высоким уровень смертности, который может достигать 30% [5]. По зарубежным данным, при реализации всех компонентов нетрансплантологической стратегии лечения СКК >25% пациентов нуждаются в трансплантации кишечника. На сегодняшний день в России проведены всего три трансплантации кишечника, что не удовлетворяет потребности в лечении СКК [6]. В связи с этим разработка новых методов лечения является крайне актуальной.

В основе энтерогенеза в ответ на механическое растяжение лежит универсальный механизм механотрансдукции — преобразование стрессового воздействия в белковые сигнальные пути, приводящие к ремоделированию и активному размножению клеток. Эффект механотрансдукции впервые описан C.G. Numann и соавт. в 1957 г. на модели растяжения кожи баллонным экспандером для пластики обширной раневой поверхности [7]. Г.А. Илизаров и соавт. в 1967 г. описали метод дистракционного остеогенеза для механического удлинения трубчатых костей, который получил распространение в России и за рубежом [8]. В 1990 г. G.B. Stark и соавт. применили концепцию механотрансдукции на ткани кишечника: изолированный сегмент тощей кишки растягивали с помощью внутрипросветного силиконового баллона [9].

Разработка устройств для дистракционного энтерогенеза активно ведется как отечественными [10—12], так и зарубежными авторами [9, 12—16]. Тем не менее технология далека от широкого клинического внедрения [11, 17, 18]. В литературе описан единичный случай клинического применения устройства для ДЭ в лечении СКК [19]. Созданные устройства весьма многообразны по конструкции и условиям применения. К типичным вариантам относятся, например, поршневые гидравлические устройства [12, 18, 20, 21], самораспрaвляющиеся пружины [11, 13—16, 22—29], винты [30, 31] и т.д. Все они применены в экспериментах на разных видах животных, на различных по длине и локализации сегментах кишечника. Большое разнообразие конструкций и экспериментальных моделей затрудняет систематизацию данных даже об основном параметре эффективности — ожидаемом приросте длины кишки за единицу времени. Важно, что для пациентов с СКК, в лечении которых мог бы быть использован ДЭ, значимый прирост длины резидуальной кишки составляет, как правило, несколько десятков сантиметров [10].

Для появления клинических перспектив у технологии ДЭ необходима систематизация данных о видах конструкций разработанных экспериментальных устройств, их эффективности и наиболее вероятных осложнениях. Клинически значимый вопрос, ответ

на который может дать анализ данных литературы, какая из существующих конструкций устройств для ДЭ в наибольшей мере способна решить клинические задачи эффективности и безопасности?

Цель исследования — определить перспективные для внедрения в клиническую практику устройства для дистракционного энтерогенеза, анализируя на основе данных литературы их конструкцию, эффективность и возникающие при использовании осложнения.

Материал и методы

Проведен систематический обзор в соответствии с PRISMA Statement **(рис. 1)**. В библиографических базах данных базах PubMed, Google Scholar, eLibrary по ключевым словам «enterohenesis device», «mechanical enterogenesis», «distraction enterogenesis», «spring lengthening», «device+enterogenesis», «устройство для энтерогенеза», «дистракционный энтерогенез», «устройство+энтерогенез» проведен поиск статей, опубликованных с 2014 до 2023 г. включительно. В предварительный анализ из указанных баз данных включен 1021 источник. Критерии исключения источников из анализа: не описан результат объективной оценки ДЭ, нет апробации устройства на животных, отсутствует описание конструкции применяемого устройства. После исключения источников в соответствии с указанными критериями для анализа отобраны 19 статей, опубликованных в течение последних 10 лет. Кроме того, с учетом значимости для анализа (прототипы описанных устройств, широко распространенная базовая конструкция устройств) ручным способом отобраны и включены еще 6 источников более раннего периода издания (1997 г. и позже).



Рис. 1. **Алгоритм отбора тематических публикаций в соответствии с критериями PRISMA.**

Fig. 1. **PRISMA flowchart.**

Результаты

Конструкции устройств, предназначенных для выполнения ДЭ, целесообразно разделить на группы по критерию локализации относительно просвета кишки (внутрипросветные и внепросветные) и по критерию их извлекаемости — контролируемые (атравматичное удаление которых возможно в любой момент) и неконтролируемые — «потерянные», для извлечения которых при необходимости нужно проводить дополнительную операцию **(см. таблицу)**. В наибольшей части включенных в исследование источников (22 из 25) описаны внутрипросветные устройства, в основном (14 из 22) — неконтролируемые.

Внутрипросветные неконтролируемые устройства

Саморасширяющиеся пружины. Наибольшее количество включенных в анализ публикаций об устройствах для ДЭ описывает опыт применения саморасширяющихся пружин, помещаемых в просвет кишки [8, 11, 13—16, 22—27, 32—35]. Общая черта их использования — пружины имплантируются в просвет кишки в сжатом виде, после чего фиксируются к стенке кишки изнутри различными способами. Для предотвращения раннего расправления или травматизации кишечной стенки пружины помещают в защитные оболочки, например, в капсулы из желатина. Осложнения, в том числе приводящие к летальным исходам у животных, чаще всего обусловлены развитием кишечной непроходимости, внутрибрюшных абсцессов, перфорации кишки из-за миграции устройства.

Для предотвращения миграции и облегчения манипуляций с фиксацией устройства предлагаются разные способы, например модель пружины с двунаправленными элементами в виде крючков **(рис. 2, а)**. Крючки, упираясь в слизистую оболочку, фиксируют пружину в участке тонкой кишки после растворения желатиновой капсулы, обволакивающей устройство **(рис. 2, б)**. Безопасность и эффективность такого устройства подтверждены через 2, 3 и 4 нед после имплантации: перфораций кишки, миграции устройства, по данным авторов, удалось избежать [8].

