

Quantitative Bestimmung des Fett- und Myokardgewebes im Leichenherzen*

W. MASSHOFF, D. SCHEIDT und H. F. REIMERS

Pathologisches Institut der Freien Universität Berlin, Städtisches Krankenhaus Westend
(Direktor: Prof. Dr. W. MASSHOFF)

Eingegangen am 21. Dezember 1966

Für die Beurteilung des Leichenherzens bedeutet die Bestimmung seines Gewichtes eine unerlässliche Größe. Im allgemeinen mag das Bruttogewicht eine verwertbare Aussage über den in erster Linie interessierenden muskulären Anteil zulassen; dieses wird aber um so mehr einer Einschränkung bedürfen, je stärker der Gehalt des Herzens an Fettgewebe ist. Die Lipomatosis cordis ist eine heute gerade bei älteren und alten Menschen häufig zu registrierende Erscheinung, die nicht vernachlässigt werden kann, wenn das Bruttogewicht des Herzens überhaupt einen adäquaten Maßstab für die Muskelmasse abgeben soll. Eine einigermaßen zutreffende Aussage über die Quantität der Muskelmasse ließe sich nur mit der bereits von MÜLLER in seiner Arbeit „Die Massenverhältnisse des menschlichen Herzens“ (1883) angegebenen präparativen Methode machen, die allerdings ihrer Umständlichkeit und Aufwendigkeit wegen im Routinebetrieb kaum praktikabel ist.

Wir haben uns in über mehrere Jahre sich erstreckenden Untersuchungen um die Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens bemüht, das relativ einfach und schnell eine annähernd brauchbare Aussage über die Massenverhältnisse von Muskel- und Fettgewebe eines Herzens ermöglichen soll. Als geeignet hat sich hierfür ein Vorgehen erwiesen, das auf der Bestimmung der spezifischen Gewichtes beruht. Die Grundlagen dieses Verfahrens und seine praktische Anwendung sollen kurz aufgezeigt werden, bezüglich weiterer Einzelheiten und der umfangreichen statistischen Daten wird auf die Inaugural-Dissertation von SCHEIDT (1966) verwiesen.

Das spezifische Gewicht des Herzfleisches und Fettgewebes wurde im flüssigen Milieu bestimmt nach der Formel:

$$Y = \frac{G_L}{G_{Verl}} \cdot Y_{Fl}$$

(Y = spezifisches Gewicht; G_L = Gewicht in Luft; G_{Verl} = Gewichtsverlust; Y_{Fl} = spezifisches Gewicht der Flüssigkeit.)

* Mit dieser Arbeit gedenken wir aufrichtig und dankbar Herrn Professor Dr. DR. KARL FREUDENBERG, der durch ständige Beratung und Kontrolle den Fortgang der Untersuchungen wesentlich gefördert und noch wenige Wochen vor seinem tragischen Tod das umfangreiche Manuskript der Dissertation von D. SCHEIDT einer letzten Prüfung unterzogen hat.

Wegen des Einflusses der Temperatur auf den zu bestimmenden Körper und die Vergleichsflüssigkeit wurden die Messungen bei gleichbleibender Temperatur durchgeführt.

In Anlehnung an die Mohr'sche Waage wurde für die Untersuchungen eine hochempfindliche Analysenwaage umkonstruiert. Kleine rein myokardiale Gewebsstücke (ohne Endokard und Epikard) oder kleine Fettgewebsstücke wurden in Luft und anschließend in Flüssigkeit gewogen. Als Flüssigkeiten dienten Aqua dest., physiol. NaCl-, Tyrode- und Ringerlösung sowie Formalin 10% und Formalin in der Verdünnung 1+9. Für die Wägung des Fettgewebes wurde Paraffinum liquidum pro analysi gewählt. Die Wägungen des Myokards erfolgten jeweils kurzfristig. Vergleichsweise wurde Gewebe auch nach längerem Verweilen in den genannten Flüssigkeiten gewogen, die Wägung sowohl unmittelbar nach der Entnahme als auch nach 30 min, nach 1, 2, 3, 24 und 48 Std Aufenthalt in Flüssigkeit vorgenommen. Für in Formalin aufbewahrtes Gewebe haben sich die Messungen auf 13 Tage erstreckt.

