

М. В. ХАНИН, И. П. ЗАМОТАЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ  
 НА СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ  
 ЧЕЛОВЕКА

Известно, что на человеческий организм в нормальных условиях действует магнитное поле земли, однако, нередко интенсивность его в силу ряда причин изменяется. При этом наблюдаются различные функциональные сдвиги в организме человека вплоть до летального исхода. Очень чувствительна к изменениям магнитного поля система кровообращения человека. Поэтому исследование механизмов взаимодействия этой системы с магнитным полем представляет значительный научный и практический интерес. Для этого необходимо рассмотреть во взаимосвязи основные гемодинамические показатели системы кровообращения. Это удобно сделать, представив уравнения движения, неразрывности и граничные условия, описывающие течение крови по сосудам, в безразмерном виде. Считая, что сосудистая стенка активно участвует в передвижении крови [1], для получения уравнений ее движения в безразмерном виде можно воспользоваться преобразованием М. В. Ханина [2]:

$$\left. \begin{aligned} \rho \bar{d}\bar{w}/dt &= -\text{grad } P + \mu \nabla^2 \bar{w}, \\ \text{div } \bar{w} &= 0, \\ \bar{w}_{ab} &= \psi(\bar{l}_{ab}, w^*) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

откуда

$$\left. \begin{aligned} R_0^* (\partial \bar{W} / \partial T) &= -\text{grad } P + \nabla^2 \bar{W}, \\ \text{div } \bar{W} &= 0, \\ \bar{W}_{ab} &= \psi(\bar{L}_{ab}). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Решение будет иметь следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} T &= F_T(\bar{L}), \\ P &= F_P(\bar{L}). \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Поскольку при сравнительно быстром изменении внешних условий по отношению к системе кровообращения величину  $\bar{L}$  можно считать постоянной, так как для ее изменения требуется сравнительно большее время, связанное с морфологическими изменениями мышечных слоев

сосудистой стенки, то условия подобия соблюдаются несложными преобразованиями, связывающими основные гемодинамические показатели. Из (3) следует:

$$P = S_0^* \frac{P}{\mu \omega} = \text{const.} \quad (4)$$

В (1)–(4)  $\rho$ —плотность,  $p$ —избыточное давление,  $\vec{w}$ —вектор скорости,  $w^*$ —параметрическое значение скорости,  $t$ —время,  $\mu$ —коэффициент динамической вязкости,  $\vec{r}$ —радиус-вектор,  $l_0$ —длина бегущей волны,  $\omega$ —частота колебаний сосудистой стенки,  $\nabla^2$ —оператор Лапласа,  $R_0^* = \frac{\rho l_0 w^*}{\mu}$  — число Рейнольдса,  $S_0^* = \frac{\omega l_0}{w^*}$  — число Струхалия,

$$\overline{W}_{ав} = \frac{w_{ав}}{w^*}, \quad \overline{W} = \frac{w}{w^*}, \quad \overline{L} = \frac{\overline{l}}{l_0}, \quad \overline{L}_{ав} = \frac{\overline{l}_{ав}}{l_0}, \quad T = \frac{1}{S_0^*}.$$

Под  $P$  понимается избыточное давление в данной точке потока, а  $P$  равно константе, имеющей свое значение в каждой из сходственных точек.

Рассматривая падение давления— $\Delta P$  на участке сосуда длиной  $l_0$  вместо (4), можно записать

$$S_0^* \frac{\Delta P}{\mu \omega} = \text{const.} \quad (5)$$

Для того, чтобы перейти к потерям диастолического давления в сосуде длиной  $l$  на установившемся режиме работы системы, надо потери энергии в рассматриваемом сосуде отнести к объему крови в нем.

$$\Delta P g = \frac{E}{Q}, \quad (6)$$

где  $E = \pi d \frac{\Delta d}{2} \left( \frac{1}{l_0} \right) \Delta P$ —энергия, потерянная осевым потоком на преодоление сопротивлений в сосуде длиной  $l$ ,  $d$ —эквивалентный диаметр сосуда, т. е. диаметр цилиндрического сосуда, емкость которого равна емкости сосуда со стенками волнообразной формы:  $Q = \frac{\pi d^2}{4} l$  — объем крови в данном сосуде длиной  $l$ .

Подставив выражения для  $E$  и  $Q$  в (6), получим:

$$\Delta P g = \frac{4}{d} \left( \frac{\Delta d}{2l_0} \right) \Delta P. \quad (7)$$

Так как для гидродинамически оптимального режима течения крови, которое соответствует установившемуся режиму работы системы кровообращения, отношение амплитуды волнообразной поверхности к

длине волны должно быть равно  $1/4$ , то  $\left(\frac{\Delta d}{2l_0}\right) = 1/4$ , а (7) при этом упростится и примет вид:

$$\Delta P_g = \frac{\Delta P}{d}. \quad (8)$$

Считая частоту колебаний сосудистой стенки, зависящей от частоты сердечных сокращений— $n$ , можно записать  $\omega_i = C_i \cdot n$ , где  $C_i$ —коэффициент, имеющий определенное значение для каждого из сосудов.

