

Эффективность коррекции нарушений водного баланса с использованием данных мультимастотной биоимпедансной спектроскопии и векторного анализа биоимпеданса у пациентов на гемодиализе: рандомизированное клиническое исследование

К.А. Вишневский^{1,2}, Р.П. Герасимчук^{1,2}, Е.С. Дудаш³, О.В. Волкова³, Е.П. Турбасова³, Е.В. Фролова³

¹ СПбГБУЗ «Городская Мариинская больница»,
191104, Санкт-Петербург, Литейный пр., 56, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Северо-Западный ГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России,
191015, Санкт-Петербург, Кирочная, 41, Российская Федерация

³ СПбГБУЗ «Городская больница №15»,
198205, Санкт-Петербург, ул. Авангардная, д. 4, Российская Федерация

Для цитирования: Вишневский К.А., Герасимчук Р.П., Дудаш Е.С. и соавт. Эффективность коррекции нарушений водного баланса с использованием данных мультимастотной биоимпедансной спектроскопии и векторного анализа биоимпеданса у пациентов на гемодиализе: рандомизированное клиническое исследование. Нефрология и диализ. 2025. 27(3):295-306. doi: 10.28996/2618-9801-2025-3-295-306

The effectiveness of water balance correction disorders by multi-frequency bioimpedance spectroscopy and vector analysis of bioimpedance in hemodialysis patients: a randomized clinical trial

К.А. Vishnevskii^{1,2}, R.P. Gerasimchuk^{1,2}, E.S. Dudash³, O.V. Volkova³, E.P. Turbasova³, E.V. Frolova³

¹ City Mariinsky Hospital, 56 Liteiny pr., Saint-Petersburg, 191104, Russian Federation

² I.I. Mechnikov North-Western State medical university,
41 Kirochnaya str., Saint-Petersburg, 191015, Russian Federation

³ City Hospital No. 15, St. Petersburg, 4, Avangardnaya str., Saint-Petersburg, 191104, Russian Federation

For citation: Vishnevskii K.A., Gerasimchuk R.P., Dudash E.S. et al. The effectiveness of water balance correction disorders by multi-frequency bioimpedance spectroscopy and vector analysis of bioimpedance in hemodialysis patients: a randomized clinical trial. Nephrology and Dialysis. 2025. 27(3):295-306. doi: 10.28996/2618-9801-2025-3-295-306

Резюме

Введение. Одним из перспективных методов оценки статуса гидратации у гемодиализных пациентов является биоимпедансное исследование, однако необходимо уточнение оптимального алгоритма коррекции «сухого» веса по результатам измерения биоимпеданса и анализ эффективности методики, особенно – в отношении твердых исходов.

Адрес для переписки: Вишневский Константин Александрович
e-mail: vishnevskii2022@mail.ru

Corresponding author: Konstantin A. Vishnevsky
e-mail: vishnevskii2022@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6945-4711>

Пациенты и методы. В одноцентровом открытом рандомизированном исследовании (98 пациентов) оценены непосредственные (динамика веса и перидиализного АД, интрадиализных осложнений: эпизоды гипотоний, интрадиализная гипертензия, судороги) и отдаленные (пятилетняя выживаемость пациентов от точки старта исследования) результаты коррекции сухого веса по клиническим и инструментальным данным в сравнении с коррекцией только по клиническим показателям. Коррекция веса проводилась по разработанному алгоритму с использованием данных мультичастотной биоимпедансной спектроскопии в сочетании с векторным анализом биоимпеданса в течение полугода от старта исследования с последующим пятилетним периодом наблюдения.

Результаты. В исследуемую группу (ИГ) были распределены 51 пациент, в контрольную (КГ) – 47. Исходно группы не различались по основным клинико-лабораторным параметрам. В ИГ по результатам клинического обследования и первого анализа биоимпеданса целевой вес был увеличен у 13 пациентов в среднем на $1,3 \pm 0,9$ кг, уменьшен у 26 пациентов ($-1,1 \pm 0,4$ кг), у 12 – не изменён. В КГ за трехмесячный период последующего клинического наблюдения (без использования данных биоимпеданса) у 19 пациентов целевой вес увеличился в среднем на $1,3 \pm 0,9$ кг, у 26 уменьшился ($-1,2 \pm 0,8$ кг), у 2 не изменился. В ИГ в отличие от КГ наблюдалось достоверное снижение общего числа осложнений в месяц: 32 vs. 52 за исходный и третий месяц после обследования ($p=0,033$), в основном за счет уменьшения числа случаев подъема АД во время процедуры: 15 vs. 34 ($p=0,009$). В исследуемой группе достигнуто большее снижение артериального давления за время проведения сеанса; размер эффекта в сравнении с контрольной группой составил 5,3 мм рт.ст. ($p=0,04$). В исследуемой группе более половины (65%) пациентов не потребовали повторной коррекции целевого веса через три месяца. Показана лучшая пятилетняя выживаемость пациентов в ИГ ($\chi^2=4,096$; $p=0,043$), при этом в ИГ активная дегидратация не сопровождалась худшей выживаемостью ($\chi^2=2,454$; $p=0,117$) в сравнении с сохранением или увеличением целевого веса.

Выводы. Использование комплексного алгоритма коррекции «сухого» веса, включающего определение расчетного коэффициента гипергидратации и векторный анализ биоимпеданса, с учетом клинических признаков нарушения гидратационного статуса, может способствовать снижению частоты осложнений, снижению выраженности артериальной гипертензии и повышению гемодинамической стабильности во время процедуры, а также улучшению выживаемости пациентов.

Ключевые слова: биоимпедансная спектроскопия, векторный анализ биоимпеданса, выживаемость, гипергидратация, интрадиализные осложнения

Abstract

Introduction. Bioimpedance is a promising method for assessing hydration status in hemodialysis patients. However, the optimal algorithm for "dry" weight correction and its effectiveness – particularly with respect to hard outcomes – remains to be clarified.

Patients and methods. In a single-center, open-label randomized trial involving 98 patients, we evaluated both the short-term (weight dynamics, peridialysis blood pressure, and intradialysis complications) and long-term outcomes (five-year survival from study initiation) of dry weight correction guided by clinical and instrumental data compared with correction based solely on clinical indicators. Weight correction was performed according to a newly developed algorithm incorporating multi-frequency bioimpedance spectroscopy and vector bioimpedance analysis for six months, followed by a five-year observation period.

