

Großtropfiges Fett im Blut des rechten Ventrikels

S. Pollak¹, W. Vycudilik¹, C. Reiter¹, G. Remberg² und W. Denk¹

¹Institut für gerichtliche Medizin der Universität Wien, Sensengasse 2, A-1090 Wien, Österreich

²Organisch-chemisches Institut der Georg-August-Universität Göttingen, Tammanstrasse 2, D-3400 Göttingen, Bundesrepublik Deutschland

Large-Drop Fat Accumulation in the Blood of the Right Ventricle

Summary. In several cases of fatal blunt-trauma injuries or after exposure to severe burning, large-drop fatty substances, discernible to the naked eye, were found in the venous blood of the right ventricle. Thin-layer chromatographic separation of the extracted lipids demonstrated an increase in the triglyceride fraction. Analysis of the fatty acids by means of combined gas chromatography/mass spectrometry showed a shift towards oleic acid. The distribution pattern of the molecular weights was determined by means of DCI-mass spectrometry in order to characterize the triglycerides in detail. The total chemical findings indicated that the visible lipids present in the right ventricle had predominantly derived from the adipose tissues. In cases of post mortem burning (without vital traumata) no typical pulmonary fat embolism had developed despite massive lipemia in the venous blood.

Key words: Trauma, fat embolism – Fat accumulation in blood of the right ventricle – Burned corpse, lipemia in the venous blood

Zusammenfassung. In mehreren Fällen von stumpfer Traumatisierung oder hochgradiger Brandeinwirkung fanden sich im venösen Blut des rechten Ventrikels großtropfige, mit freiem Auge erkennbare Fettsubstanzen. Durch dünnschichtchromatographische Auftrennung der Lipidextrakte wurde festgestellt, daß diese sichtbare Fettakkumulierung auf einer Zunahme der Triglyceride beruhte. Die Analyse der Fettsäuren mittels kombinierter GC/MS ergab eine Verschiebung zugunsten der Ölsäure. Zur näheren Charakterisierung der Triglyceride wurde deren Molekulargewichtsverteilung mit Hilfe der DCI-Massenspektrometrie bestimmt. Die Gesamtheit der Untersuchungsergebnisse sprach dafür, daß die im lipämischen Blut

des rechten Ventrikels vorgefundenen Lipide überwiegend aus dem Depotfett stammen. Bei ausschließlich postmortaler Verbrennung (ohne vitale Traumatisierung) ist es – trotz massiver Lipämie des venösen Blutes – nicht zur Ausbildung einer kapillären Lungenfettembolie gekommen.

Schlüsselwörter: Trauma, Fettembolisierung – Fettakkumulierung, im Blut des rechten Ventrikels – Brandleiche, Lipämie des venösen Blutes

Die forensische Problematik der Fettembolie nach vitaler und postmortaler Verbrennung hat seit der ersten Mitteilung von Carrara (1898) nicht an Aktualität eingebüßt. Die meisten Autoren stimmen darin überein, daß rein postmortale Verbrennungen für sich allein – ohne vorausgegangene Traumatisierung – keine klassische, grobtropfig-kapilläre Lungenfettembolie (LFE) bewirken.

Bei der autoptischen Untersuchung eines tödlichen Hochspannungsunfalls mit tiefreichenden, vorwiegend nach dem Tod entstandenen Verbrennungen fanden wir im Blut des rechten Ventrikels und der großen Körpervenien reichlich ungelöste, grobtropfige Fettsubstanzen. Das Blut des arteriellen Kreislaufschenkels war unauffällig. Eine kapilläre LFE ließ sich nicht nachweisen. Über Anregung von Holczabek (1978) wurden die Lipidextrakte des Blutes aus der rechten und linken Herzhälfte dünn-schichtchromatographisch aufgetrennt; die densitometrische Auswertung ergab eine isolierte Vermehrung der Triglyceridfraktion im venösen Herzblut. Schon bei der Beurteilung dieses ersten Falles vertraten wir die Auffassung, daß die im rechten Ventrikel vorgefundenen Lipide aus dem thermisch zerstörten Depotfett stammen (Pollak 1980). Da die Fettverlagerung offenbar zur Gänze postmortal ablief, unterblieben der Weitertransport in das Kapillarbett der Lungen und die Ausbildung einer typischen LFE; das Auftreten großer Tropfen ließ sich durch die Koaleszenz der angesammelten Lipide erklären.

Seit dieser ersten Beobachtung wurden noch in 8 weiteren Fällen gleichartige Befunde erhoben (bei 3 Brandleichen und bei 5 polytraumatisierten Unfallopfern). Um die Frage nach der Zusammensetzung und Herkunft der akkumulierten Fettsubstanzen beantworten zu können, wurden die Lipidextrakte nach der dünn-schichtchromatographischen Auftrennung weiteren chemischen Untersuchungen zugeführt (Analyse der Fettsäuren durch GC/MS, Bestimmung der Molekulargewichtsverteilung in der Triglyceridfraktion durch DCI-Massenspektrometrie).

