

# PESO DEL CORAZON Y NUMERO DE CAPILARES CARDIACOS EN COBAYOS DE DIFERENTES ALTURAS

por el doctor

ANDRES ROTTA \*

Las observaciones que se encuentran en la literatura parecen indicar que la anoxia crónica incrementa el tamaño del corazón a expensas de una verdadera hipertrofia cardíaca. Strohl<sup>1</sup> en 1910, comparando la relación peso del corazón/peso del cuerpo, en dos especies de aves muy afines (*Lagopus Alpinus* Nilss y *Lagopus Albus* Gmelin), observó que el peso del corazón era mayor en la que habitaba las alturas que en la de su similar que vivía a nivel del mar. Strohl<sup>2</sup> y Mayer<sup>3</sup> en 1912, casi simultáneamente, analizando trazos electrocardiográficos de sujetos procedentes de alturas moderadas, concluyeron que la deficiencia prolongada de O<sub>2</sub> en el aire inspirado, determina cierto grado de hipertrofia del ventrículo derecho. Kaufmann y Mayer<sup>4</sup> en 1917, señalaron que los soldados que habían permanecido en lugares montañosos, presentaban al examen clínico, el corazón aumentado de tamaño. Campbell<sup>5</sup> en 1935, encontró que el peso del corazón era mayor en los ratones que habían sido expuestos, por largo tiempo, a bajas tensiones de O<sub>2</sub> (equivalentes a alturas de 18 a 20 mil pies), que en aquellos que no fueron colocados en condiciones de pobre oxigenación. Van Liere<sup>6</sup> en 1936, halló en 15 cobayos sometidos a presiones de O<sub>2</sub> de 380 a 420 mm. de Hg, durante 20 a 105 días, que el peso del corazón había aumentado en un 55 % sobre los valores normales de control. Rotta<sup>7</sup> en 1938, estudiando el peso del corazón en 12 perros normales de nivel del mar y 8 procedentes de una altura de 4.500 metros, encontró un promedio de 8 gramos de músculo cardíaco por Kg. de peso de cuerpo en los primeros y de 9.5 gramos en los últimos, lo cual representa un aumento aproximado, en el peso del corazón, de 20 % para los animales de la altura. El mismo autor<sup>7</sup>, midiendo el diámetro transverso, el área de la silueta cardíaca y el volumen del corazón, en telerradiografías de 16 sujetos de Oroya (3.600 metros de altura) observó que estas medidas presentaban un aumento de más o menos 15 % sobre los valores normales obtenidos a nivel del mar.

\* Del Departamento de Fisiopatología, Facultad de Ciencias Médicas, Lima.

Del conjunto de estas observaciones no es posible, sin embargo, obtener una idea precisa de la acción hipertrofiante de la anoxia crónica sobre el corazón. Por diferentes investigaciones que se han realizado se ha llegado a la conclusión de que los cambios fisiológicos que ocurren en las grandes alturas se acentúan con la severidad de la anoxia. No existen observaciones que permitan afirmar que el incremento del tamaño del corazón siga las mismas normas que otras constantes fisiológicas; asimismo, no se sabe todavía, cuál es el mínimum de anoxia capaz de constituir el estímulo necesario para producir hipertrofia de la fibra miocárdica.

De otro lado, la mayor parte de las observaciones que se han practicado hasta el presente comprenden al hombre o al animal adulto nacido a nivel del mar, que en un momento determinado, es puesto en condiciones de baja tensión de  $O_2$ , por un tiempo más o menos prolongado, ya sea utilizando procedimientos experimentales o por la ascensión a las grandes alturas. Por lo tanto, no se ha establecido si la anoxia crónica ejerce la misma acción hipertrofiante sobre el corazón de los seres nativos; es decir, del hombre y animales que viven ancestralmente en las alturas, y de los adaptados, o sean aquellos que son trasladados desde el nivel del mar como problema de estudio o por razones de economía vital.

En el presente trabajo, se ha tratado de resolver, en parte, estos diferentes aspectos de la acción de la anoxia crónica sobre el corazón, estudiando el peso del corazón en relación al peso del cuerpo de animales nativos de nivel del mar y de los 1.361, 2.390, 3.261, 3.734 y 4.538 metros de altura respectivamente; al mismo tiempo, se ha estudiado el peso del corazón en animales aclimatados a los 4.538 metros, después de 3 a 6 meses de permanencia a esta altura.

Pero si la permanencia prolongada en las alturas produce hipertrofia del corazón, es conveniente todavía, considerar la distribución cuantitativa de los capilares cardíacos en este tipo de hipertrofia. En efecto, diferentes trabajos que se han llevado a cabo en los últimos años por Roberts y Wearn<sup>8 10</sup>, Shipley y Shipley<sup>9</sup>, Wearn<sup>12</sup> y Roberts<sup>11</sup> tienden a demostrar que todo corazón hipertrofico se encuentra en condiciones de deficiente irrigación. Los estudios de Wearn y su escuela han puesto en evidencia, que en la hipertrofia cardíaca las fibras aumentan de grosor incrementando la masa muscular del miocardio mientras que el número de capilares permanece el mismo que en el estado de pre-hipertrofia; el resultado

de esta desproporción entre el aumento del volumen muscular y la no proliferación de los capilares, traería como consecuencia una mala irrigación del miocardio, puesto que cada capilar tendría que nutrir a una mayor masa tisular. Sin embargo, el mismo Wearn<sup>9</sup> ha podido observar, en un corto número de experiencias, que cuando la hipertrofia se lleva a cabo en edad temprana, los capilares proliferan en cierto modo; de manera que, de acuerdo con estos resultados, un corazón que se hipertrofia antes de alcanzar la edad adulta estaría en ventaja, por su mejor irrigación, sobre el que se hipertrofia en la madurez.