После подстановки в (5) выражений для  $\omega_i$  и  $\Delta P$  из (8) получится отношение:

$$\frac{\Delta P_g}{n} = \text{const} \cdot \frac{\mu}{d \cdot S_0} \quad (9)$$

Для нахождения суммарного диастолического давления  $P_g$  в любом из участков артериального русла необходимо просуммировать потери диастолического давления ниже рассматриваемого сечения. Тогда отношение  $\left(\frac{P_g}{n}\right)$  примет вид:

$$\frac{P_g}{n} = \sum_{i=1}^m \text{const} \cdot \frac{\mu}{d \cdot S_0} \quad (10)$$

Формула (10) устанавливает связь между основными гемодинамическими показателями системы кровообращения. При этом, отношение  $\left(\frac{P_g}{n}\right)$  должно являться характеристикой режима, на котором работает система кровообращения. Его значение должно быть различным для состояния системы кровообращения в норме и для функциональных и патологических изменений и соответствовать им.

Анализируя (10), мы видим, что гемодинамическим показателем, на величину которого может влиять магнитное поле является коэффициент динамической вязкости крови. Дело в том, что кровь представляет собой дисперсную систему, эффективная вязкость которой зависит как от свойств плазмы, так и от количества, состава и свойств форменных элементов. Так как из числа форменных элементов крови магнитными свойствами обладают в наибольшей степени эритроциты из-за содержащегося в них диоксида гемоглобина, можно предполагать, что интенсивность взаимодействия эритроцитов в магнитном поле оказывает соответствующее влияние на вязкость крови. Повышение вязкости крови за счет увеличения интенсивности магнитного взаимодействия ее эритроцитов должно вызывать повышение давления, что следует из (10), и может приводить со временем к гипертрофии сердечной мышцы, а также к тромбообразованию и другим функциональным и пато-

логическим изменениям, характерным, в частности, для больных гипертонической болезнью.

Экспериментальные и клинические исследования, проведенные в этом направлении, показали справедливость сделанных выводов. Н. К. Голобоким был предложен аппарат для определения «магнитного РОЭ». Принцип его действия заключается в том, что в результате кратковременного воздействия переменного магнитного поля на пробу крови, взятую при анализе, происходит размагничивание эритроцитов и скорость их замедляется. Причем изменение скорости осаждения эритроцитов связано с содержанием в них диоксигемоглобина.

Анализ состава гемоглобина в крови у разных людей показывает, что именно у больных гипертонической болезнью больше, чем у других содержится диоксигемоглобина и соответственно выше магнитное РОЭ. На табл. 1 приведены некоторые результаты подобных клинических исследований, проведенных в терапевтическом отделении больницы им. Боткина.

Таблица 1  
Изменение СОЭ под влиянием переменного магнитного поля

Нозологические группы	СОЭ	
	исходное, мм/час	магнитное, мм/час
	$M \pm m$	$M \pm m$
Гипертоническая болезнь	$22 \pm 3,32$	$4,8 \pm 1,73$
Ишемическая болезнь сердца	$23 \pm 4,58$	$13 \pm 3,16$
Хроническая пневмония	$22 \pm 8,30$	$23 \pm 8,32$

Даже предварительный анализ результатов теоретических, экспериментальных и клинических исследований позволяет наметить пути дальнейших работ, направленных на изыскание, с одной стороны, средств воздействия на состав гемоглобина крови с целью снижения в нем количества диоксигемоглобина и, с другой—на использование искусственных магнитных полей для целей профилактики, лечения и диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, а также защиты людей от вредных для здоровья изменений естественных магнитных полей.

Всесоюзный заочный,  
машиностроительный институт

Поступило 1/II 1977 г.



Մ. Վ. ԽԱՆԻՆ, Ի. Պ. ՋԱՄՈՒՐԱՆՎ

ՄԱՐԴՆԻ ԱՐՅԱՆ ՇՐՋԱՆԱՌՈՒԹՅԱՆ ՍԻՍՏԵՄԻ ՎԻՃԱԿԻ ՎՐԱ  
ՄԱԳՆԻՍՏԱՅԻՆ ԴԱՇՏԵՐԻ ՈՒՆԵՑԱԾ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ  
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Ա մ փ ն փ ն լ մ

Բերված կլինիկական ուսումնասիրությունների արդյունքները ցույց են տալիս էրիթրոցիտների մագնիսական փոխազդեցության ուժեղացում հիպերտոնիկ հիվանդությամբ հիվանդների մոտ:

M. V. KHANIN, I. P. ZAMOTAYEV

ON INFLUENCE OF MAGNETIC FIELDS ON THE STATE  
OF CIRCULATORY SYSTEM IN MAN

S u m m a r y

Given results of clinical studies have shown the potentiation of magnetic erythrocyte interaction in patients with hypertensive disease.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ханнин М. В. Научные труды ВНИИФК. 1969, II, М., 1970. 2. Ханнин М. В. В сб.: «Проблемы управления функциями организма человека и животных». АН СССР, М., 47—61, 1973.