Material

Fall 1: 64 J., männlich. Hochspannungsunfall mit lang dauerndem Leiterkontakt (20 Min). Ausgedehnte elektrothermische Verbrennungen III. und IV. Grades (ca. 80% der Körperoberfläche) mit tiefreichenden Gewebsdurchtrennungen entlang des Leitungskabels. CO-Hb: 0%, keine Rußeinatmung

Fall 2: 46 J., männlich. Hochspannungsunfall mit lang dauerndem Leiterkontakt. Elektrothermische Verbrennungen II.-IV. Grades (ca. 60% der Körperoberfläche); Weichteil- und Knochendurchtrennungen. CO-Hb: 0%, keine Rußeinatmung

Fall 3: 63 J., weiblich. Kardialer Todesfall mit postmortaler Verbrennung (Wohnungsbrand, vermutlich initiiert durch Zigarettenglut). Brandtorso mit thermischer Weichteil- und Knochendestruktion, Weichteilschrumpfung und Verkürzung der Gliedmaßen. Dekompensiertes Cor hypertonicum, chronische Blutstauung der Lungen, Hypertrophie des rechten Ventrikels. CO-Hb: 0%, keine Rußeinatmung

Fall 4: 23 J., männlich. Tod durch Würgen und Drosseln, postmortale Verbrennung in einem Kfz (Mordbrand). Brandtorso mit thermischer Weichteil- und Knochendestruktion, Verkürzung der Gliedmaßen, Fraktur des Zungenbeines und der oberen Schildknorpelhörner, hämorrhagisches Lungenoedem. CO-Hb: 0%, keine Rußeinatmung

Fall 5: 19 J., männlich. Verkehrsunfall (PKW-Lenker); Polytrauma mit multiplen Frakturen und Organrupturen; Überlebenszeit: 3,5 Std

Fall 6: 67 J., männlich. Sturz aus großer Höhe (Kletterunfall); Polytrauma mit multiplen Frakturen; Überlebenszeit: unbekannt (tot aufgefunden)

Fall 7: 23 J., männlich. Verkehrsunfall (PKW-Lenker); Polytrauma mit multiplen Frakturen und Organrupturen; Überlebenszeit: 5 Std.

Fall 8: 25 J., männlich. Arbeitsunfall (Überrollung durch Baufahrzeug); Polytrauma mit multiplen Frakturen, Decollements und Organrupturen; Überlebenszeit: 2,5 Std

Fall 9: 18 J., männlich. Eisenbahnüberfahung (Suizid); Polytrauma mit Gliedmaßenabtrennung und vollständiger Exenteration des Gehirns (trotzdem Blutaspiration, Luft- und Fett-embolie!)

Methodik

Sektionstechnik. Zu Beginn der Obduktion Eröffnung der rechten Herzkammer (möglichst in situ), Prüfung des Ventrikelblutes auf makroskopisch erkennbare (tropfige oder erstarrte) Fettansammlungen, Asservierung von Blutproben für die chemische Analyse; anschließend Blutentnahme aus dem linken Ventrikel und aus den großen Gefäßen.

Histologische Lungenuntersuchung. Fixierung mehrerer Gewebeproben in 10%iger Formalinlösung, Herstellung von Gefrierschnitten, Färbung mit Sudan III, quantitative Beurteilung der LFE (Grad 0-III nach der Einteilung von Falzi et al. 1964).

Dünnschichtchromatographische Untersuchung. Extraktion mit Chloroform-Methanol (2:1); Auftrennung auf Kieselgel-DC-Platten mit Petrolether-Diethylether-Eisessig (90:10:1) in 5 Fraktionen: Phospholipide (PhL), Cholesterin (Ch), freie Fettsäuren (FFS), Triglyceride (TG) und Cholesterinester (ChE); Besprühen mit Molybdätdiäthylphosphorsäure und densitometrische Auswertung der Chromatogramme.

Analyse der Fettsäuren (FS) mittels kombinierter GC/MS. Methylierung der Rohextrakte nach Haan et al. (1979) und gaschromatographische Auftrennung der FS-Methylester (25 m SE-30; HP-Ultrapase, 150°/20°/280°C; Varian MAT 112). Die Mengenverhältnisse Ölsäure/Linolsäure und Ölsäure/Steinsäure wurden aus den Peakflächen der Methylester ermittelt.

