ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЭРИТРОЦИТОВ

Г.А. ПОГОСЯН, Г.В. СААКЯН, Г.Г. АРЦРУНИ

НИЦ ЕрГМУ им. М. Гераши, 0025

The *in vitro* influence of electrostatic field with 200 kV/m tension on the electrophoretic motility of red cells of white outbreed rats was investigated. The electrokinetic potential of cells and the membrane surface charge were calculated. The electrokinetic potential of cells and the membrane surface charge are changed under the influence of electrostatic field with 200 kV/m tension.

*Электростатическое поле - электрокинетический потенциал -
поверхностный заряд*

Исследования электрофоретической подвижности эритроцитов (ЭФПЭ) позволяют оценить их электрокинетический потенциал и судить о величине поверхностного заряда на мембране эритроцита. К настоящему времени известно, что изменение ЭФПЭ в основном связано либо с экранированием отрицательно заряженных поверхностных остатков, либо с перераспределением зарядов по глубине гликокаликса, сопровождающимся изменением влияния отдельных групп на величину электрокинетического потенциала [6, 7].

Ранее нами был предложен механизм действия внешних электростатических полей (ЭСП) на мембранные структуры, согласно которому при наложении внешних ЭСП происходит изменение объемной плотности зарядов в пределах бислоя, перераспределение плотности зарядов на поверхности слоев с различной проводимостью [1], что, несомненно, должно привести к изменениям ЭФПЭ и поверхностного заряда на мембране эритроцита.

В представленной работе приводятся данные по исследованию *in vitro* влияния внешних ЭСП на электрокинетический потенциал и поверхностный заряд эритроцитов.

Материал и методика: Объектом исследования служила стабилизированная оксалатом натрия эритроцитарная масса крови белых беспородных крыс массой 120-150 г. Используемые в опытах эритроциты дважды отмывали 0,9 %-ным раствором хлористого натрия, а затем буфером Серенсена центрифугированием при 1500 об/мин в течение 5 мин. В каждой серии экспериментов эритроцитарную массу подвергали 10-минутному воздействию внешних ЭСП напряженностью 200кВ/м в специальной камере [2] при комнатной температуре. Контролем служили эритроциты, находящиеся в тех же условиях в течение 10 мин без ЭСП-воздействия. ЭФПЭ оценивали под микроскопом по

общепринятой методике [14] ξ - потенциал вычисляли по формуле:

$$\xi = 140\sigma,$$

где σ – электрофоретическая подвижность клетки. Значение поверхностного заряда σ эритроцитов вычисляли по формуле:

$$\sigma = \eta\omega / r + 1/k,$$

где η - вязкость дисперсной среды, r - средняя величина радиуса противоиона, $1/k$ - толщина двойного электрического слоя.

Результаты обрабатывали статистически с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждения: Как следует из табл.1, *in vitro* действие внешнего ЭСП напряженностью 200 кВ/м на эритроциты белых беспородных крыс приводит к изменению их ξ -потенциала и поверхностного заряда. Так, на протяжении 60 мин измерений после действия поля исследуемые параметры для контрольных эритроцитов направленно снижаются, что как по величине, так и по темпу снижения полностью соответствуют имеющимся литературным данным [5, 8, 9]. Иная картина наблюдается при измерении тех же параметров у эритроцитов, подвергшихся воздействию ЭСП. Сразу после воздействия поля на первой минуте измерения ξ -потенциал эритроцитов снижается по сравнению с контролем на 47,1%, а поверхностный заряд на 47,3%. На 15 минуте после воздействия достоверных изменений исследуемых параметров нет, на 30 минуте у опытных образцов наблюдается незначительное снижение ξ -потенциала и поверхностного заряда. Однако на 60 минуте после воздействия имеет место повышение значения исследуемых параметров на 33,3%.