В целом устройства, представляющие из себя пружины и помещаемые в просвет дистрагируемого сегмента кишки, обеспечивают прирост длины кишки (Me [Q_1; Q_3]) на 176 [114; 243]%, при этом минимальный прирост длины кишки составил 52%, а максимальный — 260% **(см. таблицу)**. Описанные результа-

Конструкция, эффективность и безопасность устройств для дистракционного энтерогенеза у лабораторных животных
Design, efficacy and safety of distraction enterogenesis devices in laboratory animals

Устройство	Относительное удлинение тонкой кишки, %	Период дистракции, сутки	Вид и частота осложнений, %
Внутрипросветные устройства			
контролируемые устройства			
катетерное дистрационное устройство [37]	80±2 [37]	14 [37]	Не наблюдались [37]
жесткие поршневые гидравлические устройства [20, 21]	69 [20] 45,3±15,5 [21]	7 [20] 14 [21]	Несостоятельность анастомоза — 9 [20]. Кишечная непроходимость — 9, отказ в работе устройства — 18 [21]
эластичные поршневые гидравлические устройства [12, 18]	44±2 [12] 66,7±14,5 [18]	7 [12, 18]	Не наблюдались [12]. Перфорация кишки — 17, заворот кишки — 17, разрыв баллона — 17 [18]
винтовое устройство [30, 31]	69 [30] 110 [31]	14 [30, 31]	Перитонит — 17, кишечная непроходимость — 8 [30]. Не описаны — [31]
неконтролируемые устройства			
саморасширяющиеся пружины [8, 11, 13—16, 22—29]	52 [8], 150 [11], 180 [13], 173±24 [14], 72±36 [15], 195±47 [16], 314±130 [22], 170 [23], 60 [24], 240 [25], 128±56 [26] 250 [27], 260 [28], 184±15 [29]	7 [8] 30 [11], 21 [13] 60 [14], 7[15], 28 [16], 14 [22], 14 [23], 21 [24], 21 [25], 7[26], 50 [27], 14 [28], 14 [29]	Миграция пружин — 11, перитонит — 33 [11]. Не наблюдались [8, 13, 14, 16, 22—26]. Несостоятельность анастомоза — 15, миграция пружин — 62 [15]. Миграция пружины — 8 [27]. Не описаны [28]. Пружины не расправились — 27, пружины мигрировали — 27 [29]
осмотический гидрогель [36]	168±35 [36]	28 [36]	Не наблюдались [36]
Внепросветные устройства			
контролируемые устройства			
внепросветный винтовой дистрактор [38]	100 [38]	38 [38]	Осложнения наркоза — 11; внутрибрюшной абсцесс — 11; спаечная кишечная непроходимость — 21 [38]
неконтролируемые устройства			
гидрогелевый стержень [40]	76±38 [40]	14 [40]	Несостоятельность анастомоза — 13 [40]
саморасширяющийся полимер [39]	107±52 [39]	14 [39]	Несостоятельность анастомоза — 27 [39]

ты получены при значительно различающихся сроках проведения дистракции — от 7 до 60 сут, однако наиболее часто период ДЭ в исследованных работах длился 14—21 сут. Из осложнений при использовании конструкций данного вида чаще всего упоминаются миграция пружин, перфорация кишки и перитонит [11, 15, 27, 29].

Саморасширяющийся осмотический гидрогель, возможно, является перспективным вариантом предотвращения наиболее тяжелых осложнений внутрипросветных неконтролируемых конструкций — перфорации стенки кишки. R. Coletta и соавт. в качестве устройства для внутрипросветного расширения участка кишки использовали осмотический гидрогель (Osmed) [36]. При апробации устройства лабораторным животным (кроликам) отсекали аппендикс, сохраняя его сосудистую ножку, рану кишечной стенки ушивали. В просвет аппендикса помещали гидрогель и рану аппендикса ушивали наглухо. В течение 4 недель гидрогель абсорбировал жидкость, увеличиваясь постепенно в объеме. В результате аппендикс удлинился на 167±35% [36]. Хирургических осложнений не было. Ограничением метода является необходимость изолировать и выключить из пассажа химуса дистрагируемый сегмент кишечника.

Внутрипросветные контролируемые устройства

Общей чертой таких устройств является необходимость введения их в просвет кишки через стому и возможность извлечения их из кишки в любой

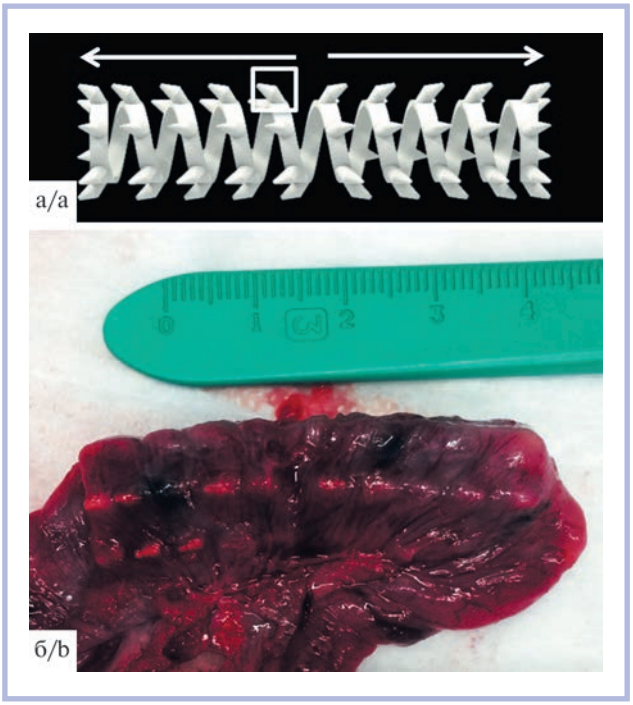


***Рис. 2.* Пример использования саморасширяющейся пружины со специальными крючками в качестве внутрипросветного неконтролируемого устройства для дистракционного энтерогенеза [8].**

а — внешний вид устройства; б — сегмент кишечника с полностью расправленной крючковатой пружиной во время забора образца на 28-й день после установки устройства.