DCI (= direkte chemische Ionisation)-Massenspektrometrie. Die dünn-schichtchromatographisch gereinigten Triglyceride wurden mit einem Spektrometer der Type Varian MAT 311 A nach Einstellung folgender Parameter analysiert: Ionenquellentemperatur 150°C; Druck in der Ionenquelle $8 \cdot 10^{-4}$ Torr; Reaktandgas: Ammoniak; Elektronenenergie: 200 eV; Emissionsstrom: 0,1 mA; Beschleunigungsspannung: 3 kV; Auflösung 1000 (10% Tal); DCI-Draht Rhenium 0,1 mm.

Ergebnisse

Makromorphologisches Bild. Großtropfige „Fettaugen“ im venösen Blut des rechten Ventrikels (Abb. 1b), in den großen Venen des Körperkreislaufs, im Stamm und in den Hauptästen der A. pulmonalis); bei gekühlten Leichen erstarrte, gelbliche Fettmassen mit feinkörniger Oberflächenstruktur (Abb. 2).

Histologische Graduierung der LFE. In den Fällen 1–4: Grad 0 (keine kapilläre LFE), in den Fällen 5–8: Grad III (starke LFE), im Fall 9: Grad II (mittelstarke LFE).

Dünnschichtchromatographische Auftrennung. In jedem Fall deutliche Vermehrung der TG-Fraktion (besonders augenfällig beim direkten Vergleich zwischen rechts- und linksventrikulärem Blut, Abb. 1c).

Bestimmung des Fettsäuremusters. In den 3 diesbezüglich untersuchten Fällen (3, 5, 6) wurde im Blut der rechten Herzhälfte eine deutliche Verschiebung zugunsten der Ölsäure festgestellt. Dementsprechend waren auch die Quotienten C18:1/C18:2 und C18:1/C18:0 stark erhöht (Tabelle 1).

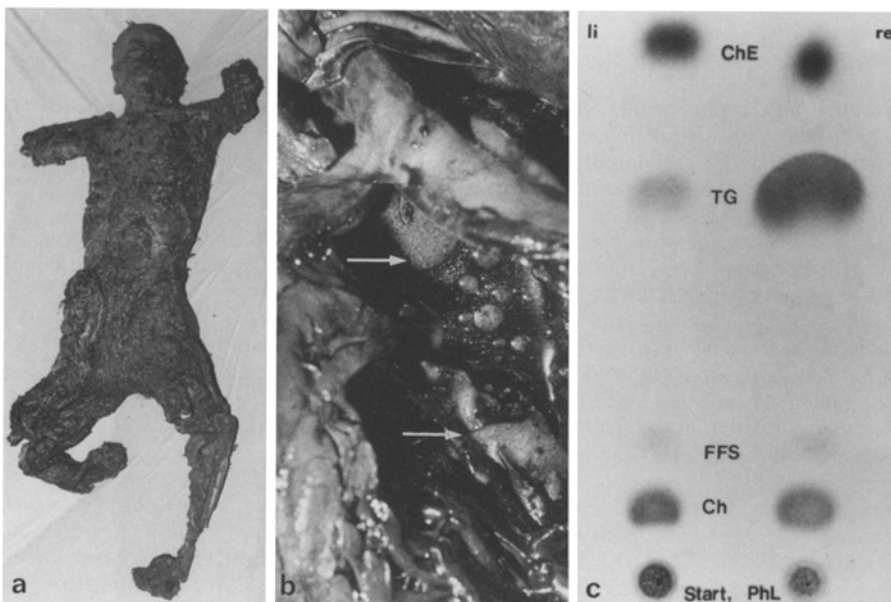


Abb. 1 (zu Fall 3). Plötzlicher Tod aus kardialer Ursache, postmortale Verbrennung, Obduktion nach ungekühlter Lagerung. **a** Hochgradig karbonisierte Brandleiche mit verkürzten Gliedmaßen in angedeuteter Fechterstellung. **b** Großtropfiges, flüssiges Fett im Conus arteriosus der rechten Herzkammer. **c** Dünnschichtchromatographische Auftrennung der Lipidextrakte aus dem linken und rechten Ventrikel; der Triglycerid (TG)-Anteil ist im lipämischen Blut der rechten Herzhälfte stark erhöht

