

ОСОБЕННОСТИ ИММИТАНСНЫХ СПЕКТРОВ ОКОЛОПЛОДНЫХ ВОД КОРОТКЕВИЧ А. В.¹, ПЕТРОВИЧ В. А.¹, КОВАЛЁВА М.А.¹ НЕДЕНЬ Л.Ч.² ПАЦЕЕВ С.В.³

¹Белорусский государственный институт информатики и радиоэлектроники

²Белорусская медицинская академия последипломного образования

³«Городской клинический родильный дом №2» г. Минска

Околоплодные воды являются той средой обитания, которая обеспечивает жизнедеятельность плода. Она же отражает степень функционирования фетоплацентарного комплекса, состояние плода. Поэтому многими исследователями пристально изучается возможность экспресс-контроля амниотической жидкости. В настоящей работе представлены результаты исследования электрических параметров околоплодных вод. Были измерены тангенс угла потерь ($tg\delta$), последовательное эквивалентное сопротивление (R_s) и последовательная эквивалентная емкость (C_s) в диапазоне частот 25 Гц - 10 МГц. В качестве фоновой диагностической среды использовалась деионизованная вода. Показано, что все указанные параметры чувствительны к содержанию в воде околоплодных вод, но наибольшую информативность представляет частотная зависимость $tg\delta$.

Ключевые слова: околоплодные воды, деионизованная вода, тангенс угла потерь.

PECULIARITIES OF IMPEDANCE SPECTRA OF NEGATIVE WATERS

Korotkevich A. V.¹, Belarusian State Institute informatics and radio electronics "

²Establishment of Petrovich V. A.¹, Kovaliova M. A.¹, Neden L. C.², Patseev S. V.³

¹Educational institution "education "Belarusian Medical Academy postgraduate education "

³Healthcare facility "City Clinical Maternity Hospital No. 2", Minsk

Amniotic fluid is the habitat that ensures the vital activity of the fetus. It also reflects the degree of functioning of the fetoplacental complex, the state of the fetus. Therefore, many researchers are closely studying the possibility of express control of amniotic fluid. This work presents the results of a study of the electrical parameters of amniotic fluid. The loss tangent ($\tan \delta$), series equivalent resistance (R_s) and series equivalent capacitance (C_s) were measured in the frequency range 25 Hz - 10 MHz. Deionized water was used as a background diagnostic medium. It has been shown that all of these parameters are sensitive to the content of amniotic fluid in the water, but the most informative is the frequency dependence of $\tan \delta$.

Key words: amniotic fluid, deionized water, loss tangent.

Введение

Околоплодные воды - это коллоидный раствор сложного химического состава [1]. Их физиологическое значение огромно - это защитная функция от механических, химических и инфекционных воздействий; осуществление гомеостаза плода; участие в обмене белков, липидов, углеводов, в метаболизме гормонов; обеспечение пространства для свободного развития плода [2, 3]. Состояние плода и состав околоплодных вод взаимосвязаны между собой [1, 4]. К настоящему времени проведены исследования амниотической жидкости при нормальной и осложнённой беременности. При этом накоплены данные, как о качественных, так и количественных изменениях околоплодных вод. Однако, морфологический субстрат взаимоотношении плодных и материнских тканей изучен в меньшей мере. При физиологической беременности происходит постоянное, в среднем в течение 3 ч., полное обновление амниотической жидкости [3]. Околоплодные воды всасываются через кожу плода, заглатываются им со скоростью до 20 мл/ч и выделяются почками. Поэтому состав околоплодных вод отражает состояние не только матери, но и плода [3, 5]. Так, при острой гипоксии плода происходит изменения обменных процессов и в организме плода, и у матери. При этом меняется характер околоплодных вод. А степень ацидоза околоплодных вод в одинаковой мере коррелирует с ацидозом в крови матери и плода [6].

В настоящее время наиболее распространенным методом оценки состояния плода в интранатальном периоде является кардиотокография, помогают УЗИ сканирование, доплерометрия фетоплацентарного комплекса [7]. Однако в случаях, когда кардиотокограмма сомнительна, необходимо проведение дополнительных диагностических мероприятий, в частности, определение кислотно-щелочного состояния крови предлежащей части плода. Большое значение в современном акушерстве имеет определение в составе околоплодных вод, например, количества лактата. [5].