***Fig. 2.* Self-expanding spring with special hooks as an intraluminal uncontrolled device for distraction enterogenesis [8].**

момент без дополнительной операции. Например, F.R. Demehri и соавт. использовали для дистракции кишки устройство с широкой проксимальной и узкой дистальной частью, по сути представляющее собой буж с прорезиненной оболочкой. Лабораторным животным (свиньям) буж вводили в просвет кишки через еюностому и фиксировали зажимом к передней брюшной стенке. Каждые 24 часа устройство продвигали в просвет кишки на 1 см. Итоговое удлинение участка кишки, полученное за 14 сут, составило 80±2%, летальных исходов, осложнений не было [37].

Устройства на основе гидравлического поршня. Рядом авторов описаны устройства, работа которых основана на принципе гидравлического поршня [12, 18, 20, 21]. В зависимости от материала, из которого изготовлена часть устройства, контактирующая со стенкой кишки, их целесообразно разделить на эластичные (латексные, резиновые и т.п.) и жесткие (пластиковые или металлические). Удачная конструкция эластичного поршневого гидравлического устройства описана в работах F.R. Demehri и соавт. [12, 18]. Устройство представляет собой систему, состоящую из двух латексных баллонов и гидравлического поршня между ними, помещаемую в просвет кишки через стому. Для дистракции кишки в просвет поршня по катетеру

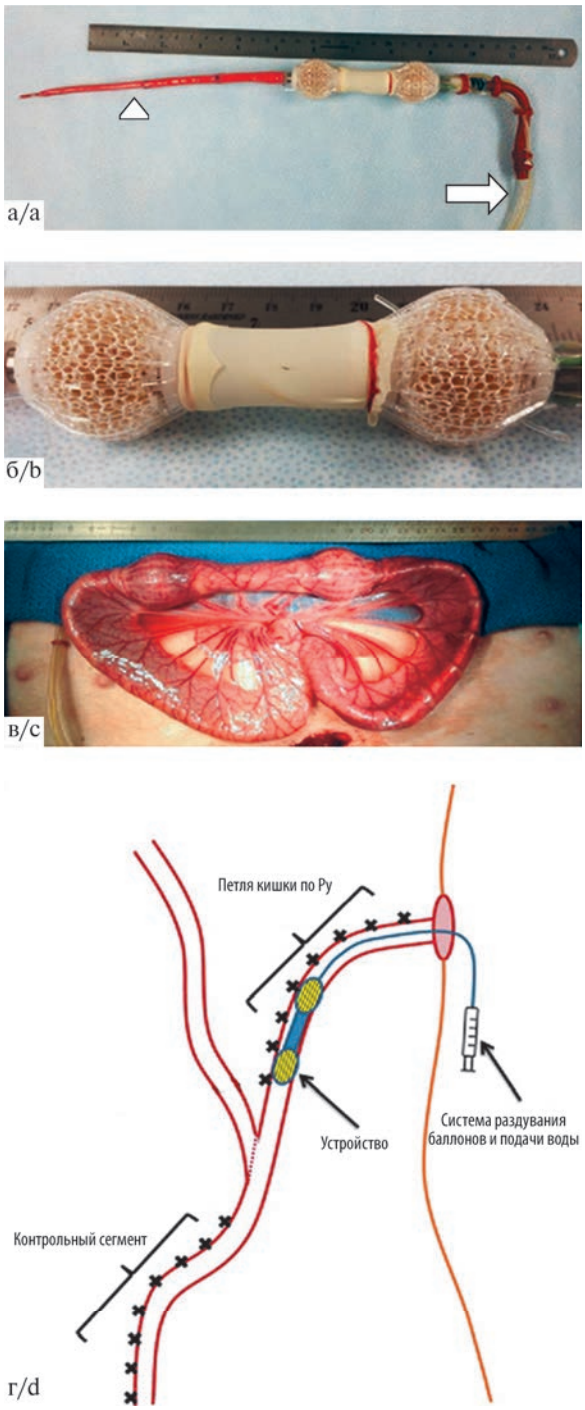


***Рис. 3.* Пример использования поршневого гидравлического дистрактора в виде латексных баллонов, покрытых трикотажной нейлоновой сеткой, в качестве внутрипросветного контролируемого устройства для дистракционного энтерогенеза [12].**

а — внешний вид устройства с проводником (треугольник), системой раздувания баллонов и подачи воды (стрелка); б — внешний вид устройства: латексные баллоны с сетчатым покрытием с высоким коэффициентом трения; в — устройство, имплантированное в тощую кишку во время процесса дистракции; г — схема конструкции Roux-en-Y и имплантации устройства через еюностому.

