



Биолог. журн. Армении, 1-2 (60), 2008

УДК:612.13:532.5

## ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ КРОВООБРАЩЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ

С. Г. КАРАПЕТЯН

*Институт водных проблем и гидротехники Армении, Ереван*

Проведено математическое моделирование кровообращения в организме на базе установленной новой закономерности движения жидкости в капиллярах. Предложено уравнение этой закономерности, на основе которого получен ряд формул для определения численных значений параметров кровообращения, работы сердца и процесса обмена веществ в организме.

Մազանոթներում հեղուկի շարժման նոր օրինաչափության հիման վրա կատարվել է օրգանիզմում արյան շրջանառության մաթեմատիկական մոդելավորում: Առաջարկվել է նշված օրինաչափության հավասարումը, որից ստացված բանաձևերով որոշվել են արյան շրջանառության ցուցանիշների, սրտի աշխատանքի և օրգանիզմում տեղի ունեցող նյութափոխանակման թվական արժեքները:

It is carried out mode the mathematical simulation blood circulation in the organism on the base of established new laws governing the motion of liquid in the capillaries. It is proposed the equation of this regularity on bases of which is obtained a number of formulas for determining the numerical values of the parameter of blood circulation, heart work and processes of exchange of substances in the organism.

### *Кровообращение – математическое моделирование*

В работе делается попытка методом математического моделирования определить ряд процессов кровообращения. В основу решения задачи ставится новая закономерность движения жидкости в капиллярной среде [1], которая получена из двухпорционной модели движения жидкости (ДМДЖ) в капиллярах.

Предполагается, что движение крови в организмах происходит по указанной закономерности, выяснение которой является задачей настоящей работы.

Изучалось кровообращение методом моделирования этого процесса, основанного на ДМДЖ.

Задача решается на основе следующих предпосылок.

1. Кровообращение происходит по ДМДЖ, согласно которой кровь циркулируется через две равные модельные емкости кровеносных сосудов и капилляров.

- а) емкость притока крови ( $M_{\text{прт}}$ ) из пищеварительной и дыхательной системы к сердцу и из сердца в капилляры и клетки.  
 б) емкость оттока крови ( $M_{\text{от}}$ ) из клеток и капилляров в очистительную систему и сердце (рис. 1).

