

TRABAJOS ORIGINALES

LA ACTIVIDAD CARDIACA DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA FRECUENCIA *

I. — La frecuencia óptima ventricular

por los doctores

J. DUOMARCO y G. SOLOVEY

La función esencial del ventrículo es la de una bomba impelente cuya acción es colocar en el sistema arterial, a gran presión, durante la sístole, toda la sangre que le llega del sistema venoso, a pequeña presión, durante la diástole.

Si por un orificio mantenemos constantes la presión venosa y la resistencia vascular periférica, cualquier aumento de la actividad cardíaca se revela por un aumento del gasto y de la presión arterial; si mantenemos constantes el gasto y la presión arterial, un aumento de la actividad cardíaca se traduce por una reducción correspondiente de la presión venosa.

La frecuencia cardíaca interviene en la actividad ventricular: cuando es demasiado alta, se reduce el tiempo de llenamiento diastólico; cuando es demasiado baja, la reducción del número de sístoles no puede ser compensada con el aumento del volumen sistólico que tiene un límite en el volumen máximo del ventrículo. Habrá pues una frecuencia óptima, para la cual la actividad del corazón, en las distintas condiciones arriba indicadas, es máxima.

Para el estudio de la influencia del factor frecuencia sobre la actividad ventricular típica, hemos colocado el ventrículo aislado de sapo (*Bufo arenarum*, Hensel) en un esquema circulatorio, en el cual se pueden mantener constantes los distintos factores hemodinámicos y estar seguros que las variaciones de actividad del ventrículo no dependen sino de la modificación de ese factor. En capítulo aparte hemos estudiado ciertas relaciones entre el volumen ventricular sistólico inicial y la frecuencia.

* Trabajo de la Cátedra de Patología Médica. Prof. B. Varela Fuentes, Facultad de Medicina. Montevideo, Uruguay.

A) *Modificaciones de los distintos valores hemodinámicos en función de la frecuencia*

TECNICA

Hemos empleado el esquema circulatorio representado en la fig. 1-a-c, que ha sido anteriormente descrito en detalle ¹. Puede verse como las variaciones de presión del ventrículo C son íntegramente transmitidas al recipiente de vidrio V que lo prolonga a partir del surco auriculoventricular en que aquél está ligado y que comunica con el aparato valvular aferente (válvula mitral) y el eferente (válvula aórtica).

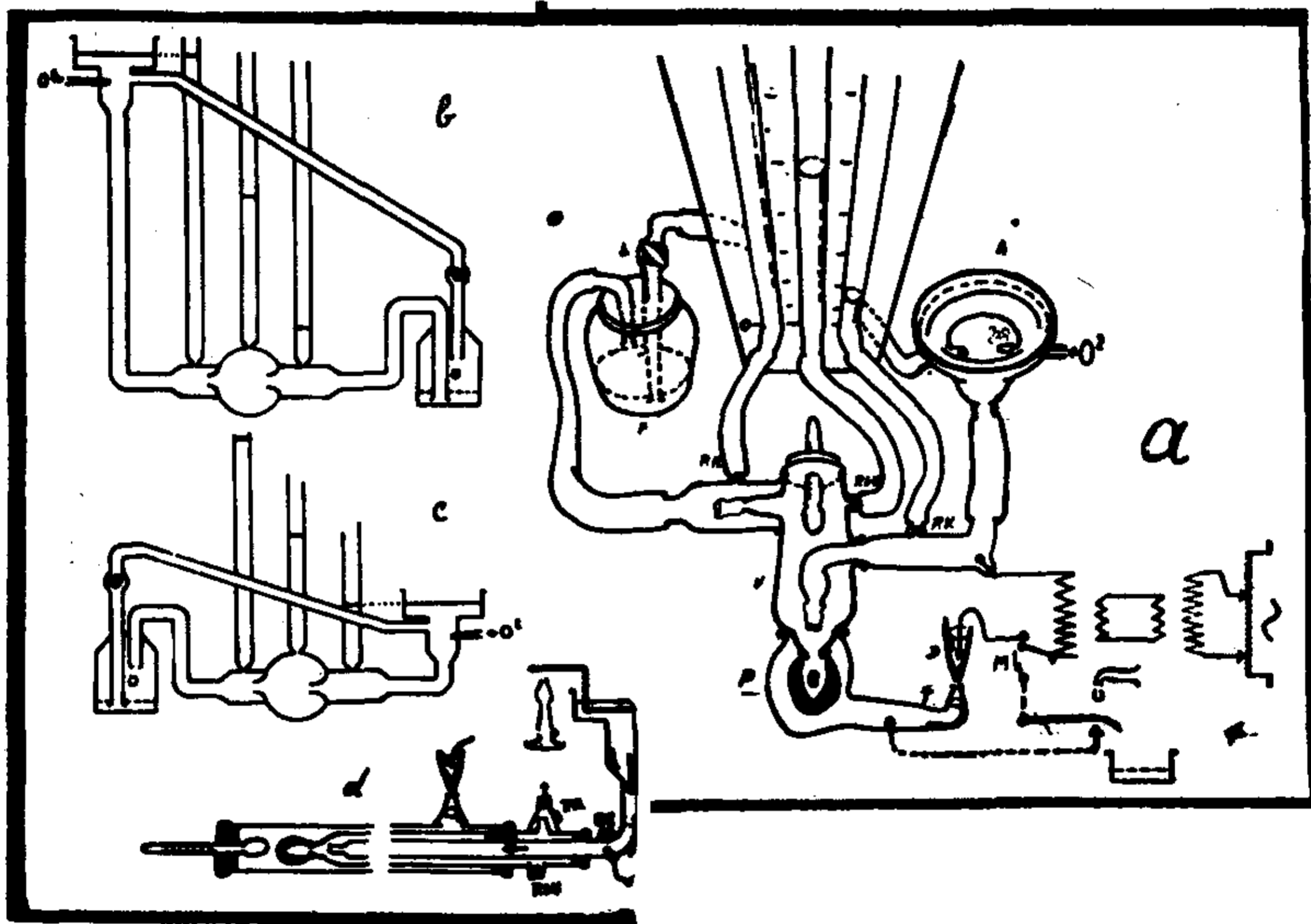


FIG. 1. — a) Dispositivo experimental: C = ventrículo; V = recipiente que lo continúa y que está en comunicación con las válvulas aferente (mitral) y eferente (aórtica); A = lago venoso a presión constante; F = recipiente que actúa de cámara elástica y para la medida del gasto (por el goteo); L = llave que representa la resistencia vascular periférica; los manómetros miden la presión venosa (P. V.), la presión media intraventricular (P. I-V.) y la presión arterial (P. A.); P = cavidad rígida (pericárdica) con el dispositivo para la excitación automática a volumen ventricular máximo; M = conmutador que hace actuar, ya sea el excitador automático, ya sea el excitador fijo a goteo. c) Esquema simplificado del dispositivo (cuando trabaja a presión venosa y a resistencia periférica fijas). b) Esquema del dispositivo trabajando a presión arterial fija. d) Dispositivo para el estudio de la influencia de la temperatura: la prolongación del tubo aferente, de la "cavidad ventricular" y de la "cavidad pericárdica", permiten un máximo de homogeneización térmica a nivel del ventrículo.

