

TRABAJOS ORIGINALES

ELASTICIDAD ARTERIAL Y RESISTENCIA PERIFERICA EN NORMOTENSOS DE DIFERENTES EDADES *

por los doctores

B. GÜNTHER, M. GARCIA CAMPO y R. PALMA

Fué posible realizar un estudio "cuantitativo" de los diferentes factores que determinan la presión arterial (P. A.) cuando se adoptaron por la escuela de O. Frank criterios y métodos físico-matemáticos; estos trabajos fueron continuados más tarde por Wezler y Böger¹⁵ y por Bazett y colab.². Las dificultades técnicas inherentes a estos métodos de estudio impidieron su aplicación inmediata en la clínica. Afortunadamente Ralston y colab.¹¹ han podido simplificar las fórmulas de los autores antes mencionados, utilizando para ello los valores que el médico práctico determina habitualmente (presiones sistólica y diastólica; frecuencia de pulso).

El objeto del presente trabajo ha sido estudiar estadísticamente la presión arterial en un grupo numeroso de personas normotensas de diferentes edades, analizar los resultados obtenidos, y determinar las variaciones que experimenta la relación entre la elasticidad arterial (E') y la resistencia periférica (W), calculada según esta nueva fórmula simplificada.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se determina la P. A. en 410 hombres y 420 mujeres, internados en el Hospital Clínico Regional de Concepción por afecciones no pertenecientes al aparato cardiovascular. Las mediciones de la P. A. se hicieron después de algunos días de hospitalización, en pacientes habituados a este método de medida, con el objeto de obtener valores muy cercanos a la presión "basal" (Wiggers¹⁶): se excluyeron todos aquellos individuos en los cuales se encontró una "hipertensión transitoria" (según Levy y colab.⁸). El procedimiento de medición (método auscultatorio; manómetro de Hg) se ajustó a las normas aconsejadas por el "Comitée for the Standardization of Blood Pressure Reading" de la American Heart Association y de la Cardiac Society of Great Britain and Ireland¹.

Practicado el estudio estadístico de los resultados se calculó el cociente E'/W de acuerdo con la fórmula de Ralston y colab.¹¹. En esta fórmula E' representa la distensibilidad del reservorio arterial ("Windkessel" de los autores

* Departamento de Fisiopatología, Escuela de Medicina, Universidad de Concepción, Chile.

alemanes) y W la resistencia periférica. Los factores que intervienen en dicha fórmula (frecuencia cardíaca, presión diferencial y presión arterial media) se relacionan de la manera siguiente:

$$\frac{E'}{W} = \frac{\text{Frecuencia cardíaca} \times \text{Presión diferencial}}{30 \times \text{Presión arterial media}}$$

El numerador E' aisladamente representa la rigidez del "reservorio elástico", representado por la aorta, los grandes vasos y las arteriolas; se obtiene dividiendo el incremento de presión (presión diferencial) por el incremento correspondiente del volumen de dicho reservorio. Este último es según Wezler y Böger¹⁵ igual a la mitad del volumen sistólico en condiciones normales de circulación*. El denominador corresponde a la resistencia periférica total (W) y que se obtiene dividiendo la presión arterial media por el volumen-segundo. La fórmula final mencionada más arriba resulta de la división de ambos cuocientes. La dimensión física de dicha fórmula es para E' igual a [dinas/cm⁵] y para W igual a dinas × seg.

; el cuociente E'/W tiene entonces la dimensión [1/seg.]. Estas unidades absolutas (U. A.) pueden reducirse totalmente al sistema c.g.s. como lo han propuesto Günther⁵.

La presión arterial media se calculó simplemente sumando a la presión diastólica el 50 % de la presión diferencial. Wezler y Böger¹⁵ integraron la curva de pulso y obtuvieron un coeficiente de 0.43 en vez de 0.50; esta diferencia de sólo 7 % no modifica fundamentalmente los resultados.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los resultados de las mediciones practicadas en 410 hombres normales se encuentran reunidos en la Tabla N° 1. Además de los términos medios aritméticos (TM) de cada grupo se especifican las respectivas desviaciones standard (σ_M) de dichos términos medios, que se calcularon según la fórmula clásica:

$$\sigma_M = \frac{\sum d^2}{n(n-1)}$$

en que Σ indica la suma, d la diferencia de cada valor individual con el T. M y n el número de casos observados. A partir de estos T. M. se ha calculado para cada década el valor de E'/W , según la fórmula antes mencionada.