***Fig. 3.* Piston-type hydraulic distractor in the form of latex balloons covered with a knitted nylon mesh as an intraluminal controlled device for distraction enterogenesis [12].**

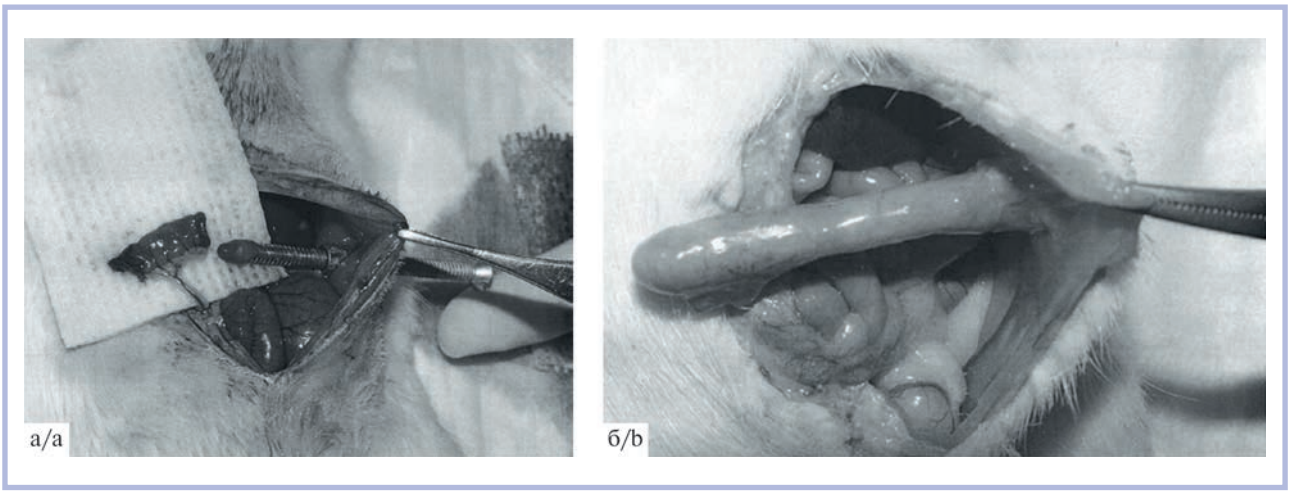


Рис. 4. **Пример использования винтового дистрактора в качестве внутрипросветного контролируемого устройства для дистракционного энтерогенеза [31].**
а — первый тап операции: устройство введено в просвет изолированного сегмента тощей кишки, конец винта закрыт мягким наконечником катетера; б — вид удлиненного сегмента тощей кишки через 3 недели проведения дистракционного энтерогенеза.

Fig. 4. **Screw distractor as an intraluminal controlled device for distraction enterogenesis [31].**

подается жидкость. Поступление 1 мл жидкости в поршень обеспечивает его удлинение на 1,1 см **(рис. 3)**. В одном из вариантов конструкции латексные баллоны были покрыты трикотажной нейлоновой сеткой для большего коэффициента трения со стенкой кишки [12]. После 7 дней дистракции осложнений не было. Прирост длины кишечника составил 44±2%.

Схожее по конструкции устройство, но без сеточного покрытия баллонов, показало меньший прирост длины тонкой кишки: удлинение тонкой кишки составило 26,1±6,1%. Из осложнений авторы описывают перфорацию стенки кишки в 16,7% случаев, разрыв баллона устройства в 16,7%, заворот тонкой кишки в 16,7% [18].

Жесткие поршневые гидравлические устройства описаны в работах J. Luntz и соавт. [20] и A.U. Spencer и соавт. [21]. Двойной концентрический поршень с гидравлическим приводом, предложенный ими, состоит из телескопических шприцев (3 мл и 1 мл), поршневые камеры которых соединены. Жидкость, введенная в устройство по катетеру, вызывает дополнительное удлинение и давление на стенку кишки корпусом устройства. В течение 7 сут дистракции тонкой кишки свиньи авторами достигнуто увеличение длины сегмента на 69%. В одном случае развилась перфорация стенки кишки, в двух случаях устройство вышло из строя [21].

Винтовые устройства. Устройства, описанные P.A. Hausbrandt и совт. [30] и J. Park и соавт. [31], обеспечивают растяжение изолированного участка кишки посредством давления на кишечную стенку постепенно вворачиваемого винта. J. Park и соавт. на модели крыс после лапаротомии выделяли васкуляризированый участок тонкой кишки, непрерывность кишечника восстанавливали обходным анастомозом. Дистальный конец изолированного участка кишки ушивали, проксимальный конец выводили в виде стомы на брюшную стенку. Винты из стали длиной 4 см и диаметром 3 мм вводили в просвет кишки через стому и вворачивали, удлиняя кишку на 5 мм в сутки **(рис. 4, а, б)**. В результате через 14 суток дистракции прирост длины сегмента кишки составил 110% [31].

В эксперименте P.A. Hausbrandt и соавт. введение винтов в просвет сегмента кишки животного (крысы) также продолжалось в течение 14 сут. Авторы описали главный недостаток устройств, фиксируемых к передней брюшной стенке, это риск удаления устройства животными: в 50% наблюдений крысы удалили установленные и фиксированные к брюшной стенке винты полностью или частично [30]. В среднем устройства J. Park и соавт. и P. Hausbrandt и соавт. обеспечили прирост длины сегмента кишки на 69 [45; 80]% при значительно меньшей частоте внутрибрюшных осложнений по сравнению с группой внутрибрюшных неконтролируемых устройств [30, 31].

