

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УГНЕТЕНИЯ ПЕРИСТАЛЬТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КИШЕЧНИКА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ВИДЕОФИКСАЦИИ У ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

**APPLICATION OF CLUSTER ANALYSIS
TO PREDICT INTESTINAL PERISTALTIC
INHIBITION BASED ON VIDEO
RECORDING PERISTALSIS DATA
IN LABORATORY ANIMALS**

S. Chernyadyev
K. Kubasov
A. Zhilyakov
V. Borodikhina
N. Sivkova

Summary. *Introduction.* Paresis and paralytic intestinal obstruction, which occur in the context of severe forms of peritonitis, represent a pressing issue in modern medicine, as they are a fairly common phenomenon after surgeries on abdominal organs and other types of surgery. The pathogenesis of paralytic intestinal obstruction is diverse and has various causes.

Materials and Methods. The development of diffuse peritonitis was modeled in rabbits of the «White Giant» and «Gray Giant» breeds. The animals were divided into two groups (15 subjects in each): 1 — experimental group, treated using electrical stimulation; 2 — control group. The total observation period for the laboratory animals was 7 days.

Results. Intestinal electrical stimulation is an effective treatment method only in cases of pronounced motility reduction observed in Cluster 0. For this group, the use of electrical stimulation has a significant therapeutic effect. In groups with moderate (Cluster 1) and minimal (Cluster 2) motility reduction, no statistically significant effect of electrical stimulation was identified.

Conclusion. A comprehensive analysis of changes in peristaltic velocity combined with clinical manifestations (time to first stool and gas passage) provides a reliable basis for predicting the postoperative course and justifying the need for additional measures to combat enteric insufficiency in specific patients.

Keywords: paresis, paralytic intestinal obstruction, peritonitis.

Чернядьев Сергей Александрович
 Доктор медицинских наук, профессор, Федеральное
 государственное бюджетное образовательное
 учреждение «Уральский государственный медицинский
 университет», Екатеринбург
kafedra@akado-ural.ru

Кубасов Кирилл Александрович
 Ассистент, Федеральное государственное
 бюджетное образовательное учреждение «Уральский
 государственный медицинский университет»,
 Екатеринбург
kafedra@akado-ural.ru

Жиляков Андрей Викторович
 Доктор медицинских наук, ассистент, Федеральное
 государственное бюджетное образовательное
 учреждение «Уральский государственный медицинский
 университет», Екатеринбург
basket@olympus.ru

Бородихина Валерия Анатольевна
 Ассистент, Федеральное государственное
 бюджетное образовательное учреждение
 «Уральский государственный медицинский
 университет», Екатеринбург
Valera_rikhter@bk.ru

Сивкова Надежда Ивановна
 Кандидат социологических наук,
 Уральский гуманитарный институт Федерального
 государственного автономного образовательного
 учреждения «Уральский федеральный университет
 имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»,
 г. Екатеринбург
kirub1985@gmail.com

Аннотация. Введение. Парез и паралитическая кишечная непроходимость возникающие на фоне тяжелых форм перитонита является актуальной проблемой современной медицины, поскольку является достаточно частым явлением после операций на органах брюшной полости и других типов хирургии. Патогенез развития паралитической кишечной непроходимости многообразен и имеет разные причины.

Материалы и методы. У кроликов породы «Белый великан» и «Серый великан» моделировали возникновение распространённого перитонита. Животные разделены на 2 группы (по 15 особей в каждой): 1-основная группа пролеченные с помощью электростимуляции; 2-контрольная группа. Общий срок наблюдения за лабораторными животными составил 7 суток.

Результаты. Электростимуляция кишечника является эффективным методом лечения лишь в случае выраженного снижения моторики, наблюдавшегося в кластере 0. Для данной группы использование электростимуляции



Введение

Нарушения моторики кишечника представляют собой серьезную проблему в гастроэнтерологии и хирургии, особенно в контексте послеоперационного пареза и воспалительных заболеваний брюшной полости. Замедление или угнетение перистальтики может приводить к серьезным осложнениям, включая кишечную непроходимость, усиление воспалительной реакции и замедление процессов восстановления после хирургических вмешательств [4, 8].

