Aus der Inneren Abteilung des Stadtkrankenhauses Waren-Müritz
(Leitender Arzt: Prof. Dr. G. SCHLOMKA).

Zur Methodik einer mikrometrischen Analyse der Herzhypertrophie.

Von

G. SCHLOMKA.

Mit 5 Textabbildungen.

(Eingegangen am 26. April 1948.)

I.

In bezug auf die Hypertrophie des Herzens ist eine nicht nur morphologisch wichtige, sondern in der letzten Zeit gerade auch im Hinblick auf die funktionelle Pathologie mehrfach erörterte Frage die, ob die Massenzunahme des Herzmuskels durch eine Hypertrophie der einzelnen Muskelfasern (bezüglich Länge und Dicke) oder durch eine Zunahme der Anzahl der Muskelfasern (was vielfach als Hyperplasie bezeichnet wird) oder durch beide Vorgänge zugleich erfolgt. Die Entwicklung dieses Problems und die bei seiner Bearbeitung sich ergebenden methodischen Schwierigkeiten sind von LINZBACH[1] eingehend dargestellt: Da eine direkte Bestimmung der Zahl der Muskelfasern des Herzens nicht möglich ist, bleiben nur *mittelbare* Verfahren übrig. Sofern nun solche mehr als bloße Schätzungen liefern sollen, laufen dieselben im wesentlichen darauf hinaus, an Hand der mikrometrischen Analyse von Herzmuskelschnitten zu „errechnen, ob die (jeweils) gemessene Verdickung der Herzmuskelfasern ausreichend ist, um das (zugehörige) erhöhte Herzgewicht zu erklären" (LINZBACH[1]). Denn „bleibt bei Voraussetzung einer Konstanz der Faserzahl die Volumzunahme der Fasern bei Herzen hohen Gewichtes unter dem theoretisch zu erwartenden Wert, und fehlen anderweitige Gründe für eine Gewichtszunahme wie Bindegewebsvermehrung oder ausgedehnte entzündliche Prozesse, so muß die Voraussetzung falsch sein und eine Faservermehrung stattgefunden haben" (LINZBACH[1]).

Von dieser Überlegung ausgehend hat dann LINZBACH[1] folgende Methode der mathematischen Analyse angegeben, welche eine Entscheidung der Frage nach der Hypertrophie- oder Hyperplasienatur der Massenzunahme des Herzens sowohl im Einzelfall wie generell quantitativ ermöglichen soll: Aus der einzelnen Herzmuskelfaser wird eine Scheibe ausgeschnitten gedacht. Für diese wird das Verhältnis von Länge zu Breite als *konstant* vorausgesetzt, und zwar derart, daß die Beziehungen zwischen dem Radius (r) der kreisförmig gedachten Muskelfaserscheibe und deren Höhe (h) gegeben sind durch

$$h = \frac{r}{\pi}. \tag{a}$$

Das durch $\pi . h . r^2$ bestimmte Volumen (v) einer solchen zylindrischen Muskelfaserscheibe ist dann

$$v = r^3. \tag{b}$$

Daraus folgt der Radius zu

$$r = \sqrt[3]{v}$$

und der Querschnitt

$$q = r^2 \cdot \pi = \pi \cdot v^{2/3}.$$

Die Anzahl (n) der Muskelfaserquerschnitte je Flächeneinheit ist dann gegeben als Funktion einer von der Größe der gewählten Meßfläche abhängigen Konstanten (z) zu

$$n = \frac{z}{\pi \cdot v^{2/3}}. \tag{c}$$

In diese Gleichung (c) werden dann von Linzbach (nach Ableitung der Größe z aus einem (!) Normalfall) die verschiedenen *Herz*gewichte (V) eingesetzt: Der Vergleich der auf diese Weise sich rechnerisch ergebenden Werte für (n) mit den tatsächlich bei den betreffenden Herzen gefundenen soll dann ein Urteil gestatten darüber, ob bzw. inwieweit im Einzelfall eine Herzhypertrophie oder Herzhyperplasie oder beides nebeneinander vorliegt.

II.

