

Aus der Pathologisch-Anatomischen Abteilung des Städtischen Krankenhauses  
Am Urban in Berlin (Leiter: Prof. Dr. A. J. LINZBACH).

## **Morphologische Untersuchungen an Herzen vor, während und nach der postnatalen Kreislaufumschaltung.**

Von

**WALDEMAR HORT.**

Mit 1 Textabbildung.

*(Eingegangen am 26. Oktober 1954.)*

### **A. Einführung und Aufgabenstellung.**

Während der Herzentwicklung gibt es 2 besonders interessante Epochen: Die erste liegt in der frühen Embryonalzeit, in der sich aus der paarigen Herzanlage das 4kammerige Herz entwickelt, die zweite folgt auf die Geburt. Diese letztere Epoche hat viel weniger als die erste mit ihrem komplizierten Entwicklungsgang und ihren mannigfachen Mißbildungen die Neugierde der Morphologen erregt, und deshalb sind die Untersuchungen über diesen Entwicklungsabschnitt spärlich. Die Ergebnisse und Deutungen widersprechen sich teilweise.

Es ist Aufgabe dieser Arbeit, über Veränderungen der Muskulatur der menschlichen Herzkammern während der letzten Embryonalmonate und vor allem im Zusammenhang mit der postnatalen Kreislaufumschaltung zu berichten. Besonders eingehend sollen die Veränderungen der Muskelmasse der rechten Herzkammer untersucht werden. Über vergleichende Untersuchungen an Katzenherzen wird berichtet, um eine breitere Grundlage zu schaffen. Abschließend soll versucht werden, aus den ermittelten anatomischen Daten einige Schlüsse auf die Physiologie des Kreislaufes beim Feten in der letzten Zeit der Schwangerschaft und in der Neugeborenenperiode zu ziehen, denn physiologische Daten über diesen Entwicklungsabschnitt gibt es kaum.

### **B. Material und Methoden.**

Untersucht wurden formalinfixierte Herzen, die in der Regel einige Wochen oder Monate in starker Lösung (ein Teil Formalin auf 3 Teile Wasser) aufgehoben worden waren. Die Herzen waren bis auf wenige Ausnahmen bereits in der üblichen Weise sezert<sup>1</sup>.

Bearbeitet wurden sämtliche zur Verfügung stehenden Herzen ohne Herzfehler. Die insgesamt 130 Herzen verteilen sich auf folgende Altersklassen:

<sup>1</sup> Für die Überlassung zahlreicher Kinderherzen danke ich den Herren Prof. DOERR, KETTLER und W. R. MEYER, den Herren Prosektoren Dr. KOLB und Dr. PLENKE sowie besonders Herrn Dr. GRIEPENTROG, für die Überlassung mehrerer Krankengeschichten Frau Chefärztin Dr. KUJATH.

Frühgeborene . . . . .	21
Ausgetragene Neugeborene . . . . .	28
Säuglinge im Alter von 2 Tagen . . . . .	6
Säuglinge im Alter von 4—9 Tagen . . . . .	14
Säuglinge im Alter von 10—30 Tagen . . . . .	11
Säuglinge im 2. Lebensmonat . . . . .	11
Säuglinge im 3. Lebensmonat . . . . .	11
Säuglinge im 4. Lebensmonat . . . . .	11
Säuglinge im 5. Lebensmonat . . . . .	5
Säuglinge im 6. Lebensmonat und älter . . . . .	12

Die hier und später als Frühgeborene und Neugeborene bezeichneten Kinder kamen entweder tot zur Welt oder starben am 1. Lebenstag.

Die Herzen wurden nach der MÜLLERSchen Methode seziiert: Die Vorhöfe und großen Gefäße wurden an der Kammerbasis abgetrennt und das Gewicht der Kamtermuskulatur bestimmt. Stets wurde der freie Anteil der Muskulatur der rechten Herzkammer abgetrennt und gewogen, bei einer Reihe von Herzen auch der freie Anteil der linken. Vor dem Wiegen wurden die Herzen erst eine Zeitlang gewässert. Die Wägungen wurden durchgeführt, wenn sich keine Flüssigkeit mehr von den Herzen abschütteln ließ. Durch diese Vorbehandlung ändert sich das Herzgewicht — verglichen mit dem Gewicht bei der Sektion — nur ganz unwesentlich, wie früher an Herzen von Erwachsenen gezeigt wurde [Virchows Arch. **323**, 223 (1953)]. Weitere spezielle Untersuchungsmethoden sind bei den einzelnen Fragestellungen angegeben.

Zur statistischen Berechnung wurden folgende Formeln verwendet: Die Streuung um den Mittelwert wurde berechnet nach der Formel:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum p \cdot a^2}{n - 1}}.$$

Die Frage, ob die Mittelwerte zweier Meßreihen statistisch gesichert voneinander abweichen, wurde mit Hilfe der Formel geprüft:

$$\sigma_d = \sqrt{\frac{\sigma_1}{n_2} + \frac{\sigma_2}{n_1}}. \quad (\text{Vgl. KOLLER})$$

Es bedeuten:

$\sigma$  = Streuung um den Mittelwert

$p$  = Häufigkeit einer Klassengröße

$a$  = Abweichung vom Mittelwert

$n$  = Zahl der untersuchten Fälle

Indices 1 bzw 2 = 1. bzw. 2. Meßreihe

$D$  = Differenz der Mittelwerte beider Meßreihen.

Die zur statistischen Sicherung für die jeweilige Anzahl der untersuchten Fälle notwendigen Vielfachen von  $\sigma_d$  sind bei den einzelnen Ergebnissen angeführt (s. KOLLER).

### C. Ergebnisse.

#### 1. Das rechte Herz bei Frühgeborenen und ausgetragenen Neugeborenen.

Einigkeit herrscht darüber, daß die Muskulatur beider Herzkammern bei Feten und Neugeborenen im Gegensatz zum Erwachsenen ungefähr dieselbe Wanddicke hat. Unterschiedliche Angaben bestehen jedoch über das Gewicht der Herzteile. Nach ENGEL und FALK ist bei Neugeborenen die Muskulatur der rechten Herzkammer leichter, nach WIEDEROE und PATTEN etwas schwerer als die der linken. Auch nach

W. MÜLLERS umfangreichen Messungen wiegt beim ausgetragenen Neugeborenen der freie Anteil der Muskulatur der rechten Herzkammer mehr als der der linken.

MÜLLER teilt jedoch prinzipiell das Septum so auf, daß er (annähernd) 30% des Gewichtes der rechten, den Rest der linken Kammermuskulatur zuschlägt. Nach dieser Rechnung würde bei seinen Neugeborenenherzen die gesamte Muskulatur der rechten Herzkammer weniger als die der linken wiegen. Im Gegensatz zu MÜLLER halten wir es für richtig, das Gewicht des Kammerseptums stets proportional dem Gewicht der freien Anteile der Kammermuskulatur aufzuteilen, wie auch DÜLL es tat. Für relative Angaben kann man sich die Berechnung sparen und vergleicht einfach das Gewicht der freien Anteile der Muskulatur beider Herzkammern miteinander.

Nach THAONS Untersuchungen an formolfixierten Herzen von Frühgeburten ist die Muskulatur der linken Herzkammer schwerer als die der rechten. Nach FALK soll in den beiden letzten Schwangerschaftsmonaten das Gewicht beider Herzhälften annähernd dasselbe sein. Nach MÜLLERS Angaben wiegt bei Embryonen bis zu 1000 g Körpergewicht der freie Anteil der Muskulatur der rechten Herzkammer etwa so viel wie der der linken, bei schwereren Feten überwiegt das Gewicht der rechten Kammermuskulatur.

Bei den eigenen Untersuchungen wurde das Alter der Frühgeburten nach der Körperlänge mit Hilfe des Schemas von HAASE und STÖCKEL (s. BOENIG, S. 110) bestimmt. Die arithmetischen Mittelwerte sind in Tabelle 1 eingetragen.

Tabelle 1. *Herzgewichte in den letzten Schwangerschaftsmonaten.*

Alter	Anzahl	Körpergewicht g	Körperlänge cm	Kammermuskulatur g	Rechte Kammer	
					g	%
8. Monat	7	1160	38	5,52	1,79	$32,2 \pm 2,0$
9. Monat	10	1640	43	7,50	2,76	37
10. Monat	3	2080	47	8,38	2,9	34
Ausgetragene Neugeborene (48—56 cm)	28	3260	52	14,8	5,67	$38,4 \pm 3,5$

Erklärung der Abkürzungen: Rechte Kammer g = Gewicht des freien Anteils der Muskulatur der rechten Herzkammer in Gramm. Rechte Kammer % = Relatives Gewicht des freien Anteils der rechten Kammermuskulatur, in Prozent vom Gewicht der gesamten Kammermuskulatur berechnet.

Aus den Untersuchungen folgt: Die Muskulatur der rechten Herzkammer ist im 8. Embryonalmonat relativ leicht, bei ausgetragenen Neugeborenen dagegen relativ schwer. Diese Differenz ist statistisch gesichert ( $D = 4,5 \cdot \sigma_d$ , zur Sicherung notwendig sind  $3,2 \cdot \sigma_d$ ). Im 9. Schwangerschaftsmonat liegt nach unseren Messungen das relative Gewicht der rechten Kammermuskulatur im Durchschnitt nur wenig unter dem bei ausgetragenen Neugeborenen. Die niederen Zahlen für

den 10. Schwangerschaftsmonat haben wegen der geringen Zahl der Beobachtungen kein großes Gewicht.

Den obigen Berechnungen liegen alle Herzen — unabhängig vom Geschlecht der Kinder — zugrunde, denn in den Massenverhältnissen der Kammermuskulatur ergaben sich bei Knaben und Mädchen keine verwertbaren Unterschiede bei Frühgeborenen, ausgetragenen Neugeborenen und Säuglingen. So beträgt beispielsweise bei den untersuchten ausgetragenen Neugeborenen das relative Gewicht vom freien Anteil der rechten Kammermuskulatur für 16 Knaben im Durchschnitt 39%, für 9 Mädchen 38,6%.

Die Messungen an den Herzen von ausgetragenen Neugeborenen werfen die Frage auf, ob bei ihnen die Muskulatur der rechten Herzkammer mehr als die der linken wiegt. Deshalb wurden bei 7 Herzen die einzelnen Herzteile gesondert gewogen. Das Ergebnis findet sich in Tabelle 2.

Tabelle 2. *Gewicht der Herzteile bei ausgetragenen Neugeborenen.*

Nr.	Körpergewicht g	Kammermuskulatur g	Rechts %	Links %	Septum %
N 89	2775	10,42	40	31	28
N 87	2600	11,25	31	36	33
N 6 ♂	3375	13,65	39	29	32
S 191 ♀	3315	15,35	41	29	30
N UL ♂	3200	15,42	41	28	31
U 1152 ♀	4300	15,65	39	31	30
N 86 ♀	3375	17,06	39	25	36
Mittelwerte			38,6 ± 3,5	29,9 ± 3,4	31,4 ± 2,4

Erklärung der Abkürzungen: Rechts %, Links % = Gewicht des freien Anteils der rechten bzw. linken Kammermuskulatur in Prozent vom Gewicht der gesamten Kammermuskulatur.