Las válvulas están constituidas por manguitos formados de pequeños trozos invertidos de intestino de sapo, que se conservan indefinidamente colocando el dispositivo en un recipiente con alcohol en los intervalos de las experiencias. El grado de perfección de este aparato valvular ha sido demostrado de la siguiente manera:

hemos utilizado un dispositivo con dos válvulas aórticas que terminan en las ramas de un tubo en Y; una de tamaño común y otra de tamaño tres veces mayor. Haciendo actuar sólo la pequeña, o las dos simultáneamente, observamos que la de mayor tamaño, que tiene lógicamente un mayor coeficiente de imperfección, reduce la actividad cardíaca, apreciada por la presión arterial, en no más de 5 %.

La presión de aflujo (venosa), es mantenida a nivel constante y deseado (habitualmente entre 80 y 100 mm. por encima del nivel del corazón) por medio de un recipiente de gran superficie A.

La resistencia vascular periférica se gradúa por la llave L del frasco F que sirve de cámara elástica; allí se puede también medir el gasto por el goteo. Los tres manómetros que comunican con el aparato valvular por tres tubos capilares, indican los valores medios de la presión venosa, la presión intraventricular y la presión arterial. Se ha inscripto eventualmente en un cilindro ahumado, la presión arterial con sus variaciones y por consiguiente la frecuencia.

Con pequeñas modificaciones del circuito se pueden variar las condiciones de la experiencia. En la fig. 1-b, el recipiente ancho fija el nivel de la presión arterial, y con la llave se puede reducir el reflujo sanguíneo y por consiguiente mantener baja la presión venosa.

En estas circunstancias el gasto depende sólo de la diferencia de presión arterio-venosa, de modo que si esta diferencia es grande, las pequeñas variaciones de la presión venosa pueden afectar relativamente poco el gasto.

RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS

La figura 2 muestra las variaciones de los distintos datos en función de la frecuencia cuando la presión venosa y la resistencia vascular periférica son constantes.

La presión arterial aumenta casi en línea recta para frecuencias crecientes, llega a un vértice que corresponde, por definición, a la frecuencia óptima y luego cae en forma más lenta y variable.

La agudeza del campanario de la presión arterial y especialmente la inclinación de su rama ascendente, dependen: 1) del gasto sistólico y por consiguiente, en igualdad de las otras condiciones, del valor funcional del corazón (comparar las figs. 2); 2) aumenta con la resistencia periférica; 3) se modifica poco con el aumento de presión venosa (ver también fig. 4).

El gasto cardíaco por minuto está solidariamente unido, en este sistema, con la presión arterial; siendo constante la resistencia periférica, la diferencia (presión arterial-presión venosa) puede tomarse como un índice muy exacto del gasto.¹

El gasto sistólico disminuye cuando aumenta la frecuencia; tal disminución tiene una pendiente relativamente lenta para frecuencias