Внепросветные контролируемые устройства для дистракционного энтерогенеза

Данные устройства локализуются в процессе ДЭ не в просвете удлиняемого сегмента кишки, а с внешней стороны кишки, в брюшной полости. Например, внепросветный винтовой дистрактор [38] выполнен в виде металлической трубки с внутренней резьбой **(рис. 5, а)**. На каждом конце устройства установлено крепление из полиамида. Участок кишки фиксируется к устройству с помощью швов. Кишечный дистрактор прикрепляется к внутренней поверхности

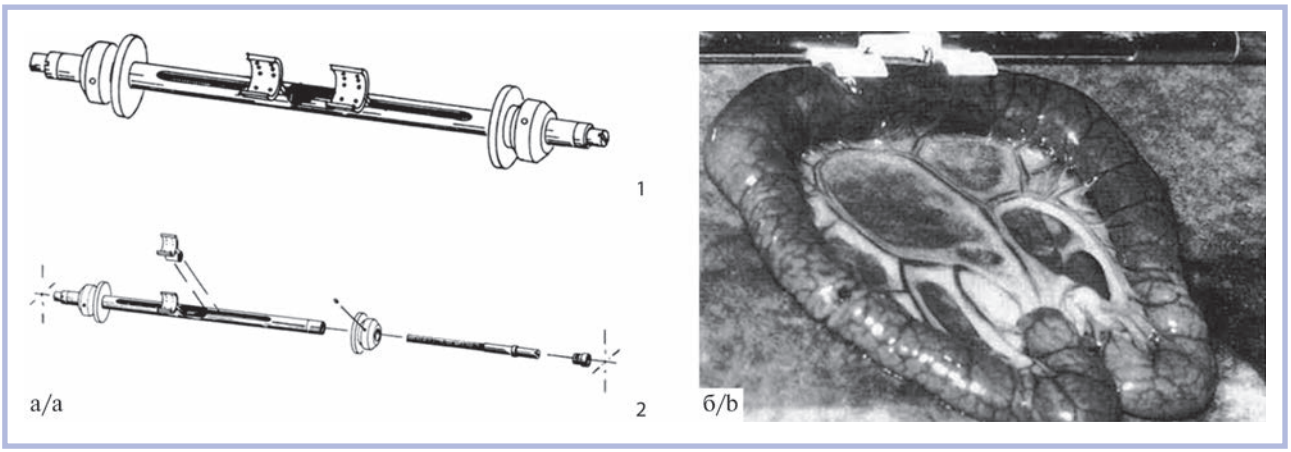


Рис. 5. **Пример использования винтового дистрактора в качестве внепросветного контролируемого устройства для дистракционного энтерогенеза [38].**
а — схема внеросветного дистрактора; б — устройство зафиксировано на стенке кишки.

Fig. 5. **Screw distractor as an extraluminal controlled device for distraction enterogenesis [38].**

передней брюшной стенки **(рис. 5, б)**. Винт, посредством которого можно регулировать длину устройства, выводится на переднюю брюшную стенку. Подобное устройство применено в эксперименте на кроликах: в течение 28 сут длину устройства увеличивали на 1 мм в день. После извлечения устройства животных наблюдали еще 10 дней и выводили из эксперимента. Причинами летальных исходов (8 животных из 19) стали осложнения наркоза (2), спаечная кишечная непроходимость (4 из 19), образование внутрибрюшного абсцесса (2 из 19). У выживших животных прирост длины дистрагируемого сегмента тонкой кишки составил 100% [38].

Внепросветные неконтролируемые устройства для дистракционного энтерогенеза

Характерными особенностями таких устройств являются размещение в брюшной полости (не в просвете кишки) и отсутствие возможности их атравматичного извлечения. Например, в одном из исследований для ДЭ использован внепросветный радиально расширяющийся полимерный цилиндр с памятью формы. Полимерный материал, из которого изготовлено устройство, обладает свойством термоактивации и восстанавливает форму с относительно постоянной скоростью, степень которой может задаваться разработчиком. До применения полимерный цилиндр хранится при отрицательной температуре, а после размещения в брюшной полости он расширяется, увеличиваясь в размере. Эксперимент с использованием этого устройства проведен на крысах (n=26): после лапаротомии животным формировали культю тонкой кишки по Ру, которую оборачивали вокруг полимера, затем конец петли пришивали к боковой поверхности культи. Животных выводили из эксперимента через 14 сут. Летальность от стриктур, несостоятельности анастомоза, осложнений наркоза составила 27%. Длина участка кишки увеличилась на 107±52% [39].

Гидрогелевый стержень — еще один пример подобной конструкции. Авторы использовали для ДЭ гигроскопичный гидрогелевый стержень (Dilapan-S), применяемый в практике для растяжения шейки матки [40]. Материал стержня расширяется при всасывании жидкости. Лабораторным животным (крысам, n=45) в брыжейке изолированного участка тонкой кишки формировали бессосудистые мезентериальные окна, через которые зигзагообразно попеременно вводили стержень таким образом, чтобы кишечник оборачивался вокруг него спиралевидно **(рис. 6)**. Дистальные концы изолированного участка кишки крепили к стержню с помощью цианоакрилатного клея. Через 21 сут изолированный участок кишечника удлинился в среднем на 60%±32% [40]. Летальность составила 13%, гибель животных произошла в результате несостоятельности обходного межкишечного анастомоза, кровотечения из дистрагируемой кишки и внутрибрюшинного абсцесса.