Results. 51 patients were assigned to study group (SG), and 47 to the control group (CG). Baseline clinical and laboratory parameters did not differ between the groups. In the SG, target weight increased in 13 patients by 1.3 ± 0.9 kg, decreased in 26 patients (-1.1 ± 0.4 kg), and remained unchanged in 12. In the CG, during the three-month follow-up period, target weight increased in 19 patients (1.3 ± 0.9 kg), decreased in 26 (-1.2 ± 0.8 kg), and remained unchanged in 2. The SG demonstrated a significant reduction in the number of complications per month (32 vs. 52, $p=0.033$), primary due to a reduction in intradialysis hypertension (15 vs. 34, $p=0.009$). A greater intradialytic blood pressure decrease was achieved in the SG; an effect size of 5.3 mmHg compared to CG ($p=0.04$). Moreover, 65% of SG patients did not require a second adjustment of target weight. Five-year survival rate was significantly higher in the in SG ($\chi^2=4.096$; $p=0.043$). Active dehydration was not associated with reduced survival compared with maintaining or increasing target weight ($\chi^2=2.454$, $p=0.117$).

Conclusions. A comprehensive algorithm for "dry" weight correction – incorporating a calculated hyperhydration coefficient, bioimpedance spectroscopy with vector analysis, and clinical signs of impaired hydration – can reduce the complications rates and the hypertension severity, improve hemodynamic stability during dialysis, and enhance patient survival.

Key words: bioimpedance spectroscopy, vector analysis of bioimpedance, survival, hyperhydration, intradialysis complications

Введение

Проблема оценки гидратационного статуса является одной из ключевых в ведении пациентов, получающих заместительную почечную терапию (ЗПТ) программным гемодиализом (ГД). Хроническая перегрузка жидкостью закономерно приводит к ухудшению течения артериальной гипертензии, прогрессированию гипертрофии левого желудочка, эндотелиальной дисфункции, связана с развитием застойной сердечной недостаточности и увеличением риска сердечно-сосудистой смерти [1, 2]. С другой стороны, гипогидратация, приводящая к интрадиализной гипотонии – наиболее частое осложнение ГД, также является независимым фактором риска смерти, ведя к нарушению кровоснабжения важнейших органов (сердца, головного мозга, печени, кишечника) и повреждению уязвимых сосудистых бассейнов [3]. В недавнем исследовании с проведением МРТ в ходе сеанса гемодиализа впервые были получены прямые свидетельства острого ГД-индуцированного повреждения головного мозга: изменения объема мозговой ткани, показателей диффузии и концентраций метаболитов в мозге (дефицит энергии, аномалии перфузии и цитотоксический отек) [4]. Небезынтересно, что для пациентов на перитонеальном диализе подобные органные повреждения не характерны в отличие от ГД [5], что нелишний раз свидетельствует в пользу данного метода ЗПТ. Эпизоды гипотонии на ГД приводят также к нарушениям функции печени в результате гетерогенности перфузии и увеличению уровней эндотоксинов [6], что напрямую связано и с нарушением перфузии в сосудистом русле стенок кишечника [7].

Точная оценка статуса гидратации и определение целевого значения эволемии («сухого» веса, СВ) с целью предотвращения гипер- и гипогидратации является непростой задачей: клинические показатели, такие как артериальное давление (АД), частота пульса и выраженность периферических отеков, не всегда точно отражают состояние водного баланса и нуждаются в объективизации инструментальными методами. Одним из таких методов является мультимастотная биоимпедансная спектроскопия (МБИС) – неинвазивная, простая в выполнении и относительно недорогая методика, позволяющая оценить как общий объем жидкости организма, так и распределение внутри- и внеклеточной жидкости [8]. Валидность методики МБИС в определении гидратационного статуса пациентов ГД была показана в целом ряде обсервационных исследований [9, 10, 11], что дает серьезные основания для обозначения данной методики как «золотого стандарта» в диагностике объем-зависимых нарушений у пациентов с ХБП С5Д. Альтернативными методами для гемодиализных пациентов может служить оценка относительного и абсолютного объема крови [12], а также

ультразвуковое исследование (УЗИ) легких [13], оценки результатов применения которого весьма противоречивы. Биохимические маркеры, хоть и используются в исследованиях для сопоставления с инструментальными методами, не продемонстрировали достаточной надежности в выявлении отклонений от эволемии [14]; они позволяют оценить лишь определенные водные сектора и способны указывать на отклонение лишь в одну сторону, как и УЗИ легких – на гипергидратацию.

Несмотря на многочисленные подтверждения эффективности МБИС в определении статуса гидратации и достаточно широкой распространенности данной методики в диализных клиниках, не вполне решенным остается вопрос о стандартизированных подходах к интерпретации результатов измерения биоимпеданса применительно к коррекции СВ у пациентов ГД [14]. Это побуждает исследователей искать эффективные сочетания биоимпеданса с иными методами (УЗИ легких, уровни мозгового натрийуретического пептида, динамика относительного объема крови по гематокриту и др.) [11, 12, 15], использование которых не всегда реализуемо в реальной клинической практике. Часто для оценки СВ используются предсказательные формулы, полученные путем статистической обработки данных измерений биоимпеданса в определенной когорте пациентов с ХБП С5Д [12, 16]. Несмотря на кажущееся удобство работы с такими формулами (получение результата в виде показателя СВ или индекса гипергидратации для каждого пациента), к полученным результатам нужно относиться с известной долей осторожности, так как статистическое моделирование в определенной выборке далеко не всегда отражает параметры пациентов в другой когорте, тем более – для каждого отдельного пациента с набором сопутствующих факторов, учтенных или не учтенных в моделировании. Тем не менее, удобство использования данных формул позволяет широко применять их с целью скрининга нарушений гидратационного статуса.

Другим способом интерпретации результатов оценки биоимпеданса для определения статуса гидратации у пациентов ГД является векторный анализ биоимпеданса (Bioelectrical impedance vector analysis, BIVA), не только позволяющий оценить жидкостной баланс пациента, но и дающий представление о нарушениях нутриционного статуса, поскольку применение данного метода предусматривает комплексную оценку водно-электролитного и клеточного сопротивлений [11, 17, 18]. В пользу такого способа оценки результатов измерения биоимпеданса говорит отсутствие каких-либо предсказательных формул и оперирование исключительно физическими величинами сопротивлений, что позволяет исключить потенциальные ошибки моделирования. С другой стороны, существенным недостатком векторного анализа может показаться

отсутствие в результате конкретного значения целевого веса, доступного при использовании расчетных формул. Другим фактором, снижающим удобство применения векторного анализа при коррекции СВ, является отсутствие общепринятого алгоритма коррекции статуса гидратации, который разработан для МБИС. Таким образом, векторный анализ биоимпеданса позволяет составить совокупное представление о гидратационном и нутриционном статусах, однако интерпретация полученных данных может представлять определенную сложность.

