

Aus dem Pathologischen Institut der Humboldt-Universität Berlin,
dem Rudolf Virchow-Haus der Charité (Direktor: Prof. Dr. L. H. KETTLER)

Zur capillären Gefäßversorgung der subendokardialen Muskelschichten im menschlichen Herzen

Von
ARNO HECHT

(Eingegangen am 29. Juli 1957)

Während die capilläre Versorgung der intramyokardialen Muskelschichten als geklärt angesehen werden kann, sind diesbezügliche Veröffentlichungen über die subendokardial gelegenen Muskelfasern nur gering und beschränken sich fast ausschließlich auf Vermutungen. Die Klärung der Capillarisierung in diesem Gebiet ist jedoch von großem theoretischem Interesse. Ähnlich wie bei der Wandung der großen Gefäße besteht auch hier die Frage, ob die Versorgung dieser Muskelschichten nur durch die Capillaren von den Herzgefäßen aus erfolgt, oder ob der Diffusion vom Herzlumen aus eine Bedeutung zuerkannt werden muß. Sollte wirklich die transendothiale Ernährung eine Rolle spielen, so müßte sich das anatomisch in zweierlei Hinsicht ausdrücken:

1. Da der lebende Organismus auf eine rationelle Ökonomie eingestellt ist, kann man erwarten, daß die Capillarkonzentration in den subendokardialen Schichten geringer ist als in den intramyokardialen; denn bei einer Diffusion durch das Endokard sind die subendokardialen Schichten versorgungsmäßig günstiger gestellt und bedürfen daher nicht der gleichen Capillarkonzentration wie die intramyokardial gelegenen Muskelfasern.

2. Bei einem Stoffaustausch durch das Endokard wäre eine unterschiedliche Capillardichte in den subendokardialen Schichten des rechten und linken Ventrikels zu erwarten, da die Versorgungsbedingungen in beiden Abschnitten unterschiedlich sind. Dies ergibt sich aus der geringeren O₂-Sättigung des Blutes im rechten Herzen im Vergleich zum linken. Um dieses Defizit auszugleichen, wäre subendokardial eine größere Capillarzahl rechts als links zu erwarten.

Methodik

Als brauchbare Methode haben wir die von HORT angegebene Technik empfunden und deshalb zur Darstellung der Capillarwände die PAS-Reaktion benutzt.

Für unsere Untersuchungen verwendeten wir die Herzen von 6 jugendlichen, herz- und gefäßgesunden Personen¹, die wir nach der Müllerschen Methode sezierten

¹ Für die Überlassung der Herzen danken wir dem Direktor des Instituts für gerichtliche Medizin der Humboldt-Universität Berlin, Herrn Prof. Dr. PROKOP.

und wogen. Wir verzichteten allerdings darauf, den linken Ventrikel vom Septum zu trennen, da nach Angaben von MERKEL und VOSS, BUSCH, BERBLINGER der größte Teil des Septums sowieso vom linken Ventrikel gebildet wird.

Ursprünglich hatten wir vor, unsere Untersuchungen am Septum durchzuführen, da es hier leicht ist, korrespondierende Abschnitte des linken und rechten Herzens im gleichen Schnittpräparat zu untersuchen. Doch erwies sich das Septum insofern als unzweckmäßig, als die Verflechtung der subendokardialen Muskelbündel so stark ist, daß es nicht möglich war, rechts und links in ausreichender Zahl gute Capillar- und Muskelfaserquerschnitte zu erhalten. *Wir haben daher unsere Zählungen an den Papillarmuskeln angestellt.* Etwa 24 Std nach dem Tode wurden rechts und links der vordere Papillarmuskel entnommen und aus ihnen 4—5 mm dicke Scheibchen herausgeschnitten. Nach erfolgter Formalinfixierung und Paraffineinbettung wurden die etwa 4μ dicken Schnitte nach der von HORT angegebenen Methode behandelt. Wir haben sie allerdings dahingehend modifiziert, als wir nach v. GIESON gegenfärbten. Dabei stellen sich die Capillarwände intensiv rot dar und heben sich verhältnismäßig gut gegenüber dem schwächer angefärbten Bindegewebe und der gelben Muskulatur ab. Nicht sicher erkennbare Capillaren wurden bei der Zählung ausgelassen. Ausgezählt wurden subendokardial und in den intramyokardialen Muskelschichten rechts und links je 80 Quadrate mit einer Kantenlänge von 138μ bei Obj. 100 Ölimmers., 1,25 num. Apert. und Okular $6 \times$. Der Inhalt des Quadrats betrug also $19044 \mu^2$. Um die Auszählung zu erleichtern, haben wir das große Hauptfeld in 16 kleinere Felder nach Art einer Thoma-Zeisschen Zählkammer unterteilt. Zu diesem Zweck benutzten wir abgewaschenes Röntgenpapier, auf dem wir über Millimeterpapier mit einer Rasierklinge die Felderung einritzten. Dieses Maßquadrat wurde ins Okular eingelegt und die Kantenlänge bei der angewandten Vergrößerung mit dem Objektmikrometer bestimmt.