Aus der Tabelle 2 geht hervor, daß der Mittelwert für das relative Gewicht des rechten Herzens bei den 7 aufgeführten Herzen sehr gut mit dem Mittelwert übereinstimmt, der für alle untersuchten ausgetragenen Neugeborenen ermittelt wurde ( $38,4 \pm 3,5$ ). Trotz der geringen Zahl von Messungen ist der Unterschied im relativen Gewicht der rechten und linken Kammermuskulatur statistisch gesichert ( $D = 5 \cdot \sigma_d$ , zur Sicherung notwendig sind  $3,8 \cdot \sigma_d$ ). Daraus geht hervor, daß die Muskulatur der rechten Herzkammer bei ausgetragenen Neugeborenen im Durchschnitt deutlich schwerer als die der linken ist. Nur selten wiegt sie, wie im 2. Fall der Tabelle 2, weniger als die der linken. Im Durchschnitt ist bei den in der Tabelle 2 mitgeteilten Fällen die Muskulatur der rechten Herzkammer um gut  $\frac{1}{5}$  schwerer als die der linken.

Bei Frühgeburten im 8. und 9. Schwangerschaftsmonat ließ sich keine Differenz im Gewicht des freien Anteils der Muskulatur beider Herzkammern sichern. Bei einem relativen Gewicht des freien Anteils

der rechten Kammermuskulatur von 32% — wie bei den untersuchten Frühgeburten im 8. Monat — ist nach unseren Messungen die Muskulatur der rechten Herzkammer ein klein wenig leichter als die der linken.

Aus den mitgeteilten Ergebnissen ziehen wir folgenden Schluß: *In den letzten 3 Schwangerschaftsmonaten wächst die Muskulatur der rechten Herzkammer stärker als die der linken und ist bei ausgetragenen Neugeborenen in der Regel deutlich schwerer als die der linken Kammer.*

## 2. Das rechte Herz bei Säuglingen.

a) Das relative Gewicht des rechten Herzens im Säuglingsalter. Die Meßergebnisse an den einzelnen Herzen von Säuglingen aus dem 1. Halbjahr sind in Abb. 1 eingetragen. Bei der Geburt ist der Mittelwert für die ausgetragenen Neugeborenen eingezeichnet. Nicht aufgeführt wurden die 6 untersuchten Herzen von den 2 Tage alten Säuglingen, bei denen sich keine signifikanten Änderungen in der Massenverteilung ergaben. Für den 1. Lebensmonat wurden nur die Messungen an ungefähr normalgewichtigen Kindern eingetragen, vom Beginn des 2. Monats ab auch die von Frühgeborenen. (Sie machen nur knapp  $\frac{1}{4}$  dieser Herzen aus). Denn vom 2. Monat ab gleichen nach unseren Messungen die relativen Gewichte des rechten Herzens bei Frühgeborenen denen von normalgewichtigen Säuglingen. Die Messungen an Frühgeborenenherzen vom 1. Lebensmonat werden im folgenden Kapitel behandelt. Nicht eingezeichnet wurden ferner die Meßergebnisse an 9 Herzen mit relativ schwerer rechter Kammermuskulatur. Bei diesen Herzen ist die Rechtshypertrophie sehr wahrscheinlich durch länger bestehende Lungenkrankungen bedingt. Darüber wird in einem besonderen Kapitel berichtet.

Von den in Abb. 1 eingetragenen 41 Säuglingen starben 15 ohne pulmonale Erkrankungen, bei 12 bestanden nur kurze Zeit (4 Tage und weniger) Lungenkrankungen, 11 waren 5 Tage und länger lungenkrank. (Bei 3 Kindern war die Krankheitsdauer nicht zu ermitteln.) Die Mittelwerte der Messungen an der rechten Kammermuskulatur liegen in den 3 Gruppen sehr dicht beisammen. Verwertbare Unterschiede ergeben sich nicht. Deshalb glauben wir, daß die Abb. 1 in guter Annäherung die physiologischen postnatalen Veränderungen im relativen Gewicht der rechten Kammermuskulatur wiedergibt.

Unseren spärlichen Messungen für den 1. Lebensmonat fügen wir die umfangreichen Meßergebnisse aus MÜLLERS Untersuchungen für diesen Zeitabschnitt hinzu.

Dies erscheint aus folgenden Überlegungen möglich: Die relativen Gewichte für die Muskulatur vom freien Anteil der rechten Herzkammer bei ausgetragenen Neugeborenen und 2 Monate alten Kindern, die den Rahmen für diese Auswahl darstellen, stimmen in unseren genügend

umfangreichen Messungen dieser Altersklassen sehr gut mit MÜLLERS Werten überein. (Für den 2. Monat errechnet man aus MÜLLERS Zahlen ein relatives Gewicht von 27%, nach eigener Messung von 26%.) Es ist anzunehmen, daß die von MÜLLER untersuchten jungen Säuglinge, obwohl sie nicht ausgewählt sind, Schlüsse auf die physiologischen Verhältnisse zulassen, denn damals — vor über 70 Jahren — starben diese jungen Kinder ohne Antibiotica und Chemotherapie sicher nach kürzerem Krankenlager als heute. Als Todesursache stehen für MÜLLERS Säuglinge in der 2. Woche die Nabelsepsis, in der 3. Darmkatarrhe, in der 4. außerdem einige Bronchopneumonien an der Spitze. Aus MÜLLERS Zahlen wurden die ungefähr normalgewichtigen Kinder herausgesucht,

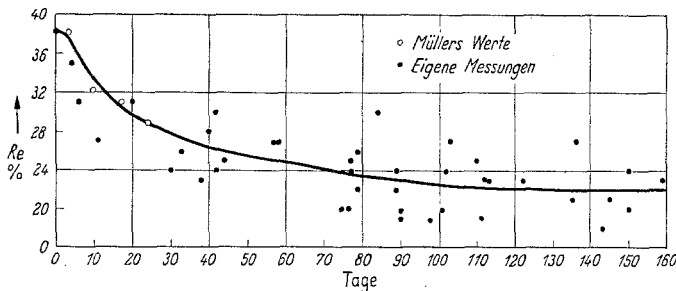


Abb. 1. Das relative Gewicht der rechten Kammerwand nach der Geburt. Re % = Gewicht des freien Anteils der rechten Kammermuskulatur, in Prozent vom Gewicht der gesamten Kammermuskulatur berechnet.

d. h. alle Herzen mit einem Kammergewicht über 10 g wurden ausgewählt. Das relative Gewicht für den freien Anteil der Muskulatur der rechten Kammer wurde errechnet und die für die ersten 4 Wochen ermittelten Durchschnittswerte wurden, besonders gekennzeichnet, in Abb. 1 eingetragen. Jedem dieser 4 Kreise entsprechen mehr als zehn Werte, im Mittel 15. Unsere wenigen eigenen Werte für den 1. Lebensmonat liegen sogar im Durchschnitt noch etwas unter den MÜLLERSchen Werten (s. Abb. 1).

Von Kindern, die älter als  $\frac{1}{2}$  Jahr wurden, standen uns 9 Herzen zur Verfügung. Eins davon wird wegen seiner Rechtshypertrophie später behandelt. Bei den anderen 8 Herzen (7 davon stammen von Kindern aus dem 2. Halbjahr, eins aus dem 2. Lebensjahr) stimmt das relative Gewicht vom freien Anteil der Muskulatur der rechten Herzkammer (Mittelwert  $21\% \pm 2,5$ ) gut mit den Werten für die vorhergehenden Monate überein.

Aus der Abb. 1 folgt: In den ersten Wochen nach der Geburt fällt das relative Gewicht des rechten Herzens rasch, dann allmählich ab. Schon im 2. Monat ergeben sich für die rechte Kammermuskulatur des Säuglings angenähert die gleichen und ungefähr mit dem Ende des 1. Vierteljahren dieselben Massenverhältnisse wie für das Herz des Erwachsenen.

Aus den Untersuchungen von RÖSSLE und DÜLL läßt sich nämlich errechnen, daß ein relatives Gewicht des freien Anteils der rechten Herzkammer von etwa 23% als physiologisch für den Erwachsenen gelten kann. Bei dieser Massenverteilung wiegt die Muskulatur der rechten Herzkammer in guter Näherung halb so viel wie die der linken.

Nach WIDEROE ist die Massenverteilung der Muskulatur beider Herzkammern im 2. Lebenshalbjahr, nach MÜLLER erst im 2. Lebensjahr dieselbe wie beim Erwachsenen. Die Differenzen zu unseren Angaben erklären sich vielleicht daraus, daß die Autoren für die Ermittlung dieser physiologischen Daten auch pathologische Herzen mit verwertet haben, MÜLLER z. B. für die Werte bei Erwachsenen.

b) Das absolute Gewicht des rechten Herzens im Säuglingsalter. Die schnell nachweisbare relative Gewichtsabnahme des rechten Herzens nach der Geburt läßt daran denken, daß dieser Herzteil vorübergehend auch absolut leichter wird. Eine solche Behauptung hat bisher unseres Wissens nur MÜLLER aufgestellt.

Um seine Aussage zu prüfen, haben wir aus seinen Zahlen alle Kinder der 1. Lebenswoche denen aus dem 2. Monat gegenübergestellt. Es ergaben sich folgende Werte:

Tabelle 3.

Alter	Anzahl	Kammer- muskulatur g	Rechte Kammer	
			g	%
1. Woche	30	11,5	4,15	36
2. Monat	28	12,2	3,27	27

Erklärung der Abkürzungen: Siehe Tabelle 1.

Dazu ist kritisch zu bemerken: MÜLLERS Tabellen enthalten all die vielen von ihm untersuchten Herzen, unabhängig vom Gewicht der Kinder. So ist beispielsweise die Zunahme des Kammergewichtes für die Kinder im 2. Lebensmonat deutlich zu gering für das Lebensalter. Selbst wenn man davon absieht, daß diese Werte kaum miteinander zu vergleichen sind, läßt sich aus den angeführten Zahlen die Behauptung MÜLLERS bei statistischer Nachprüfung nicht belegen ( $D$  ist nur gut 2mal größer als  $\sigma_d$ ).

Die eigenen Untersuchungen wurden an frühgeborenen und normalgewichtigen Neugeborenen durchgeführt.

Bei den *Frühgeburten* standen uns 12 Herzen von 4—9 Tage alten Kindern zur Verfügung. Von diesen stammen 11 von 36—43 cm großen Kindern, eins von einem 46 cm langen (bei diesem wog der freie Anteil der rechten Kammermuskulatur 29% vom Gewicht der gesamten Kammermuskulatur).

Um ein möglichst einheitliches und vergleichbares Untersuchungsgut zu haben, stellten wir diese 11 Frühgeborenen im Alter von 4—9 Tagen den bei der Geburt oder am 1. Lebenstage verstorbenen Frühgeburten mit derselben Körperlänge gegenüber. Die Mittelwerte der Geburts-

gewichte und Körpergröße stimmen in beiden Gruppen gut überein. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 eingetragen.

