

*Kasuistik / Casuistry*

**Kriminalistische Aspekte iatrogenen Luftembolien\***

St. Pollak, P. Dellert und W. Vycudilik

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

**Criminalistic Aspects of Iatrogenic Air Embolism**

**Summary.** With reference to 7 cases of iatrogenic air embolism examined by autopsies at the Vienna Institute of Forensic Medicine between 1968 and 1977, the most important causes of such complications are discussed. The wide-spread use of intensive therapeutic methods has led to the tendency that an increasing number of air embolic incidents happens during intravenous infusions. Four cases are reported: two of them occurred by incorrect handling of an automatic infusion pump; two further complications followed insertion or use of central venous catheters. Frequently outward circumstances refer to an air embolism even ante obductionem. In our cases the suspected diagnosis was based on the following signs: air filled venous catheters remaining on the body [3], striking manipulations on infusion apparatus [2], premortal X-ray film [1], typical clinical picture [1]. The analytical-chemical part deals with the infrared and mass spectroscopic investigation of adhesive residues. The traces, which were detected on the housing of an infusion pump, originated from an adhesive tape used to hold down a push button to turn off the warning device. Comparing the spectra of known adhesive tapes it was possible to adjoin the incriminated residues to the adhesive component of 'Normaplast'.

**Key word:** Air embolism, iatrogenic.

**Zusammenfassung.** Am Beispiel von 7 iatrogenen Luftembolien aus dem Wiener gerichtlichen Sektionsgut der Jahre 1968–1977 werden die wichtigsten Ursachen solcher Komplikationen erörtert. Die weite Verbreitung intensivmedizinischer Behandlungsformen hat dazu geführt, daß heute ein großer Teil der Luftembolien auf Zwischenfälle bei intravenösen Infusionen zurückgeht. Im eigenen Untersuchungsmaterial ist diese Entstehungsart mit 4 Fällen vertreten: Zwei davon beruhten auf der Fehlbedienung einer automatischen Infusionspumpe; die beiden anderen kamen dadurch zustande, daß Luft über herznahe Venenkatheter angesaugt wurde. Oft weisen äußere Umstände schon ante obductionem auf eine

\* Auszugsweise vorgetragen auf dem 5. Treffen Süddeutscher Rechtsmediziner in St. Gallen (15.–17.6.1978)

Sonderdruckanfragen an: Dr. Stefan Pollak (Adresse siehe oben)

Luftembolie hin. In den von uns mitgeteilten Fällen gründete sich die Vermutungsdiagnose auf folgende Indizien: lufthaltige Venenkatheter an der Leiche [3], auffällige Manipulationen an den Infusionsgeräten [2], prä mortal aufgenommene Röntgenbilder [1], typischer klinischer Befundbericht [1].

Der chemisch-analytische Teil beschäftigt sich mit der infrarot- und massenspektroskopischen Untersuchung von Klebstoffresten. Die am Gehäuse eines Infusomaten sichergestellten Spuren stammten von einem Heftpflaster, mit dessen Hilfe eine Drucktaste niedergeklebt und die Warneinrichtung ausgeschaltet wurde. Durch Vergleich mit den Spektren bekannter Heftpflaster war es möglich, die inkriminierte Probe der Klebmasse des „Normaplast“ zuzuordnen.

**Schlüsselwort:** Luftembolie, iatrogene.

Die Erscheinungsformen der Luftembolie haben sich unter dem Einfluß der gesellschaftlichen, medizinischen und technologischen Entwicklung entscheidend gewandelt. Ein deutliches Beispiel dafür sind die Abtreibungshandlungen, deren Anteil an der Gesamtzahl der tödlichen Luftembolien in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen ist. Umgekehrt hat die steigende Zahl schwerer Verkehrsunfälle dazu beigetragen, daß heute Schädeltraumen zu den häufigsten Ursachen der Luftembolie zählen. Mit der zunehmenden Verbreitung intensiv medizinischer Maßnahmen und der Einführung neuer operativer Methoden ist aber auch das Risiko iatrogenen Luftembolien größer geworden. Im Wiener gerichtlichen Obduktionsgut der Jahre 1968–1977 scheinen immerhin sieben derartige Zwischenfälle auf (Tab. 1). Diese als Folge ärztlichen Handelns aufgetretenen Luftembolien sind in Tabelle 2 nach ihrer Entstehungsweise aufgeschlüsselt.