Учитывая преимущества и недостатки вышеописанных методик для определения гидратационного статуса пациентов ГД, представляется рациональным их совместное применение в рамках единого алгоритма. Целью данного исследования являлась разработка и апробация комплексного алгоритма коррекции СВ, включающего расчетный коэффициент гипергидратации и векторный анализ биоимпеданса, с учетом клинических признаков нарушения гидратационного статуса и оценка эффективности применения данного алгоритма в краткосрочной и долгосрочной перспективах.

Пациенты и методы

Все пациенты, принявшие участие в рандомизированном параллельном исследовании с разделением в соотношении 1:1, получали постоянную ЗПТ на базе отделения хронического гемодиализа СПбГБУЗ «Городская больница №15». Критериями включения были подписанное информированное согласие, возраст больше 18 лет, длительность ЗПТ не менее 3 месяцев до начала исследования, частота сеансов диализа не менее 3 раза в неделю.

Пациенты получали стандартную ЗПТ гемодиализом или гемодиалфильтрацией кратностью от 3 до 4 раз в неделю и продолжительностью сеансов от 4 до 5 часов. Гемодиализ проводился на аппаратах B.Braun Dialog и Fresenius 4008, процедуры ГДФ-online выполнялись в режиме постдилюции с объемом замещения более 20 литров. Исследование начато в феврале-марте 2019 года.

После включения в исследование пациенты случайным образом (метод блочной рандомизации) распределялись в исследуемую (ИГ) или контрольную (КГ) группы. Биоимпедансное исследование выполнялась на аппарате Bodystat MultiScan 5000 (Великобритания) с применением оригинальных электродов. Измерение параметров биоимпеданса в ходе исследования выполнялась как в ИГ, так и в КГ, однако коррекция СВ в контрольной группе проводилась только по результатам клинической оценки, а в исследуемой группе – в сочетании с оценкой водного статуса по данным МБИС и BIVA согласно алгоритму коррекции (Рисунок 1). Контрольное измерение биоимпеданса в обеих группах было выполнено через 3 месяца от начала исследования, после чего

проведена коррекция целевого веса после анализа по тому же порядку.

Первичной конечной точкой исследования была выживаемость пациентов в исследуемой группе в сравнении с контрольной с отсчетом от точки начала исследования. Вторичными конечными точками были частота интрадиализных осложнений и динамика перидиализного артериального давления. Осложнения у каждого пациента фиксировались в ходе всех сеансов с подсчетом суммарного числа за месяц: интрадиализные гипотонии, эпизоды артериальной гипертензии, мышечные судороги, возникновение головной боли. Подсчитывалось также общее число осложнений за месяц. Артериальное давление измерялось до начала подключения и каждый час в ходе сеанса, включая измерение непосредственно перед отключением. Расчет объема выборки не проводился, в исследование включены все постоянные пациенты, соответствующие критериям включения. Рандомизация проводилась блочным методом (в блоках по 6 пациентов), последовательность включения в группы определялась генератором случайных чисел. Исследование было не ослепленным для исследователей, но ослепленным для пациентов.

В КГ осуществлялась обычная практика коррекции водного баланса по клиническим показателям. В обеих группах выполнялись измерения артериального давления во время процедуры ГД, фиксировалось число интрадиализных осложнений (падение АД, повышение АД, судороги нижних конечностей, головная боль) в течение всего исследования (по 3 месяца от первого и контрольного выполнения МБИС, всего – 6 месяцев).

Целевой вес назначался по результатам анализа клинических данных и биоимпеданса в исследуемой группе или только клинических данных – в контрольной. Вес до и после диализа определялся как средняя величина среди всех доступных измерений соответствующего месяца (N – как правило не менее 12 за месяц).

Интрадиализная гипотония определялась как одно или несколько из следующих состояний: (1) снижение САД на ≥ 20 мм рт.ст., (2) среднего артериального давления (МАР) на ≥ 10 мм рт.ст. или (3) любое снижение АД, требовавшего вмешательства (введение жидкости болюсно/уменьшение ультрафильтрации/прекращение гемодиализа) [19]. Эпизоды интрадиализной артериальной гипертензии определялись как подъем АД >10 мм рт.ст. за время сеанса. Лабораторные данные получены из централизованной лаборатории стационара в ходе рутинного ежемесячного контроля.

Для анализа и оценки полученных данных применялись стандартные методы описательной статистики. Проверку гипотезы о нормальности распределения проводили по критерию Колмогорова-Смирнова; при нормальном распределении

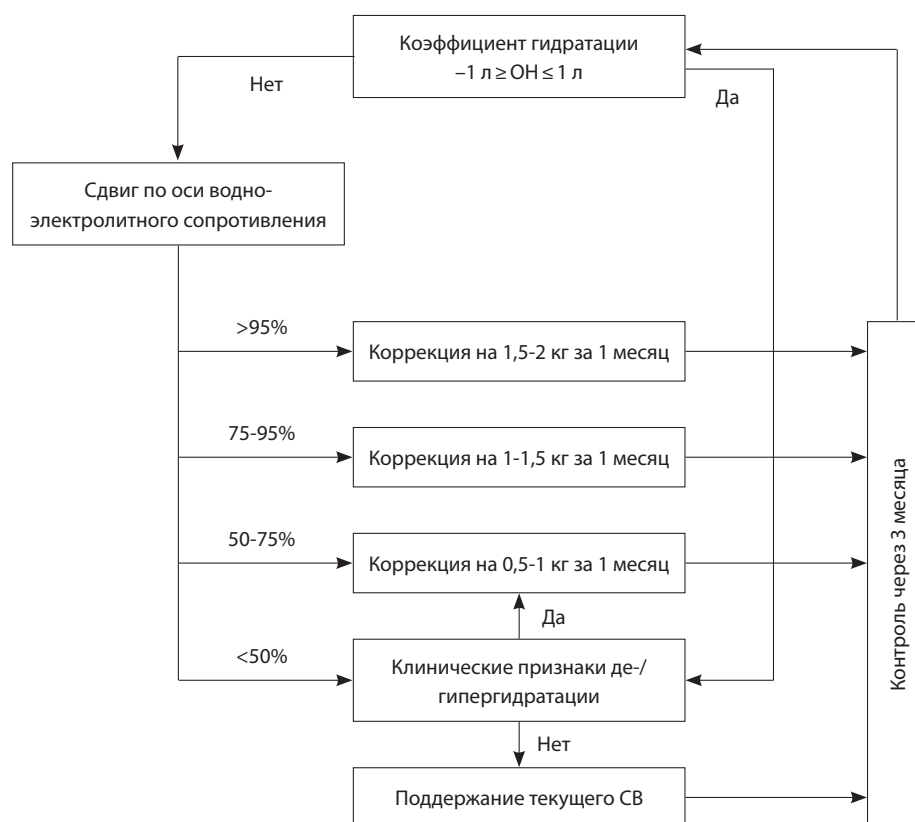


Рис. 1. Алгоритм коррекции сухого веса в исследуемой группе. OH – гипергидратация (overhydration); СВ – «сухой» вес

Fig. 1. Algorithm for dry weight correction in the study group. OH – overhydration; СВ – "dry" weight

величины данные представлены в виде средних значений и стандартного отклонения: $M(SD)$, при ином распределении – медианой и интерквартильным размахом: $Me (Q1-Q3)$. При нормальном распределении независимые и связанные выборки сравнивали в Т-тесте; при ином распределении – в тестах Манна-Уитни и Уилкоксона, соответственно. Выживаемость оценивали в анализе Каплана-Мейера и в регрессионном анализе Кокса. Достоверными считали различия и связи при $p < 0,05$. Для обработки данных был использован пакет прикладных статистических программ SPSS 21.0, SPSS Ink (США).