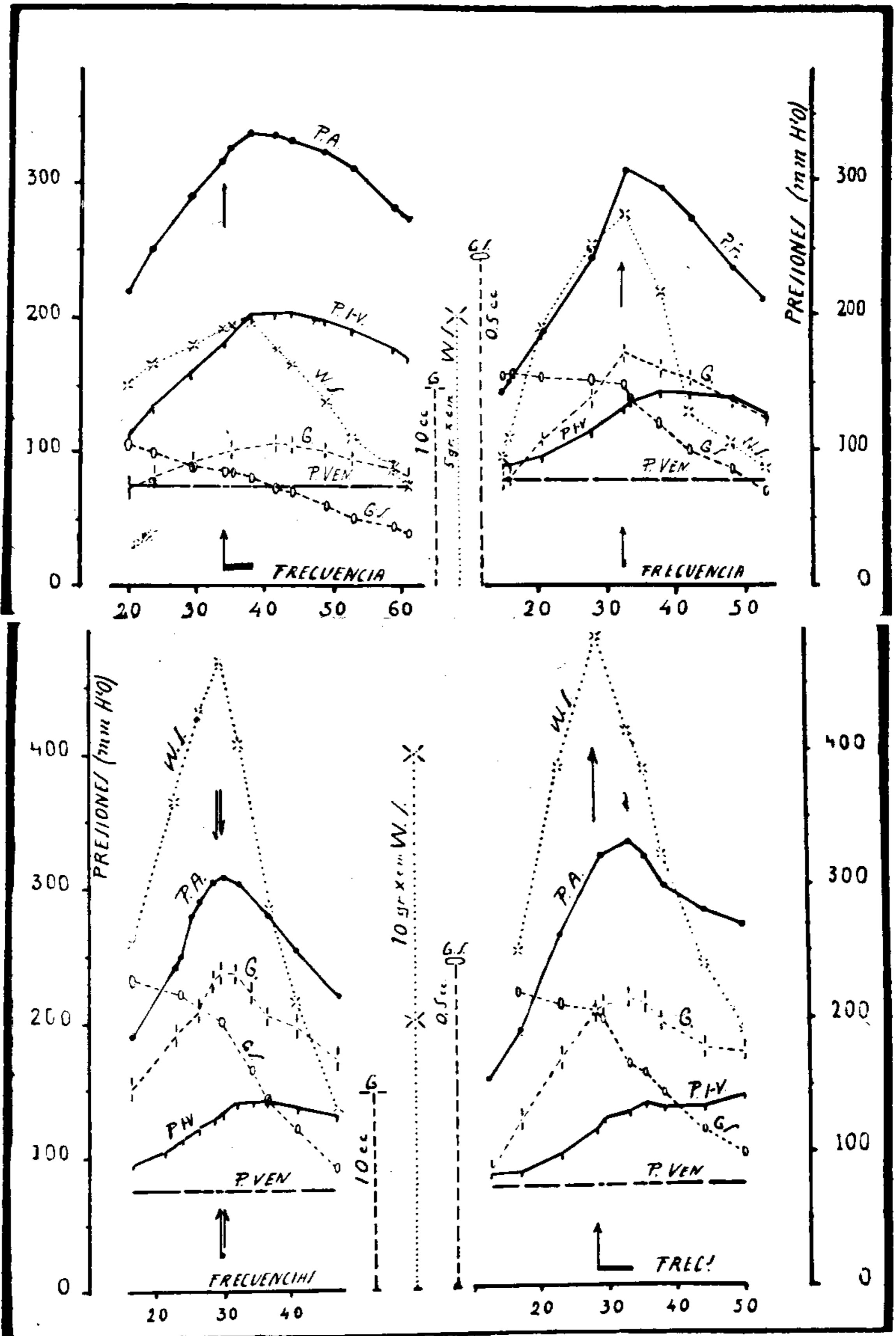


FIG. 2. — Cuatro experiencias en que se estudia las variaciones de la presión arterial (P. A.), la presión media intraventricular (P. I-V.), el gasto por minuto (G.), el gasto sistólico (G. S.), y el trabajo sistólico (W. S.), cuando se hace variar la frecuencia, permaneciendo constante la presión venosa (P. Ven.). Las flechas señalan la frecuencia obtenida por el dispositivo automático (notar su marcada relación con el máximo de trabajo sistólico) y la distancia a la frecuencia óptima verdadera. Las cuatro experiencias están por el orden del valor funcional creciente de los ventrículos utilizados: para alturas proximas de las curvas de presión rarterial, y presión venosa, se observa mayor amplitud en las variaciones de los otros datos

menores de la óptima, y otra más acentuada para las frecuencias mayores.

La presión media intraventricular es el valor promedio de las presiones elementales que se suceden en el ventrículo en todo el curso del ciclo cardíaco; su máximo corresponde a una frecuencia algo superior a la óptima; a igualdad de presión arterial, es mayor del lado de las frecuencias altas que del lado de las bajas.

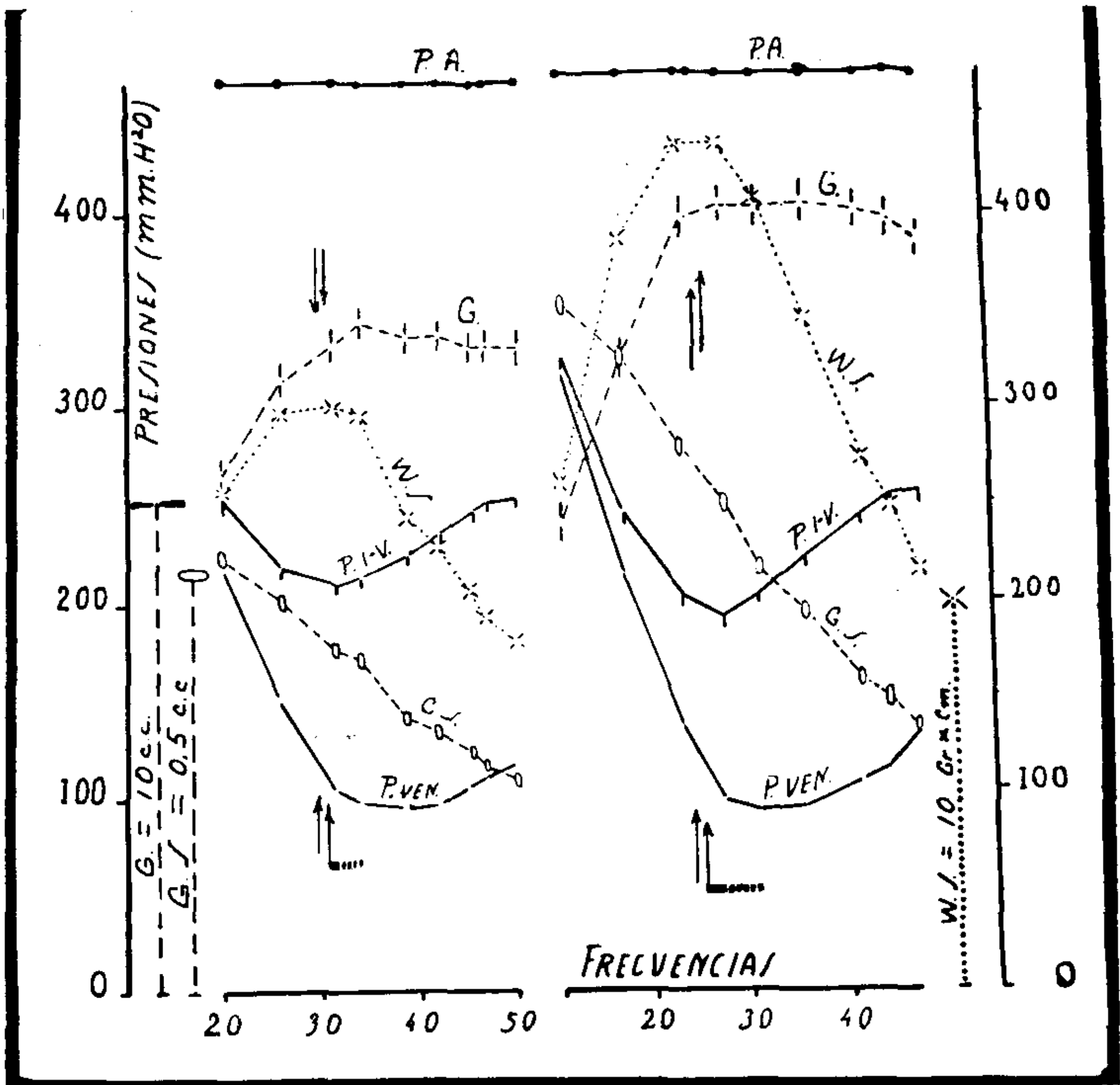


FIG. 3. — Dos experiencias en que se estudian los mismos datos de la figura anterior en el dispositivo a presión arterial constante (Fig. 1-b). Las flechas dobles indican la frecuencia automática (obtenida al comienzo y al fin de la experiencia), que coincide con el máximo de trabajo sistólico, el trazo lleno horizontal indica la distancia a la frecuencia correspondiente a la presión intraventricular mínima, y a un punto de inflexión de la presión venosa; el fin del trazo punteado indica el óptimo verdadero, de determinación difícil en el platillo que tienden a formar la presión venosa y el gasto.

La diferencia entre la presión arterial media y la presión intraventricular media se debe muy principalmente a las diferencias de presión arterial y ventricular durante toda la diástole y la fase isomé-

trica sistólica, puesto que durante la sístole y la fase isométrica diastólica, ambas presiones son prácticamente iguales. Es esquemáticamente la diferencia de presión que movería la sangre en las coronarias, si éstas estuvieran presentes.