Aus der Tabelle 4 ersieht man, daß sich schon 1 Woche nach der Geburt bei den untersuchten Frühgeborenen eine Verschiebung der Massenverhältnisse der Muskulatur beider Herzkammern nachweisen läßt: Das rechte Herz ist zu dieser Zeit relativ leichter als bei der Geburt (27,9 gegen 34,6%). Diese Differenz ist statistisch gesichert ( $D = 5,4 \cdot \sigma_d$ , zur Sicherung notwendig  $3,4 \cdot \sigma_d$ ). Der Vergleich der absoluten Zahlen ergibt, daß sich in beiden Gruppen die Gewichte von Kammerseptum

Tabelle 4. Wägungen an Frühgeborenenherzen.

Nr.	Alter Tage	Körpergewicht		Körper- länge cm	Kammer- muskulatur g	Rechte Kammer	
		Geburt g	Tod g			g	%
N 21 ♂	4	1120	925	36	4,38	1,21	28
N 26 ♂	4	1400	1175	40	5,88	1,72	29
W 92 ♀	5	1500	1050	40	5,60	1,67	30
N 85	5	1900	1525	40	6,61	2,01	30
W 118 ♂	6	1420	1110	42	5,93	1,68	28
N 79 ♂	6	1820	1450	43	6,40	1,81	28
N 24 ♂	6	1770	1365	42	6,36	1,64	26
U 1095 ♀	7	1450	1070	41	5,40	1,45	27
N 76 ♀	8	1250	1000	40	4,78	1,25	26
N 38 ♀	9	1780	1485	43	7,25	1,82	27
N 42 ♀	9	1300	1115	41	7,27	2,13	29
Mittelwerte	6	1520	1205	40,7	5,99	1,67	27,9
Totgeborene (13)		1400		40,5	6,58	2,28	34,6

Erklärung der Abkürzungen: Siehe Tabelle 1.

und freiem Anteil der Muskulatur der linken Kammer praktisch gleichen (4,30 bzw. 4,32 g). Dagegen weichen die Gewichte des rechten Herzens stärker voneinander ab. Die absolute Gewichts-differenz läßt sich statistisch wegen der recht großen Streuung nicht ganz sichern. ( $D = 3 \cdot \sigma_d$ , zur Sicherung notwendig  $3,4 \cdot \sigma_d$ ). Da aber bei gleichem mittleren Gewicht der übrigen Herzteile das rechte Herz bestimmt relativ leichter geworden und da die absolute Gewichtsabnahme statistisch wahrscheinlich ist, können wir zunächst sagen:

*Bei den untersuchten Herzen der durchschnittlich 6 Tage alten Frühgeborenen ist das rechte Herz leichter als bei der Geburt, das linke ungefähr gleich schwer.*

Zur Beantwortung der Frage, ob dieses Ergebnis für Frühgeborene im allgemeinen gilt, sind die Todesursachen wichtig. Bei den meisten der im Alter von 4—9 Tagen verstorbenen Neugeborenen (8 von 11) war ein erheblicher Kernikterus der wesentlichste pathologische Befund. Bei 2 Kindern war — außer der Unreife — kein pathologischer Befund zu erheben, das letzte starb an einer hämorrhagischen Pneumonie. Wir



halten es für wahrscheinlich, daß die Gewichtsabnahme des rechten Herzens nicht mit den Erkrankungen dieser Kinder zusammenhängt.

Von den übrigen 6 Frühgeburten aus dem 1. Lebensmonat starben 4 im Alter von 14, 14, 23 und 28 Tagen, und zwar als lebensschwache Frühgeburten (2), an Enteritis oder Pneumonie. Bei diesen stimmt das relative Gewicht vom freien Anteil der rechten Herzkammer (29, 26, 28, 32%) ungefähr mit dem für die 4—9 Tage alten Kinder ermittelten Wert überein. Die beiden übrigen Kinder werden wegen ihrer schweren rechten Herzen weiter unten gesondert behandelt.

Bei den *normalgewichtigen Säuglingen* wurden wegen der wenigen eigenen Zahlen für die ersten 4 Lebenswochen von den 1—2½ Monate alten Kindern alle diejenigen herausgesucht, die anfänglich gut gediehen und nach sehr kurzem Krankenlager starben. Diesen Kindern wurden alle ausgetragenen Neugeborenen gegenübergestellt, deren Körpergewicht zwischen den extremen Geburtsgewichten der 5 Säuglinge liegt. Das Ergebnis zeigt Tabelle 5.

Tabelle 5. *Herzgewichte bei nach kurzer Krankheit gestorbenen Säuglingen.*

Nr.	Alter Tage	Körpergewicht		Kammer- muskulatur g	Rechte Kammer g	Todesursache (Krankheitsdauer in Tagen)
		Geburt g	Tod g			
N 110 ♂	30	3000	2775	13,45	3,27	Pneumonie (1)
N 30 ♂	36	3200	3210	13,00	2,68	Asphyxie nach Nah- rungsaufnahme (5 Std)
H 3 ♀	39	3750	3660	18,36	4,24	Sinusthrombose (1/2)
W 211 ♂	49	2650	3725	14,6	3,65	Bronchopneumonie (1)
U 940 ♂	76	3625	4700	20,75	4,19	Enteritis, Bronchitis (1)
Mittelwerte		3250	3615	16,05	3,61	
Neugeborene (16)		3200		14,00	5,40	

Erklärung der Abkürzungen: Siehe Tabelle 1.

Die beiden Gruppen sind gut miteinander vergleichbar, denn die durchschnittlichen Geburtsgewichte liegen sehr dicht beieinander. (Bei den plötzlich verstorbenen Säuglingen kam ein Mädchen auf alle 5 Kinder, bei den zum Vergleich herangezogenen Neugeborenen kamen 5 auf 16.) Aus der Tabelle 5 folgt, daß die absoluten Gewichte des rechten Herzens in beiden Gruppen mit Sicherheit voneinander verschieden sind. ( $D = 4,85 \cdot \sigma_d$ , zur Sicherung notwendig:  $3,4 \cdot \sigma_d$ ).

Im allgemeinen wird die Gewichtsabnahme der rechten Kammermuskulatur nach der Geburt etwas geringer sein als bei den angeführten Säuglingen, die weniger als der Durchschnitt ihrer Altersgenossen an Gewicht zugenommen haben. Dies zeigen auch folgende Überlegungen: ADAM hat in umfangreichen Messungen die physiologischen Körpergewichte für junge Säuglinge und Kinder ermittelt. MÜLLER fand, daß

schon in den ersten Lebensmonaten das relative Herzgewicht etwas absinkt. Für Knaben und Mädchen im Alter von 1 Monat und 7 Tagen steigt, bei durchschnittlichem Geburtsgewicht von 3200 g, das Körpergewicht im Mittel auf 4000 g. Das relative Herzgewicht fällt nach MÜLLER in dieser Zeit um gut 5%, das relative Gewicht des freien Anteils der rechten Kammermuskulatur beträgt bei Kindern dieser Altersklasse nach unseren Messungen 26%. Daraus folgt, daß zu dieser Zeit das rechte Herz um  $\frac{1}{5}$  — d. h. um gut 1 g — leichter als bei der Geburt ist. Fünf Monate alte Kinder haben nach ADAM ihr Geburtsgewicht verdoppelt, das relative Herzgewicht ist nach MÜLLER um etwa 15% gesunken. Bei einem relativen Gewicht des freien Anteils der rechten Kammermuskulatur von 22% ist bei diesen Kindern das Geburtsgewicht des rechten Herzens ungefähr erreicht.

Aus den angeführten Untersuchungen, Messungen und Berechnungen folgt: *Bald nach der Geburt kommt es zu einer vorübergehenden physiologischen Atrophie der Muskulatur der rechten Herzkammer. Bei normaler Entwicklung ist zu Anfang des 2. Lebensmonates das rechte Herz etwa  $\frac{1}{5}$  leichter als bei der Geburt und erreicht erst gegen Ende des 1. Lebenshalbjahres sein Ausgangsgewicht wieder.*

**c) Säuglingsherzen mit Rechtshypertrophie.** Wir stellen zunächst die Anamnesen und wesentlichsten Befunde aller Säuglinge mit schweren rechten Herzen zusammen. Die Abkürzung  $Re = \dots\%$  bedeutet: Relatives Gewicht vom freien Anteil der rechten Kammermuskulatur in Prozent vom Gewicht der gesamten Kammermuskulatur. Aufgeführt sind die Säuglinge des 1. Monats — vom 10. Tage an — mit  $Re > 33\%$ , vom 2. Monat an mit  $Re > 30\%$ .

*Fall 1.* ♂, 15 d (d = Tage), 1575 g, starb als lebensschwache Frühgeburt.  $Re = 37\%$ .

*Fall 2.* ♀, 19 d, 1850 g, Frühgeburt, starb nach 5tägiger Bronchopneumonie.  $Re = 40\%$ .

*Fall 3.* ♂, 14 d, 2550 g, starb nach 3tägiger Bronchopneumonie.  $Re = 38\%$ .

*Fall 4.* ♂, 27 d, 2100 g, Wolfsrachen. Starb an Aspirationspneumonie, der wegen dieser Mißbildung vermutlich schon andere Pneumonien vorausgingen.  $Re = 37\%$ .

*Fall 5.* ♂, 7 Wochen, 4520 g, starb an 5 Wochen dauernder Bronchopneumonie.  $Re = 37\%$ .

*Fall 6.* ♀, 12 Wochen, 3210 g. Seit 5 Tagen vor dem Tode war eine Bronchopneumonie bekannt, einen Tag ante finem wurde ein Pleuraempyem diagnostiziert.  $Re = 36\%$ .

*Fall 7.* ♀, 12 Wochen, 4375 g. Das Kind verstarb bei der Aufnahmeuntersuchung im Krankenhaus. Zu Haus war es nicht in ärztlicher Behandlung. Bei der Sektion fand sich als auffälligster Befund ein starkes Emphysem beider Lungen, im histologischen Präparat möglicherweise Reste einer alten Pneumonie. Wir glauben sicher, daß das Emphysem bei dem Kinde schon längere Zeit bestand.  $Re = 38\%$ .

*Fall 8.* ♀,  $3\frac{3}{4}$  Monate, 4700 g. 10 Tage vor dem Tode begann ein grippaler Infekt mit schleimiger Bronchitis und peribronchialer Pneumonie.  $Re = 35\%$ .

*Fall 9.* ♂, 6 Monate, 5250 g. Das Kind litt seit  $\frac{1}{4}$  Jahr an therapieresistenten rezidivierenden Bronchitiden. Re = 45%.

Von diesen 9 Kindern waren 7 fünf Tage und länger lungenkrank, von den 46 übrigen Kindern derselben Altersklasse, bei denen eine genaue Anamnese zu erheben war, aber nur 11 (17 starben ohne pathologische Lungenbefunde). Von den 9 Säuglingen wird lediglich bei dem 2. Kind der Ductus arteriosus als noch offen hervorgehoben. Man darf nach diesen Zahlenvergleichen einen ursächlichen Zusammenhang zwischen der Rechtshypertrophie und den länger dauernden Lungenkrankheiten dieser Kinder als gesichert annehmen.

Es haben jedoch 11 Säuglinge, die ebenfalls länger als 5 Tage an einer schweren Lungenerkrankung litten, keine Rechtshypertrophie. Eine einfache Erklärung für diesen Unterschied läßt sich aus den klinischen und pathologischen Befunden nicht herleiten.