Außerdem haben wir die Dicke des Endokards über den auszuzählenden Quadraten gemessen und die Anzahl der Capillaren unter Endokardschichten unterschiedlicher Dicke bestimmt. Weiter wurden je Herz je 200 Muskelfasern aus den subendokardialen und intramyokardialen Muskelfaserschichten rechts und links mit dem Abbéschen Zeichenapparat aufgezeichnet und anschließend ausplanimetriert. Auf diese Weise wollten wir die Größenunterschiede zwischen subendokardial und intramyokardial gelegenen Muskelfaserquerschnitten verifizieren, die von HORT und LINZBACH angegeben werden und auch uns aufgefallen sind.

Die sich ergebenden Zahlenwerte wurden einer statistischen Prüfung unterzogen. Der mittlere Fehler wurde nach der Formel berechnet:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x-N)^2 - (M-N)^2}.$$

Bei n Gliedern ergibt sich dann der mittlere Fehler des Mittelwerts m aus $m = \pm \sqrt{\frac{\sigma}{n}}$, der für alle Reihen gebildet wurde. Um diese miteinander vergleichen zu können, ist noch die Bestimmung der Differenz D der Mittelwerte der zu vergleichenden Reihen und der mittlere Fehler (ϵ) D dieser Differenz notwendig. Er errechnet sich nach $(\epsilon) D = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2}$.

Zur Feststellung eines Unterschieds der zu prüfenden Reihen wurde dann der Quotient $\frac{D}{(\epsilon) D}$ gebildet. Ist er < 2 , so liegt kein Unterschied vor, ist er > 2 ,

aber < 3 , so ist ein Unterschied wahrscheinlich. Ist er > 3 , so ist ein Unterschied statistisch gesichert. Dabei bedeuten δ = mittlerer Fehler, n = Anzahl der Glieder, N = Näherungswert des Mittelwerts, M = Mittelwert, x = Einzelglied.

Auf die Bestimmung des durch die Einbettung bedingten Schrumpfungsgrades haben wir bewußt verzichtet und eine Umrechnung der ermittelten Zahlen auf das ungeschrumpfte Präparat nicht durchgeführt, einmal weil die absoluten Zahlen zu der von uns angestrebten Aussage nicht notwendig sind, zum anderen weil ihre Objektivität bezweifelt werden muß. Dies ergibt sich aus dem Vergleich der von verschiedenen Autoren angeführten Zahlen. Das ist leicht erklärliech, da die subjektiven Mängel jeder Zählung berücksichtigt werden müssen. Außerdem ergeben sich bei der Bestimmung der Flächenschrumpfung Schwierigkeiten, da Muskulatur und Bindegewebe eine unterschiedliche Schrumpfungstendenz aufweisen. Trotzdem erlauben die gewonnenen Werte objektive Aussagen, da sie bei einer konstanten Methodik und Auszählung durch denselben Beobachter gleichbleibenden Fehlerquellen unterliegen.