Результаты

В исследование были включены 98 стабильных пациентов ГД, средний возраст 63 ± 11 лет, длительность заместительной почечной терапии 86 ± 55 месяцев. В исследуемую группу были распределены 51 пациент, в контрольную – 47. В ходе полугодовой активной фазы исследования с протокольной оценкой гидратации и детальной фиксации хода сеансов диализа из исследования выбыли один пациент из исследуемой группы (трансплантация почки, АТП) и два пациента из контрольной группы (выбытие из-под наблюдения и смерть). В ходе последующего периода пятилетнего наблюдения

(2019-2024 гг.), который включал и этап пандемии COVID-19, из исследуемой и контрольной группы выбыли: умерли 20 и 32 пациента, по одному пациенту в каждой группе получили пересадку почки и два пациента выбыли в другие города; закончили наблюдение с запланированной пятилетней продолжительностью 28 и 13 пациентов. Исходы лечения фиксировались и в случаях перехода в другие диализные центры города.

Исходно группы не различались по основным клинико-лабораторным параметрам (Таблица 1).

В исследуемой группе по результатам клинического обследования и анализа биоимпеданса целевой вес был увеличен у 13 пациентов в среднем на $1,3 \pm 0,9$ кг, уменьшен у 26 пациентов ($-1,1 \pm 0,4$ кг), у 12 – не изменён. За трехмесячный период последующего клинического наблюдения (без использования данных МБИС и BIVA) в контрольной группе у 19 пациентов целевой вес увеличился в среднем на $1,3 \pm 0,9$ кг, у 26 уменьшился ($-1,2 \pm 0,8$ кг), у 2 не изменился.

Исходный вес после диализа не различался между сложившимися подгруппами в однофакторном дисперсионном анализе ($F=0,498$; $p=0,684$) и при попарном сравнении ($p>0,4$) – Таблица 2.

В подгруппах со снижением и повышением целевого веса через месяц отмечена соответствующая

Таблица 1 | Table 1

Исходные клинико-лабораторные показатели пациентов (N=98)
Baseline clinical and laboratory characteristics of the patients (N=98)

Параметр	Контрольная группа (N=47)	Исследуемая группа (N=51)	Различие групп, (t) p
Возраст, лет	62,8 (15,4)	63,1 (13,3)	(-0,122) 0,903
Пол (женский/мужской)	21/26	24/27	($\chi^2=0,1$) 0,814
Индекс коморбидности	6,1 (2,2)	6,2 (3,1)	(0,183) 0,855
Диагноз основного заболевания			
Хр. гломерулонефрит	17	15	$\chi^2=1,659$ $p=0,970$
Хр. пиелонефрит	6	7	
Поликистоз почек	8	10	
Гипертоническая болезнь	4	4	
Сахарный диабет 2 типа	3	2	
Сахарный диабет 1 тип	3	2	
Аномалия развития почек	3	4	
Другое	7	4	
Срок ЗПТ до старта исследования	46 (28 – 120)	59 (33 – 104)	(Z=-1,01) 0,31
Рост, см	168 (11)	169 (9)	(-0,607) 0,545
Вес после диализа, кг	75, 2 (16,5)	72,9 (15,5)	(0,710) 0,479
АД систолическое до сеанса	136,2 (24,1)	134,9 (20,6)	(0,298) 0,766
АД диастолическое до сеанса	78, 5 (15,1)	76,3 (12,9)	(0,744) 0,459
АД систолическое после сеанса	132,6 (21,6)	128,9 (20,6)	(0,862) 0,391
АД диастолическое после сеанса	79,0 (14,5)	76,5 (12,5)	(0,920) 0,360
Гемоглобин, г/л	116 (17)	117 (16)	(-0,263) 0,793
Альбумин, г/л	36,1 (3,8)	37,4 (2,8)	(-1,901) 0,060
Фосфаты, ммоль/л	2,13 (0,61)	2,04 (0,59)	(0,748) 0,456
Общий кальций, ммоль/л	2,17 (0,25)	2,22 (0,19)	(-0,974) 0,333
Калий, ммоль/л	5,24 (0,70)	5,00 (0,71)	(1,596) 0,114
Kt/V	1,51(0,24)	1,51 (0,21)	(0,108) 0,914
стБВА г/кг/сут	0,77 (0,18)	0,76 (0,16)	(0,507) 0,613
Первое биоимпедансное исследование			
Гипергидратация, л	1,17 (2,02)	1,12 (1,64)	(0,144) 0,886
Общий объем воды	33,1 (6,7)	32,8 (5,7)	(0,195) 0,845
Вода тела, %	44,3 (7,0)	45,6 (6,5)	(-0,92) 0,36
Внеклеточная жидкость, л	15,31 (3,00)	15,04 (2,48)	(0,486) 0,628
Внеклеточная жидкость, %	20,4 (2,4)	20,9 (2,5)	(-0,892) 0,375
Внутриклеточная жидкость, л	17,75 (4,44)	17,76 (3,71)	(-0,012) 0,99
Внутриклеточная жидкость, %	23,9 (5,5)	24,7 (4,6)	(-0,784) 0,435
Клеточная масса, кг	25,4 (6,3)	25,4 (5,3)	(0,000) 1,000
Фазовый угол, %	5,2 (1,2)	5,3 (1,1)	(0,039) 0,969
Индекс безжировой массы, кг/м ²	17,05 (2,71)	17,08 (2,31)	(-0,07) 0,944
Индекс массы жира, кг/м ²	9,83 (4,16)	8,53 (4,15)	(1,557) 0,123

ЗПТ – заместительная почечная терапия; АД – артериальное давление; стБВА – стандартизованный эквивалент выведения азота (=nPCR), Kt/V – индекс дозы диализа