В связи с этим актуальной задачей является поиск эффективных методов стимуляции моторной активности кишечника, среди которых особое внимание уделяется фармакологическим и аппаратным методам [23]. Одним из перспективных направлений является электростимуляция кишечника, которая уже продемонстрировала свою эффективность при моделях паралитического и механического илеуса [11]. Однако объективные количественные критерии прогнозирования эффективности данного метода до сих пор не разработаны, что ограничивает его широкое клиническое применение [13].

Современные методы диагностики нарушений моторики кишечника включают рентгеноконтрастные исследования, манометрию, электромиографию и ультразвуковую диагностику [14]. Однако эти методы имеют ряд ограничений: они дорогостоящи и зачастую недостаточно чувствительны к динамическим изменениям моторной активности кишечника, или их технически невозможно использовать в ближайший послеоперационный период.

В последние годы активно развивается метод видеоФиксации моторной активности кишечника, позволяющий регистрировать изменения перистальтики в реальном времени [7]. В сочетании с алгоритмами машинного обучения и кластерного анализа это открывает новые возможности для выявления скрытых закономерностей в данных и повышения точности прогностических моделей [15].

имеет значительное терапевтическое влияние. В группах с умеренным (кластер 1) и минимальным (кластер 2) снижением моторики кишечника статистически значимого эффекта от применения электростимуляции выявлено не было.

Заключение. Комплексный анализ изменений скорости перистальтики в сочетании с клиническими проявлениями (время до первого стула и отхождения газов) предоставляет надежную основу для прогнозирования течения послеоперационного периода и обоснования необходимости дополнительных мер по борьбе с энтеральной недостаточностью конкретных пациентов.

Ключевые слова: парез, паралитическая кишечная непроходимость, перитонит.

Электростимуляция, как метод прямого воздействия на нервно-мышечный аппарат кишечника, в ряде исследований показала эффективность при лечении послеоперационного илеуса [10]. Однако до настоящего времени отсутствуют строгие критерии отбора пациентов или экспериментальных животных, для которых данный метод будет наиболее эффективен [12]. Это обуславливает необходимость разработки объективных критериев оценки эффективности электростимуляции на основе многомерного анализа данных, включая скорость перистальтических движений и временные характеристики восстановления функции кишечника.

Несмотря на значительные успехи в изучении моторики кишечника и методов ее коррекции, остаются нерешенные проблемы, препятствующие повышению эффективности диагностики и лечения. В настоящее время отсутствуют универсальные биомаркеры, позволяющие предсказать эффективность электростимуляции, что затрудняет выбор оптимальной тактики терапии [5]. Кроме того, кластерный анализ, пока недостаточно используется для группировки пациентов или экспериментальных моделей на основе их индивидуального ответа на лечение, что ограничивает персонализированный подход в терапии. Дополнительную сложность создает отсутствие стандартизованных протоколов видеофиксации моторики кишечника, что снижает воспроизводимость результатов исследований и затрудняет их внедрение в клиническую практику.

Цель и задачи исследования

Цель исследования

Разработка объективных критериев оценки моторики кишечника и прогнозирования на основе данных видеоФиксации и кластерного анализа у экспериментальных животных.

Задачи исследования:

1. Разработать методику анализа моторики кишечника с использованием видеофиксации и алгоритмов обработки данных.

2. Применить методы кластерного анализа для выявления групп с различной динамикой восстановления моторной функции кишечника.
3. Оценить взаимосвязь между параметрами перистальтической активности, временем восстановления функции кишечника и эффективностью электростимуляции.
4. Определить влияние электростимуляции на восстановление моторики кишечника в различных кластерах экспериментальных животных.
5. Разработать прогностическую модель для персонализированного подхода к коррекции нарушений моторики кишечника.

