

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

II. — Modificaciones de la frecuencia óptima ventricular por distintas influencias

por los doctores

J. DUOMARCO y G. SOLOVEY

En una comunicación anterior ¹, estudiamos las modificaciones de la actividad típica del ventrículo cuando se hace variar la frecuencia; sobre esa base puntualizamos el concepto de frecuencia ventricular óptima. Cuando la aurícula colabora en la función mecánica del ventrículo, el óptimo de frecuencia se desplaza a valores mayores, de donde surge la diferencia entre frecuencia óptima ventricular y frecuencia óptima cardíaca.

No son éstas las únicas acepciones posibles del óptimo de frecuencia; hemos visto que el concepto de Bowditch y de Kruta no coinciden con ninguno de los anteriores.

En esta ocasión estudiaremos las modificaciones de la frecuencia óptima ventricular, y de la actividad ventricular a esa frecuencia, cuando se modifican otras condiciones de la función cardíaca. Esto último equivale a estudiar, cómo se modifica en cada circunstancia, el máximo de actividad mecánica que puede rendir ese ventrículo en esas otras condiciones.

T E C N I C A

La técnica ha sido descrita en el trabajo mencionado ¹ y con algunos otros detalles en otro anterior ². El ventrículo aislado de sapo es conectado a un esquema circulatorio en el cual se ha hecho variar la presión venosa, la resistencia vascular periférica, y la temperatura. La obtención de la frecuencia óptima se logra por el dispositivo descrito, en el cual, cada excitación sobreviene cuando el ventrículo ha alcanzado su volumen diastólico máximo rápido (antes de la fase de dilatación lenta o diástasis).

Para el estudio de la acción de la temperatura se ha modificado algo la técnica [(1) fig. 1-d], en el sentido de alargar las cavidades que rodean y prolongan el ventrículo, para homogeneizar y medir mejor la temperatura del medio líquido en contacto con él. En estos casos se procedía a un lento y progresivo calentamiento del líquido de perfusión.

Las variaciones de presión del sistema arterial, se han inscripto en un cilindro ahumado para facilitar las medidas de presión y frecuencia.

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

RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS

A) *Acción de la fatiga.* — Cuando un ventrículo late en las condiciones experimentales durante un tiempo (ordinariamente varias horas), comienza finalmente a declinar (disminución del gasto y la presión arterial) primero lentamente, luego con rapidez creciente; esta última fase se acompaña de un aumento progresivo de la frecuencia óptima, que termina, a menudo, en una especie de "flutter".

B) *Acción de la temperatura.* — Esta acción es aparentemente muy variable, sin embargo, cuando se han realizado un cierto número de experiencias, se comienza a ver un conjunto de hechos bastante generales.

En 22 experiencias realizadas el verano último, con líquido de perfusión progresivamente calentado, hemos observado (figs. 1 y 2): a) Hasta una temperatura que varía entre 18° y 24°C . un aumento progresivo de la frecuencia óptima y del gasto por minuto con aumento inicial y disminución ulterior del gasto sistólico. b) En una segunda etapa, la frecuencia óptima tiende a hacer un platillo con irregularidades, al mismo tiempo que el gasto y la presión arterial siguen aumentando aunque en general, con pendiente más suave; de ahí resulta también un nuevo aumento del gasto sistólico. c) En una tercera etapa, la frecuencia óptima desciende claramente en algunas experiencias, se mantiene con mayores oscilaciones en otras, o tiende claramente a aumentar, lo cual puede depender de la acción espuria de la fatiga favorecida por la temperatura. Durante esa tercera etapa, el gasto, en general, aumenta al principio, para descender ulteriormente, cosa que ocurre también con el gasto sistólico.

Finalmente, dentro de un margen de temperaturas bastante limitado, el ventrículo fibrila. En las experiencias realizadas, este hecho ocurrió a las siguientes temperaturas: $28,8^{\circ}$; $29,5^{\circ}$; $29,7^{\circ}$; $30,2^{\circ}$; $30,5^{\circ}$; $31,2^{\circ}$; $31,5^{\circ}$. Es interesante destacar que el descenso de temperatura cura la fibrilación, que vuelve a presentarse para un nuevo aumento de temperatura hasta el mismo nivel de la vez anterior. Se observa además, con frecuencia, inmediatamente antes de la fibrilación, un período corto con gran aumento del gasto total y el sistólico, sin modificación o con retardo de la frecuencia.

C) *Acción de la presión venosa.* — La fig. 3 muestra las modificaciones de los distintos valores estudiados en correlación con un crecimiento uniforme de la presión arterial, producido por el aumento de presión venosa.