Sjostrand<sup>13</sup>, Petren y Sylven<sup>14 15</sup> y Vannotti<sup>16 18</sup>, han encontrado asimismo, proliferación de capilares en el corazón del ejercicio y del embarazo. De estos resultados se deduce que por mucho que el embarazo y el ejercicio conduzcan hacia un aumento del tamaño del corazón, la hipertrofia resultante no constituiría una hipertrofia nociva puesto que la proliferación capilar favorecería la mejor nutrición del miocardio.

Las investigaciones que preceden nos han inducido a practicar el recuento de capilares cardíacos en animales nativos y aclimatados a la altura con el objeto de observar si la hipertrofia producida por la anoxia crónica se acompaña o nó de proliferación capilar, al mismo tiempo que averiguar si existen diferencias substanciales entre los animales nativos y los aclimatados con respecto a la distribución de los capilares cardíacos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación se ha llevado a cabo en cobayos (conejiños de indias). Hemos elegido esta especie animal tanto por su fácil manejabilidad como por la relativa abundancia con que se encuentra en las Poblaciones Andinas del Perú. En total se han verificado 114 experiencias. De éstas, 14 corresponden a animales adaptados a 4538 metros de altura y 100 a animales nativos de diferentes alturas que se distribuyen en la siguiente forma: 25, a experiencias a nivel del mar (Lima); 10, corresponden a 1361 metros (Tornameza); 12, a 2390 metros (Matucana); 16, a 3261 metros (Huancayo); 18, a 3734 metros (Chicla), y 19, a 4538 metros (Morococha).

El peso del corazón ha sido referido al peso del cuerpo utilizando la siguiente relación:

$$\frac{\text{Peso del corazón}}{\text{Peso del cuerpo}} \times 1000$$

con la cual se expresa el resultado en gramos de corazón por kilogramo de peso de cuerpo.

El procedimiento experimental ha sido el mismo en todas las determinaciones. Los cobayos eran pesados en una balanza adecuada y luego sacrificados violentamente de un golpe en la cabeza; en seguida, se sacaba el corazón lo más rápidamente posible y luego de limpiarlo de la grasa adyacente y pericardio, se le pesaba en una balanza de precisión.

Para la inyección de los capilares cardíacos hemos seguido, en líneas generales, la técnica de Shipley y Wearn<sup>9</sup>. El corazón era perfundido con una solución de Locke-Rosenheim a una presión de 50 mm. de Hg.; cuando empezaba a latir rítmicamente, se le inyectaba a través del mismo sistema de perfusión una solución al 2% de Tieman's soluble Blue (Azul de Berlín) en suero fisiológico. Cuando todo el órgano presentaba un color azul intenso, se inyectaba dentro de las cavidades cardíacas ácido acético glacial, en cantidad suficiente, para paralizarlo en diástole. Después de inyectados, los corazones eran fijados con formol al 10% durante 24 horas; transcurrido este tiempo, se separaba de cada corazón dos bloquecitos de músculo (uno del ventrículo izquierdo y otro del derecho). Los bloques fueron lavados con agua corriente durante 24 horas; después, colocados en gelatina al 10% y a 37°C de 2 a 10 horas; luego en gelatina al 20% durante el mismo tiempo y la misma temperatura; por último, rodeados de una capa protectora de gelatina al 20% a la temperatura ambiente. Los fragmentos así preparados fueron guardados por lo menos durante 24 horas en formol al 10% para ser endurecidos.

De las preparaciones se obtuvieron cortes de 10 a 15 micras por congelación. Los cortes fueron teñidos con una solución acuosa de eosina al 2% y luego montados directamente con una mezcla de azúcar de caña y goma arábica propuesta por Wearn<sup>19</sup>.

El recuento de los capilares y de las fibras se practicó con objetivo de inmersión y usando un ocular micrométrico cuya calibración se verificó varias veces en el curso de las experiencias. El diámetro de las fibras se obtuvo con un ocular micrométrico lineal. El área de las fibras fué calculado elevando al cuadrado el diámetro medio de las mismas.

## RESULTADOS

*Peso del corazón en cobayos de diferentes alturas.* — En la tabla I se han anotado los valores obtenidos para la relación peso del corazón/peso del cuerpo x 1.000, en animales nativos de nivel del mar y de diferentes alturas hasta los 4.538 metros. El valor medio que se ha hallado en 25 determinaciones a nivel del mar está representado por una cifra de 3.24 gramos de músculo cardíaco por kg. de peso corporal. Esta cifra difiere ligeramente de la hallada por Van Liere y Sleeth<sup>17</sup> de 3.19 gramos, probablemente porque dichos autores establecieron sus cifras normales con animales hembras, mientras que nosotros hemos utilizado indistintamente cobayos de ambos sexos aunque preferentemente machos.

