

А. М. ДАМИР

**ОБ ОЦЕНКЕ КОЛИЧЕСТВА КРОВИ, СМЕЩАЕМОЙ В ОПЫТЕ
ВАЛЬСАЛЬВА**

(Представлено академиком А. И. Абрикосовым 26 IV 1944)

1. Опыт Вальсальва. Опыт Вальсальва⁽²⁾ мы производили над клинически-здоровыми людьми, т. е. не имевшими никаких жалоб в настоящем и заболеваний в прошлом. Подопытное лицо располагалось неподвижно на платформе P прибора, построенного нами⁽¹⁾ для отыскания центра тяжести Z тела человека. Головной конец P_g платформы P нагружался телом несколько сильнее, чем ножной ее конец P_n . Равновесие платформы P осуществлялось поддерживающей силою w , приложенной в конечной точке K головной части P_g платформы, отстоящей от точки опоры F на 104,4 см и измеряемой показанием стрелки круглых весов R Беркеля. На этапах III и IV опыта Вальсальва⁽²⁾ все органы тела неподвижны. Возникающее в начале этапа III внутригрудное и внутрибрюшное давления, достигающие своего максимума в конце этапа, имеют своим эффектом сдвиги мощных масс крови, благодаря чему перемещается центр тяжести Z тела: сперва к голове, потом к ногам. Нашей задачей является количественная оценка сдвигаемых масс крови по смещениям центра тяжести Z .

Начинающееся на этапе III давление сплющивает верхнюю полую вену, как и те части всех вен большого и среднего калибра грудной клетки, которые находятся вблизи сердца. Это изолирует сердце от доступа к нему крови из отделов организма, лежащих выше диафрагмы. Значит, дальнейшая его работа имеет своим следствием лишь угон крови в эти отделы, без ее возвращения отсюда обратно. Но на этапе III поступание крови к сердцу из отделов организма, лежащих ниже диафрагмы, продолжает еще осуществляться, ибо, хотя указанное давление и стремится сжать нижнюю полую вену, однако то же самое давление, придавливая печень к куполу диафрагмы, выжимает с силой из нее кровь в нижнюю полую вену, создавая в ней временно столь большое внутреннее давление, что оно еще побеждает наружное и не позволяет ей сплющиться. Это продолжается до тех пор, пока не израсходована кровь печени. Но в тот момент, когда ее оказывается уже недостаточно, нижняя полая вена сплющивается, в результате чего доступ крови к сердцу прекращается из отделов организма, лежащих по другую сторону диафрагмы. Таким образом сердце становится совершенно изолированным, и наступает следующий этап IV опыта Вальсальва. Непрекращающаяся деятельность сердца имеет своим результатом угон всей доступной еще ему крови, находящейся в малом кругу кровообращения, по артериальной системе на периферию. К концу этапа IV весь малый круг, включая легкие, пустеет и сердце обескровливается совершенно.

Обескровливание брюшной и грудной полостей имеет следствием переполнение вен периферии. А так как емкость вен нижних конечностей и малого таза превышает емкость вен верхних конечностей и головы, то на этапе IV поддерживающая сила w должна монотонно убывать от величины w_3 , имевшейся в конце этапа III, до величины w_4 , достигнутой в конце этапа IV. В связи с этим центр тяжести Z тела перемещается к ногам, из положения Z_3 в положение Z_4 . Важно заметить, что на этапе III поддерживающая сила w монотонно возрастает от величины w_2 , имевшейся в конце этапа II, до величины w_3 , достигнутой в конце этапа III. В связи с этим центр тяжести Z тела перемещается к голове, из положения Z_2 в положение Z_3 . Это объясняется тем, что, хотя на этапе III мы имеем два противоположно действующих фактора: угон полу-изолированным (сверху) сердцем крови на периферию и получение им крови снизу по нижней облой вене, побеждает последний фактор.

Поскольку наибольший интерес в опыте Вальсальва вызывает почти полное обескровливание брюшной и грудной полостей, постольку естественно искать количество изъятой оттуда и отброшенной на периферию крови. Таким образом мы называем численной величиной X эффекта Вальсальва количество крови, перенесенной на этапах III и IV опыта Вальсальва из брюшной и грудной полостей на периферию.

2. Приближенная оценка массы смещаемой крови. Рассмотрим самый конец этапа IV опыта Вальсальва: брюшная и грудная полости обескровлены и поддерживающая сила w равна w_4 . Но кровь из брюшной полости уходила на этапе III в грудную полость через нижнюю полую вену. Принимая во внимание чрезвычайную кратковременность этапа III (всего 2 сек.), мы можем пренебречь уходом за это время крови в артериальную систему. Поэтому при оценке массы смещаемой на периферию крови мы можем считаться лишь с монотонным понижением веса w с w_3 до w_4 .

