

Massenverhältnisse und Gewichtsrelationen des Herzens von der Frühgeborenenperiode bis zum Erwachsenenalter*

H. BREINING

Pathologisch-Anatomisches Institut der Universität Erlangen-Nürnberg in Erlangen
(Direktor: Prof. Dr. E. MÜLLER)

Eingegangen am 9. November 1967

Proportions and Weight Relations of the Heart from the Newborn Period to adult Age

Summary. The amount of fat-free myocardium of 536 hearts (method MÜLLER, 1883) of children from newborn age up to 20 years was determined and related to weight and surface of the body. At an age of 15 years the cardiac weight reaches similar weight relationships as does the heart of an adult. At the end of the second decade of life, an increased weight of the myocardium of the right ventricle — without pathologic lung or heart findings — is not seldom. The weights of hearts of small children and newborns of the same body weight sometimes vary by the factor of 2 to 3. Without morphological causes to explain this phenomenon, it should be accepted as a physiologic variation. In relation to the body surface, the free part of the right ventricle may double its weight by maturity. The total weight, the weight of the septum and the free part of the left ventricle may increase their normal weights three-fold by maturity.

Zusammenfassung. Bei 536 Kinderherzen bis zum 20. Lebensjahr wurde die fettgewebsfreie Muskelmasse des zerlegten Herzens (Methode MÜLLER) bestimmt (Kammerseptum, freie Anteile des rechten und linken Ventrikels) und zu Körpergewicht und Körperoberfläche in Beziehung gesetzt. Das Kinderherz erreicht etwa mit dem 15. Lebensjahr die Gewichtsverhältnisse des Erwachsenenherzens. Bei Jugendlichen war am Ende des 2. Lebensjahrzehnts nicht selten eine Zunahme der Muskelmasse des rechten Ventrikels ohne pathologischen Lungen- oder Herzbefund zu beobachten. Die Herzgewichte von Kleinkindern und Frühgeborenen variieren gelegentlich bei gleichem Körpergewicht um den Faktor 2—3, was bei fehlender morphologischer Ursache als physiologische Variationsbreite aufzufassen ist. Bezogen auf die Körperoberfläche erfährt der freie Anteil des rechten Ventrikels bis zum Erwachsenenalter eine Verdoppelung seines Gewichtes, während sich Gesamtgewicht und das Gewicht von Kammerseptum und freiem Anteil des linken Ventrikels verdreifachen.

Die Entwicklung des menschlichen Herzens in der Pränatal- und Neugeborenenperiode ist eng mit der durch die Geburt bedingten Kreislaufumschaltung verknüpft (HÖRT, 1953, 1955). Die als „physiologische Rechtshypertrophie“ bezeichnete Massenzunahme des rechten Ventrikels bildet sich in den ersten Lebenswochen zurück. Darüberhinaus gibt es nicht unerhebliche Größen- und Gewichtsvarianten des kindlichen Herzens ähnlich wie beim Erwachsenen, die weder aus dem klinischen, noch aus dem pathologisch-anatomischen Befund zu erklären sind.

In der vorliegenden Arbeit haben wir an einer großen Zahl von Kinderherzen bis zum jugendlichen Erwachsenenalter die für jede Entwicklungsphase durchschnittlichen Herzgewichte und die Gewichte der einzelnen Herzanteile ermittelt, zur Körperoberfläche in Beziehung gesetzt und geprüft, in welchem Alter das

* Herrn Prof. Dr. E. MÜLLER zum 65. Geburtstag.

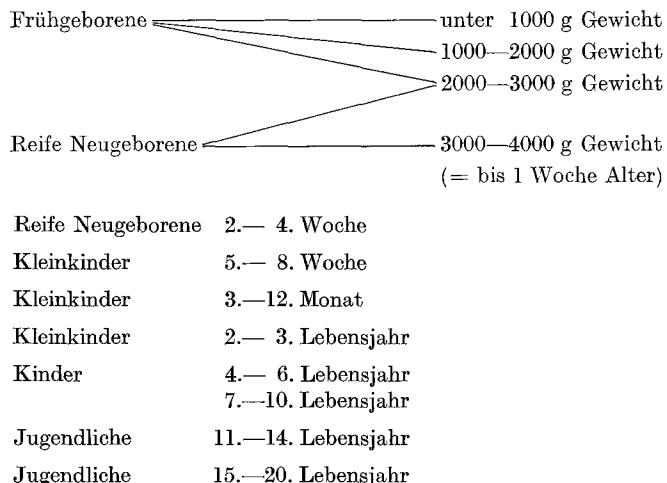
Herz des Kindes Größe und Gewicht des Erwachsenenherzens erreicht, d. h. in welchem Alter ein Herz als „ausgewachsen“ bezeichnet werden kann.

