

Н. Н. МАЛОВ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРОВИ ПРИ ДЕЦИМЕТРОВЫХ ВОЛНАХ

(Представлено академиком С. И. Вавиловым 17 VI 1939)

Знание электрических свойств (электропроводности g и диэлектрической проницаемости ϵ) крови представляет значительный интерес для электромедицины.

Денцер⁽¹⁾ указал на возможность существования дисперсии. Он рассматривает кровь как хорошопроводящий электролит (плазма), в котором взвешены эритроциты, представляющие тонкую диэлектрическую оболочку, заполненную также хорошопроводящей плазмой. При токах низкой частоты емкостное сопротивление оболочки велико, и эритроциты практически не участвуют в проведении тока; при высокой частоте влияние оболочки проявляется меньше, а потому электропроводность крови должна возрастать.

Соответственно должна изменяться и эквивалентная диэлектрическая проницаемость крови, которая, как показывает расчет, уменьшается с возрастанием частоты.

Ход дисперсии существенным образом зависит от относительной толщины оболочки

$$\vartheta = \frac{R_1 - R_0}{R_0},$$

(где R_1 и R_0 — внешний и внутренний радиусы оболочки) и от относительного объема эритроцитов:

$$p = \frac{v_{\text{эритро}}}{v_{\text{крови}}}.$$

Если отделить эритроциты от плазмы, в которой они взвешены (например путем центрифугирования), то плазма не должна обладать заметной дисперсией, эритроциты же должны дать значительную дисперсию.

Наконец, при разрушении оболочки эритроцитов (например уксусной кислотой) дисперсия снова должна значительно уменьшиться.

Значения p для крови и центрифугированных эритроцитов составляют, как показывает опыт, соответственно

$$p_{\text{крови}} \approx 0.3; \quad p_{\text{эритро}} \approx 0.8.$$

Значение δ неизвестно, но, во всяком случае, δ значительно меньше единицы.

В табл. 1 приводятся данные о дисперсии ϵ и g (g_0 — электропроводность на низкой частоте), вычисленные для крови и эритроцитов по теории Денцера для различных значений δ .

Таблица 1
Дисперсия по теории Денцера

Длина волны в м	$\delta = 2 \cdot 10^{-3}$				$\delta = 5 \cdot 10^{-3}$				$\delta = 2 \cdot 10^{-2}$			
	$p=0.3$		$p=0.8$		$p=0.3$		$p=0.8$		$p=0.3$		$p=0.8$	
	ϵ	g/g_0	ϵ	g/g_0	ϵ	g/g_0	ϵ	g/g_0	ϵ	g/g_0	ϵ	g/g_0
200	564	1	930	1	254	1	376	1	100	1	105	1
20	298	1.26	560	3.77	220	1.11	342	1.93	98	1	100	1
4	93	1.47	115	6.07	100	1.41	108	4.72	87	1.10	86	1.72
2	84	1.50	88	6.15	82	1.46	84	5.20	77	1.20	71	2.64
0.2	80	1.50	80	6.15	75	1.49	67	5.35	69	1.24	52	2.85

Измерения ϵ и g крови при метровых волнах производились Граулем⁽²⁾, Освальдом⁽³⁾ и автором⁽⁴⁾. Сводка результатов приводится в табл. 2.

Таблица 2
Измеренная дисперсия крови

Длина волны в м	У человека								У барана								Автор
	плазма		кровь		эритроциты				плазма		кровь		эритроциты				
					центрифугированные		разрушенные						центрифугированные		разрушенные		
	ϵ	g/g_0	ϵ	g/g_0	ϵ	g/g_0	ϵ	g/g_0	ϵ	g/g_0	ϵ	g/g_0	ϵ	g/g_0	ϵ	g/g_0	
6.00	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20.00	—	—	—	1.55	—	7.9	—	—	—	0.96	—	1.28	—	2.7	—	—	Грауль
12.00	—	—	—	—	—	—	—	—	82	1.00	120	1.44	190	10.3	78	1.04	Освальд
3.50	—	—	99	1.67	—	—	—	—	95	0.98	—	—	109	3.58	85	1.40	Малов
3.00	—	—	—	—	—	—	—	—	82	1.00	78	1.44	—	—	—	—	Освальд
0.60	52	0.78	67	0.98	52	4.17	59	2.00	72	0.62	65	1.14	55	1.47	60	0.82	Малов

Автором были произведены измерения ϵ и g крови и ее составных частей при волне 65 см. Генератором служил магнетрон Украинского физико-технического института⁽¹⁾; питание схемы производилось от аккумуляторов, электромагнит возбуждался мощной динамо.

Измерения производились по методу Друде-Кулиджа, теория которого была переработана с учетом значительных электропроводностей (порядка $5 \cdot 10^{-3}$ пр. ед.) исследуемых объектов⁽⁵⁾.

Детали измерений, ошибка которых не превышала 5—7%, описываются в другом месте.

Результаты этих измерений также приводятся в табл. 2.

⁽¹⁾ За предоставление магнетрона автор выражает глубокую благодарность проф. А. А. Слуцкину.

Данные табл. 2 свидетельствуют, в общем, о правильности теории Денцера.

Заслуживает внимания уменьшение электропроводности плазмы при волне в 65 см. Это уменьшение сказывается и на значениях электропроводности крови и эритроцитов, которая возрастает меньше, чем того можно было бы ожидать, исходя из теории Денцера, по которой электропроводность плазмы не зависит от частоты.

Следует указать, что уменьшение электропроводности при $\lambda=65$ см наблюдается и в водных растворах NaCl значительных концентраций, электропроводность которых близка к электропроводности плазмы.

Последний результат подтвержден также измерениями по видоизмененному первому методу Друде⁽⁶⁾; эта методика требует значительных количеств исследуемой жидкости, а потому не могла быть использована для непосредственных измерений ε и g крови.

Теория электролитов Дебая—Фалькенгагена не приложима к столь сильно концентрированным растворам, и объяснить это неожиданное явление представляется в данное время затруднительным.

Следует отметить, что абсолютные измерения коэффициента поглощения электромагнитных волн в концентрированных растворах электролитов, произведенные Зеебергером⁽⁷⁾ ($\lambda=14$ см) и Элле^(7,8) ($\lambda=4$ см), позволяют вычислить значения электропроводности, которые также оказываются меньше низкочастотных⁽⁹⁾.

Для более детального изучения этого эффекта необходимо накопление экспериментальных данных о значениях электропроводности при дециметровых и сантиметровых волнах.

Государственный институт физиотерапии
Москва

Поступило
17 VI 1939

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ H. D ä n z e r, Ann. d. Phys., **20**, 463 (1934); **21**, 783 (1935). ² F. G r a u l, Ann. d. Phys., **24**, 326 (1935). ³ K. O s s w a l d, Hochfrequ. u. Elektroak., **49**, 40 (1937). ⁴ N. M a l o v, Techn. Phys. of URSS, **5**, 767 (1938). ⁵ N. M a l o v, Phys. ZS d. Sowjetun., **12**, 111 (1937). ⁶ Н. М а л о в, Доклад в лаб. колебаний Моск. гос. ун-та, май (1939). ⁷ S e e b e r g e r, Ann. d. Phys., **16**, 77 (1933). ⁸ D. E l l e, Ann. d. Phys., **30**, 354 (1937). ⁹ Н. М а л о в, Доклад в Моск. магн. лаб. им. Максвелла, ноябрь (1938).