Связь между количеством и качеством околоплодных вод и частотой перинатальных исходов (перинатальной заболеваемости и смертности) предопределяет актуальность дальнейших исследований для поиска предикторов перинатальной патологии [5, 6]. Актуальным представляется изучение

биохимических, иммунологических и других характеристик амниотической жидкости, содержащей соединения не только плодового, но и плацентарного происхождения.

В настоящей работе представлены особенности иммитансных спектров околоплодных вод в широком диапазоне соотношения концентрации: «деионизованная вода-околоплодная вода».

Экспериментальная часть

Объектами исследования были:

- деионизованная вода производства ОАО «Интеграл», г. Минск, РБ;
- околоплодные воды;
- раствор околоплодных вод и деионизованной воды в разных соотношениях.

Для определения электрических параметров использовали приборы E7-25 (в диапазоне частот 25 Гц -1 МГц) и E7-29 (в диапазоне частот 50 кГц -10 МГц) производства ОАО МНИПИ (РБ, г. Минск). Исследования проводили при комнатной температуре.

Для контроля электрических параметров жидкостей использовали два цилиндрических электрода из нержавеющей стали диаметром 1 мм, расположенных на расстоянии 7 мм, глубина погружения электродов в исследуемую жидкость составляла 35 мм, объем исследуемой жидкости – 3 мл.

В таблице 1 приведены электрические параметры деионизованной воды, не содержащей в своем составе околоплодных вод. По данным второй и третьей строки этой таблицы на рисунке 1 (а, б) построены частотные зависимости $tg\delta$ и C_s соответственно.

Таблица 1. Частотная зависимость электрических параметров деионизованной воды

Table 1. Frequency dependence of the electrical parameters of deionized water

$f, \text{кГц}$	0,025	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10
$tg\delta$	244	258	236	180	86,6	45,6	23,3	9,4	4,71
C_s	10,6	5,6	2,57	980	190	49,9	12,7	2,08	540
	мкФ	мкФ	мкФ	нФ	нФ	нФ	нФ	нФ	пФ
$R_s, \text{кОм}$	146	146	146	146	145,7	145,6	145,4	143,9	139
$f, \text{кГц}$	20	50	100	200	500	1000		$f_x = 57 \text{ Гц}$	
$tg\delta$	2,37	0,96	0,505	0,3	0,26	0,08		$tg\delta = 265$	
$C_s, \text{нФ}$	153	44,6	29,1	25,4	25,3	24,1		$R_x = 145,5 \text{ кОм}$	
$R_s, \text{кОм}$	123	68,6	27,6	9,37	3,23	0,525		$C_x = 5,2 \text{ мкФ}$	

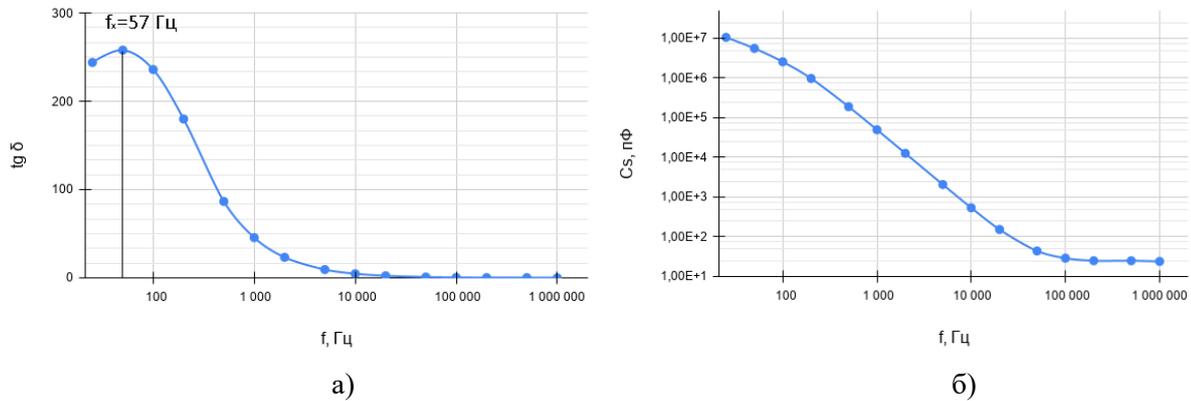


Рисунок 1. Частотные зависимости тангенса угла $tg\delta$ (а) и эквивалентной емкости C_s (б) деионизованной воды