Material und Methode

Für die Gewichtsbestimmungen standen 536 Kinderherzen aus den Jahren 1960—1966 zur Verfügung. Es konnten fast lückenlos alle Herzen von Kindern der Frühgeborenenperiode bis zum 20. Lebensjahr verwendet werden, angeborene Herzfehler ausgeschlossen. Die Herzen wurden nach Anlegen der typischen Sektionsschnitte in 10%igem Formalin zumeist längere Zeit fixiert, vor dem Wiegen kurz gewässert und getrocknet.

Nach Ermittlung des Gesamtgewichtes des fixierten Herzens (G) wurde jedes Herz nach der Methode von MÜLLER (1883) in seine einzelnen Anteile zerlegt. Gewichtsbestimmungen und Zerlegen des Herzens wurden stets von dem gleichen Untersucher vorgenommen. Beide Vorhöfe und die Abgänge der großen Gefäße (Aorta und A. pulmonalis) wurden im Anulus fibrosus von der Ventrikelmuskulatur abgetrennt. Die Zerlegung der Muskulatur erfolgte in den freien Anteil des rechten (R) und linken Ventrikels (L) und in das Kammerseptum (S). Die Muskulatur wurde von Klappenresten, Sehnenfäden und von dem bei kleinen Herzen spärlichen subepikardialen Fettgewebe befreit. Die einzelnen Herzteile größerer Kinder wurden auf einer Schnellwaage mit einer Genauigkeit von 0,1 g gewogen, die Herzen von Früh- und Neugeborenen mit einer Genauigkeit von 0,01 g. Bei der Auswertung wurden einmal die durchschnittlichen absoluten Gewichte der einzelnen Größenklassen rechnerisch bestimmt, zum anderen haben wir die graphische Darstellung der Gewichtswerte entsprechend den Angaben von OTTO und WEBER (1966) vorgenommen.

Einteilung der Herzen nach Größe, Gewicht und Alter der Kinder:



Ergebnisse

In Tabelle 1 sind die durchschnittlichen Gewichte der untersuchten Herzen und ihrer einzelnen Anteile eingetragen, und zwar bei Früh- und Neugeborenen in Abhängigkeit vom Körergewicht, bei Kleinkindern und Jugendlichen in Abhängigkeit vom Lebensalter. Es zeigt sich, daß die Durchschnittsgewichte von L erst in der Gewichtsgruppe 3000—4000 g und darüber über denen von R liegen, bei Frühgeborenen ist $L < R$. Das durchschnittliche Gewicht von R liegt in dieser Gruppe erheblich über dem von L . In der Gruppe 2.—4. Woche sind die Gewichte von R und L etwa gleich, während dann rasch eine starke Gewichtszunahme

Tabelle 1. Übersicht über die untersuchten Gruppen und die durchschnittlichen Herzgewichte. n-Gesamt: 536 Kinderherzen bis zum 20. Lebensjahr; 63 Herzen von Erwachsenen mit normalen Herzen über 20 Jahre. G = Gesamtgewicht des fixierten Herzens; R = Gewicht des freien Anteils der rechten Herzkammer; S = Gewicht des Kammersepsums; L = Gewicht des freien Anteils der linken Herzkammer (jeweils in g Muskelatur)

	Unter 1000 1000 g	1000 bis 2000 g	2000 bis 3000 g	3000 bis 4000 g	2. bis 4. Woche	5. bis 12. Monat	3. Jahr	6. Jahr	10. Jahr	14. Jahr	20. Jahr	Über (♂)	Über (♀)	
G	4,59	8,39	14,65	19,19	19,8	19,7	31,2	53,3	86,2	111,3	198,0	254,1	334,9	299,1
R	1,17	2,33	4,49	6,08	5,3	3,8	5,6	8,3	14,4	16,3	29,3	40,8	36,5	31,3
S	0,83	1,55	2,79	3,68	4,1	3,6	6,0	9,8	15,7	20,7	36,4	48,8	—	—
L	1,30	2,20	3,93	4,90	5,6	6,5	10,7	17,9	28,0	33,7	59,3	72,3	76,9	66,5
n	63	164	84	42	35	8	65	35	18	10	4	8	32	31

