

Ю. РУГЕНЮС, З. АЛАУНЕ и Р. СЛИЖИС

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АРТЕРИО-ВЕНОЗНОГО СБРОСА ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

(Экспериментальные исследования)

Клинические исследования [1, 2, 4—6, 8] показали высокую чувствительность платино-водородного электрода, особенно в диагностике небольших сбросов.

Но лишь в одной работе [3] авторы в эксперименте на 5 собаках установили, что платино-водородная проба позволяет определить наличие сброса даже в тех случаях, когда другие методы (определение повышения оксигенации крови и метод разведения красителя) совсем не дают информации о существовании сброса.

В данной работе в условиях эксперимента мы попытались выяснить следующие вопросы:

1. Какие параметры кривых изменения потенциала платинового электрода после вдоха водорода отражают наличие и величину сброса;
2. Насколько параметры кривых изменения потенциала платинового электрода, зарегистрированных в верхней полый вене, отличаются от таковых при отсутствии сброса в остальных полостях правого сердца;
3. Достоверна ли информация, получаемая при измерении потенциала платинового электрода после вдоха водорода, для определения небольших сбросов.

Методика исследования. В остром опыте у 39 собак весом 8—25 кг мы создавали искусственный артерио-венозный сброс. В условиях искусственного дыхания под общим тиопентал-натриевым наркозом производилась двусторонняя торакотомия с рассечением грудины и последующей перевязкой *aa. et v. thoracicae*. Тупым путем выделялся плече-головной ствол. Искусственный артерио-венозный сброс создавался путем применения тройника с надетыми пластмассовыми трубками. Одна из них вводилась в плече-головной ствол, другая—в правое предсердие, а третья служила для контроля наличия и величины сброса. При закрытой контрольной трубке тройника и остальных открытых артерио-венозный сброс функционировал. Величина сброса регулировалась путем изменения сечения трубки тройника, соединенной с плече-головным стволом. При полном закрытии ее просвета сброс прекращался. При закрытии просвета трубки, введенной в правое предсердие, и открытия контрольной и трубки, введенной в плече-головной ствол, измерялась величина сброса в мл/мин. Величина сброса также определялась по разнице оксигенации крови, измеряемой в верхней полый вене (выше сброса), в пазухе желудочка (ниже сброса) или лишь в правом желудочке при наличии сброса и после его закрытия.

Зонд с платиновым электродом вводился в правые полости сердца через бедренную или подключичную вены.

Местонахождение платинового электрода определялось пальпаторно и по форме внутрисполостной ЭКГ.

Кривые изменения потенциала платинового электрода после вдоха водорода (кривые $E-t$) регистрировались при помощи рН-метра ЛПУ-01 (или ЛПМ-60 м) и самопишущего прибора Н-373—1. В качестве электрода сравнения применялся хлор-серебряный электрод, который вводился под кожу ноги собаки. Калибровка аппаратуры производилась при помощи имитатора электродной системы (И-01).

Водород подавался в легкие в начале искусственного вдоха при помощи резинового баллона, соединенного с интубационной трубкой. Во время каждого опыта, проводимого на той же собаке, подавалось строго одинаковое количество водорода. Во время опытов кривые $E-t$ регистрировались при наличии и отсутствии сброса в верхней полой вене и правом желудочке, а также при отсутствии сброса в верхней полой вене и правом предсердии.

При наличии сброса кривые $E-t$, полученные в правом желудочке, сравнивались с кривыми, зарегистрированными в верхней полой вене. При отсутствии сброса кривые $E-t$, полученные в правом желудочке или предсердии, сравнивались с зарегистрированными в верхней полой вене. Кроме того, кривые $E-t$, полученные в верхней полой вене при отсутствии сброса, сравнивались с таковыми при его наличии.

Для оценки скорости поступления водорода из легких в левое предсердие была зарегистрирована кривая $E-t$ в левом предсердии путем введения платинового электрода через межпредсердную перегородку.

К группе малых сбросов отнесены те, при которых во время опытов повышение оксигенации крови не превышало 5% на уровне сброса, а количество крови, полученной через контрольную трубку, доходило до 100 мл/мин.

В группу средних сбросов вошли те, при которых повышение оксигенации крови составляло 6—10%, а количество крови—100—200 мл/мин.

Группу больших сбросов составили те, при которых во время опытов повышение оксигенации крови было больше 10%, а количество крови—больше 200 мл/мин.