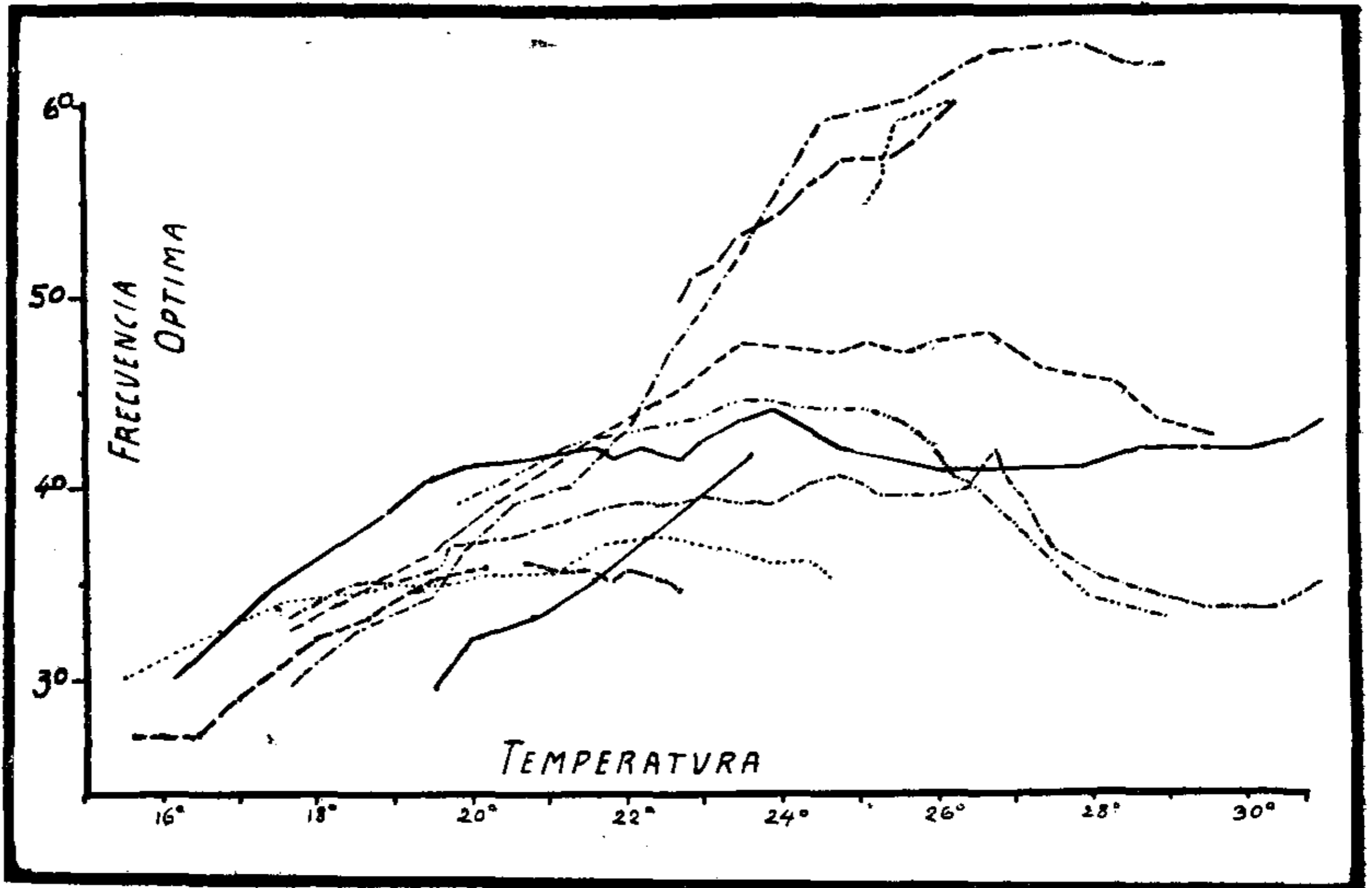


FIG. 1. — Curvas de frecuencia óptima en función de la temperatura. En cada curva se observa una porción inicial (por debajo de 18°-24°) en que la frecuencia óptima aumenta con la temperatura, una segunda porción en que la frecuencia permanece constante y una tercera en que tiende a disminuir.