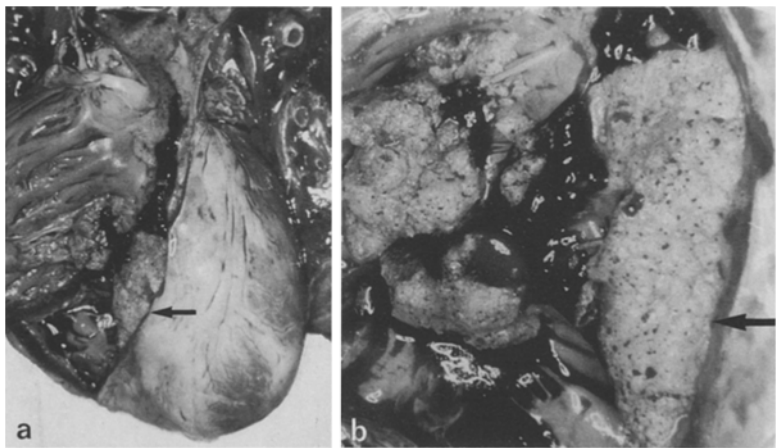


Abb. 2 (zu Fall 5). Tod durch stumpfes Polytrauma, Obduktion nach gekühlter Lagerung der Leiche (+4°C). **a** Klumpig erstarrtes Fett im Lumen der rechten Herzkammer (Gesamtmasse der intraventrikulären Lipide: 4,3 g). **b** Detailansicht der parietalen Fettablagerungen mit körnig strukturierter Oberfläche

Tabelle 1. Prozentanteile der C16- und C18-Fettsäuren, bezogen auf den FS-Pool des rechtsventrikulären Blutes bei 2 polytraumatisierten Unfallopfern (Fälle 5 und 6 des Untersuchungs-gutes). Die Gewichtsverhältnisse C18:1/C18:2 und C18:1/C18:0 sind zugunsten der Ölsäure verschoben. Die Vergleichszahlen (FS-Verteilung im Venenblut von Normalpersonen und im Depotfett) sind der Arbeit von Schaaf (1972) entnommen

		Lipämisches Blut aus dem re. Ventrikel		Venenblut	Depotfett
		Fall 5 (Polytrauma)	Fall 6 (Polytrauma)	Normalpersonen	
C16:0	Palmitin-Säure	21,6	23,1	23,4	21,4
C16:1	Palmitolein-Säure	10,1	9,2	5,2	11,0
C18:0	Stearin-Säure	4,0	4,2	6,7	3,7
C18:1	Öl-Säure	43,0	42,8	26,1	44,0
C18:2	Linol-Säure	16,3	16,0	25,2	12,0
C18:1/C18:2		2,6	2,7	1,0	3,7
C18:1/C18:0		10,8	10,2	3,9	11,9

DCI-Massenspektrometrie. Im Fall 3 (postmortale Verbrennung) fand ein Vergleich zwischen den TG-Fractionen des rechts- und linksventrikulären Blutes statt. Aus Abb. 3 ist zu ersehen, daß die Isomeren mit den Massen 872, 898 und 900 im Blut der rechten Kammer stärker vertreten sind als in jenem der linken.

Im Fall 6 (mechanisches Polytrauma) wurden die Triglyceride aus 3 Kompartimenten (Depotfett, rechtsventrikuläres Blut, Lungengewebe) untersucht. Eine Gegenüberstellung der Spektren ließ eine musterartige Ähnlichkeit in der Molekulargewichtsverteilung erkennen (Abb. 4).

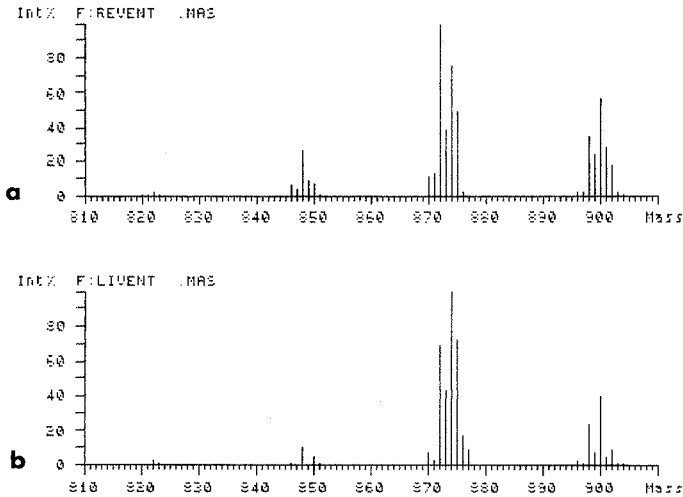


Abb. 3 (zu Fall 3; postmortale Verbrennung). DCI-Massenspektrum der Triglyceride aus dem Blut des rechten (a) und des linken (b) Ventrikels. Intensitätszunahme der Isomeren mit den Massen m/e 872, 898 und 900 im lipämischen Blut des rechten Ventrikels

