

Original works

**Die röntgenologische Herzvolumenbestimmung
zur Diagnose des tödlichen Herzversagens***

Gg. Schmidt, D. Kallieris und P. Stosch

Institut für Rechtsmedizin im Klinikum der Universität Heidelberg, Voßstrasse 2,
D-6900 Heidelberg, Bundesrepublik Deutschland

Eingegangen am 21. April 1989

X-ray cardiac volume estimation in the diagnosis of cardiac death

Summary. In order to investigate the connection between the cardiac volume and the cardiac shadow plane, 385 anterior-posterior radiographs of the thorax have been selected comparing their cardiac shadow plane with the corresponding cardiac volumes determined by the autopsy of the cadavers. The comparison showed a connection of both magnitudes by means of the formula $H_{vol} = 0.49 \times F_a \times \sqrt{F_a}$ (H_{vol} = cardiac volume in cm^3 , F_a = cardiac shadow plane of the anterior-posterior radiograph in cm^2 , corrections were made from the radiation divergence). A verification of the formula showed a very high correlation ($r = 0.984$) in 25 cadavers to be dissected. The comparing volume of the cardiac shadow plane has been investigated by means of the water displacement method, in which the cardiac vessels were ligated and the heart taken out of the cadaver. The cardiac volume, evaluated from the cardiac shadow plane showed a significant correlation at the cardiac death by internal natural cause. The comparison of the mathematical evaluated cardiac blood volumes of the symptoms causing death showed that the cardiac blood volumes in the group of poisonings and the group of drowning, suffocations and hanging with 231 ml and 211 ml in the men collective were at the same level as the cardiac death (246 ml). About the same applied to the women collective. If one takes into consideration that the cardiac weights of both groups (370 g and 392.7 g) are significantly lower in men than the one of the cardiac death (474.6 g) one can conclude from these death symptoms to a strong cardiac dilatation upon death when comparing the cardiac death.

Key words: Cardiac volume, post mortem diagnostic – Cardiac shadow in thoracic radiographs, corresponding with cardiac volume

* Herrn Professor Dr. med. Gustav Adebahr zum 65. Geburtstag gewidmet

Sonderdruckanfrage an: Gg. Schmidt

Zusammenfassung. Zur Prüfung des Zusammenhangs zwischen Herzvolumen und Herzschattefläche wurden 385 Thorax-Röntgenaufnahmen ausgewählt und deren Herzschattefläche mit den entsprechenden, aus den Sektionsprotokollen ermittelten Herzvolumina verglichen. Der Vergleich ergab einen Zusammenhang der beiden Größen über die Formel $H_{vol} = 0,49 F_a \times \sqrt{F_a}$ (H_{vol} = Herzvolumen in cm^3 , F_a = Herzschattefläche der sagittalen Aufnahme in cm^2 korrigiert um die Strahlendivergenz). Eine Überprüfung der Formel an 25 obduzierten Leichen ergab eine sehr hohe Korrelation von $r = 0,984$. Beim Herztod nach chronischer Herzkrankheit kann die Blutfüllung eine ähnliche Größenordnung erreichen wie bei akuten Vergiftungen, beim Ertrinken oder Ersticken, aber die akute Dilatation betrifft ein um mindestens 100 g leichteres Herz, so daß das Herzvolumen beim Herztod um 100 ml größer und dadurch auf diese Todesursache hinweisend ist. Da eine Röntgenaufnahme des Thorax auch aus anderen Gründen vor jeder Obduktion gemacht werden sollte, kann die Herzvolumenbestimmung ohne Mehraufwand durchgeführt werden.

Schlüsselwörter: Herzvolumen, postmortale Diagnostik – Herzschatte im Röntgenbild, Herzvolumen

Einleitung

Seit Jahrzehnten ist das sogen. kritische Herzgewicht von 500 g (Linzbach 1948) ein Kriterium für die Versagensbereitschaft des Herzens. Staiger et al. (1989) gehen von einem relativen kritischen Herzgewicht aus, weil der Alterszuwachs an Herzmuskelmasse, das Geschlecht und das Körpergewicht als zusätzliche Faktoren einfließen sollten.