Результаты исследований и их обсуждение. После испытания в эксперименте нашей аппаратуры мы убедились, что для регистрации кривых изменения потенциала платинового электрода после вдоха водорода вполне пригодны рН-метр ЛПУ-01, с самопишущим прибором Н-373—11.

Необходимость использования рН-метров или других высокоомных милливольтметров обусловлена следующими причинами. Во время измерений через платиновый электрод проходит ток, вызывающий поляризацию (изменение потенциала) платинового электрода. Поляризация платины пропорциональна силе тока, зависящей от разности потенциалов и суммарного сопротивления цепи (входного сопротивления прибора и сопротивления измерительной цепи). Так как площадь платинового электрода составляет обычно несколько квадратных миллиметров, входное сопротивление измерительного прибора должно быть не менее 10^9 ом.

Мы неоднократно убеждались в том, что при небольшом парциальном давлении водорода в крови электрокардиографы (ЭКПСЧ-3, ЭЛКАР-2) и другие измерительные приборы с входным сопротивлением $\approx 0,5$ мегама не регистрировали изменения потенциала платинового электрода после вдоха водорода, а рН-метр ЛПУ-01 с самопишущим прибором Н-373—1, имеющий входное сопротивление порядка 10^{12} ом, в тех же условиях показывал изменения потенциала до 50 mV и более.

При подаче в легкие собаки газообразного водорода кровь насы-

щается им и разносится по всему организму. При появлении водорода на платиновом электроде наблюдается изменение его потенциала (значение величины потенциала электрода до подачи водорода принимается за ноль, т. е. здесь и в дальнейшем указанные величины потенциалов (E) являются разницей между потенциалом электрода в данный момент и потенциалом электрода перед подачей водорода). Время от момента подачи водорода до начала изменения потенциала соответствует времени, в течение которого водород проходит расстояние от легких до местонахождения платинового электрода.

На рис. 1 представлены кривые $E-t$, зарегистрированные во время опытов на собаках. Кривая 1 была получена при нахождении платинового электрода в левом предсердии.

Как видно, изменение потенциала платинового электрода начинается почти одновременно с подачей водорода: максимальная кривая наблюдается через 3—4 сек., а далее происходит быстрый ее спад. Через 10—15 сек. спад кривой замедляется и через 3—4 мин. восстанавливается первоначальное значение потенциала.

Совершенно другого характера кривая $E-t$ была получена в случаях отсутствия сброса (5 кривая) при нахождении платинового электрода в правых полостях сердца. Как видно, изменение потенциала платинового электрода начинается только через 9 сек. от момента подачи водорода. Подъем кривой достигает максимума через 48 сек. Спад кривой происходит значительно медленнее, а восстановление первоначального потенциала достигается примерно через 5—12 мин.

Рассмотренные выше кривые (1 и 5) представляют собой два крайних случая. Промежуточные кривые $E-t$ были получены при регистрации их в правом желудочке в случаях малых (4-я кривая), средних (3-я кривая) и больших (2-я кривая) сбросов.

Начало подъема, положение максимума, асимметричность и амплитуда кривой зависят от величины сброса (рис. 1). Нетрудно заметить, что кривая 2, полученная при наличии большого сброса, весьма сходна с кривой 1, зарегистрированной в левом предсердии.

Различный характер кривых (при отсутствии и наличии разных по величине сбросов) обусловлен поступлением водорода к платиновому электроду, а также другими факторами, влияющими на его потенциал.

При отсутствии сброса кровь, содержащая водород, прежде чем попасть к платиновому электроду, находящемуся в полости правого сердца, должна пройти большой круг кровообращения. На этом пути часть водорода, по-видимому, теряется в тканях организма, а также значительно снижается его давление (концентрация) в крови в связи с перемешиванием с кровью, не содержащей водород. Поэтому кривые, полученные при отсутствии сброса, должны характеризоваться сравнительно низким максимумом кривой с большим временем начала подъема и положения максимума кривой, а также медленным спадом, что в действительности и наблюдалось в опытах. Когда платиновый электрод находится в левом предсердии, кровь к нему попадает с максимальной кон-

центрацией водорода, однако подача водорода быстро прекращается, так как начинает сразу поступать кровь, не содержащая его, а богатая кислородом. При увеличении парциального давления кислорода потенциал платинового электрода смещается в положительную сторону, т. е. кислород, в отличие от водорода, способствует возвращению к первоначальной