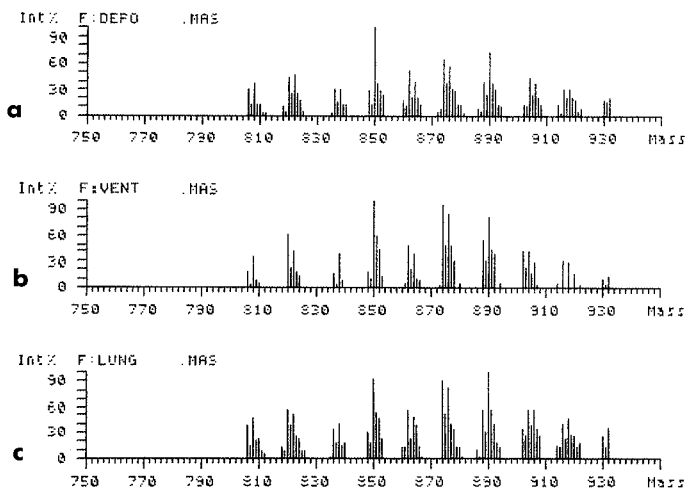


Abb. 4 (zu Fall 6; vitales Polytrauma). DCI-Massenspektren der Triglyceride aus dem Depotfett (a), aus dem lipämischen Blut des rechten Ventrikels (b) und aus dem Lungenfettextrakt (c) mit auffallenden Ähnlichkeiten im Muster der Molekulargewichtsverteilung

Schlußfolgerungen

1. Das Blut des rechten Ventrikels, der Hohlvenen und der Pulmonalarterien- (hauptäste) kann großtropfiges oder – bei niedrigen Temperaturen – körnig-klumpiges Fett enthalten.

2. Bisher wurden solche Fettansammlungen nach vitaler stumpfer Traumatisierung und in Fällen von postmortaler Brandeinwirkung beobachtet.
3. Bei einer Entstehung im Rahmen vitaler Traumen ist gleichzeitig eine – meist hochgradige – Lungenfettembolie vorhanden, auch wenn die Kreislauffunktion nur ganz kurze Zeit fortgedauert hat. In den Fällen von postmortaler Brandeinwirkung konnte hingegen keine kapilläre LFE nachgewiesen werden.
4. Die mit freiem Auge sichtbare Fettakkumulierung im rechtsventrikulären Blut ist hauptsächlich durch eine Vermehrung der TG-Fraktion bedingt.
5. Das FS-Muster im Lipidextrakt des rechtsventrikulären Blutes ist zugunsten der Ölsäure (C18:1) verschoben. Dementsprechend sind der Ölsäure-Stearinsäure-Quotient und der Ölsäure-Linolsäure-Quotient erhöht.
6. Die Triglyceride im lipämischen Blut des rechten Ventrikels haben eine ähnliche Molekulargewichtsverteilung wie die Triglyceride des Depotfettes.
7. Die erhobenen Befunde berechtigen zu der Annahme, daß die im Blut des rechten Ventrikels aufscheinenden Fettsubstanzen ganz überwiegend aus dem Depotfett stammen.

Diskussion

Es mag verwundern, daß die beschriebenen Fettansammlungen im venösen Herzblut bisher nur wenig Beachtung gefunden haben. Die Anwesenheit von großtropfigen oder klumpig-körnigen Fettmassen ist ein überaus eindrucksvoller Befund, der bei vorsichtiger Öffnung des rechten Ventrikels leicht zu erheben ist. Die Zahl der bisherigen Beobachtungen läßt vermuten, daß es sich um ein nicht ganz seltenes Phänomen handelt. Die Quantität des aufgefundenen Fettes – sie lag in der Größenordnung von einigen Gramm – vermittelt ein anschauliches Bild vom möglichen Umfang der Fettmobilisation.

Das referierte Untersuchungsgut setzt sich aus 2 Fallgruppen zusammen:

1. aus *Brandleichen* und
2. aus *Polytraumatisierten* (mit nur kurzer Überlebenszeit).

Über die Möglichkeit einer intravasalen Fettverschleppung durch *postmortale Hitzeeinwirkung* wurde auch im neueren Schrifttum ausführlich diskutiert (Mueller 1957/58, Wagner 1959, David und Reimann 1960, Schollmeyer 1962, Bschor 1965). Nach herrschender Meinung ist eine typisch-grobparkuläre (histologisch wurst- oder geweihförmige) FE der Lungen als Zeichen einer vitalen Traumatisierung aufzufassen (Janssen 1977, Berg und Schumann 1985). Fettansammlungen *vor* dem Kapillarbett der Lungen (im rechten Ventrikel und in den größeren Lungenarterienästen) können allerdings durch postmortale Verbrennung zustande kommen.

Strassmann (1933) unternahm Leichen- und Tierversuche, um zu prüfen, ob Körperfett nach dem Tod durch Flammenwirkung im Kreislauf weiterverschleppt wird: Dabei ließ sich eine Fettverlagerung von der Hohlvene in das rechte Herz, nicht aber eine LFE erzielen.