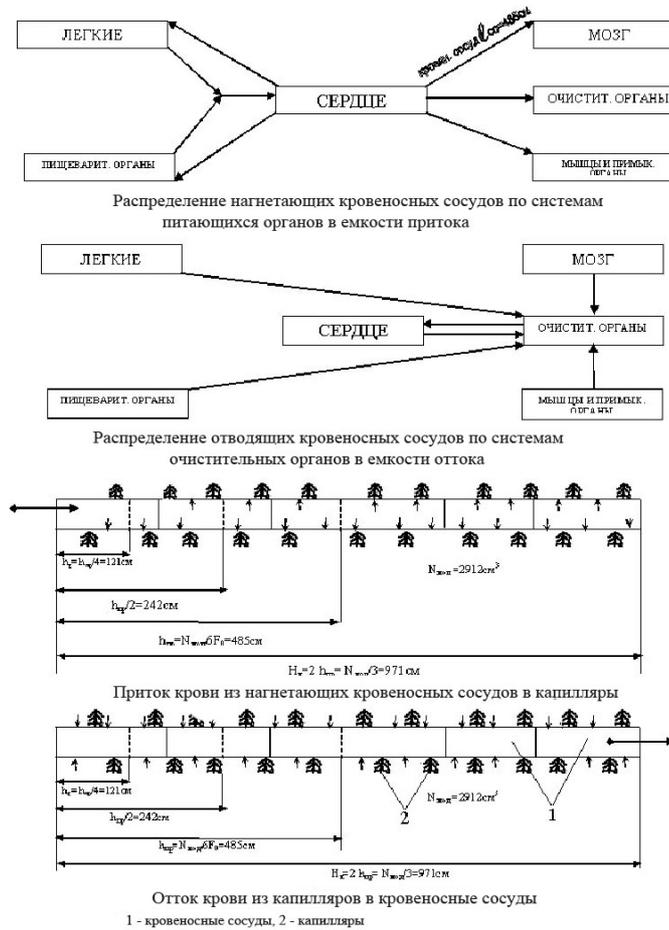


Рис. 1 Схема кровообращения в модельных емкостях по ДМДЖ

- В емкости  $M_{\text{прт}}$  происходит снабжение клеток пищей, кислородом, водой, теплом и обмен веществ в них. В емкости  $M_{\text{от}}$  кровь очищается от шлака и возвращается в сердце. Эти процессы происходят одновременно в период одного сердечного цикла, который принимается равным  $t_0=1\text{с}$ .
- В модельных емкостях в условиях покоя организма приток и отток определенного и однозначного количества крови происходит в условном кровеносном сосуде с единичной площадью сечения ( $F_0=1\text{см}^2$ ) при постоянных значениях длины сосудов ( $L_{\text{мод}}$ ), их объемного веса ( $v$ ), плотности крови ( $\rho$ ), скорости ее движения ( $V_{\text{кап}}$ ), градиента напора ( $h_g$ ) и числа ударов сердца в минуту ( $n$ ).
- Исходными данными расчетов являются параметры  $\rho$ ,  $v$ ,  $n$ , и  $h_g$ .

5. Достоверность расчетных величин проверена путем сравнения их значений с фактическими данными, опубликованными в литературе.

Примем, что сердце в минуту выполняет  $n_i$  ударов и при частоте сердечного цикла  $V_{ц} = n_i / 60 t_0$  и длительности одного цикла  $t_{ц} = 60 t_0 / n_i$  отмеченная поверхность крови (ОПК) перемещается на длину  $l_i$ .

Тогда масса нагнетаемой крови при  $\rho_0 = 1 \text{ г/см}^3$  в условном кровяном сосуде с площадью сечения  $F_0$  составит:

$$M = F_0 V_{ц} t_{ц} \rho_0 = \frac{F_0 n_i 60 t_0 \rho_0}{60 t_0 n_i} = F_0 V_{0,ц} t_{0,ц} \rho_0 = 1 \text{ г} \quad (1)$$

Из (1) следует, что единичная масса крови ( $M_0$ ) движется с единичной скоростью ( $V_0 = 1 \text{ см/с}$ ). Единичную скорость имеем и в уравнении выявленной закономерности, имеющее следующий вид:

$$V_{0,ф} = \frac{h_{пр,г}(1 - 2W_i)}{2W_i t_0} \text{ или } V_{0,ф} = \frac{h_{пр,г}(v_i - 2\rho_{ж,i})}{2\rho_{ж,i} t_0}, \quad (2)$$

где размерность  $V_{0,ф}$  выражена в см/мин,  $h_{пр,г}$  - определенный слой гидростатического давления (ГСД), равный слою воды  $h_{пр}$ , заполняющей толщу капиллярной каймы ( $H_k$ ) см,  $W$  - полная влагоемкость почвогрунта в долях единицы объема  $\rho_{ж}$  или  $\rho_{кр}$  - плотность жидкости или крови  $\text{г/см}^3$ ,  $v$ - объемный вес насыщенной капиллярной среды  $\text{г/см}^3$ ,  $t_0$  - единичная продолжительность перемещения ОПК на длину 1см/мин. Для секундной продолжительности ( $t_0=1\text{с}$ ) нагнетания крови с учетом (2) можем написать:

$$\frac{M_0}{60 t_0} = \frac{F_0 \rho_0 h_{0,г}(v_i - 2\rho_i)}{2\rho_i t_0} \text{ или } M_0 = \frac{F_0 \rho_0 t_0 60 h_{0,г}(v_i - 2\rho_i)}{2\rho_i t_0}, \quad (3)$$

где  $h_{0,г}$ - единичный слой ГСД см.