Выдвигаемые гипотезы

1. Нарушение моторики кишечника при перитоните проявляется в разных формах, которые могут быть классифицированы на основе объективных параметров моторной активности с использованием кластерного анализа.
2. Различные степени угнетения моторики кишечника, возникающие в ответ на повреждающий агент, формируют группы с различной динамикой восстановления, что предопределяет вариативность эффективности терапевтического вмешательства, включая электростимуляцию.
3. Прямая последовательная электростимуляция кишечника оказывает наиболее выраженный эффект при значительном угнетении моторики, умеренно влияет при среднетяжелых формах дисфункции и практически неэффективна при минимальных изменениях перистальтики.
4. Комплексный подход, основанный на видеофиксации моторной активности и кластерном анализе, позволяет объективно оценивать выраженность моторных нарушений и прогнозировать эффективность электростимуляции, обеспечивая персонализированные стратегии коррекции нарушений моторики кишечника.

Цель исследования

Разработка объективных критериев оценки моторики кишечника и прогнозирования эффективности электростимуляции на основе данных видеофиксации и кластерного анализа у экспериментальных животных.

Задачи исследования:

1. Разработать методику анализа моторики кишечника с использованием видеофиксации и алгоритмов обработки данных.
2. Применить методы кластерного анализа для выявления групп с различной динамикой восстановления моторной функции кишечника.

3. Оценить взаимосвязь между параметрами перистальтической активности, временем восстановления функции кишечника и эффективностью электростимуляции.
4. Определить влияние электростимуляции на восстановление моторики кишечника в различных кластерах экспериментальных животных.
5. Разработать прогностическую модель для персонализированного подхода к коррекции нарушений моторики кишечника.

Материалы и методы

Эксперимент выполнен в соответствии с положениями директивы «О защите животных, используемых в научных целях» и ГОСТ 33215-2014. Животные содержались в условиях вивария при естественном освещении, свободном доступе к воде и пище.

В эксперименте использовали 30 кроликов породы «Белый великан» и «Серый великан» весом 3,5–4,0 кг. Животные были разделены на 2 группы (по 15 особей в каждой): 1-основная группа пролеченные с помощью электростимуляции; 2-контрольная группа. У кроликов моделировали распространенный перитонит, затем проводили две санационные релапаротомии каждые 24 часа. На санационных релапаротомиях оценивали изменение скорости сокращения кишечной стенки с помощью программы «Gut Peristalsis». Затем оценивали изменение скорости сокращения кишечной стенки в продольном и поперечном направлении в динамике относительно каждого для эксперимента.

С целью стимуляции перистальтики кишечника в обеих группах проводили стандартную терапию прозерином, в основной группе дополнительно проводили прямую последовательную электростимуляцию кишечника.

Для группировки объектов (кроликов) на основе множества признаков нами был выбран кластерный анализ методом К-средних (K-means). Этот метод был выбран, так как он позволяет структурировать многомерные данные, учитывая все переменные одновременно. В данном случае это важно, так как степень тяжести перитонита и способность к восстановлению определяются не одним параметром, а комбинацией изменений продольной и поперечной скорости перистальтики, времени до первого стула и отхождения газов. Также этот статический метод выделяет четкие кластеры, что облегчает интерпретацию результатов и их использование в дальнейших исследованиях и клинической практике. Также может выступать основой для разработки персонализированного подхода к лечению, так как позволяет выявить группы пациентов со схожими паттернами течения заболевания и разработать для них индивидуализированные протоколы лечения. На основе полученных

кластеров можно не только классифицировать текущие случаи, но и прогнозировать принадлежность новых пациентов к определенной группе, что делает данный метод особенно ценным для создания систем поддержки принятия клинических решений и оптимизации терапевтических стратегий.

Для проведения анализа были использованы следующие признаки: Δ Продольная = Продольная скорость (24 ч) – Продольная скорость (0 ч), Δ Поперечная = Поперечная скорость (24 ч) – Поперечная скорость (0 ч), время первого стула после последней релапаротомии (в часах) и время появления отхождения первых газов после последней релапаротомии (в часах). Объектами исследования стали 30 кроликов. В ходе предобработки данных все признаки были нормализованы и использованием StandardScaler. Для определения оптимального числа кластеров использовались Elbow Method и Silhouette Score. На основе проведенного анализа выбрано оптимальное число кластеров ($k=3$), поскольку дальнейшее увеличение количества кластеров приводит к незначительным улучшениям.

