

Сокол Е.И.
Томашевский Р.С.
Ткачук Б.В.

г. Харьков

АППАРАТНЫЙ КОНТРОЛЬ СТЕПЕНИ ГИДРАТАЦИИ ПАЦИЕНТА ПРИ ПРОЦЕДУРЕ ГЕМОДИАЛИЗА

Аннотация

Ключові слова: гемодиализ, биоимпедансометрия, «сухой вес», гипергидратация, водный баланс.

Введение. Когда почки не способны выполнять работу по жизнеобеспечению организма из-за заболевания или повреждения, развивается состояние, которое называют почечной недостаточностью. Почечная недостаточность может быть острой и хронической. Острая почечная недостаточность это состояние, при котором снижается или прекращается выделение мочи в результате внезапного нарушения работы почек. Это состояние обычно обратимо, если устранена причина, его вызвавшая. Хроническая почечная недостаточность это необратимое состояние, при котором большая часть нефронов уничтожена заболеванием. Хроническая почечная недостаточность является конечной стадией разнообразных болезней почек. Сохранение жизни такого больного, возможно только при условии трансплантации почки или систематического проведения заместительной терапии, в виде перитонеального диализа и гемодиализа [1].

Гемодиализ – это процесс удаления из крови токсичных веществ и избыточной жидкости путем продолжительной циркуляции крови через специальный фильтр, на аппарате “искусственная почка”. По данным МОЗ Украины количество хронических больных, которые получают лечение методом гемодиализа, в 2012 году превысило 450 тыс. человек. И эта цифра неуклонно продолжает расти.

В процессе гемодиализа, из крови пациента выводятся вредные для организма продукты обмена, а также лишняя жидкость, накапливаемая в организме при ухудшении или полной остановки функционирования почек. Важной задачей для врачей, является определение количества избыточной жидкости, необходимой к удалению аппаратом «искусственная почка». Состояние больного избавленного от лишней жидкости называется «сухим весом». Достичь «сухого веса» означает восстановить нормальные процессы обмена веществ, обеспечить пациенту стабильное артериальное давление и другие жизненные показатели. Чрезмерное же или неконтролируемое удаление жидкости может привести к потере сознания, коллапсу и даже летальному исходу.

Объективная оценка статуса гидратации крайне важна на всех фазах лечения хронической и острой почечной недостаточности. Но до настоящего времени, диагностические возможности динамического наблюдения за состоянием водного баланса являются ограниченными и степень гипергидратации определяется на основе клинических симптомов, таких как гипертензия, дыхательные расстройства или отек. Однако, подобные симптомы обычно возникают в лишь выраженной крайней гипергидратации и могут являться следствием других причин.

Поэтому в наших клиниках, при проведении процедуры гемодиализа, врачи часто ограничиваются субъективным определением количества избыточной жидкости, исходя из витальных признаков пациента (наличие отеков, повышенные или пониженные артериальное давление и пульс и др.)

Цель данной работы – создание методики контроля гидратации пациента, при проведении процедуры гемодиализа, методом биоимпедансометрии и её аппаратная реализация.

Медицинские аспекты. Основу биологических жидкостей составляет вода с растворенными в ней электролитами. Важнейшая функция жидких сред организма — транспорт и обмен веществ. Вода является основным компонентом человеческого организма. Взрослый мужчина приблизительно на 60 %, а женщина — на 55 % состоят из воды. Общая жидкость организма рассматривается как сумма клеточной и внеклеточной жидкости:

$$V_{\text{общ}} = V_{\text{кж}} + V_{\text{вкж}}; \quad (1)$$

Внеклеточная жидкость подразделяется на несколько типов:

Интерстициальная жидкость — жидкость, которая окружает клетки и заполняет микроскопические пространства между клетками в тканях (рис. 1). Схематическое распределение жидкостей в организме изображено на рисунке 2.