Dies Vorgehen enthält indessen einige Voraussetzungen, die nicht nur von Linzbach nicht näher begründet werden, sondern auch sonst für die Frage nach der Möglichkeit einer rein mikrometrisch-histologischen Bearbeitung der Frage der Herzhypertrophie in dem hier gemeinten Sinn von Bedeutung erscheinen:

So bedarf zunächst die von Linzbach seiner Methode zugrunde gelegte Voraussetzung einer näheren Überprüfung, daß nämlich Länge und Breite für die aus den einzelnen Herzmuskelfasern herausgeschnitten gedachten Scheiben und damit natürlich auch für die Gesamtheit der Herzmuskelfasern selbst in einem *gleichbleibenden* Verhältnis stehen sollen: Aus der Beziehung

$$h = \frac{r}{\pi} \text{ bzw. allgemeiner } h = \frac{c \cdot r}{\pi} \tag{1}$$

folgt die *Anzahl* (N) der Scheiben mit der Höhe (h), die die einzelne Herzmuskelfaser mit der Länge (l) bilden, als

$$N = \frac{l}{h} = \frac{c \cdot \pi \cdot l}{r}. \tag{2}$$

Da nun aber l seinerseits unter der Annahme einer Viertelkugelform des einzelnen Ventrikels gegeben ist als Funktion des Kammerradius (R) durch die Beziehung

$$l = \frac{\pi \cdot R}{2}, \tag{3}$$

folgt allgemein

$$N = \frac{\pi^2 \cdot c \cdot R}{2\,r}. \tag{4}$$

Für den speziellen Fall der innersten (unter dem Endokard liegenden) Muskelfasern ergibt sich demnach die Zahl der sie bildenden Scheiben von der Höhe (h) als Funktion des zugehörigen Innendurchmessers (R_i) zu

$$N_i = \frac{\pi^2 \cdot c \cdot R_i}{2\,r}.$$

Entsprechend beträgt die Zahl der den äußersten (unmittelbar unter dem Epikard liegenden) Herzmuskelfasern zukommenden Scheiben mit der Höhe (h) als Funktion des äußeren Kammerdurchmessers (R_e)

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot c \cdot R_e}{2\,r}.$$

Damit folgt

$$\frac{N_e}{N_i} = \frac{R_e}{R_i}. \tag{5}$$

Da nun R_e als Funktion des Innendurchmessers (R_i) und der Kammerwanddicke (d) gegeben ist durch die Beziehung

$$R_e = R_i + d,$$

folgt

$$\frac{N_e}{N_i} = \frac{R_i + d}{R_i} = 1 + \frac{d}{R_i}. \tag{6}$$

Dieser Ausdruck N_e/N_i sollte aber nach der von LINZBACH gemachten Voraussetzung *konstant* bleiben, denn das ganze Verfahren geht von der Annahme aus, daß die Länge (l) der einzelnen Muskelfasern lediglich durch die Änderungen der durch Gleichung (1) bestimmten Scheibenhöhe (h) bedingt wird, dagegen die Anzahl (N) der sie bildenden Scheiben konstant bleibt. Infolgedessen besagt die von LINZBACH zugrunde gelegte Voraussetzung zugleich, daß auch das Verhältnis von N für die verschiedenen Myokardschichten, d. h. also auch der Quotient N_e/N_i nicht verändert wird. Nach Gleichung (6) ist dies aber nur dann möglich, wenn auf der rechten Seite der Ausdruck d/R_i sich nicht verschiebt, d. h. wenn das Verhältnis von Ventrikelwand*dicke* zur *Binnenweite* der Kammern *gleich* (dem normalen) bleibt: Eine solche Form der Herzhypertrophie ist nun zwar bisher nicht als eine besondere beachtet worden; zweifellos entspricht sie indessen nicht nur am besten dem bislang eigentlich nie wirklich eindeutig umschriebenen Begriff der „*konzentrischen*" Hypertrophie und stellt damit in der Tat schon rein morphologisch eine Sonderart der Herzhypertrophie dar; vielmehr kommt derselben auch funktionell eine speziellere Bedeutung zu, und zwar im Hinblick auf die gerade für die Hypertrophie so wichtigen Beziehungen zwischen dem von der Kammerwand erzeugten (systolischen) *Druck* (p) und der dazu erforderlichen *Spannung* (t): Die letztere ist nämlich (in Anlehnung an BOHNENKAMP[2]) gegeben durch den Quotienten aus Kraft (K) durch den aktiven Muskelquerschnitt (F), also als

$$t = \frac{c \cdot K}{F}. \tag{7}$$

K seinerseits wird unter der Annahme einer Viertelkugelgestalt der Kammerhöhle durch den Druck (p) auf seine Wirkfläche in Abhängigkeit vom (Binnen-) Radius R_i der Kammer zu

$$K = \pi \cdot R_i^2 \cdot p; \tag{8}$$

F wiederum ist für den einzelnen Muskelring — unter der vereinfachenden Gleichsetzung des gesamten Myokardquerschnittes mit dem aktiven Muskelquerschnitt — gegeben als der Flächeninhalt des Halbkreisringes mit dem Innendurchmesser R_i und der Wanddicke d zu

$$F = \frac{\pi\,[(R_i + d)^2 - R_i^2]}{2} = \frac{\pi\,(2\,R_i + d) \cdot d}{2}. \tag{9}$$