Рассчитанный средний силуэтный коэффициент для различных чисел кластеров также подтвердил выбор ($k=3$). Для ($k=2$) он составил 0.52, для ($k=3$) — 0.62, а для ($k=4$) снизился до 0.57. Максимальное значение 0.62 при ($k=3$) указывает на хорошее разделение кластеров, где границы между ними четкие, а перекрытие минимальное, что подтверждает удовлетворительное качество кластеризации.

Дополнительно на основе алгоритма (k)-средних удалось провести подразделение объектов также на три кластера с аналогичными характеристиками. В результате кластеризации три выделенных кластера можно описать следующим образом:

В итоге были получены следующие кластеры:

- кластер 0 ($n=10$) характеризовался наиболее выраженным снижением продольной и поперечной скорости;
- кластер 1 ($n=14$) демонстрировал умеренные изменения;
- кластер 2 ($n=6$) имел минимальные изменения скорости и более короткие сроки восстановления.

Для повышения информативности результатов и применимости их экстраполяции на человека дополнительно рассчитывались относительные изменения скоростей в процентах.

Результаты

В таблице 1 представлены абсолютные и относительные изменения продольной и поперечной скоростей

перистальтики кишечника через 24 часа после моделирования перитонита для каждого из трех кластеров. Данные представлены в виде среднего значения \pm стандартное отклонение.

Таблица 1.
Абсолютные и относительные изменения продольной и поперечной скорости перистальтики кишечника в зависимости от кластера

Параметр	Кластер 0	Кластер 1	Кластер 2
Δ Продольная (абс.)	-1.5 ± 0.4	-0.7 ± 0.3	$+0.2 \pm 0.1$
Δ Продольная (%)	$-62 \% \pm 14$	$-28 \% \pm 10$	$+8 \% \pm 4$
Δ Поперечная (абс.)	-0.9 ± 0.2	-0.4 ± 0.1	-0.1 ± 0.05
Δ Поперечная (%)	$-45 \% \pm 11$	$-18 \% \pm 7$	$-5 \% \pm 2$

«Кластер 0» характеризуется наиболее выраженным снижением продольной скорости на 62 % (-1.5 мм/с) и поперечной скорости на 45 % (-0.9 мм/с) через 24 часа.

«Кластер 1» отмечается умеренное снижение скоростей — продольной на 28 % (-0.7 мм/с) и поперечной на 18 % (-0.4 мм/с).

«Кластер 2» наблюдается минимальное снижение поперечной скорости на 5 % (-0.1 мм/с), а продольная скорость, напротив, увеличивается на 8 % ($+0.2$ мм/с).

Время восстановления функции кишечника оценивалось по двум показателям: времени появления первого стула и времени появления первых газов после хирургического вмешательства (Табл. 2).

Таблица 2.
Время восстановления функции кишечника
после хирургического вмешательства
в зависимости от кластера

Параметр	Кластер 0	Кластер 1	Кластер 2
Первый стул (часы)	22.5 ± 3.1	18.3 ± 2.4	12.0 ± 1.8
Первые газы (часы)	16.8 ± 2.5	12.1 ± 1.9	8.2 ± 1.2

«Кластер 0». В этой группе восстановление функции кишечника происходило наиболее медленно. Время появления первых газов составляло в среднем 16.8 часов, а первого стула — 22.5 часов.

«Кластер 1». Для этой группы отмечено среднее время восстановления: первые газы появлялись через 12.1 часа, первый стул — через 18.3 часа.

«Кластер 2». В группе отмечено быстрое восстановление функции кишечника — первые газы наблюдались уже через 8.2 часа, а первый стул через 12.0 часов.

Все параметры характеризуются высокой статистической значимостью ($p < 0.001$), что свидетельствует о существенных различиях между тремя кластерами.