Figure 1. Frequency dependences of the loss tangent $tan\delta$ (a) and the equivalent capacity C_s (b) of deionized water

Из рисунка 1, а видно, что на характеристической частоте $f_x=57$ Гц имеется максимум $tg\delta$, равный 265 единицам. По положению этого максимума на оси частот можно оценить энергию релаксационного процесса структурных элементов деионизованной воды, которая составляет 0,6 эВ [8, 9].

В таблице 2 и на рисунке 2 приведены частотные зависимости $tg\delta$ (а) и эквивалентной емкости C_s (б) для неразбавленных околоплодных вод. Положение максимума $tg\delta$ на оси частот ($f_x = 150$ кГц) при этом свидетельствует о снижении энергии релаксационного процесса до 0,4 эВ. Это позволяет говорить об ослаблении водородных связей в околоплодных водах по сравнению с энергией комплексов в чистой деионизованной воде. При этом в неразбавленных водой околоплодных водах

наблюдается значительное увеличение максимума $tg\delta$, снижение R_s и увеличение C_s по сравнению с чистой деионизованной водой, что свидетельствует о наличии в околоплодных водах сильно диссоциирующих на ионы частиц.

Следует отметить, что и для деионизованной воды, и для околоплодных вод частотные зависимости емкости C_s имеют одинаковый характер: с ростом частоты значения C_s монотонно уменьшаются. На частоте 25 Гц значения C_s составляют 10,6 мкФ и 26,7 мкФ для деионизованной воды и для околоплодных вод соответственно. Это в совокупности с данными о величине R_s и, с учетом того, что диэлектрическая проницаемость деионизованной воды и околоплодных вод сопоставимы, свидетельствует о том, что толщина слоя Гуи-Гельмгольца в околоплодных водах примерно в 2,5 раза меньше, чем в деионизованной воде.

Таблица 2. Частотная зависимость электрических параметров неразбавленных околоплодных вод

Table 2. Frequency dependence of the electrical parameters of undiluted amniotic fluid

$f, кГц$	0,025	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10
$tg\delta$	0,42	0,53	0,74	1,07	1,8	2,77	4,28	7,88	12,8
$C_s, мкФ$	26,7	23,3	20,3	17,4	13,8	11,8	9,42	7,33	6,11
$R_s, кОм$	99,2	72,5	58	48,9	41,9	38,4	30	34,2	33,4
$f, кГц$	20	50	100	200	500	1000		$f_x = 150 кГц$	
$tg\delta$	21,3	45,7	116,5	167	24	9,7		$tg\delta_{max} = 1800$	
$C_s, мкФ$	5,15	4,43	5,7	-4	-0,244	-0,05		$R_x = 32,4 Ом$	
$R_s, кОм$	33	32,6	32,4	32,2	31,9	31,4		$C_x = 0 Ф$	