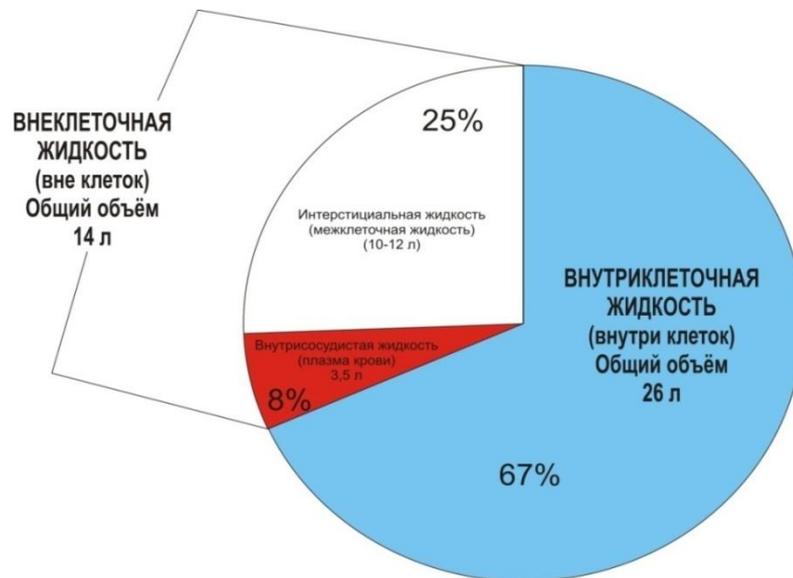


Рисунок 1 Распределение воды в организме человека

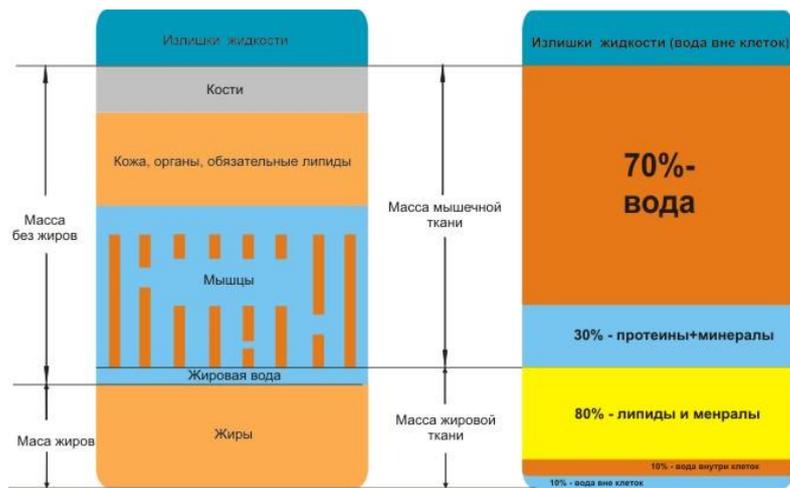


Рисунок 2 Схематическое изображение состава тела человека

Внутрисосудистая жидкость — жидкость, находящаяся внутри сосудистого русла. Трансцеллюлярная жидкость это жидкость, содержащаяся в специализированных полостях тела.

К трансцеллюлярной жидкости относятся спинномозговая, перикардиальная, плевральная, синовиальная и внутриглазная, а также пищеварительные соки [2].

Для поддержания здоровья жизненно необходимо, чтобы общее количество воды в организме и ее распределение между отдельными компартментами, сохранялось на постоянном уровне:

$$V_{вкж} = 40\%V_{общ}; \quad (2)$$

$$V_{кжс} = 60\%V_{общ}; \quad (3)$$

Особую важность регуляция водного баланса имеет у больных с почечной недостаточностью, у которых естественная регуляция жидких сред нарушена, и выведение излишек жидкости производится аппаратом «искусственная почка».

Методы определения водного статуса организма. Для определения водного баланса пациентов в современной медицинской практике применяется большое количество разнообразных методов (Таблица 1).

Метод разведения индикатора, это метод при котором, внутривенно вводится вещество бромистого или меченого хлористого натрия, тиоцианата тиосульфата, инсулина и др., которое, попав в кровяное русло, распределяется во всем объеме измеряемого жидкостного сектора, и через некоторый период, когда концентрацию индикатора в данном жидкостном секторе считают постоянной, забирается проба крови. Определение содержания введенного вещества в пробе крови позволяет рассчитать, в каком объеме произошло разведение.

$$V_{общ} = \frac{N_{введ\ вец-ва}}{N_{пробы\ в\ равновесном\ сост}}; \quad (4)$$

При исследовании биохимии крови также можно определить общее количество жидкости в организме пациента, произведя анализ ее осмоляльности. Такая же

возможность существует и при применении гемодинамического мониторинга, который представляет собой, измерение центрального венозного давления или легочного артериального давления с помощью катетера введенного в правое предсердие или легочную артерию.

