

(Aus dem Gerichtsmedizinischen Institut der Universität Lwów [Polen].
Direktor: Prof. Dr. *Sieradzki*.)

Über Refraktometrie in der Diagnostik des Ertrinkungstodes.

Von
Dr. *Szulislawska* und Dr. *Tobczyk*,
Assistenten des Institutes.

Der Übergang der Ertrinkungsflüssigkeit ins Blut, insbesondere in die linke Herzhälfte, wurde bereits vor 80 Jahren durch *Döhne* festgestellt. *Falk*, *Hofmann*, *Paltauf*, *Wachholz* und *Horoszkiewicz*, *Schmidt*, *Lockte*, *Danzinger* u. a. haben durch Tierexperimente, indem sie Tiere in Lösungen verschiedener chemischer Substanzen ertränkten, nachgewiesen, daß Bestandteile der Ertrinkungsflüssigkeit im linken Herzen zu finden sind, und bestätigten dadurch die Ergebnisse der Untersuchungen *Döhnes*. Die Flüssigkeit dringt auch in die parenchymatösen Gewebe des Organismus ein und gelangt, nachdem sie den Herzmuskel und die Coronargefäße passiert hat, in zwar geringer Menge auch in das rechte Herz. Die größte Menge der Bestandteile der Ertrinkungsflüssigkeit, resp. die stärkste Verdünnung des Blutes wurde jedoch stets in der linken Herzhälfte nachgewiesen.

Man hat sich bemüht, diese Verdünnung festzustellen und ihren Grad durch verschiedene Methoden, physikalisch oder chemisch zu bestimmen. So haben in erster Reihe *Brouardel* und *Loye* die Verminderung des trockenen Rückstandes des Blutes durch das Wägen bestimmt; nach einem ähnlichen Prinzip richtete sich später auch *Freudenberg*. *Brouardel* und *Vibert* beschrieben den verringerten Gasgehalt des Blutes, ebenso die Verminderung der roten Blutkörperchen und des Hämoglobins, welch letzteres *Paltauf* mit dem Hämometer von *Fleischl*, *de Dominis* mit dem Hämometer von *Oliver* bestimmte. Man fand auch eine Quantitätsverminderung von Salzen, so z. B. *Stockis* von Chloriden, andere von Eisen. *Schmidt* stellte, bei Anwendung der Methode *Essbach* und *Stolnikow* eine Herabsetzung der Menge des Bluteiweißes in der linken Herzkammer fest. Untersuchungen über die Dickflüssigkeit des Blutes machten *Placzek*, *Schmidt*, *Wachholz* und *Horoszkiewicz*, welche die Methode *Hammerschlags* verwendeten, indem sie das spezifische Gewicht des Blutes mit dem Pyknometer kontrollierten. Alle diese Methoden erwiesen sich jedoch als wenig zuverlässig, obwohl manche von ihnen sehr viel Zeit und Mühe kosten.

Carrara, der die Unzulänglichkeit der erwähnten Methoden erkannte, führte 2 neue ein, die bis zum heutigen Tage in der Praxis benutzt werden; die Bestimmung des osmotischen Druckes durch den Gefrierpunkt und die Messung der elektrischen Leitfähigkeit. Die 1. dieser Methoden, das ist die Bestimmung des Gefrierpunktes ist, zwar genau, jedoch wegen der unentbehrlichen Kontrolle und der zur Erhaltung guter Resultate nötigen langsamen Abkühlung der untersuchten

Flüssigkeit so zeitraubend, daß sie viel zu schwierig und mühsam und bei einer größeren Anzahl von Untersuchungen fast unmöglich ist. Die Methode der elektrischen Leitfähigkeit, zwar einfach, benötigt doch, wie es fast alle Autoren zugeben, der Kontrolle des Kryoskopes; übrigens wies unlängst *Schwarzacher* auf die Schattenseiten dieser Untersuchungsart. Die *Revenstorfsche* Methode des Vergleichens der Stärke der Hämolyse in beiden Herzhälften ist zu unsicher und kann nur als Hilfs- oder Vorprobe gebraucht werden.

All dies war für uns der Grund, eine neue Methode auszuarbeiten, die an Leichtigkeit der Ausführung die Messung der elektrischen Leitfähigkeit übertrifft, an Genauigkeit jedoch der kryoskopischen Methode nicht nachsteht, wovon uns mehrfache Nachprüfung beider Proben überzeugte.