Из (рис. 1) видно, что масса нагнетаемой крови в секунду при  $(v_i - 2\rho_i)/2\rho_i t_0 = 1$  равна 60 г. Это значит, что в 60-сантиметровом кровеносном сосуде под воздействием такого же ГСД 1 г крови движется с единичной скоростью, или 60 г крови за 1 с перемещается на 1 см. Примем, что объем сердца меньше объема 60 мл крови в 10 раз. Тогда объем каждого желудочка составит  $N_{ж} = 6 \text{ см}^3$  с площадью  $F_{ж} = 6 \text{ см}^2$  и высотой межжелудочковой перегородки  $h_{ж} = 1 \text{ см}$ . При 10-кратном увеличении скорости движения крови в желудочке получаем эквивалентную длину движущейся крови в кровеносных сосудах (60см) с единичной скоростью. Согласно ДМДЖ, 6 мл крови за 1с перемещается на 1см со скоростью  $V_0$ , из правого желудочка поступает в левый и общая масса нагнетаемой крови в сердце удваивается, составляя  $M_{сд} = 12 M_{0,сд\rho_{кр}}$ . Если примем, что 12-сантиметровый сосуд сердца заполнен ртутью, то под воздействием этого давления количество крови в таком же объеме кровяного сосуда будет двигаться в 13,6 раз большей скоростью. Это условие можно написать равенством:

$$12 N_0 13,6\rho_{0,рт} = 12 F_0 t_0 V_{ар\rho_{кр}}, \text{ откуда имеем } V_{ар} = 13,6 N_0 \rho_{0,рт} / F_0 t_0 \rho_{кр}.$$

Из этого равенства следует, что под воздействием приведенного давления  $13,6 N_0 \rho_{0,pt} / F_0 t_0 \rho_{кр}$  масса крови в 12-сантиметровом сосуде сердца будет двигаться с удельной скоростью  $V_{уд}$ , определяемой из равенства:

$$12 F_0 t_0 V_{уд} \rho_{кр} = 13,6 N_0 \rho_{0,pt}^2 / \rho_{кр} \text{ по формуле:}$$

$$V_{уд} = \frac{13,6 N_0 \rho_{0,pt}^2}{12 F_0 t_0 \rho_{кр}^2} = \frac{1,133 V_{0,уд} \rho_{0,pt}^2}{\rho_{кр}^2} \quad (4)$$

Для единичной скорости движения крови из (4) получаем следующее значение плотности крови в здоровом типовом организме:

$$\rho_{кр} = \sqrt{1,133 \rho_{0,pt}^2} = 1,0646 \rho_0 \text{ г/см}^3 \quad (5)$$

Согласно [1], плотность крови у здоровых людей составляет  $1,052-1,063 \text{ г/см}^3$ , т.е. максимальное значение почти совпадает с расчетной величиной. С учетом величины  $\rho_{кр}=1,0646 \text{ г/см}^3$  из равенства  $V_{ар} = 13,6 N_0 \rho_{0,pt} / 12 F_0 t_0 \rho_{кр}$  получаем следующие значения скорости и массы нагнетаемой крови в артерии:

$$V_{ар} = \frac{12 N_{0,сд} 1,0646^2 \rho_{0,кр}^2}{F_0 t_0 \rho_{0,pt}^2} = 13,6 \text{ см/с} \text{ и } M_{ар} = \frac{12 N_{0,сд} 1,0646^2 \rho_{0,кр}^2}{\rho_{0,pt}} = 13,6 \text{ г} \quad (6)$$

При нагнетании 12мл крови со скоростью 13,6 см/с в артериальном сосуде с площадью сечения  $F_0$  длина перемещения ОПК в нем составляет 163,2 см. Этому слою соответствует определенное давление рт.ст., устанавливаемое из соотношения:

$$1 \text{ м вод. ст.} \rightarrow 73,56 \text{ мм рт.ст.}$$

$$1,632 \text{ м кров. ст.} \rightarrow h_g \text{ мм рт.ст.,}$$

$$\text{откуда имеем } h_g = 120 \text{ мм рт.ст. .}$$

В этом случае уравнение (2) примет вид:

$$V_{0,ф} = \frac{120 h_{0,g} (1 - 2 W_i)}{2 W_i t_0}, \text{ или } V_{0,ф} = \frac{120 h_{0,g} (v_i - 2 \rho_{кр,i})}{2 \rho_{кр,i} t_0} \quad (7)$$

При  $\rho_{кр} = 1,0646 \text{ г/см}^3$  из (7) получаем:

$V = 2,147 \text{ г/см}^3$  и  $W = 1,0646 / 2,147 = 0,4959$ . Одновременно формулу (7) можем написать в виде:

$$V_{0,ф} = \frac{120 h_{0,g} (2,147 v_0 - 2,1292 \rho_{0,кр})}{t_0 2,1292 \rho_{0,кр}} \quad (8)$$