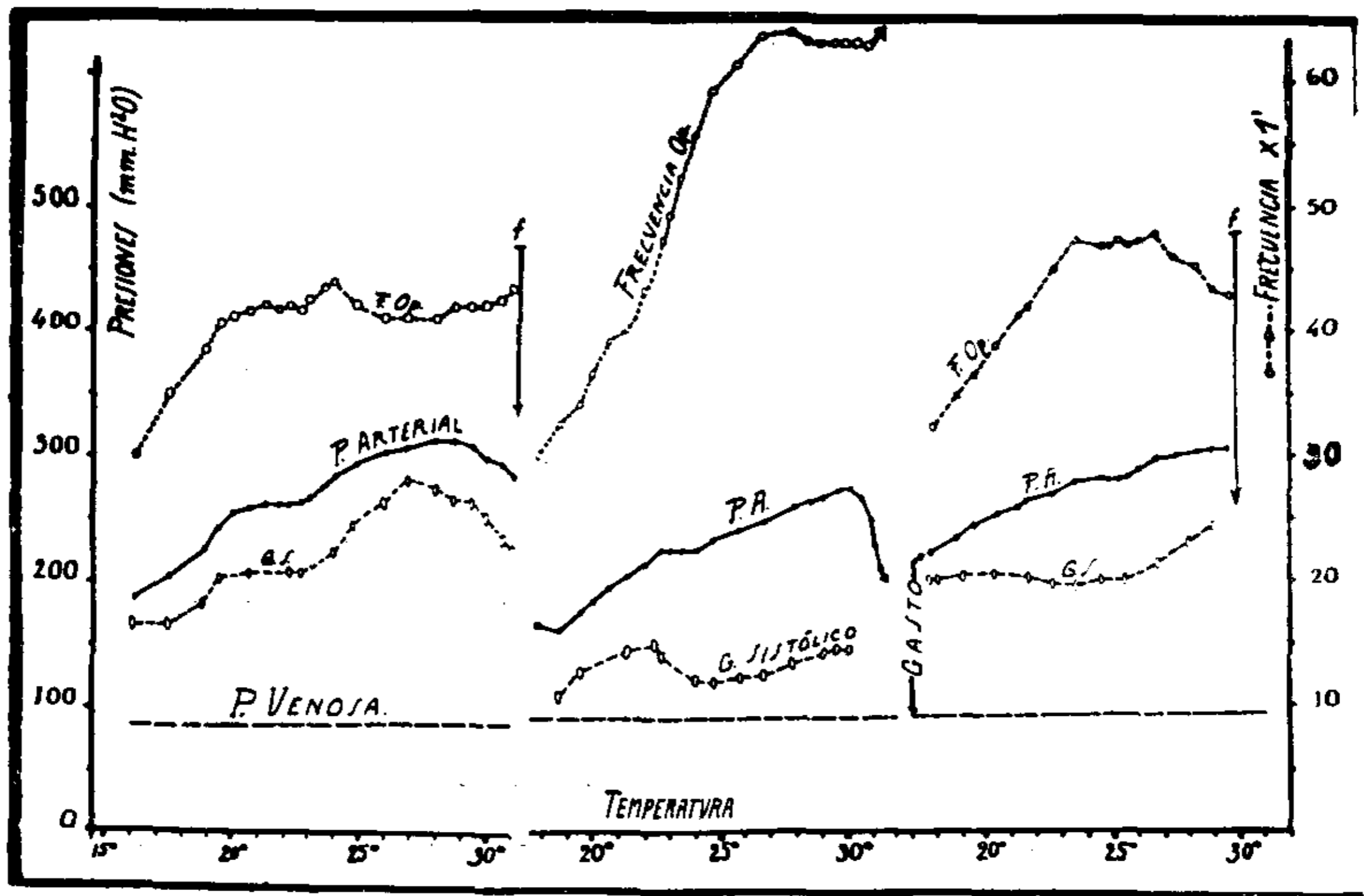


FIG. 2. — Tres experiencias en que se estudian las variaciones de la frecuencia óptima, la presión arterial, el gasto (expresado por la distancia