Damit folgt

$$t = \frac{2\,c \cdot \pi\,R_i^2 \cdot p}{\pi \cdot (2\,R_i + d) \cdot d} = \frac{C \cdot R_i^2 \cdot p}{(2\,R_i + d)\,d}. \tag{10}$$

Für den Fall, daß d/R_i konstant gleich k ist, folgt dann

$$t = \frac{C \cdot R_i^2 \cdot p}{(2\,R_i + k \cdot R_i)\,k \cdot R_i} = \frac{C \cdot R_i^2 \cdot p}{R_i^2 \cdot (2 + k)\,k} \tag{11}$$

und damit

$$t = \frac{C \cdot p}{(2 + k)\,k} = K \cdot p\,. \tag{12}$$

Es bleibt also bei dieser besonderen Form der Herzhypertrophie mit konstantem (d. h. normalem) Verhältnis von Wanddicke zu Binnenweite der Kammer auch das Verhältnis zwischen dem (systolisch) erzeugten Druck und der dazu erforderlichen Wandspannung *normal*.

So sehr damit gerade eine solche Art der Herzhypertrophie funktionell als mindestens relativ optimal erscheint, so sehr lehrt aber die Erfahrung, daß mit zunehmender Hypertrophie eine *dilative* Komponente hinzutritt und sich das Verhältnis von Wanddicke zu Binnenweite der Kammern zu ungunsten der ersteren, also in der Richtung einer *Verkleinerung* des Quotienten d/R_i verschiebt: Für die Mehrzahl jedenfalls der stärkeren Grade von Massenzunahme des Herzens trifft damit aber die eine der Grundvoraussetzungen des Vorgehens von LINZBACH *nicht* zu.

Dies gilt auch dann, wenn man in bezug auf die obige Gleichung (3) — abweichend von LINZBACH — die Annahme macht, daß die Zahl (N) der die einzelnen Muskelfaser bildenden Scheiben in allen Myokardschichten *gleich*, dagegen das Verhältnis von Länge zu Breite unterschiedlich ist. Denn dann ergibt sich z. B. für den Vergleich der innersten und der äußersten Wandschichten einmal

$$N = \frac{R_i \cdot \pi^2 \cdot c_i}{2\,r} \tag{13}$$

und zum anderen

$$N = \frac{R_e \cdot \pi^2 \cdot c_e}{2\,r} \tag{13a}$$

und damit

$$\frac{c_i}{c_e} = \frac{R_e}{R_i} = 1 + \frac{d}{R_i}: \tag{14}$$

Da aber das Vorgehen von LINZBACH unter der in Gleichung (13 und 13a) gemachten Annahme eine *Konstanz* solcher den einzelnen Wandschichten zukommenden c-Werte und damit auch des Verhältnisses c_i/c_e vorausgesetzt, wird es durch Gleichung (14) ebenfalls auf die Fälle einer konzentrischen Hypertrophie (in dem oben definierten Sinn) beschränkt.

Dieser Folgerung drängt sich indessen noch aus ganz anderen Überlegungen auf: Je mehr bei einer Herzvergrößerung die dilative Komponente (in der Richtung einer „exzentrischen" Hypertrophie) hinzubzw. hervortritt, um so mehr muß sich *rein passiv* der Einfluß der *Dehnung* der Herzmuskelfasern auf ihren Querschnitt geltend machen: Infolgedessen gilt dann die Grundbeziehung (a), nämlich $h = r/\pi$ nicht mehr. Außerdem aber bedingt die mit der Dehnung gegebene Verkleinerung des Querschnittes des Herzmuskelfasers umgekehrt eine relative *Erhöhung* ihrer Zahl in der Meßflächeneinheit: Da aber im Einzelfall allein aus dem histologischen Bild sich der eigentliche (aktive) Hypertrophiefaktor von dem bloß passiven Dehnungsfaktor *nicht* abgrenzen läßt, erweist sich die durch die Beziehung (a) gekennzeichnete Grundvoraussetzung des Vorgehens von LINZBACH auch aus diesem Grund als anwendbar höchstens auf die Fälle, bei denen nach dem *sonstigen* Befund eine nennenswerte dilative Komponente ausgeschlossen werden kann. Mit Sicherheit wird dies zwar niemals möglich sein; vielleicht aber würde die Berücksichtigung des Verhältnisses von Wanddicke zur Binnenweite der Kammern, soweit dies mit einigermaßen zuverlässigen Methoden bestimmbar ist, in dieser Hinsicht doch weitere Möglichkeiten eröffne .