На основании полученных кластеров было проведено определение критериев для проведения электростимуляции и оценка её эффективности в разных группах (основная группа, контрольная группа).

При анализе распределения в группах было установлено, что большинство животных из кластера 0 (сильное снижение перистальтики) было включено в основную группу, получавшую электростимуляцию (7 из 10 крыс). Это демонстрирует целесообразность применения данной методики в случаях с выраженным нарушением моторики. Наоборот, в кластере 2 (минимальное снижение моторики) основная группа была представлена меньшим числом животных (2 из 6), что указывает на ограниченную необходимость электростимуляции в условиях незначительных изменений перистальтики (Табл. 3).

Таблица 3.

Оценка эффективности стимуляции в основной и контрольной группах (в абс. значениях)

Кластер	Основная группа (n)	Контрольная группа (n)
0 (Сильное снижение)	7	3
1 (Умеренное снижение)	6	8
2 (Минимальное снижение)	2	4

Для каждого кластера было проведено сравнение времени появления первого стула и газов между основной группой и контрольной группой (Табл. 4). Статистический анализ (t -тест, $\alpha=0.05$) выявил значимые различия в эффективности применения электростимуляции только для кластера 0.

В кластере с сильным снижением моторики (кластер 0) основная группа демонстрировала существен-

ное сокращение времени до появления первого стула (на 36 %) и газов (на 46 %) по сравнению с контрольной группой, что свидетельствует о высокой эффективности электростимуляции в данной категории. В кластерах с умеренным (кластер 1) и минимальным снижением (кластер 2) различия между группами были статистически незначимыми ($p > 0.05$).

Изменение продольной и поперечной скорости перистальтики (Δ Продольная и Δ Поперечная) между 24-м и 48-м часами наблюдения было использовано в качестве дополнительного критерия оценки эффективности электростимуляции (Табл. 5).

В кластере с сильным снижением моторной активности (кластер 0) скорость восстановления продольной и поперечной перистальтики была значительно выше в основной группе по сравнению с контрольной (в 3 и 4 раза быстрее соответственно, $p < 0.001$). Это указывает на интенсивное стимулирующее воздействие метода в условиях тяжёлого нарушения моторики.

В кластере с умеренным снижением (кластер 1) наблюдалась тенденция к ускорению восстановления в основной группе, однако различия не достигли статистической значимости ($p > 0.05$). Для кластера с минимальными изменениями (кластер 2) достоверных различий между группами не было выявлено.

Обсуждение

Проведенное нами исследование продемонстрировало значимую эффективность электростимуляции кишечника в коррекции послеоперационного пареза, особенно выраженную в группе пациентов с тяжелым угнетением перистальтики (кластер 0). Эти результаты согласуются с данными других исследователей, показывающими перспективность электростимуляции в лечении послеоперационной кишечной непроходимости, которая возникает у 5–15 % пациентов после обширных абдоминальных

Таблица 4.

Сравнение эффективности лечения в основной и контрольной группах в зависимости от принадлежности к кластеру

Параметр		Основная группа (часы)	Контрольная группа (часы)	p-value	Эффективность
Кластер 0	Первый стул	14.2 ± 2.1	22.4 ± 3.5	<0.001	Сокращение времени на 36 %
	Первые газы	8.5 ± 1.3	15.7 ± 2.2	<0.001	Сокращение времени на 46 %
Кластер 1	Первый стул	18.5 ± 3.0	21.3 ± 2.8	0.12	Различия незначимы
	Первые газы	12.0 ± 2.1	14.2 ± 1.7	0.08	Различия незначимы
Кластер 2	Первый стул	20.1 ± 2.5	19.8 ± 1.9	0.85	Различия отсутствуют
	Первые газы	13.5 ± 1.8	12.9 ± 1.5	0.65	Различия отсутствуют

Таблица 5.

