



УДК 577.356

**ВЛИЯНИЕ КУРСА ЛЕЧЕНИЯ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОНЕНТ
КРОВИ БОЛЬНЫХ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 2 ТИПА****Шаталова Т.А.¹, Адельянов А.В.¹, Горобченко О.А.¹, Николов О.Т.¹, Гаташ С.В.¹, Овсянникова Т.Н.¹,
Горшунская М.Ю.²**¹Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков, Украина²Харьковская медицинская академия последипломного образования, Харьков, Украина

e-mail: shatalova_ta@mail.ru

Поступила в редакцию 20.06.2012

В работе представлены результаты исследования диэлектрических характеристик суспензий эритроцитов, мембран эритроцитов и плазмы крови больных сахарным диабетом методом СВЧ-диэлектromетрии на рабочей частоте 9,2 ГГц на фоне терапевтического воздействия. Установлено, что значения действительной части комплексной диэлектрической проницаемости (ϵ') суспензии эритроцитов и мембран эритроцитов у пациентов с сахарным диабетом до лечения имеют тенденцию к увеличению по сравнению с соответствующими показателями суспензии эритроцитов больных сахарным диабетом после лечения. Выявлено достоверное уменьшение среднего значения статической диэлектрической проницаемости (ϵ_s) суспензий мембран эритроцитов больных сахарным диабетом после лечения; достоверное понижение средних значений частоты диэлектрической релаксации молекул воды (f_b) суспензий эритроцитов и мембран эритроцитов больных сахарным диабетом после курса лечения. Выявлено достоверное увеличение средних значений удельной электропроводности (σ) всех исследуемых компонент крови больных сахарным диабетом после лечения.

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, удельная электропроводность, эритроциты, мембраны эритроцитов, плазма крови, сахарный диабет 2 типа.

ВВЕДЕНИЕ

Кровь, при общей тенденции к сохранению постоянства своего морфологического и химического состава, в тоже время, является одним из наиболее чувствительных показателей изменений, происходящих в организме под влиянием различных физиологических и патологических процессов. При патологии изменения крови крайне разнообразны и зависят не только от тяжести процесса, но и от общей реактивности организма и сопутствующих осложнений [1, 2, 3].

Биологические объекты, в том числе компоненты крови, содержат в своем составе большое количество воды, обладающей определенными диэлектрическими характеристиками. Патологические процессы, происходящие в организме на фоне заболевания, неизбежно приводят к изменению физико-химических свойств биологических объектов, сопровождаются перестройкой их структуры, что приводит к изменению общего состояния свободной и связанной воды [4, 5].

Исследования, отражающие состояние воды в клеточных мембранах, свидетельствуют о том, что вода является также важным структурным

компонентом мембран, обеспечивающим двухслойную структуру и определенное фазовое состояние липидов, а также функциональную активность мембраны в целом. Многочисленные работы последних десятилетий в области изучения функционального состояния клеток показывают, что одно из основных звеньев в патогенезе различных заболеваний составляют функциональные и структурные изменения, происходящие в биологических мембранах, в частности – мембранах эритроцитов. Гетерогенность состава мембраны эритроцита и ее способность быстро менять характер взаимодействия между компонентами обуславливает наличие широкого спектра структурных и функциональных реакций клетки, которые способствуют ее приспособлению к условиям среды. Согласно современным представлениям, многие метаболические и функциональные изменения клеток, сопровождающие различные патологические процессы, определяются структурными нарушениями внутри- и внеклеточной воды [5, 6, 7, 8, 9]. Особый интерес представляют процессы, которые происходят как между молекулами воды в различных состояниях, так и между протонами

воды и отдельных молекулярных групп, входящих в состав биологических структур [10].

Учитывая, что патология изменяет физико-химические свойства воды, можно предположить, что в многочисленных звеньях биохимических процессов существенную роль играет влияние заболевания на структуру водного компонента биологических жидкостей. Поэтому, представляет интерес изучить особенности влияния патологии, в данном случае сахарного диабета 2 типа (СД 2), на структуру водного компонента крови. Наиболее перспективным для решения данной задачи является использование метода СВЧ-диэлектрметрии в диапазоне частот, соответствующих области дисперсии воды. В работе предполагается показать, что специфика состояния воды должна найти отражение в ее динамике диэлектрических показателей, которые являются ценным источником информации о взаимосвязи молекул в растворах и биологических жидкостях [11].