Tabelle 2. Relative Gewichte der einzelnen Herzanteile pro kg Körpergewicht

	800 g	1500 g	2500 g	3500 g	3900 g	5000 g	56 cm	70 cm	88 cm	104 cm	13450 g	18000 g	25000 g	35000 g	45000 g	50000 g	60000 g
30 cm	40 cm	48 cm	50 cm	52 cm	56 cm	60 cm	2 Wochen	6 Wochen	8 Wochen	2,5 Jahre	5 Jahre	8 Jahre	12 Jahre	15 Jahre	170 cm	157 cm	165 cm
früh	früh	früh	reif	reif	reif	reif									♂ über 20 Jahre	♀ über 20 Jahre	♂ über 20 Jahre
G	5,51	5,54	5,86	5,57	5,15	3,94	3,50	3,96	4,78	4,45	5,65	5,65	4,69	5,08			
R	1,40	1,54	1,80	1,76	1,38	0,76	0,62	0,62	0,80	0,65	0,83	0,91	0,51	0,53			
S	0,99	1,02	1,12	1,07	1,07	0,72	0,67	0,72	0,87	0,83	1,04	1,08	—	—			
L	1,56	1,45	1,57	1,42	1,46	1,30	1,20	1,33	1,35	1,55	1,69	1,61	1,08	1,13			

Tabelle 3. Relative Gewichte der einzelnen Herzanteile pro m² Körperoberfläche (berechnet nach Du Bois)

	800 g	1500 g	2500 g	3500 g	3900 g	5000 g	56 cm	70 cm	88 cm	104 cm	13450 g	18000 g	25000 g	35000 g	45000 g	50000 g	60000 g
30 cm	40 cm	48 cm	50 cm	52 cm	56 cm	60 cm	2 Wochen	6 Wochen	8 Wochen	2,5 Jahre	5 Jahre	8 Jahre	12 Jahre	15 Jahre	170 cm	157 cm	165 cm
früh	früh	früh	reif	reif	reif	reif									♂ über 20 Jahre	♀ über 20 Jahre	♂ über 20 Jahre
m ^a	0,078	0,124	0,176	0,210	0,225	0,260	0,390	0,560	0,730	0,910	1,170	1,410	1,800	1,660			
G	58,752	67,959	83,505	92,112	87,120	75,845	79,882	94,874	118,094	122,430	168,300	177,870	184,195	179,460			
R	14,976	18,873	25,393	29,184	23,320	14,820	14,336	14,774	19,728	17,930	24,905	28,560	20,075	18,780			
S	10,624	12,555	15,903	17,664	18,040	13,860	15,360	17,444	21,509	22,770	30,940	34,160	—	—			
L	16,640	17,820	22,401	23,520	24,640	25,025	27,392	31,862	38,360	37,070	50,405	50,610	42,295	39,900			