Таблица 2 | Table 2

Исходный вес после диализа и его динамика по результатам оценки гидратации (N=98)
Post-dialysis weight at baseline and its changes according to hydration assessment (N=98)

Подгруппы	Исходный вес после диализа, кг	Назначенное изменение, кг	Последующая динамика, кг	(t); p
Исследуемая	По результатам оценок в исследуемой группе целевой вес:			
снижен (N=26)	70,70 (15,39)	-1,1 (0,4)	-0,89 (0,72)	(-6,303); <0,001
сохранен (N=12)	75,66 (20,13)	0	0,18 (0,32)	(1,949); 0,077
увеличен (N=13)	74,63 (10,50)	1,3 (0,9)	1,09 (0,79)	(4,780); <0,001
Контрольная (N=47)	75,16 (16,50)	–	0,45 (1,73)	(1,783); 0,081
ВСЕ (N=98)	73,97 (15,92)	–	0,14 (0,79)	(1,215); 0,231

Таблица 3 | Table 3

Различия в динамике перидиализного артериального давления в группах (N=98)
Changes in peridialysis blood pressure dynamics between groups (N=98)

Параметр	Контрольная группа (N=47)	(t) p	Исследуемая группа (N=51)	(t) p
АД систолическое до сеанса, мм рт.ст., исходно	136,2 (24,1)	[0,171] 0,865**	137,0 (22,1)	
динамика за сеанс, исходно	2,6 (12,1)	[1,411] 0,161*	3,7 (16,3)	[1,621] 0,111*
АД систолическое до сеанса, мм рт.ст., 3-й месяц	138,4 (24,4)	[1,473] 0,148**	131,6 (23,2)	
динамика за сеанс, 3-й мес.	4,2 (13,3)	[2,005] 0,051*	9,0 (12,7)	[3,871] 0,048*
размер эффекта, мм рт.ст.	1,6 (12,7)	0,54	5,3 (13,0)	0,04
размер эффекта, (в SD)	0,12 (0,21)		0,40 (0,20)	

АД – артериальное давление; (t) p – параметры сравнения двух групп (**) и проверка отличия от 0 динамики АД за сеанс.

статистически значимая динамика, несколько отличающаяся в меньшую сторону от необходимой для достижения формально определенного целевого веса – в отличие от контрольной группы в целом и подгруппы с сохраненным целевым весом после проведения оценки биоимпеданса.

На этом фоне в ИГ в отличие от КГ наблюдалось достоверное снижение общего числа осложнений в месяц: 32 vs. 52 за исходный и третий месяц после обследования (за 663 сеанса гемодиализа в месяц), $\chi^2=4,588$ с поправкой Йейтса; $p=0,033$. Это изменение происходило в основном, за счет уменьшения числа случаев подъема АД во время процедуры: 15 vs. 34 $\chi^2=6,866$; $p=0,009$.

В целом ни в ИГ, ни в КГ не наблюдалось достоверной динамики артериального давления за время процедуры ГД. Однако среди пациентов ИГ, имевших эпизоды подъема АД до начала коррекции (N=12), имела место тенденция к снижению выраженности гипертензии от исходного к третьему месяцу, не достигающая статистической достоверности: АД после ГД: 145/84 vs. 133/76 мм рт.ст., $p=0,068$). Напротив, среди пациентов с тенденцией к гипотонии в ИГ (N=15) наблюдалось достоверное

увеличение артериального давления на фоне коррекции: АД после ГД: 107/64 vs. 124/75 мм рт.ст., $p<0,05$. В КГ не наблюдалось сходных тенденций к изменению АД.

В Таблице 3 представлены различия в динамике перидиализного артериального давления в КГ и ИГ за три месяца после коррекции целевого веса.

В исследуемой группе достигнуто большее снижение артериального давления за время проведения сеанса; размер эффекта в сравнении с контрольной группой составил 5,3 мм рт.ст.

Повторное измерение биоимпеданса позволило оценить потребность в дополнительной коррекции целевого веса (Рисунок 2). В исследуемой группе более половины (65%) пациентов не потребовали повторной коррекции целевого веса через три месяца в отличие от пациентов контрольной группы, коррекция целевого веса у которых шла по более сложной траектории.

По данным регистра пациентов на заместительной почечной терапии прослежена последующая выживаемость пациентов от даты начала исследования во всей группе (Рисунок 3А), а также в подгруппе пациентов со снижением целевого веса по результа-

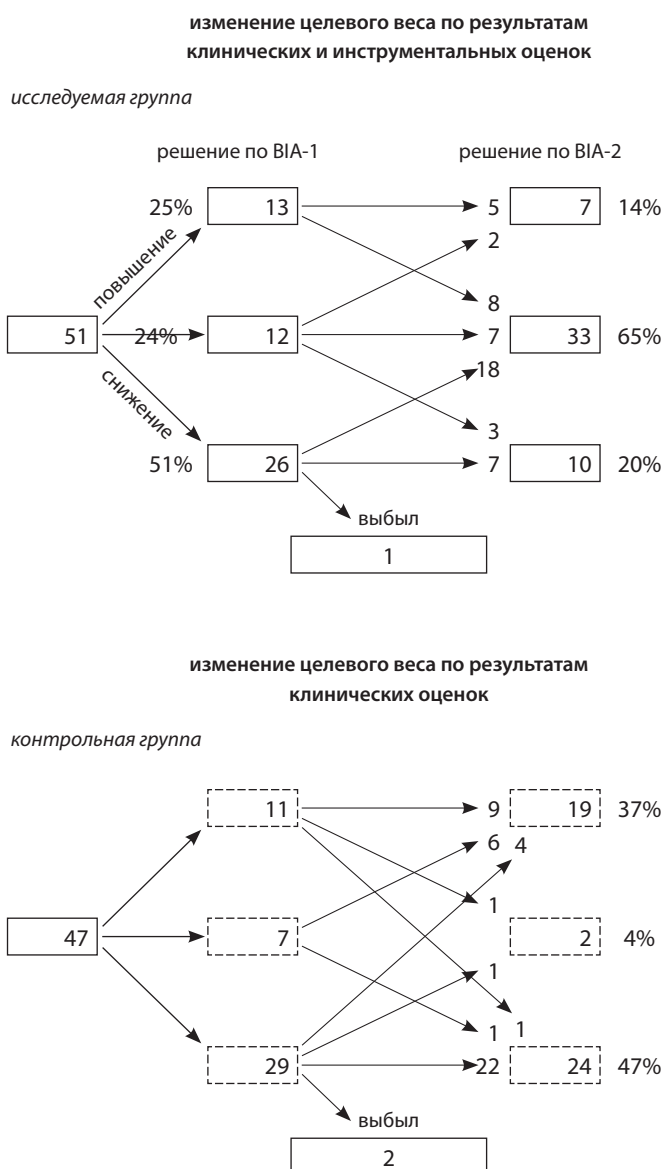


Рис. 2. Изменения целевого веса по результатам клинических и инструментальных оценок в исследуемой группе (сверху) в сравнении с таковой в контрольной группе на основании только клинических оценок (снизу). Пунктирными прямоугольниками обозначены проведенные, но не использованные в коррекции сухого веса исследования биоимпеданса.