Острота проблемы сахарного диабета, обусловленная постоянным ростом заболеваемости, развитием осложнений, требует рационального пересмотра существующих и разработки новых теоретических концепций, касающихся главных вопросов этиологии и механизмов его развития. Для выяснения основных причин неуклонного роста осложнений при СД следует рассматривать данную проблему на разных уровнях: от молекулярных нарушений до организма в целом. Именно изучение патогенетических процессов на различных уровнях позволит глубже проникнуть в причины развития СД и подобрать для него более эффективную терапию. Знание типовых патогенетических реакций, их течение и взаимодействие между собой раскрывает возможности для диагностики заболеваний на донологическом уровне, т.е. в тех случаях, когда диагноз заболевания ещё не установлен, но патологические изменения, происходящие в организме, могут быть выявлены.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В эксперименте изучались диэлектрические характеристики компонент крови пациентов, страдающих диабетом 2 типа, до и после лечения. Лечение представляло собой регулярный прием амарила, витамина Е и инсулинотерапию. Диэлектрические свойства биологических тканей в СВЧ диапазоне определяются в основном присутствием в них воды, растворенных в воде макромолекул, а также компартментализацией клеточных и макроскопических структур. Компартментализация способствует оптимальному

протеканию биохимических реакций, но с другой стороны, приводит к тому, что биоткани приобретают сегнетоэлектрические (электроподобные) свойства. Вследствие наличия заряженных компартментов биоткани обладают высоким значением диэлектрической проницаемости, особенно на низких частотах. Заряженные слои ведут себя во внешнем поле как домены с высоким значением электрического дипольного момента и низкой характеристической частотой релаксации f_D . Применительно к диполям f_D соответствует максимальной частоте внешнего электромагнитного поля (ЭМП), которую они способны воспроизводить своим поворотом в нем. В результате подобных поворотов достигается высокая степень экранирования внешнего ЭМП. Диапазон частот f_D для различных внутриклеточных компартментов простирается от долей герца до 1-10 кГц [12, 13].

В данной работе диэлектрические параметры исследуемых образцов измеряли методом СВЧ-диэлектрметрии с использованием цилиндрического H_{01n} – резонатора на рабочей частоте 9,2 ГГц [14, 15], который позволяет зафиксировать даже самые незначительные структурные изменения биоконтакт по изменению соотношения между свободной и связанной водой [16]. Для измерения ϵ' исследуемый образец набирали в капилляр, помещали в резонатор и фиксировали сдвиг резонансной частоты между собственной частотой резонатора и резонатора с образцом. Значения ϵ' и ϵ'' рассчитывали по градуировочным кривым, полученным для веществ с известными значениями ϵ' и ϵ'' [17]. В величину ϵ'' была внесена поправка на электропроводность в связи с присутствием в среде неорганических ионов. Электропроводность суспензий эритроцитов, тений эритроцитов и плазмы крови измеряли мостовым методом на частоте 1 кГц при комнатной температуре. Погрешность полученных значений ϵ' не превышала $\pm 0,2$, для ϵ'' погрешность не превышала $\pm 0,5$. Температура образцов в капилляре измерялась с помощью медь-константановой термопары с точностью $\pm 0,1$ °С и составляла 20,0 °С. Из литературных данных [18, 19] известно, что релаксационные характеристики свободной воды в различных биологических тканях не отличаются от чистой воды, и область γ -дисперсии компонент крови может быть описана при помощи уравнений Дебая [20]:

$$\epsilon' = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_S - \epsilon_{\infty}}{1 + (f / f_D)^2}, \quad (1)$$

$$\varepsilon'' = \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_\infty)f / f_D}{1 + (f / f_D)^2}, \quad (2)$$