Wir benützten zu diesem Zwecke ein Refraktometer, und zwar das Wasserrefraktometer von *Pulfrich*. Der heute überall gebrauchte Apparat sollte unbedingt den gerichtsärztlichen Zwecken zugeführt werden, insbesondere zur Bestimmung der Blutverdünnung beim Ertrinkungstode. Unsere Experimente machten wir mit Hunden, die in Leitungswasser oder in hypertonischen Lösungen ertränkt wurden, weiter mit solchen, die erhängt oder mit Leuchtgas vergiftet wurden; es wurde auch lebenden Tieren das Blut aus den Herzkammern und den Peripheriegefäßen entnommen. Wir untersuchten auch das Blut von Menschen, die aus verschiedenen Ursachen starben und zwar verschieden lange nach dem Tode; leider hatten wir lange Zeit hindurch keine Gelegenheit, das Blut von Ertrunkenen zu untersuchen, denn diese Art des gewaltsamen Todes gehört in Lwów zu den Seltenheiten. Die Ergebnisse der Untersuchungen haben wir in den meisten Fällen mit der kryoskopischen Methode nachgeprüft. Da für uns nicht die Quantitätsbestimmung der einzelnen Bestandteile des Blutserums wichtig war, sondern nur der Unterschied in der Verdünnung des Blutes beider Herzhälften, d. h. der Unterschied der Brechungskoeffizienten entsprechender Sera, so genügte für unsere Zwecke der Vergleich der direkt auf der Skala des Refraktometers abgelesenen Zahlen. Wir benützten bei unseren Experimenten ein Hilfsprisma und untersuchten in der Capillarschicht so, daß für jede Probe ein Tropfen Serum genügte.

Unsere Untersuchungen hatten folgenden Verlauf: Nachdem die Leiche in vertikale Stellung gebracht worden war, damit das gesamte Blut in die Herzkammern fließen konnte, wurde nach Eröffnung des Brustkorbes und des Herzbeutels das Blut direkt aus den Herzkammern mit trockenen Pipetten entnommen und in ebenfalls trockene, chemisch reine Eprovetten gebracht, welche sofort 15 Minuten lang zentrifugiert wurden. Inzwischen wurde ein Wasserbad mit der Temperatur $17,5^{\circ}$ C hergerichtet, worauf wir kontrollierten, ob das Refraktometer bei dieser Temperatur für destilliertes Wasser die Zahl 15 Teilstriche seiner Skala zeigt, evtl. wurde der Apparat reguliert. Wenn eine starke Hämolyse

lyse die genaue Ablesung der Skala störte, wurde das Serum mit gleicher Menge 1% Calcium chloratum im Verhältnis 1 : 1 vermischt, worauf noch einmal zentrifugiert wurde, um das zu untersuchende Serum, wenigstens teilweise, von dem gelösten Farbstoff zu befreien. Ein Teil des Blutes resp. des Serums wurde für die kryoskopische Untersuchung reserviert. Nachdem ein entsprechend großer Tropfen zwischen die Prismen gebracht und die Metallhülse befestigt war, haben wir den Apparat ins Wasserbad eingetaucht, und die Resultate zweimal, nach 2 und 5 Minuten abgelesen, wobei jedes Serum in zwei Tropfen untersucht wurde. Aus den auf diese Weise erhaltenen Ergebnissen nahmen wir Durchschnittswerte. Alle Tiere wurden nach der Blutentnahme obduziert.

Resultate der Untersuchungen:

Tabelle 1. *Hunde, die in hypotonischen Lösungen ertränkt wurden.*

Ordnungszahl	Gewicht des Hundes in g	Zeitraum zwischen dem Eintritt d. Todes und der Untersuchung	Refraktometrisch				Kryoskopisch	
			Blutserum				Blut	
			der linken Kammer		der rechten Kammer		der linken Kammer	der rechten Kammer
			unver-dünnt	verdünnt mit 1% CaCl ₂	unver-dünnt	verdünnt mit 1% CaCl ₂		
1	6 300	15 Min.	47,5	33,4	52,0	36,0	— 0,45	— 0,49
2	5 100	30 „	48,1	—	52,3	—	— 0,48	— 0,54
3	5 800	30 „	52,0	33,2	56,1	38,9	—	—
4	6 700	1 St.	48,6	32,1	52,2	33,7	—	—
5	7 100	3 „	57,5	31,3	60,6	35,8	—	—
6	11 500	5 „	69,0	35,1	73,2	40,2	— 0,71	— 0,80
7	7 000	12 „	—	30,1	—	32,4	—	—
8	7 300	18 „	55,0	33,8	57,4	35,2	—	—
9	5 100	24 „	—	35,1	—	39,0	—	—
10	6 900	24 „	57,3	31,3	65,0	40,3	— 0,70	— 0,87
11	8 100	24 „	58,3	35,8	62,4	39,0	— 0,66	— 0,82
12	10 000	36 „	55,2	34,8	57,1	37,0	—	—
13	7 300	48 „	60,5	42,5	62,5	43,2	—	—
14	9 160	48 „	57,5	34,0	60,6	37,1	—	—
15	8 800	48 „	55,8	—	62,0	—	—	—

Es sei erwähnt, daß das Blut der Herzkammern fast in allen Fällen flüssig war, mit Ausnahme der Fälle 8 und 11, wo wir in beiden Ventrikeln, besonders aber im rechten spärliche, weiche Thromben fanden. Außerdem zeigte das Serum der linken Herzkammer stets eine Durchtränkung mit Blutfarbstoff, die in frischen Fällen unbedeutend war. In Fällen, wo seit dem Tode des Tieres längere Zeit verfloßen ist, also über 18 Stunden, fand sich eine deutliche Hämolyse. Manchmal konnte allerdings auch in der rechten Kammer Hämolyse festgestellt werden, aber viel weniger deutlich als im Serum der linken Kammer, so daß man die beiden Sera, sofort leicht voneinander unterscheiden konnte.

Tabelle 2. *Hunde, die in hypertonischen Lösungen ertränkt wurden.*

Ordnungszahl	Gewicht des Hundes in g	Zeitraum zwischen dem Tode und der Untersuchung	Ertrinkungsflüssigkeit	Refraktometrisch			
				Blutserum d. l. K.		Blutserum d. r. K.	
				unverdünn	verdünnt mit 1% CaCl_2	unverdünn	verdünnt mit 1% CaCl_2
16	4800	1 St.	3,5% NaCl	60,1	—	52,4	—
17	4700	1 „	5% NaCl	74,0	39,6	63,5	36,0
18	5000	14 „	5% NaCl	78,3	—	70,1	—

In den Herzkammern fanden wir in obigen Fällen reichliche Blutkoagula, welche die Herzhöhlen fast vollständig ausfüllten, weswegen wir genötigt waren, die Blutkoagula zu zentrifugieren und erst das so gewonnene Serum zu untersuchen. Das Entstehen der Thromben läßt sich durch das Eindringen der hypertonischen Kochsalzlösung ins Blut leicht erklären; ihr Einfluß auf die Blutgerinnung ist uns ja aus der klinischen Praxis wohlbekannt. Bei der Obduktion fanden wir, insbesondere bei den beiden letzten Fällen, eine starke Hyperämie der Lungen, mit supleuralen Blutungen, bei verhältnismäßig schwacher Durchblutung der Bauchorgane; also ein ganz anderes Bild, als das sonst beim Ertrinkungstode typische, welches bei den früher erwähnten Experimenten stets gefunden wurde.

Tabelle 3. *Hunde, mit einer anderen gewaltsamen Todesursache.*

Ordnungszahl	Gewicht des Hundes in g	Todesart	Zeitraum zwischen dem Tode und der Untersuchung	Refraktometrisch			
				Serum d. l. Kammer		Serum d. r. Kammer	
				unverdünn	verdünnt mit 1% CaCl_2	unverdünn	verdünnt mit 1% CaCl_2
19	8600	Erhängen	1 St.	58,2	—	58,1	—
20	9300	Erhängen	3 „	56,3	33,9	55,2	32,5
21	6000	CO-Vergift.	3 „	54,4	32,7	56,5	34,2

Das Sektionsbild dieser Fälle zeigte die für eine jede Todesart charakteristischen Veränderungen.