In vier von sieben Fällen war die Luftembolie als Komplikation einer routinemäßigen Infusionsbehandlung aufzufassen. Zweimal ging die Embolie auf die Verletzung herznaher Venen während eines operativen Eingriffs zurück. Ein weiterer Todesfall ereignete sich während einer diagnostischen Lufteinblasung in den Subarachnoidalraum (Pneumenzephalographie).

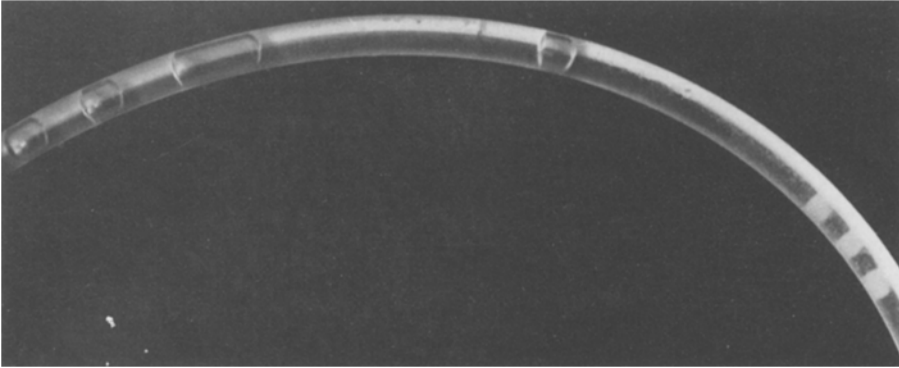
**Tabelle 1:** Luftembolien als alleinige oder konkurrierende Todesursache (ohne Schädeltraumen). Gerichtliche Obduktionen Wien 1968–77

Entstehungsart der Luftembolie		
Schnitt- und/oder Stichverletzungen des Halses (durch fremde oder eigene Hand)		10
Iatrogene Luftembolien		7
Venenkatheter zur Infusion	(4)	
Intraoperative Venenverletzungen	(2)	
Pneumenzephalographie	(1)	
Abtreibungshandlungen		3
Uterusruptur intra partum		1
Schußverletzung des Halses		1
Luftembolien insgesamt		22

Tabelle 2: Iatrogene Luftembolien im Wiener gerichtlichen Sektionsgut (1968–1977)

	Alter, Geschlecht	Grundkrankheit	Behandlungsart	Entstehungsweise der Luftembolie
Fall 1	71 J., w.	St. p. Rektumresektion, Anastomosendehiszenz	Einführung eines V. jugularis-Kath.	protrahierte Venenpunktion, Hustenanfall bei offenem Kathetersatz
Fall 2	2 Tage, m.	op. korrigierte Zwerchfellhernie	i.v. Infusionen mit Peristaltikpumpe (Alarmeinrichtung außer Funktion gesetzt)	Luftinsufflation nach Leerlaufen der Infusion; paradoxe Embolie
Fall 3	14 Tage, m.	op. korrigierte Ösophagus- und Duodenalatresie, Ventrikelseptumdefekt	i.v. Infusionen mit Peristaltikpumpe (Alarmeinrichtung außer Funktion gesetzt)	Luftinsufflation nach Leerlaufen der Infusion; paradoxe Embolie
Fall 4	35 J., w.	suizidale Vergiftung mit Amitriptylin	i.v. Infusionen mit V. subclavia-Kath.	Leerlaufen der Infusionsflasche während Herzmassage
Fall 5	54 J., w.	strahleninduziertes Sarkom im Lumbosakralbereich	Tumorresektion, Hemikorporektomie	intraoperative Läsion der V. cava inf. und der Vv. iliacae comm.
Fall 6	66 J., w.	laterale Halszyste	Extirpation	intraoperative Läsion der V. jugularis int.
Fall 7	14 Tage, w.	subdurales Hämatom nach geburtstraum. Tentoriumriß	diagnostische Pneumenzephalographie	Luftinjektion in den Subarachnoidalraum via Lumbalpunktion