En la Tabla N° 1 se puede apreciar el aumento progresivo de todos los valores de la presión arterial (sistólica, diastólica, media)

* Si el incremento efectivo de volumen del reservorio elástico no fuese la mitad del volumen sistólico sólo se modificaría la constante "30", con lo que cambiaría el valor absoluto de E'/W sin que se alterase el sentido de su variación.

con la edad. Hace excepción la presión diferencial, cuya constancia sorprendente tiene —como veremos más adelante —un significado especial. La frecuencia del pulso sigue un curso descendente; lo mismo sucede con el cuociente E'/W . La representación gráfica (fig. 1)

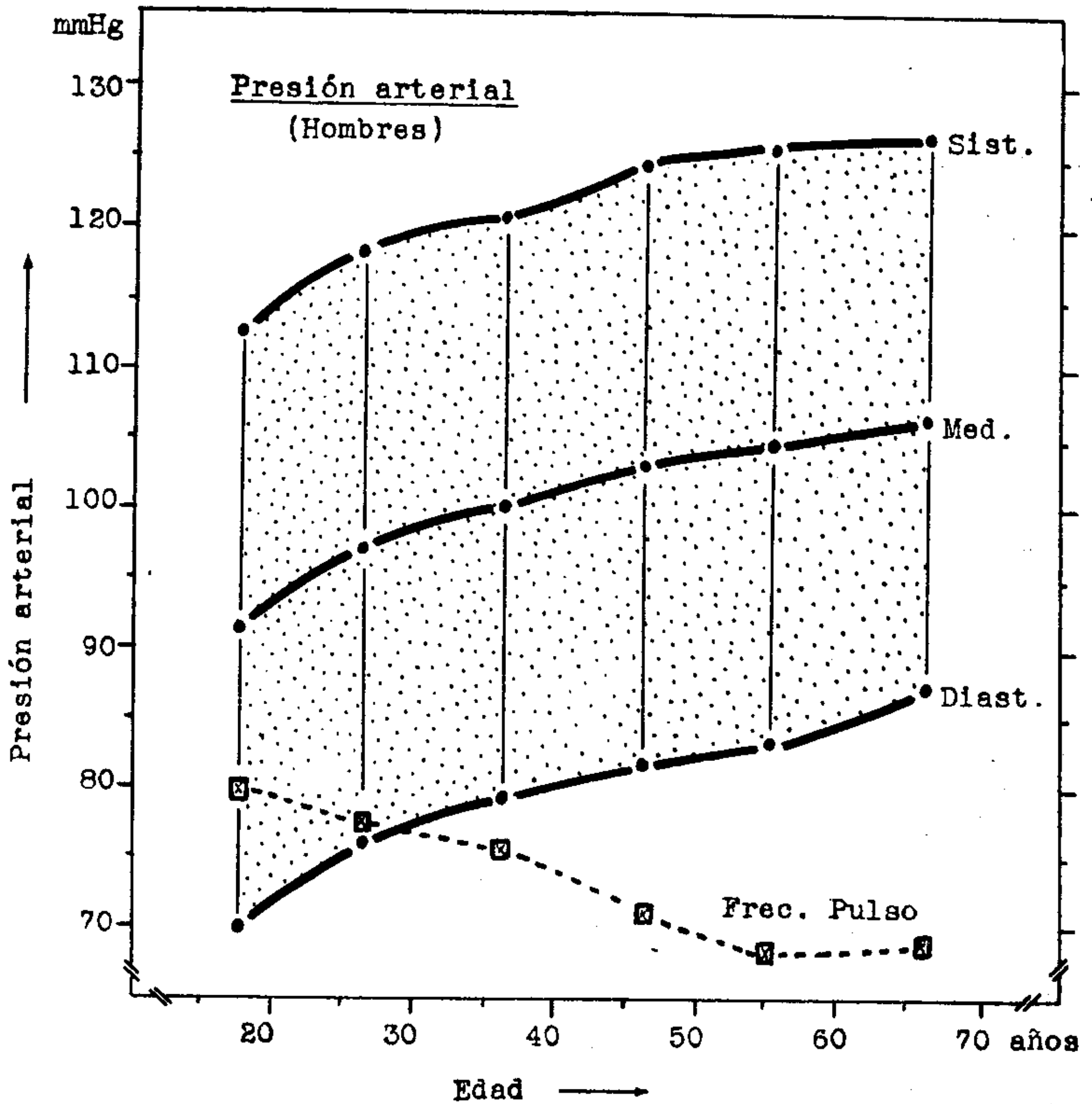


FIG. 1.

permite observar el ascenso exponencial de la presión sistólica, diastólica y media. El descenso de la frecuencia del pulso es lineal hasta los 50 años; después se estabilizan los valores. En la Tabla N° 2 y en la figura 2 se encuentran los resultados de 420 mujeres normales, que en líneas generales son semejantes a los del sexo masculino. En ambas estadísticas se observa que el ascenso de la sistólica es más acentuado (24-25 mm Hg) que de la diastólica (18-19 mm Hg), y que de la presión media (15-16 mm Hg).

TABLA Nº 1. — PRESION ARTERIAL Y PULSO EN 410 HOMBRES NORMALES

T.M. = término medio aritmético.
 σ_M = desviación standard del término medio.
 U.A. = unidades absolutas.