Tabelle 4. *Untersuchungen des den lebenden Tieren entnommenen Blutes.*

A. Aus den Peripheriegefäßen.

Ordnungs- zahl	Refraktometrisch Serum				Anmerkung
	Vena femoralis		Arteria femoralis		
	unver- dünnt	verdünnt mit 1% CaCl_2	unver- dünnt	verdünnt mit 1% CaCl_2	
22	55,6	33,6	57,5	35,2	der nachher für das Experiment 1 ertränkte Hund
23	51,1	—	51,2	—	der nachher für das Experiment 15 ertränkte Hund
24	55,0	—	53,4	—	der nachher für das Experiment 21 vergiftete Hund

B. Blut aus den Herzkammern der Hunde in Chloroformnarkose.

Ordnungs- zahl	Refraktometrisch Serum				Anmerkung
	linke Kammer		rechte Kammer		
	unver- dünnt	verdünnt mit 1% CaCl ₂	unver- dünnt	verdünnt mit 1% CaCl ₂	
25	52,1	33,1	51,3	32,7	—
26	51,8	32,5	51,1	32,1	dasselbe Serum 24 Stunden nach spontaner Sedimentierung: linke Kammer 61,6, rechte Kammer 57,9
27	51,2	32,2	51,0	32,0	—

Wenn wir die obigen Resultate betrachten, so bemerken wir, daß die niedrigste Grenzzahl, welche den refraktometrischen Wert bestimmt, für das Serum der lebenden oder auf eine andere Art als durch Ertränkung getöteten Hunde ungefähr 51 Teilstriche der Refraktometer-Skala beträgt. Da, wie uns die kryoskopischen Untersuchungen belehren, nach dem Tode der Gefrierpunkt niedriger wird, d. h. das Blut dickflüssiger, so müßte man annehmen, daß die refraktometrische Zahl höher wird. Tatsächlich, wie die Fälle 19, 20 und 21 zeigen, ist der niedrigste Wert für das Hunde-Serum, kurze Zeit nach dem Tode (1—3 Stunden) bedeutend höher, denn die Refraktometer-Skala zeigt die Zahl 54,4 Teilstriche. Wenn wir also annehmen, daß der niedrigste Wert nach dem Tode 51 Teilstriche beträgt, in unseren Fällen dagegen 54,4, so haben wir für die vermutlichen Schwankungen der physiologischen Blutveränderung (Eiweißgehalt) die ansehnliche Breite von 3,4 Teilstrichen der Refraktometer-Skala. Da wir unsere Experimente mit einer verhältnismäßig geringen Anzahl von Tieren angestellt haben, müssen wir also noch einen niedrigeren Grenzwert der Refraktion annehmen; man könnte uns sonst den Vorwurf machen, daß unsere Zahlen nicht die ganze Skala der physiologischen Konzentration umfassen. Um diesem Vorwurf vorzubeugen, nehmen wir die kleinste, im Serum des lebenden Tieres vorkommende Zahl als Grenzwert an. Diese Zahl ist absolut nicht zu hoch gegriffen, denn nach Ergebnissen der physiologischen Chemie schwankt der normale Eiweißgehalt des Blutserums zwischen 6,2—9,4%, was 50,4—64,3 Teilstrichen der Refraktometer-Skala entspricht. Wenn wir noch den Refraktionsgrad der im Serum enthaltenen Salze, Fette und Extraktivstoffe dazugeben, welche zusammen etwa 1,3% der Serumbestandteile ausmachen, und ungefähr 5 Teilstriche der Refraktometer-Skala betragen, so erhalten wir, den exakten chemischen Untersuchungen entsprechend, eine Ziffer, die die Zahl

51 bedeutend übersteigt. Wir müssen erwähnen, daß manche Chemiker, wie z. B. *Böhne*, bedeutend niedrigere Prozentwerte des Eiweißgehaltes angeben, doch bestätigen die auf genauen Analysen fußenden Angaben von *Hammarsten*, *Abderhalden*, *Vaucher*, *Kreibich*, *Tuffier* und *Maute*, ebenso wie die Resultate der refraktometrischen Untersuchungen von *Reiss*, *Goldammer*, *Löwy* u. a. unsere Angaben vollständig.