III.

Einer weiteren Überprüfung bedarf dann die Methode von LINZBACH insofern, als von ihm in die eingangs angeführte Gleichung (c) *ohne nähere Begründung* für das Volumen (v) der *einzelnen* Herzmuskelfaser*scheibe* bei der Auswertung der mikrometrischen Messungsergebnisse statt dessen das Volumen (V) des *Gesamtherzens*[1] eingesetzt wird. Denn die Beziehungen zwischen dem Volumen (v) der einzelnen Herzmuskelfaserscheibe und dem Volumen (V) des Gesamtherzens rechtfertigen auch unter den bisher erörterten Voraussetzungen ein solches Vorgehen *nicht:*

Das Herzvolumen (V) setzt sich zusammen aus dem Volumen (V_1) der *Gesamtheit* aller (hier der Einfachheit halber als glatt verlaufend gedachten) Herzmuskelfaserschläuche und dem Gesamtvolumen (V_2) der zwischen diesen liegenden

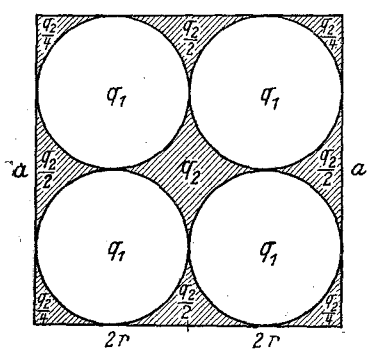

Abb. 1[2].

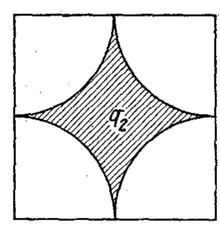

Abb. 2[2].

„Schläuche“ des Zwischengewebes von der in Abb. 1 und 2 durch q_2 gekennzeichneten Form. Es ist also

$$V = V_1 + V_2. \tag{15}$$

Von den beiden Summanden der rechten Seite der Gleichung (15) ist V_1 gegeben aus dem Produkt des Volumens (v_1) der einzelnen Herzmuskelfaserscheibe mit der *Gesamtzahl* (ν_1) derselben im *ganzen* Myokard. V_2 ergibt sich in entsprechender Weise aus dem Produkt des Volums (v_2) der Zwischengewebsscheiben (mit dem Querschnitt (q_2) mit der *Gesamtzahl* (ν_2) dieser Scheiben im ganzen Myokard. Da nun aber diese „Schläuche“ des zwischen der Muskulatur liegenden Gewebes unter den hier gemachten vereinfachenden Annahmen die gleiche Länge haben wie die zugehörigen Muskelfaserschläuche, und da außerdem, wie aus Abb. 1 leicht ersichtlich, ihre Anzahl im Meßquadrat *gleich* der Anzahl der Muskelfaserquerschnitte ist, sind also ν_1 und ν_2 *einander gleich* ($= \nu$), und wird

$$V = \nu \cdot (v_1 + v_2). \tag{16}$$

[1] Ohne Berücksichtigung des spezifischen Gewichtes des Myokards.

[2] Hell: Myokardfasern; schraffiert: Bindegewebe.

Die Größen und gegenseitigen Beziehungen von v_1 und v_2 ergeben sich dazu auf folgendem Weg: Nach Abb. 1 ist der Flächeninhalt (Q) eines Meßquadrates mit der Seitenlänge (a) einerseits

$$Q = a^2 \tag{17}$$

und andererseits gleich der Summe (Q_1) aus den einzelnen Muskelfaserquerschnitten (q_1) plus der Summe (Q_2) aus den einzelnen Zwischengewebsschnitten (q_2), also

$$Q = Q_1 + Q_2. \tag{18}$$

Daraus folgt

$$Q_2 = Q - Q_1 \tag{19}$$

und unter Berücksichtigung der Zahl (n) der im einzelnen Meßquadrat vorhandenen Muskelfaserquerschnitte