entre la presión arterial y la presión venosa), y el gasto sistólico, en función de la temperatura.

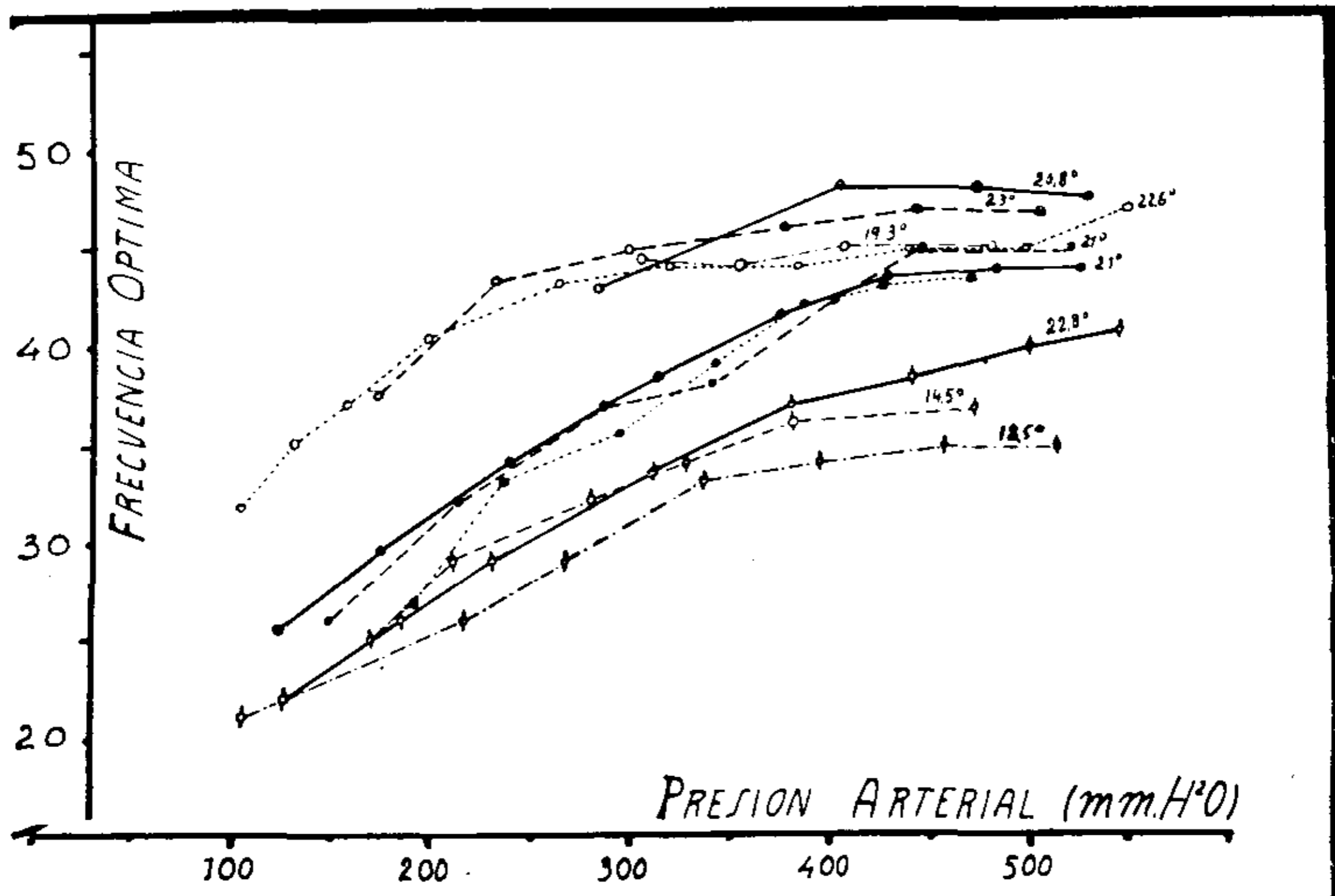
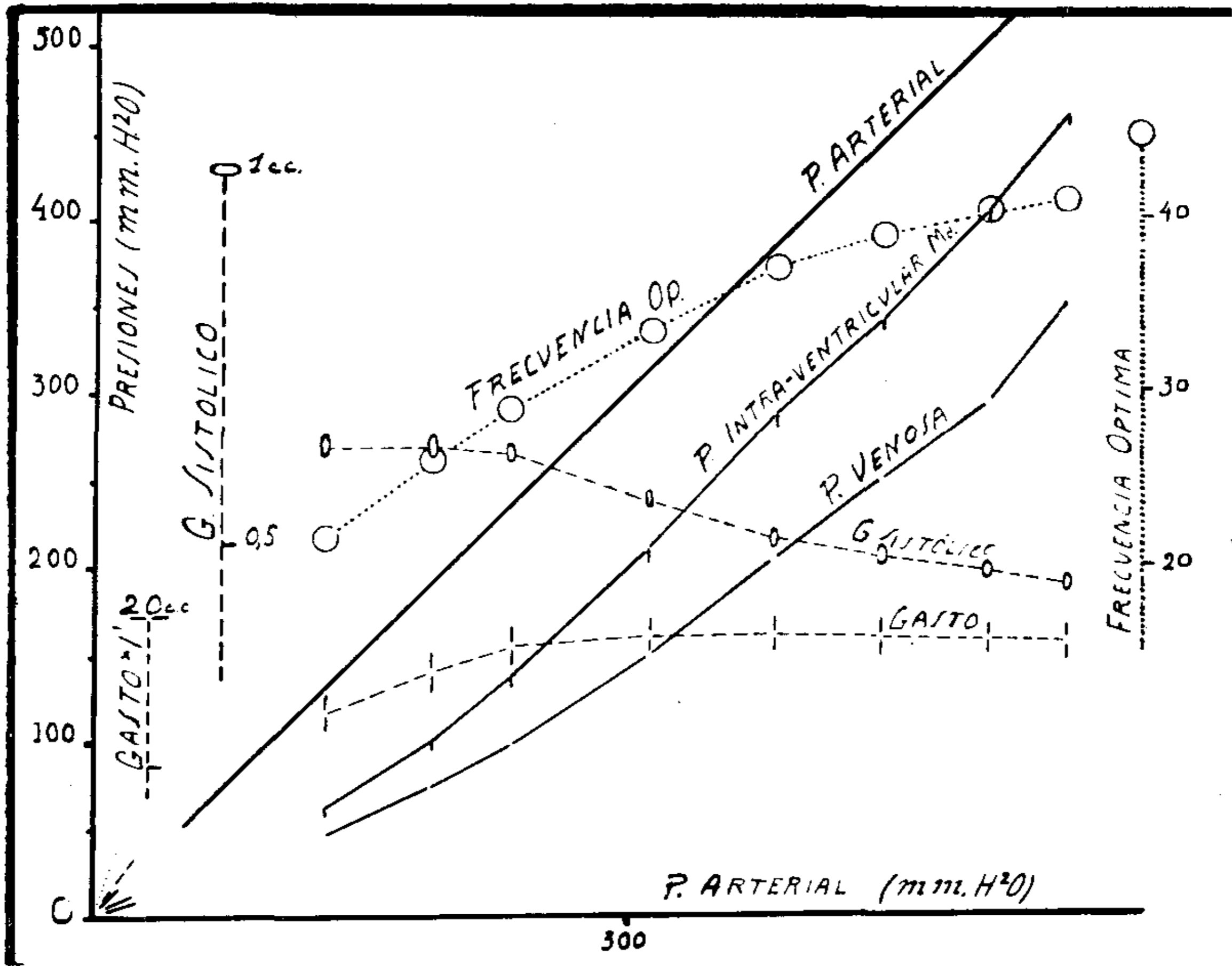