## RELACION ENTRE PESO DEL CORAZON Y PESO DEL CUERPO EN ANIMALES DE DIFERENTES ALTURAS

| Procedencia - Altura                    | Nº de deter-<br>minaciones | Medida $\pm$ E. P.<br>(gr.) | Desv.<br>Standard $\pm$ E. P.<br>(gr.) | $\frac{\text{Peso Corazón}}{\text{Peso Cuerpo}} \times 1000$ | Coefficiente de<br>variación (%) | Variaciones<br>(gr.) |
|---|----------------------------|-----------------------------|--|--|----------------------------------|----------------------|
| Lima (nivel del mar) . . . . .          | 25                         | 3.24 $\pm$ 0.04             | 0.31 $\pm$ 0.03                        | 9.5  |                                  | 2.73-3.86            |
| Tornameza (1361 met.) . . . . .         | 10                         | 3.20 $\pm$ 0.06             | 0.29 $\pm$ 0.05                        | 9.0  |                                  | 2.85-3.79            |
| Matucana (2390 met.) . . . . .          | 12                         | 3.19 $\pm$ 0.04             | 0.19 $\pm$ 0.02                        | 6.0  |                                  | 2.83-3.53            |
| Huancayo (3261 met.) . . . . .          | 16                         | 3.26 $\pm$ 0.04             | 0.27 $\pm$ 0.03                        | 7.5  |                                  | 2.84-3.80            |
| Chicla (3734 met.) . . . . .            | 18                         | 3.50 $\pm$ 0.08             | 0.54 $\pm$ 0.06                        | 15.4   |                                  | 2.94-4.55            |
| Morococha (4538 met.)<br>(nativos)      | 19                         | 4.25 $\pm$ 0.07             | 0.45 $\pm$ 0.05                        | 11.0   |                                  | 3.38-5.17            |
| Morococha (4538 met.)<br>(aclimatados)* | 14                         | 4.22 $\pm$ 0.09             | 0.49 $\pm$ 0.06                        | 11.6   |                                  | 3.56-5.00            |

ANDRÉS ROTTA

\* De 3 a 6 meses.

PESO CARDÍACO Y CAPILARES EN COBAYOS A DIFERENTES ALTURAS

Los valores medios que se han obtenido a los 1.361, 2.390 y 3.261 metros de altitud no difieren substancialmente de la cifra media a nivel del mar indicando que a estas alturas, la anoxia no ejerce ninguna acción sobre el tamaño del corazón.

La cifra media en los animales nativos de los 3.734 metros fué de 3.50 gramos de músculo cardíaco por kg. de peso corporal, dato que parece señalar que a esta altitud aproximadamente, empieza la acción hipertrofiante de la anoxia sobre el corazón. A los 4.538 metros, lugar más próximo al anterior donde nos ha sido posible encontrar animales nativos, hemos hallado en 19 determinaciones, un valor medio de 4.25 gramos de corazón por kilo de peso de cuerpo. Esta cifra comparada con la obtenida a nivel del mar, representa un incremento en el peso del corazón de 30 % aproximadamente.

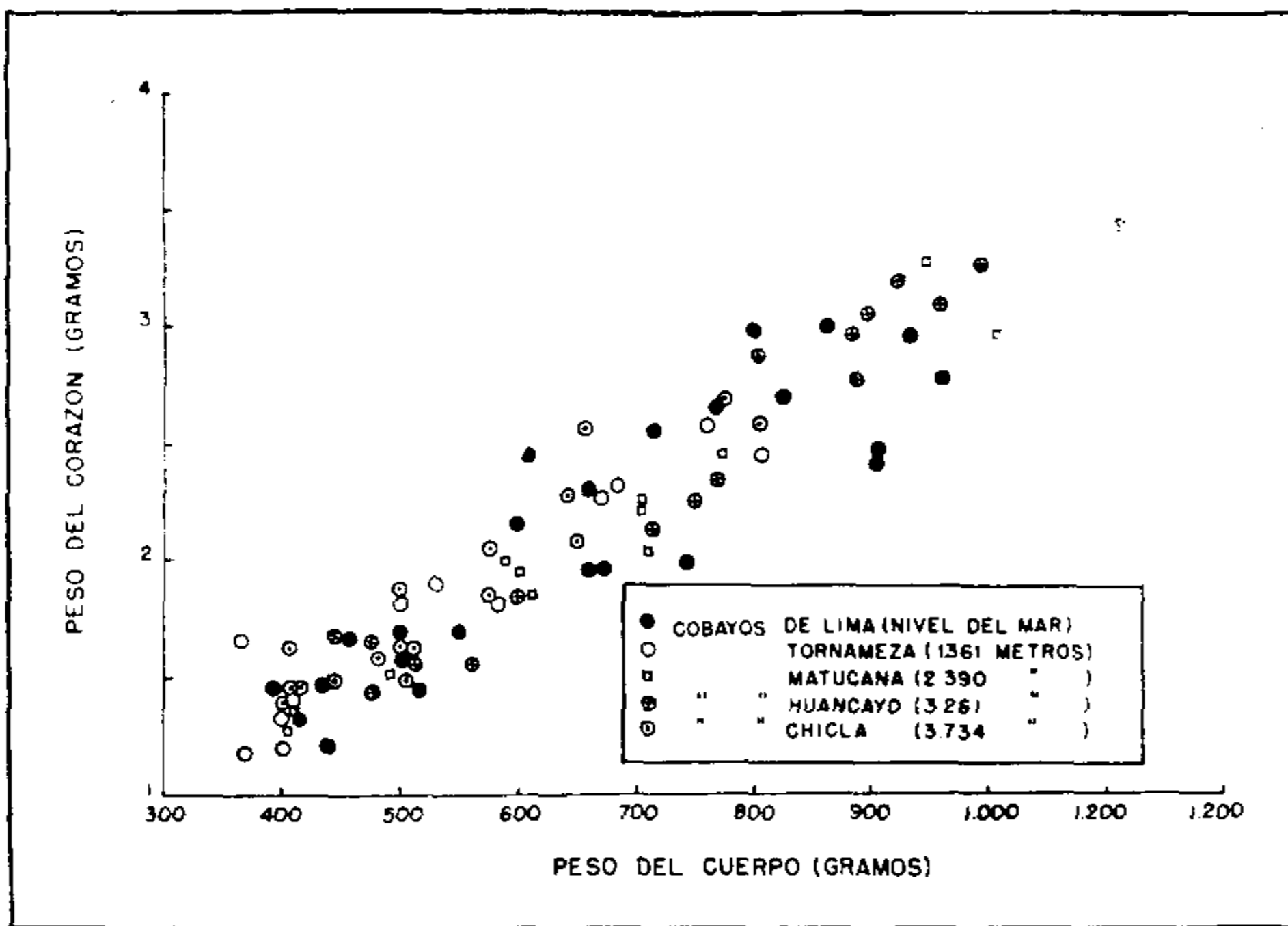


FIG. 1. — Peso del corazón en relación al peso del cuerpo en animales nativos de diferentes alturas.