Bei dem 2., 6. und 8. Kind waren die Lungenerkrankungen erst 5 bzw. 10 Tage lang vor dem Tode bekannt. Bei diesen Säuglingen war das rechte Herz etwa um die Hälfte schwerer als im Durchschnitt bei ihren Altersgenossen. Daraus ziehen wir den Schluß, daß sich *schon in etwa 1 Woche beim jungen Säugling eine beträchtliche Herzhypertrophie entwickeln kann.* (Möglicherweise ging es bei dem 3. Kind noch schneller.)

Bei Jugendlichen und Erwachsenen dauert es nach LINZBACHs Sektionserfahrungen an Nephritiskranken mindestens 2—3 Wochen bis zur Entwicklung einer Herzhypertrophie. SCHOENMAKERS hat darauf hingewiesen, daß bei Jugendlichen auch die Blutgefäße schneller und stärker bei erhöhter Belastung hypertrophieren als bei Erwachsenen.

### 3. Das linke Herz bei ausgetragenen Neugeborenen und jungen Säuglingen.

Mitgeteilt werden einige Musterfälle. Die Säuglingsherzen stammen von normalgewichtigen Kindern, die zunächst gut gediehen und nach kurzer Krankheit starben. Lediglich das letzte Kind litt längere Zeit an einer Bronchopneumonie, nahm aber unter Penicillintherapie gut an Gewicht zu.

Aus der Tabelle 6 folgt, daß die Muskulatur der linken Herzkammer schon bald nach der Geburt schwerer wird. *Die Gewichtszunahme erfolgt in der frühen Säuglingszeit rasch und deutlich schneller als die Zunahme des Körpergewichtes.*

Diese Differenz im relativen Gewicht der linken Kammermuskulatur ist für die letzten 4 Säuglinge gegenüber den Neugeborenen statistisch gesichert. ( $D = 5,9 \cdot \sigma_d$ , zur Sicherung notwendig  $3,9 \cdot \sigma_d$ )<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Vergleicht man das Wachstum beider Kammerwände, so sieht man: *Die Muskulatur der rechten Kammer wächst im frühen Säuglingsalter negativ, die der linken positiv allometrisch* (d. h. langsamer bzw. schneller als der Organismus).

Tabelle 6. *Das Wachstum der Muskulatur der linken Herzkammer bei jungen Säuglingen.*

Nr.	Alter	Körpergewicht		Kammergewicht g	Linke Kammer	
		Geburt g	Tod g		g	‰
	Neugeborenen (10)	3400		14,97	4,31	1,28 ± 0,17
U 82 ♀	11 Tage	3200		13,37	4,97	
N 110 ♂	30 Tage	3000	2775	13,45	5,40	1,9
H 3 ♀	38 Tage	3750	3660	18,36	8,12	2,2
U 940 ♂	2½ Monate	3625	4700	20,75	8,18	1,7
N 33 ♂	2½ Monate	2630	4475	17,55	8,35	1,9

Erklärung der Abkürzung: Linke Kammer ‰ = Gewicht des freien Anteils der linken Herzkammer in Promille vom Körpergewicht.

#### 4. Trockengewichtsbestimmungen.

Es wäre denkbar, daß die Gewichtsabnahme der Muskulatur der rechten Herzkammer allein oder überwiegend durch Wasserverlust bedingt ist. Deshalb wurden Trockengewichtsbestimmungen durchgeführt. Die fein zerkleinerten Herzteile lagen bei Temperaturen zwischen 100 bis 105° C so lange im Brutschrank, bis ihr Gewicht konstant blieb.

Bei insgesamt 7 untersuchten Herzen (2 von Neugeborenen, 5 von 1 Woche bis 2½ Monate alten Säuglingen) war vor und nach dem Trocknen das relative Gewicht der Muskulatur des freien Anteils der rechten Herzkammer praktisch dasselbe. (Die durchschnittliche Abweichung in beiden Meßreihen liegt mit 3 % innerhalb der Fehlergrenze.) Daraus folgt, daß die Gewichtsabnahme der Muskulatur des rechten Herzens nach der Geburt mit einem entsprechenden Trockengewichtsverlust einhergeht.

Was geht nun verloren? Gehen ganze Muskelfasern zugrunde oder werden nur Teile von ihnen abgebaut? Diese Frage soll durch die folgenden mikroskopischen Untersuchungen beantwortet werden.

#### 5. Mikroskopische Untersuchungen.

a) **Qualitative Untersuchungen.** Von den im folgenden Abschnitt näher beschriebenen quantitativ untersuchten Herzen von jungen Säuglingen wurden Längsschnitte (Gefrier- oder Gelatineschnitte) angefertigt und mit Hämatoxylin, zum Teil auch mit Fettfarbstoffen gefärbt. In keinem der Schnitte ergab sich ein sicherer Anhalt für Faseruntergänge. Zu demselben Ergebnis kam BOELLAARD.

b) **Quantitative Untersuchungen. Methode.** Kleine, aus der Mitte der Wand der rechten und linken Herzkammer herausgeschnittene Stückchen, das eine parallel zur Herzbasis, das andere senkrecht dazu, wurden in Gelatine nach der Methode von GASKELL in der Modifikation von GRÄFF eingebettet (s. ROULET, S. 110). 10 µ dicke Gefrierschnitte wurden hergestellt und die Präparate mit Hämatoxylin und — gut ½ Std lang — mit verdünntem Eosin gefärbt, das noch 1,5 % Alkohol

enthielt. Wir glauben sicher, daß diese geringe Alkoholkonzentration keine Schrumpfung mehr an den Präparaten bewirkt. An den nur mit Wasser eingedeckten Schnitten wurden bei Ölimmersion mit dem Okularmikrometer die kleinsten Durchmesser der quergetroffenen, kernhaltigen, meist nur angenähert runden Fasern gemessen. Ähnlich arbeitete auch BOELLAARD (seine Schnitte stammen aber von der Ausflußbahn der rechten Herzkammer dicht unterhalb der Semilunarklappen). Bei den Schnitten parallel zur Herzbasis kamen zur Messung Fasern in der Innen- und Außenschicht, bei den Schnitten senkrecht dazu Fasern aus der Mitte der Muskelwand in Frage. Jedem in der Tabelle 7 angeführten Mittelwert liegen im Durchschnitt 250 Messungen zugrunde.

Aus den Untersuchungen folgt: *Bei Neugeborenen sind die Muskelfasern der rechten Kammerwand etwas dicker als die der linken.* Dieser Befund stimmt gut mit den Wägungen der einzelnen Herzteile überein. *Bei jungen Säuglingen sind die Muskelfasern der rechten Kammerwand etwas dünner, die der linken etwas dicker als bei den zum Vergleich untersuchten Neugeborenen.* Die Gewichtsabnahme der Muskulatur der rechten Herzkammer nach der Geburt geht also mit einer Verkleinerung ihrer Muskelfasern einher. Vielleicht werden die Muskelfasern dabei auch kürzer (durch den Abbau ganzer Muskelfächer?). Darüber läßt sich jedoch mit der angewandten Methode keine sichere Aussage machen. Auch phasenkontrastmikroskopische Untersuchungen führten nicht weiter.

Eine Verdünnung der Muskelfasern der rechten Kammerwand nach der Geburt stellte auch BOELLAARD fest. Leider fehlen bei ihm Angaben über die Herzgewichte. Unsere Mittelwerte für die Muskelfaserdurchmesser der Herzen von ausgetragenen Neugeborenen (rechts  $7\frac{1}{2}$ — $8\mu$ , links  $6\frac{1}{2}$ — $7\frac{1}{2}\mu$ ) liegen deutlich über BOELLAARDS Werten, der  $4$ — $6\mu$  angibt. Dagegen stimmen unsere Messungen gut mit den wenigen Werten überein, die ASHLEY sowie WENDT und HESSE ermittelten. Bei unseren Untersuchungen ergaben sich keine verwertbaren Unterschiede in der Muskelfaserdicke in den verschiedenen Faserschichten des Herzens.

Die mitgeteilten Meßwerte stehen in guter Übereinstimmung mit dem von LINZBACH aufgezeigten Herzwachstumsgesetz, nach dem sich die Herzmuskelfasern nach der Geburt bis zum kritischen Kammergewicht nicht mehr vermehren. Die ermittelten Faserdurchmesser unserer Neugeborenenherzen liegen allerdings etwas über dem theoretisch erwarteten Wert. Dies mag zum Teil an den Fehlerquellen der angewandten Meßmethoden liegen.

#### 6. Planimetrische Untersuchungen.

Die Gewichtsverminderung der rechten Herzkammerwand nach der Geburt geht, wie zahlreiche Messungen mit der Schublehre bestätigten, mit einer Verdünnung der Wand einher. Diese Wandverdünnung stellte bereits BOELLAARD an totenstarren, formalinfixierten Herzen fest und zog daraus den Schluß, daß es bald nach der Geburt zu einer Dilatation der rechten Herzkammer komme.

Tabelle 7. Mikrometrische und planimetrische Messungen.

Nr.	Alter	Körpergewicht		Kammergewicht	Rechte Kammer			Linke Kammer			SR	SL
		Geburt	Tod		g	cm <sup>2</sup>	$\mu$	g	cm <sup>2</sup>	$\mu$		
S 423 ♂	Frühgeburt mens 8	1400		5,57	1,86	5,81		1,89	5,65		2,84	2,50
S 142 ♀	Frühgeburt mens 8	1500		7,38	2,22	6,38		2,98	6,76		4,00	4,30
N 89	Neugeboren	2775		10,42	4,22	10,06	7,9	3,23	8,27	6,7	4,7	4,2
N 6 ♂	Neugeboren	3960		13,64	5,29	12,13	7,8	4,00	8,8	6,8	5,9	5,6
N U1 ♂	Neugeboren	3200		15,42	6,32	14,77		4,25	9,37		7,0	6,9
U 1152 ♀	Neugeboren	4300		15,65	6,10	12,42	7,9	4,85	10,36	7,6	7,0	6,0
S 191 ♀	Neugeboren	3315		15,35	6,28	13,62	7,6	4,50	10,50	6,9	7,4	7,3
Mittelwert (Neugeboren)												
				14,10	5,64	12,60		4,17	9,46			
U 82 ♀	11 Tage	3200		13,37	3,60	9,88	6,4	4,97	10,68	7,1	5,1	6,0
N 110 ♂	30 Tage	3000	2775	13,45	3,27	10,80	6,5	5,40	11,62	7,5	6,7	7,1
H 3 ♀	39 Tage	3750	3660	18,36	4,24	12,25	6,8	8,12	14,84	7,7	8,0	9,0
U 940 ♂	2 1/2 Monate	3625	4700	20,75	4,19	10,95	6,4	8,18	12,10	7,3	9,0	10,6
N Le ♂	3 Monate	2600	4000	14,18	2,82	8,26		6,09	12,30		6,0	7,8
Mittelwert (Säuglinge)												
				16,02	3,62	10,4		6,55	12,31			
S 220 ♀	10 Jahre			115,0	29,0	56,3		50,0	53,4		23,0	31,5
S 196 ♂	62 Jahre			209,0	49,0	72,0		83,0	65,0			

Erklärung der Abkürzungen: Rechte Kammer = Freier Anteil der Muskulatur der rechten Herzkammer; cm<sup>2</sup> = Ausplanimetrierte Oberfläche in Quadratcentimetern;  $\mu$  = Mittlerer Muskelfaserdurchmesser; SR = Flächeninhalt der rechtsseitigen Septumoberfläche in Quadratcentimetern; SL = Flächeninhalt der linksseitigen Septumoberfläche in Quadratcentimetern.