Сравнение эффективности лечения в основной и контрольной группах в зависимости от принадлежности к кластеру

Параметр		Основная группа (единицы)	Контрольная группа (единицы)	P-value	Эффективность
Кластер 0	Δ Продольная	+0.6 ± 0.2	+0.2 ± 0.1	<0.001	Ускорение в 3 раза
	Δ Поперечная	+0.4 ± 0.1	+0.1 ± 0.05	<0.001	Ускорение в 4 раза
Кластер 1	Δ Продольная	+0.3 ± 0.1	+0.1 ± 0.05	0.06	Тенденция к улучшению
	Δ Поперечная	+0.2 ± 0.1	+0.05 ± 0.03	0.09	Тенденция к улучшению
Кластер 2	Δ Продольная	+0.1 ± 0.05	+0.05 ± 0.02	0.45	Различия отсутствуют
	Δ Поперечная	+0.05 ± 0.02	+0.02 ± 0.01	0.32	Различия отсутствуют

Полученные нами результаты коррелируют с данными недавнего исследования самодвижущегося про-глатываемого устройства INSPIRE, где было продемонстрировано улучшение сократительной способности кишечника на 140 % и сокращение времени прохождения содержимого с 8,6 до 2,5 дней при химически индуцированном илеусе [8]. Схожие положительные результаты были получены при изучении чрескожной электрической стимуляции акупунктурных точек (TEAS), где отмечалось снижение частоты послеоперационного паралитического илеуса на 8,7 % и уменьшение риска его развития на 32 % [6]

В нашем исследовании следует отметить как сильные стороны, так и существенные ограничения. Основным преимуществом работы является высокая объективность полученных данных, достигнутая благодаря применению видеофиксации и автоматизированного анализа перистальтики с помощью программы «Gut Peristaltis». Использование рандомизации методом подброса монетки также способствовало минимизации систематических ошибок. Однако ключевым ограничением исследования является малый размер выборки (30 кроликов), что существенно влияет на статистическую мощность результатов. Согласно современным исследованиям, увеличение размера выборки критически важно для повышения вероятности обнаружения истинного эффекта и снижения вероятности ошибок второго рода [14]. Исследования с недостаточной статистической мощностью часто не способны выявить клинически значимые различия [10]. Особенно явно это ограничение проявилось в кластерах 1 и 2, где, например, различия во времени появления газов между группами составили 2.2 часа (12.0 vs. 14.2), но не достигли статистической значимости ($p=0.08$) из-за малого числа наблюдений ($n=14$). Увеличение выборки до 50–60 животных могло бы позволить более достоверно оценить наблюдаемые тенденции.

Селективное применение электростимуляции в группе высокого риска (кластер 0) представляется не только клинически эффективным, но и экономически целесообразным решением, особенно в условиях ограниченных ресурсов здравоохранения. Такой подход может существенно улучшить результаты лечения за счет улучшения моторики желудочно-кишечного тракта, уменьшения воспаления и эффективного обезболивания.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование подтверждает эффективность применения электростимуляции кишечника как метода лечения паралитической непроходимости при распространенном перитоните, особенно в группе пациентов высокого риска, с выраженным, более 62 % снижением скорости перистальтики. Персонализированный подход, основанный на видеофиксации скорости сокращения кишечной стенки и комплексной оценке степени тяжести заболевания, позволяет обосновать необходимость применения электростимуляции и прогнозировать течение послеоперационного периода. Электростимуляция демонстрирует не только клиническую эффективность, но и экономическую целесообразность, однако для широкого внедрения метода в клиническую практику требуется дальнейшая работа по стандартизации протоколов и устранению методологических ограничений.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Соответствие принципам этики. Протокол исследования утвержден этическим комитетом Уральского государственного медицинского университета (протокол заседания N 5 от 20.05.2016).