Таблица 1. ξ - потенциал и поверхностный заряд эритроцитов сразу, через 15, 30 и 60 мин после действия ЭСП напряженностью 200 кВ/м, $[\xi] = 1$ мВ, $[\sigma] = 1$ эл. стат. ед./см²

	Контроль		Опыт	
	ξ	σ	ξ	σ
Сразу	$2,1 \times 10^{-2}$ n=7	$0,0035 \times 10^4$ n=7	$0,94 \times 10^{-2}$ n=8 $t = 25,6$	$0,00156 \times 10^4$ n=8 $t = 25,6$
15 мин	$1,73 \times 10^{-2}$ n=8	$0,002 \times 10^4$ n=8	$1,74 \times 10^{-2}$ n=7 $t = 0,14$	$0,00288 \times 10^4$ n=7 $t = 0,02$
30 мин	$1,80 \times 10^{-2}$ n=7	$0,0028 \times 10^4$ n=8	$1,50 \times 10^{-2}$ n=8 $t = 1,8$	$0,0025 \times 10^4$ n=8 $t = 2,16$
60 мин	$1,39 \times 10^{-2}$ n=8	$0,0023 \times 10^4$ n=8	$1,75 \times 10^{-2}$ n=8 $t = 2,32$	$0,0029 \times 10^4$ n=8 $t = 2,32$

* $p < 0,001$; ** $p < 0,01$

Говорить о конкретных механизмах воздействия внешних ЭСП на эритроцитарную мембрану преждевременно. Однако, исходя из полученных экспериментальных результатов, можно сказать, что *in vitro* действие внешних ЭСП приводит к перераспределению зарядов на поверхности эритроцитов.

В литературе имеется большое количество работ, посвященных влиянию

ЭСП на искусственные и естественные мембранные структуры [10, 11, 13], в которых авторы объясняют эффекты ЭСП поляризацией отдельных компонент биологических мембран. Однако, как нами отмечалось ранее [1], и такой сложной и неоднородной с точки зрения электростатики системе, как эритроцитарная мембрана, помимо поляризации отдельных компонентов, при наложении внешних ЭСП большое значение имеют изменения объемной плотности зарядов в пределах бислоя, что, несомненно, будет приводить к перераспределению плотности зарядов на поверхности слоев. Увеличение значений исследуемых параметров на 60 минуте после действия ЭСП, возможно, является следствием остаточного эффекта поляризации и деполяризации липидных молекул при наложении внешнего ЭСП, и окончательный поверхностный заряд устанавливается через определенный промежуток времени после действия поля. Несомненно, наблюдаемые в данной работе изменения, могут быть причиной структурно-функциональных перестроек эритроцитарных мембран при наложении внешнего ЭСП [3, 4, 12, 15].

ЛИТЕРАТУРА

1. Арируни Г.Г. Мед. наука Армении, XL (3), 70-80, 2000.
2. Арируни Г.Г. Камера для изучения действия ЭСП на мелкие лабораторные животные. Удостовер. на рац. предложение, № 134, 1983.
3. Арируни Г.Г. Глобус науки. 1(1), 33-37, 2001.
4. Арируни Г.Г., Тадевосян Ю.В., Бадибян Т.Б. Мед. наука Армении, XLI (1), 51-56, 2004.
5. Гильмутдинов Р.Я. Автореф. докт. дис., Казань, 1994.
6. Голант М.Б., Шашлов В.А. Применение миллиметрового излучения низкой интенсивности в биологии и медицине. М. ИРЭ АН СССР, 127-132, 1985.
7. Голант М.Б. Биофизика. XXXIV. 2, 339-348, 1989.
8. Харамоненко С.С., Ракитянская А.А. Электрофорез клеток крови в норме и патологии. Минск: Беларусь, 1974.
9. Трещинский А.И., Мицук И.И. Анестезиол. и реаниматол., 4, 17-21, 1981.
10. Croves J.T., Boxer S.G., McConnel H.M. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 3; 95(3), 935-938, 1998.
11. Katnik K., Wang R. J Biophysics, 57(4), 672-676, 1990.
12. Kinoshita K.Y., Tsong T.T. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 74(5), 1923-1927, 1977.
13. Radhakrishnan A., McConnel H.M. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1; 97(3), 1073-1080, 2000.
14. Sukhorikov V.L., Mussauer H., Zimmermann U. J Membr. Biol. 1, 163 (3), 235-245, 1998.
15. Stoltz J.F., Donner M. Jurk. J. of med. Sciences, 15, 1, p 26, 1991.

Поступила 19.1.2007