Die Kardiologen haben ein ganzes Arsenal von Methoden zur intravitalen Bestimmung des Herzvolumens und der Muskelmasse der linken Kammer eingeführt. Es reicht von der invasiven Methode der intravitalen digitalen Subtraktionsangiographie (Grob et al. 1988) über die nichtinvasive Echokardiographie (Staiger et al.) bis zur Kernspintomographie (Sechtem et al. 1988).

Die angegebenen Verfahren sind mehr oder weniger gut an autopsischen Befunden überprüft worden. Für die postmortale Diagnostik ist naturgemäß die autopsische Methode das Mittel der Wahl. Der Rechtsmediziner muß damit rechnen, daß nicht jeder Leichenschau eine Leichenöffnung folgt. Seine postmortale Diagnostik kann durch die nichtinvasive Methode, z. B. der Röntgenologie, verbessert oder überhaupt erst möglich werden.

In vieler Hinsicht haben sich die Röntgendurchleuchtung und die Anfertigung von Röntgenaufnahmen an der Leiche mit und ohne Obduktion bewährt (u. a. Bratzke et al. 1982; Gg. Schmidt und Kallieris 1982; Gg. Schmidt 1986). Aus finanziellen Gründen sind bei Rechtsmedizinern und Pathologen die oben erwähnten klinischen Methoden noch nicht üblich.

Im Rahmen einer Dissertation (Stosch 1989) war deshalb an Leichen, bei denen alle vitalen Einflüsse auf die Form und die Gestalt des Herzens wegfallen, zu prüfen, ob zwischen der sagittalen Herzschattefläche im Röntgenbild und dem Herzvolumen eine Korrelation besteht, anhand derer, allein aufgrund

des Flächeninhaltes, die Volumenbestimmung an rechtsmedizinischen Instituten möglich wäre.

Des weiteren sollte aufgrund der ermittelten Herzvolumina des untersuchten Kollektivs geprüft werden, ob zwischen bestimmten Herzvolumengrößen und einigen Todesursachen positive Korrelationen bestehen.

Material und Methode

Im ersten Teil der Arbeit wurden 1034 Sektionsprotokolle und die dazugehörigen Thoraxröntgenbilder der Jahre 1985 und 1986 des rechtsmedizinischen Obduktionsgutes der Universität Heidelberg gesichert und ausgewertet.

Im rechtsmedizinischen Institut werden routinemäßig vor jeder Sektion mindestens vier Röntgenaufnahmen angefertigt, und zwar je eine anterior-posterior Aufnahme des Beckens und des Thorax, dazu eine seitliche und eine anterior-posterior Röntgenaufnahme des Schädels.

Von diesen 1034 Fällen der Jahrgänge 1985/86 eigneten sich zur endgültigen Auswertung 385 Röntgenaufnahmen bzw. Sektionsprotokolle

Die ermittelten Herzschatenflächengrenzen auf den Thoraxaufnahmen wurden exakt auf ein hochtransparentes Zeichenpapier übertragen. Mit Hilfe eines Grafiktablets (Hewlett Packard Graphics Tablet 9111 A) und des dazugehörigen Tastgriffels wurden die 385 Herzkonturen von den hochtransparenten DIN A4 Zeichenpapierblättern abgetastet.

Die durch Abtastung planimetrisch ermittelten Herzschatenflächen wurden um die sich durch das Röntgenverfahren ergebende Strahlendivergenzvergrößerung korrigiert. Um eine Beziehung zwischen der jetzt um die Projektionsvergrößerung bereinigten Herzschatenfläche und dem Herzvolumen zu prüfen, wurde aus den Sektionsprotokollen der Jahrgänge 1985/1986 das Gesamtherzvolumen aus der bei den Obduktionen gemessenen Herzblutmenge, dem Herzmuskelvolumen und der Perikardflüssigkeitsmenge errechnet.