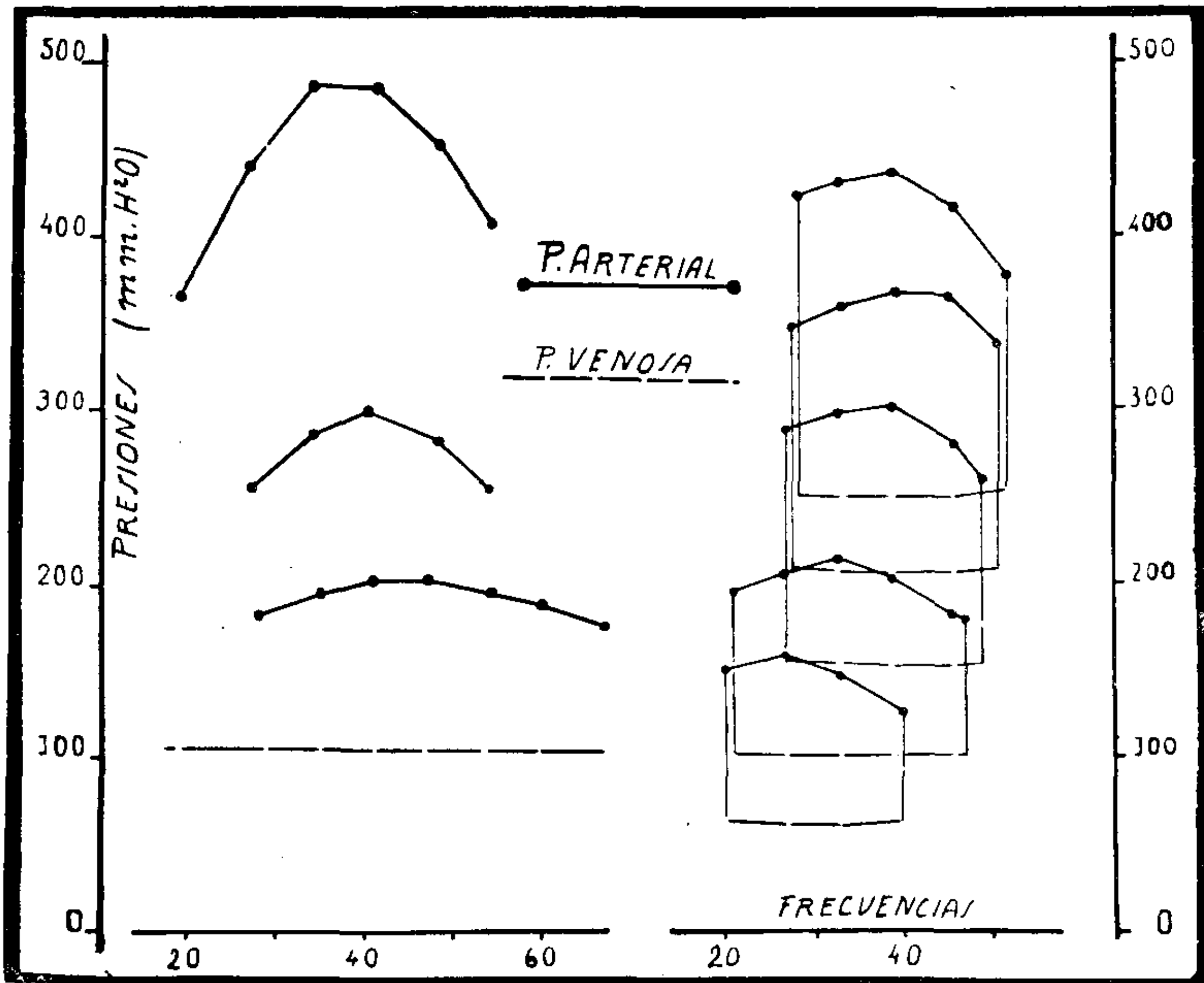


FIG. 4. — A la izquierda: Determinación del óptimo de frecuencia para tres valores de la resistencia periférica, siendo constante la presión venosa. A la derecha: La misma determinación en el mismo ventrículo, para valores crecientes de la presión venosa a resistencia constante. El procedimiento resulta naturalmente largo y da en este caso la impresión, que no se ha confirmado, de que la frecuencia óptima se desplaza a la izquierda con el aumento de resistencia periférica.

Con todas las reservas que se imponen, teniendo en cuenta la crítica y la obra de Wiggers² puede tomarse la diferencia (P. arterial-P. intraventricular), como un índice grosero de las condiciones mecánicas de irrigación del ventrículo por supuestas coronarias; así considerado, este índice aumenta con el aumento de resistencia periférica, aumenta con la presión venosa para valores bajos de la misma, permaneciendo casi constante para valores altos, favorecerían las frecuencias más bajas con relación a las más altas que la frecuencia óptima*.

El trabajo mecánico realizado por el ventrículo por minuto,

* Ver también a este respecto las gráficas de la comunicación siguiente en este número.

que se aproxima mucho, por la escasa variación de la presión arterial durante todo el ciclo cardíaco, al producto del gasto por la diferencia (P. arterial - P. venosa), ¹ es máximo a la frecuencia óptima. En cuanto al *trabajo sistólico* (o sea el valor anterior dividido por la frecuencia), resulta ser también máximo a esa frecuencia.

El *rendimiento* del motor ventricular, es decir, la relación entre el trabajo sistólico y la energía consumida en cada contracción es, con toda probabilidad, máxima a la frecuencia óptima. Admite alguna discusión el valor absoluto de la relación simple entre el volumen ventricular sistólico inicial y la energía liberada en la contracción en el sentido absoluto establecido por Starling y colaboradores ^{4, 5, 6}; pero de todos modos puede esperarse que