EDAD (años)		Nº OBS.	PRESION ARTERIAL (mm Hg)									FRECUENCIA DEL PULSO (min.)		E'/W U.A.
Período	T.M.		Sistólica		Diastólica		Diferencial		Media		T.M.	σ_M		
			T.M.	σ_M	T.M.	σ_M	T.M.	σ_M	T.M.	σ_M				
11-20	17.3	80	112.8	0.9	70.0	0.8	42.8	0.6	91.4	0.8	79.8	0.7	1.25	
21-30	26.1	80	118.5	1.1	76.2	0.9	42.0	0.6	97.3	1.0	76.8	0.8	1.10	
31-40	36.0	80	120.8	1.1	79.6	1.0	41.2	0.6	100.2	1.0	75.3	0.6	1.03	
41-50	46.0	80	124.6	1.0	82.0	1.1	42.6	1.1	103.5	1.0	71.1	0.85	0.98	
51-60	55.3	60	125.7	1.5	83.5	1.4	42.4	0.8	104.6	1.4	68.0	0.9	0.92	
Más de 61	66.0	30	126.5	2.3	87.6	2.3	39.5	0.7	106.7	2.3	69.3	1.2	0.86	

TABLA Nº 2. — PRESION ARTERIAL Y PULSO EN 420 MUJERES NORMALES

EDAD (años)	Nº OBS.	PRESION ARTERIAL (mm Hg)												FRECUCENCIA DEL PULSO (min.)		E'/W U.A.
		Sistólica		Diastólica		Diferencial		Media		T.M.	σ_M	T.M.	σ_M			
		T.M.	σ_M	T.M.	σ_M	T.M.	σ_M	T.M.	σ_M							
11-20	80	112.6	0.9	68.8	0.7	43.8	0.7	90.7	0.7	81.4	0.6	1.31				
21-30	80	116.6	1.2	75.1	1.1	42.6	0.8	95.8	1.0	77.6	0.5	1.15				
31-40	80	123.8	1.0	79.5	0.9	44.3	0.6	101.6	0.9	76.2	0.6	1.11				
41-50	80	126.5	1.2	81.9	0.8	44.6	0.8	104.3	0.9	72.2	0.9	1.03				
51-60	70	126.9	1.4	84.0	1.3	43.0	0.8	105.5	1.26	71.2	0.9	0.97				
Más de 61	30	127.6	2.50	87.8	2.5	39.8	0.8	106.7	2.5	69.3	1.2	0.86				

Las variaciones del cociente E'/W en función de la edad se observan en la figura 3. Tanto en los hombres como en las mujeres se aprecia un descenso progresivo (exponencial) de este cociente a medida que aumenta la edad. Todos los valores del sexo femenino son ligeramente mayores que los del masculino.