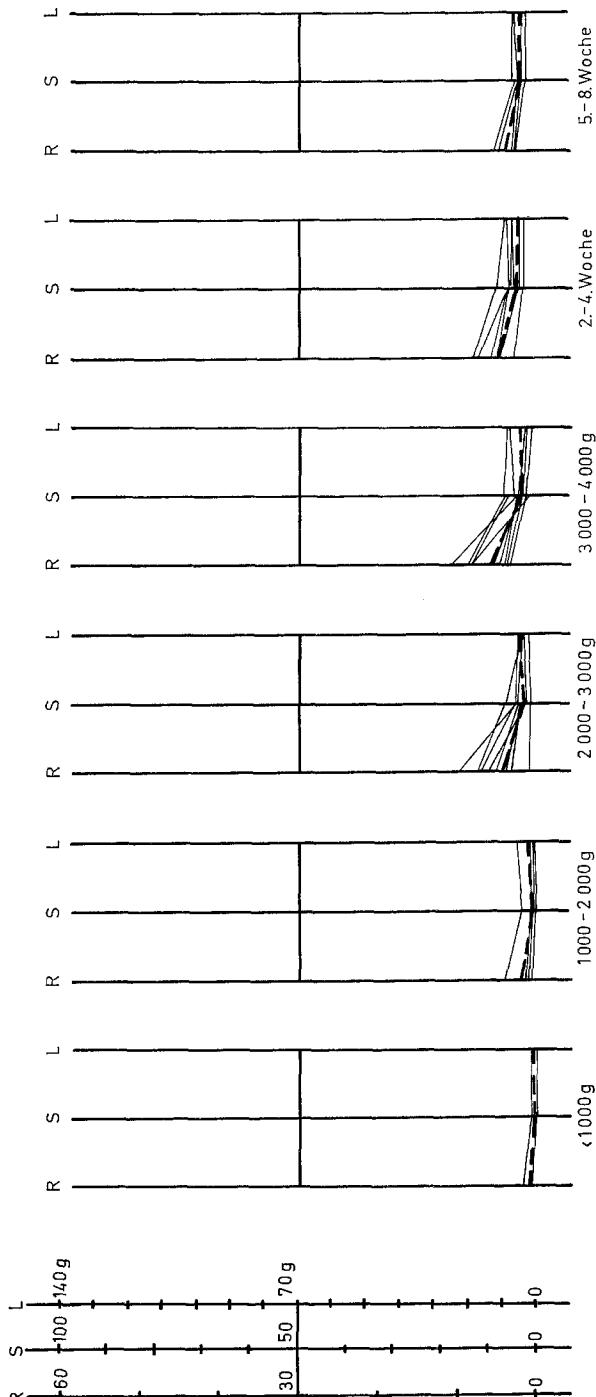
^a m² Körperoberfläche.

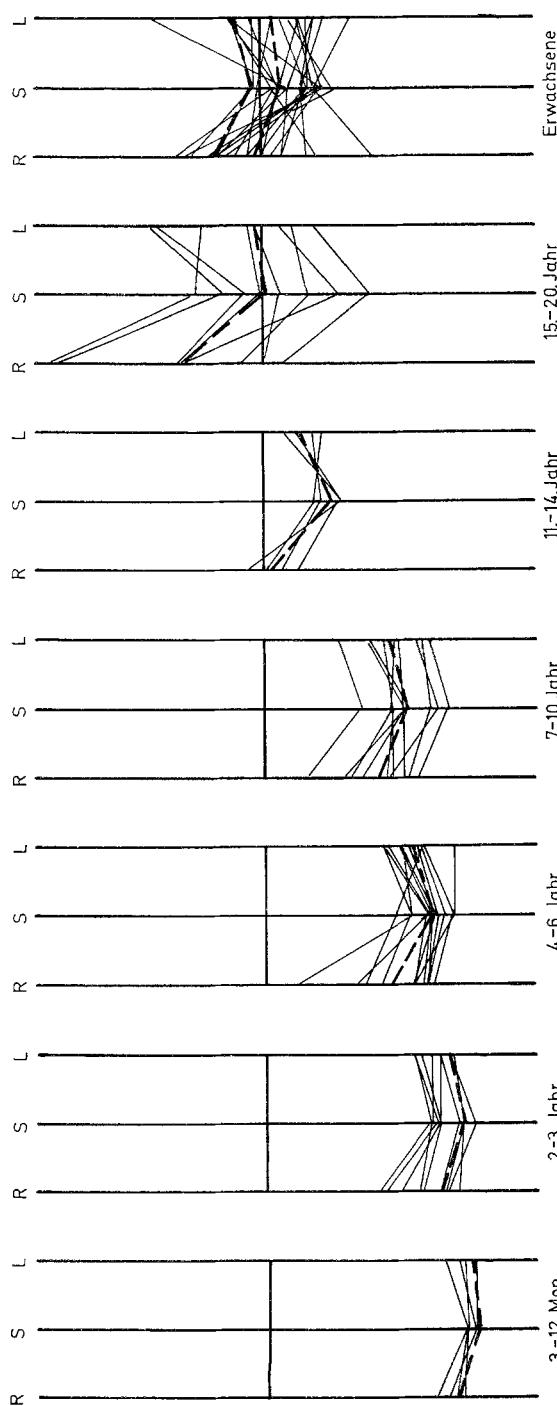
von L zu verzeichnen ist bzw. R in der Wachstumszunahme zurückbleibt. Die Werte für G , R und L erreichen schon in einem Alter von 14–18 Jahren die von Erwachsenenherzen.