Примем, что при определенной продолжительности сокращения сердца ( $t_{\text{сок}}$ ) количество движущейся крови в желудочке составляет  $N_{\text{ж}} = 1,133 V_{0,\text{уд}} 60 t_0/n_i F_0$ . Тогда из равенства  $6 F_{0,\text{ж}} V_0 t_{\text{сок}} = F_{0,\text{ж}} 1,133 V_{0,\text{уд}} 60 t_0/n_i$  с учетом (8) получим следующую формулу для определения  $t_{\text{сок}}$  или длительности фазы изгнания.

$$t_{\text{с}} = \frac{1,133 \cdot 60 t_0 120 h_{0,\text{г}} (2,147 v_0 - 2,1292 \rho_{0,\text{кр}})}{6 \ell_0 n_i 2,1292 \rho_{0,\text{кр}}} \quad (9)$$

Из (9) видно, что в условиях покоя организма, т.е. при  $n_i = 60$  уд/мин, величина  $t_{\text{с}}$  составляет 0,189 с. Согласно [3], длительность фазы изгнания равна 0,2-0,25 с. При  $n_i = 72$  уд/мин  $t_{\text{сок}}$  составляет 0,226 с и совпадает со средним значением фактической величины. Небольшая продолжительность сокращения сердца создает высокую скорость или градиент давления, благодаря которому происходит ток крови из артерии в венозно-капиллярную систему. На основании (6) и (9) можем написать  $M_{\text{си}} = 12 N_{0,\text{сд}} \cdot 1,0646^2 \rho_{0,\text{кр}}^2 \cdot t_0 / t_{\text{сок}} \rho_0$ , откуда с учетом (9) получаем следующую формулу для определения систолической массы крови:

$$M_{\text{си}} = \frac{12 N_{0,\text{сд}} \cdot 1,0646^2 \rho_{0,\text{кр}} 6 \ell_0 n_i \cdot 2,1292 \rho_{0,\text{кр}}}{1,133 \cdot 60 \cdot 120 h_{0,\text{г}} (2,147 v_0 - 2,1292 \rho_{0,\text{кр}})} \quad (10)$$

Из (9) видно, что при  $n_i = 60$  уд/мин  $M_{\text{си}} = 72$  г. Согласно [1], этот показатель в норме колеблется от 70 до 80г, т.е. расчетное и среднее фактическое значения близкие величины. Скорость сокращения сердца определяется из равенства  $V_{\text{сок}} = 1,133 V_{0,\text{уд}} t_0 / t_{\text{сок}}$ , откуда с учетом (9) получаем:

$$V_{\text{сок}} = \frac{6 \ell_0 \cdot V_{0,\text{уд}} \cdot n_i \cdot 2,1292 \rho_{0,\text{кр}}}{60 \cdot 120 h_{0,\text{г}} (2,147 v_0 - 2,1292 \rho_{0,\text{кр}})} \quad (11)$$

При  $n_i = 60$  уд/мин из (11) имеем  $V_{\text{сок}} = 6$  см/сек. Фактическая величина равна 5см/с [1]. Скорость движения крови в венозно-капиллярной системе при продолжительности сокращения сердца определяется из равенства:

$V_{\text{кап}} = 6 F_{0,\text{ж}} \cdot 1,133 V_{0,\text{уд}} \cdot 1,0646^2 \rho_{0,\text{кр}}^2 t_0 / F_0 \rho_0^2 t_{\text{сок}}$  по формуле:

$$V_{\text{кап}} = \frac{36 \ell_0 \cdot 1,0646^2 \rho_{0,\text{кр}}^2 V_{0,\text{уд}} \cdot n_i \cdot 2,1292 \rho_{0,\text{кр}}}{\rho_0^2 \cdot 60 \cdot 120 h_{0,\text{г}} (2,147 v_0 - 2,1292 \rho_{0,\text{кр}})} \quad (12)$$

При  $n_i = 72$  уд/мин из (12) получаем  $V_{\text{наг}} = 49$  см/с, что близко к фактическому значению - 50 см/с. При  $n_i = 60$  уд/мин  $V_{\text{кап}} = 40,8$  см/с.