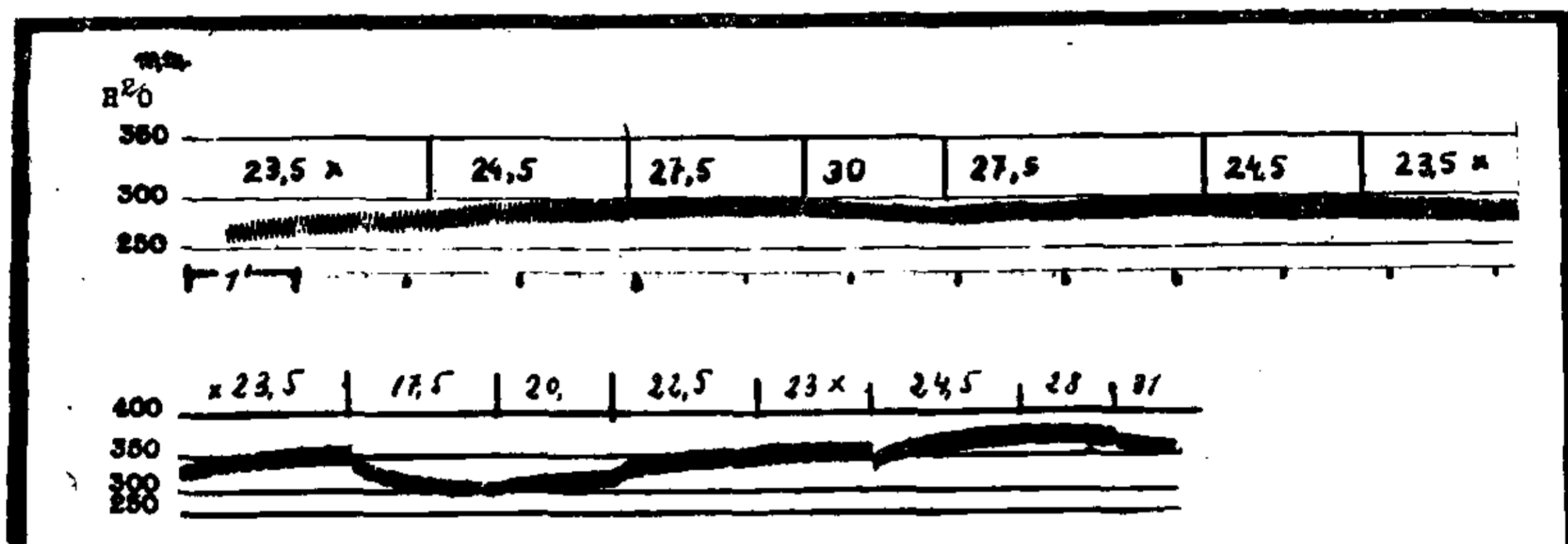


FIG. 5. — Dos curvas de presión arterial para distintas frecuencias. Arriba, la frecuencia automática (x), es de 23,5, y la óptima 27,5. Abajo, la automática es de 23 a 23,5 y la óptima está entre 24,5 y 28.

tanto el volumen inicial de la contracción, como la energía total de la misma, varían con relativa lentitud en la zona de la frecuencia óptima, en la cual, en cambio, el trabajo sistólico desciende abruptamente a un lado y a otro del óptimo; de aquí resultaría un valor máximo muy neto para la relación (trabajo sistólico/energía total de la contracción), a la altura de la frecuencia óptima.

En el animal entero las condiciones circulatorias son diferentes a las estudiadas hasta aquí y se aproximan mucho más al esquema de la fig. 1-b; en estas circunstancias, la presión arterial se mantiene constante y el gasto se modifica poco en una gama importante de frecuencias gracias a un valor relativamente grande de la presión arterial.

En la fig. 3 puede verse como el óptimo tiende a disociarse; dentro de un estrecho margen de frecuencias crecientes, se suceden el máximo trabajo sistólico, el máximo de gasto que coincide con

el mínimo de presión intraventricular y el mínimo de presión venosa.

Puede verse, además, que para frecuencias más altas que el óptimo, el gasto y el trabajo por minuto disminuyen muy lentamente, mientras la presión venosa y la presión intraventricular se elevan formando una curva lentamente ascendente; del lado de las frecuencias bajas, las modificaciones de estos valores son de la misma dirección, pero mucho más acentuadas.

El gasto sistólico disminuye en función continua con la frecuencia.

B) *El volumen ventricular sistólico inicial y la frecuencia*

No hemos hecho un estudio detenido del volumen ventricular en sus relaciones con la frecuencia; sin embargo, la simple observación nos permitió ver lo siguiente: cuando se utilizan frecuencias muy bajas, el ventrículo alcanza su volumen máximo antes de que sobrevenga la nueva excitación; el punto en que dicho volumen máximo es alcanzado, se señala por una brusca detención del crecimiento de su volumen diastólico, acompañado de una sacudida y cierre de la válvula "mítral". Según la ley de Starling,⁸ la contracción siguiente ha de ser la máxima desde el punto de vista de la energía total liberada, dependiendo de las circunstancias mecánicas en que se encuentra el ventrículo, y especialmente de la presión arterial, la porción de esa energía aprovechable en forma de trabajo mecánico.

Todo el tiempo que media entre el momento en que se alcanza el volumen ventricular máximo y la nueva contracción es un tiempo perdido, durante el cual la circulación está detenida no sólo en su progreso hacia la arteria, sino también en su regreso al corazón.

Si se acelera progresivamente la frecuencia, ese tiempo perdido irá disminuyendo al paso que aumenta el número de sístoles máximas, hasta que llegará un momento en que la nueva sístole se inicie exactamente en el momento en que el ventrículo ha alcanzado su volumen máximo; tendremos entonces *la frecuencia máxima compatible con un volumen ventricular máximo*.

Si seguimos aumentando la frecuencia, el volumen que puede alcanzar el ventrículo en cada diástole, será cada vez menor y la energía de cada nueva sístole será más pequeña; por otra parte, el tiempo destinado a la diástole disminuirá proporcionalmente a la duración del ciclo, lo cual hace prever una reducción del pasaje de

líquido al ventrículo por unidad de tiempo, con la consiguiente disminución del gasto por minuto.

Es posible pensar, a priori, que la frecuencia óptima corresponda a la circunstancia indicada más arriba, en que se da el máximo de frecuencia compatible con el volumen ventricular máximo inicial.

Trataremos de verificar la exactitud de esta hipótesis por medio de un dispositivo automático, que produzca la excitación en el momento en que el ventrículo ha alcanzado su volumen diastólico máximo, luego veremos qué posición ocupa, con relación a la frecuencia óptima, esta frecuencia obtenida automáticamente.

TECNICA

En el dispositivo de la fig. 1-a puede verse, que el líquido de la cavidad rígida *P* que rodea al ventrículo, empujado por la diástole ventricular, al llegar al extremo del tubo *T* se pone en contacto con la extremidad capilar *D*, con lo cual se cierra el circuito que excita el ventrículo; mientras éste no haya llegado a su volumen máximo, un exceso de líquido se irá perdiendo en cada diástole hasta alcanzar el volumen diastólico máximo. A partir de ese instante se obtiene la frecuencia máxima compatible con el volumen ventricular máximo*.

RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS

Cuando se usa el dispositivo de la fig. 1-a (a presión venosa y resistencia periférica constantes), se observa que la frecuencia automática es algo inferior a la frecuencia óptima; cuando usamos el

* El término volumen ventricular máximo no es absolutamente definido e independiente de las otras condiciones, pero la influencia de éstas lo hace variar relativamente muy poco; hemos podido observar con este dispositivo los siguientes hechos que merecen estudios más completos: 1) Después del llenamiento diastólico rápido, si se evita la excitación, se produce una fase de dilatación ventricular lenta (diastasis)⁷ durante la cual el ventrículo es capaz de agrandarse muy poco en un tiempo relativamente largo. 2) Esta fase, que puede ser seguida por el desplazamiento del menisco en el tubo, comienza más precozmente y tiene un margen mayor cuando la presión venosa aumenta. 3) El volumen cardíaco máximo alcanzado con una misma presión venosa y con todo el tiempo necesario, parece ser mayor cuando el corazón trabaja a una resistencia periférica mayor, lo cual se demuestra de la manera siguiente: cuando el dispositivo funciona a presión arterial alta y disminuimos la resistencia periférica, el mecanismo excitador automático deja de funcionar, lo que quiere decir que aún con la misma presión venosa y con todo el tiempo necesario, el volumen cardíaco máximo anterior al descenso de la presión arterial, no ha sido alcanzado.