$$Q_2 = Q - n \cdot q_1. \tag{19a}$$

n aber beträgt, wie aus Abb. 1 unmittelbar ersichtlich, wenn der Durchmesser der einzelnen (kreisförmig vorausgesetzten) Muskelfaserscheibe (r) ist,

$$n = \frac{a^2}{4 \cdot r^2}. \tag{20}$$

Da

$$q_1 = r^2 \cdot \pi,$$

folgt

$$Q_2 = a^2 - \frac{a^2 \cdot r^2 \cdot \pi}{4 \cdot r^2} = a^2 \left(1 - \frac{\pi}{4}\right)$$

bzw.

$$Q_2 = c_1 \cdot Q. \tag{21}$$

Infolgedessen wird einerseits

$$Q_1 = Q - Q_2 = Q\,(1 - c_1) = c_2 \cdot Q. \tag{22}$$

Andererseits ist

$$Q_1 = n \cdot q_1 \tag{22a}$$

und folglich

$$q_1 = \frac{Q_1}{n} = \frac{c_2 \cdot Q}{n}. \tag{23}$$

Da $q_1 = \pi \cdot r^2$, ergibt sich

$$\pi \cdot r^2 = \frac{c_2 \cdot Q}{n} \tag{24}$$

und damit

$$r = \sqrt[2]{\frac{c_2 \cdot Q}{\pi \cdot n}} \tag{24a}$$

und

$$v_1 = r^3 = \left(\frac{c_3 \cdot Q}{n}\right)^{3/2} \tag{25}$$

v_2 ist gegeben zunächst als

$$v_2 = h \cdot q_2 = \frac{r \cdot q_2}{\pi}. \tag{26}$$

Dazu folgt aus Abb. 2 unmittelbar

$$(2\,r)^2 = q_2 + \frac{4\,\pi \cdot r^2}{4}$$

oder

$$4\,r^2 = q_2 + r^2 \cdot \pi$$

und damit

$$q_2 = r^2\,(4 - \pi) = c_4 \cdot r^2. \tag{27}$$

Infolgedessen wird

$$v_2 = \frac{c_4 \cdot r^2 \cdot r}{\pi} = c_5 \cdot r^3. \tag{28}$$

Damit folgt

$$V = \nu \cdot (r^3 + c_5\,r^3) = \nu \cdot r^3 \cdot (1 + c_5) = \nu \cdot c_6 \cdot r^3. \tag{29}$$

Folglich ist

$$\nu = \frac{V}{c_6 \cdot r^3} \tag{30}$$

oder nach Gleichung (24a)

$$\nu = \frac{V}{c_6 \left(\frac{(c_3 \cdot Q)}{n}\right)^{3/2}}$$

bzw.

$$\nu = \frac{V \cdot n^{3/2}}{c_6\,(c_3 \cdot Q)^{3/2}} \tag{30a}$$

oder wegen der Konstanz des gewählten Meßquadrates Q

$$\nu = c_7 \cdot V\,n^{3/2}. \tag{30b}$$

Demgemäß müßte also

$$V \cdot n^{3/2} = \frac{\nu}{c_7} = Z \tag{31}$$

eine Konstante darstellen und damit diejenige Zahl, welche (unter den bisher im Sinne von LINZBACH gemachten Voraussetzungen) an Hand des *gesamten* Herzvolumens bzw. Gewichtes (V) und der Zahl (n) der im einzelnen Meßquadrat gezählten Muskelfaserquerschnitte ein Urteil darüber gestatten würde, ob eine Herzvergrößerung durch eine Hypertrophie der einzelnen Fasern bei Konstanz ihrer Zahl, also eine reine Hypertirophie, oder ob eine Zunahme der letzteren, also eine Hyperplasie, vorliegt.

Demgegenüber ergibt sich aus der von LINZBACH vorgenommenen unmittelbaren Einführung des Gesamtherzgewichtes (V) an Stelle des Volumens (v_1) der einzelnen Herzmuskelfaserscheibe in die Gleichung (c)

$$z = V^{2/3} \cdot n$$

als Kontrollkonstante bzw. Kontrollzahl für das Vorliegen einer Hypertrophie oder Hyperplasie.

Als solche verändern sich nun zwar Z und z in Abhängigkeit von V und n stets gleichsinnig, aber größenmäßig unterschiedlich.

IV.