Ergebnisse

Die Auswertung der Herzvolumina und der dazugehörigen Herzschatenflächen bei den 385 Leichen ergab eine Abhängigkeit des Herzvolumens von der Herzschatenfläche im a-p Strahlengang nach der Formel:

$$H_{\text{vol}} = 0,49 \times F_a \times \sqrt{F_a}$$

H_{vol} = Herzvolumen in ml

F_a = Herzschatenfläche des im anterior-posterioren Strahlengang angefertigten Röntgenbildes in cm^2

Der Korrelationskoeffizient für die 385 Wertpaare betrug $r = 0.936$.

Damit konnte gezeigt werden, daß zwischen der Herzschatenfläche, der Thoraxaufnahme und dem Herzvolumen durchaus eine feste Beziehung besteht, mit Hilfe derer es möglich ist, das Gesamtherzvolumen an Leichen zu bestimmen.

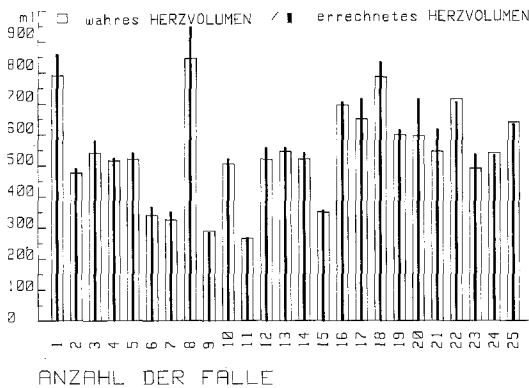


Abb. 1. Darstellung der 25 gemessenen Herzvolumina mit den entsprechenden errechneten Herzvolumina

Eine Überprüfung der gefundenen Beziehungen zwischen Herzschattenfläche und Herzvolumen wurde an 25 ausgewählten, zu obduzierenden Leichen aus dem Jahre 1987, vorgenommen.

Das Vergleichsvolumen zum errechneten wurde in diesem Fall mit Hilfe der Wasserverdrängungsmethode des an seinen Gefäßen abgebundenen und der Leiche entnommenen Herzen ermittelt. Die Korrelation zwischen den 25 Vergleichswerten – errechnetes und gemessenes Herzvolumen – lag bei $r = 0,984$. Die Herzvolumina wurden dabei allerdings fast durchweg als zu groß errechnet. Im Mittel betrug die errechnete Herzvolumenabweichung + 5,5%.

Nun wurde der für ein Rechtsmedizinisches Institut wichtigen Frage eines eventuellen Zusammenhanges zwischen dem Herzvolumen und der Todesursache nachgegangen. Aus diesem Grund sind nochmals die 385 Fälle aus dem ersten Teil der Arbeit herangezogen worden. Dabei wurden die aus den Sektionsprotokollen bekannten Todesursachen in fünf Gruppen unterteilt, wobei eine dieser Gruppen nochmals in drei Untergruppen aufgeteilt war. Zum Vergleich mit der Todesursache wurde nicht das aus dem Sektionsprotokoll ermittelte, sondern ein aus den entsprechenden Herzschattenflächen errechnetes Herzvolumen herangezogen, da man nach Möglichkeit allein aufgrund des röntgenologisch bestimmten Herzvolumens etwaige Vorhersagemöglichkeiten über die Todesursache prüfen wollte.

Gruppenunterteilung der Todesursachengruppen:

- Gruppe 1: Herzversagen aus innerer natürlicher Ursache
- Gruppe 2: Natürliche Todesursachen ohne Herzversagen
- Gruppe 3: Nichtnatürliche Todesursachen mit Blutverlust
- Gruppe 4: Nichtnatürliche Todesursachen ohne Blutverlust

Untergruppen: A) Vergiftungen

B) Ertrinken, Erhängen, Ersticken

C) Restliche Todesursachen der Gruppe 4

Gruppe 5: Todesursache zum Zeitpunkt der Obduktion unbekannt

Diese Gruppeneinteilung berücksichtigt speziell das Interesse eines Rechtsmedizinischen Institutes bei der Todesursachenfindung. Besonders wichtig ist

Tabelle 1. Mittelwerte des Gesamtkollektivs (Männer und Frauen) innerhalb der einzelnen Todesursachengruppen