Как следует из (2) максимум ε' наблюдается при $f=f_D$. Из уравнений (1) и (2) можно получить выражение для f_D и ε_s :

$$f_D = f(\varepsilon' - \varepsilon_\infty) / \varepsilon'', \quad (3)$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon' + \frac{(\varepsilon'')^2}{(\varepsilon' - \varepsilon_\infty)} \quad (4)$$

где ε_∞ и ε_s – высокочастотная и низкочастотная (статическая) диэлектрические проницаемости, соответственно, f_D и f – частота диэлектрической релаксации и частота микроволнового поля, соответственно, ε_∞ принимали равным 5,6 [21]. Используя уравнения (1) и (2) рассчитывали частоту диэлектрической релаксации молекул воды в эритроцитах f_D , что является параметром, характеризующим подвижность молекул в СВЧ поле, а, следовательно, степень её взаимодействия с окружением, и значение диэлектрической проницаемости на нижнем участке области дисперсии молекул воды – статическую диэлектрическую проницаемость ε_s .

Объектами исследования были эритроциты, мембраны эритроцитов и плазма крови. Для приготовления образцов венозную кровь больных, стабилизированную гепарином, отмывали натрий-фосфатным буфером (150 мМ NaCl, 20 мМ Na₂HPO₄/NaH₂PO₄ pH 7,4), и центрифугировали при 1500 об/мин 3 раза по 3 минуты, каждый раз при этом отбирая надосадочную жидкость и разбавляя буфером. Полученную эритромассу разбавляли в соотношении 1:1 физиологическим раствором. Для получения плазмы венозную кровь с гепарином разводили 1:1 физиологическим раствором и далее центрифугировали при 1500 об/мин в течение 3 минут. Мембраны эритроцитов получали путем гемолиза эритроцитов в 0,015 М NaCl в течение 30 мин. с последующим центрифугированием при 4000 об/мин в течение 10 мин. [22]. Далее тени отмывали 3 раза в физиологическом растворе с последующим центрифугированием при 4000 об/мин 10 мин.

Все пациенты были разделены на три группы:

В первую группу были включены пациенты, компоненты крови которых исследовали только до лечения (26 человек).

Вторую группу составляли пациенты, компоненты крови которых исследовали только после прохождения ими курса лечения (15 человек).

В третью группу входили пациенты, компоненты крови которых исследовали и до и после лечения (8 человек). Таким образом, оценку влияния лечения на компоненты крови проводили как на двух независимых группах, так и на одной группе пациентов, получающих сравниваемое воздействие.

Полученные данные были статистически обработаны в программе OriginPro8. Проверку на нормальность распределения проводили при помощи теста Шапиро-Уилка, который можно использовать для малочисленных выборок [23]. Проверку гипотезы о равенстве средних значений диэлектрических параметров нормально распределяющихся дат осуществляли при помощи дисперсионного анализа и критерия Стьюдента как для двух независимых выборок (1 и 2 группа), так и парный критерий Стьюдента для двух зависимых (3а и 3б групп) при пороговом уровне значимости $\alpha \leq 0,05$ и числа степеней свободы $\nu = n - 1$ (n – объем выборки). Для сравнения изменения состояния больных до и после лечения использовали критерий Уилкоксона, основанный на рангах и, в связи с чем не нуждающийся в предположениях о типе распределения изменений [24].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенного эксперимента было обнаружено, что средние значения диэлектрической проницаемости (ДП) суспензий эритроцитов первой, второй, и третьей групп в соответствии с уровнем значимости $p \leq 0,05$ существенно не отличались. Стандартное отклонение ДП суспензий эритроцитов составляет 3-4,8 единиц, что может быть объяснено внутригрупповой изменчивостью индивидуальных различий пациентов, а также индивидуальными отличиями реакции организма на заболевание и на терапевтическое воздействие. Однако было обнаружено достоверное изменение средних значений действительной и мнимой части комплексной диэлектрической проницаемости суспензии мембран эритроцитов больных СД 2 до лечения по сравнению с соответствующими показателями больных после лечения.