При единичной площади сечения кровеносных сосудов их длина в каждой модельной емкости равна половине общей длины кровеносных и капиллярных сосудов, где  $M_{\text{си}}$  движется со скоростью  $V_{\text{кап}}$  и содержащаяся в них кровь за 1 с перемещается на 1см. В этом процессе сердце нагнетает определенное количество крови ( $M_{\text{кр}}$ ), величина которой с учетом (5), (10) и (12) подсчитывается из равенства:

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{си}} \cdot V_{\text{кап}} t_0 / \ell_0 \text{ по формуле:}$$

$$M_{кр} = \frac{216 \ell_0 \cdot 12 N_{0,сд} \cdot 1,0646^2 \rho_{0,кр} \cdot n_i^2 \cdot 2,1292^2 \rho_{0,кр}^2}{60^2 \cdot [120 h_{0,г} (2,147 v_0 - 2,1292 \rho_{0,кр})]^2} \quad (13)$$

Как видно из (13), при  $n_i^2=60^2$  масса нагнетаемой крови в емкости  $N_{прг}$  или  $N_{от}$  составляет 2937,6 г. Общее количество крови в организме равно 5875 г. Из сущности формулы (13) следует, что кровообращение происходит по ДМДЖ. Согласно [2], минимальное значение минутного количества крови в покое составляет 5800 г, которое почти совпадает с расчетной величиной.

Распределение 5875 г крови по модельным емкостям несколько неравномерно, что видно из следующего. При  $W=1,0646\rho_{0,кр}/2,147v_0=0,4959W_0$  масса крови, находящаяся в  $N_{от}$ , равна:  $M_{от}=5875 M_{0,об} \cdot 0,4959 W_0 = 2913$ г, а в  $N_{прг}$  составляет  $M_{прг} = 5875 - 2913 M_{от} = 2962$ г. Это объясняется тем, что после обмена веществ в емкости оттока плотность крови увеличивается, скорость ее движения падает и объем движущейся крови уменьшается. Одновременно масса крови в указанных емкостях уравнивается.

Систолическая масса крови в кровеносных сосудах нагнетается со скоростью 13,6  $V_{0,со}$  см/с и работа сердца в емкостях  $N_{прг}$  и  $N_{от}$  составляет  $A_{со}=72 M_{0,си} 13,6 \cdot V_{0,со} \cdot t_0 = 979 A_{0,со}$  г см. Эта работа в одной модельной емкости равна  $A_{со,прг}=489,5$  г см, что означает на длине 489,5 см 1г крови перемещается на 1см. Длина 489,5 см представляет собой параметр  $h_{пр}$ , или она равна 1/6 части  $N_{прг}$ . В 6-ти кровеносных сосудах масса движущейся крови составляет 2937 г/см. Если 489,5 мл крови вместить в одном условном кровеносном сосуде, длиной 2937 см и средней площадью сечения  $F_{со}$ , то из равенства  $F_{со} \cdot 2937 \ell_{0,со} = 489 N_{0,кр}$  получаем искомую площадь сечения сосуда, равную  $F_{со} = 0,166$  см<sup>2</sup>. Средний диаметр сосуда равняется  $d_{со} = 0,46$ см.

Систолическая масса крови в капиллярах нагнетается со скоростью  $V_{кп}=40,8$ см/с, и работа сердца в емкости притока капилляров составляет  $A_{кп,прг}=72 M_{0,си} \cdot 40,8 V_{0,кп} \cdot t_0 = 2937$  г/см. Такая же масса крови нагнетается в отводящих капиллярах, поэтому общая масса движущейся крови в капиллярах составляет 5875 г. Приток и отток массы крови в указанных капиллярных емкостях равна 72 г, которая за 1 с перемещается на 1 см. При размещении 72 г крови в одной условной капиллярной трубке длиной 5875см и средней площадью сечения  $F_{кп}$  из равенства  $F_{кп} \cdot 5875 \ell_{0,кп} = 72 N_{0,си}$  получаем:

$$F_{кп} = 0,0123 \text{ см}^2 \text{ и } d_{кп} = 0,125 \text{ см.}$$

Единичная масса крови в желудочке за время 1с со скоростью  $V_{сок}=6$ см/с перемещается на длину 6см, и длина движущейся крови в сердце равняется 12см. Длительность этого перемещения или продолжительность диастолы определяется из равенства  $12 F_0 V_{0,сд} \cdot t_{ди} = 6 \ell_{0,ж} \cdot F_0$ , откуда получаем  $t_{ди} = 0,5$  с. Продолжительность систолы определяется из равенства  $t_{си} = 60 t_0 / n_i - 0,5 t_{ди}$ , откуда при  $n_i = 75$  уд/мин имеем  $t_{си} = 0,3$ с. В [2] указывается, что при  $n_i = 75$  уд/мин длительность сердечного цикла составляет 0,8, систолы – около 0,3 с и диастолы 0,5 с, т.е. расчетные и фактические данные равны.