Ergebnisse

Tabelle 1

Nr. u. Gew.	A.	G.		Vg.	S.E.			I.M.			
					C.	M.	C/M.	C.	M.	C/M.	
1463/56 215 g	21	δ		links	115	28,1	32,4	0,87	39,0	37,3	1,05
				rechts	50	29,6	37,3	0,79	37,2	46,9	0,79
1515/56 230 g	28	δ		links	125	24,0	26,8	0,89	42,4	39,5	1,07
				rechts	40	32,2	29,6	1,09	43,3	49,4	0,88
52/11/56 330 g	26	δ		links	180	24,6	24,7	0,99	35,9	33,0	1,09
				rechts	60	20,8	21,6	0,96	30,9	36,2	0,86
14/12/56 390 g	25	δ		links	220	24,6	24,7	0,99	32,1	30,6	1,05
				rechts	80	20,8	21,0	0,99	33,5	40,4	0,83
20/12/56 360 g	37	δ		links	190	24,8	23,0	1,08	38,2	35,4	1,08
				rechts	70	31,4	40,6	0,77	37,4	51,2	0,73
58/1/57 380 g	26	δ		links	200	29,6	26,2	1,13	36,9	34,6	1,07
				rechts	80	25,8	29,1	0,89	37,0	47,5	0,78
M				links		25,9	26,3	0,99	37,4	35,1	1,07
				rechts		26,8	29,9	0,91	36,5	45,2	0,81
σ				links		$\pm 3,0$	$\pm 3,5$	$\pm 0,1$	$\pm 3,4$	$\pm 3,1$	$\pm 0,02$
				rechts		$\pm 5,2$	$\pm 7,9$	$\pm 0,12$	$\pm 4,2$	$\pm 5,8$	$\pm 0,06$

Nr. = Sektionsnummer, Gew. = Gesamtgewicht, A. = Alter, G. = Geschlecht, Vg. = Ventrikelgewicht, C. = Capillaren je Flächeneinheit, M. = Muskelfasern je Flächeneinheit, S.E. = Subendokardiale Muskelschichten, I.M. = Intramyokardiale Muskelschichten, M = Mittelwert, σ = Mittlerer Fehler.

I. Intramyokardial gelegene Muskelfaserschichten

a) *Linker Ventrikel*. Wie wir schon oben ausgeführt haben, ist jede Zählung mit gewissen subjektiven und objektiven Mängeln behaftet.

Es ist daher zweckmäßiger, nur die unter denselben Bedingungen erlangten Ergebnisse eines Untersuchers zu verwenden. Da es bei uns darauf ankommt, die subendokardialen mit den intramyokardialen Muskelschichten zu vergleichen, haben auch wir noch einmal die schon wiederholt durchgeführte Zählung an den tiefer gelegenen Muskelschichten vorgenommen. Damit unterliegen beide Werte denselben Fehlerquellen und sind ohne weiteres miteinander vergleichbar.

Wir können feststellen, daß das von uns erzielte Ergebnis gut mit dem anderer Autoren übereinstimmt. Je Flächeneinheit fanden wir am in Paraffin eingebetteten Präparat 37,4 ($\sigma = \pm 3,4$) Capillaren und 35,1 ($\sigma = \pm 3,1$) Muskelfasern, das entspricht 1,07 ($\sigma = \pm 0,02$) Capillaren auf eine Muskelfaser. Das deckt sich mit dem von HORT angegebenen Wert, der 1,06 ($\sigma = \pm 0,04$) Capillaren auf eine Muskelfaser gefunden hat. Davon abweichende Werte führt WEARN an, der abgesehen von wesentlich höheren absoluten Zahlen auf eine Muskelfaser 1,34 Capillaren gefunden hat. Allerdings gibt auch er in einer anderen Arbeit einen Wert von 1,08 an. Worin dieser Unterschied begründet liegt, konnten wir nicht feststellen.