*Peso del corazón en animales aclimatados a 4.538 metros.* — En este grupo se han consignado los resultados obtenidos en 14 cobayos adultos, nacidos a nivel del mar, que fueron trasladados a Morococha (4.538 metros de altura) por un lapso de tiempo de tres a seis meses antes de ser sacrificados. El valor medio hallado fué de 4.22 gramos de corazón por kilo de peso corporal; es decir, una cifra aproximadamente igual a la hallada en los animales nativos de la misma altura. Consideramos de interés este dato porque ex-

presa claramente que la acción de la anoxia sobre el tamaño del corazón, es la misma en los animales nativos de las alturas como en los aclimatados a ellas.

El tiempo en el cual la anoxia empieza a ejercer su acción hipertrofiante sobre el corazón, hemos tratado de averiguarlo sacrificando 3 cobayos a los 25 días y otros 2 a los 35 días de permanencia respectivamente, a 4.538 metros. Como el peso del corazón no presentara variaciones, en ninguno de estos grupos de animales, en relación con los valores normales de control a nivel del mar, las respectivas cifras no han sido considerados en la tabla I. Dado el corto número de nuestras observaciones, en este sentido, no queremos adelantar juicios sobre el tiempo de permanencia en la altu-

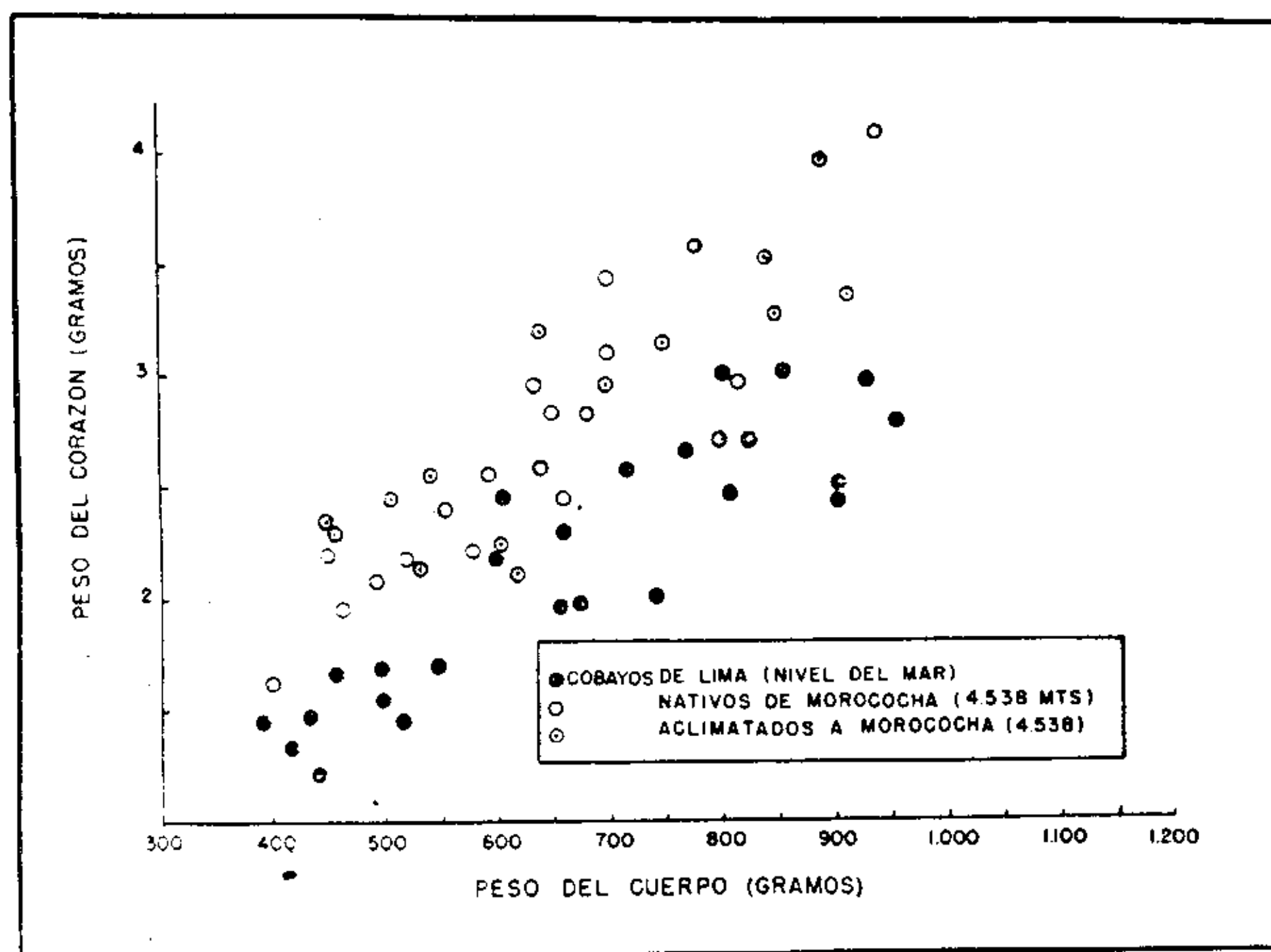


FIG. 2. — Peso del corazón en relación al peso del cuerpo en animales nativos y aclimatados a los 4538 metros. Se puede observar claramente el mayor peso del corazón en los animales de la altura.