FIG. 3. — *Arriba*: Distribución de los valores de frecuencia óptima, presión intra-ventricular, presión venosa, gasto por minuto y gasto sistólico, que corresponden a un crecimiento uniforme de la presión arterial obtenida por el aumento de presión venosa. *Abajo*: Curvas de frecuencia óptima en otras experiencias semejantes.

Se observa que tanto la frecuencia óptima como el gasto, y por consiguiente la diferencia (P. arterial-P. venosa), aumentan primero rápidamente, luego con menos rapidez hasta tender claramente a la estabilización.

El aumento del gasto se realiza sobre todo, a expensas de la frecuencia, puesto que el gasto sistólico disminuye lentamente con el aumento de presión venosa.

En cuanto a los trabajos sistólico y por minuto, siguen una curva semejante a la del gasto por minuto (fig. 5).

D) *Acción de la resistencia vascular periférica.* — En la fig. 4 puede notarse cómo, en oposición a lo que ocurre en el caso anterior, el aumento de la resistencia vascular periférica, que se expresa por un crecimiento uniforme de la presión arterial, se acompaña de un aumento uniforme de la presión intraventricular, de la diferencia (P. arterial — P. intraventricular), y de un descenso progresivo del gasto sistólico y por minuto.

La frecuencia óptima se mantiene casi constante con ligera tendencia a crecer.

En cuanto a los trabajos, sistólico y por minuto, se modifican en forma semejante al caso anterior (fig. 5).

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El concepto de frecuencia óptima permite una orientación segura para juzgar, dentro de la multitud de datos contradictorios, sobre la acción de la temperatura, en la actividad cardíaca en detalle y en conjunto.

Bornstein (1906) y Clarck (1920) (citados por Tigerstedt³) habían notado que la acción de la temperatura sobre la amplitud de la contracción cardíaca, depende de la frecuencia óptima a esa temperatura.