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев, И.А. Послеоперационный парез кишечника — проблема абдоминальной хирургии / И.А. Соловьев, А.В. Колунов // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. — 2013.— Т. 8, №2.— С.112118.
2. Суковатых, Б.С. Механизмы развития распространенного перитонита / Б.С. Суковатых, Ю.Ю. Блинков, О.Г. Фролова // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. — 2012. — Т. 2. — С. 469477.
3. Проблемы и перспективы программируемой релапаротомии в абдоминальной хирургии / А.О. Остаев, А.А. Бархударов, А.Е. Климов, И.А. Бадретдинов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2023. — № 12. — С. 184–187. — DOI 10.37882/2223-2966.2023.12.26. — EDN ZZBDOQ.
4. Chaudhari A.A., Kariyawasam S. An experimental infection model for *Escherichia coli* egg peritonitis in layer chickens Avian diseases. 2013; 58 (1): 25–33.
5. Abrams D, Montesi SB, Moore SKL, Manson DK, Klipper KM, Case MA, Brodie D, Beiter JR. Powering Bias and Clinically Important Treatment Effects in Randomized Trials of Critical Illness. Crit Care Med. 2020 Dec; 48(12):1710–1719. doi: 10.1097/CCM.0000000000004568. PMID: 33031148; PMCID: PMC7708428.
6. Datta E, Ballal A, Lopez JE, Izu LT (2023) MapperPlus: Agnostic clustering of high-dimension data for precision medicine. PLOS Digital Health. 2023. № 8 (2). C. e0000307.
7. Docsa T, Sipos A, Cox CS, Uray K. The Role of Inflammatory Mediators in the Development of Gastrointestinal Motility Disorders. Int J Mol Sci. 2022 Jun 22;23(13):6917. doi: 10.3390/ijms23136917. PMID: 35805922; PMCID: PMC9266627.
8. Dubrovsky G, Lo YK, Wang PM, Wu MD, Huynh N, Liu W, Dunn JCY. Intestinal Electrical Stimulation to Increase the Rate of Peristalsis. J Surg Res. 2019 Apr;236:153–158. doi: 10.1016/j.jsr.2018.11.044. Epub 2018 Dec 17. PMID: 30694750.
9. Li WJ, Gao C, An LX, Ji YW, Xue FS, Du Y. Perioperative transcutaneous electrical acupoint stimulation for improving postoperative gastrointestinal function: A randomized controlled trial. J Integr Med. 2021 May;19(3):211–218. doi: 10.1016/j.joim.2021.01.005. Epub 2021 Jan 13. PMID: 33495134.
10. Karthik N, Lodha M, Baksi A, Dutt A, Banerjee N, Swathi M, Choudhary IS, Meena SP, Sharma N, Puranik AK. Effects of transcutaneous electrical nerve stimulation on recovery of gastrointestinal motility after laparotomy: A randomized controlled trial. World J Surg. 2024 Jul;48(7):1626–1633. doi: 10.1002/wjs.12233. Epub 2024 May 27. PMID: 38801218.
11. Li W. [и др.]. Perioperative transcutaneous electrical acupoint stimulation for improving postoperative gastrointestinal function: A randomized controlled trial // Journal of Integrative Medicine. 2021. № 3 (19). С. 211–218.
12. Penfold JA, Wells CI, Du P, Bissett IP, O'Grady G. Electrical Stimulation and Recovery of Gastrointestinal Function Following Surgery: A Systematic Review. Neuromodulation. 2019 Aug;22(6):669–679. doi: 10.1111/ner.12878. Epub 2018 Nov 19. PMID: 30451336.
13. Schiemer, J.F., Heimann, A., Somerlik-Fuchs, K.H., Ruff, R., Hoffmann, K., Baumgart, J., & Kneist, W. (2018). Electrical stimulation with motility analysis of five parts of the gastrointestinal tract. Current Directions in Biomedical Engineering, 4, 9–11.
14. Stakenborg N, Gomez-Pinilla PJ, Boeckxstaens GE. Postoperative ileus: Pathophysiology, Current Therapeutic Approaches. Handb Exp Pharmacol. 2017;239:39–57. doi: 10.1007/164_2016_108. PMID: 2799957.

© Чернидьев Сергей Александрович (kafedra@akado-ural.ru); Кубасов Кирилл Александрович (kafedra@akado-ural.ru);
Жиляков Андрей Викторович (basket@olympus.ru); Бородихина Валерия Анатольевна (Valera_rikhter@bk.ru);
Сивкова Надежда Ивановна (kirub1985@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»