La frecuencia obtenida por nuestro dispositivo corresponde bastante exactamente al volumen alcanzado por la dilatación rápida, ya que el líquido de la cavidad "pericárdica" se derrama por el orificio del tubo *T*, en virtud de cierta inercia, sólo cuando tiene una cierta velocidad superior a la que existe en la fase de histéresis.

T A B L A I

J. DUOMARCO Y G. SOLOVEY

Experiencia Nº	Frecuencia por minuto		Presión arterial (mm. H ² O)		Presión venosa (mm. H ² O)	
	Optima	Automática	Diferencia	F. ópt.		F. Autom.
1	33	28	5			80
2	38	33,5	4,5			Entre 80 y 100
3	30	25	5			" " " "
4	29	25	4	303	300	3
5	25,5	25,5	1	326	325	1
6	23,5	22,5	1	337	330	2
7	39	34,5	4,5	260	257	3
8	40	38	2			" " " "
9	{ 26 34	{ 23,5 28,5	{ 2,5 4,5	{ 300 372	{ 288 360	{ 12 12
10	28	23	5	380	365	15
11	32	29,5	2,5			{ 64 100

dispositivo de la fig. 1-b (a presión arterial constante), se observa igualmente que la frecuencia automática es poco inferior a la frecuencia óptima; la diferencia es del mismo orden que en el caso anterior con relación al máximo de gasto, y algo mayor con relación al mínimo de presión venosa.

Llama la atención el hecho que el elemento que más íntima relación tiene con la frecuencia automática, es, en todos los casos, el trabajo sistólico máximo; cuando la frecuencia automática se separa más de la frecuencia óptima, ocurre que el trabajo sistólico máximo se separa más del gasto máximo, o que la curva del trabajo sistólico tiene un máximo poco definido (vértice romo).

La tabla I y la fig. 5 muestran las relaciones entre la frecuencia óptima y la automática en un grupo de experiencias en que se ha practicado la inscripción de la presión arterial, en todas ellas la frecuencia óptima es algo mayor que la automática (entre 1 y 5 por minuto); puede verse, además, que las diferencias de la presión arterial para ambas frecuencias, son menos significativas (entre 1 y 15 mm. de H²O).

En adelante, salvo indicación en contra, la frecuencia automática será considerada como la expresión experimental de la frecuencia óptima.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Las experiencias realizadas plantean, en primer lugar, la cuestión del radio de acción de los medios mecánicos de adaptación ventricular a un mayor trabajo, esto es: el aumento de presión venosa, el aumento de frecuencia, el aumento de volumen inicial de la contracción.

Cuando el ventrículo late a una frecuencia menor que el óptimo, su actividad aumentará cuando aumenta la frecuencia, en cambio, no dispondrá del mecanismo de Starling,⁸ o sea del aumento de volumen inicial de la contracción, puesto que parte de un volumen prácticamente máximo. Cuando late a una frecuencia mayor que el óptimo, su actividad podrá aumentar con una reducción de la frecuencia, lo que implica una puesta a contribución de la ley de Starling.

El aumento de presión venosa por debajo de cierto límite (a partir del cual deja de ser efectivo), puede ser utilizado a cualquier frecuencia: del lado de las frecuencias altas, poniendo a contri-

bución la ley de Starling^{4, 8}; del lado de las bajas, aumentando la frecuencia por el aumento de velocidad de llenamiento ventricular.

Para una cierta gama de frecuencias, bastante estrecha, inferior al óptimo, entre la frecuencia óptima y la automática, y aún algo menores, la energía de cada contracción podrá seguir aumentando en la medida en que puede todavía aumentar el volumen ventricular sistólico inicial, pero la eficacia del ventrículo ha disminuído. Esto no implica el incumplimiento de la ley de Starling, como tiende a admitirse, basándose en un fenómeno que ocurre en ventrículos sobredistendidos durante la diástole, en condiciones que no se realizan probablemente nunca en el animal entero; lo que ocurre es que, en la proximidad del volumen ventricular máximo, las ventajas logradas por un pequeño aumento del volumen cardíaco durante la sístole, son anuladas y sobrepasadas por los inconvenientes que derivan del tiempo perdido en el llenamiento de un ventrículo en diástasis (en el sentido de Y. Henderson⁷).

La viscosidad del músculo es la causa de la diástasis y de la falta de coincidencia entre la frecuencia óptima, la automática y la que corresponde estrictamente al máximo volumen ventricular.

Shannon y Wiggers⁹ encuentran que el óptimo de frecuencia del corazón de rana o tortuga, "in situ", se halla entre 30 y 40 por minuto, valores próximos a los encontrados por nosotros en el ventrículo aislado de sapo; los mismos autores encuentran una diferencia fundamental con lo que ocurre con el perro, cuyo corazón es sometido a frecuencias crecientes con conservación de la presión venosa efectiva; en este caso Wiggers¹⁰ observa que, cuando se acelera el corazón desde 80 a 120, se obtiene un crecimiento del gasto y la presión arterial, que se mantienen hasta una frecuencia de 180 a 200, para luego descender.

Estos resultados están en aparente contradicción con los nuestros; en efecto: si el corazón del perro o del hombre late normalmente a una frecuencia inferior al óptimo, no puede disponer del mecanismo de Starling para su adaptación a un trabajo mayor, puesto que, en estas condiciones, el volumen ventricular es máximo y no podría explicarse, p. ej., la dilatación ventricular en el trabajo o la dilatación aguda patológica. Si el corazón late a frecuencias superiores al óptimo, hay que admitir que todo aumento de frecuencia reduce la actividad ventricular.

Cabe la hipótesis de un factor corrector, como es una más eficaz distribución de la presión pre-ventricular, sobre la base de la actividad auricular (fig. 6). En presencia de aurículas, una presión venosa constante supone un tránsito prácticamente continuo de líquido del sistema venoso al corazón, que se relaja: ya sea en conjunto (durante la diástole total); ya sea en el sector ventricular (durante la pre-sístole); ya sea en su sector auricular (durante la sístole ventricular).