De nuestras observaciones se deduce, que para valores constantes de la presión de aflujo y la resistencia periférica, trabajando siempre a frecuencia óptima, la temperatura hace aumentar la actividad ventricular, apreciada por el gasto por minuto, casi hasta el límite de tolerancia de las altas temperaturas; varían en cambio en los distintos intervalos de temperatura la importancia de los factores individuales: por ej., para temperaturas relativamente bajas (fig. 2), el aumento de actividad se hace a expensas del volumen sistólico y de

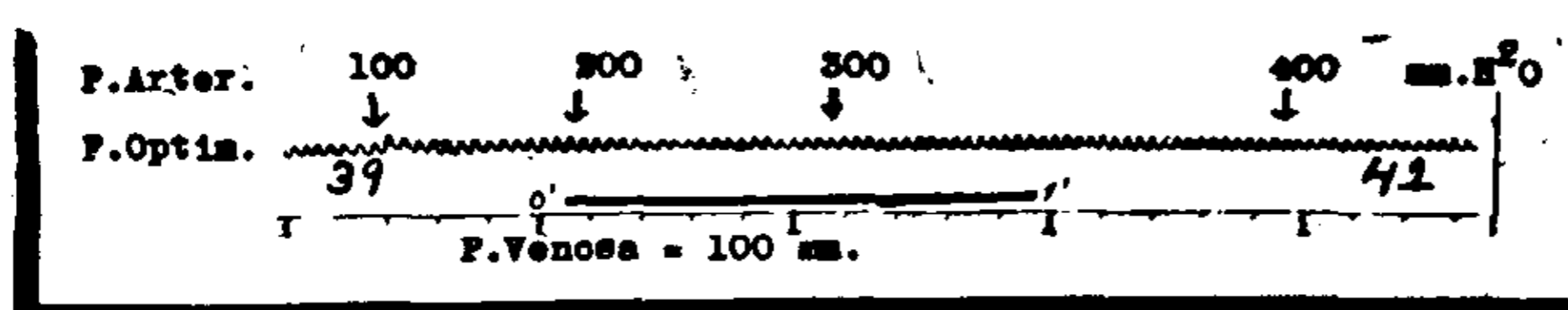
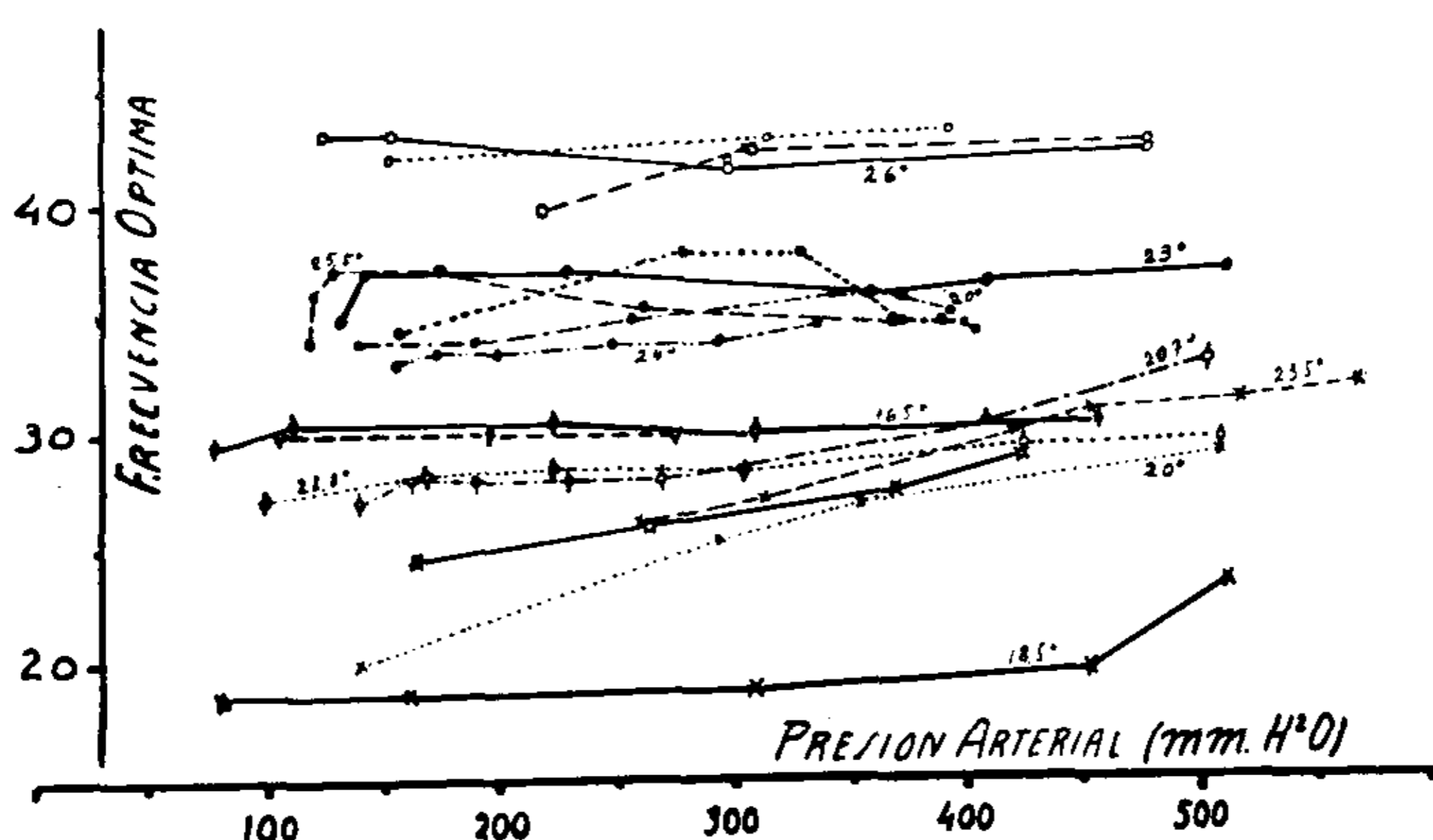
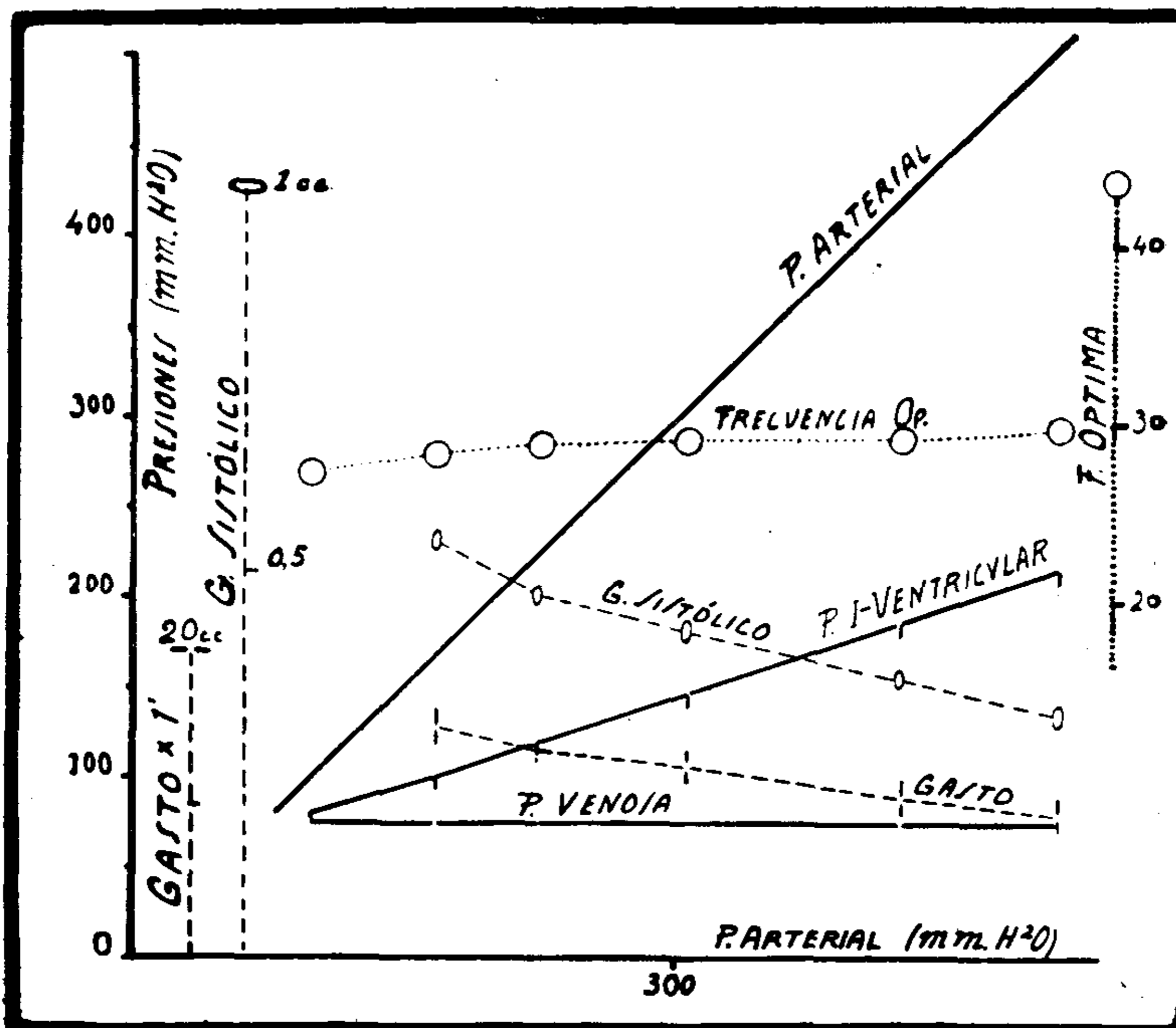


