

© С.В.Калинин, А.Г.Лapidус, 2004
УДК 616.61-008.64-036.12-085.38:541.135

С.В. Калинин, А.Г. Лapidус

ИЗМЕРЕНИЕ КОНДУКТИВНОСТИ ДИАЛИЗАТА И ЕГО ЭЛЕКТРОЛИТНЫЙ СОСТАВ

S.V.Kalinin, A.G.Lapidus

MEASUREMENT OF CONDUCTIVITY OF DIALYSATE AND ITS ELECTROLYTE COMPOSITION

ЗАО "Новэкс-Мед", Москва, Россия

Ключевые слова: гемодиализ, диализат, концентрация натрия, измерение.
Key words: hemodialysis, dialysate, sodium concentration, measurement.

Этот материал написан, как критика некоторых положений и рекомендаций, изложенных авторами в книге «Азбука гемодиализа» [1].

«...Допустим, что через некоторое время датчик кондуктивности диализата искусственной почки стабилизировался на каком-то уровне, например 13,8 мСм/см (рис. 4.2). Возникает вопрос, соответствует ли этот показатель реальной кондуктивности и какова концентрация натрия в диализате?...» [1].

Значение проводимости, которое показывает прибор диализного аппарата, либо какой-то внешний дополнительный кондуктометр, само по себе ни в коей мере не обозначает содержание натрия, либо какого-то другого компонента в диализате.

Лишь определив содержание натрия, калия и других компонентов в диализате с помощью предназначенного для этих целей и поверенного лабораторного прибора, например, ионоселективного анализатора, или, если угодно, пламенного фотометра, можно условно соотнести значение проводимости с концентрацией натрия. Однако только для объема концентрата, который находится в канистре, и из которого готовится данный диализат.

При этом сама по себе величина проводимости, которую показывает прибор диализного аппарата, большого значения не имеет. Будет ли она 13,5 мСм/см или 13,8 мСм/см при концентрации натрия в диализате 135 ммоль/л, как хотят этого авторы книги, хотя и известно, что раствор с концентрацией натрия – 135 ммоль/л, калия, кальция и магния (в сумме) – 5 ммоль/л и ацетатного буфера – 35 ммоль/л, при температуре 37,5°C обладает проводимостью приблизительно 14,1 мСм/см.

По стабильности этого значения можно лишь судить о правильности (стабильности) работы ус-

тройства разведения концентрата водой в диализном аппарате.

Для калибровки кондуктометра авторы рекомендуют приготовить тест-раствор путем растворения навески хлористого натрия в 1 л воды.

Попытаемся аналитически оценить вероятную погрешность изготовления такого эталона. Для приготовления раствора потребуется мерный цилиндр и аналитические весы с разновесами. Вероятно, что в вашей лаборатории найдутся весы с максимальной приведенной погрешностью 0,0005 г или 0,01% и стандартный мерный цилиндр 2-го класса точности на 1000 мл. Уверяем, что точнее приборов в вашей лаборатории не может быть по определению.

Допуск на влажность соли и чистоту ее химического состава, при условии использования реактива марки ХЧ или ЧДА, составит не менее 1%.

Поскольку погрешности не взаимозависимы, суммарная погрешность приготовления рекомендованного тест-раствора, по самым скромным подсчетам, составит 3,01%.

Рекомендовать использовать в качестве эталона для калибровки портативного кондуктометра фирменный физиологический раствор по меньшей мере некорректно. Не знаем, с какой точностью он приготовлен, но смеем предположить, что не точнее 5%, что весьма прилично для массового производства, при этом только лишь от погрешности эталона ошибка измерения диализата проводимостью 13,5 мСм/см позволит получить при измерении значения от 12,825 до 14,175 См/см.

Самые лучшие известные нам портативные кондуктометры имеют класс точности 2,5.

Рассмотрим разницу показаний кондуктометров между значениями 13,5 и 13,8 мСм/см.

Разница в показаниях кондуктометров относительно меньшего значения составляет 2,22%.

Как ни крути, а в самом лучшем случае погрешность измерения диализата независимым портативным кондуктометром, откалиброванным по одному из предлагаемых авторами растворов, в самом волшебном случае будет составлять не менее 4%, т.е. погрешность методики как минимум вдвое больше измеряемой величины.

Погрешность методики проверки должна быть хотя бы на порядок меньше, т.е., например, кондуктометр класса 0,5, откалиброванный по эталонному раствору класса 0,5.

Предлагаемые авторами книги в качестве «рефери» приборы и, тем более, эталонные растворы весьма далеки от этих требований.

«...Поэтому индикатор искусственной почки специальным винтом приводим в правильное положение...» [1].