Im übrigen läßt dann namentlich auch die graphische Darstellung in Abb. 3 wohl kaum einen Zweifel daran, daß tatsächlich die Werte von *Z in der Regel* mit *steigendem* Herzgewicht deutlich *zunehmen.* Dementsprechend erweist sich der Unterschied der Mittelwerte für Z zwischen der letzten und der ersten Gruppe der Tabelle 1 wegen der Kleinheit des Materials zwar noch nicht als rein statistisch gesichert, aber trotzdem bereits als *einwandfrei „signifikant"*, indem die Differenz der beiden Mittelwerte mit $0{,}486 \cdot 10^3$ das 2,9fache des zugehörigen statistischen Unsicherheitsmaßes $\sigma_D = \pm\ 0{,}165 \cdot 10^3$ beträgt. Schließlich liefert auch die Unterteilung des Materials der Tabelle 1 unter Ausschluß der kindlichen Herzen in Tabelle 2 wiederum einen stetigen und schon rein statistisch signifikanten Anstieg für Z von $1{,}349 \cdot 10^3$ auf $1{,}775 \cdot 10^3$.

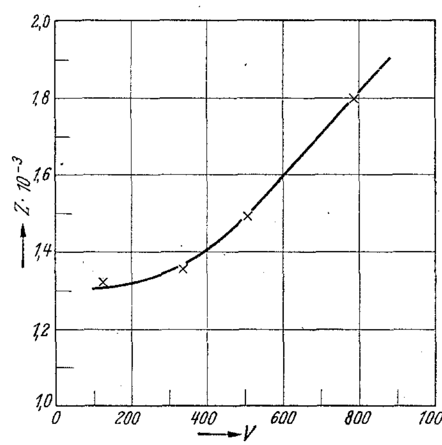

Abb. 3.

V.

Diese Feststellungen machen nun aber schon als solche die wesentliche von Linzbach aus seinen Untersuchungen gezogene Folgerung hinfällig, ihm sei nämlich der Nachweis gelungen, daß — unter einer kritischen, etwa bei einem Gewicht von 500 g gelegenen Grenze — die Massenzunahme des menschlichen Herzens allein durch die Massenzunahme der einzelnen Herzmuskelfaser ohne eine Vermehrung der Zahl derselben erfolge, und daß im einzelnen sogar „der Vorgang der Hypertrophie menschlicher Herzen bis zur Beschreibung durch eine mathematische Funktion analysiert" sei. Allerdings folgt aus der Tatsache des Anstiegs von Z (wie auch von z) mit zunehmendem Herz-

Tabelle 1.

Nr.	V	n	$Z \cdot 10^{-3}$		$Z \cdot 10^{-3}$	
1	45	184,0	1,125		0,731	
2	97	121,5	1,293		0,806	
3	98	121,5	1,309		0,809	
4	145	98,5	1,419	1,318 (V=125,5)	0,855	0,816
5	160	101,2	1,612		0,937	
6	195	74,0	1,238		0,781	
7	220	68,2	1,232		0,784	
8	280	54,5	1,120		0,734	
9	290	64,0	1,481		0,882	
10	305	59,1	1,385		0,840	
11	335	52,7	1,279	1,358 (V=338,0)	0,798	0,824
12	397	57,0	1,705		0,968	
13	400	46,5	1,262		0,792	
14	425	44,7	1,275		0,776	
15	426	49,5	1,480		0,888	
16	427	48,5	1,435		0,868	
17	470	49,2	1,625		0,935	
18	500	46,0	1,565	1,493 (V=501,0)	0,912	0,886
19	540	40,5	1,408		0,842	
20	550	41,5	1,462		0,875	
21	600	39,6	1,498		0,886	
22	620	46,2	1,945		1,055	
23	650	36,3	1,378		0,845	
24	660	38,1	1,558		0,908	
25	750	32,5	1,382	1,804 (V=787,0)	0,846	0,996
26	780	45,3	2,337		1,198	
27	995	38,2	2,350		1,197	
28	1120	28,0	1,657		0,941	

gewicht noch nicht, daß die Massenzunahme des Herzens immer und nur durch eine Zunahme der Zahl der Muskelfasern vor sich geht; denn eine solche Vergrößerung von Z (und auch von z) kann auch dadurch bedingt sein, daß die Zahl (v) der die Herzgesamtmasse (V) bildenden Scheiben lediglich durch ein relativ stärkeres *Längen*wachstum der Herzmuskelfasern vermehrt wird, als der in der Gleichung (a) von LINZBACH gemachten Grundvoraussetzung entspricht: Möglicherweise ist damit der Gang von Z (und auch von z) nur ein weiterer Hinweis darauf, daß eben die in Gleichung (a) enthaltene Voraussetzung schon deshalb nicht zutrifft, weil die Herzmassenzunahme verhältnismäßig oft nicht „konzentrisch" in dem oben definierten Sinn erfolgt.

