

Aus der Prosektur des Hafenkrankenhauses Hamburg
(Prosektor: Prof. Dr. H. KOOPMANN).

Ergebnisse der quantitativen und gasanalytischen Bestimmung embolisch eingeschwemmer Luft im Herzen.

Von
HERMANN ROER.

(Eingegangen am 27. November 1950.)

Durch frühere Veröffentlichungen⁷ ist bekanntgeworden, daß nach Schädelbasisbrüchen unter bestimmten Bedingungen eine Luftembolie des rechten Herzens eintritt. Diese Tatsache brachte bei dem großen Unfallgut der Prosektur des Hafenkrankenhauses die Möglichkeit mit sich, in verhältnismäßig kurzer Zeit eine große Anzahl von Fällen mit einer Luftembolie zu untersuchen. Nach dem von DOCKHORN und mir an anderer Stelle⁸ veröffentlichten Verfahren wurde das Gas aus dem Herzen Verunfallter gewonnen, quantitativ gemessen und bezüglich seines O₂-Gehaltes analysiert. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über 10 besonders klare, ausgesuchte Fälle.

Das Auffälligste an den Zahlen obiger Tabelle sind die erheblichen Gasvolumina, die aus den rechten Herzventrikeln dargestellt werden konnten. Bei den 10 in Tabelle 1 aufgeführten Fällen schwankte die Gasmenge zwischen 20 und 100 cm³ und betrug im Mittel über 65 cm³. Über diese Befunde wird weiter unten noch zu reden sein.

Zum zweiten fällt in Tabelle 1 der meist recht niedrige und der sehr schwankende O₂-Gehalt der aufgef Fangenen Gase auf; er betrug mindestens 2% (Fall 9) und höchstens 14,2% (Fall 5). Daß die ermittelten O₂-Werte unter dem Wert von 20,8%, gleich dem der atmosphärischen Luft, lagen, nimmt nicht wunder; ist es doch durch die Berichte von O. SCHMIDT¹⁰ bekannt, daß noch Schnittpräparate auf dem Objektträger Sauerstoff verbrauchen. Ein großer Teil des O₂ der embolisch ins Herz geschwemmten Luft fällt also dem „postmortalen“ O₂-Verbrauch der Gewebe anheim.

Um zu beobachten, ob sich nicht eine Gesetzmäßigkeit zwischen Zeit und O₂-Abbau von atmosphärischer Luft im Herzen ergibt, wurde in die Herzen noch lebenswarmer und schon erkalteter Leichen Luft eingespritzt und nach bestimmter Zeit zurückgewonnen. Das Ergebnis dieser Versuche zeigt Tabelle 2.

Aus diesen wenigen Versuchen lassen sich verschiedene Ergebnisse ablesen. Einmal zeigt sich, daß auch künstlich ins Herz eingebrachte Luft der gleichen O₂-Verminderung unterliegt wie die Luft bei den intravitalen Embolien. In obigen Versuchen betrug der O₂-Gehalt der eingebrachten Luft nach 18 Std nur noch 1,6%. Es wurde bei allen Ver-

Tabelle 1.

Lfd. Nr.	Name, Alter, Sektions- Nr.	Zwischen Todes- und Sektionszeit lagen an Stunden	Todesursache (Blutfülle der Herzähnchen)	Gasvolumen des rechten Herzens		
				Gesamt- menge cm ³	O ₂ -Menge cm ³	O ₂ - Gehalt %
1	W. R., 49 Jahre, 616/49	64	Multiple Schädelbasis- brüche (li. wenig, re. etwas flüssiges Blut)	70,1	3,9	5,6
2	E. B., 52 Jahre, 717/49	17	Querbruch durch beide mittlere Schädelgruben (kaum flüssiges Blut)	69	1,5/13	11,5
3	R. R., 32 Jahre, 1086/49	48	Rumpfdurchtrennung, Schädelbrüche (li. und re. fast leer)	56	1,25/12,5	10
4	E. N., 60 Jahre, 1096/49	44	Schädelbasisbrüche, multiple Knochenbrüche (re. und li. etwas flüssiges Blut)	57	0,55/11,5	4,6
5	B. C., 60 Jahre, 1111/49	40	Schädelbasisbrüche (li. und re. fast leer)	49	1,7/12	14,2
6	H. S., 7 Jahre, 1197/49	68	Schädelbasisbruch li. (li. etwas Blut, re. wenige Tropfen)	23	0,9/15,7	5,7
7	M. B., 73 Jahre, 1208/49	41	Basisbruch beider mitt- leren Schädelgruben (nahezu leer)	20	1,0/17	6
8	U. H., 9 Jahre, 1253/49	42	Schädelbasisbrüche (wenig flüssiges Blut)	58,5	1,0/15	6,7
9	W. R., 59 Jahre, 32/50	60	Schädelbasisbruch, Wirbelsäulenbruch (ziem- lich viel flüssiges Blut)	101	0,3/15	2
10	R. V., 48 Jahre, 54/50	67	Schädelbruch, Fußabriß (nahezu leer)	96,3	0,9/8,7	13,7