Из (7) получаем следующую формулу для определения артериального давления в зависимости от величин  $\rho_{кр}$  и  $v_i$ :

$$h_{д,i} = \frac{2\rho_{кр,i}}{v_i - 2\rho_{кр,i}} \quad (14)$$

Из (14) видно, что при  $\rho_{кр}=1,0646\text{г/см}^3$  и  $v=2,147\text{ г/см}^3$  получаем нормальное давление, которое в типовом организме равно 120 мм рт. ст. В каждом организме параметры  $\rho_{кр}$  и  $v$  имеют определенные значения, поэтому давление в них разное. Оно меняется и при отклонении значений указанных параметров от нормы данного организма.

Из условия  $N_{к,гс} = N_k$  следует, что высота ГСД в кровеносных сосудах  $N_{от}$  определяется параметром  $N_k$ , составляющим  $N_{к,от}=2913 M_{0,от}/3 F_0 \cdot 1,0646 \rho_{0,кр}=912\text{см}$  кров. столба. Этому слою соответствует 670 мм.рт.ст., или равняется одной атмосфере применительно к средней широте Земли. Это значит, что давление в кровеносных сосудах и в атмосфере данной территории уравнивается.

В процессе обмена веществ плотность крови в отводящих сосудах увеличивается. Ее величина определяется из равенства:

$971 N_{от} \rho_{от}=987 N_{пр} \cdot 1,0646 \rho_{0,кр}$ , откуда получаем  $\rho_{от}=1,082\text{ г/см}^3$ . После очистки крови  $\rho_{от}$  уменьшается до прежней величины  $1,0646\text{ г/см}^3$ . Поскольку движение систолической массы крови в  $N_{от}$  происходит при повышенной плотности крови и скорости ее движения, то продолжительность ее нагнетания будет меньше единицы, определяемой из равенства  $V_0 t_{от} = 1,133 V_{0,уд} \cdot t_0 \rho_0^2 / \rho_{от}^2$ , где учтена формула (4). Из этого равенства получаем:

$$t_{от} = \frac{1,133 V_{0,уд} \cdot t_0 \rho_0^2}{V_0 1,082^2 \rho_{от}^2} = 0,968 t_0 \text{ с.} \quad (15)$$

Вышеизложенное позволяет определить работу сердца в здоровом, типовом организме из равенства  $A_{об}=M_{си} \cdot V_{кап} t_{0,прт} + M_{си} \cdot V_{кап} t_{от}$ , которая с учетом (10), (12) и (15) подсчитывается по формуле:

$$A_{об} = \frac{216 \ell^3 \cdot 12 N_{0,сд} \cdot 1,0646^2 \rho_{0,прт} n_i^2 \cdot 2,1292^2 \rho_{0,кр}^2}{60^2 \cdot [120 h_{0,г} (2,147 v_0 - 2,1292 \rho_{0,кр})]^2} + \frac{216 \ell^3 \cdot 12 N_{0,сд} \cdot 1,082^2 \rho_{0,от} \cdot V_0 \cdot 0,968 \cdot t_0 \cdot n_i^2 \cdot 2,1292^2 \rho_{0,кр}^2}{60^2 [120 h_{0,г} (2,147 v_0 - 2,1292 \rho_{0,кр})]^2} \quad (16)$$

Как видно из (16), при  $n_i^2 = 60^2 \text{ уд/мин}$  получаем минутную работу, равную 5875 г·см, которую сердце выполняет в условиях полного покоя организма (во время сна), расходуемую на функционирование внутренних органов и накопление резервной энергии в клетках. При максимальной нагрузке число ударов сердца достигает 124 уд/мин и максимальная работа сердца равняется  $25 \cdot 10^3$  г·см. По литературным данным [2], минутный объем сердца у здорового и взрослого человека в покое составляет  $5800 \text{ см}^3$ , а при максимальной нагрузке -  $25 \cdot 10^3$  и более  $\text{см}^3$ , т.е. фактические и расчетные данные почти равны.