b) Rechter Ventrikel. Für den rechten Ventrikel gibt WEARN denselben Wert von 1,08 wie für den linken an. HORT weist darauf hin, daß das Capillarnetz im rechten Herzen engmaschiger ist als im linken. Dies ist bedingt durch die kleinere Querschnittsfläche der Muskelfasern in diesem Herzabschnitt. Auf Grund orientierender Zählungen in 10 Meßfeldern des rechten Papillarmuskels gibt er 0,9 Capillaren auf eine Muskelfaser an. Als Extreme nennt er die Werte 0,72 und 1,07. Wir können HORTS Angaben im wesentlichen bestätigen. Unsere Zählungen ergaben 0,81 ($\sigma = \pm 0,06$) Capillaren auf eine Muskelfaser, bei 36,5 ($\sigma = \pm 4,2$) Capillaren und 45,2 ($\sigma = \pm 5,8$) Muskelfasern je Flächeneinheit.

Beim Vergleich dieser Zahlen mit dem linken Herzen fällt auf, daß die Anzahl der Capillaren je Flächeneinheit etwa dieselbe ist (37,5, $\sigma = \pm 3,4$ links; 36,5, $\sigma = \pm 4,2$ rechts). Dagegen ist die Anzahl der Muskelfasern rechts gegenüber links deutlich erhöht (35,1, $\sigma = \pm 3,1$ links; 45,2, $\sigma = \pm 5,8$ rechts). Das findet seine Erklärung in der geringeren Muskelfaserquerschnittsgröße rechts. Wir haben gefunden, daß diese im Durchschnitt um 13 % kleiner ist als links.

II. Subendokardiale Muskelschichten

a) Linker Ventrikel. LINZBACH, der sich in vielen Arbeiten mit der Capillarisierung des Herzmuskels beschäftigt hat, gibt an, daß die subendokardialen Muskelschichten des Herzens eine geringere Capillarisierung aufweisen als die übrigen. Er nimmt an, daß dieser Anteil der Muskulatur weitgehend vom Herzlumen aus versorgt wird. HORT hat

im Rahmen gleichliegender Untersuchungen Unterschiede in der Capillarisierung der einzelnen Herzmuskelschichten nicht feststellen können. Er macht allerdings *keine quantitativen Angaben* über die Verhältnisse in den subendokardialen Schichten. Aus einer Arbeit von WEARN geht hervor, daß er in den subendokardialen Muskelfaserschichten 0,6 Capillaren auf eine Muskelfaser gezählt hat. NAGAYO, der die Anatomie des Endokards ausführlich beschrieben hat, ist zu entnehmen, daß bei dichter und komplizierter gebautem Endokard die Capillaren bis in die äußereren (= subendokardialen) Muskelfaserschichten vordringen.

Um diese Frage einer Klärung näher zu bringen, haben wir in den subendokardialen Muskelschichten rechts und links je 80 Felder ausgezählt. Unsere Ergebnisse weichen zum Teil von den Angaben HORTS ab und scheinen LINZBACH sowie den älteren Untersuchungen von WEARN recht zu geben.

Unsere Zählungen ergaben, daß die Anzahl der Capillaren unter dem Endokard deutlich geringer ist als in den übrigen Schichten. Zwar ist das Verhältnis von etwa einer Capillare auf eine Muskelfaser annähernd gewahrt ($C/M. 0,99, \sigma = \pm 0,1$), jedoch ist die Anzahl der Capillaren mit 25,9 ($\sigma = \pm 3,0$) und der Muskelfasern mit 26,3 ($\sigma = \pm 3,5$) wesentlich geringer als in den intramyokardialen Muskelschichten in der gleichen Flächeneinheit. Das Capillarnetz ist also wesentlich weiter gestellt, was auf einen größeren Muskelfaserquerschnitt zurückzuführen ist (s. S. 31). Der Versorgungsradius der Capillaren ist dadurch wesentlich weiter und das Bild dem eines hypertrophierten Herzens vergleichbar.

b) *Rechter Ventrikel.* Auch hier ist die geringere Zahl der Capillaren in den subendokardialen Schichten deutlich. Die Zahlenangaben je Flächeneinheit entsprechen mit 26,8 ($\sigma = \pm 5,2$) etwa denen des linken Herzens. Nur die Anzahl der Muskelfasern ist mit 29,9 ($\sigma = \pm 7,9$) etwas größer als links. Auch sie sind im Querschnitt deutlich umfangreicher als im übrigen rechten Herzen. Wie wir weiter unten zeigen, entsprechen sie fast dem Querschnitt der linken subendokardial gelegenen Muskelfasern. Auch hier ist also der Versorgungsradius der Capillaren eindeutig größer als in den intramyokardialen Muskelfaserschichten.