Es fragt sich, ob in der frühen Säuglingszeit tatsächlich eine Erweiterung der rechten Kammer eintritt. An unseren bereits seziierten Herzen ließ sich das Volumen der Herzkammern nicht ermitteln. Deshalb wurde versucht, auf dem Umweg über die Bestimmung der äußeren Oberfläche der Muskulatur der Herzkammern zu einer Aussage zu kommen.

Folgende *Methode* wurde angewandt: Die Muskulatur vom freien Anteil beider Herzkammern wurde in mehrere Teilstücke zerlegt. Diese Stücke wurden von unten gegen eine aufgespannte, gewaschene Röntgenplatte gehalten und an den Rändern mit einer spitzen Nadel umfahren. Die Umrisse wurden ausplanimetriert. Es wurden bei den Kammerwänden nur die vom Epikard überzogenen Oberflächen ausgemessen. Die meisten Stückchen wurden zweimal aufgezeichnet und planimetriert. Die mittleren Abweichungen bei den verschiedenen Messungen waren mit 2% sehr gering. Dagegen haben die Messungen am Kammerseptum größere Fehlerquellen und müssen deshalb vorsichtiger bewertet werden.

Von den jungen Säuglingen wurden zur Untersuchung 5 nach kurzer Krankheit verstorbene ausgewählt. Diesen wurden 5 Neugeborene gegenübergestellt, die nach ihrem Körper- und Herzgewicht mit ihnen vergleichbar sind. Außerdem wurden 2 Herzen von Frühgeborenen untersucht, ferner eins von einem verunglückten Kind und eins von einem Erwachsenen, der an den Folgen einer Lungenentzündung verstarb. (Seine rechte Herzkammer war nicht erweitert.)

Die Meßergebnisse sind in Tabelle 6 eingetragen. Daraus folgt, daß die äußere Oberfläche der rechten Herzkammer bei den untersuchten jungen Säuglingen im Durchschnitt etwas kleiner (10,4 zu 12,6 cm<sup>2</sup>), die der linken etwas größer als bei ausgetragenen Neugeborenen gefunden wurde (12,3 zu 9,5 cm<sup>2</sup>). Für eine statistisch gesicherte Aussage ist die Zahl der Messungen zu gering. Aus diesen Untersuchungen *ergibt sich aber kein Anhalt für eine Dilatation der rechten Herzkammer in der frühen Säuglingszeit*. Am Septum sind bei Neugeborenen rechts- und linksseitige Oberfläche ungefähr gleich groß (6,4 und 6,0 cm<sup>2</sup>). Bei den jungen Säuglingen war die rechte Oberfläche des Septums nur wenig größer als bei Neugeborenen (7,0 zu 6,4 cm<sup>2</sup>), die der linken dagegen deutlich größer (8,1 zu 6,0 cm<sup>2</sup>).

Die Formalinfixierung vermindert den Durchmesser der Herzmuskelfasern praktisch nicht (vgl. SHIPLEY, SHIPLEY und WEARN). Wir halten es deshalb für wahrscheinlich, daß sich durch die Fixierung mit Formalin auch Größe und Form des totenstarren Herzmuskels nicht wesentlich ändern.

#### *7. Zur Frage der Gefügeverschiebung in der rechten Kammerwand während des physiologischen Wachstums.*

LINZBACH prägte 1947 den Begriff der „Gefügedilatation“ und zeigte, daß eine solche bei der Mehrzahl der dilatierten menschlichen Herzen vorliegt. Auch zeigte er, daß eine Verschiebung des Gefüges der Muskel-

fasern beim physiologischen Wachstum der rechten Herzkammerwand stattfindet. Er verlegte diesen Vorgang in die embryonale, BOELLAARD in die Säuglingszeit. Denn BOELLAARD fand, daß sich die Wand der rechten Herzkammer nach der Geburt stärker verdünnt als es nach der Abnahme der Muskelfaserdurchmesser zu erwarten war. Leider gibt er keine Herzwerte an. Er nimmt an, daß die Gefügeverschiebung durch eine Dilatation der rechten Herzkammer infolge eines erhöhten Schlagvolumens nach der Geburt zustande kommt.

Anhaltspunkte für eine solche Dilatation ergaben sich bei unseren Untersuchungen nicht. Deshalb fragt es sich, ob es in der frühen Säuglingszeit überhaupt zu einer Gefügeverschiebung in der rechten Kammerwand kommt. Zur Beantwortung dieser Frage seien die je 4 Herzen von Neugeborenen und jungen Säuglingen gegenübergestellt, bei denen für die rechte Kammerwand Gewicht, Wanddicke, Oberfläche und Muskelfaserdurchmesser bestimmt wurden. Es ergeben sich folgende Mittelwerte:

Tabelle 8.

Alter	Geburts- gewicht	Kammer- gewicht	Rechte Kammer				
			g	cm <sup>2</sup>	$\mu$	Wanddicke	
						berechnet mm	gemessen mm
	g	g					
Totgeborene . .	3590	13,77	5,47	12,06	7,8	4,5	4,5
Säuglinge . . .	3400	16,48	3,83	10,97	6,5	3,5	3,2

Erklärung der Abkürzungen: Siehe Tabelle 7.

Wenn die Wand der rechten Herzkammer sich nach der Geburt harmonisch verkleinerte (Modell: Reihen von neben- und hintereinandergestellten Streichhölzern = Muskelfasern, deren Höhe in einem konstanten Verhältnis zum Durchmesser steht) so müßte ihre Oberfläche deutlich kleiner (nämlich 9,5 cm<sup>2</sup>) und ihre Wand dicker sein (4 mm) als bei den jungen Säuglingen gemessen wurde. Aus dem abweichenden Verhalten geht hervor, daß in der Säuglingszeit tatsächlich eine Verschiebung des Muskelfasergefüges stattfindet, die wir folgendermaßen deuten: nach der Geburt kommt es zur physiologischen Atrophie der Muskulatur der rechten Herzkammer und ihre Muskelfasern werden dünner. Der freie Anteil der Muskulatur der rechten Kammer wird an seiner harmonischen Verkleinerung durch das zu bewältigende Schlagvolumen und durch die feste Verbindung mit dem Kammerseptum gehindert. Die Lage dieser Nahtstelle bleibt offenbar in der frühen Säuglingszeit dieselbe, denn die rechtsseitige Oberfläche ändert im Gegensatz zur linken in der frühen Säuglingszeit ihre Größe kaum. Die dünner gewordenen Muskelfasern müssen deshalb teilweise aneinander vorbeigleiten und sich neu formieren.



*So vollzieht sich in der frühen Säuglingszeit ohne Dilatation der rechten Herzkammer ein großer Teil des physiologischen Wachstumsumbaues der rechten Kammerwand. Beendet wird dieser Umbau offenbar erst später, denn bei dem untersuchten Kind und dem Erwachsenen ist die Wand der rechten Herzkammer dünner und ihre Oberfläche größer als es einem harmonischen Wachstum der ausgewählten Säuglingsherzen entspräche. Der wesentlichste Teil des Wachstumsumbaues der rechten Kammerwand findet nach der Geburt statt, die Umbauvorgänge beginnen aber wahrscheinlich schon früher.* Ein Vergleich der rechten und linken Kammerwand bei den 5 ausplanimetrierten Herzen von ausgetragenen Neugeborenen zeigt nämlich, daß beide Herzteile im Durchschnitt dieselbe Wanddicke (4,5 und 4,4 mm) haben, obwohl die Oberfläche der rechten Kammerwand erheblich größer als die der linken ist (12,6 zu 9,5 cm<sup>2</sup>). Daraus geht hervor, daß schon beim Neugeborenen die relativ dicken Muskelfasern in der rechten Kammerwand nicht ganz so tief gestaffelt sind wie in der linken. Die mitgeteilten Messungen an den beiden Herzen von Frühgeborenen lassen es möglich erscheinen, daß die Gefügeverschiebung der rechten Kammermuskulatur im Zusammenhang mit dem schnellen Wachstum der rechten Kammerwand in den letzten Schwangerschaftsmonaten beginnt.

Vergleicht man die *linke* Kammerwand bei Neugeborenen und Säuglingen, bei dem Kind und dem Erwachsenen, so läßt sich errechnen, daß die Meßwerte sehr gut mit der Erwartung übereinstimmen: *Die Wand der linken Kammer wächst von der Geburt an harmonisch. Sie bewahrt ihr Gefüge während des physiologischen Wachstums.*

#### 8. Vergleichend-anatomische Untersuchungen an Katzen.

a) **Wägungen.** Zur Untersuchung standen uns 142 bereits getötete männliche und weibliche Hauskatzen verschiedener Rassen zur Verfügung. Die meisten hatten ein weißes, schwarzes oder geflecktes Fell. Die Tiere wurden gewogen und nach der Fixation in Formalin (in starker Lösung) wurde das Gewicht der Kammermuskulatur sowie des freien Anteils der rechten Kammer bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 zusammengestellt.

Aus der Aufstellung folgt: Gleich nach der Geburt steigt das Körpergewicht der Katze annähernd kontinuierlich an. *Es gibt also beim Kätzchen, wie schon LATIMER vermutete, keinen initialen Gewichtsabfall und etwa am 10. Lebenstag ist das Geburtsgewicht verdoppelt* (RUBNER gibt den 9. Tag an).

Das Gesamtgewicht der Kammermuskulatur steigt in den ersten Lebenswochen annähernd proportional dem Körpergewicht, aber *die Muskulatur der rechten Herzkammer ändert in der ersten Lebenswoche ihr Gewicht kaum.* Das relative Gewicht dieses Herzabschnittes beträgt bei

der Geburt wie beim Menschen 38%. Schon nach ganz kurzer Zeit — nämlich nach 10 Tagen — sind aber die Massenverhältnisse der Herzteile beim Kätzchen praktisch dieselben wie bei der erwachsenen Katze<sup>1</sup>.

Ein ganz geringer Abfall im absoluten Gewicht der rechten Kammerwand findet sich bei den 4 Tage alten Tieren. Dieser Befund kann jedoch (trotz seiner statistischen Sicherung) vorgetäuscht sein durch das ziemlich niedrigere Körper- und Herzgewicht dieser Tiere.

Tabelle 9. Wägungen an Katzenherzen.

Alter Tage	Anzahl der Tiere	Körper- gewicht g	Kammer- gewicht mg	Rechte Kammer	
				mg	%
1	50	114	570	217	38
2	5	140	655	220	33
3	14	145	760	235	31
4	50	144	648	190	29
5	8	180	890	230	26
8	2	200	680	170	25
10	3	270	1290	300	23
14	3	360	1800	415	23
21	1	455	2600	550	21
Erwachsen	6		10300	2300	22

Erklärung der Abkürzungen: Siehe Tabelle I.