Fig. 2. Changes in target weight based on clinical and instrumental assessments in the study group (top) compared with changes based solely on clinical assessments in the control group (bottom). Dotted rectangles represent bioimpedance studies performed but not used for dry weight correction.

там инструментального обследования (Рисунок 3В). Выживаемость в ИГ превышала таковую в контрольной ($\chi^2=4,096$; $p=0,043$), при этом активная дегидратация не сопровождалась худшей выживаемостью ($\chi^2=2,454$; $p=0,117$) в сравнении с сохранением или увеличением целевого веса.

При анализе выживаемости от начала заместительной почечной терапии различия становятся статистически незначимыми (Log Rank (Mantel-Cox) $\chi^2=3,071$; $p=0,080$). Сроки заместительной почечной терапии до начала исследования в контрольной и исследуемой группе составили 46 (28-120) и 59 (33-104)

месяцев ($Z=-1,006$; $p=0,314$), а общие срок лечения 99 (71-177) и 111 (78-156) месяцев ($Z=-0,711$; $p=0,477$).

В регрессионном анализе Кокса в сравнении с КГ только подгруппа с повышением целевого веса характеризовалась значимо меньшим риском смерти (ОШ 0,216; 95%ДИ 0,052-0,903; $p=0,036$); уменьшение риска в подгруппе с подтверждением целевого веса на прежнем уровне не достигало статистической значимости (ОШ 0,380; 95%ДИ 0,123-1,075; $p=0,036$); а для группы со снижением целевого веса риск практически не отличался от контроля (ОШ 0,911; 95%ДИ 0,486-1,709; $p=0,772$).

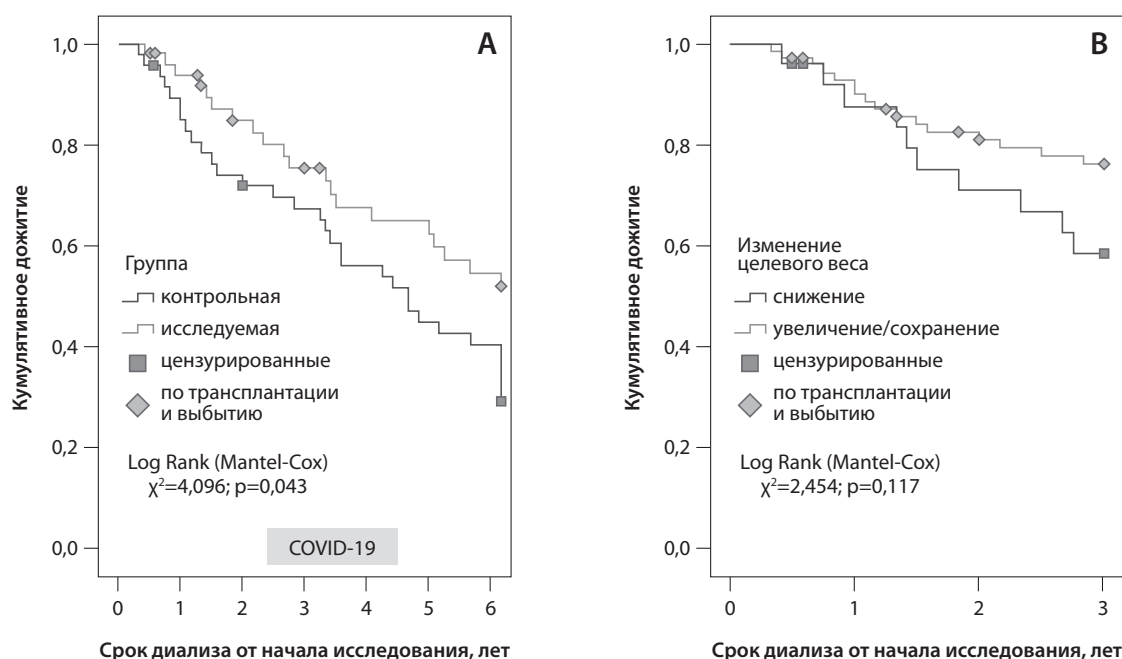


Рис. 3. А. Выживаемость пациентов по группам с отсчетом срока лечения от начала исследования (вмешательства); срок распространения COVID-19 обозначен над горизонтальной осью графика (N=47/51);

Рис. 3. Б. Выживаемость пациентов со снижением целевого веса по результатам инструментального обследования в сравнении с остальными пациентами; срок оценки ограничен тремя годами (N=26/72)

Fig. 3. A. Patient survival by treatment duration from the start of the study initiation (intervention); the period of COVID-19 spread is marked above the horizontal axis (N=47/51); **B.** Patients survival in those with a target weight reduction based on instrumental assessment compared with other patients; evaluation period limited to three years (N=26/72)

Обсуждение

Во многих исследованиях вслед за инструментальной (или клинической и инструментальной) оценкой следует минимальное вмешательство, которое, по-видимому, недостаточно, чтобы улучшить суррогатные и, тем более – твердые исходы лечения. Mathilakath NC et al. добавляли 500 мл УФ при выявлении гипергидратации >1,1 л [20]. Jongejan M. et al при выявлении интрадиализной гипотонии с высокой частотой и под контролем оценки объема крови увеличивали целевой вес на 0,5 кг [12]. Некоторые работы указывают на лучший контроль гидратации клиническими методами, чем с использованием биоимпеданса (судя по снижению N-терминального фрагмента мозгового натриуретического пептида) [21]. По результатам биоимпедансного исследования протокол предполагал снижение целевого веса на 0,5 кг (тогда как при клинических оценках допускается большая коррекция). В этих условиях проводимые мета-анализы РКИ не подтверждают достоверное снижение риска твердых неблагоприятных исходов (RR=0,72; 95%ДИ 0,42-1,22) [22], непостоянно фиксируя лишь эффективность в отношении лабораторных маркеров или интрадиализной гемодинамической стабильности. Кроме того, многие исследования построены на однократной оценке биоимпеданса и лишь единичные де-

монстрируют эффекты повторных (протокольных) измерений [8]. Наше открытое рандомизированное исследование включало шестимесячную коррекцию целевого веса в диапазоне от -2,0 до +1,5 кг с последующей оценкой выживаемости наряду с анализом эффективности вмешательства для интрадиализной гемодинамической стабильности и демонстрацией большей упорядоченности в движении к целевому весу в сравнении со стандартной клинической практикой.