Myokardgewebe wurde von verschiedenen Kammerteilen, das Fettgewebe dem Epikard über dem rechten Ventrikel oder der basalen Coronarfurche entnommen. Ergänzend wurde zur Bestimmung des Wassergehaltes der Gewichtsverlust des Myokards bis zur Gewichtskonstanz ermittelt. Für diesen Zweck wurden kleinste Myokardstücke bei 70°C im Brutschrank gehalten, die Gewichtskonstanz durchschnittlich nach 4×24 Std erreicht. Gewogen wurde mit einer Torsionswaage.

Aus den Messungen wurden Werte für das rechte und das linke Myokard mit Berechnung der Signifikanz (*t*) gesondert ermittelt. Da zwischen den Werten des marginalen und septumnahen Myokards der rechten oder linken Herzkammer *kein* signifikanter Unterschied besteht, wurden die Werte für jeden Ventrikel addiert.

Danach hat sich ergeben:

	Spezifisches Gewicht (<i>Y</i>) Myokard rechts	Mittlere quad. Abweichung (<i>s</i>)	Spezifisches Gewicht (<i>Y</i>) Myokard links	Mittlere quad. Abweichung (<i>s</i>)	Signifikanz (<i>t</i>)
<i>Aqua destillata</i>	1051	0,007	1055	0,008	2,7
<i>0,9% Na-Cl-Lösung</i>	1053	0,008	1056	0,007	2,1
<i>Ringer-Lösung</i>	1048	0,004	1054	0,005	2,5
<i>Tyrode-Lösung</i>	1044	0,008	1056	0,008	2,9
<i>Paraffinum liquidum</i>	1054	0,012	1059	0,011	1,67
<i>Formalin</i>	1051	0,011	1053	0,008	0,65

Das spezifische Gewicht der linken und der rechten Herzkammer differiert demnach signifikant, es ist für die linke Kammer stets höher als für die rechte. Die Signifikanz (*t* bis 2,9) drückt nach statistischen Regeln mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit diesen Unterschied aus.

Das Myokard des gesamten Herzens wird nach der Formel

$$aY_{li} + (1-a) Y_{re} = Y_{\text{gesamt}}$$

berechnet. Dieser Berechnung liegen die Ergebnisse in physiologischer NaCl-Lösung, die sich am besten bewährt hat, zugrunde.

Für das *Gesamtmyokard* ergibt sich ein spezifisches Gewicht von 1055 bei Zugrundelegung eines Myokardverhältnisses zwischen linker und rechter Kammer von 2:1 (MÜLLER, RUSSEL, JONES). Der bei einem von anderer Seite angenommenen Verhältnis von 3:1 (MERKEL, Voss) eventuell gegebene Unterschied würde innerhalb der statistisch festgelegten Fehlerbreite unserer Methode liegen

und bedeutungslos sein. Ein spezifisches Gewicht für das Myokard von 1055 kann nach unseren Berechnungen demnach als *Konstante* gelten.

Die *Papillarmuskeln* der linken Kammer haben im Durchschnitt ein spezifisches Gewicht von 1060, sie nehmen bei einer mittleren quadratischen Abweichung (s) von 0,013 und mit einer Signifikanz (t) von 1,9 aber keine Sonderstellung ein. Diese Ergebnisse resultieren aus Meßreihen von Herzen, die vorwiegend einem Kollektiv von Individuen zwischen $1\frac{1}{2}$ Jahren bis unter 90 Jahren angehören. In dieser Gruppe bestehen keine Unterschiede des spezifischen Gewichtes innerhalb der einzelnen Lebensdezennien. Das als Konstante bezeichnete spezifische Gewicht für das Gesamtmyokard schließt im übrigen das höhere spezifische Gewicht für Papillarmuskeln ein.