III. Abhängigkeit der Capillardichte von der Endokarddicke

Wenn die Diffusion durch das Endokard eine Rolle spielt, so wird sie mit zunehmender Endokarddicke abnehmen. Man sollte also erwarten, daß die Capillarkonzentration zunimmt. Zwecks Prüfung haben wir die Endokarddicke in 4 Klassen geteilt und für jede die darunter liegende Zahl der Capillaren und Muskelfasern bestimmt. Dabei fällt auf, daß zwar die Capillardichte geringfügig zunimmt, sich die Werte aber doch nicht wesentlich unterscheiden. Auch die Anzahl der Muskel-

Tabelle 2

E.	< 10 μ			10—20 μ			20—40 μ			> 40 μ		
	C.	M.	C/M.	C.	M.	C/M.	C.	M.	C/M.	C.	M.	C/M.
Links	22,8	29,6	0,77	25,8	27,9	0,94	26,2	26,2	1,00	26,8	24,8	1,08
Rechts	26,6	30,3	0,88	25,6	30,0	0,85	25,5	27,2	0,94	29,9	26,2	0,99

E. = Endokarddicke.

fasern und damit ihre Querschnittsgröße verändern sich nicht wesentlich. Das deutet schon darauf hin, daß bei der Querschnittsgröße dieser Fasern nicht nutritive Vorgänge eine Rolle spielen, sondern wohl vor allem funktionelle. Wegen der bei stärkeren Endokarddicken abnehmenden Diffusion wäre zu erwarten, daß bei Durchblutungsstörungen diese Gebiete besonders benachteiligt sind.

IV. Muskelfaserquerschnittsgröße

Um auch einen faßbaren Überblick über die Unterschiede in der Querschnittsgröße der Muskelfasern zu haben, wurden rechts und links subendokardial sowie intramyokardial je Herz 200 Muskelfasern gezeichnet und planimetrisch ausgemessen. Mit $344 \mu^2$ ($\sigma = \pm 35$) links sowie $334 \mu^2$ ($\sigma = \pm 66$) rechts subendokardial bestehen markante Unterschiede zu den intramyokardialen Muskelfaserschichten. Hier beträgt der Durchschnittswert für das linke Herz $264 \mu^2$ ($\sigma = \pm 27$) und für das rechte $230 \mu^2$ ($\sigma = \pm 24$). Angaben über die Muskelfaserquerschnittsfläche haben wir nur bei LINZBACH gefunden. Dieser fand im praktisch ungeschrumpften Gefrierschnitt links $377 \mu^2$ und rechts $244 \mu^2$ intramyokardial bei einem Herzen von 330 g.

Besprechung der Ergebnisse

Wie schon weiter oben ausgeführt, sind die Kenntnisse über die subendokardiale Capillarisierung bisher ungenügend. Zwar haben sich schon NAGAYO und KÖNIGER ausführlich mit der normalen Anatomie des Endokards befaßt, ohne aber auf die subendokardialen Schichten, insbesondere ihre Gefäßversorgung eingegangen zu sein. Grundsätzlich lassen sich 2 Möglichkeiten der Versorgung der subendokardialen Muskelschichten vorstellen. Einmal kann die Versorgung durch Diffusion von der Herzhöhle aus erfolgen, zum anderen von den Coronararterien aus.