Todesursachengruppen	Anzahl der Fälle	Herz- volumen ml	Herz- fläche cm ²	Vol/kg Körper- gewicht ml/kg	Herz- gewicht g	Körper- gewicht kg
<i>Gruppe 1:</i>						
Herzversagen	52	648,5	119,5	9,46	434,9	68,6
<i>Gruppe 2:</i>						
Natürliche Todesursachen ohne Herzversagen	37	453,3	92,2	7,70	335,8	58,9
<i>Gruppe 3:</i>						
Nichtnatürliche Todes- ursachen mit Blutverlust	105	397,5	86,1	6,36	320,4	62,5
<i>Gruppe 4:</i>						
Nichtnatürliche Todes- ursachen ohne Blutverlust	179	534,7	105,0	8,31	369,7	64,3
<i>Untergruppe 4A:</i>						
Vergiftungen	52	544,5	106,3	8,26	358,3	65,9
<i>Untergruppe 4B:</i>						
Ertrinken, Erhängen, Ersticken	54	548,4	106,8	8,72	363,3	62,9
<i>Untergruppe 4C:</i>						
Restliche Todes- ursachen der Gruppe 4	73	517,6	102,7	8,04	366,6	64,4
<i>Gruppe 5:</i>						
Todesursache unbekannt	12	529,3	104,9	7,75	376,5	68,3

dabei die Differenzierung zwischen Herzversagen, anderen natürlichen Todesursachen und den nicht natürlichen Todesursachen ohne Blutverlust.

Aus der Tabelle 1 ist zu ersehen, daß das Herzvolumen der Gruppe 1 mit einem Mittelwert von 648 ml am höchsten ist. Die Differenzen zum Herzvolumen der anderen Todesursachen sind deutlich erkennbar. Der Mittelwert des Herzvolumens der Gruppe 3 ist wie zu erwarten mit 397 ml der niedrigste. Ähnlich verhält es sich mit den Mittelwerten der Herzflächen und dem Relationswert: Herzvolumen pro kg Körpergewicht

Nimmt man die gleiche Gruppeneinteilung unter Berücksichtigung des Geschlechts der Obduzierten vor, so beträgt der Mittelwert des Herzvolumens beim Herzversagen bei den Männern 720,3 ml (Tab. 2) und bei den Frauen 512,9 ml.

Beide Mittelwerte liegen ebenfalls deutlich über denen der restlichen Todesursachengruppen. Die Tatsache, daß die insgesamt ermittelten Herzvolumina an den Leichen erheblich niedriger sind als das bei Lebenden der Fall ist, kann

Tabelle 2. Mittelwerte des Männerkollektivs innerhalb der einzelnen Todesursachen

Todesursachen- gruppen	Anzahl der Fälle	Herz- volumen ml	Herz- fläche cm ²	Vol/kg Körper- gewicht ml/kg	Herz- gewicht g	Körper- gewicht kg	Herz- füllung ml
<i>Gruppe 1:</i>							
Herzversagen	34	720,3	128,4	9,85	474,6	73,1	245,7
<i>Gruppe 2:</i>							
Natürliche Todes- ursachen ohne Herzversagen	24	469,0	93,8	7,64	353,1	61,4	115,9
<i>Gruppe 3:</i>							
Nichtnatürliche Todesursachen mit Blutverlust	64	427,1	90,4	6,36	341,5	67,2	85,6
<i>Gruppe 4:</i>							
Nichtnatürliche Todesursachen ohne Blutverlust	112	582,5	111,3	8,54	400,3	68,2	182,2
<i>Untergruppe 4A:</i>							
Vergiftungen	31	601,7	113,9	8,49	370,0	70,9	231,7
<i>Untergruppe 4B:</i>							
Ertrinken, Erhängen, Ersticken	30	603,8	114,1	8,91	392,7	67,8	211,1
<i>Untergruppe 4C:</i>							
Restliche Todesursachen der Gruppe 4	51	558,3	108,2	8,36	410,3	66,8	148,0
<i>Gruppe 5:</i>							
Todesursache unbekannt	8	544,3	106,9	8,19	399,0	66,5	145,3

daran liegen, daß während des Eintrittes der Herzstarre ein Teil der Herzblutmenge hinausgetrieben wird. Allerdings zeigt langjährige Erfahrung am Sektionstisch, daß der Einfluß der Starre umso geringer ist, je größer der Herzmuskelschaden war.