Wenn wir also auf Grund unserer eigenen Untersuchungen und obiger Ergebnisse, den Grenzwert 51 Teilstriche der Refraktometer-Skala als die stärkste, nach dem Tode noch physiologisch auftretende Blutverdünnung annehmen, so bedeutet, ähnlich wie bei der Kryoskopie $\Delta < -0,49$ den Beweis des Ertrinkungstodes, auch hier eine Zahl, die kleiner ist als 51 Teilstriche, die Ertrinkung als Todesursache, natürlich in bezug auf die linke Herzhälfte, bei entsprechend höherem Werte für die rechte Kammer. Wenn wir jedoch $\Delta < -0,56$ als Beweis des Ertrinkungstodes anerkennen, wie es übrigens auch die Lehrbücher der gerichtlichen Medizin angeben, so müssen wir einen entsprechend größeren Berechnungswert also zumindestens 52,5 Teilstriche annehmen, denn in unseren Betrachtungen haben wir stets nur die geringsten Verdünnungen berücksichtigt, welche auch physiologisch auftreten können.

Bei der Betrachtung oben angegebener Tabellen bemerken wir, daß bei allen in hypotonischen Lösungen ertränkten Hunden die Blutverdünnung die linke Herzhälfte betrifft, während bei den in hyper-tonischen Lösungen ertränkten stets umgekehrte Verhältnisse angetroffen werden, also eine Bluteindickung in der linken Kammer im Verhältnis zur rechten. Das Blutserum der auf andere Art getöteten Hunde zeigt im allgemeinen eine ganz geringe Eindickung der Blutflüssigkeit in der linken Kammer, außer bei dem durch CO vergifteten Hunde, bei dem eine, freilich minimale, Verdünnung des Blutes in der linken Herzkammer eingetreten ist. Diese Tatsache ist für uns jedoch ziemlich belanglos, denn es handelt sich hier um relative Zahlen, aus welchen man keine weitergehenden Schlüsse ziehen darf, worüber übrigens die nachfolgende Tabelle der Untersuchungen der Sera von menschlichen Leichen genügend belehrt.

Die Ergebnisse der refraktometrischen Untersuchungen haben wir mit der kryoskopischen Methode nachgeprüft, leider konnten wir sie nur in 5 Fällen anwenden, da wir nicht immer über die für exakte Untersuchungen notwendige Blutmenge verfügten. Im allgemeinen stimmen diese Resultate mit den refraktometrischen überein. Da die Anzahl dieser Kontrollproben zu gering war, haben wir, um die Gleichwertigkeit beider Methoden zu beweisen, auch Blut von menschlichen Leichen genommen, bei denen die Gewinnung einer größeren Blutmenge keinerlei Schwierigkeiten machte. Tatsächlich haben wir auch hier diese Gleichwertigkeit erwiesen, wie die unten angeführten Beispiele zeigen.

Tabelle 5. *Untersuchung der Sera der menschlichen Leichen.*

Ordnungs- zahl	Zeitraum zwischen dem Tode und der Untersuchung	Verhalten des Blutes in den Herzhöhlen	Todesursache	Refraktometrisch		Kryoskopisch	
				Blutserum		Blut	
				linke Kammer	rechte Kammer	linke Kammer	rechte Kammer
1	33 St.	flüssig	Sklerose der Aorta	59,0	59,0	— 0,79	— 0,82
2	5 „	spärliche Koagula	Lungenentzündung	53,5	53,0	— 0,77	— 0,75
3	10 „	flüssig	Überfahren von der Eisenbahn	54,4	53,5	— 0,79	— 0,75
4	24 „	spärliche Koagula	CO-Vergiftung	70,1	80,0	— 0,75	— 0,80
5	28 „	flüssig	die Leinersche Krankheit	64,0	73,0	— 0,72	— 0,81
6	36 „	flüssig	Sturz von der Höhe	70,1	86,2	— 0,67	— 0,86

Wenn wir von der Gleichwertigkeit beider Methoden sprechen, so können wir jedoch, wie aus den obigen Zusammenstellungen erfolgt, nicht behaupten, daß der refraktometrische Wert gleichmäßig mit dem Steigen oder Sinken des Gefrierpunktes tiefer oder höher wird. Die Ursache dieser Erscheinung wird übrigens klar, wenn wir uns vergegenwärtigen, daß wir mit dem Refraktometer die Änderungen im Gehalte an Eiweißkörpern (Kolloiden) erkennen, während das Kryoskop nur die Schwankungen der Krystalloide zeigt. Diese Körper verhalten sich nämlich ganz verschieden unter dem Einfluß von Faktoren, die einerseits die Veränderung des osmotischen Druckes, andererseits die Veränderung des Brechungskoeffizienten bewirken, also bei der postmortalen Eindickung der Flüssigkeiten im Organismus, resp. der Zersetzung.