Auf eine ausführliche Wiedergabe klinischer Daten und pathologisch-anatomischer Einzelbefunde kann verzichtet werden. Die Obduktion der Kinder ergab eine große Zahl von Befunden: Unreife, Aspiration, Syndrom der hyalinen Membranen und geburtsmechanische Hirnblutungen in der Gruppe der Früh- und Neugeborenen, Mißbildungen, Gastroenteritiden, Geschwülste und Systemerkrankungen in der Gruppe der älteren Kinder.

Wenn man die Gewichte der einzelnen Herzanteile in Relation zum Körpergewicht setzt und das Gewicht von G , R , S und L pro kg Körpergewicht berechnet (Tabelle 2), so ergeben die Relationskurven mit zunehmendem Alter keinen linearen Verlauf. Während die relativen Gewichte von G , ebenso wie von R , S und L in der Frühgeborenenphase pro kg Körpergewicht eine (mit geringen Schwankungen) Zunahme bis zum Geburtsnormalgewicht erkennen lassen, fallen sie für G , S und L im 1. Lebensjahr ab, erreichen ihren niedrigsten Wert in der Gruppe 1 Monat–1 Jahr und nehmen von hier bis zum Erwachsenenalter kontinuierlich zu. Der relative Gewichtswert für R ist in der Gruppe der etwa 1jährigen Kinder am niedrigsten.

Wählt man als genauere und heute meist gebräuchliche Bezugsgröße für die Herzgewichte die Körperoberfläche (berechnet nach Du Bois) und setzt die Gewichte von G , R , S und L hierzu in Beziehung (Tabelle 3), so zeigen alle Werte einen Anstieg bis etwa zur Geburt, fallen dann ab, um später wieder anzusteigen. Lediglich der freie Anteil des linken Ventrikels





(L) lässt einen solchen Abfall des Gewichts in Beziehung zur Körperoberfläche vermissen. Bei G, R und S werden die niedrigsten Werte im 1. Lebensjahr erreicht. Im Erwachsenenalter ist das Gewicht der einzelnen gewogenen Herzanteile pro m^2 Körperoberfläche im Vergleich mit der Früh- und Neugeborenenphase für G, S und L etwa verdreifacht, für R lediglich verdoppelt.

Die graphische Darstellung unserer Gewichtsbestimmungen zeigt drei erlei (Abb. 1):

1. Bei kleinen Herzen ist die Streuung um den durchschnittlichen Mittelwert der Gewichte der einzelnen Herzanteile relativ gering, nimmt aber mit steigendem Gewicht bzw. Lebensalter zu.
2. Die passagere „physiologische“ Rechtshypertrophie z. Z. der postnatalen Kreislaufumschaltung kommt bei der graphischen Darstellung gut zum Ausdruck. Sie ist an der Steilheit der Verbindungs linie R—S bei nahezu unverändert flacher Verbindungs linie S—L abzulesen.
3. Das wachsende Kinderherz erreicht die Gewichtswerte des Erwachsenen in einem Alter von etwa 15 Jahren, sein Gewicht nimmt darüber nur noch unwesentlich zu.

Abb. 1. Graphische Darstellung der Gewichtsverhältnisse in den einzelnen Altersgruppen. Bei Frühgeborenen und Kleinkindern sind jeweils nur wenige Einzelwerte eingetragen, um das Bild nicht zu verwischen. Diinne Linien: Einzelwerte; —: Durchschnittliche Gewichte jeder Gruppe (in der Gruppe der Erwachsenen gibt die obere gestrichelte Linie die Mittelwerte für Männer, die untere die für Frauen wieder).

Besprechung

Die 1883 von MÜLLER angegebene Methode zur Zerlegung des Herzens in Septum, freie Anteile des rechten und linken Ventrikels sowie Vorhöfe und große Gefäße und deren getrennte Wägung ist mehrmals abgeändert worden (s. OTTO und WEBER, 1966). Die präparativ bedingten Fehlermöglichkeiten und Ungenauigkeiten sind beim Kinderherzen durch das fast völlige Fehlen subepikardialer Fettdepots gering, andererseits führen schon geringe Abweichungen in der Schnittführung beim Abtrennen der Ventrikel vom Kammerseptum zu relativ großen Fehlern. Auf die Bestimmung des Funktionsindex nach MÜLLER haben wir auch in der vorliegenden Untersuchung verzichtet, da die Angabe der absoluten und relativen Gewichte von R , L und S eine genauere und zuverlässigere Information zu der Frage liefert, ob eine Hypertrophie vorliegt oder nicht (OTTO und WEBER, 1966; BREINING, 1968).