Минимальная работа сердца постоянная величина, обеспечивающая положительный баланс вырабатываемой и расходуемой энергии во время сна. При отрицательном балансе происходит истощение организма, а при повышенном положительном балансе - накопление излишнего веса в организме. Анализ формулы (16) показывает, что в процессе притока и оттока 2938 г крови через указанные емкости во всех клетках этих емкостей происходит обмен веществ, который в спокойном состоянии здорового организма определяется постоянным количеством циркулируемой крови  $M_{кр}$  по данным параметров  $\rho_{кр}$ ,  $v$ ,  $n$  и  $h_g$  соответствующей модели. Если клетки данной емкости по какой-либо причине повреждены, то нормальный процесс обмена веществ нарушается и величины  $\rho_{от}$ ,  $v_{от}$  и  $M_{кр}$  отклоняются от нормы. Это обычно бывает при нарушении теплового режима. Нарушение обмена веществ в емкости притока обусловлено недостаточной деятельностью снабжающих органов, или болезнью крови, или кровеносных сосудов. Если  $M_{кр}$  отклонено от нормы в емкости отвода, то нарушение обмена веществ обусловлено недостаточной деятельностью очистительной системы или кровеносных сосудов, или крови.

Из вышеизложенного следует, что в процессе кровообращения по всей длине кровеносных сосудов и капилляров под воздействием силы тяготения на их стенках в течение 1 с удерживается связанная кровь в количестве 2938 г, расходуемая на питание всех клеток организма (в том числе и клеток кровеносных сосудов емкости отвода) необходимыми жизнеобеспечивающими веществами. Согласно ДМДЖ, такое же количество крови из клеток поступает в отводящую емкость массой 2938 г, где происходит очистка и транспортировка чистой крови к сердцу. В этом и заключается сущность кровообращения и обмена веществ по ДМДЖ.

Предлагаемая модель кровообращения позволяет решать диагностические задачи. Так, если современными диагностическими методами установлено нормальное функционирование сердца, легких, почек, печени и других органов и человек чувствует себя плохо, то большими могут оказаться кровеносные сосуды или кровь. Это значит, что по данным отклоненных значений параметров  $\rho_{кр}$ ,  $v$  и  $M_{кр}$  можно установить наличие скрытой болезни в больных кровеносных сосудах и крови.

Как отмечалось выше, в основу решения задачи поставлены 4 исходных параметра -  $\rho_{кр}$ ,  $v$ ,  $n$  и  $h_g$ . Из них наиболее важными являются плотность крови и кровеносных сосудов, с которыми связаны также тромбические, гипертонические и диабетические заболевания. Откуда следует, что изучение этих вопросов и постоянный контроль над изменением значений указанных параметров являются неотложной задачей медицины, в частности в службе профилактики. С этой целью возникает необходимость в разработке новых методов и аппаратуры для точного определения численных значений указанных исходных параметров, что отсутствует в современной клинической службе. Эти методы и приборы должны быть доступными каждому человеку, чтобы самому контролировать изменение указанных параметров в своем организме и принять соответствующие меры. Одним из них может служить прием определенной пищи по соответствующему объемному весу продуктов, позволяющий регулировать плотность крови.

Отклонение значения объемного веса кровеносных сосудов от нормы можно восстановить с помощью массажа тела определенными смазывающими веществами, или лекарством, что является задачей будущих исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Карпетян С.Т.* Мат.-алы шестого международного конгресса “Вода: экология и технология, ЭКВАТЭК-2004”, 4 I, 205, 2004.
2. Малая медицинская энциклопедия, 4, М., изд-во “Советская энциклопедия”, 1966.
3. *Полубаринова-Кочина П. Я.* Теория движения грунтовых вод, М., Гостехтеориздат, 676 с., 1952.
4. *Роде А. А.* Почвенная влага. М., изд-во АН СССР, 456 с.
5. Справочное руководство гидрогеолога Л., Гостехтеориздат, 836 с., 1950.
6. *Ханпель Дж., Бренер Г.* Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. М., изд-во “Мир”, 1976.

*Поступила 09.07.2007*