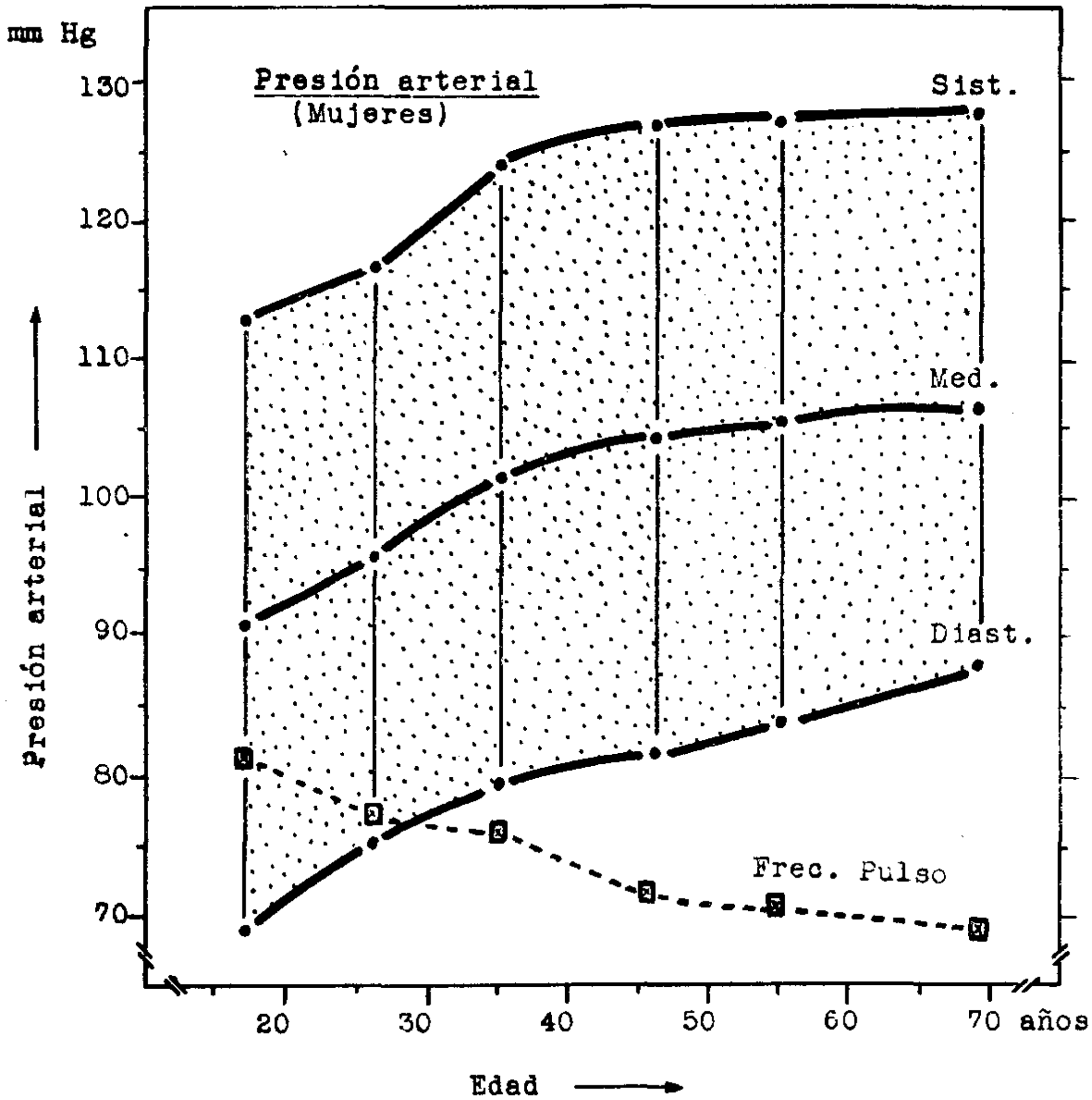


FIG. 2.

DISCUSIÓN

En los individuos normotensos encontramos con el aumento de la edad un ascenso progresivo de la presión arterial (sistólica, diastólica y media). Este hecho ya había sido descrito por numerosos autores como se desprende de las estadísticas analizadas por Wezler y Böger¹⁵. Sin embargo es necesario recalcar que el material utilizado en estas estadísticas comprende tanto a los individuos normales como a los hipertensos; lo mismo sucede con el estudio practicado por

Wetherby¹⁴, que solamente excluyó a los individuos con glomerulonefritis e insuficiencia aórtica; hizo las determinaciones de la presión arterial en pacientes de policlínico. En las estadísticas citadas por Fishberg⁴ trátase también de material de consultorio externo, en el cual existen grandes variaciones espontáneas de la P. A., en un mismo individuo y en mediciones sucesivas (Taquini y García Campo¹³).