Unsere Messungen gestatten neben der Bestätigung der physiologischen Rechtshypertrophie nach der Geburt (HORT, 1955) eine Aussage über das durchschnittliche Herzgewicht in den einzelnen Entwicklungsphasen. Danach nimmt das Gewicht des wachsenden Herzens in der Frühgeborenenphase bzw. in den letzten Monaten vor der Geburt relativ rasch zu, im Verhältnis zur Zunahme des Gesamtkörpergewichtes nimmt es bis zum Ende des 1. Lebensjahres erheblich ab (Tabelle 2). Später ist wieder ein erheblicher Gewichtszuwachs zu verzeichnen, im Erwachsenenalter werden jedoch fast wieder die Gewichtsrelationen der Frühgeborenenphase beobachtet. In einem Alter von 15 Jahren kann das Kinderherz als „ausgewachsen“ bezeichnet werden, wenn man es mit den Gewichten herzgesunder Erwachsener vergleicht. Mit zunehmendem Alter nimmt die Streuung um den durchschnittlichen Mittelwert zu (Abb. 1).

Zusätzlich ergaben die Gewichtsbestimmungen, daß die Herzgewichte herzgesunder Säuglinge und Kleinkinder erheblichen Schwankungen unterliegen können, ohne daß eine vorhandene Herzvergrößerung aus dem morphologischen Herzbefund erklärt werden könnte. Diese Beobachtung erlaubt den Schluß, daß das Herz des Kindes wie das des Erwachsenen hinsichtlich seiner Größe einer physiologischen Variationsbreite unterliegt entsprechend der unterschiedlichen Körpergröße und Variationsbreite anderer Körperorgane. Wir haben z. B. in der Gruppe der Kinder 2000—3000 g sehr unterschiedlich große Herzen gefunden: 29,5 g für G bei 2600 g Körpergewicht und 50 cm Körpergröße (S. Nr. 379/64), Hauptleiden und Todesursache Aspiration; im Gegensatz hierzu betrug G bei einem 3000 g schweren und 50 cm großen Kind mit einem Hydrocephalus 10,0 g und bei einem 2030 g schweren und 50 cm großen Kind mit hyalinen Membranen nur 7,0 g (S. Nr. 470/63 und 608/65). Diese Gewichtsunterschiede des Herzens (G) sind aus dem morphologischen Befund nicht zu erklären und sind unseres Erachtens Ausdruck einer physiologischen Streuung der Gewichte, in diesen Fällen um den Faktor 2—3.

Unsere Messungen bestätigen an einem umfangreichen Material die bekannten Untersuchungen von HORT (1953, 1955) ebenso wie die von EMERY und MITHAL (1961). Die Zunahme des Gewichts des freien Anteils des linken Ventrikels (L) ist durch dessen gegenüber dem freien Anteil des rechten Ventrikels (R) größere

Zuwachsrate und nicht durch eine Atrophie des rechten Ventrikels zu erklären (HORT, 1953, 1955). Einen Hinweis hierauf sehen wir auch in den Gewichtsrelationen der einzelnen Herzanteile zur Körperoberfläche, die für *R* lediglich eine Verdoppelung des relativen Gewichts von der Geburt bis zum Erwachsenenalter erkennen läßt, während die Gewichte von *G*, *S* und *L* sich verdreifachen. Die Zuwachsrate des rechten Ventrikels bleibt hinter der der anderen Herzanteile zurück.

Der in Tabelle 1 erkennbare Gewichtsverlust an funktionsfähiger Muskulatur von *G* und *R* bei über 20jährigen Menschen ist möglicherweise Folge und Ausdruck eines bei älteren Menschen häufig zu beobachtenden Ersatzes von Muskulatur durch Fettgewebe (Lipomatose) mit Verlust aktiver Muskelfasern. Sie spielt besonders am rechten Herzen eine erhebliche Rolle und kann nach primärer Atrophie der Muskelfasern die Form einer Vakufettwucherung annehmen (SCHOENMACKERS und WILLMEN, 1963). Auf keinen Fall ist das relativ hohe Gewicht von *R* bei Jugendlichen Ausdruck einer funktionellen Belastung des kleinen Kreislaufs i.S. eines Cor pulmonale. Dies bestätigen auch die übrigen Obduktionsbefunde von Jugendlichen am Ende des 2. Lebensjahrzehnts mit einem häufig muskelkräftigen rechten Ventrikel ohne pathologischen Lungenbefund.