Das aus der Herzschatenfläche errechnete Herzvolumen wies eine signifikante Relation beim Herztod aus innerer natürlicher Ursache auf. Der Vergleich der rechnerisch ermittelten Herzblutmenge bei den einzelnen Todesursachenkomplexen zeigte, daß die Herzblutmengen in der Gruppe der Vergiftungen und der Gruppe Ertrinken, Ersticken, Erhängen mit 231 ml bzw. 211 ml bei den Männern auf dem gleichen Niveau wie beim Herztod (246 ml) lagen. Entsprechendes gilt auch für das Frauenkollektiv. Berücksichtigt man aber, daß

die Herzgewichte der beiden Gruppen 4 A und 4 B (370 und 392,7 g) erheblich geringer waren als beim Herztod der Männer (474,6 g), so läßt sich bei diesen Todesursachenkomplexen auf eine starke Herzdilatation im Zuge der Agonie schließen.

Anhand der Untersuchungen läßt sich feststellen, daß es aufgrund der röntgenologischen Herzgrößenbestimmung mit Hilfe der schon beschriebenen Herzvolumenformel möglich ist, an der Leiche mit hoher Wahrscheinlichkeit den Herztod aus innerer natürlicher Ursache in Betracht zu ziehen oder ihn auszuschließen.

Diskussion

Die Herzschattefläche auf der a-p Röntgenaufnahme des Thorax läßt sich an der Leiche meistens darstellen, besonders bei Herzhypertrophie oder Dilatation. Betrachtet man Herzen am Sektionstisch, so ist der Tiefendurchmesser nahezu gleich groß wie die Herzbreite entlang der Ventilebene. Durch Ausarbeitung der Formel war es möglich, aus der monoplanaren Aufnahme das Herzvolumen einer Leiche mit erträglichem Fehler zu bestimmen. Je nach Todesart ergaben sich geschlechtsbezogene Volumina mit Hinweisen auf das Herzgewicht. Die Methoden der nicht invasiven intravitalen Herzgewichtsbestimmungen sind an Leichen zwar grundsätzlich möglich, aber im rechtsmedizinischen Bereich noch nicht eingeführt. Meistens steht nur ein kleines Röntgengerät zur Verfügung. Wir verwenden eine Bildverstärker-Röntgeneinrichtung BV 20 S der Firma Philips, und haben damit in den verschiedensten Bereichen rechtsmedizinischer Fragestellungen gute Erfahrungen gemacht. Die Bewertung des a-p Thoraxbildes bringt bereits vor der Sektion wichtige Hinweise auf Todesart und Herzgröße. Liegt keine Sektionserlaubnis vor, kann der Röntgenbefund unter Umständen eine Todesursache aufzeigen. Werden bei Männern 700 ml und bei Frauen 500 ml Herzvolumen errechnet, ist ein Tod durch Versagen des chronisch erkrankten und erheblich vergrößerten Herzens naheliegend. Zwar kann die Herzfüllung auch bei anderen Todesarten wie Stromtod, Erstickten, Ertrinken, akute Vergiftung u. a. 200 bis 300 ml erreichen, aber das Gesamtvolumen bleibt hier – von Überlagerungsfällen abgesehen – um mehr als 100 ml unter dem der hypertrophischen Herzkrankheit. Mit zunehmenden Lebensalter verschieben sich die Gewichte leicht nach oben.

Nach der Sektion hat die a-p Röntgenaufnahme eine zusätzliche Bedeutung: Die Herzfüllung kann dann genauer angegeben werden als bei den üblichen Techniken des Abfüllens, weil hier Gefäßblut fast unvermeidlich zugemischt wird, oder auf andere Weise der Blutgehalt des Herzens verändert und nicht exakt zu messen ist.