suchen stets sehr viel weniger Gasmenge zurückgewonnen, als Luft (50 cm³) eingespritzt war. Die Ursache des allgemein verminderter Prozentgehaltes an O₂, auch der niedrigen Prozentzahl von 1,6, ist daher nicht in einem Fäulnisvorgang, etwa durch Vermehrung der Fäulniggase, zu sehen, sondern bestätigt die oben angezogenen Untersuchungen von O. SCHMIDT.

Zweitens zeigen die Versuche in Tabelle 2, daß die O₂-Abnahme der Luft in den ersten Stunden sehr viel schneller vor sich geht als später. Wenn nach knapp 1 Std der O₂-Gehalt der eingespritzten Luft auf 11—12% gesunken ist, wie sich in Fall 2 und 3 im rechten Herzen ergab, so muß man annehmen, daß das Anfangstempo der Resorption das spätere Tempo um ein Mehrfaches übertrifft.

Tabelle 2.

Lfd. Nr.	Name, Alter, Todesursache, Temperatur	Rechter Herzventrikel		Linker Herzventrikel	
		Entnahme der eingespritzten Luft nach	1 Std 15 min	55 min	1 Std 10 min
1	H. Th., 86 Jahre, CO-Vergiftung, 36° C	35 min			
2	A. M., 38 Jahre, Aortenvitium, 41° C	40 min			
3	J. H., 65 Jahre, Coronarsklerose 40,5° C		1 Std		1 Std
4	M. H., 77 Jahre, CO-Vergiftung, 8° C			1 Std	3 Std
5	K. W., 70 Jahre, CO-Vergiftung, 6° C			2 Std	4 Std
6	F. B., 50 Jahre, Herzinfarkt, 40,5° C				18 Std
	O ₂ -Gehalt in %	15	11,3	12,3	10,1
			19	16	10,3
				10	1,6
					12,4
					19,3
					9

Die Temperaturangaben geben die Höhe der rectalen Temperatur zur Zeit der Einspritzung der Luft wieder.

Drittens ist es wichtig zu sehen, wie sich das Blut im rechten und linken Herzen unterschiedlich verhält. Das Resorptionstempo der Luft für O_2 im linken Herzen ist sehr viel langsamer, was wohl auf die geringere O_2 -Absättigung des Blutes im rechten Herzen zurückzuführen ist.

Schließlich konnte erwartet werden, daß die O_2 -Absorption der eingespritzten Luft an erkalteten Leichen sehr viel langsamer vonstatten geht als bei noch warmen Leichen. Nach den wenigen Versuchen in Tabelle 2 handelt es sich um eine etwa dreifache Absorptionszeit; doch wird es wegen der unterschiedlichen Blutfülle des rechten Herzens sehr schwer sein, hierfür Gesetzmäßigkeiten auch bei großen Versuchsreihen zu finden.

Untersucht man die Fälle der Tabelle 1 daraufhin, eine wie große Luftmenge im Herzen den Tod unmittelbar ausgelöst haben könnte, so bedarf es zunächst einer Korrektur der quantitativ gewonnenen Gasmengen.

Tabelle 3.

	Fälle									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Gasvolumen . .	70,1	69	56	57	49	23	20	58,5	101	96,3
O_2 -Gehalt in % .	5,6	11,5	10	4,6	14,2	5,7	6	6,7	2	13,7
Korrigiertes Luftvolumen .	80,8	75,5	62	66,3	52,2	26,5	22,9	65,8	120	103,2

In Tabelle 3 ist von den 10 Fällen der Tabelle 1 der Volumenwert errechnet, den die eingeschwemmte Gasmenge haben mußte, als sie aus normal zusammengesetzter, atmosphärischer Luft bestand, d. h. die Werte der bei der Sektion gefundenen Gasmenge wurden von der jeweils verminderten O_2 -Menge auf 20,8 Vol.-% O_2 erhöht. Die nunmehr errechneten Werte, die wir mit Luftmengen bezeichnen wollen, schwanken zwischen 22,9 cm³ (Fall 7) und 120 cm³ (Fall 9) und betragen im Mittel 68,5 cm³.