Авторы книги предлагают читателю специальным винтом привести индикатор искусственной почки в правильное положение. Наше скромное знакомство с аппаратурой позволяет ответственно заявить, что авторы вводят читателя в заблуждение, так как ни в одной из известных нам моделей аппаратов такого «винта» нет, да и не может быть. Нам кажется, что авторы путают арретир механического нуля стрелочного прибора с элементами регулировки устройства измерения проводимости.

Арретир механического нуля определяет предварительное натяжение пружины возвратной системы стрелочного электроизмерительного прибора при обесточенной рамке на нулевом (обычно крайнем левом) делении шкалы. Вращение арретира, смещающее стрелку с нулевого деления, резко увеличивает погрешность прибора, вращать арретир при включенном приборе категорически запрещается.

Каждый диализный аппарат имеет устройство для измерения проводимости диализата, при этом каждое устройство измерения проводимости имеет элементы регулировки.

При настройке устройства измерения проводимости регулировке подвергаются, как правило, три параметра: минимальный предел измерения, максимальный предел измерения и линейность в диапазоне измерения. Устройства измерения высокой точности могут иметь большее число регулировок. Так как регулировки взаимосвязаны, то настройка осуществляется методом итераций. Настройка устройства измерения проводимости требует специальных знаний, наличия определенных электроизмерительных приборов и точного поверенного измерителя проводимости (кондуктометра). Такую

настройку может осуществлять квалифицированный технический персонал в соответствии с инструкцией по регулировке предприятия (фирмы) изготовителя.

«...Мы можем совершить серьезную ошибку, если станем проверять концентрацию натрия в диализате ионоселективным методом. Процитируем по этому поводу мнение из великоколенной книги J.Daugirdas and T. Ing «Handbook of dialysis» 2nd edition, page 209 (рис. 4-5).

** Ионоселективные электроды могут давать фальшиво заниженные результаты, и их нельзя использовать для проверки уровня натрия в диализате.*

** Если необходимо, то концентрация натрия может быть проверена пламенным фотометром» [1].*

К сожалению, авторы книги не объясняют данного постулата. Сеем предположить, что некоторые ионоселективные анализаторы с различной ошибкой фиксируют уровень натрия в растворе чистого хлористого натрия и в присутствии в растворе уксуснокислого натрия (или в присутствии в растворе бикарбоната натрия).

Так как диализат содержит примерно 100 ммоль/л хлористого натрия и примерно 30 ммоль/л уксуснокислого натрия, то ошибка измерения может быть существенной. Однако это говорит лишь об ошибке конкретного прибора, но ни в коей мере не об ошибке метода вообще.

К сожалению, мы не имеем практики работы с ионоселективным анализатором Ionometer EF фирмы «Фрезениус», однако наш 10-летний опыт исследования диализатов с помощью ионоселективного анализатора Elektrolit E2 фирмы «Бекман» и различных пламенных фотометров позволяет усомниться в справедливости сказанного авторами. Работая с указанным выше прибором, мы не обнаружили какой-либо существенной разницы, вызванной методом измерений, при этом необходимо отметить, что паспортная погрешность измерения натрия для анализатора Elektrolit E2 фирмы «Бекман» при единичном измерении не превышает 1%, а при статистическом пятикратном измерении пробы – не превышает 1 ммоль/л.

Нам кажется, что такое категорическое неприятие авторами ионоселективного метода для определения концентрации электролитов в диализате связано с использованием авторами в их конкретной работе ионоселективных приборов низкой точности, определяемой либо классом самих приборов, либо ошибками при их калибровке и при измерениях.

Поэтому, прежде чем отказаться от ионоселективного метода определения концентрации натрия, или сделать выбор между ионоселективным электродом и пламенным фотометром, мы посоветовали бы читателю выяснить точность измерения того и другого прибора. Необходимо также уточнить, какими эталонами они калибруются и проверяются, и выполнить серию сравнительных исследований диализата и чистых растворов хлорида и ацетата натрия.

«...Поэтому в практической работе наиболее удобно пользоваться портативным откалиброванным кондуктометром или пламенным фотометром...» [1].

Что касается пламенного фотометра, то отнесем эти рекомендации авторов к их навязчивому пристрастию к методу пламенной фотометрии (хотя в этом месте так и хочется сказать: хороший ионоселективный анализатор лучше плохого пламенного фотометра), однако пользоваться в практической работе портативным кондуктометром для определения концентрации электролитов в диализате категорически не допускается.

Позволим себе повториться: «Значение проводимости, которое показывает прибор диализного аппарата, либо какой-то внешний дополнительный кондуктометр, само по себе ни в коей мере не обозначает содержание натрия, либо какого-то другого компонента в диализате».

Показания встроенного кондуктометра диализного аппарата, либо какого-то внешнего дополнительного кондуктометра, ни в коем случае не является показанием к проведению или изменению процедуры гемодиализа. Таковыми могут являться только лишь данные лабораторных исследований диализата на содержание электролитов, выполненных тем или иным методом на поверенном и откалиброванном приборе.