Es empfiehlt sich also die röntgenologische Herzvolumenbestimmung vor der Sektion und die Differenzmessung (=Blutfüllung) nach Abzug des Herzgewichtes.

Die Blutmengenverschiebung durch postmortale Vorgänge hält sich in Grenzen. Ist der Tod durch Versagen des vorgeschädigten Herzmuskels eingetreten, wird eine Dilatation des Herzens in allen Abschnitten beobachtet und

das Blut durch die schnell einsetzende, aber auch schnell wieder gelöste Starre kaum ausgetrieben. Bei Röntgenaufnahmen zu verschiedenen Zeiten post mortem haben wir keine Unterschiede der Herzschattefläche gesehen, bevor sich Fäulnisgase gebildet hatten. Gasfäulnis ist auf den Röntgenbildern erkennbar und macht die Volumenbestimmungsmethode des Herzschatteflächen unbrauchbar. Da es auch in anderen Fällen unmöglich sein kann, die Grenzen des Herzschatteflächen genügend sicher festzulegen, etwa bei Lungenentzündung, schwerem Lungenödem oder Herzbeutelamponade, wird die von uns empfohlene Methode relativiert. Die Röntgenuntersuchung jeder Leiche hat sich aber aus vielen anderen Gründen bewährt (Literatur bei Gg. Schmidt 1982). Unter vielen Diagnosen am Herzen sei nur auf das seltene Pneumo pericard, die Herzbeutelamponade, Luftembolie, das häufige Rechtsherzversagen, die Verkalkungsbefunde an Klappen und Coronargefäßen hingewiesen. Nimmt man noch Lungen-, Zwerchfell- und Thoraxskelettbefunde hinzu, so kann man von einer de facto notwendigen Vorbereitungsmaßnahme zur Leichenöffnung sprechen. Für die Herzvolumenbestimmung wird dann keine zusätzliche Maßnahme erforderlich.

Literatur

- Bratzke H, Schneider V, Dietz W (1982) Röntgenuntersuchungen bei gerichtlichen Leichenöffnungen. *Fortschr Röntgenstr* 136:463–472
- Grob D, Hess OM, Monrad E, Birchler B, Grimm J, Kräyenbühl HP (1988) Determination of left ventricular wall thickness and muscle mass by intravenous digital subtraction angiography: validation of the method. *European Heart Journal* 9:73–86
- Linzbach AJ (1948) Herzhypertrophie und kritisches Herzgewicht. *Klin Wschr* 26:459–463
- Schmidt Gg (1986) Röntgenologischer Nachweis der Luftembolie. In: Eisenmenger W, Liebhardt E, Schuck M (Hrsg) *Medizin und Recht – Festschrift für Wolfgang Spann*, Springer, Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo S 286–296
- Schmidt Gg, Kallieris D (1982) Use of radiographs in the forensic autopsy. *Forensic Science International* 19:263–270
- Sechtem U, Deutsch H, Hombach V, Hilger HH, Smolorz J, Schicha H, Higgins ChB (1988) Kernspin-Tomographie in der kardialen Diagnostik. *Dt Arztebl* 85:B-906–B-914
- Staiger J, Braun R, Dickhuth HH, Keul J (1989) Diagnose der Herzhypertrophie durch Echokardiographie im Vergleich zu Autopsieergebnissen. *Herz/Kreisla* 21:111–117
- Stosch P (1989) Röntgenologische und vergleichende Herzvolumenmessungen an Leichen eines Rechtsmedizinischen Institutes. Inaugural-Dissertation, Heidelberg (hier weitere Literatur)

Appendix

Während der Drucklegung bekanntgewordene Literatur:

- Jehle J, Block M, Schmiel FK, Schwammenhal E, Spiller P, Uhlmann D, Ulbricht L (1989) Zuverlässigkeit angiographischer Volumenbestimmung des linken Ventrikels mittels digitaler Bildsubtraktion – Bedeutung bei Belastungsuntersuchungen. *Z Kardiologie* 78:306–312
- Takala JK, Mattila KJ, Jäskeläinen J (1989) Relative heart volume and subsequent mortality in old people. *Acta Radiologica* 30 Fasc. 3:269–272