В таблице 1 представлены средние значения и стандартные отклонения действительной (ε') и мнимой (ε'') частей комплексной диэлектрической проницаемости, статической диэлектрической проницаемости (ε_s), частоты диэлектрической релаксации (f_D), и удельной электропроводности (σ) компонент крови больных сахарным диабетом до (1 группа) и после лечения (2 группа), а так же компонент крови больных СД 2 до (3а группа) и после (3б группа) лечения.

Таблица 1

Диэлектрические параметры компонент крови пациентов с СД 2 до и после лечения

Диэлектрические параметры	Объекты исследования	Средние значение компонент крови ± стандартное отклонение			
		Группа 1	Группа 2	Группа 3а	Группа 3б
ϵ'	Суспензии эритроцитов	35,57±4,78	33,50±4,31	33,64±3,48	31,84±3,06
	Суспензии мембран	55,66±1,71	52,80±1,29*	54,78±1,36	52,43±1,06*
	Плазма крови	45,30±0,92	45,43±0,69	45,23±0,39	45,40±0,73
ϵ''	Суспензии эритроцитов	24,30±3,33	25,39±3,01	23,19±4,11	24,40±3,08
	Суспензии мембран	30,91±0,82	31,44±0,25*	31,77±0,54	31,44±0,15
	Плазма крови	29,68±1,63	29,43±1,12	30,45±0,42	29,26±1,06
ϵ_s	Суспензии эритроцитов	55,38±6,96	56,96±5,78	52,94±7,89	54,88±5,73
	Суспензии мембран	74,80±0,98	73,75±0,98*	75,31±1,24	73,54±0,73*
	Плазма крови	67,59±2,06	67,22±1,59	68,63±0,60	69,92±1,39
$f_D \cdot 10^9, Гц$	Суспензии эритроцитов	11,34±0,79	10,15±1,32*	11,23±0,86	9,99±1,39
	Суспензии мембран	14,92±0,79	13,81±0,31*	14,24±0,38	13,7±0,28*
	Плазма крови	12,36±0,95	12,46±0,58	11,97±0,24	12,52±0,56*
$\sigma, Ом^{-1} \cdot м^{-1}$	Суспензии эритроцитов	0,60±0,04	1,09±0,09*	0,06±0,05	1,06±0,06*
	Суспензии мембран	1,13±0,05	1,19±0,02*	1,14±0,05	1,19±0,01*
	Плазма крови	1,02±0,02	1,06±0,02*	1,03±0,02	1,06±0,03*

Примечание: символом * обозначены значения показателей, между которыми наблюдались достоверные отличия с уровнем значимости $p \leq 0,05$.

Из таблицы 1 видно, что значения действительной части комплексной диэлектрической проницаемости (ϵ') суспензии эритроцитов в группах пациентов с СД 2 до лечения (1 и 3а группы) имеет тенденцию к увеличению данного параметра ($p=0,2$ для 1 и 2 группы, $p=0,2$ для 3а и 3б группы) по сравнению с соответствующими показателями суспензии эритроцитов больных СД 2 после лечения (2 и 3б группы), что свидетельствует об изменении количества свободной воды в эритроцитах больных СД 2, возможно вследствие модификации сопутствующих заболеванию изменений, таких как: изменения вязкости и проницаемости плазматической мембраны, а также конформации гемопорфирина гемоглобина эритроцитов, снижение связывания кислорода и увеличение содержания дезоксигемоглобина, сопровождающимся изменениями вязкости и проницаемости мембраны для Na^+ , H^+ , Ca_2^+ , K^+ [25].

Диэлектрические потери (ϵ'') суспензий эритроцитов больных СД 2 после лечения (2 и 3б группы) имеют тенденцию к увеличению по сравнению с соответствующими показателями суспензии эритроцитов больных СД 2 до лечения (1 и 3а группы), ($p=0,1$ для 1 и 2 группы, $p=0,5$ для 3а и 3б группы). Такой разнонаправленный характер изменения значений ϵ' и ϵ'' суспензий эритроцитов больных СД 2 вероятнее всего, связан с немонотонностью зависимости количества связанной клеткой воды от состояния системы в целом. Однако поскольку при этом происходит увеличение значений ϵ_s , то можно говорить об увеличении количества свободной (объемной) воды в образце ($p=0,1$ для 1 и 2 группы). Также в группах больных СД 2 после инсулинотерапии наблюдается достоверное уменьшение средних значений частоты диэлектрической релаксации молекул воды f_D суспензий эритроцитов по сравнению с