Первые четыре метода (см. таблица 1), дают возможность определить общий статус жидкостных сред организма. Далее необходимы дополнительные расчеты для определения «сухого веса» пациента. Пятый и шестой методы, позволяют определить лишь факт гипер- или дегидратации, без уточнения численных параметров избыточной или недостающей жидкости.

Таблица 1 Анализ современных методов определения гидратации пациента

№ П/П	Метод	Простота метода	Возможность динамических измерений	Неинвазивность	Достоверность	Невысокая сложность манипуляций	Невысокая себестоимость оборудования и процедуры
1	Метод разведения индикатора	-	+	-	+	-	-
2	Биохимический анализ крови	+	-	-	+	+	+
3	Гемодинамический мониторинг	-	+	-	+	-	+
4	Томографическое исследование	+	-	+	+	+	-
5	Осмотр витальных признаков пациента	+	+	+	-	+	+
6	Ежедневное взвешивание	+	-	+	-	+	+
7	Метод биоимпедансометрии	+	+	+	+	+	+

Наиболее целесообразен для аппаратного определения «сухого веса» пациента только метод биоимпедансометрии.

В мировой медицинской практике неинвазивные биоимпедансные методы диагностики получили широкое распространение в клинической практике отделений функциональной диагностики, в основном для оценки параметров гемодинамики сердечно-сосудистой системы, но практически не используются в области мониторинга водного баланса, и тем более, при проведении процедур гемодиализа. Развития данного метода в направлении оборудования для гемодиализа до сих пор нет, по причине ограниченного контингента диализных больных и экономической незаинтересованности производителей медицинского оборудования.

Существующие аппараты для биоимпедансометрии. В настоящее время для мониторинга баланса водных сред организма, производителями разных стран выпускается большое количество аппаратуры. В таблице 2 приведены технические характеристики основных видов биоимпедансометрических анализаторов (БИА).

Таблица 2 Технические характеристики существующих приборов для биоимпедансометрии

Модель	Частоты, кГц	Диапазон измер., Ом	Отображение, расчет	Вывод на печать	Интерфейс ПК
Приборы фирмы RJL Systems, США (www.rjlsystems.com)					
Quantum II	50	0-1000	R, X _c	Через ПК	Нет
Quantum X	50	0-1000	R, X _c	Через ПК	Нет
Quantum II Desktop	50	0-1000	R, X _c , Z, ф,	Внешний принтер	RS-232
Quantum III	50	0-1000	Состав тела	Внешний принтер	Радио интерфейс
Приборы фирмы Bodystat, Великобритания (www.bodystat.com)					
Bodystat 1500	50	20-1300	R, Состав тела	Внешний принтер	Нет
Bodystat 1500 MDD	5,50	20-1300	R, X _c , ф, Состав тела	Внешний принтер	Bluetooth
QuadScan 4000	5,50,100,200	20-1300	R, X _c , ф, Состав тела	Внешний принтер	Bluetooth
Приборы Data Input, Германия (www.data-input.de)					
Nutriguard-S	50	0-1300	R, X _c	Через ПК	Нет
Nutriguard-M	5,50 или 100	0-1300	R, X _c	Через ПК	Нет
Прибор Медасс, Россия					
ABC-01 «Медасс»	От 5 до 500	0-90 0-180 0-450 0-900	R, X _c , ф, Состав тела	Через ПК	USB

Современные БИА работают в широком диапазоне частот (от 5 до 500 кГц) и широком диапазоне измеряемого импеданса (0-1300 Ом). Задачи существующих приборов сводятся к определению уровня общей воды, клеточной и внеклеточной ее составляющих, а также компонентного состава тела. Недостатком является то, что при проведении процедуры гемодиализа, эти данные мало информативны. В данном случае важным является точное определение границы, при которой необходимо прекратить удаление жидкости на процедуре, что соответствует состоянию нормогидратации или «сухому весу». Погрешность определения границы нормогидротации не должна превышать 500 мл.