Schollmeyer (1962) fand nach teilweiser Kremation von Leichen „mäßige Fettansammlungen“ in größeren arteriellen Lungengefäßen. Er vertrat die Meinung, daß die dort angetroffenen Lipide den Fettpolstern der Körperperipherie entstammen dürften.

Bei experimenteller Teilverbrennung von Hunde- und Rattenkadavern wurde festgestellt, daß Fett aus den Extremitäten in die Lungengefäße gelangen kann (Eidlin 1965).

Die 4 Brandleichen des Untersuchungsgutes wiesen *keine* grobtropfig-kapilläre LFE auf. Daraus läßt sich ableiten, daß – trotz massiver Lipidanhäufung im venösen Blut des Herzens und der Pulmonalarterien(haupt)äste – ein Weitertransport des Fettes in das Kapillarbett der Lungen unterblieben ist. Die Aussa- gekraft einer „echten“ LFE wird also durch unsere Beobachtungen *nicht* be- rührt, auch nicht in bezug auf Brandleichen.

Im Kollektiv der *mechanisch Traumatisierten* (Fälle 5–9) ist die Lipidakku- mulation im rechten Ventrikel ein Teilaspekt der vitalen Fettembolisierung. Die zusätzliche Lipidbeladung des Blutes entspricht gleichsam einer Moment- aufnahme des Fetttransportes. Die klassischen FE-Befunde in den Kapillarfil- tern der Erfolgsorgane sind demgegenüber als Summationsphänomen der abge- laufenen Transportvorgänge aufzufassen.

Dementsprechend lag bei allen Verstorbenen dieser Gruppe eine deutliche, meist sogar eine massive LFE vor (FE-Grad II oder III).

Eine präexistente Fettstoffwechselstörung war in keinem Fall bekannt.

Die sichtbare Fettbeladung des Blutes muß nicht unbedingt auf den venösen Kreislauf- schenkel beschränkt sein. Wenn Shuntverbindungen (z.B. Foramen ovale, Septumdefekte, Ductus Botalli apertus) vorhanden sind, können die angehäuften Fettsubstanzen prä- und/ oder postmortal in das arterielle Blut übertreten. Auch die arterio-venösen Anastomosen der Lungen sind eine mögliche Erklärung für den raschen Übertritt von Fett in den Körperkreis- lauf (Holczabek 1968).

Die dünnschichtchromatographisch aufgetrennten Lipidextrakte des rechtsven- trikulären Blutes zeichneten sich durch eine starke *Zunahme der TG-Fraktion* aus (Abb. 1c), und zwar unabhängig davon, ob die Fettakkumulation durch Brandeinwirkung oder durch ein mechanisches Trauma verursacht war. Auch die Lungenfette sind in Fällen von pulmonaler Fettembolie durch eine Er- höhung des TG-Anteiles charakterisiert (Holczabek 1964 und 1968, Hallgren et al. 1966, Nádvorník und Pavelková 1968, Schneider und Klug 1971). Die solcherart veränderte Lipidzusammensetzung im venösen Blut und im Lungen- gewebe legt die Vermutung nahe, daß Depotfett freigesetzt und embolisch ver- schleppt wurde: Das Fett der Subcutis und des Knochenmarks besteht bekannt- lich zu etwa 95% aus Triglyceriden.

Im Fettsäure-Pool des Depotfettes ist die Ölsäure (C18:1) mit einem Anteil von etwa 44% vertreten; auf die Stearinsäure (C18:0) entfallen 3,7% und auf die Linolsäure (C18:2) 12% (Schaaf 1972). Unter den Fettsäuren des Serums macht die Ölsäure nur 26% aus, während die Quoten der Stearinsäure (6,7%) und der Linolsäure (25%) höher sind als im Depotfett. Die Gewichtsverhält- nisse zwischen den Fettsäuren können daher ein Indikator für die Herkunft des intravasal (bzw. intraventrikulär) angetroffenen Fettes sein. Holczabek und Machata (1971) haben festgestellt, daß der *Ölsäure-Linolsäure-Quotient* des Lungenfettes bei LFE erhöht ist ($C18:1/C18:2 > 3$). Auch die Relation zwi- schen Ölsäure und Stearinsäure hat sich als brauchbarer Parameter erwiesen (Pollak und Vycudilik 1981). Die in unseren Fällen registrierte *Verschiebung zugunsten der Ölsäure* (Tabelle 1) stützt die Annahme, daß die vermehrt auf-

gefundenen Fettsubstanzen zum überwiegenden Teil aus dem ölsäurereichen Depotfett freigesetzt wurden.