соответствующими показателями f_D суспензий эритроцитов больных СД 2 до лечения ($p=0,05$ для 1 и 2 группы, $p=0,1$ для 3а и 3б группы). Сопоставляя между собой значения ε_S и f_D суспензий эритроцитов больных СД 2, можно предположить, что терапевтические методы направленные на коррекцию СД 2, способствуют переходу воды из связанного состояния в свободное, что приводит к увеличению ее подвижности [26].

Как известно, проницаемость биологических мембран - их важнейшее свойство, заключающееся в способности пропускать в клетку и из неё различные метаболиты (аминокислоты, сахара, ионы и т.п.). Она имеет большое значение для осморегуляции и поддержания постоянства состава клетки. Её физико-химический гомеостаз играет важную роль в генерации и проведении нервного импульса, в энергообеспечении клетки, сенсорных механизмах и др. процессах жизнедеятельности [27]. Проницаемость обусловлена особенностями строения мембран, являющихся осмотическим барьером между клеткой и средой, и служит характерным примером единства и взаимосвязи между структурой и функцией на молекулярном уровне [13, 28, 29].

Роль воды в мембранах обычно рассматривают как организующий фактор, с помощью которого формируется пространственная бислоенная структура мембран с включением в их состав интегральных белков и различных других компонентов [30, 31, 32].

Результаты исследований показали (табл. 1), достоверное понижение ε' суспензий мембран эритроцитов больных СД 2 после лечения по сравнению с ее значением у больных СД 2 до лечения. Повышенное значение ε' суспензий мембран эритроцитов и ε' суспензий самих эритроцитов больных СД 2 до лечения по сравнению с соответствующими параметрами после лечения может быть следствием повреждения мембран активными формами кислорода в местах наибольшей активности перекисного окисления липидов (ПОЛ) и возникновения каналов пассивной проницаемости (гидрофильных зон в гидрофобном слое мембран) за счёт образования гидропероксидов жирных кислот [29, 33, 34]. Через эти каналы в клетки могут проникать вода, ионы натрия, кальция, что приводит к набуханию клеток, органелл и их разрушению [34, 35]. На фоне лечения больных СД 2 происходит нормализация процессов ПОЛ, что сопровождается достоверным понижением среднего значения ε' суспензий мембран эритроцитов больных СД 2 после лечения. Также после прохождения больными курса терапии наблюдается достоверное увеличение среднего значения ε'' суспензий мембран эритроцитов больных СД 2, однако достоверные различия показателей отмечались только у пациентов 1 и 2 групп, что вероятнее всего связано с их количественным составом, т.к. мощность критерия по данному параметру между показателями 3а и 3б групп оказалась низкой и соответствовала 0,08.

Также наблюдается достоверное уменьшение среднего значения ε_S суспензий мембран эритроцитов больных СД 2 после лечения, что свидетельствует о возможной нормализации гидратации мембран и об уменьшении количества свободной воды в результате связывания ее мембраной эритроцита; достоверное уменьшение среднего значения f_D суспензий мембран эритроцитов может быть обусловлено упорядочением воды в образцах.

Достоверных тенденций в значениях ε' и ε'' плазмы крови больных СД 2 зафиксировано не было, однако обнаружена тенденция к понижению значений ε_S плазмы крови больных СД 2 после лечения ($p=0,07$) для 3а и 3б групп, что может быть обусловлено увеличением связанной воды в образцах.

Обнаружено достоверное повышение средних значений f_D плазмы у больных 3б группы по сравнению со значениями f_D у больных 3а группы, что может быть обусловлено перераспределением объемной и связанной воды и изменением степени упорядоченности объемной воды, возможно в результате усиления интенсивности процессов ПОЛ и окислительной модификации белков плазмы крови и накоплении свободных кислородсодержащих радикалов [36, 37].