Bei *intravenösen Applikationsformen* kann es grundsätzlich auf zwei Arten zum Eindringen von Gasblasen in das Gefäßsystem kommen. Erstens besteht – vor allem bei zentralen Venenkathetern – die Möglichkeit einer spontanen Luftansaugung durch Negativierung des Gefäßinnendruckes. Eine solche Sogwirkung ist besonders nach Blutverlusten, bei vertiefter Inspiration (Hustenstöße, Fall 1) und während extrakorporaler Herzmassage (Fall 4) zu befürchten. Der zweite Mechanismus beruht darauf, daß Luft aktiv in die Venen eingepreßt wird (in Fall 2 und 3 durch Infusionspumpen). Über beide Entstehungsarten liegen zahlreiche Mitteilungen vor. So wird über tödliche Zwischenfälle berichtet, bei denen V. subclavia –, V. jugularis – und V. femoralis – Katheter als Luft Eintrittspforten fungierten (Indar, Yoffa, Levinsky, Flanagan et al., Weiler). Die aktive Form der intravenösen Gasinsufflation wurde bisher am häufigsten als Folge von Bluttransfusionen unter Druck beschrieben (Simpson, Dolton et al., Doyle u. Frodsham, Burrows, Langmaid u. Mushin, Werkgartner u. Maresch, Bewes,



**Abb. 1.** (zu Fall 4): Extrakorporaler Teil eines V. subclavia-Katheters. Die Flüssigkeitssäule im Schlauch ist durch zahlreiche Gasblasen unterbrochen

Maresch, Wiebecke). Erst in jüngster Zeit hat Weiler darauf hingewiesen, daß ein fehlerhaft bedienter Infusomat nach Leerlaufen der Infusionslösung Luft in die Gefäße pumpen kann.

Die in Tabelle 2 angeführten *intraoperativen Luftembolien* unterstreichen die Richtigkeit der von Maresch erhobenen Forderung, bei *jedem mors in tabula* die Sektionstechnik nach Richter anzuwenden. Das eine Mal (Fall 5) war die mehrfache Läsion der unteren Hohlvene und großer Beckenvenen für den Lufteintritt verantwortlich; begünstigt wurde das Klaffen der verletzten Gefäße durch die Rigidität des strahlengeschädigten Gewebes. Bei der zweiten Beobachtung (Fall 6) handelt es sich um einen Eingriff im Halsbereich, der wegen seiner Nähe zur oberen Thoraxapertur besonders gefährdet ist („zone dangéreuse“).

Darüber hinaus ist bei einer Vielzahl anderer diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen mit tödlichen Luftembolien zu rechnen. Besondere Erwähnung verdienen die offene Herzchirurgie, Schädeloperationen, geburtshilfliche und gynäkologische Eingriffe, Luftdurchblasungen der Tuben und der Eustachischen Röhre, der kurative Pneumothorax und das Pneumoperitoneum, die zentrale Venendruckmessung und Katheteruntersuchungen des Herzens, die Pneumenzephalographie (Fall 7), die retroperitoneale Pneumographie und Luftfüllungen der Harnblase. Eine ausführliche Darstellung der einschlägigen Literatur findet sich bei Mueller, Weiler und Pfeiffer.

Zweifellos ist die durch gezielte Sektionstechnik verifizierte Gasfüllung der rechten Herzkammer das wichtigste Zeichen der venösen Luftembolie. Oft kann aber die Todesursache schon vor dem endgültigen autoptischen Nachweis vermutet werden. Unter den objektiven Hinweisen auf eine iatrogene Luftembolie sind folgende Punkte besonders hervorzuheben:

1. an der Leiche verbliebene Venenkatheter, die entweder zur Gänze luftgefüllt sind (Fall 1 und 3) oder deren Flüssigkeitssäule durch Gasblasen unterbrochen ist (Fall 4, Abb. 1);
2. Veränderungen und verdächtige Spuren an den Infusionsgeräten (Fall 2 und 3);
3. Röntgenaufnahmen des Thoraxraums, die unmittelbar vor oder auch nach dem Tod angefertigt wurden (Fall 2, Abb. 3);
4. Unterbrechung der Blutsäulen in den Netzhautgefäßen bei Fundusspiegelung unmittelbar vor oder in den ersten Stunden nach dem Tod (nur bei arterieller oder gekreuzter Embolie, Krause u. Klein);