Über die Luftmengen, die zu tödlicher Embolie des Herzens führen, gibt es derzeit nur Vermutungen und Analogieschlüsse. FREY glaubte, etwa 50 cm³ rasch injizierter Luft als tödliche Dosis beim Menschen annehmen zu sollen. Die hier zur Diskussion stehenden Fälle können meines Erachtens einen Beitrag zu dieser Frage bringen, wenn folgendes beachtet wird:

Im Falle das Gehirn durch einen Unfall gar nicht oder nur geringfügig in Mitleidenschaft gezogen ist (wie etwa bei größeren Zertrümmerungs-herden oder Blutungen in die Stammganglien, Hirnkerne oder Medulla oblongata), Herz und Lungen keine Veränderungen zeigen, die den Tod von sich aus erklären könnten, und auch größere Blutungen nach außen

ausgeschlossen werden können, wird man bei Vorliegen einer Luftembolie in entsprechender Größe diese als unmittelbare Todesursache anschuldigen können⁷. An den Fällen 5 und 6 der Tabelle 1 können Überlegungen in dieser Richtung angestellt werden; denn in beiden Fällen waren zwar klaffende Brüche der mittleren und vorderen Schädelgruben, aber keine oder in Fall 5 nur ganz vereinzelte Rindenprellungs herde und keinerlei sonstige frische Hirnveränderungen vorhanden. Das Herz im Falle 5 zeigte nur geringe Lipoideinlagerungen der Coronarien, im Falle 6 handelte es sich um ein 7 jähriges Mädchen, das herzgesund war. Die Lungen im Falle 5 waren schwerer ödematos und mit einzelnen Blutaspirationsherden durchsetzt, im Falle 6 zeigten sie ein erhebliches Emphysem und ebenfalls einzelne Aspirationsherde. Eine auch nur mittelmäßige Fettembolie der Lungen fand sich in beiden Fällen nicht. Sicherlich sind also beide Unfalltoten nicht durch einen primären Hirn-, Herz- oder Lungenschaden zu Tode gekommen; wieweit das Lungenödem in Fall 5 als konkurrierende Todesursache mitgewirkt hat, mag dahingestellt bleiben. Ein größerer Blutverlust nach außen fand sich in keinem der Fälle. Die Herzgewichte waren bei dem 60 jährigen Mann 360 g, bei dem Kind 100 g, in ersterem Falle fanden sich 49 cm^3 Gas = 52 cm^3 Luft im rechten Herzen, im zweiten Fall 23 cm^3 Gas = $26,5 \text{ cm}^3$ Luft.

In vielen unserer Sektionsfälle Verunfallter wurde mehr Gas aus dem rechten Herzventrikel dargestellt als bei den beiden in Rede stehenden Fällen. Es ist auch anzunehmen, daß individuell weit mehr Luft im Herzen vertragen werden kann; das zeigen zumindest 4 der in Tabelle 1 aufgeführten Fälle (1, 2, 9, 10). Die Höchstmenge der verträglichen Luftmenge im Herzen ist zudem — wie etwa bei der Fettembolie der Lungen — auch sicher eine funktionelle Frage. Worauf es hier ankommt, ist aber zu klären, ob es ein Quantum Gas gibt, von dem an eine Luftembolie als solche lebensgefährlich ist. In dieser Hinsicht halte ich die obigen Fälle 5 und 6 deswegen für richtunggebend, weil sie unter unseren weit über 70 Unfalltoten mit Luftermbolie die Fälle ohne konkurrierende Todesursache für den plötzlichen Tod darstellen. Entsprechend der Herzgröße genügen danach rund 50 cm^3 Luft beim Erwachsenen, rund 25 cm^3 Luft bei einem 7 jährigen Kinde im Herzen zur tödlichen Luftermbolie¹.