Существенно то, что интенсивная дегидратация несет в себе несомненные риски, к которым может привести формальное следование оценкам биоимпеданса. Коррекция сухого веса по результатам BIS увеличивало риск нежелательных явлений, особенно эпизодов гиповолемии [19]. Вне зависимости от метода оценки «сухого веса», современное определение этого понятия звучит как «Минимальный переносимый постдиализный вес пациента, достигнутый постепенным снижением веса, при котором присутствуют минимальные симптомы дегидратации или гипергидратации» [23]. В нашем исследовании увеличение рисков, связанных со снижением веса не достигло статистической значимости (Рисунок 3В), что было обусловлено внесением в протокол использования биоимпедансного исследования дополнительных ограничений по темпам снижения веса.

Мы можем предполагать распространимость выводов исследования, по крайней мере, на всю популяцию городских пациентов на заместительной почечной терапии, поскольку включенные пациенты не отличались по исходным клинико-лабораторным характеристикам от всех пациентов городского регистра заместительной почечной терапии [24].

Ограничение исследования. По дизайну исследования не предполагалось трудноосуществимое ослепление, и оно проведено в варианте открытого рандомизированного исследования. Ограниченный объем выборки (N=98) не позволил в ряде случаев подтвердить или отвергнуть статистическую значимость различий и связей. Примерно через 2 года от старта исследования началась эпидемия COVID-19,

резко увеличившая летальность пациентов на диализе (от 9% к 25% в год), что нарушило пропорциональность рисков во времени при анализе выживаемости, что, возможно, сказалось на результатах.

Заключение. Использование комплексного алгоритма коррекции «сухого» веса, включающего мультичастотную биоимпедансную спектроскопию с определением расчетного коэффициента гипергидратации, векторный анализ биоимпеданса и оценку клинических признаков нарушения гидратационного статуса может способствовать снижению частоты осложнений, снижению выраженности артериальной гипертензии и повышению гемодинамической стабильности во время процедуры, а также улучшению выживаемости пациентов.

Источник финансирования:

Исследование не имело внешнего финансирования.

Funding source:

The study had no external funding.

Конфликт интересов:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests:

The authors declare no conflict of interest.

Вклад авторов:

ВКА – концепция и дизайн исследования, анализ данных, написание и окончательное редактирование текста рукописи; ГРП – дизайн исследования, сбор, обработка и анализ данных, написание исходного варианта текста; ДЕС, ВОВ, ТЕП, ФЕВ – сбор, обработка и анализ данных, написание исходного варианта текста. Все авторы прочли и одобрили окончательный текст статьи.

Author's contribution:

VKA – research concept and design, data analysis, writing and final editing of the manuscript text; GRP – research design, data collection, processing and analysis, writing the original text; DES, WWII, TEP, FEB – data collection, processing and analysis, writing the original text. All the authors have read and approved the final text of the article.

Исследование было одобрено локальным этическим комитетом по клиническим исследованиям при СПб ГБУЗ «Городская больница №15» от 10 апреля 2019 года, протокол заседания №224.

The study was approved by the local Ethical Committee for Clinical Research at St. Petersburg State Medical Institution City Hospital No. 15 on April 10, 2019, protocol No. 224.

Информация об авторах:

Вишневский Константин Александрович – канд.мед.наук, заведующий отделением диализа городского нефрологического центра СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», ассистент кафедры внутренних болезней, нефрологии, общей и клинической фармакологии с курсом фармации ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова, <https://orcid.org/0000-0001-6945-4711>, e-mail: vishnevskii2022@mail.ru;

Герасимчук Роман Павлович – канд.мед.наук, врач отделения диализа городского нефрологического центра СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», ассистент кафедры внутренних болезней, нефрологии, общей и клинической фармакологии с курсом фармации ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова, <https://orcid.org/0009-0009-2309-8083>; e-mail: romger@rambler.ru

Дудаш Екатерина Сергеевна – врач отделения хронического гемодиализа СПбГБУЗ «Городская больница №15», <https://orcid.org/0009-0001-1696-642X>; e-mail: katuxa_spb_92@mail.ru

Волкова Ольга Валерьевна – врач отделения хронического гемодиализа СПбГБУЗ «Городская больница №15», <https://orcid.org/0009-0000-5387-1270>; e-mail: olgavolk2000@mail.ru

Турбасова Елена Павловна – врач отделения хронического гемодиализа СПбГБУЗ «Городская больница №15», <https://orcid.org/0009-0009-7326-7690>; e-mail: turbasova.e@yandex.ru

Фролова Екатерина Валентиновна – врач отделения хронического гемодиализа СПбГБУЗ «Городская больница №15», <https://orcid.org/0009-0001-4143-269X>; e-mail: ekat_frolova@mail.ru

Author's information:

Konstantin Alexandrovich Vishnevskii, <https://orcid.org/0000-0001-6945-4711>, e-mail: vishnevskii2022@mail.ru

Roman Pavlovich Gerasimchuk, <https://orcid.org/0009-0009-2309-8083>; e-mail: romger@rambler.ru

Dudash Ekaterina Sergeevna, <https://orcid.org/0009-0001-1696-642X>; e-mail: katuxa_spb_92@mail.ru

Volkova Olga Valeryevna, <https://orcid.org/0009-0000-5387-1270>; e-mail: olgavolk2000@mail.ru

Turbasova Elena Pavlovna, <https://orcid.org/0009-0009-7326-7690>; e-mail: turbasova.e@yandex.ru

Frolova Ekaterina Valentinovna, <https://orcid.org/0009-0001-4143-269X>; e-mail: ekat_frolova@mail.ru