**b) Der Ductus arteriosus bei der Katze und seine Verödung nach der Geburt.** Der Ductus arteriosus ist bei der Katze meistens 2—3 mm lang. Blickt man von der aufgeschnittenen Aorta auf den Ductus, so sieht man an seiner spitzwinkeligen Einmündungsstelle beide Gefäßwände in einem sichelförmigen, zum Herzen hin konkaven Bogen ineinander übergehen. Dieser Bogen, den STRASSMANN als Klappe auffaßt, vermag nicht, die Einmündungsstelle des Ductus zu verschließen.

*Mikroskopische Untersuchungen.* Die Präparate wurden in Celloidin-Paraffin wegen der geringen Schrumpfung in diesem Medium eingebettet und 4  $\mu$  dicke Stufenschnitte angefertigt, die mit Hämatoxylin-Eosin, Orcein und nach VAN GIESON gefärbt wurden. Meist wurden Querschnitte, seltener Längsschnitte angefertigt. Untersucht wurden insgesamt 25 Ductus vom 1. bis zum 14. Tag.

Am 1. Lebensstage ist der Ductus arteriosus bei der Katze ein muskelkräftiges Gefäß. Im Querschnitt sind die inneren Muskelfaserschichten, die etwa  $\frac{1}{4}$  der Wanddicke ausmachen, überwiegend quergetroffen, die äußeren annähernd längs. Zwischen jeder — meist einschichtigen — Lage Muskelfasern läßt sich eine im Präparat gewellte elastische Lamelle anfärben. Das Endothel ist stellenweise von den darunter liegenden sehr spärlichen Bindegewebs- und den Muskelzellen durch eine blasse, schmale, wabige Zone getrennt. Darin sieht man sehr selten vereinzelte Leukocyten liegen. Das Lumen ist in einem Ductus überall weit, bei den beiden anderen, die vom 1. Lebenstag außerdem untersucht wurden, schmal und schlitzförmig. Bei den Angaben über die Lichtungsweite muß man daran denken, daß

<sup>1</sup> Aus den Meßergebnissen läßt sich ferner berechnen, daß beim jungen Kätzchen die Muskulatur der linken Herzkammer stärker als das Körpergewicht wächst.

die Präparate erst mehrere Stunden nach dem Tode der Tiere fixiert werden konnten. Die Lichtungsweite erlaubt also keinen sicheren Schluß auf die Verhältnisse während des Lebens. Bei KENNEDY'S Versuchen an Meerschweinchen war die Lichtung des frisch fixierten Ductus arteriosus schon kurz nach der Geburt auf allen Schnitten durch Kontraktion verschlossen. Bei Lammfeten, die durch Formalininjektion getötet wurden, sah BARCROFT 2 Std nach der Geburt kontrahierte, aber nicht völlig verschlossene Ductus.

Schon am 2. *Lebenstage* finden sich deutliche Veränderungen im BOTALLISCHEN Gang. Auf den Querschnitten ergeben sich verschiedene Bilder: Auf einigen ist die ganze innere Schicht des Ductus arteriosus — ungefähr  $\frac{1}{4}$  der Wanddicke entsprechend — nekrotisch: hier sind keine Strukturen mehr zu erkennen, Kerne fehlen, am Rande dieser Zone verdämmern sie oder sind pyknotisch. Die elastischen Fasern lassen sich in der feinkrümeligen, blaß eosinophilen Masse noch nachweisen, sind aber blasser gefärbt als die äußeren, zwischen intakter Muskulatur gelegenen. Teilweise sind sie schon etwas bröckelig. In dem nekrotischen Bezirk sind also die glatten Muskelfasern und das Endothel zugrunde gegangen. Hier ist die Lichtung nur noch ein capillärer Spalt, in dem einige Erythrocyten liegen. Auf anderen Querschnitten sieht man beginnende Nekrosen der oberen Muskellagen, andere Schnitte sind ganz frei davon. In der Adventitia liegen im lockeren Bindegewebe neben den Histiocyten auch spärlich Lymphocyten.

Am 3. *Tag* fallen schon auf mehreren Querschnitten Nekrosen der inneren Wandschicht auf. An anderen nekrosefreien Schnitten sieht man zwischen dem Endothel und der Muskulatur einen schmalen Streifen lockeren Bindegewebes mit Capillarsprossen.

Am 4. *Tage* geben Längsschnitte einen guten Einblick. In der Mitte des Ductus, etwa seine halbe Länge einnehmend, ist die innere Wandschicht nekrotisch. Nach der Peripherie hin (sowohl zur Aorta als auch zur A. pulmonalis) folgt unter dem Endothel lockeres Bindegewebe, in dem sich zunächst noch schmale Nekrosezonen, dann Capillarsprossen und schließlich knospenartige Endothelzellnester finden. Das Lumen ist in mehreren Schnitten nicht mehr deutlich zu erkennen.

Am 5. *Tage* gleicht ein Ductus denen vom Vortage. Ein anderer zeigt keine ausgeprägte, kernfreie Nekrosezone mehr. Hier liegen in der blaß eosinophilen Innenzone neben wenigen Leukocyten fibrocytenartige Kerne, häufig in radiärer Stellung. In einem dritten von einem 5 Tage alten Tier untersuchten Ductus findet sich in der Innenzone lockeres Bindegewebe mit Fibrocyten und Capillarsprossen, aber keine Nekrosezone mehr.

Am 8. *Tage* sieht man neben Nekrosen der Innenschicht auf anderen Schnitten lockeres, capillarhaltiges Bindegewebe, das die Lichtung völlig ausfüllt. Ähnliche Bilder — Nekrosen neben obturierendem capillarhaltigem Bindegewebe — finden sich auch am 10. und 14. *Tag*. Am 14. *Lebenstag* fällt auf, daß der Wanddurchmesser des Ductus arteriosus deutlich kleiner als bei neugeborenen Tieren ist. Die Muskulatur hat erheblich abgenommen, in den äußeren Schichten ist sie aber noch gut erhalten. Von der Adventitia nach innen durch die Muskulatur ziehende Capillaren, wie sie bei der Verödung des breiteren menschlichen Ductus arteriosus auftreten, wurden bei der Katze nicht beobachtet.

Der Ductus arteriosus wird also bei der Katze durch im Zentrum des Ganges beginnende, fortschreitende Nekrosen der inneren Wandschicht abgebaut. Sie fangen schon am 2. *Lebenstage* an und nur wenig später tritt auch capillarhaltiges, organisierendes Bindegewebe in der benachbarten, inneren Wandschicht auf.

Im Laufe der Verödung des menschlichen Ductus BOTALLI treten keine so umfangreichen kreisförmigen Nekrosen auf wie bei der Katze. Zu kleineren Nekrosen kommt es beim Menschen erst von der 2. Woche ab (GRÄPER, JÄGER und WOLLENMAN).

Die Befunde am Ductus arteriosus der Katze ähneln denen, die KENNEDY und CLARK beim Meerschweinchen erhoben. Sie fanden beginnende Nekrosen der inneren Wandschichten am 3. Lebenstag und Organisationsvorgänge in der 2. Lebenswoche. Elastisches Gewebe kommt nach diesen Untersuchungen beim Meerschweinchen im BOTALLI-schen Gang erheblich weniger vor als in der benachbarten Aorta und A. pulmonalis. So kraß sind die Unterschiede bei der Katze jedoch nicht.

Bei einigen Katzenherzen wurde auch die Durchgängigkeit des *Foramen ovale* untersucht. Bei neugeborenen Tieren ging eine 2 mm dicke Sonde durch das Foramen hindurch, bei einem Tier vom 4. Lebenstag war die Öffnung gut stecknadelkopfgroß, bei einem 8 Tage alten nur wenig kleiner als bei dem Neugeborenen und am 10. Tag bei einem Tier nur noch für eine sehr dünne Sonde ( $\frac{1}{2}$  mm) durchgängig.

#### D. Deutung der Befunde.

##### 1. *Das Wachstum der rechten Kammermuskulatur in den letzten Schwangerschaftsmonaten.*

Seit dem geistvollen Referat v. WEIZSÄCKERS hat sich die Ansicht durchgesetzt, daß enge Beziehungen bestehen zwischen der Stärke der Muskulatur der Herzkammern und der Arbeit, die sie bei den einzelnen Kontraktionen leisten. Diese Regel gilt auch für embryonale Herzen. Dies geht beispielsweise aus der Beobachtung der Massenverhältnisse fetaler Herzen mit verschlossenem *Foramen ovale* hervor. Sie haben einen kleinen linken Ventrikel (s. PATTEN).

Bei der Anwendung dieser Regel muß man daran denken, daß man nur Vergleichbares miteinander vergleichen darf. Es wäre z. B. falsch, aus der Tatsache, daß die Muskulatur der rechten Herzkammer beim Erwachsenen halb so viel wiegt wie die der linken, den Schluß zu ziehen, daß deshalb der Druck in der rechten Kammer auch halb so groß sein müsse. Beide Kammern sind nämlich in ihrer Form verschieden. Die rechte gleicht einer platten, dreieckigen Tasche, die linke angenähert einem Kegel. Auch darf man nicht unmittelbar Säuglingsherzen und die von Erwachsenen miteinander rechnerisch in Beziehung setzen. Beide unterscheiden sich in ihrem Feinbau, wie z. B. aus ihren verschiedenen Trockengewichten hervorgeht (vgl. BECHHOLD, VOLKMANN, SKELTON).

Das starke Wachstum der Muskulatur der rechten Herzkammer in den letzten Schwangerschaftsmonaten deutet darauf hin, daß dieser Herzteil gegen Ende der Gravidität relativ mehr Arbeit zu leisten hat

als vorher. Dies kann, da die Herzarbeit — von der geringen Strömungsarbeit abgesehen — proportional dem Druck und dem Schlagvolumen ist, 2 Ursachen haben: 1. Eine Druckerhöhung, 2. eine Vermehrung des Schlagvolumens.

Ad 1. Diese Möglichkeit ist wenig wahrscheinlich. Sicherlich besteht zwischen der Aorta und der A. pulmonalis während des ganzen embryonalen Lebens nur ein sehr geringes Druckgefälle. Messungen an ausgetragenen Tierfeten vom Schwein, Kaninchen und Hund ergaben sogar gleiche Drucke in beiden Kammern (POHLMAN, HAMILTON, WOODBURY und WOODS.)

Ad 2. *Das Schlagvolumen der rechten Kammer steigt in der letzten Zeit der Schwangerschaft stärker an als das der linken.* Dies setzt voraus, daß von dem in den rechten Vorhof durch die untere Hohlvene einströmenden Blut weniger durch das Foramen ovale und dafür mehr in die rechte Kammer fließt. Dadurch steigt die durch Lungen und Ductus arteriosus strömende Blutmenge, das Schlagvolumen der linken Kammer sinkt dagegen ein wenig ab.