Erwiesen ist, daß die Herzen niederer Wirbeltiere kein Herzkranzgefäßsystem aufweisen. Bei ihnen besteht ein weit verzweigtes, von Endothel überzogenes Trabekelwerk in Form von Sinusoiden. Eine Darstellung der Entwicklung derselben ist bei LEWIS zu finden, der die Vv. cordis minima als Residuen der Sinusoide auffaßt. Durch das Trabekelwerk erfolgt eine erhebliche Oberflächenvergrößerung der Herzinnenfläche. Das ist von großer Bedeutung für eine ungestörte Tätigkeit

der Herzen niederer Tiere, bei denen die O_2 -Versorgung vom Herzlumen aus erfolgt (BAUEREISEN). Eine auffällige, bisher nicht weiter verfolgte Beobachtung ist die, daß beim Herzinfarkt und der chronischen Herzinsuffizienz stets ein schmaler subendokardialer Streifen von Nekrosen und Narbenbildungen frei bleibt. LINZBACH betont dies in einer seiner Arbeiten ausdrücklich. Auch bei vielen anderen Autoren wie BÜCHNER, BÜCHNER u. Mitarb., ILINSKAJA, LEVINE u. Mitarb., KARSNER, PIRANI u. Mitarb. fällt bei sorgfältiger Durchsicht ihrer Arbeiten auf, daß bei akuten Durchblutungsstörungen des Herzens die subendokardialen Schichten von Veränderungen frei bleiben, ohne daß dies gebührend beachtet würde. Diese Beobachtung läßt sich nur so deuten, daß ein schmaler subendokardialer Streifen wenigstens zum Teil vom Herzlumen aus mit versorgt wird. Erwähnen möchten wir in diesem Zusammenhang ebenfalls die Arbeit von OHEIM, die bei der histologischen Untersuchung von 50 Herzen diphtherieerkrankter Personen festgestellt hat, daß die anatomischen Veränderungen bevorzugt die subendokardialen Schichten des rechten und linken Herzens befallen. Sie deutet diese Tatsache mit einer Toxindiffusion durch das Endokard. Auch in Veröffentlichungen über die Anatomie der Vv. cordis minimae wird von WEARN, UNGER, ILINSKAJA, KRETZ die Ansicht vertreten, daß bei Kranzgefäßverschlüssen eine rückläufige Versorgung des Herzens durch diese Gefäße vom Lumen aus erfolgen kann. Wir nehmen an, daß das wenigstens für die subendokardialen Muskelschichten zutreffend ist. LINZBACH weist ausdrücklich darauf hin, daß die ersten 8—10 Muskellagen unter dem Endokard eine geringere Capillarisierung als der übrige Herzmuskel zeigen. Er deutet das mit dem „ökonomischen Prinzip der Sauerstoffversorgung“, das er auch an anderen Organen wie der Niere und am Stützgewebe nachweist. Im Gegensatz dazu bemerkt HORT: „... bewertbare standortbedingte Unterschiede für die verschiedenen untersuchten Partien der linken Kammer, oder zwischen rechtem und linkem Ventrikel ergeben sich nicht“. Er gibt an, daß bei dünnem Endokard die innerste Muskelfaserlage zur Hälfte vom Lumen aus versorgt wird. Ist das Endokard doppelt so breit wie eine Muskelfaser, so wird die innerste Muskelschicht vollständig von Capillaren versorgt. Wir stimmen mit HORT darin überein, daß keine Unterschiede zwischen rechts und links gelegenen subendokardialen Muskelfaserschichten in bezug auf die Capillarisierung bestehen. Auch stimmen wir dem zu, daß die subendokardialen Muskelfasern durchweg von Capillaren versorgt werden; nach unseren Beobachtungen auch die erste Muskelfaserlage bei dünnem Endokard, denn auch hier haben wir oft Capillaren direkt unter dem Endokard gefunden. Was uns als bisher nicht durch exakte Zahlenangaben belegt aufgefallen ist, besteht in

der Tatsache, daß im rechten wie im linken Herzen die subendokardialen Muskelschichten eine deutlich geringere Capillarversorgung zeigen als die intramyokardial gelegenen Muskelschichten. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant. Wenn auch etwa eine Capillare auf eine Muskelfaser kommt, so ist die capilläre Versorgung erheblich dadurch gefährdet, daß die Querschnittsfläche der Muskelfasern deutlich größer ist als im Herzinnern. Störungen der Durchblutung müßten hier also wesentlich früher und stärkere Veränderungen setzen als im übrigen Herzmuskel, da das Versorgungsgebiet der einzelnen Capillare wesentlich größer ist. Daß das nicht der Fall ist, spricht für eine Mitversorgung vom Herzlumen her. Wir nehmen allerdings an, daß dieser Ernährungsweg erst dann bedeutsam wird, wenn die Zufuhr vom Herzgefäßsystem her abgeschnitten ist.