Биоимпедансный метод оценки водного статуса пациента. Биоимпедансный метод основан на измерении импеданса Z всего тела или отдельных сегментов тела с использованием специальных приборов — биоимпедансных анализаторов. Электрический импеданс биологических тканей имеет два компонента: активное R и реактивное сопротивление X_c , связанные соотношением:

$$Z^2 = R^2 + X_c^2; \quad (5)$$

Составляющей активного сопротивления R в биологическом объекте являются жидкости (клеточная и внеклеточная), обладающие ионным механизмом проводимости. Составляющей реактивного сопротивления X_c являются клеточные мембраны. Биоимпедансный анализ состава тела заключается в оценке количества жидкости в

биообъекте, так как именно жидкая среда создает активную составляющую проводимости [3].

Электрический ток может протекать, огибая клетки и через клетки, как показано на рис. 6,а. Границы клеток образованы мембранами, которые по своим электрическим свойствам являются конденсаторами с зависящей от частоты переменного тока емкостью.

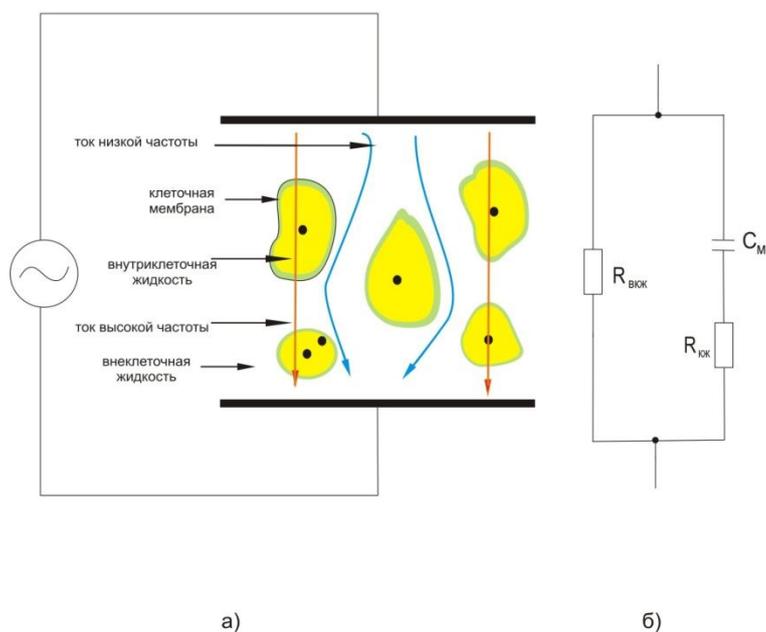


Рисунок 6 Прохождение электрического тока через единичный участок ткани (а), эквивалентная схема объекта (б).

Эквивалентная схема биообъекта (рис. 6,б) содержит сопротивление внеклеточной жидкости $R_{вжк}$, сопротивление клеточной жидкости $R_{кжк}$ и емкость мембран C_m . Чтобы определить объем внеклеточной жидкости, необходимо измерять импеданс на постоянном токе, так как в этом случае клеточные мембраны остаются непроницаемыми, и внутриклеточная жидкость не влияет на результат измерения. Для определения общей жидкости организма, необходимо измерять импеданс на бесконечно большой частоте, когда ток проходит через клетку [4].

Существующая, общепринятая, эквивалентная схема (рис. 6,б) описывает состояние еденичного участка ткани, в который входит клетка с межклеточной жидкостью. Она никак не учитывает возможность мониторинга изменения сопротивлений излишка жидкости, удаляемой при процедуре гемодиализа. Существуют попытки разработать подобную схему, но пока они не дают адекватных результатов [5].

Выводы: В ходе работы была обоснована целесообразность выбора метода биоимпедансометрии для мониторинга водного баланса пациента, а также необходимость разработки новой модели, позволяющей описать и математически представить движение жидкости в организме пациента на гемодиализе. Это даст возможность найти ту величину «сухого веса», при которой, необходимо прекратить удаление жидкости при проведении процедуры гемодиализа.

Показана необходимость разработки прибора способного определять объем излишка жидкости в организме и «сухого веса» пациента, а также разработки метода

определения этих параметров, поскольку на данный момент адекватных методик не существует.