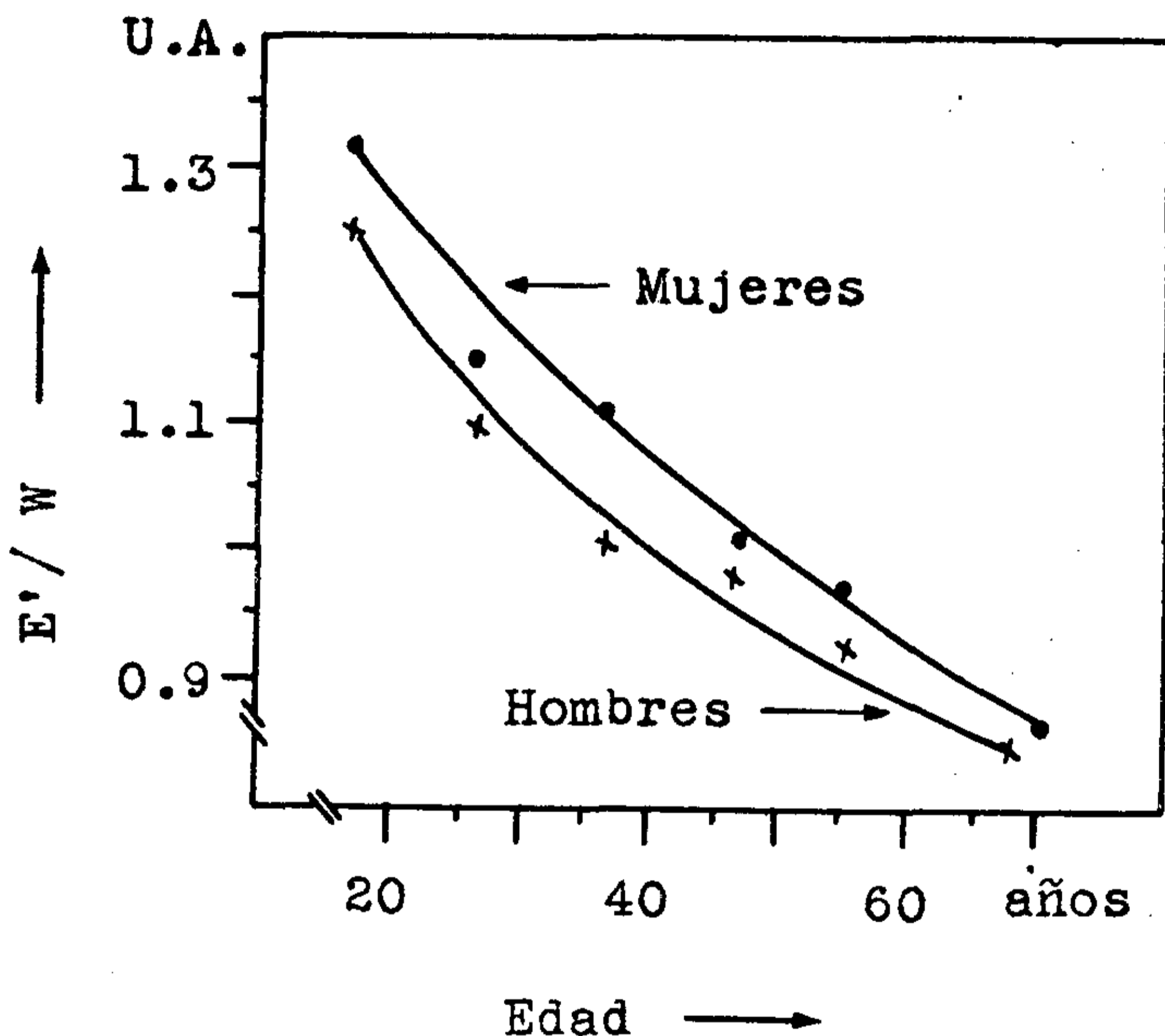


FIG. 3.

Para la exclusión de los hipertensos aplicaron Robinson y Brucner¹² un criterio semejante al adoptado por nosotros, eliminando de su estadística a todos los individuos con presiones superiores a 140 mm Hg para la sistólica ó 90 mm Hg para la diastólica; sin embargo hicieron sus determinaciones en condiciones no cercanas a la basal (material de policlínico). Si bien es cierto que Lewis jr.¹⁹ cumplió en sus mediciones las condiciones estrictamente basales, sin embargo no excluyó de su material a los hipertensos.

En nuestra estadística se eliminaron deliberadamente a los hipertensos y las mediciones de la P. A. se hicieron en condiciones muy cercanas a la basal, pudiéndose comprobar que existe un escaso

aumento de la P. A. con la edad y que a pesar de esto es significativo dicho aumento*.

Llama la atención que al aumento de la P. A. media es muy poco acentuado —a los 20 años de edad dicha presión es de 91 mm Hg y a los 60 años sólo es de 107 mm Hg—y aun más, la presión diferencial se mantiene constante (alrededor de 42 mm Hg) durante toda la vida.

La consecuencia del envejecimiento del sistema circulatorio debería conducir: a) por el aumento de la resistencia periférica (esclerosis arteriolar) a un aumento de la presión arterial media, y b) por la mayor rigidez arterial a un aumento progresivo de la presión sistólica, a un descenso de la diastólica y a un aumento de la diferencia. Sólo la intervención de ciertos mecanismos de compensación podrían explicar la ausencia de dichos cambios de la P. A.

Si se calcula el valor de E'/W , con los valores promedios reunidos en las Tablas Nos. 1 y 2 resulta, que este cociente desciende progresivamente con la edad en ambos sexos. Este descenso podría explicarse como debido a una disminución del numerador (E') o a un aumento del denominador (W). En los cálculos parciales previos se confirman estas modificaciones de E' y W . El aumento de W con la edad debe atribuirse a un incremento progresivo de la resistencia periférica (estrechamiento del lumen arteriolar). Es inexplicable que E' disminuya con la edad por cuanto la rigidez aórtica aumenta a medida que envejece el sistema arterial. Si se compara —tal como lo han hecho Hallock y Benson⁶— el comportamiento de la presión intravascular de la aorta torácica juvenil (20 a 24 años) y de la aorta senil (71 a 78 años) frente a un incremento determinado de volumen se observa (fig. 4) que la curva de presión-volumen adquiere en las aortas jóvenes la forma de una S itálica, mientras que la aorta senil presenta un aumento exponencial de dicha curva. De los valores obtenidos por Hallock y Menon⁶ uno de nosotros (B. G.) calculó E' , dividiendo el incremento de presión por el incremento correspondiente de volumen y resultaron las curvas representadas en

* Una diferencia es significativa cuando la fórmula:

$$D = \frac{TM_1 - TM_2}{\sqrt{(\sigma_{M1})^2 + (\sigma_{M2})^2}}$$

da un resultado superior a 3.

TM_1 y TM_2 son los términos medios aritméticos.