На основании полученных данных можно говорить о том, что лечение приводит к уменьшению количества свободной воды в плазме крови пациентов. Это может быть как результатом повышения степени гидратации некоторых компонент плазмы крови, так и следствием увеличения их концентрации.

В табл. 1 показано, что после прохождения больными СД 2 курса лечения у пациентов наблюдается достоверное увеличение, удельной электропроводности σ всех исследуемых компонент крови. Лечение приводит к увеличению σ компонент крови больных сахарным диабетом. Такое повышение σ отражает в большей степени увеличение количества носителей заряда, и в меньшей степени заряженных молекул, что может быть обусловлено наличием в крови продуктов метаболизма лекарственных препаратов.

ВЫВОДЫ

1. Специфичность изменений, происходящих в крови больных сахарным диабетом второго типа на фоне лечения позволяет рассматривать целесообразность применения метода СВЧ-диэлектротометрии для изучения молекулярных изменений на уровне клетки при различных патологических состояниях.
2. Значения диэлектрической проницаемости (ε') суспензии эритроцитов и мембран эритроцитов у пациентов с сахарным диабетом до лечения имеют тенденцию к увеличению по сравнению с соответствующими показателями суспензии

- эритроцитов больных сахарным диабетом после лечения.
3. Выявлено увеличение значений статической диэлектрической проницаемости (ϵ_s) и одновременное понижение частоты диэлектрической релаксации молекул воды (f_D) суспензий эритроцитов больных сахарным диабетом после курса лечения, что свидетельствует об увеличении количества свободной воды и о ее упорядочении.
 4. Наблюдается достоверное уменьшение среднего значения статической диэлектрической проницаемости ϵ_s суспензий мембран эритроцитов больных сахарным диабетом после лечения, что свидетельствует о возможной нормализации гидратации мембран и уменьшении количества свободной воды в результате связывания ее мембраной эритроцита.
 5. Установлено достоверное увеличение средних значений удельной электропроводности (σ) всех исследуемых компонент крови больных сахарным диабетом после лечения.