Auffällig erscheint uns, daß die Capillarisierung der subendokardialen Muskelschichten des rechten Herzens nicht wie erwartet von der des linken abweicht, obwohl bei jenem wegen des geringeren Sauerstoffgehalts des Blutes der Versorgung vom Herzlumen eine geringere Bedeutung beizumessen ist. Daraus wäre abzuleiten, daß die Empfindlichkeit der rechten subendokardialen Muskelschichten gegenüber O₂-Mangel größer sein müßte als links. Durch Beobachtung von Sektionsmaterial und das Experiment wäre festzustellen, ob bei Durchblutungsstörungen die Veränderungen rechts subendokardial stärker ausgeprägt sind als links.

Wir können also sagen, daß das Bild in den subendokardialen Schichten mit dem eines hypertrophierten Herzens verglichen werden kann. Daß es bei Durchblutungsstörungen nicht zu Veränderungen und Narbenbildung kommt, ist dem Umstand zu verdanken, daß die Versorgung vom Herzlumen aus zweifellos eine große Rolle spielt. Dafür sprechen unsere statistisch geprüften Ergebnisse und auch die Unempfindlichkeit eines schmalen subendokardialen Streifens gegenüber Durchblutungsstörungen. Weshalb die Muskelfasern in diesem Gebiet eine größere Querschnittsfläche als im übrigen Herzen aufweisen, können wir nicht sagen. Es ist durchaus möglich, daß der auf ihnen besonders stark lastende Herzinnendruck eine Rolle spielt. Dafür spricht auch der große Querschnitt in versorgungsmäßig so ungünstig gestellten Schichten wie unter dickem Endokard.

Zusammenfassung

Auf Grund der von uns durchgeführten quantitativen Untersuchungen über die Capillarisierung der subendokardialen und vergleichsweise dazu auch der intramyokardialen Muskelschichten an linken und rechten Papillarmuskeln kommen wir zu folgendem Ergebnis:

1. Die von anderen Autoren gemachten Angaben über die Capillarisierung der *intramyokardialen* Schichten des Herzmuskels können wir bestätigen.
2. Die Capillardichte ist in beiden Herzteilen *subendokardial* geringer als in den *intramyokardial* gelegenen Muskelfaserschichten (statistische Signifikanz).
3. Die Weitmaschigkeit des Capillarnetzes in den subendokardialen Schichten ist durch einen größeren Muskelfaserquerschnitt bedingt. Diese Tatsache wird als Folge des Herzinnendrucks aufgefaßt, dem die subendokardial gelegenen Muskelfaserschichten verstärkt ausgesetzt sind.
4. Zwischen den subendokardialen Muskelfaserschichten des rechten und linken Herzens bestehen keine Unterschiede in der Capillarisierung, obwohl doch die O₂-Sättigung des Blutes im rechten Herzen eindeutig geringer ist.
5. Auf Grund unserer Ergebnisse, der Angaben der Literatur und der Erfahrungen der Herzpathologie wird die Frage der Versorgung der subendokardialen Muskelfaserschichten diskutiert. Es wird die Ansicht vertreten, daß neben der capillären Versorgung vor allem bei Durchblutungsstörungen die Diffusion vom Herzlumen her eine Bedeutung hat.