σ_{M1} y σ_{M2} son las respectivas desviaciones standard.

la figura 5. Para las aortas jóvenes existe un mínimo de rigidez en las zonas de las presiones fisiológicas (80 y 130 mm Hg); en cambio, en las aortas seniles se observa un ascenso progresivo y muy acentuado de la rigidez aórtica a medida que aumenta la presión arterial. Bazett³ obtuvo curvas similares al calcular la probable presión de pulso de las aortas torácicas provenientes de individuos jóve-

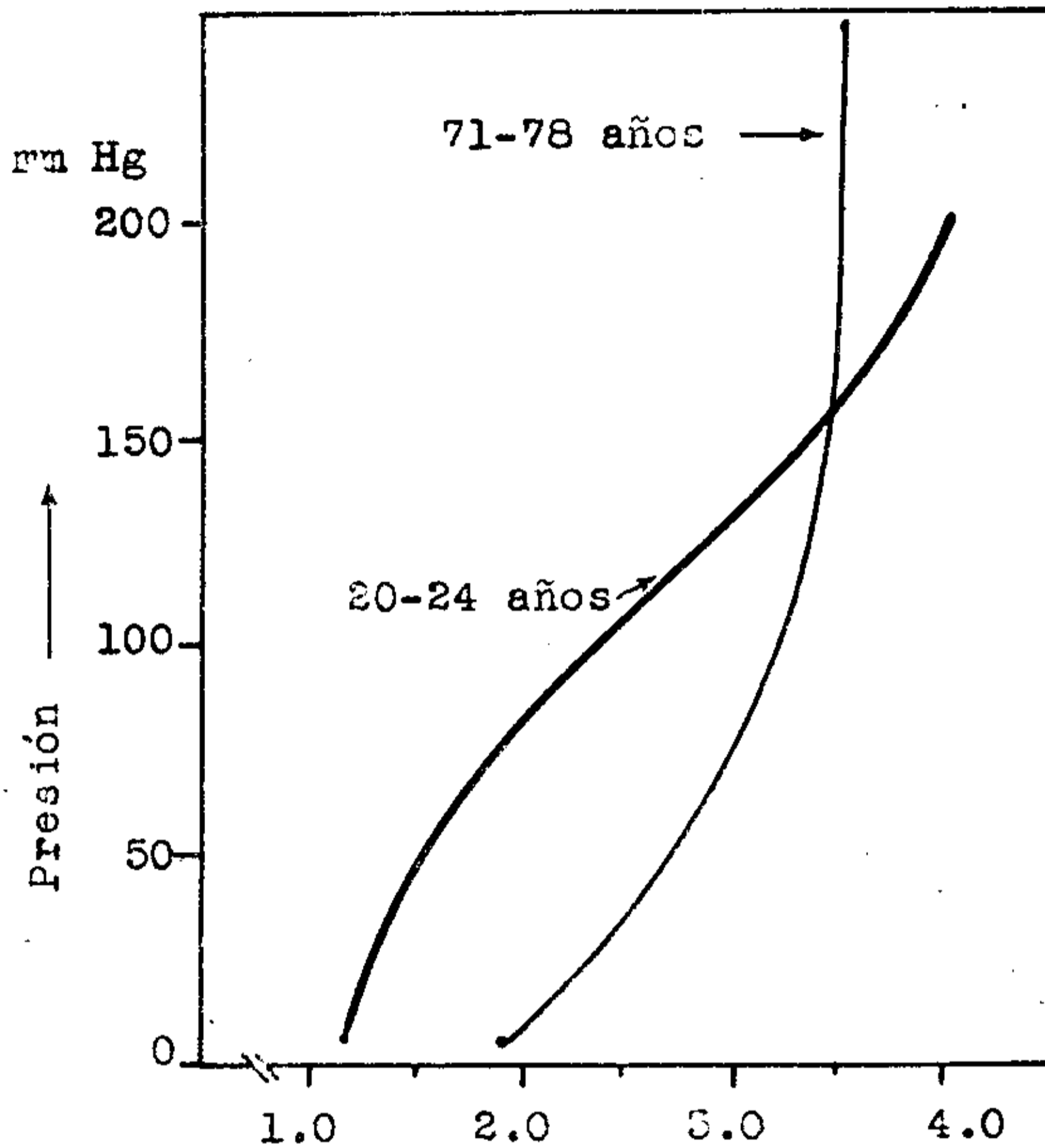


FIG. 4. — Volumen en cm.^3 por cm. de largo de aortas humanas en función de la edad.

nes y viejos; utilizó también los datos de Hallock y Benson⁶ y expresó la presión del pulso en función de la presión diastólica. Este autor consideró como constante al incremento de volumen (30 c.c.); nosotros en cambio calculamos los diferentes valores de E' directamente de las curvas de presión-volumen.

De lo anteriormente expuesto se deduce, que con el envejecimiento aumenta la rigidez aórtica (E'). Como en nuestros resultados aparece lo contrario, es decir una reducción de E' con la edad, es indudable que deben intervenir otros factores que modifiquen las propiedades del reservorio elástico. Estos podrían ser la variación del volumen sistólico o el aumento de la capacidad de dicho reservorio.

En cuanto al primer factor se ha demostrado por Lewis jr.⁹, que el índice cardíaco disminuye ligeramente con la edad (1,5 % por década); nosotros encontramos una reducción de la frecuencia cardíaca. Por estas razones debe mantenerse más o menos constante el volumen sistólico y podría excluirse como causa de la disminución de E' .