FIG. 4. — Arriba: Los mismos valores de la figura anterior, ordenados de acuerdo con un crecimiento uniforme de la presión arterial, debida al aumento de la resistencia periférica, siendo constante la presión venosa. Ver el distinto comportamiento de la frecuencia óptima. En el medio: Curvas de frecuencia óptima en otras experiencias semejantes. Abajo: Inscripción continua de la frecuencia que varía entre 39 y 42, cuando la presión arterial varía entre 100 y 420 mm. H²O.

la frecuencia; para temperaturas mayores, varían y hasta se oponen, las modificaciones de ambos factores. Nuevas experiencias son necesarias para aclarar estos diversos puntos.

Se comprende bien que el aumento de presión venosa determine, junto con el aumento de gasto, un aumento de la frecuencia óptima que está en relación con el más rápido llenamiento diastólico; llama la atención, en cambio, que cuando se aumenta la resistencia periférica, la frecuencia sea prácticamente constante; si pensamos que el volumen que debe entrar en el ventrículo, en cada diástole, dismi-

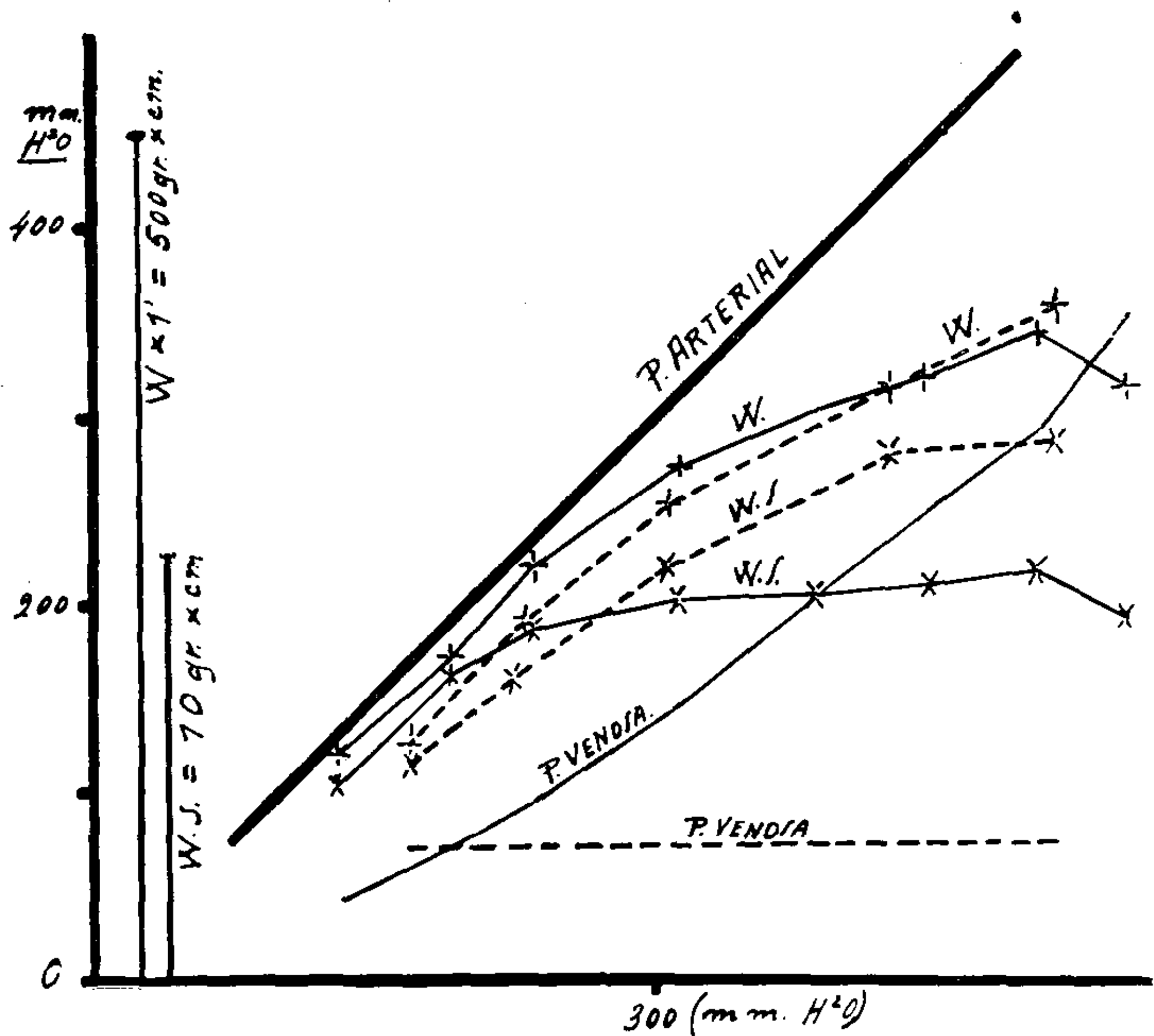


FIG. 5. — Curvas de trabajo (W) y de trabajo sistólico (W.S) a la frecuencia óptima, cuando se hace variar la presión arterial, ya sea por un aumento de la presión venosa (líneas llenas) ya sea por un aumento de la resistencia vascular periférica, siendo constante la presión venosa (líneas cortadas).

Para calcular el trabajo se emplearon las fórmulas:

$$W. = \text{Gasto} \times (P. \text{ arterial} - P. \text{ venosa})$$

$$W.S. = \text{Gasto sistólico} \times (P. \text{ arterial} - P. \text{ venosa}).$$

Todos los datos corresponden a un mismo ventrículo.

nuye cuando aumenta la resistencia periférica, sería de esperar un más rápido llenamiento ventricular con la correspondiente mayor frecuencia óptima. El hecho observado supone que *la duración del ciclo car-*

díaco, entre dos momentos caracterizados por un volumen ventricular máximo y una presión venosa fija, es casi constante e independiente de lo que ocurre en ese ciclo.

Existe un cierto paralelismo en la acción que ejercen las causas estudiadas sobre la frecuencia óptima del ventrículo aislado y la frecuencia del corazón en el animal entero.

a) El aumento de presión venosa aumenta la frecuencia óptima y la frecuencia en el animal entero (reflejo de Bainbridge) ⁴.

b) El aumento de resistencia periférica produce muy pequeño aumento de la frecuencia óptima y no tiene acción significativa sobre la frecuencia actual, por lo menos en las formas crónicas de hipertensión arterial (Bran-Menéndez y Orias). ⁵ En la hipertensión aguda e intensa puede entrar en juego el reflejo enlentecedor de Marey ⁶.

c) La fatiga cardíaca produce un aumento de la frecuencia óptima y de la frecuencia del animal entero.

d) Por múltiples datos experimentales ⁷ puede sospecharse, que para el margen de temperatura en que hemos observado un aumento de la frecuencia óptima, existe también un aumento de frecuencia espontánea del corazón aislado o en el animal entero.

¿Cuál es el significado de este paralelismo? En la comunicación anterior (¹ fig. 6) establecimos la diferencia entre el óptimo de frecuencia ventricular y el óptimo de frecuencia cardíaca; es seguro que en el animal entero, la frecuencia del corazón normal debe hallarse entre los dos óptimos; sólo así puede explicarse que el corazón pueda mejorar su actividad con un aumento de frecuencia y al mismo tiempo ser capaz de aumentar el volumen inicial de la contracción ventricular.

Parecería que los diversos mecanismos de regulación del ritmo cardíaco ⁸ procuran mantener la frecuencia actual del corazón entre los dos óptimos, tratando de evitar que el ventrículo trabaje a volumen máximo (tal como lo que ocurre en la respiración, donde el reflejo de Hering-Breuer limita la amplitud de los movimientos respiratorios).