Обсуждение

Анализ данных литературы показал, что известные конструкции устройств для ДЭ целесообразно классифицировать по признаку их локализации относительно просвета кишки (внутрипросветные и внепросветные) и по возможности непосредственного их контроля и атравматичного извлечения (контролируемые и неконтролируемые). Наибольшая часть описанных устройств принадлежит, исходя из этой классификации, к внутрипросветным неконтролируемым устройствам. К ним относятся пружины, ги-



Рис. 6. **Пример использования гидрогелевого стержня в качестве внепросветного неконтролируемого устройства для дистракционного энтерогенеза [40].**
а — создание бессосудистых окон в брыжейке кишки дли имплантации устройства; б — изолированный участок кишки с имплантом; в — изолированный участок кишки в конце процедуры.

Fig. 6. **Hydrogel rod as an extraluminal uncontrolled device for distraction enterogenesis [40].**

дрогели и другие конструкции, которые погружаются в просвет кишки и постепенно увеличиваются в размере, растягивая ее стенку. Устройства такого типа обеспечивают в течение 7—60 сут прирост длины кишки на 176 [114; 243]%, что соответствует потребностям клиники в лечении СКК. Однако этот тип устройств является наиболее опасным с точки зрения риска абдоминальных осложнений, обусловленных повреждением кишки. Осмотический гидрогель является перспективным вариантом предотвращения таких осложнений, однако при его применении требуются выключение из пищеварения и герметизация дистрагируемого участка кишки.

Внутрипросветные контролируемые устройства — бужи, гидравлические поршни, винты и прочие подобные конструкции — должны быть введены в просвет кишки через кишечную стому. Дистракция стомированной кишки, с одной стороны, усложняет уход за устройством, а с другой стороны, обеспечивает возможность непосредственного контроля и атравматичного извлечения устройства из кишки при необходимости. Эффективность подобных устройств, судя по данным литературы, сравнительно невелика. Так, описан прирост длины сегмента кишки на 69 [45; 80]% за 14—21 сутки. Однако дистракция сопровождается меньшим риском развития внутрибрюшных осложнений по сравнению с применением внутрибрюшных неконтролируемых устройств. Неудобством в экспериментах с устройствами, фиксируемыми к брюшной стенке, является возможность их удаления лабораторными животными. Однако в клинической практике эта особенность не будет существенной.

Внепросветные устройства, фиксируемые к дистрагируемой кишке со стороны серозной оболочки, используются значительно реже внутрипросветных. Главная техническая задача, от успешности решения которой зависят эффективность и безопасность данного типа устройств, заключается в необходимости атравматичной фиксации устройства к стенке растягиваемой кишки. Конструкции, в которых эта задача решена, обеспечивают прирост длины кишки на 100% за 14—28 сут как в контролируемом снаружи, так и с неконтролируемым («потерянном» в брюшной полости) варианте исполнения.

Один из главных технических элементов практически любой конструкции для дистракции кишки, это узел, обеспечивающий контакт устройства со стенкой кишки [38]. Неудачное решение этой задачи — причина большинства осложнений ДЭ. Недостаточно надежная фиксация устройства к кишечной стенке приводит к его миграции, кишечной непроходимости, а излишне жесткая фиксация чревата нарушением кровообращения, перфорацией стенки кишки, перитонитом. Вероятно, перспективной является разработка конструкции с принципиально новым подходом к фиксации устройства, например, с имплантацией элементов устройства в стенку кишки и с опосредованным (не механическим) их растяжением.

Заключение

Общими причинами отсутствия широкого внедрения устройств для дистракционного энтерогенеза в клиническую практику, вероятно, являются их несовершенство, недостаточная эффективность вместе со значительным риском развития осложнений. Из распространенных в настоящее время конструкций наиболее перспективными для клинического применения являются, видимо, внутрипросветные и внепросветные контролируемые устройства. Они обеспечивают прирост длины кишки 70—100% в течение 14—21 суток. Этот уровень эффективности значительно ниже, чем эффективность внутрипросветных неконтролируемых устройств, но он существенно выше, чем эффективность в единичных описанных в литературе случаях клинического применения дистракционного энтерогенеза. При этом только

внутрипросветные контролируемые устройства обеспечивают возможность быстрого и безопасного извлечения без нарушения целостности тканей, что, вероятно, является ключевым условием для безопасного внедрения в клиническую практику.