ra, necesario, para que el corazón llegue a hipertrofiarse; más todavía, si consideramos que nuestros datos son un tanto diferentes a los hallados por Van Liere<sup>6</sup>, quien en condiciones experimentales, encontró hipertrofia cardíaca a los 20 días de estar sometidos sus cobayos a presiones de  $O_2$  equivalentes a alturas muy aproximadas a las cuales se han llevado a cabo nuestras experiencias.

*Recuento de capilares y medida de las fibras en el corazón de animales de diferentes alturas.* — Puesto en evidencia, por los resultados que anteceden, que sobre los 3.700 metros de altura la

T A B L A II

RECUESTO DE CAPILARES CARDIACOS A DIFERENTES ALTURAS

| Procedencia<br>Altura                     | Lima<br>Nivel del mar | Tornameza<br>1361 met. | Matucana<br>2390 met. | Huancayo<br>3261 met. | Chicla<br>3734 met. | Morococha<br>(nativos)<br>4538 met. | Morococha<br>(aclimat.)<br>4538 met. |
|---|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Capilares* × mm <sup>2</sup>              | 3407 ± 56             | 3502 ± 68              | 3325 ± 63             | 3482 ± 59             | 3186 ± 48           | 2932 ± 69                           | 2964 ± 72                            |
| Fibras × Capilar*                         | 1.09 ± 0.13           | 1.12 ± 0.16            | 1.07 ± 0.11           | 1.12 ± 0.13           | 1.08 ± 0.14         | 1.07 ± 0.16                         | 1.10 ± 0.14                          |
| Diámetro Medio Fibras* (Micras)           | 16.3 ± 0.32           | 16.0 ± 0.23            | 16.7 ± 0.38           | 16.6 ± 0.31           | 17.3 ± 0.73         | 18.4 ± 0.72                         | 18.1 ± 0.75                          |
| Area Fibras* (micras cuadradas) . . . . . | 269 ± 4.70            | 256 ± 3.97             | 279 ± 4.15            | 275 ± 4.21            | 299 ± 4.36          | 338 ± 4.29                          | 327 ± 4.42                           |

\* Media ± Error probable.



deficiencia de O<sub>2</sub> produce cierto grado de hipertrofia del miocardio, tanto en los animales nativos como en los aclimatados, consideramos de interés averiguar —como queda dicho— el comportamiento de la distribución de los capilares en este tipo de hipertrofia. Los resultados obtenidos se han apuntado en la tabla II. En 25 animales de control, a nivel del mar, la cifra media fué de 3.407 capilares por milímetro cuadrado. En las siguientes determinaciones verificadas en animales nativos de los 1.361, 2.390 y 3.261 metros de altitud respectivamente, el número de capilares cardíacos por mm.<sup>2</sup> no presentó variaciones dignas de tomarse en consideración, en relación con los valores de control. En los animales nativos de los 3.734, encontramos 3.186 capilares por mm.<sup>2</sup>, o sea una disminución de 321 por mm.<sup>2</sup>. A los 4.538 metros de altura, el recuento