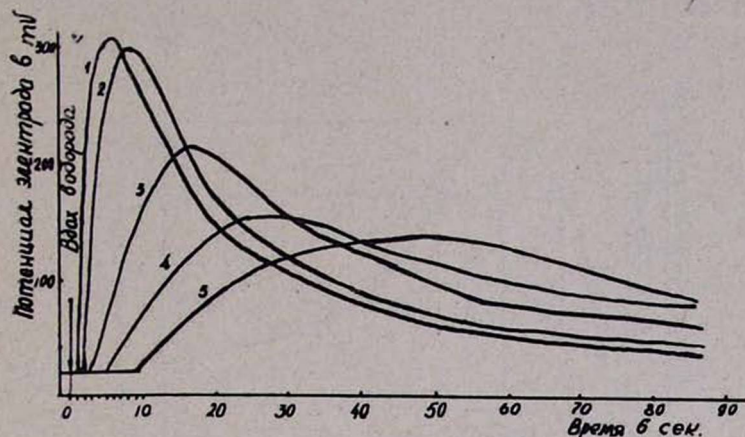


Рис. 1. Кривые изменения потенциала платинового электрода после вдоха водорода (кривые $E-t$). 1—кривая $E-t$, зарегистрированная в левом предсердии, 2—кривая $E-t$ при наличии большого сброса, 3—кривая $E-t$ при наличии среднего сброса, 4—кривая $E-t$ при наличии малого сброса и 5—кривая $E-t$ при отсутствии сброса.

начальному значению потенциала платинового электрода. В связи с этим наблюдается быстрый спад кривой. Не удивительно поэтому, что влияние кислорода значительно сильнее, когда электрод находится в левом предсердии.

Таким образом, как видно из приведенных кривых $E-t$, их форма позволяет судить не только о наличии, но и о величине сброса.

Одной из характеристик, определяющих величину сброса, может служить величина изменения потенциала платинового электрода после вдоха водорода (E) в милливольтх, так как при строгой дозировке водорода большой сброс дает большее отклонение (рис. 1).

Однако дозировка водорода для разных индивидов представляет трудности. Несмотря на это, данную характеристику можно успешно использовать хотя бы для приблизительной оценки сброса.

Все исследователи для качественного определения сброса использовали лишь время появления водорода (t_1). Этот параметр также характеризует и величину сброса (рис. 2). Однако количественное определение сброса по данной характеристике кривой в условиях проведенных экспериментов довольно трудно, так как время начала подъема кривой, особенно в случаях больших и средних сбросов, составляло в среднем 1,7—2,8 сек., тогда как отсчет времени по подаче водорода может содержать погрешность около 1 сек.

Более подходящей характеристикой является положение максимума

кривой (t_2). По данным опытов параметр t_2 изменяется от 8 сек. при наличии больших сбросов до 48 и больше при их отсутствии.

На рис. 2 приведены и другие характерные параметры кривых $E-t$, которые были использованы в опытах. К ним относятся ширина максимума в секундах на $3/4$ его высоты (t_3) и средний наклон кривой спада после максимума до $3/4$ его высоты, выраженный соотношением $0,25E/t_{3n}$.

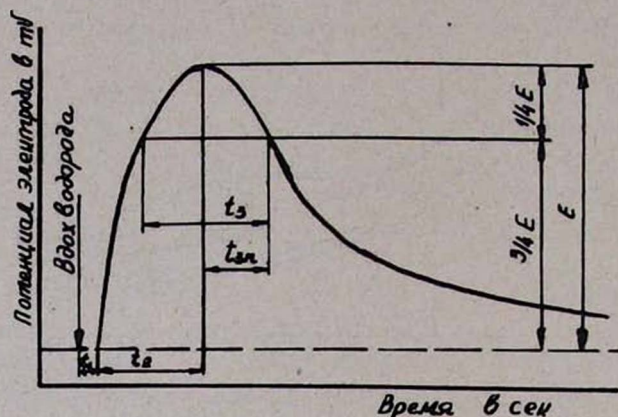


Рис. 2. Кривая изменения потенциала платинового электрода после вдоха водорода ($E-t$) и использованные нами параметры. t_1 —время появления, т. е. время от момента вдоха водорода до его появления на платиновом электроде. t_2 —время максимума кривой, т. е. время от начала подъема кривой до ее экстремального значения. t_3 —ширина максимума кривой на $3/4$ его высоты. t_{3n} —время от линии экстремального отклонения до спада кривой на $3/4$ его высоты. $0,25E/t_{3n}$ —средний наклон кривой спада после максимума до $3/4$ его высоты.