Tabelle 2.

Nr. (aus Tabelle 1)	V	$Z \cdot 10^{-3}$
6—12	289	1,349
13—17	428	1,415
18—22	574	1,575
23—28	826	1,775

Dementsprechend läßt sich auch aus dem Verhalten von Z kein Hinweis entnehmen auf eine kritische Grenze des Herzgewichtes, oberhalb deren die Herzmassenzunahme nicht durch eine Vermehrung

Tabelle 3.

Nr. (aus Tabelle 1)	V	$Z \cdot 10^{-3}$
15	426	1,480
16	427	1,435
17	470	1,625
20	550	1,462
22	620	1,945
24	660	1,558
26	780	2,337
Mittel	562	1,694

Tabelle 3a.

Nr. (aus Tabelle 1)	V	$Z \cdot 10^{-3}$
21	600	1,498
23	650	1,378
25	750	1,382
28	1120	1,657
Mittel	780	1,478

des Volumens der einzelnen Muskelfaser sondern auch durch eine Zunahme der Zahl der Muskelfasern vor sich geht. Denn die graphische Darstellung der Mittelwerte der Gruppen der Tabelle 1 läßt in Abb. 3 keine Besonderheiten im Verlauf der Angleichskurve erkennen, welche auf eine plötzliche Änderung im zugrunde liegenden Geschehen deuten könnten. In diesem Sinne ordnen sich vor allem in Abb. 4 auch die Werte der Tabelle 2, d. h. diejenigen nach Ausschluß der kindlichen Herzen, anscheinend einer Beziehung zu, nach welcher Z im *ganzen Bereich* der tatsächlich vorkommenden Herzgewichte einfach linear mit der Herzmasse wachsen würde.

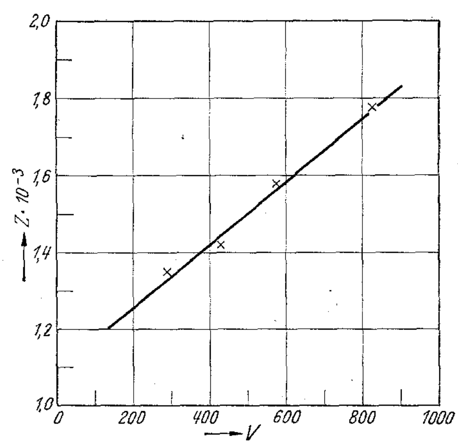

Abb. 4.

Wie undurchsichtig überhaupt das Verhalten des Faktors Z (und ebenso das von z) für sich betrachtet ist, geht auch aus den Daten der Tabelle 3 und 3a bzw. aus Abb. 5 hervor: Denn beiden zufolge scheinen die von LINZBACH als „konzentrisch" bezeichneten Hypertrophiefälle überdurchschnittlich *hohe*, dagegen die von ihm als „exzentrisch" bezeichneten Hypertrophiefälle unterdurchschnittlich *niedrige* Werte für Z aufzuweisen: Wenn nun wahrscheinlich auch die von LINZBACH vorgenommene Abgrenzung dieser beiden Hypertrophieformen sich zwar nicht mit der oben von uns vorgeschlagenen deckt, so dürfte aber doch auch bei seinen Fällen von exzentrischer Hypertrophie die dilative Komponente stärker gewesen sein als bei den konzentrischen, und wäre demgemäß eigentlich ein gegenteiliges Verhalten von Z (und auch von z) zu erwarten gewesen zu dem anscheinend tatsächlich nach Tabelle 3 und 3a bzw. Abb. 5 vorliegenden.

VI.