Литература

1. Кисляк Н.С., Ленская Р.В. Клетки крови у детей в норме и патологии. М.: Медицина, 1978. – 256 с.
2. Швырев А.А. Анатомия и физиология человека с основами общей патологии. Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – 416 с.
3. Луговская С.А., Почтарь М.Е. Гематологический атлас. - Москва-Тверь: «Триада», 2004. – 227с.
4. Козинец Г.И. и др. Клетки крови – современные технологии анализа. – М., 2002. – 200 с.
5. Каргаполов А.В., Зубарева Г.М. Состояния воды в биологических системах // Сборник научных работ сотрудников Тверской медицинской академии «Использование ИК - спектроскопии в медицине, экологии и фармации» - Тверь, 2003. – С. 63-67.
6. Аксенов С.И. Роль воды в регуляции биологических процессов и в их чувствительности к слабым воздействиям // Тезисы докладов XI конференции "Космическая биология и авиакосмическая медицина". М., 1998. – С. 21-22.
7. Гильмиарова Ф.Н., Радомская В.М., Виноградова Л.Н., Бабичев А.В., Самыкина Л.Н., Панченко Л.Ф. Особенности метаболизма миокарда человека при алкогольной интоксикации // Вопросы мед. химии. – 1993. – Т. 39, № 6. – С. 31-34. ,
8. Бородина Г.Е., Зубарева Г.М. Инфракрасная спектроскопия водных систем. Сб. научных работ сотрудников тверской медицинской академии. – Тверь: Триада, 2003. – 216 с.
9. Воинов Д.А. Максина А.Г., Кузиченко Е.Ю. и др. Сопоставление результатов оценки состояния мембраны эритроцитов с помощью теста растекания крови и метода электронного парамагнитного резонанса // Медицинский научный и учебно-методический журнал. – 2003. – № 15. – С.109-111.
10. Аксенов С.И. Связанная вода в дисперсных системах // Состояние воды в биологических системах. – 1980. – №57. – С. 46-74.
11. Четвериков А.Г. Роль воды в процессах возникновения и гибели свободных радикалов в биологических объектах. Автореф. кан. дис. - М., 1965. - 20 с.
12. Семенов С.Ю. Микроволновая томография биологических объектов. Автореферат доктор физ-мат наук. - Москва, 1999. – 51 с.
13. Давронов Х.Н. Электрические свойства биополимеров (биотканей) и раздельная регистрация составляющих импеданса. Автореферат канд.ф-м.наук. - Душанбе, 2002. – 24 с.
14. Николов О.Т., Жильякова Т.А. Измерение комплексной диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков с большими потерями // Журнал физической химии. – 1991. – Т. 65, № 5. – С. 1312-1316.,
15. Gataw S. V. Very high-frequency dielectrometer for the study of dynamical processes in disperse water system. // Радиофизика и электроника – 1999. – Т. 4, № 1. - С. 129-132.
16. Горобченко О.А., Николов О.Т., Гатаи С.В. Влияние γ -облучения на термоиндуцированные конформационные переходы и гидратацию фибриногена // Биополимеры и клетка. – 2006. - Т. 22, №2. - С. 162.
17. Шахпаронов М.И. Ахадов Я.Ю. Диэлектрические свойства и молекулярное строение растворов вода-ацетон // Журн. структ. химии. - 1965. – Т. 6, № 1. – С. 21-26.
18. Schepps J.L., Foster K.R. The UHF and microwave dielectric properties of normal and tumour tissues: variation in dielectric properties with tissue water content // Phys. Med. Biol. – 1980. – Vol. 25, № 6. – P. 1149-1159.
19. Jenin Pierre C., Schwan H.P. Some observations on the dielectric properties of hemoglobin's suspending medium inside human erythrocytes // Biophys. J. – 1980. – Vol. 3. – P. 285-294.
20. Дебай П. Полярные молекулы. М-Л.: 1931. – 245 с.
21. Suzuki M., Shigematsu J., Kodama T. Hydration Study of Proteins in Solution by Microwave Dielectric Analysys // J. Phys. Chem. – 1996. – Vol. 100. – P. 7279-7282.
22. Кост Е.А. Справочник по клиническим лабораторным методам исследования. - М.: Медицина, 1975. – 384 с.
23. Атраментова Л.А., Утевская О.М. Статистические методы в биологии: учебник - Горловка: «Видавництво Ліхтар», 2008. - 248 с.
24. Гланц С. Медико-биологическая статистика. Пер. с англ. – М.: Практика, 1998. – 459 с.
25. Рубин А.Б. Максимов Г.В. Максимова Н.В. Лунева О.Г. Маттеуччи Е. Медведев Э.А. Пауценко В.З. Исследование роли вязкости и проницаемости плазматической мембраны эритроцита в изменениях связывания кислорода гемоглобином при сахарном диабете. // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2005. – № 11. – С. 519-522.
26. Адельянов А.В., Горобченко О.А., Николов О.Т., Гатаи С.В., Горбенко Н.И. Влияние кварцетина на диэлектрические характеристики компонент крови крыс с сахарным диабетом // Физика живого. – 2010. - Т. 18, № 3. - С. 50-54.
27. Геннис Р. Биомембраны: Молекулярная структура и функция. М.: Мир, 1997. – 624 с.
28. Макшеева Р.Т. Физиология сахарного диабета монография ЕНУ: Астана, 2007. – 128 с.
29. Владимиров Ю.А. Роль нарушений свойств липидного слоя мембран в развитии патологических процессов // Патолог. физиология и эксперим. терапия. – 1989. – № 4. – С. 7-19.
30. Бергельсон Л.Д. Биологические мембраны. - М.: Наука, 1975. – 184 с.
31. Ивков В.Г., Берестовский Г.Н. Липидный бислой биологических мембран. - М.: Наука, 1982. – 224 с.
32. Кагава Я. Биомембраны. - М.: Высшая школа, 1985. – 303 с.
33. Ефимов А.С., Ткач С.Н. Сахароснижающие пероральные препараты и их применение. – Киев, 1997. – 108 с.
34. Северин Е.С. Биохимия: Учебник для ВУЗов. – 2004. - 430 с.