Literatur

- BAUEREISEN, E.: Der Sauerstofftransport im gefäßlosen Säugetierherzen. Z. Biol. **105**, 293 (1953). — BERBLINGER, W.: Herzhypertrophie und Kachexie. Medizinische **1953**, 497. — BÜCHNER, F.: Die Koronarinsuffizienz. Dresden u. Leipzig: Theodor Steinkopff 1939. — BÜCHNER, F., H. REINDELL, H. KLEPZIG u. R. WEYLAND: Vergleichende elektrokardiographische und morphologische Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der Brustwandableitungen. Verh. dtsch. Ges. Kreislaufforsch. **18**, 141 (1952). — BÜCHNER, F., A. WEBER u. B. HÄGER: Koronarinfarkt und Koronarinsuffizienz. Leipzig: Georg Thieme 1935. — BUSCH, W.: Neue Ergebnisse der Messung und Wägung der Herzkammern bei den verschiedenen Hypertrophieformen mit besonderer Berücksichtigung der Histologie. Arch. Kreislaufforsch. **22**, 267 (1955). — HORT, W.: Quantitative Untersuchungen über die Capillarisierung des Herzmuskels im Erwachsenen- und Greisenalter, bei Hypertrophie und Hyperplasie. Virchows Arch. **327**, 560 (1955). — ILINSKAJA, S.: Über den Gefäßumbau des Herzens bei alten Myocardinfarkten. Ref. Ber. path. Anat. **26**, 226 (1955). — KARSNER, H. T.: Human pathology. Philadelphia and London. J. B. Lippincott Company 1931. — KÖNIGER, H.: Arbeiten aus dem pathologischen Institut zu Leipzig 1903. Zit. nach NAGAYO. — KRETZ, J.: Über die Bedeutung der Venae minimae Thebesii für die Blutversorgung des Herzmuskels. Virchows Arch. **266**, 647 (1927). — LEVINE, H. D., and R. V. FORD: Subendocardial infarction: Report of six cases and critical survey of the literature. Circulation (New York) **1**, 246 (1950). — LEWIS, F. T.: The question of sinusoids. Anat. Anz. **25**, 261 (1904). — LINZBACH, A. J.: Das ökonomische Prinzip in der Sauerstoffversorgung der Nieren, des Herzens und der Stützgewebe. Z. inn. Med. **2**, 144 (1947). — Mikrometrische und histologische Analyse hypertrophiierter menschlicher Herzen. Virchows Arch. **314**, 534 (1947). — Die Muskel-

faserkonstante und das Wachstumsgesetz der menschlichen Herzkammern. Virchows Arch. **318**, 575 (1950). — MERKEL, H., u. G. VOSS: Die Verteilung der Ventrikelmuskulatur auf das Kammerseptum des Herzens. Verh. dtsch. path. Ges. **39**, 238 (1956). — MÜLLER, W.: Die Massenverhältnisse des menschlichen Herzens. Hamburg u. Leipzig: Leopold Voss 1883. — NAGAYO, M.: Zur normalen und pathologischen Histologie des Endocardium parietale. Beitr. path. Anat. **45**, 283 (1909). — OHEIM, L.: Herzmuskelveränderungen bei Diphtherie, ihre zeitliche Aufeinanderfolge und topographische Verteilung. Beitr. path. Anat. **100**, 195 (1938). — PIRANI, C. L., and J. G. SCHLICHTER: Subendocardial myocardial infarct. Ann. Int. Med. **25**, 847 (1946). — ROBERTS, J. T., and J. T. WEAM: Quantitative changes in the capillary-muscle relationship in human hearts during normal growth and hypotrophy. Amer. Heart J. **21**, 617 (1941). — UNGER, K.: Beitrag zur Kenntnis der Venae cordis minimae (Thebesii) des menschlichen Herzens. Z. Anat. **108**, 356 (1938). — WEARN, J. T.: The role of the Thebesian vessels in the circulation of the heart. J. of Exper. Med. **47**, 273 (1928). — The extent of the capillary bed of the heart. J. of Exper. Med. **47**, 293 (1928).

Dr. ARNO HECHT, Pathologisches Institut der Humboldt-Universität,
Rudolf Virchow-Haus der Charité, Berlin N 4, Schumannstr. 20—21