Финансирование. Работа проведена при поддержке гранта РНФ №19-75-10096-п.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interest.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Koga H, Sun X, Yang H, Nose K, Somara S, Bitar KN, et al. Distraction-induced intestinal enterogenesis: preservation of intestinal function and lengthening after reimplantation into normal jejunum. *Annals of Surgery*. 2012;255(2):302-310. https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e318233097c
2. Pironi L. Definitions of intestinal failure and the short bowel syndrome. *Best Practice and Research. Clinical Gastroenterology*. 2016;30(2):173-185. https://doi.org/10.1016/j.bpg.2016.02.011
3. Wales PW, Allen N, Worthington P, George D, Compher C, American Society for Parenteral and Enteral Nutrition, Teitelbaum DA.SP. EN. clinical guidelines: support of pediatric patients with intestinal failure at risk of parenteral nutrition-associated liver disease. *JPEN. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 2014;38(5):538-557. https://doi.org/10.1177/0148607114527772
4. Розинов В.М., Чубарова А.И., Ерпулева Ю.В., Аверьянова Ю.В., Демура С.А., Косов Д.А. Российский регистр детей с синдромом «короткой кишки». *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии*. 2017;7(4):38-45. Rosinov MV, Chubarova AI, Erpuleva YuV, Averianova YuV, Demura SA, Kosov DA. Russian register of children with short bowel syndrome. *Rossijskij vestnik detskoj khirurgii, anesteziologii i reanimatologii*. 2017;7(4):38-45. (In Russ.).
5. Abi Nader E, Lambe C, Talbotec C, Pigneur B, Lacaille F, Garnier-Lengliné H, et al. Outcome of home parenteral nutrition in 251 children over a 14-y period: report of a single center. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2016;103(5):1327-1336. https://doi.org/10.3945/ajcn.115.121756
6. Готье С.В., Хомяков С.М. Донорство и трансплантация органов в Российской Федерации в 2023 году. XVI сообщение регистра Российского трансплантологического общества. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2024;26(3):8-31. Gautier SV, Khomyakov SM. Organ donation and transplantation in the Russian Federation in 2023. 16th Report from the Registry of the Russian Transplant Society. *Vestnik transplantologii i iskusstvenny'x organov*. 2024;26(3):8-31. (In Russ.). https://doi.org/10.15825/1995-1191-2024-3-8-31
7. Neumann CG. The expansion of an area of skin by progressive distention of a subcutaneous balloon; use of the method for securing skin for subtotal reconstruction of the ear. *Plastic and Reconstructive Surgery (1946)*. 1957;19(2):124-130. https://doi.org/10.1097/00006534-195702000-00004
8. Huynh N, Dubrovsky G, Rouch JD, Scott A, Chiang E, Nguyen T, et al. Three-dimensionally printed surface features to anchor endoluminal spring for distraction enterogenesis. *PLoS One*. 2018;13(7):e0200529. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200529
9. Stark GB, Dorer A, Walgenbach KJ, Grünwald F, Jaeger K. The creation of a small bowel pouch by tissue expansion--an experimental study in pigs. *Langenbecks Archiv fur Chirurgie*. 1990;375(3):145-150. https://doi.org/10.1007/BF00206807
10. Аверьянова Ю.В., Разумовский А.Ю., Макаров С.П., Петров Д.А., Брюсов Г.П., Кочкин В.С. и др. Современная стратегия лечения детей с синдромом короткой кишки: 12-летний опыт. *Анестезиология и реаниматология*. 2018;(6):67-74. Averyanova YuV, Razumovsky AYu, Makarov SP, Petrov DA, Brusov GP, Kochkin VS, et al. Current strategy for management of short bowel syndrome: a twelve-year single-center experience. *Russian Journal of Anesthesiology and Reanimatology*. 2018;(6):67-74. (In Russ.). https://doi.org/10.17116/anaesthesiology201806167
11. Петров Д.А., Аверьянова Ю.В., Трофимчук Е.С., Цинзерлинг В.А., Седуш Н.Г., Крупнин А.Е. и др. Синхронное удлинение нескольких сегментов тонкой кишки с помощью биодеградируемых пружин в эксперименте. *Клиническая и экспериментальная хирургия*. 2020;8(4):16-28. Petrov DA, Averyanova YuV, Trofimchuk ES, Tsinzerling VA, Sedush NG, Krupnin AE, et al. Synchronous lengthening of several segments of the small intestine using biodegradable springs in an experiment. *Klinicheskaya i e`ksperimental`naya xirurgiya*. 2020;8(4):16-28. (In Russ.). https://doi.org/10.33029/2308-1198-2020-8-4-16-28
12. Demehri FR, Utter B, Freeman JJ, Fukatsu Yu, Luntz J, Brei D, et al. Development of an endoluminal intestinal attachment for a clinically applicable distraction enterogenesis device. *Journal of Pediatric Surgery*. 2016;51(1):101-106. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2015.10.026
13. Dubrovsky G, Huynh N, Thomas AL, Shekherdimian S, Dunn JC. Double plication for spring-mediated in-continuity intestinal lengthening in a porcine model. *Surgery*. 2019;165(2):389-392. https://doi.org/10.1016/j.surg.2018.07.028
14. Hosseini HS, Wood LSY, Taylor JS, Dubrovsky G, Portelli KI, Anne-Thomas L, et al. Biomechanical signaling and collagen fiber reorientation during distraction enterogenesis. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2020;101:103425. https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.103425
15. Rafeeqi TA, Thomas AL, Salimi-Jazi F, Diyaolu M, Dunn JCY. Internal plication for spring confinement to lengthen intestine in a porcine model. *PLoS One*. 2022;17(9):e0274612. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0274612
16. Sullins VF, Scott A, Wagner JP, Steinberger D, Lee SL, Wu BM, et al. Intestinal lengthening in an innovative rodent surgical model. *Journal of Pediatric Surgery*. 2014;49(12):1791-1794. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2014.09.022
17. Demehri FR, Stephens L, Herrman E, West B, Mehringer A, Arnold MA, et al. Enteral autonomy in pediatric short bowel syndrome: predictive factors one year after diagnosis. *Journal of Pediatric Surgery*. 2015;50(1):131-135. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2014.10.011
18. Demehri FR, Wong PM, Freeman JJ, Fukatsu Y, Teitelbaum DH. A novel double-balloon catheter device for fully endoluminal intestinal lengthening. *Pediatric Surgery International*. 2014;30(12):1223-1229. https://doi.org/10.1007/s00383-014-3612-9
19. Anderson T, Mueller C, Dunn J. Intestinal lengthening via mechanical enterogenesis in an infant with short gut syndrome. *Journal of Pediatric Surgery Case Reports*. 2023;91:102594. https://doi.org/10.1016/j.epsc.2023.102594