En el caso concreto de la insuficiencia cardíaca, la taquicardia habitual, que ha sido tan diversamente explicada, podría ser interpretada en la siguiente manera:

a) En la fibrilación auricular primitiva con taquiarritmia, las circunstancias serían las mismas que en nuestro dispositivo sin aurículas, en cuyo caso la descompensación sería determinada por un aleja-

miento de la frecuencia actual del óptimo ventricular y la compensación se lograría por la aproximación a ese óptimo.

b) Cuando las aurículas funcionan, la insuficiencia cardíaca producida por una taquicardia primitiva sería más difícil de alcanzar, puesto que el óptimo cardíaco se encuentra a una frecuencia mucho mayor que el óptimo ventricular.

c) Cuando la causa de la insuficiencia es una alteración ventricular, se desplaza el óptimo ventricular a frecuencias mayores y los mecanismos reflejos normales, llevarían la frecuencia del corazón a un valor algo superior a ese óptimo.

Sería muy importante saber hasta qué punto, una perturbación de esos mecanismos reflejos de regulación, puede ser útil en el tratamiento de la insuficiencia cardíaca.

SUMARIO Y CONCLUSIONES

- 1º) Con el dispositivo descrito en la anterior comunicación ¹ hemos estudiado las modificaciones de la frecuencia ventricular óptima y de la actividad ventricular a esta frecuencia por la acción de a) la fatiga, b) la temperatura, c) la presión venosa, d) la resistencia vascular periférica.
- 2º) La temperatura aumenta la actividad ventricular hasta la proximidad de los 30° C., en la cual ocurre frecuentemente un "flutter" ventricular. La frecuencia óptima ventricular aumenta claramente sólo hasta temperaturas de 18° a 24°.
- 3º) La frecuencia óptima ventricular aumenta con la fatiga y, entre amplios límites, con la presión venosa, en cambio se modifica muy poco por el aumento de resistencia periférica.
- 4º) Se señala especialmente la relativa constancia de la duración del ciclo ventricular, entre dos momentos caracterizados por un mismo volumen ventricular máximo y una misma presión venosa, con independencia de lo que ocurre en ese ciclo.
- 5º) Se comenta el paralelismo entre las variaciones de la frecuencia óptima ventricular y la frecuencia cardíaca en el animal entero.

BIBLIOGRAFIA

1. Duomarco, J. y Solovey, G. — *ESTA REVISTA*, 1944, 10, 335.
2. Duomarco, J. — *Arch. Soc. Biol. Montevideo*, 1939, 11, 212.
3. Tigerstedt, R. — "Physiologie des Kreislaufes", Berlin-Leipzig. 2da. Edición. 1921, 2, 14.

4. *Bainbridge, F. A.* — *J. Physiol.*, 1915, 56, 65.
5. *Braun-Menéndez, E. y Orias, O.* — *ESTA REVISTA*, 1935, 2, 186.
6. *Marey, E. J.* — "La circulation du sang", París, 1881, 334.
7. *Barcroft, J.* — "Features in the architecture of physiological function", Cambridge, 1938, 34.
8. *Bazett, H. C.* — "Macleod's Physiology in Modern Medicine", London, 1938, 387.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Avec le dispositif décrit dans la communication antérieure nous avons étudié les modifications de la fréquence ventriculaire plus favorable et de l'activité ventriculaire à cette fréquence par l'action a) de la fatigue, b) de la température, c) de la pression veineuse, d) de la résistance vasculaire périphérique.

La température augmente l'activité ventriculaire jusqu'à la proximité des 30° C et c'est alors qu'elle apparaît fréquemment un flutter ventriculaire. La fréquence ventriculaire plus favorable augmente avec clarté jusqu'aux températures de 18° à 24°.

La fréquence ventriculaire plus favorable augmente avec la fatigue et, entre des vastes limites, avec la pression veineuse; par contre elle se modifie très peu à cause de l'augmentation de la résistance périphérique.

On souligne spécialement la constance relative de la durée du cycle ventriculaire, entre deux moments caractérisés par un même volume ventriculaire maxime et une même pression veineuse, à part de ce qui se présente pendant ce cycle.

On mentionne le parallélisme entre les variations de la fréquence ventriculaire plus favorable et la fréquence cardiaque dans l'animal complet.

SUMMARY

With the preparation previously described a study was made of the effects on the "optimal ventricular frequency" of: a) fatigue; b) temperature; c) venous pressure; d) peripheral resistance.

Temperature increases ventricular activity up to 30° C at which temperature a ventricular flutter frequently occurs. The ventricular optimal frequency increases with temperature only up to 18-24° C.

Optimal ventricular frequency increases with fatigue and with venous pressure but is little modified by the increase of peripheral resistance.

The duration of the ventricular cycle is relatively constant (independently of what occurs during this cycle) when the measurement is made between two moments of equal maximum ventricular volume and venous pressure.

The parallelism between variations of optimal ventricular frequency and heart rate in the intact animal is discussed.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Mit der in der vorigen Mitteilung (1) beschriebenen Apparatur haben wir die Veränderungen der optimalen Kammerfrequenz und der Kammeraktion auf diese

Frequenz unter dem Einfluss von: a) Müdigkeit, b) Temperatur, c) venösen Druck, d) Resistenz der Peripherie, studiert.

2. Die Temperatur erhöht die Kammeraktion bis annähernd 30° C; hier erfolgt oft ein Kammerflattern. Die optimale Kammerfrequenz steigt deutlich nur bis zu einer Temperatur zwischen 18 und 24°.

3. Die optimale Kammerfrequenz steigt mit der Müdigkeit und in weiten Grenzen mit dem venösen Druck, ändert sich hingegen wenig bei Erhöhung der peripheren Resistenz.

4. Man weist besonders auf die relative Beständigkeit der Zyklusdauer hin, zwischen 2 Momenten, die durch ein gleiches maximales Kammervolumen und eines gleichen venösen Drucks charakterisiert sind, unabhängig von dem, was während des Zyklus geschieht.

5. Man bespricht die Parallele zwischen den Veränderungen der optimalen Kammerfrequenz und der Herzfrequenz beim unversehrten Tier.