Bei der graphischen Darstellung der Ergebnisse (Abb. 1) kommt dieses Überwiegen von *R* bei Jugendlichen durch die Steilheit der Verbindungsline gut zum Ausdruck, ebenso die sog. physiologische Rechtshypertrophie z.Z. der postnatalen Kreislaufumschaltung.

SCHULZ und GIORDANO (1962) haben Gewichtsbestimmungen an 1847 Kinderherzen vorgenommen, wobei sie besonderen Wert auf Dickenmessungen beider Ventrikel und Weitenmessungen der 4 Ostien gelegt haben. Es wurden dafür stets die Herzen in frischem unfixiertem Zustand verwendet. Getrennte Wägungen der einzelnen Herzanteile haben diese Autoren nicht vorgenommen, weshalb ein Vergleich mit unseren Werten nicht möglich ist.

Bei der Einteilung und Klassifizierung der Herzen war ein gewisser Zwang bei der Festlegung der Gruppen nicht zu umgehen. Wir haben uns dabei wesentlich an klinischen Gegebenheiten und Erfordernissen orientiert, die außer den Gewichten bei Frühgeborenen in späteren Abschnitten eine Einteilung nach verschiedenen Lebensabschnitten (Schulbeginn, Pubertät) als zweckmäßig erscheinen läßt (HABEDANK). Zudem ist bekannt, daß das Ekg des Kinderherzens am Ende des 1. Lebensmonats einen physiologischen Umbau erkennen läßt (HECK und STOERMER, 1959), weshalb wir bei unserer Einteilung auch diese Cäsur berücksichtigt haben. Auf eine Unterteilung nach dem Geschlecht haben wir verzichtet, da hierfür gerade bei älteren Kindern die Zahlen nicht ausreichend sind und dies auch für die Fragestellung unerheblich erschien.

Literatur

- BREINING, H.: Massenverhältnisse des Herzens bei Lungenembolie. Zbl. allg. Path. path. Anat. **111**, 89—92 (1968).
- EMERY, J. L., and A. MITHAL: Weight of cardiac ventricles at and after birth. Brit. Heart J. **23**, 313—316 (1961).
- GEIGY — Wiss. Tabellen, 6. Aufl., S. 596—597, 1960.
- HABEDANK, M.: Persönl. Mitt.

- HECK, W., u. J. STOERMER: Pädiatrischer EKG-Atlas. Stuttgart: Georg Thieme 1959.
- HORT, W.: Quantitative histologische Untersuchungen an wachsenden Herzen. Virchows Arch. path. Anat. **323**, 223—242 (1953).
- Morphologische Untersuchungen an Herzen vor, während und nach der postnatalen Kreislaufumschaltung. Virchows Arch. path. Anat. **326**, 458—484 (1955).
- MARSHALL, A. G.: A simple method of weighing the heart. J. clin. Path. **14**, 578—594 (1961).
- MÜLLER, W.: Die Massenverhältnisse des Herzens. Hamburg: Voß 1883.
- OTTO, H., u. K. P. WEBER: Getrennte Ventrikelwägung zur Bestimmung der Herzhyper-trophie. Frankfurt. Z. Path. **76**, 52—65 (1966).
- ROESSLE, R., u. F. ROULET: Maß und Zahl in der Pathologie. Berlin u. Wien: Springer 1932.
- SCHOENMACKERS, J., u. H. R. WILLMEN: Über Lipomatosis cordis, ihre Beziehungen zur Leistungsfähigkeit und Insuffizienz des rechten Ventrikels. Arch. Kreisl.-Forsch. **40**, 251—283 (1963).
- SCHULZ, D. M., and D. A. GIORDANO: Hearts of infants and children. Arch. Path. **74**, 464—471 (1962).

Dr. H. Breining
Abt. Pathologie
der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule
51 Aachen, Goethestr. 27—29