Für das Gesamtmyokard von *Totgeborenen* sowie von *Neugeborenen* und *Kindern* bis zum Alter von $1\frac{1}{2}$ Jahren ergibt sich nach demselben Vorgehen ein spezifisches Gewicht von 1047. Zwischen beiden Gruppen wurde ein t von 3,3 ermittelt, d.h. das spezifische Gewicht des Myokards von Herzen jenseits von $1\frac{1}{2}$ Lebensjahren mit $Y = 1055$ und für das fröckliche Herz mit $Y = 1047$ ist voll signifikant verschieden. Diese auffällige Differenz könnte durch den größeren rechten Ventrikel der Neugeborenen, die annähernd gleich großen Kammern der Säuglinge und durch die noch nicht abgeschlossene Differenzierung des links- und rechtsseitigen Myokards, unter Umständen auch durch den rechts und links noch gleichen Elektrolytgehalt zu erklären sein.

In einer weiteren Untersuchungsreihe wurde der Gewichtsverlust des Myokard bis zur Gewichtskonstanz und damit der *Wassergehalt* bestimmt. Ein Unterschied im Myokard zwischen Kante und Septumnähe innerhalb derselben Kammer besteht nicht. Der Wassergehalt erweist sich mit 79,64 % für das rechte Myokard und mit 79,75 % für das linke Myokard praktisch als gleich (Signifikanzberechnung $t = 0,85$). Warum bei gleichem Wassergehalt rechts- und linksseitiges Myokard hinsichtlich des spezifischen Gewichtes differieren, läßt sich nicht ohne weiteres erklären, unter Umständen ist die Wasserbindungskapazität verschieden. Auch für die Herzen von Totgeborenen, Neugeborenen und Kindern bis $1\frac{1}{2}$ Jahren ergeben sich diesbezüglich auch im Myokard derselben Kammern (rechts $t = 1,89$, links $t = 1,32$) keine Unterschiede (Wassergehalt des Myokards rechts 82,48 %, links 82,43 %, $t = 0,18$). Unterteilt nach Dezennien bestehen im Wassergehalt ebenfalls keine nennenswerten Differenzen.

Der höhere Wassergehalt im Myokard von Totgeborenen, Neugeborenen und Kindern bis $1\frac{1}{2}$ Jahre gegenüber jenem des Myokard älterer Menschen (Signifikanz t links 13,4, rechts 12,35) dürfte für das verschiedene spezifische Gewicht von Bedeutung sein. Der dem Wassergehalt entsprechende Gewichtsverlust für den Papillarmuskel beträgt 78,93 %; das entsprechende $t = 2,9$ bedeutet einen wahrscheinlichen Unterschied zwischen Papillarmuskel und Wandmyokard links.

Verbleibt das zu untersuchende Gewebsstück über längere Zeit in der Analysenflüssigkeit, ändert sich erwartungsgemäß das spezifische Gewicht. Wahrscheinlich infolge von *Diffusion* verringert sich dieses in Abhängigkeit von der Zeit kontinuierlich. Nach 48 Std hat das spezifische Gewicht für das Myokard links um 3,41 % und jenes rechts um 3,15 % abgenommen. Messungen über einen

längerem Zeitraum sind nicht verwertbar. Bemerkenswert ist bei diesen Messungen das Verhalten vom linken und rechten Kammermyokard. Bis zur zweiten Stunde besteht bei annähernd gleichem prozentualem Verhältnis ein signifikanter Unterschied im jeweiligen spezifischen Gewicht. Danach ist der Unterschied nicht mehr signifikant, was neben anderem wahrscheinlich auf eine Angleichung der osmotischen Verhältnisse zu beziehen ist. Wird in Formalin gemessen, ändert sich das spezifische Gewicht nicht. Prüfung des Gewichts bei längerem Verweilen in Flüssigkeiten ergibt — wie zu erwarten — eine Zunahme des Gewichtsverlustes, die etwa der Änderung des spezifischen Gewichtes parallel geht.

Zu Vergleichszwecken wurde auch das spezifische Gewicht des bis zur Gewichtskonstanz *getrockneten Myokards* (in Paraffinum liquidum als geeignetster Flüssigkeit) bestimmt. Hierbei ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen marginalem und septumnahem Myokard, jedoch ein solcher zwischen rechtem (spezifisches Gewicht 1,222) und linkem Myokard (spezifisches Gewicht 1,334). Mit einer Signifikanz (*t*) von 9,33 ist dieser Unterschied echt.