Über den Blutstrom in embryonalen Herzen und über die Durchblutung der embryonalen Lunge ist heute folgendes bekannt: Die alte Anschauung, daß das Blut von oberer und unterer Hohlvene im rechten Vorhof weitgehend seinen eigenen Weg nimmt, wurde bestätigt. BARCLEY (bei ihm auch eingehende historische Darstellung) zeigte bei Lammfeten mit kineradiographischer Methode, daß alles von der oberen Hohlvene kommende Blut in den rechten Ventrikel strömt, während das Blut aus der unteren Hohlvene zum größten Teil durch das Foramen ovale, zum kleineren in die rechte Kammer fließt. LIND und WEGELIUS wiesen für den Blutstrom aus der unteren Hohlvene bei 12—22 Wochen alten menschlichen Feten durch Kontrastmittelinjektionen in die Nabelvene dasselbe nach. Nach den Untersuchungen von EVERETT und JOHNSON mit radioaktiven Substanzen fließt aber bei Meerschweinchen- und Hundefeten auch ein geringer Teil des Blutes aus der oberen Hohlvene durch das Foramen ovale.

Tierexperimentelle Untersuchungen sprechen für eine recht beträchtliche Durchblutung der Lungen in der letzten Zeit der Schwangerschaft. Dies wiesen ABEL und WINDLE an Katzen, SINHA an Meerschweinchen nach und zeigten, daß nach der Geburt keine sprunghafte, sondern eine allmähliche Vermehrung der Lungendurchblutung erfolgt. Dasselbe leitete schon vorher PATTEN aus seinen Untersuchungen über das Kaliber der großen Lungengefäße bei menschlichen Embryonen ab. Auf Grund von Beobachtungen an Totgeborenen mit Mißbildungen an der Trachea und am Zwerchfell halten MILLES und DORSEY sogar die intrauterinen Atembewegungen für einen notwendigen Anreiz zur Entwicklung der Lungengefäße. Schon im Jahre 1801 folgerte übrigens BICHAT aus der Unter-

suchung des Foramen ovale und des Ductus arteriosus, daß gegen Ende der Schwangerschaft weniger Blut durch das Foramen ovale und mehr durch die rechte Kammer und die Lungenarterien fließt. Auch PATTEN kam zu demselben Schluß, weil das Foramen ovale beim Neugeborenen kleiner als die Einmündung der unteren Hohlvene ist. Das Volumen der Herzkammern haben HIFFELSHEIM und ROBIN bei 2 Neugeborenen mit Wachsausgüssen gemessen und fanden, daß die rechte Herzkammer mehr Blut als die linke faßte (8—10 gegen 6—7 cm<sup>3</sup>). Nach diesen Überlegungen und den geschilderten Befunden halten wir die zweite erwogene Deutung für die wahrscheinlich richtige.

## *2. Die physiologische Gewichtsabnahme der rechten Kammermuskulatur nach der Geburt.*

Zur Physiologie der postnatalen Kreislaufumschaltung ist heute bekannt, daß bereits kurz nach der Geburt die embryonalen Verbindungen zwischen großem und kleinem Kreislauf — der Ductus arteriosus und das Foramen ovale — funktionell verschlossen werden. Aus Tierversuchen sind wir über den Verschluß des Ductus arteriosus gut unterrichtet. KENNEDY und CLARK beobachteten beim ausgetragenen Meer-schweinchenfeten direkt den Verschluß des Ganges durch Muskelkon-traktion innerhalb weniger Minuten nach der Geburt. BARCLEY konnte mit seinen kineradiographischen Untersuchungen an Lammfeten das-selbe zeigen. EVERETT und JOHNSON stellten Untersuchungen beim Hund mit radioaktivem Phosphor an. Mit dieser Methode, die empfindlicher ist als die übrigen beschriebenen, fand sich, daß durch den Ductus 2 Std nach der Geburt weniger Blut als beim Feten und 9 Std post partum nur noch ganz wenig Blut hindurch fließt. Ganz minimale, durch den Ductus in die Aorta strömende Blutmengen ließen sich in der Regel bis zum anatomischen Verschluß des Ganges (gut 2 Wochen nach der Ge-burt) nachweisen. Aber auch für den Menschen konnte inzwischen die bereits 1900 von GÉRARD klar formulierte Auffassung bewiesen werden, daß sehr bald nach der Geburt der Ductus arteriosus funktionell, später anatomisch verschlossen wird. KEITH und FORSYTH wiesen, an BARC-LEYS Vorbild anknüpfend, bei einem 5 Tage alten Kinde mit kineradio-graphischer Methode einen verschlossenen BOTALLischen Gang nach und LIND und WEGELIUS konnten sogar bei 2 Neugeborenen schon 2—6 Std nach der Geburt den Gang mit Röntgenkontrastmitteln nicht mehr dar-stellen. v. HAYEK und BOYD lieferten wesentliche anatomische Bei-träge zum Verständnis des funktionellen Verschlusses am Ductus arte-riosus. Der anatomische Verschluß des Ganges erfolgt beim Menschen im allgemeinen zu Beginn des 2. Monats (HABERDA), nach CHRISTIE etwas eher. Die älteren Literaturangaben hat SCAMMON zusammen-gestellt.

Das Foramen ovale sahen BARCLEY und Mitarbeiter schon wenige Minuten nach der Geburt beim Lamm verschlossen. Am Menschen beobachteten LIND und WEGELIUS innerhalb der ersten 12 Std nach der Geburt nur noch einen geringen Strom von Röntgenkontrastmitteln durch das Foramen ovale, nach dem 6. Lebenstag fanden sie es stets verschlossen. (Kinder, die älter als 12 Std und jünger als 6 Tage alt waren, wurden nicht untersucht.)

Während des embryonalen Lebens könnte das Schlagvolumen in beiden Herzkammern wegen der Kurzschlüsse zwischen den beiden Kreisläufen verschieden sein. Etwa vorhandene Unterschiede müssen sich jedoch nach dem Verschluß der fetalen Blutwege ausgleichen. Exakte vergleichende Bestimmungen des Schlagvolumens kurz vor und nach der Geburt wurden bisher nicht durchgeführt. Es spricht jedoch nichts dafür, daß es bald nach der Geburt zu einer wesentlichen Abnahme des Schlagvolumens der rechten Herzkammer kommt, mit der sich die vorübergehende physiologische Atrophie der rechten Kammerwand erklären ließe.

Die kreisende Blutmenge wird nach dem Abnabeln plötzlich etwas vermindert, denn die Placenta enthält bei spätem Abnabeln noch etwa 50 cm<sup>3</sup> Blut (DE MARSH, WINDLE und ALT). Nach der Geburt wird außerdem die zirkulierende Blutmenge allmählich relativ geringer (LUCAS und DEARING geben für das Neugeborene 12% vom Körpergewicht für die kreisende Blutmenge, SECKEL für Säuglinge und Kinder im Mittel 8,4% an). Die Pulsfrequenz ändert sich in der Neugeborenenperiode nicht merklich.

Nach diesen Befunden wird der Bluteinstrom in den rechten Vorhof nach der Geburt wohl etwas vermindert. Nach dem Verschluß des Foramen ovale fließt jedoch alles Blut, das in den rechten Vorhof einströmt, auch in die rechte Kammer. Dieser Zuwachs dürfte die Verminderung des Bluteinstroms in das rechte Herz nach dem Fortfallen des placentalen Kreislaufes wettmachen. Diese Überlegungen sprechen dafür, daß der Entlastung der rechten Herzkammer nach der Geburt nicht eine Verringerung des Schlagvolumens, sondern eine Druckverminderung im Lungenkreislauf zugrunde liegt.

Druckmessungen im kleinen Kreislauf sind bei Neugeborenen und gesunden jungen Säuglingen nach unserer Kenntnis der Literatur bisher nicht durchgeführt worden. Dagegen sind wir über den Druck im großen Kreislauf unterrichtet. RIBEMONT ermittelte als arteriellen Druck in der Nabelschnur des Neugeborenen knapp 65 mm Hg, HASELHORST im Durchschnitt 75 mm Hg. In den ersten Lebenswochen steigt der Druck im Körperkreislauf beträchtlich an. Nach den Untersuchungen von SSLADKOFF beträgt er beim Neugeborenen 60 mm Hg, am Ende der

1. Woche 79 mm Hg und am Ende des 1. Monats 81 mm Hg. Die entsprechenden von STROUD zitierten Werte lauten: 50, 60, 82 mm Hg. Nach SSLADKOFFs Untersuchungen ist schon bei 3 Tage alten Kindern ein deutlicher Blutdruckanstieg nachweisbar.

Beim Neugeborenen muß der Druck im kleinen Kreislauf wegen des offenen Ductus arteriosus praktisch derselbe wie im großen Kreislauf sein. Daraus geht hervor, daß *bei der Geburt der Druck im kleinen Kreislauf etwa doppelt so hoch wie beim Erwachsenen ist*, bei dem er im rechten Ventrikel 25/0 mm Hg beträgt. Es muß also nach der Geburt zu einer beträchtlichen Verminderung des Druckes im Pulmonalkreislauf kommen. *In dieser Druckerniedrigung sehen wir die Ursache für die physiologische Atrophie der rechten Kammerwand nach der Geburt. Aus der schon früh — bei Frühgeborenen bereits nach 1 Woche — nachgewiesenen Gewichtsverminderung der rechten Kammerwand ziehen wir den Schluß, daß der Druckabfall im kleinen Kreislauf sehr bald nach der Geburt beginnt, wahrscheinlich schon in den ersten Lebenstagen.*

Da schon im 2. Lebensmonat die Massenverhältnisse der Muskulatur beider Herzkammern denen von Erwachsenen ähneln, liegt der Gedanke nahe, daß bereits zu dieser Zeit, dem niedrigen Säuglingsblutdruck entsprechend, ähnliche Druckunterschiede im großen und kleinen Kreislauf bestehen wie beim Erwachsenen.

Im Zusammenhang mit den Untersuchungen über die Gewichtsveränderungen der rechten Kammerwand nach der Geburt seien folgende Ergebnisse erwähnt:

Im EKG finden sich bei 2—3 Monate alten Kindern noch die Zeichen einer Rechtshypertrophie (KRUMBHAAER und JENKS) nach ELSTER und LUTTEROTTI verlieren sie sich um den 6. Monat herum.

Nach quantitativen histologischen Untersuchungen geht die Verdoppelung der Anzahl der Herzmuskelkerne nach der Geburt durch amitotische Querteilung in der rechten Kammerwand langsamer vonstatten als in der linken (HORT).

### 3. Das schnelle Wachstum der linken Kammerwand im frühen Säuglingsalter.

Die beiden in Tabelle 5 zuletzt aufgeführten  $2\frac{1}{2}$  Monate alten Säuglinge wiegen knapp die Hälfte mehr als bei der Geburt, die freien Anteile ihrer linken Kammerwände haben dagegen das Gewicht fast verdoppelt. Dies steht in gutem Einklang mit den physiologischen Ergebnissen über die Herzarbeit im frühen Säuglingsalter. Denn außer der Vermehrung des Schlagvolumens, die der Körpergewichtszunahme in guter Näherung parallel geht (SECKEL, GRASER), steigt schon bald nach der Geburt der Blutdruck im großen Kreislauf beträchtlich an. Am Ende des 1. Vierteljahres liegt er etwa um die Hälfte höher als bei der Geburt.