Berg und Schumann (1985) haben die FS-Zusammensetzung eines postmortalen Brandhaematoms mit der eines vitalen Subduralhaematoms verglichen: Im epiduralen Brandhaematom war der Anteil der Ölsäure wesentlich höher als im Subduralhaematom. Dieser Befund läßt sich damit erklären, daß durch die Hitzeeinwirkung ölsäurereiches Knochenmarksfett aus der Diploe des Schädeldaches in den Epiduralraum übergetreten ist.

Zur Charakterisierung eines TG-Gemisches eignet sich nicht nur dessen FS-Muster. Differenziertere Methoden zur Kennzeichnung von Triglyceriden sind u. a. von Skořepa (1974) und Mareš et al. (1983) angewandt worden. Rapp et al. (1980) und Schulte et al. (1981) haben sich der *direkten chemischen Ionisation (DCI)* bedient, um die Molekulargewichtsverteilung der TG-Isomeren zu bestimmen.

Bei der direkten chemischen Ionisation von Triglyceriden entstehen die Quasimolekülonen durch Anlagerung von Ammoniumionen. Die gemessenen Ionenmassen sind daher jeweils um 18 m_u höher als das tatsächliche Molekulargewicht. Methodische und meßtechnische Probleme, die sich bei der Fettanalyse aus den hohen Massenzahlen und durch Fragmentierungsreaktionen ungesättigter Triglyceride ergeben, lassen sich durch den Vergleich mit entsprechenden Standards leicht beherrschen. Ein Vorteil gegenüber der Gaschromatographie ist darin zu sehen, daß die Temperatur der Ionenquelle weit unter dem Bereich liegt, der für eine gaschromatographische Trennung nötig ist. Der Zeitaufwand für eine vollständige Messung beträgt nur wenige Minuten.

Da die Triglyceride auch ein- und mehrfach ungesättigte Fettsäuren enthalten können, geben die Molekulargewichte allein noch keinen Aufschluß über die chemische Struktur. So haben z. B. Triglyceride mit den Säureresten C18:2–C18:2–C16:0 und C18:3–C18:1–C16:0 dasselbe Molekulargewicht. Voraussetzung für eine Differenzierung zwischen den TG-Isomeren ist daher die zusätzliche Kenntnis des FS-Zusammensetzung.

Das in Abb. 3 wiedergegebene DCI-Massenspektrum der Triglyceride aus dem rechten Ventrikel zeigt im Vergleich zum linksventrikulären Blut eine deutliche Intensitätszunahme der Isomeren mit den Massen m/e 872, 898 und 900. Dieses Ergebnis läßt darauf schließen, daß C52-Glyceride mit 4 Doppelbindungen (Molgewicht 854) und C54-Glyceride mit 4 bzw. 6 Doppelbindungen (Molgewichte 882 bzw. 880) vermehrt sind. Das gaschromatographisch ermittelte FS-Muster des rechtsventrikulären Blutes weist einen Konzentrationsanstieg der Palmitoleinsäure und der Ölsäure aus (Tabelle 1). Die Verschiebung zugunsten dieser ungesättigten Fettsäuren korreliert mit der massenspektrometrisch festgestellten Zunahme der isomeren C16:1–C18:1–C18:2-Glyceride des Molgewichtes 854. Das Massenspektrum erlaubt naturgemäß keinen Rückschluß auf den stereospezifischen Aufbau des Glycerin-palmitoleat-oleat-linoleats: Eine Unterscheidung nach der Anordnung der einzelnen Fettsäuren ist also nicht möglich.

Die Gegenüberstellung von DCI-Massenspektren verschiedener Kompartimente kann nicht nur Intensitätsunterschiede zwischen einzelnen TG-Isomeren, sondern auch Ähnlichkeiten im Muster der Molekulargewichtsverteilung aufzeigen. Ein Beispiel dafür ist der in Abb. 4 angestellte Vergleich von 3 TG-Gemischen (Depotfett, lipämisches Blut des rechten Ventrikels, Lungen-

fettextrakt). Die auffallende Übereinstimmung der Massenspektren erleichtert die pathogenetische Zuordnung des posttraumatisch embolisierten Fettes. Sie ist ein weiteres Indiz dafür, daß es zumindest im Anfangsstadium der Fettmobilisierung zu einem *TG-Einstrom aus den Depots* kommt (Literatur bei Brinkmann et al. 1976).

Die bisherigen Ergebnisse berechtigen zu der Hoffnung, daß die Anwendung der DCI-Massenspektrometrie neue Perspektiven für die Fettembolieforschung eröffnet.