Зависимость концентрации натрия от кондуктивности диализата, мягко сказать, физически не совсем корректная функция, концентрация натрия в этом случае определяющий параметр, т.е. аргумент, а кондуктивность – зависимый параметр, т.е. функция.

Согласитесь, что, если мы начнем добавлять в диализат хлористый натрий, то проводимость однозначно будет расти, но если мы каким-либо образом изменим проводимость диализата, то это не значит, что концентрация ионов натрия в нем обязательно изменится. Тем более, что в первоисточнике показан график зависимости кондуктивности диализата от концентрации натрия в диализате, однако авторы почему-то забыли в обязательном порядке указать состав диализата и фиксирован-

ную температуру, для которой была приведена эта зависимость.

Очевидно, что график «из этой же книги со страницы 207 (рис. 4-6)» дан для температуры 25°C (Const), но авторы книги, к сожалению, не знают, что в аппаратах гемодиализа устройства измерения и регулирования концентрации диализата, основанные на измерении его проводимости, температурно скомпенсированы обычно в точке 37,5°C (иногда 35°C), и это естественно, так как в диапазоне от 35° до 40°C в аппаратах осуществляется температурная стабилизация диализирующего раствора.

Позвольте привести график зависимости проводимости диализата на основе ацетатного буфера, которым мы пользуемся в течение последних 10 лет для проверки и настройки измерителей и регуляторов проводимости диализата в аппаратах «искусственная почка» отечественного и импортного производства (рисунок). График дан для диализата, ионный состав которого, (ммоль/л, при $T_{const} = 37,5^\circ\text{C}$) приведен в таблице.

«... Заканчивая раздел калибровки искусственной почки по натрию, хотелось бы решительно заявить, что без портативного кондуктометра и пламенного фотометра проводить гемодиализ опасно и бескультурно» [1].

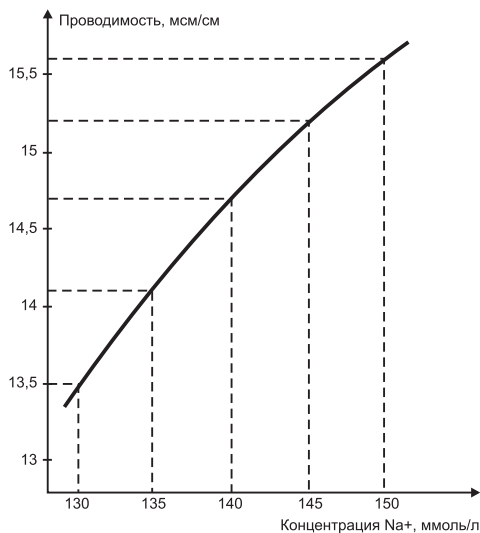
Что касается внешнего кондуктометра, то наличие такового вряд ли повысит культуру медицинского персонала любого уровня, включая главного врача. Этот прибор может использоваться техническим персоналом для проверки правильности показаний встроенного прибора, да и то только в том случае, если появились серьезные сомнения.

Причем, если при проверке сомнения подтвердились, то ни в коем случае не следует начинать с вращения каких-либо «винтов», а первым делом необходимо провести как можно более тщательную химическую и термическую отмывку аппарата.

Во всех современных диализных аппаратах электроды датчиков электропроводности выполнены из специальных электрохимически высокостабильных материалов, как-то, например, титановые сплавы или пироуплотненный стеклографит, поэтому 99,99% всех отклонений или нарушений измерений электропроводности связаны с загрязнением поверхности электродов либо межэлектродного

Ионный состав диализата

Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	CH ₃ COO ⁻
135	2,5	1,5	1,5	108,5	35



Зависимость проводимости диализата на основе ацетатного буфера.

промежутка.

И только в том случае, если после неоднократного полного цикла промывок аппарата значение проводимости на указателе аппарата существенно отличается от контрольного, необходимо поставить перед техническим персоналом вопрос о настройке измерителя.

Что касается наличия пламенного фотометра, то мы бы осмелились рекомендовать авторам книги и их читателям осуществлять ежедневную проверку диализата из каждого аппарата на предмет содержания основных электролитов, хотя бы натрия и калия, на приборе, основанном на любом физическом принципе, будь то пламенный фотометр или ионоселективный анализатор. Причем самое главное, что делает в этом случае гемодиализ более безопасным и повышает культуру, – это наличие фирменных или ГОСТовских, (но ни в коем случае не самодельных!) эталонных растворов для калибровки и проверки этого прибора. При этом имеются ввиду специальные калибровочные и проверочные растворы фирменного (заводского) изготовления или государственные стандартные образцы, а не самodelки или суррогаты в виде физраствора или даже фиксанала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стецюк ЕА, Лебедев СВ, Трегубенко АД. *Азбука гемодиализа*. М., 1996

Поступила в редакцию 26.05.2004 г.