5. Erwähnung disponierender Umstände und entsprechender klinischer Symptome in den Behandlungsunterlagen (Fall 1).

Punkt 5 umfaßt also alle jene Argumente, die aus allgemein-medizinischer Sicht für die Möglichkeit einer Luftembolie sprechen (Eingriff mit hoher Komplikationsdichte, Verwendung störungsanfälliger Apparate, Verminderung des hydrostatischen Venendrucks bei bestimmten Körperhaltungen, vertiefte Inspiration, häufiger Spritzen- und Infusionswechsel bei liegendem Katheter etc.). Die klinischen Erscheinungen sind zwar – wenn man vom vielzitierten „Mühlengeräusch“ über dem Herzen absieht – unspezifisch, können aber die Aufmerksamkeit des Untersuchers in Richtung Luftembolie lenken. Als typisches Beispiel einer solchen Anamnese kann folgender Auszug aus einer Krankengeschichte gelten:

*Fall 1 (Beobachtung von Depastas):* Die Indikation zum Anlegen eines zentralen Venenkatheters ergab sich aus der Notwendigkeit einer parenteralen Ernährung nach Rektumresektion und anschließender Anastomosendehiszenz. Ein erster Versuch, die rechte V. jugularis int. in Kopftiefelage zu punktieren, mißlang. Als man die Vene beim zweiten Versuch aufgefunden hatte, ließ sich die Seldinger-Spirale nicht durch die Kanüle vorschieben. Schließlich wurde der Katheter auf der anderen Seite eingeführt und mit Hautnähten fixiert. Unmittelbar danach richtete sich die Patientin – vermutlich bei offenem Katheteransatz – auf, um mehrmals kräftig zu husten. Drei Minuten später wurde die Frau zyanotisch und verlor das Bewußtsein. Trotz Sauerstoffbeatmung kam es rasch zum Blutdruckabfall und zur Asystolie. Das EKG zeigte agonal einen bradykarden Kammer-eigenrhythmus mit Niedervoltage. Auch bei experimentellen venösen Luftembolien trat im Spätstadium ein kompletter AV-Block auf (Wynne u. Szekely).

Die Möglichkeit des postmortalen *röntgenologischen Luftnachweises* im Herzen hat Im Obersteg 1949 am Beispiel einer versuchten Fruchtabtreibung aufgezeigt. Er brachte den Oberkörper der Leiche in sitzende Position und fertigte Aufnahmen im a.-p. Strahlengang und im ersten schrägen Durchmesser an. Auf diese Weise ließ sich in den oberen Herzabschnitten eine große Gasblase darstellen, die nach unten zu durch einen horizontalen Flüssigkeitsspiegel begrenzt war. Schon zuvor hatten sich Haselhorst (1924) und Frey (1929) bei Versuchen an Hunden röntgenologischer Methoden bedient, um Luftansammlungen im Herzen sichtbar zu machen. Auch die später von Taylor, Roer u. Teichert, Flanagan et al. sowie Szabó publizierten Untersuchungen an menschlichen Leichen bestätigen, daß massive Luftembolien schon vor der Obduktion röntgenologisch diagnostiziert werden können.

Die bisherigen Erfahrungen mit röntgenologischen Nachweismethoden sind im Hinblick auf iatrogene Luftembolien durch zwei weitere Gesichtspunkte zu ergänzen: Erstens sollten auch Röntgenbilder, die kurz *vor* dem Tod aus Anlaß der terminalen Verschlechterung angefertigt wurden, zur Diagnostik herangezogen werden. Zweitens sollte das prae- oder postmortal hergestellte Thoraxröntgen mit früheren Aufnahmen verglichen werden, um Größenänderungen und Kontrastunterschiede des Herzschattens anhand des Vorbefundes besser beurteilen zu können. Die nachstehend mitgeteilte Beobachtung veranschaulicht die Nützlichkeit einer solchen Gegenüberstellung.