Обозначим через X массу крови, наполняющей брюшную и грудную полости в какой-нибудь момент времени t . С хорошим приближением мы можем рассматривать центр тяжести x массы X как совпадающий с центром тяжести $Z^{(*)}$ верхней половины тела. Под верхней половиною тела мы понимаем всю часть тела опытного лица, находящуюся между точкою опоры F и точкою K . В среднем, расстояние Fx между F и x (или $Z^{(*)}$) равно 35 см.

Введем explicitе гипотезу: феномен Вальсальва разносит кровь X по телу человека так, что центр тяжести x^* разнесенной массы X^* крови X совпадает с точкою опоры F прибора.

Этой гипотезы достаточно во многих случаях, так как практически можно предполагать, что уходящая из туловища кровь X распределяется одинаково между верхней и нижней половинами тела. В этом случае феномен Вальсальва состоит просто в том, что из тела изымается масса X и нарушенное равновесие платформы P восстанавливается вертикальною силою $w_3 - w_4$, приложенной в точке K и направленной вниз. Из уравнения моментов $XFx = 104,4 (w_3 - w_4)$

$$X = 104,4 (w_3 - w_4) / Fx. \quad (1)$$

В «среднем» случае: $w_3 - w_4 = 450$ г и $Fx = 35$ см. Значит, $X = 1342$ г. Отсюда, принимая во внимание среднее количество крови в теле человека, мы заключаем, что во время опытов Вальсальва и, следовательно, при всяких сильных мышечных напряжениях, около $1/3$ всей массы крови уходит из туловища на периферию.

Кроме того, найденная средняя величина для X нам показывает, что в эффекте Вальсальва принимает деятельное участие депонированная кровь.

3. Точная оценка массы смещаемой крови. Эта оценка получается при замене предыдущей гипотезы принципом пропорциональности, естественным а priori и неизменно подтверждаемым экспериментально.

Принцип пропорциональности. Феномен Вальсальва разносит кровь X по телу человека пропорционально массам его отделов.

Обозначим через X_r, X_p, X_n количества крови X , смещенные эффектом Вальсальва соответственно в голову, руки и ноги. Пусть M_r, M_p, M_n — массы этих отделов организма и x_r, x_p, x_n соответственно их центры тяжести при обычном положении подопытного лица на платформе. В силу указанного принципа имеем $X_r = kM_r, X_p = kM_p, X_n = kM_n$, где k — пока неизвестный нам множитель пропорциональности. Складывая, имеем $X = X_r + X_p + X_n = k(M_r + M_p + M_n)$. Чтобы найти множитель k , обратимся к уравнению моментов, написанному для конца этапа IV:

$$104,4(w_3 - w_4) + kM_r Fx_r + kM_p Fx_p = kM_n Fx_n.$$

Определяя из этого уравнения неизвестный множитель пропорциональности k и внося найденную величину в написанное выражение для X , мы находим

$$X = \frac{104,4(w_3 - w_4)(M_r + M_p + M_n)}{M_n Fx_n - M_r Fx_r - M_p Fx_p}. \quad (2)$$

Вид этой формулы значительно упрощается, если ввести обозначение M_r для массы туловища и x_r для его центра тяжести, обозначая через M массу всего тела. Ясно, что $M_r + M_p + M_n = M - M_r$. С другой стороны, до опыта Вальсальва уравнение моментов пишется

$$M_r Fx_r + M_p Fx_p + M_r Fx_r = M_n Fx_n.$$

Отсюда мы немедленно замечаем, что формула (2) переписывается в виде

$$X = 104,4(w_3 - w_4)(M - M_r) / M_r Fx_r, \quad (3)$$

аналогичном виду формулы (1). Переписав (3) в виде:

$$X = [104,4(w_3 - w_4) / Fx_r] (M - M_r) / M_r, \quad (3')$$

мы можем обратиться к исследованиям Фишера⁽³⁾ и Н. Бернштейна⁽⁴⁾. Согласно им, для непарного органа — головы мы имеем $M_r/M = 0,07060$ и для парных органов имеем: $M_{бедер}/M = 0,24970$, $M_{голеней}/M = 0,09462$, $M_{стоп}/M = 0,02786$, $M_{плеч}/M = 0,05264$, $M_{предпл.}/M = 0,03638$ и $M_{кистей}/M = 0,01284$. Отсюда, складывая, мы находим равенство $(M - M_r)/M = 0,54464$ и, значит: $M_r/M = 0,45536$. Поэтому последний фактор $(M - M_r)/M_r$ формулы (3') оказывается просто числом $54464/45536 = 1,19606...$ Отсюда формула (3') переписывается в виде

$$X = 1,19606 \cdot 104,4(w_3 - w_4) / Fx_r. \quad (4)$$

Мы видим, что точная формула (4) дает результат на $1/5$ больше, чем приближенная формула (1).

Первый московский медицинский институт

Поступило
20 I 1944

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. М. Дампир, ДАН, XLIV, № 2 (1944). ² Он же, ДАН, XLV, № 2 (1944).
³ R. A. Fischer, Statistical method for research works, London (1930). ⁴ Н. Бернштейн, Физиологич. труды (1934).