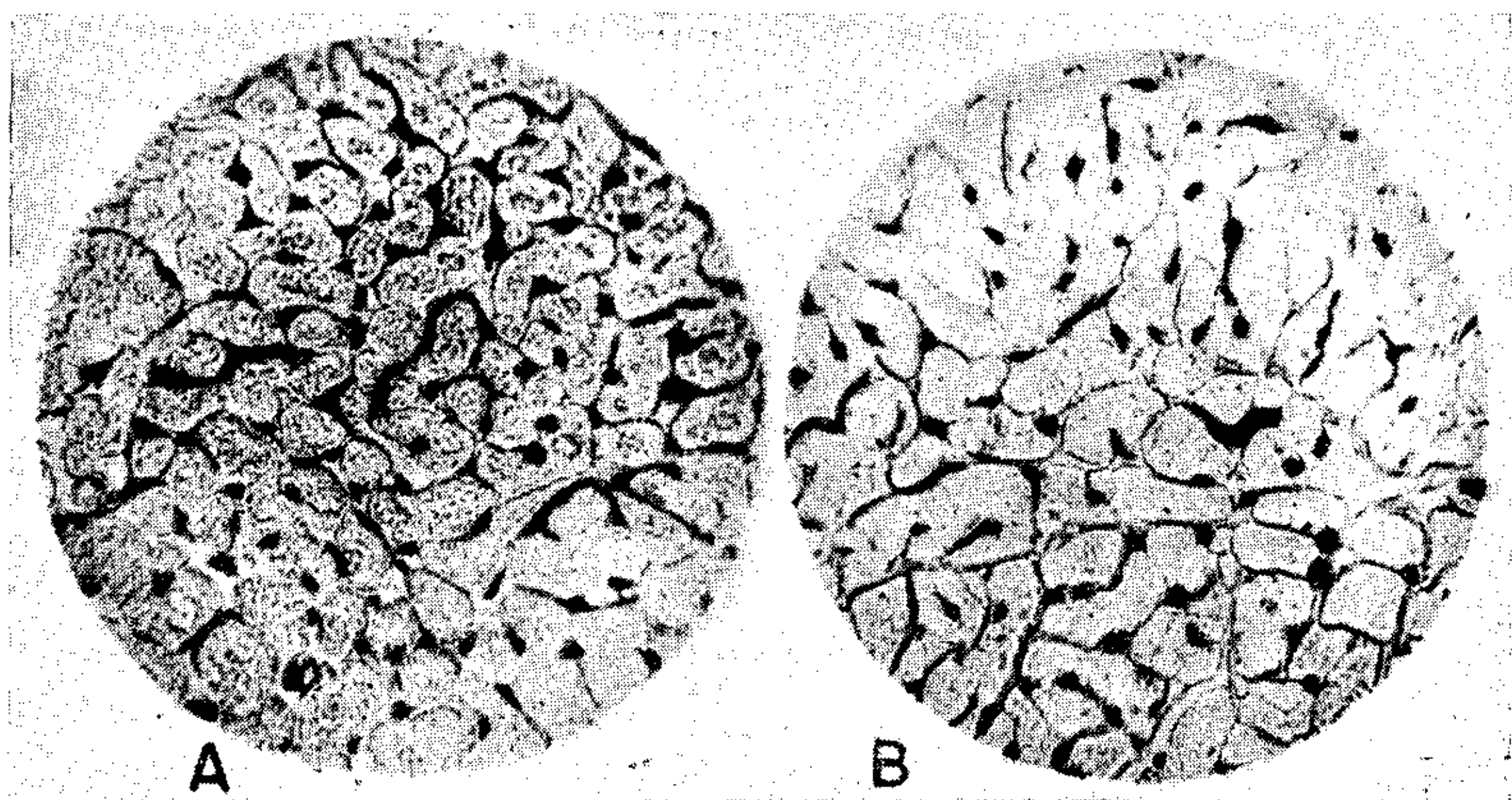


FIG. 3. — Microfotografía de 2 cortes de corazón de cobayo (aproximadamente  $\times 450$ ). Coloración: sol. acuosa de eosina, Tieman's Blue. (A) corresponde a un animal de nivel del mar de 760 gramos de peso de cuerpo. (B) corresponde a un animal nativo de los 4538 metros de 770 gramos de peso corporal. Puede apreciarse la disminución en el número de capilares y el mayor diámetro de las fibras en (B).

de capilares en el corazón, nos dió una cifra media de  $2.932 \pm 69$  para los animales nativos y de  $2.964 \pm 72$  para los animales aclimatados. Estas cifras, que representan una disminución notoria del número de capilares cardíacos en los animales que habitan las grandes alturas, al presentarse sensiblemente iguales señalan, una vez más, que no hay diferencias, en la modalidad de la hipertrofia del corazón, entre los animales nativos y los aclimatados.

La relación entre fibras y capilares, como era de esperar, no ha presentado variaciones de consideración en ninguno de los grupos de animales estudiados, indicando que la disminución en el número de capilares se debe únicamente a que al aumentar su diámetro las fibras, rechazan a dichos elementos hacia la periferia.

El diámetro medio de las fibras presentó, asimismo, un moderado incremento a los 3734 metros de altura, mientras que a los 4538 metros el aumento fué definido sobrepasando en 1.8 micras a los valores de control establecidos a nivel del mar. Las diferencias en el diámetro de las fibras y el número de capilares se pueden apreciar gráficamente en la figura 3 en la cual se ha reproducido una microfotografía comparativa de dos cortes correspondientes a un animal de nivel del mar y otro de la altura de, aproximadamente, el mismo peso.

### DISCUSIÓN

Las investigaciones realizadas en el presente trabajo demuestran, en forma evidente, que la anoxia crónica produce cierto grado de hipertrofia de las fibras musculares del miocardio con un consiguiente aumento en el peso del corazón, en el cobayo; pero al mismo tiempo señalan, que para alcanzar el mínimo grado de hipertrofia, es necesario llegar a una altura aproximada de 3800 metros. Como ya a alturas inferiores a la apuntada, ocurren una serie de cambios fisiológicos, que se han calificado como procesos de compensación a la baja tensión de  $O_2$ , hay que convenir que la hipertrofia del corazón, al hacerse presente sólo a mayores alturas, o representa un fenómeno compensatorio para grados más severos de anoxia, o ya no constituye un proceso de compensación sino que, más bien, es la resultante de una acción nociva de la anoxia sobre la fibra cardíaca. Van Liere<sup>6, 29</sup>, se ha pronunciado en este sentido al sugerir que la hipertrofia producida por la anoxia crónica puede ser debida a un aumento del trabajo del corazón o a una acción injuriante de la anoxia sobre el corazón. Nosotros<sup>7</sup>, hemos podido observar que el trabajo del corazón se encuentra moderadamente aumentado en sujetos nativos de los 4500 metros de altura, concluyendo que dicho incremento se debe, en parte, al mayor volumen de sangre circulante y al aumento de la viscosidad sanguínea.