Литература

1. Хартиг В. Современная инфузионная терапия. Парентеральное питание. - М.: Издательство «Медицина», 1982. – 469 с.
2. Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технологии и методы определения состава тела человека. - М.: Наука, 2006. - 248 с.
3. Мима М. Горн, Урсула И. Хейтс, Памела Л.Сверинген Водно-электролитный и кислотно-основной баланс. - М.:Binom Publishers 1999, - 320 с.
4. Иванов Г.Г., Николаев Д.В., Балуев Э.П., Закс И.О., Ивлева В.В., Мещеряков Г.Н., Кравченко Н.Р. Метод биоимпедансной спектроскопии в оценке общей воды и внеклеточной жидкости – М.: Новости науки техники, серия МЕДИЦИНА, №3, 1997, С.28 – 33
5. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. - М.: "Наука" 2009, -392 с. - ISBN 978-5-02-036696-1.
6. Родин И. Н. Инструментальное определение «сухого веса» и оптимального объема ультрафильтрации у больных в условиях лечения программным гемодиализом. - Журнал "Нефрология и диализ" Т. 4, 2002 г., №1

References (9 кегль, розбивка 2)

1. Hartig V. Sovremennaya infuzionnaya terapiya. Parenteralnoe pitanie. – М.: Izdatelstvo « Medicina», 1982. – 469 s.
2. Martirosov E.G. Nikolaev D.B. Rudnev S.G., Tehnologii i metodi opredeleniya sostava tela cheloveka. – М.: Nauka, 2006 – 246 s.
3. Mima M. Gorn, Ursula I. Heits, Pamela L. Sviringen Vodno-electrolitniy balans. – М.: Binom Publishers 1999, - 320 s.
4. Ivanov G.G., Nikolaev D.B., Balyev E.P., Zaks I.O., Ivleva V.V., Mecheryacov G.N., Kravchenco N.P. Metod bioimpedansometrii spectrascopii v ocenke obshei void i vnekletochnoi jidcosti. – М.: Novosti nauki i tehniki, seriya Medisina, №3, 1997, 28-33 s.
5. Nikolaev D.B., Smirnov A.B., Bobrinscaya I.G., Rudnev S.G. Bioimpedansnij analiz sostava teva cheloveka. – М.: « Nauka» 2009, - 392 s. - ISBN 978-5-02-036696-1.
6. Rodin I.N. Instrumentalnoe opredelenie «suhogo vesa» I optimalnogo obema ultrafiltracii u bolnih v usloviyah lechenia programnim gemodializom. – Jurnal «Nefrologiya i dializ» T.4, 2002. №1.

Показаны особенности современного развития ВЭД предприятий региона в условиях глобальных сдвигов. Определена роль ВЭД как ключевого фактора обеспечения структурных сдвигов в экономике региона. Обосновано взаимовлияние трансформаций ВЭС предприятий региона и региональной экономической системы в условиях глобальных сдвигов. Ист. 10.

В статье показана важность определения «сухого веса» при проведении процедуры гемодиализа. Проведен сравнительный анализ современных методов определения гидратации пациента. Обоснована целесообразность выбора метода биоимпедансометрии для мониторинга водного баланса пациента. Проведен обзор существующих аппаратов для биоимпедансометрии. Сформулированы направления

Ключові слова: гемодіаліз, біоімпеданс, «суха вага», гіпергідратація, водний баланс.

The features of modern development of the foreign economic activity enterprises of region in the conditions of global displacements were shown. The role of foreign economic activity as a key/clue/ factor of providing of structure / displacements in the economy of region was certified. The interaction of transformations of the foreign economic relations of enterprises of region and the regional economic system in the conditions of global displacements was grounded. Sources 10.

Key of words: hemodialys, bioimpedans, "dry weight", over hydration, water balance

Сокол Е.И., чл.-корр. НАНУ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

Томашевский Р.С., канд. тех. наук, ассистент, НТУ «ХПИ»

Ткачук Б.В., - аспірант НТУ «ХПИ» інженер I кат, ОКЦУН
им .В.И. Шаповала.

Рецензент **Бузько І.Р.**, доктор економічних наук, професор, завідувача кафедрою міжнародної економіки Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.