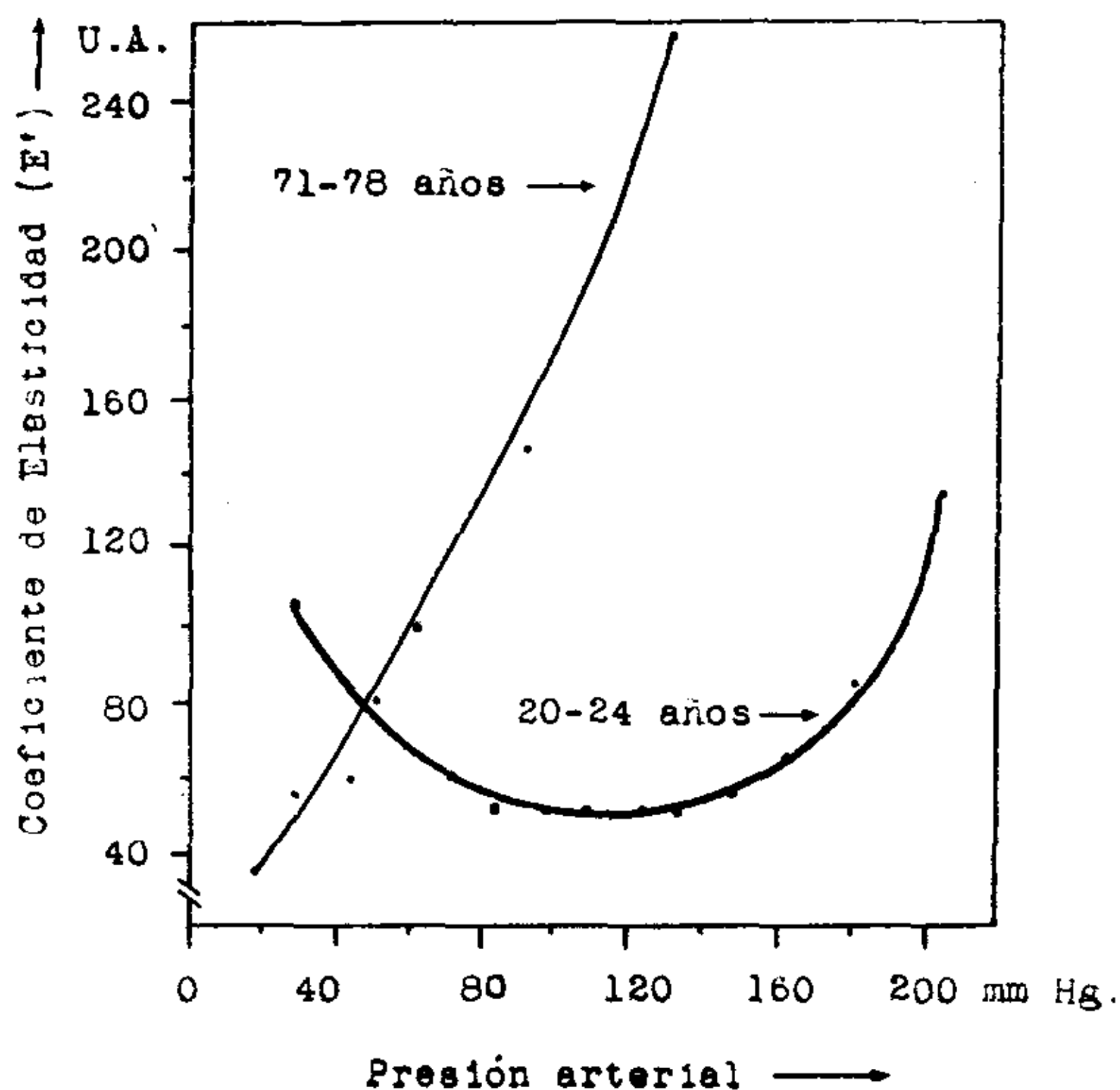


FIG. 5.

En lo referente al agrandamiento del reservorio elástico con la edad hay numerosos trabajos al respecto; entre ellos el de Thoma, citado por Hess⁷ y que se refiere al aumento progresivo de la superficie de sección de la aorta humana con la edad. La mayor capacidad del reservorio elástico podría explicar la disminución de E' —a pesar del aumento de la rigidez de las paredes aórticas— por cuanto el mismo volumen sistólico (denominador de E') se vierte en un reservorio elástico mayor (incremento de volumen proporcionalmente menor); y que por consiguiente la presión diferencial (numerador de E') será menor que en una aorta no dilatada.

La constancia de la presión diferencial en las diferentes edades se podría atribuir a la constancia del volumen sistólico y al aumento de la capacidad del reservorio elástico. Ambos factores son capaces de compensar los efectos de la acentuación de la rigidez aórtica con la edad; evitan así el incremento progresivo de la presión diferencial.

El escaso aumento de la presión media (15 mm Hg) se debería también a dos factores: al aumento de la resistencia periférica total (W) y a la reducción del índice cardíaco con la edad.