Es bestätigt dies recht eindringlich, daß speziellere Schlüsse aus den Daten von LINZBACH nicht ableitbar sind. Darüber hinaus erscheint aber an Hand der hier durchgeführten Untersuchungen überhaupt fraglich, ob es möglich ist, allein auf mikrometrisch-histologischem Wege die hier berührten, morphologisch wie funktionell gleich wichtigen Fragen der Herzhypertrophie zu klären. Notwendig wird wohl vielmehr sein, bei derartigen Untersuchungen nicht nur die Verhältnisse

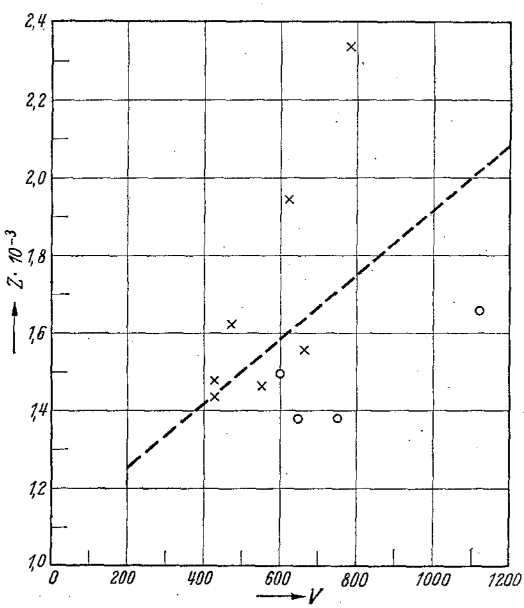

Abb. 5. × Konzentrische Hypertrophie; o exzentrische Hypertrophie.

in den verschiedenen Wandschichten des Myokards, sondern zumindest auch das Verhalten der Wanddicke und der sonstigen Maßverhältnisse der Kammerwandungen zu berücksichtigen und mittels geeigneter Methodik zu erfassen.

Zusammenfassung.

1. Die von LINZBACH[1] kürzlich angegebene Methode einer mikrometrisch-histologischen Analyse hypertropher Herzen ist wegen der in ihr enthaltenen Voraussetzung einer Konstanz des Verhältnisses von Länge zu Breite der einzelnen Herzmuskelfaser von vornherein nur auf Herzen anwendbar, bei denen das Verhältnis von Kammerwanddicke zu Binnenweite der Kammern konstant (= normal) geblieben ist, d. h. eine „konzentrische“ Hypertrophie vorliegt.

2. Die von LINZBACH abgeleitete Kontrollfunktion zum Vergleich der bei einer reinen Hypertrophie zu erwartenden Muskelfaserzahl in der Einheit des Meßquadrates mit der tatsächlich gefundenen ist unrichtig.

3. Die statt dessen abgeleitete Kontrollzahl zeigt mit steigendem Herzgewicht *als Regel* durchschnittlich einen eindeutigen Anstieg; ein solcher ergibt sich im übrigen, wenn auch größenmäßig geringer, gleichfalls für die von LINZBACH selbst benutzte „Konstante".

4. Infolgedessen läßt sich an Hand des Materials von LINZBACH *nicht* (quantitativ) entscheiden, ob bzw. wieweit eine Herzmassenzunahme durch eine reine Vergrößerung der einzelnen Herzmuskelfasern (hinsichtlich Länge und Dicke) bei gleichbleibender Zahl derselben erfolgt ist, oder ob eine Herzmassenzunahme einer Vermehrung der Faserzahl zuzuschreiben ist.

5. Mittels einer rein mikrometrisch-histologischen Analyse werden sich aber überhaupt die hier in Frage stehenden Probleme der Herzmassenzunahme nicht eindeutig lösen lassen; notwendig wird vielmehr sein, außerdem zumindest das Verhältnis der Dicke zur Binnenweite der Kammerwand und die sonstigen Maßverhältnisse der Kammern (mittels geeigneter Methodik!) zu berücksichtigen.

6. Die Fälle von Herzmassenzunahme, bei denen das Verhältnis von Wanddicke der Kammern zur Binnenweite der Kammern konstant (=normal) geblieben ist, stellen nicht nur morphologisch eine Sonderform der Herzvergrößerung dar, sondern auch *funktionell*, denn bei ihnen ist auch das Verhältnis von (systolisch) erzeugtem Druck zu der dazu erforderlichen Wandspannung (etwa) normal geblieben. Es wird deshalb vorgeschlagen, diese Fälle als *„konzentrisch-hypertroph"* auch begrifflich herauszuheben und damit zugleich den Begriff der *„konzentrischen Herzhypertrophie" eindeutig* zu bestimmen.

Literatur.

[1] LINZBACH: Virchows Arch. **314**, 534 (1947). — [2] BOHNENKAMP: Im Lehrbuch der speziellen pathologischen Physiologie, 2. Aufl. Jena 1937.