Als wir bei Gelegenheit dieser kryoskopischen Kontrolle eine größere Anzahl von menschlichen Blutsera beider Herzhälften verschieden lang nach dem Todeseintritt untersuchten, haben wir, gleich den Angaben der Schulliteratur, gefunden, daß nach 24 Stunden fast ständig in der rechten Herzkammer eine im Vergleich zur linken stärkere Eindickung des Blutes festzustellen ist: es ist die Folge der postmortalen Prozesse, die in der rechten Kammer rascher und intensiver auftreten. Als Grund dessen nimmt *Revenstorff* Zersetzung an, *Stockis* die Verdunstung der Flüssigkeiten und die Hämolyse, nach *Corin* ist es der Vorgang der Diffusion des Blutes beider Herzhälften in das Gewebe. Ohne auf die Frage näher einzugehen, können wir nur erwähnen, daß nach unseren Beobachtungen die Zersetzung hier die Hauptrolle spielt; dadurch läßt sich auch am leichtesten das Steigen des Refraktionswertes und der Unterschied im Verhalten des Gefrierpunktes erklären, denn bei der Verdunstung oder den Diffusionsvorgängen müssen wir, obwohl diese Faktoren auch nicht ohne Belang sind, ein besseres Übereinstimmen

beider Methoden finden. Hier jedoch finden wir z. B. beim 70. Teilstrich der Refraktometer-Skala, einmal $\Delta = -0,67$, ein anderes Mal $\Delta = -0,75$; in einem anderen Fall, wo das Refraktometer 53,5 zeigt, entspricht ein Gefrierpunkt gleich $-0,77$. Dies wäre ein Zeichen dafür, daß das Verhalten von Gefrierpunkt und refraktometrischem Index von verschiedenen postmortalen Prozessen beeinflußt werden; möglicherweise ist es bei der Refraktometrie die Fäulnis, bei der Kryoskopie die Verdunstung und Diffusion.

Bei weit vorgeschrittener Zersetzung führt die refraktometrische, übrigens ebenso wenig auch die kryoskopische Methode, wie die Prüfung der elektrischen Leitfähigkeit und andere zum Ziel. Wesentliche Schlüsse kann man dann aus der Refraktometrie ziehen, wenn in der linken Kammer eine solche Blutverdünnung festgestellt wird, die in normalen Verhältnissen nicht zu finden ist, also beim Teilstrich unter 51.

Die refraktometrische Untersuchung ist so leicht und einfach, beansprucht so wenig an Zeit, Material und Vorbereitung, daß man sie in jedem Falle von Ertrinkungstod anwenden sollte. Man bedarf dazu nicht einmal einer Zentrifuge; denn zur Absonderung des Serums genügt es, das Blut eine Zeitlang in der Kühle stehen zu lassen; man muß es nur vor Verdunstung schützen. Ihre Schattenseite liegt darin, daß sie auf dem Eiweißgehalte beruht, da das Eiweiß zu den meist schwankenden Bestandteilen des Serums gehört. Im allgemeinen jedoch hat sich diese Methode experimentell ganz exakt erwiesen und vollkommen geeignet zur Anwendung in der Diagnostik des Ertrinkungstodes.

Zusammenfassend müssen wir feststellen:

Die refraktometrische Methode 1. übertrifft an Leichtigkeit und Einfachheit der Ausführung die anderen bekannten Methoden der exakten Untersuchung der Serum-Konzentration und steht an Genauigkeit in bezug auf die absoluten Werte der Kryoskopie nicht nach;

2. bedarf sehr wenig Material und nimmt sehr wenig Zeit in Anspruch;

3. eignet sich vollkommen zur Anwendung in der Diagnostik des Ertrinkungstodes.