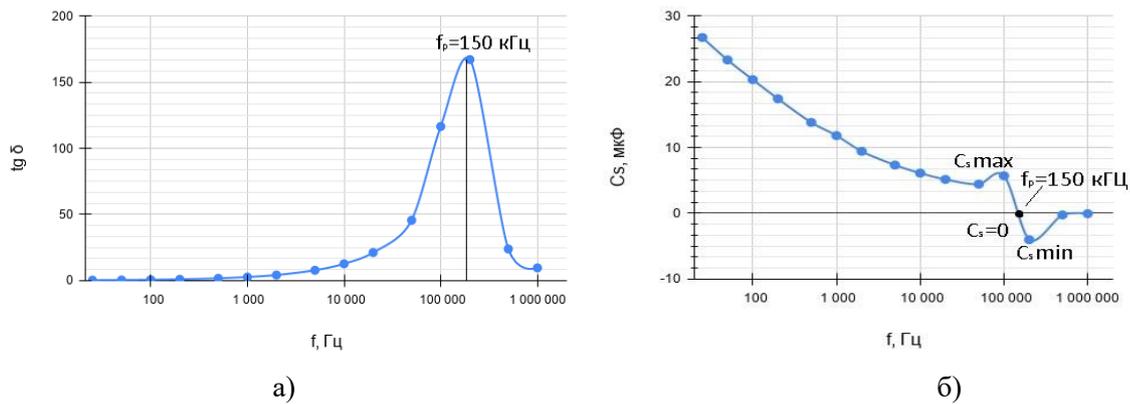


Рис. 2. Частотная зависимость $tg\delta$ (а) и эквивалентной емкости C_s (б) для неразбавленных околоплодных вод

Fig. 2. Frequency dependence of $tg\delta$ (a) and equivalent capacity C_s (b) for undiluted amniotic fluid

Спецификой в поведении C_s для околоплодных вод является то, что в области частот 100-200 кГц значения C_s меняют свой знак с положительного на отрицательный. При этом на частотах ниже 100 кГц значения C_s положительные, а выше – отрицательные. Объяснить данное явление можно предположив, что слой Гуи-Гельмгольца для околоплодных вод электрически можно представить, как последовательный колебательный LC-контур, для которого на частотах меньших, чем резонансная f_p значения эквивалентной емкости положительны и проходят через максимум $C_{s\ max}$ (рисунок 2, б), на резонансной частоте f_p C_s равно нулю. При частоте, большей, чем f_p , значения емкости проходят через минимум $C_{s\ min}$ (рис 2, б) и остаются в дальнейшем отрицательными. Эта особенность околоплодных вод в отличие от деионизованной воды, говорит о том, что в околоплодных водах, не являющихся магнитным материалом, проявляются индуктивные свойства с положительным значением магнитной проницаемости. Не исключена также возможность проявления в околоплодных водах отрицательных значений диэлектрической проницаемости. В принципе понятие отрицательной диэлектрической проницаемости характерно для материалов, которые носят названия метаматериалы. Для метаматериалов характерно отрицательное значение не только диэлектрической проницаемости, но и магнитной проницаемости, причем одновременно.

Данные, приведенные в таблице 3 и на рисунке 3, показывают, что повышение концентрации околоплодных вод в деионизованной воде свыше 30% приводит к стабилизации частоты, при которой наблюдается максимум $tg\delta$, на уровне 150 кГц. Ситуация сохраняется вплоть до использования 100%

околоплодных вод. Особенностью иммитансных спектров при концентрации околоплодных вод в диапазоне 30-100% является увеличение тангенса угла потерь на характеристической частоте от сотен до нескольких тысяч единиц. Изменение концентрации смеси «деионизованная вода-околоплодная вода» в диапазоне 30-100% не меняет численного значения частоты f_p , поэтому этот диапазон концентрации весьма удобен для анализа свойств околоплодных вод.

Таблица 3. Зависимость резонансной частоты от концентрации околоплодных вод в деионизованной воде (С)

Table 3. Dependence of the resonant frequency on the concentration of amniotic fluid in deionized water

$C, \%$	3,375	6,75	12,5	25	50	100
$f_x, \text{кГц}$	40	150	230	155	150	150

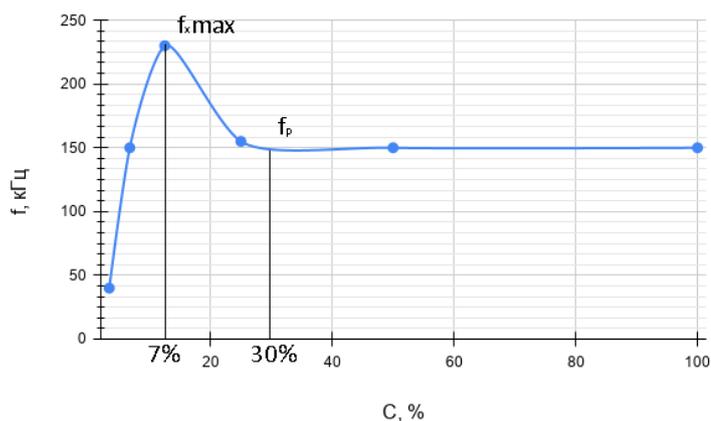


Рис. 3. Зависимость резонансной частоты от концентрации околоплодной воды в деионизованной воде