CONCLUSIONES

Se determinó la presión arterial en 410 hombres y 420 mujeres, normotensos, de diferentes edades —10 a 70 años— en condiciones cercanas a las basales.

El estudio estadístico de este material reveló:

- a) el ascenso exponencial poco acentuado de las presiones sistólica, diastólica y media;
- b) la constancia de la presión diferencial;
- c) el descenso de la frecuencia cardíaca, y
- d) la disminución regular del cociente E'/W .

Se discute el significado del escaso aumento de la presión arterial con la edad; se atribuye al aumento de la resistencia periférica total (W) y a la disminución del índice cardíaco.

La constancia de la presión diferencial se explica como la consecuencia circulatoria del aumento de la rigidez aórtica con la edad, que se compensa por la mayor capacidad del reservorio elástico.

BIBLIOGRAFIA

1. Baker M. H. y colab. — "J. A. M. A.", 1939, 113, 294.
2. Bazett H. C. y colab. — "Amer. J. Physiol.", 1935, 113, 312.
3. Bazett H. C. — *The Peripheral circulation*. "Ann. Rev. Physiol.", 1939, 1, 163.
4. Fishberg A. M. — *Hypertension and nephritis*. Lea & Febiger, Philadelphia, 1944, p. 212.
5. Günther B. — "Bol. Soc. Biol., Concepción.", 1944, 19, 87.
6. Hallock R., Benson I. C. — "J. Clin. Invest.", 1937, 16, 595.
7. Hess W. R. — *Bethe Handb. norm. path. Physiol.* Springer, Berlín, 1927, 7/2, 919.
8. Levy L. R. y colab. — "J. A. M. A.", 1944, 126, 829.
9. Lewis W. H. jr. — "Amer. J. Physiol.", 1938, 121, 517.
10. Lewis W. H. jr. — "Amer. J. Physiol.", 1938, 122, 491.
11. Ralston H. J. y colab. — "Proc. Soc. Exp. Biol. Med.", 1943, 53, 154.
12. Robinson S. C., Brucer M. — "Arch. Int. Med.", 1939, 64, 409.
13. Taquini A. C., García Campo M. E. — "Rev. Argent. Cardiol.", 1945, 12, 273.
14. Wetherby M. — En Berglund, H., Medes, G., *The Kidney in Health and Disease*. Lea & Febiger, Philadelphia, 1935, p. 370.

15. Wezler K., Böger A. — "Ergebn. Physiol.", 1939, 41, 292.
16. Wiggers C. J. — *Physiology in Health and Disease*. Lea & Febiger, Philadelphia, 1939, p. 657.

RESUMÉE

On détermina la tension artérielle de 410 hommes et 420 femmes, normotendus, et d'âges différents —10 a 70 ans— étant tous dans des conditions presque basales.

L'étude statistique de ce matériel révéla:

a) l'élévation exponentielle peu accentuée des tensions systoliques, diastoliques et moyennes, b) le maintien de la tension différentielle, c) la descente de la fréquence cardiaque et, d) la diminution régulière du quotient E'/W .

On discute la signification de la légère élévation de la tension artérielle avec l'âge; on l'attribue à l'augmentation de la résistance périphérique totale (W) et la diminution de l'index cardiaque.

La constance de la tension différentielle s'explique comme la conséquence circulatoire de l'augmentation de la rigidité aortique avec l'âge, qui se compense avec la plus grande capacité du réservoir élastique.

SUMMARY

Blood pressure was determined in 410 men and 420 women, normotensive, of different ages (10 to 70 years) and in nearly basic conditions.

The statistical study of this material showed:— a) a not very pronounced exponential increase of systolic, diastolic and means blood pressure with age; b) a constancy of the values of pulse pressure; c) a decrease of heart rate; d) a regular decrease of the E'/W quotient.

The meaning of the slight increase of blood pressure with age is attributed to an increase in the total peripheral resistance (W) and a decrease of the cardiac index.

The constancy of the values of pulse pressure is explained as the circulatory consequence of an increase of the aortic rigidity with age, which is compensated by the greater capacity of the elastic reservoir.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Blutdruck wurde bei 410 Männern und 420 Frauen mit normalem Druck, deren Alter zwischen 10 und 70 Jahren schwankte, bei fast basalen Bedingungen, bestimmt.

Die statistische Ueberprüfung ergab:

a) die unbedeutende Steigerung des systolischen, diastolischen und Mitteldrucks; b) die Beständigkeit des Differentialdrucks; c) die Verminderung der Herzfrequenz, und d) die regelmässige Verminderung des E'/W Quotienten.

Die mässige Zunahme des Drucks in Verhältnis zum Alter, wird zur Diskussion gestellt; diese Zunahme wird der totalen peripherischen Resistenz (W) und der Verminderung des Herzindex zugeschrieben.

Die Beständigkeit des differentialen Drucks, erklärt sich durch die gesteigerte Aortenstarre bei zunehmendem Alter, die durch die grössere Kapazität des elastischen Gefässystems ausgeglichen wird.