#### 4. Vergleichende Untersuchungen.

Eine vorübergehende deutliche Gewichtsverminderung des rechten Herzens tritt bei der jungen Katze nicht ein, obwohl das relative Gewicht dieses Herzteils schnell absinkt. Dies erklärt sich aus dem raschen Herzwachstum der Katze nach der Geburt, das mit ihrem schnellen Körperwachstum Schritt hält. Hinzu kommt, daß der Blutdruck bei der neugeborenen Katze relativ gering ist (25—30 mm Hg nach CLARK), bei der erwachsenen beträgt er 145 mm Hg (O. KOCH). Es kommt demnach bei der Katze wahrscheinlich nur zu einem geringen (vorübergehenden?) Druckabfall im kleinen Kreislauf nach der Geburt.

Dagegen *beginnt die Verschiebung der Massenverhältnisse der Kammermuskulatur und damit wohl auch der intrakardialen Drucke bei der Katze gleich nach der Geburt und ist schon am 2. Lebenstage nachzuweisen.* Der *Ductus arteriosus* bleibt bei der Katze, wie aus den histologischen Untersuchungen hervorgeht, *trotz des Druckgefälles an seinen beiden Enden verschlossen.* Es hat nicht den Anschein, daß eine Zeitlang in beiden Kreisläufen derselbe Druck herrscht, wie es DOERR für den reibungslosen Verschuß des Ganges für notwendig hält. Auch wiesen HAMILTON, WOODBURY und WOODS nach, daß beim Kaninchen schon unmittelbar nach dem Einsetzen der Atmung die Drucke in beiden Herzkammern deutlich voneinander verschieden sind. Beim Menschen liegen möglicherweise ähnliche Verhältnisse vor (s. oben).

Der anatomische Verschuß des *Ductus arteriosus* erfolgt beim Menschen und bei der Katze zu einer Zeit, in der die Massenverhältnisse der Herzmuskulatur bereits den Proportionen beim Erwachsenen ähneln. Die Zeitspanne für diese Entwicklungsvorgänge (etwa 6 Wochen bzw. 8 Tage) ist, gemessen an unserer physikalischen Zeit, für Mensch und Katze sehr verschieden. Sie wird aber recht ähnlich, wenn man sie als biologische Zeit in Beziehung zur Lebensdauer setzt.

#### Zusammenfassung.

Die anatomischen, histologischen und planimetrischen Untersuchungen an 130 Herzen von Frühgeborenen, ausgetragenen Neugeborenen und Säuglingen führten zu folgendem Ergebnis:

1. In den letzten Schwangerschaftsmonaten wächst die Muskulatur der rechten Herzkammer stärker als die der linken und ist bei ausgetragenen Neugeborenen in der Regel deutlich schwerer als die der linken Kammer.

2. In den ersten Wochen nach der Geburt fällt das relative Gewicht der rechten Kammermuskulatur rasch, dann allmählich ab. Schon im 2. Monat ergeben sich für das rechte Herz des Säuglings annähernd die gleichen und ungefähr mit dem Ende des 1. Vierteljahres dieselben Massenverhältnisse wie für das Herz des Erwachsenen.

3. Nach der Geburt kommt es zu einer vorübergehenden physiologischen Atrophie der Muskulatur der rechten Herzkammer. Bei Frühgeburten war sie schon am Ende der 1. Lebenswoche nachweisbar. Diese Atrophie geht mit einer entsprechenden Trockengewichtsverminderung und Verkleinerung der Herzmuskelfasern einher.

4. Durch eine Gefügeverschiebung vollzieht sich in der frühen Säuglingszeit ein wesentlicher Teil des physiologischen Wachstumsumbaus der rechten Kammerwand.

5. Das Wachstum der Muskulatur der linken Herzkammer erfolgt in der frühen Säuglingszeit rascher als es der Zunahme des Körpergewichtes entspricht.

6. Die Wand der linken Herzkammer wächst von der Geburt an harmonisch, sie bewahrt ihr Gefüge während des physiologischen Wachstums.

7. Im Säuglingsalter entwickelt sich eine Herzhypertrophie schneller als beim Erwachsenen.

Nach den anatomischen Befunden werden folgende physiologische Veränderungen für wahrscheinlich gehalten:

8. In der letzten Zeit der Schwangerschaft steigt das Schlagvolumen der rechten Kammer im Zusammenhang mit einer vermehrten Durchblutung der embryonalen Lungen etwas stärker an als das der linken.

9. Bald nach der Geburt, wahrscheinlich schon in den ersten Lebenstagen, beginnt der Druckabfall im kleinen Kreislauf.

Vergleichende Untersuchungen wurden an 142 Katzenherzen durchgeführt. Dabei wurden folgende Beobachtungen gemacht:

10. Bei den rasch wachsenden jungen Katzen bleibt das Gewicht der rechten Kammermuskulatur in der 1. Lebenswoche annähernd gleich. Die linke Kammermuskulatur wächst rascher als es der Körpergewichtszunahme entspricht. Schon am 10. Tage hat das Herz dieselben Proportionen wie bei der erwachsenen Katze.

11. Die mikroskopischen Veränderungen am verödenden Ductus arteriosus bei der Katze werden beschrieben.

12. Aus den anatomischen Untersuchungen wird abgeleitet, daß der anatomische Verschluß des Ductus arteriosus bei der Katze durch das sehr schnell nach der Geburt einsetzende Druckgefälle zwischen großem und kleinem Kreislauf nicht gestört wird.

### Literatur.

ABEL, S., u. W. F. WINDLE: Zit. nach BARCROFT. — ADAM, A.: Jb. Kinderheilk. **139**, 377 (1933). — ASHLEY, L. M.: Amer. J. Anat. **77**, 325 (1945). — BARCLEY, A., K. J. FRANKLIN and M. M. L. PRICHARD: The foetal circulation and cardiovascular system and the changes that they undergo at birth. Oxford 1944. — BARCROFT, J.: Researches on pre-natal life. Oxford 1946. — BECHHOLD, Zit. nach BROCK. — BICHAT, X.: Zit. nach BARCLEY. — BOELLAARD, J. W.: Z.

Kreislaufforsch. **41**, 101 (1952). — BOENIG, H.: Leitfaden der Entwicklungsgeschichte des Menschen. Berlin 1944. — BOYD, J. D.: J. of Anat. **75**, 456 (1940). — BROCK, J.: Biologische Daten für den Kinderarzt. Berlin 1932. — CHRISTIE, A.: Amer. J. Dis. Childr. **40**, 323 (1930). — CLARK, G. A.: Zit. nach BARCROFT. — DOERR, W.: Morphogenese und Korrelation chirurgisch wichtiger angeborener Herzfehler. Erg. Chir. **36**, 1 (1950). — DÜLL, L.: Beitr. path. Anat. **105**, 337 (1941). — ELSTER, K., u. M. v. LUTTEROTTI: Z. Kreislaufforsch. **43**, 247 (1954). — ENGEL, J.: Zit. nach PETER u. WETZEL. — EVERETT, N. B., u. R. J. JOHNSON: Anat. Rec. **103**, 448 (1949); **110**, 103 (1951). — FALK, Zit. nach GUNDOBIN. — GÉRARD, G.: J. Anat. et Physiol., Paris **36**, 323 (1900). — GRASER, F.: Klin. Wschr. **1953**, 816. — GRÄPER, L.: Z. Anat. **61**, 312 (1921). — GUNDOBIN, A. P.: Die Besonderheiten des Kindesalters. Berlin 1912. — HABERDA, Zit. nach FRITZ, Dtsch. Z. gerichtl. Med. **32**, 484 (1940). — HAMILTON, W. F., R. A. WOODBURY und E. B. WOODS: Amer. J. Physiol. **119**, 206 (1937). — HASELHORST, G.: Z. Geburtsh. **95**, 400 (1929). — HAYEK, H. v.: Z. Anat. **105**, 15 (1936). — HIFFELSHHEIM, M., et Ch. ROBIN: J. Anat. et Physiol., Paris **1**, 413 (1864). — HORT, W.: Virchows Arch. **323**, 223 (1953). — JÄGER, B. V., and O. J. WOLLENMAN: Amer. J. Path. **18**, 595 (1942). — KEITH, J. D., and C. FORSYTH: Circulation (New York) **2**, 907 (1950). — KENNEDY, J. A., and S. L. CLARK: Anat. Rec. **79**, 349 (1941). — KOCH, O.: Zit. nach LANDOIS-ROSEMAN, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Berlin 1944. — KOLLER, S.: Graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer Zahlen. Dresden 1943. — KRUMBHAR, E. B., and H. H. JENKS: Heart **6**, 189 (1915/17). — LATIMER, H. B.: Growth **6**, 341 (1942). — LIND, J., u. C. WEGELIUS: Acta paediatr. (Stockh.) **41**, 495 (1952). — Circulation (New York) **7**, 819 (1953). — LINZBACH, A. J.: Virchows Arch. **314**, 534 (1947); **318**, 575 (1950). — LINZBACH, A. J., u. M. LINZBACH: Klin. Wschr. **1951**, 621. — LUCAS, u. DEARING: Zit. nach SECKEL. — MARSH, Q. B. DE, W. F. WINDLE u. H. L. ALT: Zit. nach BARCROFT. — MILLES, G., and D. B. DORSEY: Amer. J. Path. **26**, 411 (1950). — MÜLLER, W.: Die Massenverhältnisse des menschlichen Herzens. Hamburg 1883. — PATTEN, B. M.: Human embryology. Philadelphia 1947. — Amer. J. Anat. **48**, 19 (1931). — PETER, K., u. G. WETZEL: Handbuch der Anatomie des Kindes, Bd. II. 1938. — POHLMAN, A. G.: Zit. nach HASELHORST. — RÖSSLE, R.: Siehe R. RÖSSLE u. F. ROULET, Maß und Zahl in der Pathologie. Berlin 1932. — ROULET, F.: Methoden der pathologischen Histologie. Wien 1948. — RUBNER, M.: Zit. nach KORSCHULT, Lebensdauer, Altern und Tod. Jena 1924. — SCAMMON, R. E., u. E. H. NORRIS: Anat. Rec. **15**, 165 (1919). — SCHOENMACKERS, J.: Ärztl. Forsch. **2**, 337 (1948). — SECKEL, H.: Jb. Kinderheilk. **127**, 136 (1930); **131**, 87 (1931). — SHIPLEY, R. A., L. SHIPLEY and J. T. WEARN: J. of Exper. Med. **65**, 29 (1937). — SINHA, T. P.: Anat. Rec. **104**, 599 (1940). — SKELTON, H.: Zit. nach MACLEODS Physiology in modern medicine, 1941. — SSLADKOFF: Zit. nach GUNDOBIN. — STRASSMANN, P.: Arch. Gynäk. **45**, 313 (1894). — STROUD, W.: Diagnosis and treatment of cardiovascular diseases. Philadelphia 1946. — THAON, M.: Zit. nach Ber. allg. u. spez. Path. **20**, 36 (1954). — VOLKMANN, Zit. nach VIERORDT, Daten und Tabellen für Mediziner. 1906. — WEIZSÄCKER, V. v.: Die Entstehung der Herzhypertrophie. Erg. inn. Med. **19**, 377 (1921). — WENDT, L., u. H. HESSE: Virchows Arch. **314**, 294 (1947). — WIDEROE, S.: Zit. nach BROCK.

Dr. med. WALDEMAR HORT, Berlin-Britz, Parchimer Allee 160.