¹ Herr Prof. RÖSSLE machte mich darauf aufmerksam, daß in einem von ihm veröffentlichten Fall (Virchows Arch. 1944, H. 1) ein Arzt zwecks Euthanasie etwa 300 cm^3 Luft in die Cubitalvene einspritzen mußte, ehe der Tod eintrat. Über die Zeitdauer dieser Einspritzung ist nichts ausgesagt, es ist aber nicht anzunehmen (Größe der Spritze), daß die 300 cm^3 Luft kontinuierlich eingespritzt wurden. Da die Sektion Luft im rechten und linken Kreislauf aufdeckte — bei geschlossenem Foramen ovale — muß mit einer erhöhten Durchlässigkeit der Lungen für die eingespritzte Luft gerechnet werden, so daß es durchaus vorstellbar ist, daß nicht mehr als $50—100 \text{ cm}^3$ Gas aus dem rechten Herzen mit unserer Aspirationsmethode hätte gewonnen werden können (s. auch unten).

Nach Einführung der Aspirationsmethode⁸ stiegen die Werte der von uns gefundenen Gasmengen von durchschnittlich 8—12 cm³ auf etwa 50 cm³ und die früheren Spitzenwerte von 20 cm³ auf über 100 cm³ an. Diese Änderung erklärt sich leicht dadurch, daß durch die Aspirationsmethode die Gasmengen aus Vorhof und A. pulmonalis miterfaßt wurden. Gerade in der A. pulmonalis müssen sich beim Tod durch Luftembolie beachtliche Gasmengen befinden, wenn man der Auffassung von MEESEN und WALDER folgt, daß der Tod durch mechanische Überdehnung des Herzens infolge Verstopfung der A. pulmonalis mit Luft erfolgt. Bei dem kritischen Wert von 50 cm³ Luft ist ein Zeitfaktor nicht eingerechnet. Es wird davon ausgegangen, daß sich 50 cm³ Luft in den Herzähnchen und der A. pulmonalis befinden. Je langsamer die Luft dem rechten Herzen zuströmt, eine um so größere Luftmenge wird zur Erfüllung der kritischen Menge von 50 cm³ notwendig sein, da kleinere Luftmengen leichter das Herz passieren und über die Lungen diffundieren^{6, 7}.

Man kann nach dem oben Ausgeführten also nicht sagen, daß der kritische Wert von 50 cm³ bei der Sektion darstellbaren Gases aus dem rechten Herzventrikel kommen muß, sondern es genügt, wenn diese Menge im rechten Kreislauf (rechter Vorhof, rechte Kammer und A. pulmonalis) gefunden wird. Der rechte Herzventrikel mißt nach RAUBER-KOPPSCH 160—230 cm³, im Mittel also 200 cm³ Inhalt. Nach ROESSLE-ROULET⁹ allerdings (zit. nach BENECKE) kann im reifen Mannesalter nur mit einem Volumen des ganzen Herzens von 260 bis 310 cm³ gerechnet werden. Bei der Unsicherheit dieser Angaben wird man am besten vom Schlagvolumen des Herzens ausgehen, will man das kritische Volumen von 50 cm³ Luft in Beziehung zum Lebenden bringen. Nach HÖBER beträgt das Schlagvolumen in Ruhe 50—75 cm³, kann sich aber bei Arbeit mehr als verdoppeln. Da ein Herz mit Luftembolie sicher erhöhte Arbeit leisten muß, kann man vielleicht 120—180 cm³ als extremes Schlagvolumen annehmen. *Danach würde die Gefahr einer Luftembolie des Herzens akut lebensbedrohlich werden, wenn das Volumen der Luftembolie etwa ein Drittel des Schlagvolumens des Herzens erreicht oder überschreitet.*

Literatur.

- ¹ FREY: Die Embolie. Leipzig 1933. — ² HÖBER: Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Berlin 1934. — ³ HOFFHEINZ: Die Luft- und Fettembolie. In Neue Deutsche Chirurgie, Bd. 55. Stuttgart 1933. — ⁴ MEESEN: Klin. Wschr. **1940**, 238. — ⁵ RAUBER-KOPPSCH: Lehrbuch und Atlas der Anatomie, 14. Aufl. Leipzig 1933. — ⁶ ROER: Dtsch. Z. gerichtl. Med. **1948**, 378. — ⁷ ROER: Zbl. Neurochir. **1949**, 237. — ⁸ ROER u. DOCKHORN: Zbl. Path. (im Druck). — ⁹ RÖSSLE u. ROULET: Maß und Zahl in der Pathologie. Berlin 1932. — ¹⁰ SCHMIDT, OTTO: Dtsch. Z. gerichtl. Med. **1943**, 20. — ¹¹ WALDER: Beitr. path. Anat. **1939**, 485.