Fig. 3. Dependence of the resonant frequency on the concentration of amniotic fluid in deionized water

Заключение

Показано, частотные зависимости иммитансных характеристик $tg\delta$, R_s , C_s могут явиться источником дополнительной информации о свойствах околоплодных вод и перспективны для их экспресс-диагностики.

Установлено, что когда концентрации околоплодных вод не превышает 7% на частотной зависимости тангенса угла потерь характеристическая частота f_x (частота при которой имеет максимум) значительно увеличивается: от десятка герц до двухсот килогерц. А при концентрации околоплодных вод более 30% характеристическая частота равна 150 кГц и не зависит от концентрации.

Установлен факт наличия в околоплодных водах резонансной частоты f_p (частоты при которой последовательная эквивалентная емкость C_s равна нулю), что представляет собой особый интерес с точки зрения установления особенностей строения границы раздела «металл-жидкость». Для объяснения данного явления предложено рассматривать слой Гуи-Гемгольца для раствора околоплодных вод в деионизованной воде как последовательный колебательный LC-контур

Список литературы:

1. Радзинский В.Е., Милованов А.П., Ордянец И.М., Гагаев Ч.Г., Морозов С.Г. Экстраэмбриональные и околоплодные структуры при нормальной и осложненной беременности // Коллективная моногр. Мед. информ. аген. М. 2004.
2. Артеменко В.В. Диагностическое значение клинично-лабораторного исследования амниотической жидкости при физиологическом и патологическом течении беременности // Здоровье женщины. — 2013. — № 5. — С. 87.
3. glowm.com [Internet]. The Global Library of Women's Medicine. Fischer R. Amniotic Fluid: Physiology and Assessment [cited 2019 Mar 3]. available from: http://www.glowm.com/section_view/heading/Amniotic%20Fluid:%20Physiology%20and%20Assessment/item/208.

4. Горбенко Е.В. Прогнозирование церебральных поражений у плодов рожениц относительного перинатального риска на основе оценки оксидантно-антиоксидантного статуса амниотической жидкости: Автореф. дис. кан мед. наук. Барнаул 2006; 24.
5. Boylan P, McParland P. Fetal assessment in postterm pregnancy. *Curr Opin Obstet Gynecol.* 2001 Feb;3(1):41-4. Review.
6. Туманова У.Н., Шувалова М.П., Щеголев А.И. Нарушения объема околоплодных вод в генезе мертворождения // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* — 2017. — № 12-1. — С. 94–97.
7. Deshpande TV, Harding PG, Jaco NT. Estimation of gestational age from study of amniotic fluid and clinical assessment. *Can Med Assoc J.* 977;117(8):886-890.
8. Vladimir Petrovich, Svetlana Volchek, Valentina Yakovtseva, Vitaly Bondarenko, Sergey Redko / Method for determining bond energy in nanostructured water// *MRS Advances* 2020.
9. С.А. Волчек. Метод контроля свойств технологических жидкостей / С.А. Волчек, С.В. Гранько, С.А. Завацкий, А.Н. Петлицкий, В.А. Петрович, В.Ю. Серенков// *Нанотехнологии: разработка, применение – XXI век, №3, Москва 2019 г.* -С 5-13.

Вклад авторов:

Все авторы настоящей работы принимали доленое участие в планировании эксперимента, подготовки аппаратуры и исходных материалов для исследований, принимали участие в регистрации свойств иммитансных спектров, обсуждении полученных результатов и оформлении материалов данной статьи.

Authors' contributions:

All authors of this work took a share in the planning of the experiment, preparation of equipment and initial materials for research, took part in the registration of the properties of the immitance spectra, discussion of the results obtained and the design of the materials of this article.