35. Колосова М.В., Новицкий В.В., Кравец Е.Б. и др. Особенности поверхностной архитектоники и ультраструктуры эритроцитов периферической крови у детей, больных инсулинзависимым сахарным диабетом // Клинич. лаб. диагностика. – 1997. – № 9. – С. 16-18.
36. Муравлева Л.Е., Молотов-Лучанский В.Б., Клоев Д.А., Култанов Б.Ж., Танкибаева Н.А., Кусаинова Д.С., Тулешова А.М., Калиева Г.Т. Изучение окислительного метаболизма эритроцитов крови больных диабетической нефропатией // Современные наукоемкие технологии . – 2009. – № 4. – С. 14-17.
37. Клоев Д.А., Молотов-Лучанский В.Б., Муравлева Л.Е. Особенности ИК-спектров плазмы крови больных с сосудистыми осложнениями сахарного диабета типа II. // Материалы межвузовской научной конференции «Современные проблемы медицины и биологии». - Караганда. – 2007. – С. 32-34.

ВПЛИВ КУРСУ ЛІКУВАННЯ НА ДІЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОНЕНТ КРОВІ ХВОРИХ НА ЦУКРОВИЙ ДІАБЕТ 2 ТИПУ

Шаталова Т.О., Адельянов О.В., Горобченко О.О., Николов О.Т., Гаташ С.В., Овсянникова Т.М., Горшунська М.Ю.

В роботі представлені результати дослідження діелектричних характеристик суспензій еритроцитів, мембран еритроцитів і плазми крові хворих на цукровий діабет методом НВЧ-діелектрометрії на робочій частоті 9,2 ГГц на фоні терапевтичного впливу. Встановлено, що значення дійсної частини комплексної діелектричної проникності (ϵ') суспензії еритроцитів і мембран еритроцитів у пацієнтів з цукровим діабетом до лікування мають тенденцію до збільшення в порівнянні з відповідними показниками суспензії еритроцитів хворих на цукровий діабет після лікування. Виявлено достовірне зменшення середнього значення статичної діелектричної проникності (ϵ_s) суспензій мембран еритроцитів хворих на цукровий діабет після лікування; достовірне зниження середніх значень частоти діелектричної релаксації молекул води (f_D) суспензій еритроцитів і мембран еритроцитів хворих на цукровий діабет після курсу лікування. Виявлено достовірне збільшення середніх значень питомої електропровідності (σ) всіх досліджуваних компонент крові хворих на цукровий діабет після лікування.

Ключові слова: діелектрична проникність, питома електропровідність, еритроцити, мембрани еритроцитів, плазма крові, цукровий діабет 2 типу.

TREATMENT EFFECT ON DIELECTRIC CHARACTERISTICS OF BLOOD COMPONENT OF PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES

Shatalova T.A., Adeljanov A.V., Gorobchenko O.A., Nikolov O.T., Gatash S.V., Ovsyannikova T.N., Gorshunskaya M.Y.

The paper presents the results of a study of the dielectric properties of suspensions of red blood cells, red blood cell membranes and blood plasma of patients with diabetes mellitus using microwave dielectrometry method at the operating frequency of 9,2 GHz including the therapeutic effect. The study has shown that the value of the real part of complex dielectric permittivity (ϵ') of erythrocyte suspension and erythrocyte membranes in patients with diabetes before treatment tend to increase as compared with the corresponding indicators of erythrocyte suspension in patients with diabetes mellitus after treatment. The research has shown a significant decrease in the average values of the static dielectric constant (ϵ_s) of membrane suspensions of patients' erythrocytes with diabetes mellitus after treatment, as well as a considerable decrease in the average values of frequency dielectric relaxation of water molecules (f_D) of erythrocyte suspensions and erythrocyte membranes of diabetic patients after treatment. A significant increase in the average values of electrical conductivity (σ) of all investigated blood components of diabetic patients after treatment has been detected.

Key words: permeability, conductivity, erythrocytes, erythrocyte membranes, blood plasma, type 2 diabetes.