20. Luntz J, Brei D, Teitelbaum D, Spencer A. Mechanical extension implants for short-bowel syndrome. *Proceedings of SPIE — the International Society for Optical Engineering*. 2006;6173:617309. https://doi.org/10.1117/12.659112
21. Spencer AU, Sun X, El-Sawaf M, Haxhija EQ, Brei D, Luntz J, et al. Enterogenesis in a clinically feasible model of mechanical small-bowel lengthening. *Surgery*. 2006;140(2):212-220. https://doi.org/10.1016/j.surg.2006.03.005
22. Diyaolu M, Thomas AL, Wood LS, Taylor J, Dunn JC. Mesenteric neovascularization during spring-mediated intestinal lengthening. *Journal of Pediatric Surgery*. 2021;56(1):5-10. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2020.09.042
23. Dubrovsky G, Taylor JS, Thomas AL, Shekherdimian S, Dunn JCY. Optimization of in-continuity spring-mediated intestinal lengthening. *Journal of Pediatric Surgery*. 2020;55(1):158-163. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2019.09.072
24. Dubrovsky G, Huynh N, Thomas AL, Shekherdimian S, Dunn JC. Intestinal lengthening via multiple in-continuity springs. *Journal of Pediatric Surgery*. 2019;54(1):39-43. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2018.10.036
25. Portelli KI, Park JB, Taylor JS, Thomas A-L, Stelzner M, Martin MG, et al. Intestinal adaptation following spring insertion into a roux limb in mice. *Journal of Pediatric Surgery*. 2021;56(2):346-351. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2020.06.033
26. Rafeeqi TA, Diyaolu M, Thomas AL, Salimi-Jazi F, Wood LSY, Dunn JCY. Generation of Porcine Ileum Through Spring-Mediated Mechanical Distraction. *The Journal of Surgical Research*. 2022;280:371-378. https://doi.org/10.1016/j.jss.2022.07.043
27. Shekherdimian S, Panduranga MK, Carman GP, Dunn JC. The feasibility of using an endoluminal device for intestinal lengthening. *Journal of Pediatric Surgery*. 2010;45(8):1575-1580. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2010.03.015
28. Stark R, Panduranga M, Carman G, Dunn JC. Development of an endoluminal intestinal lengthening capsule. *Journal of Pediatric Surgery*. 2012;47(1):136-141. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2011.10.031
29. Wood LS, Hosseini HS, Diyaolu M, Thomas AL, Taylor JS, Dunn JC. Mechanical lengthening of porcine small intestine with decreased forces. *Journal of Pediatric Surgery*. 2021;56(7):1192-1198. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2021.03.036
30. Hausbrandt PA, Ainoedhofer H, Saxena AK, Schalamon J. Mechanical elongation of the small intestine: evaluation of techniques for optimal screw placement in a rodent model. *BioMed Research International*. 2013;2013:601701. https://doi.org/10.1155/2013/601701
31. Park J, Puapong DP, Wu BM, Atkinson JB, Dunn JC. Enterogenesis by mechanical lengthening: morphology and function of the lengthened small intestine. *Journal of Pediatric Surgery*. 2004;39(12):1823-1827. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2004.08.022
32. Huynh N, Rouch JD, Scott A, Chiang E, Wu BM, Shekherdimian S, Dunn JC. Spring-mediated distraction enterogenesis in-continuity. *Journal of Pediatric Surgery*. 2016;51(12):1983-1987. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2016.09.024
33. Sullins VF, Wagner JP, Suwarnasarn AT, Lee SL, Wu BM, Dunn JC. A novel biodegradable device for intestinal lengthening. *Journal of Pediatric Surgery*. 2014;49(1):109-113. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2013.09.040
34. Thompson JS, Pinch LW, Young R, Vanderhoof JA. Long-term outcome of intestinal lengthening. *Transplantation Proceedings*. 2000;32(6):1242-1243. https://doi.org/10.1016/s0041-1345(00)01207-0
35. Wu G, Jiang Y, Zhu X, Jin D, Han Y, Han J, et al. Prevalence and risk factors for complications in adult patients with short bowel syndrome receiving long-term home parenteral nutrition. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 2017;26(4):591-597. https://doi.org/10.6133/apjcn.082016.08
36. Coletta R, Olivieri C, Persano G, Solari V, Inserra A, Morabito A. Expanding intestinal segment using osmotic hydrogel: An in vivo study. *Journal of Biomedical Materials Research. Part B, Applied Biomaterials*. 2019;107(4):1304-1309. https://doi.org/10.1002/jbm.b.34224
37. Demehri FR, Freeman JJ, Fukatsu Y, Luntz J, Teitelbaum DH. Development of an endoluminal intestinal lengthening device using a geometric intestinal attachment approach. *Surgery*. 2015;158(3):802-811. https://doi.org/10.1016/j.surg.2015.03.055
38. Printz H, Schlenzka R, Requadt P, Tscherny M, Wagner AC, Eissele R, et al. Small bowel lengthening by mechanical distraction. *Digestion*. 1997;58(3):240-248. https://doi.org/10.1159/000201450
39. Fisher JG, Sparks EA, Khan FA, Dionigi B, Wu H, Brazzo J 3rd, et al. Extraluminal distraction enterogenesis using shape-memory polymer. *Journal of Pediatric Surgery*. 2015;50(6):938-942. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2015.03.013
40. Dionigi B, Brazzo J 3rd, Connors JP, Ahmed A, Fisher JG, Zurakowski D, et al. Extraluminal helicoidal stretch: a novel method of intestinal lengthening. *Journal of Pediatric Surgery*.2014;49(12):1787-1790. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2014.09.020

Поступила/Received 17.07.2024
Принята к печати/Accepted 15.11.2024