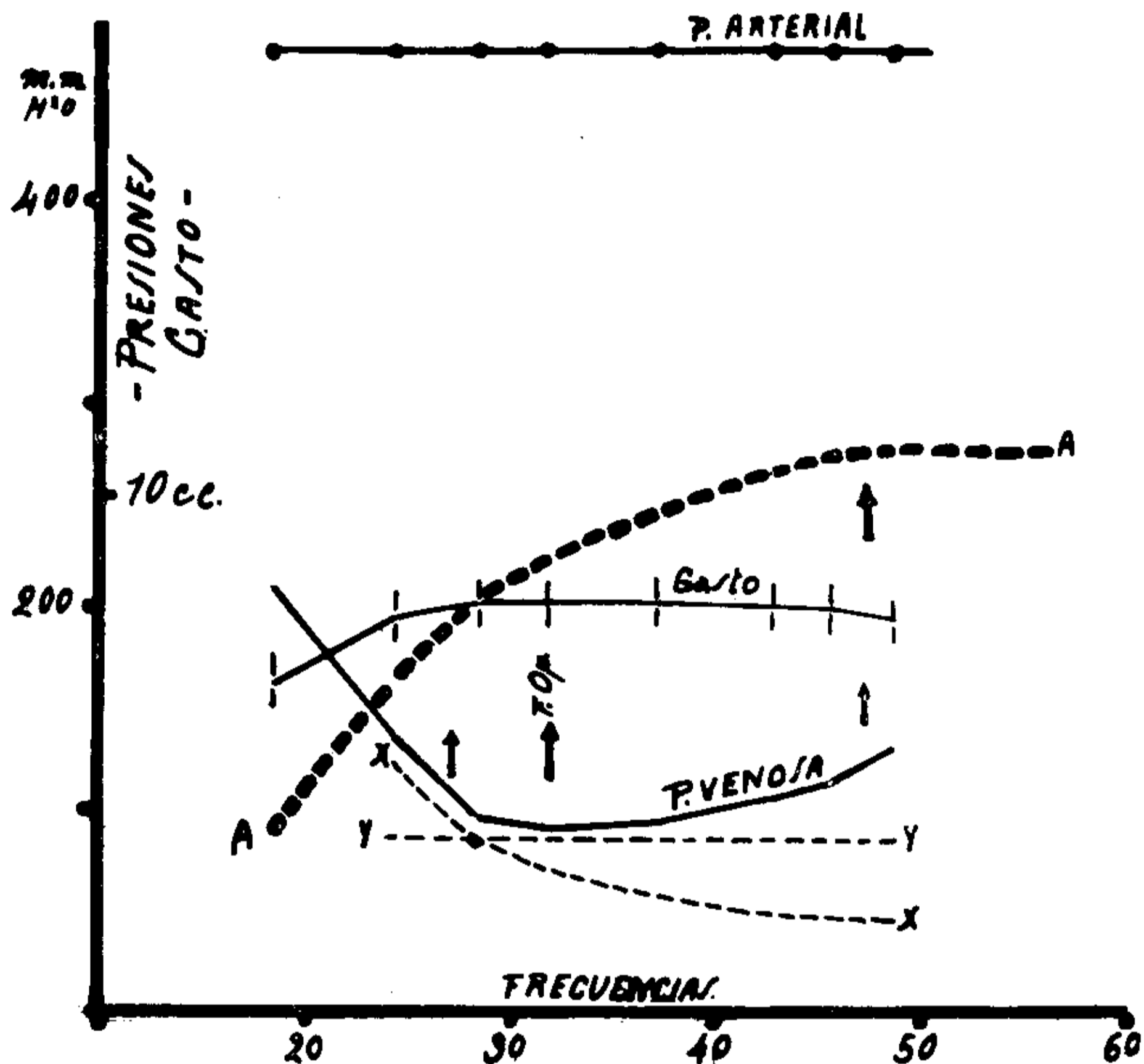


FIG. 6. — Los datos de presión arterial, gasto y presión venosa, corresponden a la experiencia de la fig. 3. La línea x-x (esquemática), corresponde a la presión venosa efectiva si existieran aurículas; si esa línea se llevara a la posición y-y, el gasto ocuparía la posición A-A (esquemática); la flecha de la izquierda corresponde a la frecuencia automática, la del medio a la frecuencia óptima ventricular, la de la derecha a la frecuencia óptima *cardíaca* (esquemática).

Cuando faltan las aurículas, como en nuestras experiencias, el aprovechamiento de la presión venosa se hace sólo intermitentemente, en la diástole ventricular. Este aprovechamiento disminuirá con el aumento de frecuencia por razón de la mayor duración relativa de la sístole; de modo que, en el caso de existir aurículas, en la fig. 6, la presión venosa sería menor, especialmente del lado de las frecuencias altas, y podríamos representarla esquemáticamente por la línea x-x.

Si en estas condiciones, es decir, *en presencia de aurículas*, hacemos constantes los valores de la presión venosa, y los llevamos a la posición y-y, por un artificio semejante al utilizado por Wiggers en sus experiencias, debemos suponer un correspondiente desplazamiento de la curva del gasto hacia la posición A-A (esquemática).

Entonces vemos como, a partir de una frecuencia óptima ventricular, la actividad del corazón puede seguir aumentando hasta un nuevo óptimo (*óptimo cardíaco* debido a la colaboración auricular), para luego mantenerse y descender ulteriormente.

En el caso de la fibrilación auricular, en que desaparece el mecanismo de adaptación que acabamos de describir, se reproducen en el animal entero, circunstancias análogas a las de nuestro dispositivo, y, por consiguiente, la actividad cardíaca depende en grado estricto de la frecuencia. La mejor tolerancia de las altas frecuencias ligadas a las taquicardias auriculares, con relación a la taquiarritmia completa, podrían deberse justamente a la existencia, en el primer caso, del factor corrector auricular.

El concepto clásico de frecuencia óptima debido a Bowditch¹¹ no coincide con el que resulta de nuestras experiencias. Como lo señala Kruta,¹² se explica bien que la amplitud de las contracciones del miocardio aislado y suspendido, de rana o mamífero, así como su tamaño máximo, aumenten cuando disminuye la frecuencia, pero es, „a priori”, inesperado que se reduzcan a partir de un cierto óptimo.

En nuestro dispositivo el fenómeno de Bowditch no parece poder manifestarse; el volumen ventricular máximo no parece disminuir para frecuencias menores que el óptimo, y el volumen sistólico no deja de aumentar en estas condiciones.

El problema del rendimiento del motor ventricular debe ser contemplado desde el punto de vista de la frecuencia óptima; la cantidad de trabajo que puede realizar una contracción depende de circunstancias exteriores al corazón¹³, como son la presión venosa y la resistencia periférica, pero para esas condiciones fijas, a la frecuencia óptima, se obtiene el máximo de trabajo posible con la energía prácticamente máxima de la contracción.

SUMARIO Y CONCLUSIONES

1° — Con la técnica del ventrículo aislado de sapo en un esquema circulatorio, se estudia la influencia del factor frecuencia sobre la actividad ventricular.