Полученные в опытах данные представлены в табл. 1. Как видно, с увеличением сброса увеличивается амплитуда кривой E и средний наклон кривой спада ($0,25E/t_{3n}$), а величины параметров t_1 , t_2 , t_3 уменьшаются. Разница средних величин параметров кривых $E-t$ между группами статистически высоко достоверна ($t=2,1-11,9$). Кроме того, чем больше сброс, тем более достоверно величины параметров кривых $E-t$ отличаются от таковых при отсутствии сброса.

Однако величины представленных параметров в каждой группе колеблются в сравнительно больших пределах. Естественно, величина каждого параметра зависит от индивидуального состояния сердечно-сосудистой системы подопытного животного, а величина E , кроме того, и от количества подаваемого водорода. Абсолютные же величины параметров зависят не только от индивидуального состояния сердечно-сосудистой системы, но и от конкретных условий каждого опыта (интенсивность вентиляции легких, скорость подачи водорода и т. д.). Поэтому абсолютные величины каждого из использованных нами параметров не могут служить для точной оценки величины сброса.

Так как опыты позволяли нам измерять величины указанных пара-

Таблица 1

Средние величины некоторых параметров кривых изменения потенциала платинового электрода после вдоха водорода (кривых Е—t), полученных во время опытов

Сброс, показатели	При отсут-ствии сброса	При наличии артерио-венозного сброса					
	n=24	t	малого n=18	t	среднего n=28	t	большого n=29
	$M \pm m$		$M \pm m$		$M \pm m$		$M \pm m$
E	117,8±0,71	3,1	143,8±8,11	5,6 11,4*	208,1±8,11	6,0 17,4	291,0±10,79
t ₁	9,2±0,30	3,3	4,9±1,01	2,1 21,3	2,8±0,07	10 25	1,7±0,09
t ₂	47,9±3,06	7,8	23,2±1,09	7 11,2	14,1±0,62	8,8 12,8	8,1±0,28
t ₃	81,2±5,44	7,6	36,2±2,31	6,9 11,4	18,6±1,32	6,1 43,0	10±0,44
0,25E/t _{3n}	0,49±0,34	6,4	2,87±0,11	5,8 10,7	4,82±0,31	11,9 18,6	10,6±0,40

Примечание: n—число опытов, M—среднее арифметическое, m—средняя квадратическая ошибка, t—критерий достоверности разности между группами.

* В нижнем ряду значение t, полученное при сравнении данных среднего и большого сброса с таковыми при его отсутствии. Обозначения для табл. 1 и 2.

метров при наличии и отсутствии сброса у одного и того же животного, можно было их сравнивать между собой и таким образом найти соотношение, величина которого минимально зависела бы от индивидуального состояния сердечно-сосудистой системы и конкретных условий опыта.

Кроме того, было установлено, что при отсутствии сброса величины параметров (t₁, t₂, t₃) кривых Е—t, полученных при регистрации в правом предсердии, практически совпадали или имели значение не более, чем на 15% ниже величин тех же параметров кривых Е—t в устьях верхней поллой вены. Соотношение 0,25E/t_{3n} в правом предсердии, наоборот, имело значение на 15—20% больше, чем в верхней поллой вене.

Мы не получили значимой разницы между величинами параметров кривых Е—t (зарегистрированных во время острого опыта) в верхней поллой вене при наличии сброса в правом предсердии и после его закрытия.

Таким образом, вместо величин параметров при отсутствии сброса можно использовать их величины выше сброса (в верхней поллой вене).

На табл. 2 представлены данные соотношений величин параметров кривых Е—t при отсутствии сброса в полостях сердца или верхней поллой

Таблица 2

Соотношения параметров кривых изменения потенциала платинового электрода после вдоха водорода (кривых E—t)

Показатели	Артерио-венозный сброс				
	малый	t	средний	t	большой
	$M \pm m$		$M \pm m$		$M \pm m$
t_1 при отсутствии сброса	$1,84 \pm 0,06$	0,5	$4,19 \pm 0,09$	$\frac{6}{9,9^*}$	$5,78 \pm 0,42$
t_1 при наличии сброса					
t_2 при отсутствии сброса	$2,82 \pm 0,20$	6,2	$5,23 \pm 0,34$	$\frac{4,4}{8,4}$	$8,68 \pm 0,72$
t_2 при наличии сброса					
t_3 при отсутствии сброса	$3,78 \pm 0,35$	3,1	$4,87 \pm 0,07$	$\frac{7,8}{10,5}$	$8,0 \pm 0,40$
t_3 при наличии сброса					
$0,25E/t_{3n}$ при наличии сброса	$7,4 \pm 0,41$	7,6	$20,3 \pm 1,70$	$\frac{4,5}{9,6}$	$35,8 \pm 2,97$
$0,25E/t_{3n}$ при отсутствии сброса					

* В нижнем ряду значение критерия t, полученное при сравнении данных большого сброса с таковыми при малом сбросе.