Nach zahlreichen vergleichenden Messungen wurde für das *Fettgewebe* ein durchschnittliches spezifisches Gewicht von 0941 ermittelt (zugehöriges *s* = 0,005). Für die Bestimmung des Fettgewebsanteiles am gesamten Herzgewicht wurden die nach den Voruntersuchungen erzielten Größen für das spezifische Gewicht des Myokards sowie des Fettgewebes zugrunde gelegt. Zu messen ist jeweils das spezifische Gewicht des Herzens. Bezeichnet man den Myokardanteil mit *X*, so darf nach allgemeinen Regeln für den Fettgewebsanteil $1-X$ gesetzt werden. Danach ergibt sich folgende Gleichung.

$$\begin{aligned} X \cdot Sp_m + (1 - X) Sp_f &= Sp_{\text{ges}} \\ X \cdot Sp_m + Sp_f - X \cdot Sp_f &= Sp_{\text{ges}} \\ X (Sp_m - Sp_f) &= Sp_{\text{ges}} - Sp_f \\ X &= \frac{Sp_{\text{ges}} - Sp_f}{Sp_m - Sp_f} \end{aligned}$$

Nach den systematischen Messungen gelten für

$$Sp_f = 0941 \quad Sp_m = 1055$$

Daraus ist die Formel ableitbar:

$$X = \frac{Sp_{\text{ges}} - 0941}{0114}$$

$$X = \frac{Sp_{\text{ges}} - \text{Const.}_1}{\text{Cconst.}_2}$$

(Sp_{ges} = spezifisches Gewicht des gesamten Herzens; Sp_m = spezifisches Gewicht des Fettgewebes; X = Anteil des Myokards.)

Dabei ist Sp_{ges} jeweils zu bestimmen, Sp_m und Sp_f stellen Konstanten dar.

Nach der vorstehenden Formel wurde eine Tabelle aufgestellt, die jedes nur mögliche spezifische Gewicht für das Gesamtherz enthält. Aus dieser Tabelle kann nach Bestimmung des spezifischen Gewichtes des zu untersuchenden Gesamtherzens sein Anteil an Myokard direkt abgelesen werden.

Nach Feststellung des spezifischen Gewichts des Gesamtherzens durch Wägung in physiologischer Na-Cl-Lösung kann der genaue Myokardanteil ermittelt

Tabelle

Sp_{ges}	X	Sp_{ges}	X	Sp_{ges}	X	Sp_{ges}	X	Sp_{ges}	X
1055	1000	1032	798	1009	569	986	395	963	193
1054	991	1031	789	1008	588	985	386	962	184
1053	982	1030	781	1007	579	984	377	961	175
1052	974	1029	772	1006	570	983	368	960	167
1051	965	1028	763	1005	561	982	360	959	158
1050	956	1027	754	1004	553	981	351	958	149
1049	947	1026	746	1003	544	980	342	957	140
1048	939	1025	737	1002	535	979	333	956	132
1047	930	1024	728	1001	526	978	325	955	123
1046	921	1023	719	1000	518	977	316	954	114
1045	912	1022	711	999	509	976	307	953	105
1044	904	1021	702	998	500	975	298	952	96
1043	895	1020	693	997	491	974	289	951	88
1042	886	1019	684	996	482	973	281	950	79
1041	877	1018	675	995	474	972	272	949	70
1040	868	1017	667	994	465	971	263	948	61
1039	860	1016	658	993	456	970	254	947	53
1038	851	1015	649	992	447	969	246	946	44
1037	842	1014	640	991	439	968	237	945	35
1036	833	1013	632	990	430	967	228	944	26
1035	825	1012	623	989	421	966	219	943	18
1034	816	1011	614	988	412	965	211	942	9
1033	807	1010	605	987	404	964	202	941	0

und über die für die Herzleistung allein ausschlaggebende Muskelmasse eine zuverlässige Aussage gemacht werden. Eine Präparation des Fettgewebes ist damit nicht mehr erforderlich.