Literatur

- Berg S, Schumann W (1985) Die Differentialdiagnose vitaler und postmortalen Vorgänge bei Brandleichen. Arch Kriminol 175:65–75
- Brinkmann B, Borgner M, Bülow M v (1976) Die Fettembolie der Lungen als Todesursache. Ätiologie, Pathogenese und Beweisführung. Z Rechtsmed 78:255–272
- Bschor F (1965) Befunde bei Brandleichen und deren Bewertung. Arch Kriminol 136:30–38, 93–105
- Carrara M (1898) Über die Fettembolie der Lungen in ihren Beziehungen zur gerichtlichen Medizin. Statistischer Beitrag. Friedreichs Bl Gerichtl Med 49:241–279
- David H, Reimann W (1960) Lungenfettembolie und intravasales Fett nach lokaler postmortalen Verbrennung der Lungen. Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med 49:382–387
- Eidlin LM (1965) On the wrong interpretation of fat drops in tissues and blood vessels as a sure sign of intravital burning. Sudebnotmed Eksp (Mosk) 8:10–12. Ref in: Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med 57:29 (1966)
- Falzi G, Henn R, Spann W (1964) Über pulmonale Fettembolie nach Traumen mit verschiedenen langer Überlebenszeit. MMW 106:978–981
- Haan GJ, Van der Heide S, Wolthers BG (1979) Analysis of fatty acids from human lipids by gaschromatography. J Chromatogr 162:261–271
- Hallgren B, Kerstell J, Rudenstam CM, Svanborg A (1966) A method for the isolation and chemical analysis of pulmonary fat emboli. Acta Chir Scand 132:613–617
- Holczabek W (1964) Dünnschichtchromatographische Untersuchungen von Lipidextrakten aus der menschlichen Lunge unter besonderer Berücksichtigung der Lungenfettembolie. Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med 55:242–246
- Holczabek W (1968) Der Triglyceridgehalt der normalen Lunge und bei Lungenfettembolie. Akt Fragen Gerichtl Med III, Martin Luther-Universität, Halle-Wittenberg, S 174–179
- Holczabek W (1968) Das Verhalten der arterio-venösen Anastomosen bei der Lungenfettembolie. Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med 62:170
- Holczabek W (1978) Persönliche Mitteilung
- Holczabek W, Machata G (1971) Gaschromatographische Untersuchungen zur Frage der Entstehung der Fettembolie beim Menschen. Beitr Gerichtl Med 28:82–87
- Janssen W (1977) Forensische Histologie. Schmidt-Römhild, Lübeck, S 129, 287–288
- Mareš P, Ranný M, Sedláček J, Škořepa J (1983) Chromatographic analysis of blood lipids. Comparison between gas chromatography and thin-layer chromatography with flame ionization detection. J Chromatogr 275:295–305
- Mueller B (1957/58) Der Schwurgerichtsprozeß in Kaiserslautern gegen den Zahnarzt Dr. Richard Müller. Arch Kriminol 120:165–170; 121:25–50, 75–110, 143–154
- Nádvořník F, Pavelková B (1968) The demonstration of fat embolism by thin-layer chromatography. Soudni Lékarství 13:20–26
- Pollak S (1980) Pathomorphologische Befundkonstellationen beim Tod durch hochgespannten elektrischen Strom. Arch Kriminol 165:1–16
- Pollak S, Vycudilik W (1981) Über das Verhalten der Lungenfette nach vitalen Verbrennungen. Wien Klin Wochenschr 93:111–117

- Rapp U, Meyerhoff G, Dielmann G (1980) DCI – Direkte chemische Ionisation oder desorptions-chemische Ionisation. Eine leistungsfähige, schonende Ionisationsmethode in der Massenspektrometrie. *Österr Chem Z* 81:101–105
- Schaaf E (1972) Die gaschromatographische Bestimmung der Fettsäuren des Depotfettes, des Knochenmarkes und des Serums. Ein Beitrag zur Untersuchung der Fettembolie. Diss Heidelberg
- Schneider V, Klug E (1971) Fettembolie der Lungen nach äußerer Herzmassage. *Beitr Gerichtl Med* 28:76–81
- Schollmeyer W (1962) Zur Frage der Fettembolie des Lungengewebes bei postmortal Verbrannten. *Acta Med Leg Soc (Liège)* 15:77–79
- Schulte E, Höhn M, Rapp U (1981) Mass spectrometric determination of triglyceride patterns of fats by direct chemical ionization technique (DCI). *Fresenius Z Anal Chem* 307:115–119
- Skořepa J (1974) Molecular species of triglycerides in biological systems. *Acta Univ Carol Med Monogr* 60
- Strassmann G (1933) Über Fettembolie nach Verletzungen durch stumpfe Gewalt und Verbrennungen. *Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med* 22:272–298
- Wagner HJ (1959) Das Erkennen und Verhalten von fettanfärbbaren Substanzen in den Lungen vor und nach Brandeinwirkung mittels histochemischer und papierchromatographischer Untersuchungen. *Dtsch Z Gesamte Gerichtl Med* 49:130–146

Eingegangen am 2. April 1987