вене с величинами тех же параметров на уровне или ниже сброса. Как видно, с увеличением сброса значение соотношения величин соответствующих параметров возрастает. Разница между сравниваемыми группами статистически достоверна.

В каждом конкретном случае данные соотношений (табл. 2) больше соответствовали величине сброса (определяемой оксиметрически и по объему шунтируемой крови), чем абсолютные величины параметров кривых E—t (табл. 1).

В 9 опытах мы убедились, что при наличии малого сброса (повышение оксигенации крови ниже сброса отсутствовало или составляло не более 1—3%, количество шунтируемой крови составляло 40—90 мл/мин.) величины параметров кривых E—t ниже сброса на 20—30% и более отличались от таковых в верхней полой вене. В 4 опытах эта разница составляла 15—20%. В этих случаях повышение оксигенации крови отсутствовало, а количество шунтируемой крови составляло менее 50 мл/мин.

Интересно отметить, что параметры t_1 , t_2 , t_3 лучше отражают величину малых и средних сбросов, а средний наклон кривой спада—больших.

На основании полученных в эксперименте на собаках данных можно сделать следующие выводы:

1. Величины параметров кривых изменения потенциала платинового электрода после вдоха водорода, регистрируемых при помощи потенциометрической с высокоомным входом аппаратуры, зависят от величины артерио-венозного сброса.

2. Наиболее достоверно величина сброса определяется не по абсолютным величинам параметров, а по соотношению их величин выше и ниже сброса.

3. Разница между величинами параметров кривых изменения потенциала платинового электрода после вдоха водорода, зарегистрированных в устьях верхней поллой вены и в остальных полостях сердца, при отсутствии сброса иногда может достигать 15—20%.

4. Потенциометрический метод дает высокодостоверную информацию о наличии сброса, позволяет определять малые сбросы даже в тех случаях, когда повышение оксигенации крови на уровне и ниже сброса является недостоверным.

Вильнюсский государственный университет
им. В. Капсукаса и Ордена Трудового Красного
Знамени Институт химии и химической
технологии

Поступило 5/V 1969 г.

ՅՈՒ. ՌՈՒԳԵՆՅՈՒՍ, Զ. ԱԼԱՈՒՆԵ, Ռ. ՍԼԻՅԻՍ

ԱՐՏԵՐԻՈՎԵՆՈԶ ԱՐՏԱՄՂՄԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՊՈՏԵՆՑԻՈՄԵՏՐԻԿ ՄԵԹՈԴԻՈՎ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

39 շների մոտ որոշվեց արհեստական արտերիովենոզ արտամղումը պոտենցիոմետրիկ մեթոդով, որը հնարավորություն է տալիս հայտնաբերել փոքր արտամղումներ նույնիսկ այն դեպքերում, երբ արյան օքսիգենացիայի բարձրացումը համարվում է ոչ հավաստելի:

Y. RUGENIUS, Z. ALAUNE, R. SLIJS

EVALUATION OF ARTERIOVENOUS OUTFLOW BY THE
POTENTIOMETRIC METHOD

S u m m à r y

Artificial arteriovenous outflow has been evaluated in 39 dogs by the potentiometric method enabling to detect small outflows even in the cases where an increase in the blood oxygenation is unauthentic.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Bruschke A. Ned. t. Geneesk., 1966, 110, 1857.
2. Buhlmann A., Gattiker H. Deutsch. Med. Wschr., 1965, 90, 27.
3. Hyman A., Hyman E., Quilsox A., Gantt Y. Amer. Heart J., 1961, 61, 1, 53.
4. Klusmann F., Hardewig A. Z. Kreislaufforsch., 1964, 53, 3, 249.
5. Martinez-Lopez J., Hollis W., Kirkley D., Levy L. Am. J. Cardiol., 1962, 10, 1, 70.
6. Ribellima J., Blumchen G., Cohen A. Z. Kreislaufforsch., 1965, 54, 2, 194.
7. Storstein O., Rokseth R., Sorland S. Scand. J. Clin. Lab. Invest., 1964, 16, 3, 357.
8. Vogel J., Averill K., Tabari K., Blount S. Amer. Heart J., 1964, 67, 5, 610.