

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ БИОУПРАВЛЕНИЯ КАК ПУТЬ К ОПТИМИЗАЦИИ ЛЕЧЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОМ

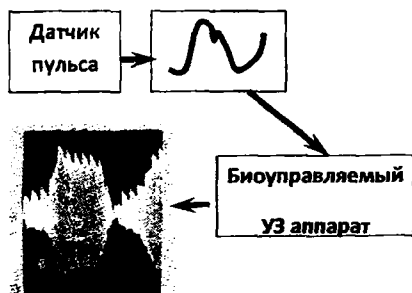
Л.И.Богданович, А.А.Чиркин, Г.И. Михасев, В.С. Улащик

*Витебский государственный медицинский университет
Витебский государственный университет им. П.М.Машерова
Белорусский государственный университет
Институт физиологии НАНБ*

В 1986 году была присуждена Государственная премия по науке группе исследователей во главе с профессором Л.И.Богдановичем за комплекс работ, посвященный развитию ультразвуковой терапии. Целью сообщения является подытоживание данных по развитию одного из актуальных направлений в физиотерапии, а именно — в развитии принципов индивидуализации физиотерапевтического воздействия.

Наиболее перспективным направлением в оптимизации физиотерапевтических воздействий является разработка высокоиндивидуализированных способов лечения на основе обратной связи в системе воздействующий фактор ↔ пациент. Такой тип терапии можно назвать биоуправляемой, поскольку параметры отпускаемой физиотерапевтической процедуры автоматически меняются в соответствии с изменениями управляющих ритмических параметров пациента. Ритмическое функционирование биологических систем является одним из фундаментальных законов жизнедеятельности и предполагает чередование фаз активной работы и отдыха. Биохимические и физиологические процессы на протяжении этих фаз зачастую не совпадают, а многие из них противоположны по направленности; интегральные кривые ритмически функционирующих биологических систем имеют синусоидальноподобный вид. Поэтому целесообразно осуществлять физиотерапевтическое воздействие всегда в одну и ту же

фазу ритмического процесса. Основные параметры ритмического процесса — частота, амплитуда и длительность — определяются устройствами-датчиками, установленными во время процедуры в непосредственной близости от области воздействия. Эти датчики позволяют инструментально регистрировать ритмические процессы путем получения на их выходе электрических сигналов в виде синусоидальноподобных кривых. В качестве управляющих сигналов, характеризующих ритмические процессы, в настоящее время можно использовать пульсограмму, реограмму, электрокардиограмму, пневмограмму, электрогастрограмму, энцефалограмму и др. Электрический сигнал в виде синусоидальноподобной кривой подается в устройство, генерирующее энергию физического фактора, в результате чего физиотерапевтическое воздействие происходит по закону управляющего сигнала. При этом достигается синхронизация воздействия физиотерапевтическим фактором в соответствии с управляющим ритмическим процессом по частоте, амплитуде и длительности. Такое воздействие является высокоиндивидуализированным и физиологичным, так как градиент подачи энергии физического фактора в организм конгруентен градиенту основных параметров управляющего биоритма.



Для обоснования предлагаемых способа и устройства в данной работе решалась задача о распространении возмущений в системе «сосуд-кровь», вызванных заданием начальных условий [1,2]. Для «сухой» оболочки аналогичная задача рассматривалась в [3], где решения были построены в виде суперпозиции бегущих в осевом направлении пакетов изгибных, продольных и крутильных волн. Впоследствии в [4] была изучена аналогичная задача для оболочки, заполненной жидкостью с учетом наличия мембранных кольцевых усилий, обусловленных внутренним статическим давлением жидкости.

С учетом [3,4], решение может быть аппроксимировано нестационарными ВКБ – функциями:

$$u_j(x, \varphi, t) = \sum_{k=0}^{\infty} u_{jk}(\xi, t) \exp\left\{ \left[\mu^{-1} S(\xi, t, \mu) + m\varphi \right] \right\}, \quad (1)$$

$$S(\xi, t, \mu) = \int_0^t \Omega(t') dt' + \mu^{1/2} p(t) \xi + 1/2 \mu b(t) \xi^2, \quad (2)$$

$$\xi = \mu^{-1/2} [x - q(t)], \quad \text{Im } b(t) > 0 \text{ для любого } t \geq 0. \quad (3)$$

Здесь u_{jk} — полиномы по ξ с коэффициентами, зависящими от времени t , Ω — комплексная частота колебаний сосуда и пульсаций скорости тока крови, $p(t)$ — волновое число, а параметр b , с учетом неравенства (15), характеризует скорость затухания амплитуды колебаний сосуда при удалении от его центра $x = q(t)$. Компоненты скорости тока крови, обусловленного волновым движением сосуда, ищутся в том же виде.

Алгоритм определения всех входящих в анзац неизвестных функций описан в [3, 4]. Поставленная здесь задача значительно упрощается в случае осесимметричного движения системы «сосуд-кровь». В этом случае $m=0$, $v=0$, $u_2=0$, а все входящие в уравнения производные функций по окружной координате φ следует положить равными нулю. Тогда количество уравнений сокращается до трех, при этом силы p_i , действующие на сосуд со стороны крови, находятся по формулам [5]:

$$p_1 = -\mu_b \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \Big|_{r=R}, \quad p_2 = 0, \quad p_3 = \left(P - 2\mu_b \frac{\partial v}{\partial r} \right) \Big|_{r=R}, \quad (4)$$

где через μ_b обозначена вязкость жидкости.

Результаты доклинических испытаний предлагаемого способа биоуправляемой терапии ультразвуком показали [6]:

- в экспериментах на 3-х суточных куриных эмбрионах установлена возможность навязывания ритма сокращений сердца с помощью ультразвука;

- в экспериментах на эритроцитах крысы, кролика и человека показано, что амплитудно-модулированный ультразвук способен активировать биохимические процессы в полосах частот, близких и кратных частоте пульса;

- показано ускорение регенерации кожи, кости, печени при действии биоуправляемого ультразвука в среднем на 40%.

Список литературы:

1. Fung Y.C. Biomechanics: Circulation, 2 nd ed. — New-York: Springer Science, 1997. — 571 p.

2. Вольмир А.С. Оболочки в потоке жидкости и газа: Задачи гидроупругости. – М.: Наука., 1979. – 320 с.

3. Михасев Г.И. О волновых формах движения бесконечной цилиндрической оболочки с переменными параметрами // Изв. РАН. Механика твердого тела. – 1995, № 6. – С. 129–137.

4. Mikhasev G.I. Traveling wave packets in an infinite thin cylindrical shell under internal pressure // Journal of Sound and Vibration. – 1998, Vol. 209, № 4. – P. 543–559.

5. Atabek H.B. Wave propagation through a viscous fluid contained in a tethered, initially stressed, orthotropic elastic tube // Biophysical Journal. – 1968, vol. 8. – p. 627–649.

6. Чиркин А.А., Михасев Г.И. Математические подходы к обоснованию биоуправляемой терапии ультразвуком // Материалы Междунар. конф. «Медико-биологические аспекты действия физических факторов. – Минск: Бизнесофсет, 2006. – С. 34–36.