2° — Se observa la existencia de una estrecha banda de frecuencias (frecuencia óptima), para la cual, siendo constantes la presión venosa y la resistencia periférica, la presión arterial, la presión intraventricular media, el gasto por minuto, el trabajo por minuto, el trabajo sistólico y con toda probabilidad el rendimiento mecánico del corazón, son máximos. Siendo constante la presión arterial, la frecuencia óptima se caracteriza por el mínimo de presión venosa y de presión intra-ventricular, y el máximo de gasto, de trabajo sistólico y con toda probabilidad de rendimiento.

3° — A la frecuencia óptima el ventrículo trabaja a la máxima frecuencia compatible con el volumen ventricular casi máximo, lo que se demuestra por medio de un dispositivo en que el ventrículo es excitado cuando alcanza su volumen prácticamente máximo (anterior al período de diástasis).

4° — Se discute el radio de acción de los distintos mecanismos de adaptación del ventrículo a un mayor trabajo.

5° — Se plantea la disociación entre el concepto de frecuencia óptima ventricular en relación con los mecanismos de adaptación del ventrículo y el concepto de frecuencia óptima cardíaca en relación con la función de la aurícula.

6° — El concepto de óptimo de frecuencia ventricular, no coincide con el óptimo en el sentido de Bowditch y de Kruta, para el corazón suspendido de rana o mamífero.

BIBLIOGRAFIA

1. Duomarco, J. — "Arch. Soc. Biol. Montevideo", 1939, 11, 212.
2. Wiggers, C. J. — "Diseases of the coronary arteries and cardiac pain", Ed.: R. L. Levy, New York, 1936, p. 57.
3. Clark, Eggleton, Eggleton, Gaddie y Stewart. — "The metabolism of the frog's heart", Edinburgh, London, 1938, p. 56.
4. Patterson, Piper y Starling. — "J. Physiol.", 1914, 48, 465.
5. Starling, E. H. y Visscher, M. B. — "J. Physiol.", 1926-27, 62, 243
6. Moldawsky, L. F. y Visscher, M. B. — "J. Physiol.", 1937, 91, 23.
7. Henderson, Y. — "Adventures in respiration", Baltimore, 1938, p. 13.

8. *Starling, E. H.* — "Linacre lecture on the law of the heart", 1915, London, 1918.
9. *Shannon, E. W y Wiggers, C. J.* — "Amer. J. Physiol.", 1939-40, 138, 709.
10. *Wiggers, C. J.* — "Physiology in health and disease", London, 1937, p. 635.
11. *Bowditch.* — *Loc. cit.*, Kruta.
12. *Kruta, V.* — "Ann. Physiol". 1937, 13, 1030. "Arch. Int. Physiol.", 1937, 45, 332.
13. *Moldawsky, L. F. y Visscher, M. B.* — "Amer. J. Physiol.", 1933, 106, 329.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Avec la technique du ventricule isolé du crapaud dans un eschème circulaire, on étudia l'influence du facteur fréquence sur l'activité ventriculaire.

On observa l'existence d'une étroite bande de fréquence (fréquence plus favorable) pour laquelle, étant constantes la pression veineuse et la résistance périphérique, la pression artérielle, la pression intraventriculaire moyenne, le débit par minute, le travail per minute, le travail systolique et avec toute probabilité, l'efficience mécanique du cœur, son maximales. La pression artérielle étant constante, la fréquence plus favorable se caractérise par le minimum de pression veineuse et de pression intraventriculaire, et le maximum de débit de travail systolique et avec toute probabilité de l'efficience cardiaque.

A la fréquence plus favorable le ventricule travaille avec la plus grande fréquence compatible avec le volume ventriculaire presque maxime, ce qu'on peut démontrer moyenant un dispositif dans lequel le ventricule est excité quand il atteint son plus haut volume (antérieur à la période de diastase).

On discute le champ d'action des différents mécanismes d'adaptation du ventricule à un travail plus intense.

On met en évidence la dissociation entre le concept de fréquence ventriculaire plus favorable en relation avec les mécanismes d'adaptation du ventricule et de celui de la fréquence cardiaque plus favorable en relation avec la fonction de l'auricule.

Le concept de fréquence ventriculaire plus favorable, ne coïncide pas avec celui de Bowditch et de Kruta, pour le cœur de grenouille ou de mammifère suspendu.

SUMMARY

A study has been made of the influence of the factor frequency upon ventricular activity. The technique used was the isolated ventricle of the toad connected to an artificial circuit.

A narrow band of frequency (optimum frequency) was observed to exist at which at constant venous pressure and peripheral resistance, the arterial pressure, mean intraventricular pressure, cardiac minute volume, cardiac work per minute, systolic work and in all probability the cardiac mechanical efficiency, were maximal.

At a constant arterial pressure the optimum frequency is characterized by a minimum of venous and intraventricular pressures and a maximal cardiac output, work and probaby also efficiency.

At the optimal frequency the ventricle works at the maximal frequency compatible with the almost maximal ventricular volume, a fact demonstrated by a device in which the ventricle is stimulated when it attains its, practically, maximal volume (just before diastasis).

The adaptative mechanisms of the heart to an increase of work are discussed in the light of the concept of optimal ventricular rate.

This concept does not coincide with the optimum which Bowditch and Kruta found for the suspended isolated heart of toads and mammals.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Mit der Technik der isolierten Kammer einer Kröte in einem Kreislaufpräparat studiert man den Einfluss der Frequenz auf die Kammeraktion.

2. Man beobachtet einen engen Streifen von Frequenzen (optimale Frequenz) für die, bei gleichmässigen venösen Druck und peripherer Resistenz, der Blutdruck, der mittlere intraventrikuläre Druck, das Minutvolumen, die Arbeit pro Minute und pro Systole und allem Anscheine nach, die mechanische Leistung, des Herzens ihren Höhepunkt erreichen. Ist der Blutdruck unverändert, so zeichnet sich die optimale Frequenz durch einen minimalen venösen Druckes, und eines ebensolchen intraventrikulären und das maximale Minutvolumen, systolische Arbeit und wahrscheinlich, der Leistung, aus.

3. Bei der optimalen Frequenz arbeitet die Kammer mit der maximalen Frequenz, die mit dem fast maximalen Kammervolumen vereinbar ist, was man mit einer Aparatur beweist, mit der man die Kammer reizt wenn sie, praktisch genommen, ihr höchstes Volumen erreicht (vor der Diastaseperiode).

4. Man bespricht den Aktionsradius der verschiedenen Mechanismen die bei der Adaptierung der Kammer für eine erhöhte Leistung eine Rolle spielen können.

5. Man stellt 2 verschiedene Konzepte auf: das erste bezieht sich auf die optimale Kammerfrequenz in Verbindung mit dem Adaptationsmechanismus der Kammer; das zweite auf die optimale Herzfrequenz in Verbindung mit der Vorhof-funktion.

6. Die Meinung von optimaler Kammerfrequenz, stimmt nicht mit der von Bowditch und von Kruta gedeuteten überein, für das suspendierte Herz des Frosches oder Säugetiers.