Список литературы

1. Witzemann V, Wabel P, Chamney P et al. The mortality risk of overhydration in haemodialysis patients. *Nephrol Dial Transplant* 2009;24:1574-1579; DOI: 10.1093/ndt/gfn707
2. Pinter J, Canaud B, Mayne KJ et al. Associations of Abnormal Fluid Status, Plasma Sodium Disorders, and Low Dialysate Sodium with Mortality in Patients on Hemodialysis. *Clin J Am Soc Nephrol*. 2024;19(11):1444-1452. DOI: 10.2215/CJN.0000000000000552.
3. McIntyre CW. Update on Hemodialysis-Induced Multiorgan Ischemia: Brains and Beyond. *J Am Soc Nephrol*. 2024;35(5):653-664. DOI: 10.1681/ASN.0000000000000299.
4. Anazodo UC, Wong DY, Théberge J et al. Hemodialysis-Related Acute Brain Injury Demonstrated by Application of Intradialytic Magnetic Resonance Imaging and Spectroscopy. *J Am Soc Nephrol*. 2023;34(6):1090-1104. DOI: 10.1681/ASN.0000000000000105.
5. Vanderlinden J, Wong D, Chiu M et al. Peritoneal Dialysis Patients Exhibit Quantifiable Neurocognitive Impairment but Not Acute Ischemic Brain Injury: A Magnetic Resonance Spectroscopy and Diffusion Tensor Imaging Study. *J Am Soc Nephrol*. 2023;34(11S):913, SA-PO666. DOI: 10.1681/ASN.20233411S1913b
6. Marants R, Qirjazi E, Lai KB et al. Exploring the Link Between Hepatic Perfusion and Endotoxemia in Hemodialysis. *Kidney Int Rep*. 2021;6(5):1336-1345. DOI: 10.1016/j.ekir.2021.02.008
7. Wu TK, Lim PS, Jin JS et al. Impaired Gut Epithelial Tight Junction Expression in Hemodialysis Patients Complicated with Intradialytic Hypotension. *Biomed Res Int*. 2018;2018:2670312. DOI: 10.1155/2018/2670312.
8. Hecking M, Madero M, Port FK et al. Fluid volume management in hemodialysis: never give up! *Kidney Int*. 2023;103(1):2-5. DOI: 10.1016/j.kint.2022.09.021.
9. Schotman J, Rolleman N, van Borren M et al. Accuracy of Bioimpedance Spectroscopy in the Detection of Hydration Changes in Patients on Hemodialysis. *J Ren Nutr*. 2023;33(1):193-200. DOI: 10.1053/j.jrn.2021.11.004.
10. Jaffrin MY, Morel H. Body fluid volumes measurements by impedance: A review of bioimpedance spectroscopy (BIS) and bioimpedance analysis (BIA) methods. *Med Eng Phys*. 2008;30(10):1257-69. DOI: 10.1016/j.medengphy.2008.06.009.
11. Вишневский КА, Герасимчук РП, Земченков АЮ. Коррекция «сухого веса» у больных, получающих лечение программным гемодиализом по результатам векторного анализа биоимпеданса. *Нефрология*. 2014;18(2):61-71. [Vishnevskii KA, Gerasimchuk RP, Zemchenkov A. «Dry weight» correction in hemodialysis patients based on the results of bioimpedance vector analysis. *Nephrology* (Saint-Petersburg). 2014;18(2):61-71. (In Russ.); EDN: SCNTCP
12. Jongejan M, Gelinck A, van Geloven N et al. Effect of absolute blood volume measurement-guided fluid management on the incidence of intradialytic hypotension-associated events: a randomised controlled trial. *Clin Kidney J*. 2024;17(5):sfac128. DOI: 10.1093/ckj/sfac128.
13. Zhou J, An Q, Hou X. Dynamic changes and prognosis of pulmonary congestion by lung ultrasound in hemodialysis patients: a systematic review and meta-analysis. *Med Ultrason*. 2023;25(2):208-215. DOI: 10.11152/mu-3654.
14. Kristuli L, Lai S, Perrotta AM et al. Bioelectrical Impedance Vector Analysis and Brain Natriuretic Peptide in the Evaluation of Patients with Chronic Kidney Disease in Hemodialytic Treatment. *Kidney Blood Press Res*. 2023;48(1):1-6. DOI: 10.1159/000524140.
15. Elgenidy A, Amin MA, Awad AK et al. The use of lung ultrasound in evaluation of extravascular lung water in hemodialysis patients: Systematic review and meta-analysis. *Hemodial Int*. 2024;28(2):148-161. DOI: 10.1111/hdi.13141.
16. Noori N, Sharma Parpia A, Wald R, Goldstein MB. Validation of the SMH Equations for the Estimation of the Total Body Water Volume in Hemodialysis Patients. *Can J Kidney Health Dis*. 2022 Nov 22;9:20543581221137180. DOI: 10.1177/20543581221137180.
17. Nieves-Anaya I, Vargas MB, García OP et al. Effect of oral nutritional supplementation combined with impedance vectors for dry weight adjustment on the nutritional status, hydration status and quality of life in patients on chronic hemodialysis: A pilot study. *Clin Nutr ESPEN*. 2023;54:23-33. DOI: 10.1016/j.clnesp.2022.12.023.
18. Zhang Z, Yin D, Chen H et al. Evaluation of anemia, malnutrition, mineral, and bone disorder for maintenance hemodialysis patients based on bioelectrical impedance vector analysis (BIVA). *Clin Exp Nephrol*. 2020;24(12):1162-1176. DOI: 10.1007/s10157-020-01945-1.
19. Flythe JE, Chang TI, Gallagher MP et al. Blood pressure and volume management in dialysis: conclusions from a Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO) Controversies Conference. *Kidney Int*. 2020;97(5):861-876. DOI: 10.1016/j.kint.2020.01.046.
20. Mathilakath NC, Selvaraj J, Parameswaran S et al. Prevalence of Overhydration in Patients on Maintenance Haemodialysis As Determined by Body Composition Monitor and Effects of Attaining Target Dry Weight. *Cureus*. 2022;14(9):e29509. DOI: 10.7759/cureus.29509.
21. Sommerer C, Felten P, Toernig J et al. Bioimpedance analy-

sis is not superior to clinical assessment in determining hydration status: A prospective randomized-controlled trial in a Western dialysis population. *Hemodial Int.* 2021; 25(3):380-390. DOI: 10.1111/hdi.12919.

22. Yang K, Pan S, Yang N *et al.* Effect of bioelectrical impedance technology on the prognosis of dialysis patients: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Ren Fail.* 2023;45(1):2203247. DOI: 10.1080/0886022X.2023.2203247.

23. Sinha AD, Agarwal R. Can chronic volume overload be recognized and prevented in hemodialysis patients? The pitfalls of the clinical examination in assessing volume status. *Semin Dial.*

2009;22(5):480-2. DOI: 10.1111/j.1525-139X.2009.00641.x.

24. Вишневский КА, Паршина ЕВ, Земченков АЮ и соавт. Анализ выживаемости в регистре пациентов на заместительной почечной терапии крупного города (многоцентровое проспективное когортное наблюдательное исследование). *Нефрология и диализ.* 2025;27(1):59-79. [Vishnevskii KA, Parshina EV, Zemchenkov A *et al.* Analysis of patient's survival on renal replacement therapy in a large city: a multicenter prospective cohort observational study. *Nephrology and Dialysis.* 2025;27(1):59-79. (In Russ.)] DOI: 10.28996/2618-9801-2025-1-59-79

Дата получения статьи: 13.06.2025

Дата принятия к печати: 22.07.2025

Submitted: 13.06.2025

Accepted: 22.07.2025