De otro lado, el corazón de los animales de la altura presenta

la misma modalidad de hipertrofia que se encuentra en clínica cardíaca, a juzgar por los resultados obtenidos en el recuento de los capilares y cuantificación del diámetro y área de las fibras. De acuerdo con las ecuaciones de Hill<sup>23</sup> y Krogh<sup>24</sup>, que rigen las constantes de difusión del O<sub>2</sub> a través de los tejidos, cuanto más gruesas son las fibras mayor es la dificultad para que el O<sub>2</sub> y los metabolitos puedan difundirse a través de ellas; por esta razón, existe la tendencia general, apoyada en los trabajos de Wearn y sus colaboradores y de Gross y Sparks<sup>25</sup>, de considerar a la hipertrofia cardíaca como un fenómeno compensatorio, que a la larga, resulta ser perjudicial al organismo. Sin embargo, no se sabe todavía qué grado de hipertrofia es necesario para que los procesos de difusión sean obstaculizados, pero puede sugerirse que en la altura la dificultad sea mayor por la baja tensión a la que se encuentra el O<sub>2</sub> en la sangre, salvo que medien factores desconocidos que favorezcan dichos procesos. Harrison<sup>28</sup>, analizando teóricamente las constantes de Hill y de Krogh, ha llegado a la conclusión de que moderadas hipertrofias, especialmente si se acompañan de frecuencia de contracción baja, serían incluso benéficas porque aumentarían la fuerza de contracción de la fibra sin interferir con los procesos de difusión. En un buen porcentaje de sujetos de la altura, se han encontrado ritmos bradicárdicos por Monge<sup>20, 21, 22</sup>, Capdehourat<sup>27</sup> y otros<sup>26, 31, 30</sup>, comportándose desde este punto de vista igual que el corazón de los atletas a nivel del mar: esta similitud, ha hecho que Monge<sup>21, 22</sup> considere al corazón de la altura como un corazón de atleta.

En resumen, no es posible a la luz de los conocimientos actuales, afirmar si la moderada hipertrofia del corazón que se encuentra en los animales de la altura, constituye un proceso beneficioso o nocivo, como tampoco se puede emitir un juicio definitivo sobre el mecanismo por el cual se genera dicha hipertrofia.

#### SUMARIO Y CONCLUSIONES

Se ha estudiado el peso del corazón en relación al peso del cuerpo en cobayos nativos y aclimatados a diferentes alturas con el objeto de averiguar si la anoxia crónica produce hipertrofia del miocardio. En los mismos animales se ha verificado el recuento de los capilares cardíacos por mm<sup>2</sup> y se ha medido el diámetro medio

y el área de las fibras musculares del corazón. Los resultados han sido comparados con idénticas determinaciones practicadas en animales de nivel del mar.

Del conjunto de estas observaciones se pueden deducir las siguientes conclusiones:

1. — La anoxia crónica produce cierto grado de hipertrofia cardíaca sobre los 3700 metros de altura. Por debajo de esta altura, el peso del corazón es el mismo que a nivel del mar. A los 4500 metros, el peso del corazón es 30% mayor que la cifra media obtenida en el llano, no observándose diferencias entre los animales nativos y los aclimatados.

2. — Aparentemente existe una relación estrecha entre la severidad de la anoxia y el grado de hipertrofia, puesto que animales de mayor altura mostraron mayor peso del corazón.

3. — El número de capilares cardíacos disminuye en la hipertrofia de la altitud a medida que aumenta el grosor de las fibras. Por lo tanto, este tipo de hipertrofia sigue las mismas normas que la que se encuentra en clínica, en el sentido de que no se acompaña de proliferación capilar. El diámetro medio y el área de las fibras aumentan junto con el peso del corazón.

El autor desea expresar su agradecimiento a los doctor J. T. Wearn y J. T. Roberts del Departamento de Medicina Experimental de Western Reserve University, por sus sugerencias para llevar a cabo el presente trabajo, así como por la enseñanza de los métodos empleados en el recuento de capilares cardíacos (1939).

#### BIBLIOGRAFIA

1. *Sthohl, J.* — "Zool. Jahrb.", 30, 1, 1910.
2. *Strohl, J.* — "Atti di Lab. Scient. A. Mosso.", 3, 218, 1912.
3. *Meyer, H. H.* — "J. de Med. de Bruxelles", 17, 409, 1912.
4. *Kaufmann, H. y Meyer, H. H.* — "Med. Klin.", 44, 45, 1917.
5. *Campbell, J. A.* — "Brit. J. Exp. Path.", 16, 39, 1935.
6. *Van Liere, E. J.* — "Am. Jour. of Physiol.", 116, 290, 1936.
7. *Rotta, A.* — "An. Facultad. Cien. Méd.", 21, 285, 1938.
8. *Roberts, J. T., Wearn, J. T. and Badl, J. J.* — "Proc. Soc. Exp. Biol. and Méd.", 38, 322, 1938.
9. *Shipley, R. A., Shipley, L. T. and Wearn, J. T.* — "Jour. Exp. Méd.", 65, 29, 1937.
10. *Roberts, J. T. and Wearn, J. T.* — "Am. Heart Jour.", 21, 617, 1941.
11. *Roberts, J. T.* — "Texas State Jour. of Med.", 38, 221, 1942.
12. *Wearn, J. T.* — "Bull. Johns Hopk. Hosp.", 68, 363, 1941.
13. *Sjostrand, T.* — "Skand. Arch. f. Physiol.", 68, 160, 1927.
14. *Petren, T. und Sylven, B.* — "Morphol. Jahrb.", 78, 643, 1936.