Praktisch wird folgendermaßen verfahren: Das Herz wird nach der Sektion in üblicher Weise in Luft gewogen (Bruttogewicht), anschließend das Volumen, d.h. die Massenverdrängung bestimmt. Aus diesen Werten ergibt sich das spezifische Gewicht des Gesamtherzens nach der Formel

$$Y = \frac{G}{V}$$

(Y = spezifisches Gewicht, G = Gewicht, V = Volumen des Herzens.)

Aus der Tabelle ist der entsprechende Myokardanteil zu lesen.

Beispiel: Ein Herz mit einem Bruttogewicht von 700 g hat ein spezifisches Gewicht von 1032, sein Anteil an Myokard (X) beträgt 798, d.h. das untersuchte Herz besteht zu 79,8% aus aktivem Parenchym, die Muskelmasse macht somit 558,6 g aus.

Die Ergebnisse resultieren aus einem inhomogenen Material, für das die errechnete Signifikanz völlig ausreichen dürfte. Jede Methode ist allerdings mit Fehlerquellen behaftet. So müssen beispielsweise größere Verkalkungen, die das spezifische Gewicht des Gesamtherzens deutlich beeinflussen können, berücksichtigt werden. Deshalb sollten stark kalkhaltige Abschnitte entfernt werden. Außer Verkalkungen dürfte auch durch die gallertige Atrophie des Fettgewebes das spezifische Gewicht für das Gesamtherz höher ausfallen. Dagegen können kleine Schwienen im Myokard sicher unberücksichtigt bleiben.

Zusammenfassung

Für die quantitative Bestimmung des Fettgewebes und der Muskelmasse des Leichenherzens wurde eine sich auf das spezifische Gewicht stützende Methode entwickelt. Für das Fettgewebe wurde ein spezifisches Gewicht von 0941 und für das Myokard des Gesamtherzens von 1055 ermittelt. Das spezifische Gewicht des Myokards wurde an verschiedenen Stellen und unter verschiedenen Bedingungen geprüft und für das Gesamtmyokard eine statistisch unterbaute Konstante errechnet. Zwischen dem Myokard des rechten und des linken Ventrikels besteht ein signifikanter Unterschied. Das spezifische Gewicht des Myokards von Kindern bis zu $1\frac{1}{2}$ Jahren ist geringer als das jenseits dieses Alters. Der Wassergehalt des Myokards ist rechts und links gleich groß, er ist jedoch signifikant verschieden zwischen Herzen von Kindern bis zu $1\frac{1}{2}$ Jahren und älteren Individuen. Die hierfür in Betracht kommenden Faktoren sind wahrscheinlich in der Struktur der Myokardfasern, im Zwischengewebe und im Elektrolytgehalt zu suchen.

Mit der Bestimmung des Gewichtes und des Volumens des Leichenherzens kann an Hand einer statistisch unterbauten Tabelle praktisch einfach und schnell der Anteil von Fettgewebe und Myokard ermittelt werden.

Quantitative Studies of the Fat and Myocardium of Human Hearts at Various Ages

Summary

A method was developed to determine quantitatively the fatty tissue and muscle volume of the heart of human corpses based on the specific gravity. The specific gravity for fatty tissue was found to be 0941 and for the myocardium of the whole heart 1055. The specific gravity of the myocardium from various parts and under various conditions was examined.

For the whole myocardium a constant value was statistically calculated. Between the myocardium of the right and left ventricle a significant difference existed. The specific gravity of the myocardium of children up to $1\frac{1}{2}$ years is less than beyond this age. The water content of the myocardium is the same in the right and left ventricle; however, the hearts of children up to $1\frac{1}{2}$ years differ significantly from those of older individuals. The factors responsible for this difference probably are the structure of the myocardial fibers, the connective tissue and the electrolyte content.

With the measurement of the weight and the volume of the hearts of human corpses the portion of fatty tissue and myocardium can be determined in a practical, simple and quick way from a table based on statistical studies.

Literatur

SCHEIDT, D.: Untersuchungen über die Bestimmung des Gehaltes des Leichenherzens an Fett- und Myokardgewebe. Inaug.-Diss. Freie Universität Berlin, 1966.

Prof. Dr. W. MASSHOFF
Pathologisches Institut der Freien Universität Berlin
im Krankenhaus Westend
1 Berlin 19, Spandauer Damm 130