15. *Petren, T., Sjostrand, T. und Sylven, B.* — "Arbeits-Physiol.", 9, 376, 1936.
16. *Vanotti, A.* — "Ztschr. f. d. ges. Exp. Med.", 99, 158, 1936.
17. *Van Liere, E. J. and Sleeth, C. K.* — "Proc. Soc. Exp. Biol. and Med.", 34, 41, 1936.
18. *Vanotti, A.* — "Ztschr. f. d. ges. Exp. Med.", 99, 371, 1936.
19. *Wearn, J. T.* — Comunicación personal.
20. *Monge, C.* — "Anal. Fac. Cien. Méd.", 17, 1, 1935.
21. *Monge, C.* — "Anal. Fac. Cien. Méd.", 17, 29, 1935.
22. *Monge, C.* — "Science", 95, 79, 1942.
23. *Hill, A. V.* — "Proc. Roy. Soc. London", Series B, 104, 41, 1929.
24. *Krogh, A.* — "The Anatomy and Physiol. of Capillaries", New Haven, 1929, p. 274.
25. *Gross, H. and Spark, Ch.* — "Am. Heart Jour.", 14, 160, 1937.
26. *Sáenz, R.* — "Anal. Fac. Cien. Méd.", 22, 237, 1939.
27. *Capdehourat, E. L.* — "Estudios sobre la biología del hombre de la altitud", Buenos Aires, 1937, p. 197.
28. *Harrison, W. G.* — "Failure of the Circulation", Williams Wilkins Co., Baltimore, 1936, p. 97.
29. *Van Liere, E. J.* — "Anoxia. Its Effect on the Body", The University of Chicago Press, 1942, p. 87.
30. *Talbot, J. T. and Dill, B. D.* — "The Am. Jour. of Med. Sc.", 192, 626, 1936.
31. *Torres, H.* — "An. Fac. Cien. Méd.", 20, 349, 1937.

## RESUME

On étudia le poids du cœur en relation avec le celui du corps dans des cobayes natifs et acimatés à de différentes altitudes et aux effets de savoir si l'anoxie chronique produit l'hypertrophie du myocarde. Chez les mêmes animaux l'on fit un recompte des capillaires cardiaques par mm<sup>2</sup> et on mesura le diamètre moyen et l'are des fibres musculaires du cœur. Les résultats ont été comparés avec des pareilles déterminations pratiquées avec des animaux au niveau de la mer. De toutes ces observations on peut déduire les conclusions suivantes:

L'anoxie chronique produit un certain degré d'hypertrophie cardiaque à 3700 m. de hauteur. Au dessous de cette altitude le poids du cœur est le même qu'à niveau de la mer. A 4500 m. le poids du cœur est d'un 30% plus élevé que le chiffre obtenu dans la plaine; aucune observation ne fut faite entre les animaux natifs et les acimatés.

Il existe en apparence une relation étroite entre la sévrité de l'anoxie et le degré de l'hypertrophie, puisque les animaux d'altitude démontrèrent une augmentation du poids du cœur.

Le nombre de capillaires cardiaques diminue dans l'hypertrophie de l'altitude à mesure que la grosseur des fibres augmente. Donc, ce type d'hypertrophie suit les directives de celle que l'on trouve dans la clinique, dans le sens qu'elle ne s'accompagne pas de prolifération capillaire. Le diamètre moyen et l'are des fibres augmentent avec le poids du cœur.

SUMMARY

A study was made of the heart weight in relation to body weight in guinea pigs born or acclimatized at different altitudes in order to ascertain whether chronic anoxia produces myocardial hypertrophy. In the same animals the cardiac capillaries per mm<sup>2</sup> were counted and the average diameter and the area of myocardial fibers were measured. The results were compared with identical determinations made in animals living at sea levels.

Chronic anoxia produces some degree of cardiac hypertrophy at altitudes over 3,700 mts. Below this level the heart weight does not differ from that at sea level. At 4,500 the heart weight is 30 % greater than that at sea level, no difference being observed between native and acclimatized animals. There seems to be a close relationship between severity of anoxia and degree of hypertrophy.

In the cardiac hypertrophy of altitudes the number of cardiac capillaries diminishes as the thickness of the fibers increase, the same as in clinical hypertrophy. The average diameter and the area of myocardial fibers increase together with the increase in heart weight.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Gewicht und die Zahl der Kapilargefäße der Herzen von Meerschweinchen die in verschiedenen Höhen leben.

Man studierte das Gewicht des Herzens in Beziehung des Körpergewichts von Meerschweinchen, die in verschiedenen Höhen geboren oder aklimatisiert waren, um festzustellen, ob die chronische Anoxie eine Herzhypertrophie verursacht. Bei denselben Tieren wurden die Herzkapillare pro mm<sup>2</sup> gezählt und der Mitteldurchschnitt gemessen, sowie die Fläche der Muskelfasern. Die Ergebnisse wurden mit solchen verglichen, die man bei Tieren die auf der Höhe des Meeresspiegels lebten, feststellt.

Aus der Zusammenfassung dieser Beobachtungen kommt man zu folgenden Ergebnissen:

1. Die chronische Anoxie verursacht einen bestimmten Grad von Herzhypertrophie auf einer Höhe, die über 3,700 m. liegt. Unterhalb dieser genannten Höhe ist das Gewicht desselbe wie am Meeresspiegel. Auf einer Höhe von 4,500 m. ist das Herzkewicht um 30% schwerer, verglichen mit der Mittelzahl, die man auf der Ebene misst; einen Unterschied zwischen den eingeborenen und der aklimatisierten Tieren wurde nicht gefunden.

2. Anscheinend besteht eine enge Beziehung zwischen der Schwere der Anoxie und dem Grad der Hypertrophie, da man bei den Tieren die am höchsten lebten, das grösste Herzgewicht fand.

3. Die Zahl der Herzkapillare nimmt mit der Höhenhypertrophie ab, während gleichzeitig die Fasern dicker werden. Man stellt also hier dieselben Befunde der Klinik fest, wo man bei Hypertrophie auch keine Kapilarvermehrung antrifft. Der mittlere Durchschnitt sowie die Fläche der Fasern nehmen parallel zum Herzgewicht zu.