*Fall 2:* Ein männliches Neugeborenes wurde zur Korrektur einer Hernia diaphragmatica an ein Spezialkrankenhaus transferiert, wo man die Zwerchfellücke komplikationslos vernähte. Am ersten postoperativen Tag kam es während der Infusionsbehandlung mit einer automatischen Peristaltikpumpe plötzlich zur Zyanose und kurz darauf zum Atmungs- und Kreislaufstillstand.

Das unmittelbar vor dem Tod aufgenommene Thorax- und Abdomenübersichtsbild (Abb. 3) zeigt im Vergleich zu der wenige Stunden zuvor angefertigten Aufnahme (Abb. 2) eine ballonartige Erweiterung der rechten Herzhälfte. Durch das Aufhellungsareal innerhalb des Herzschattens

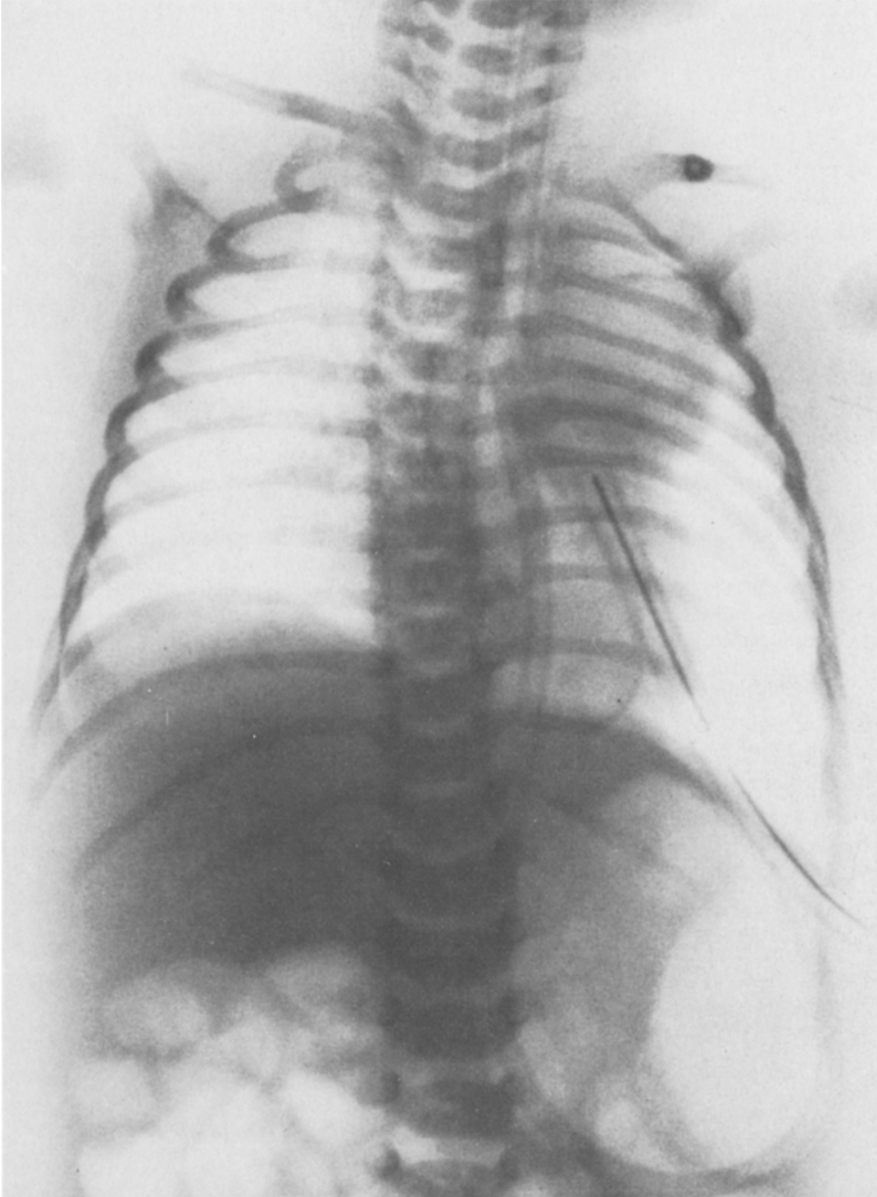
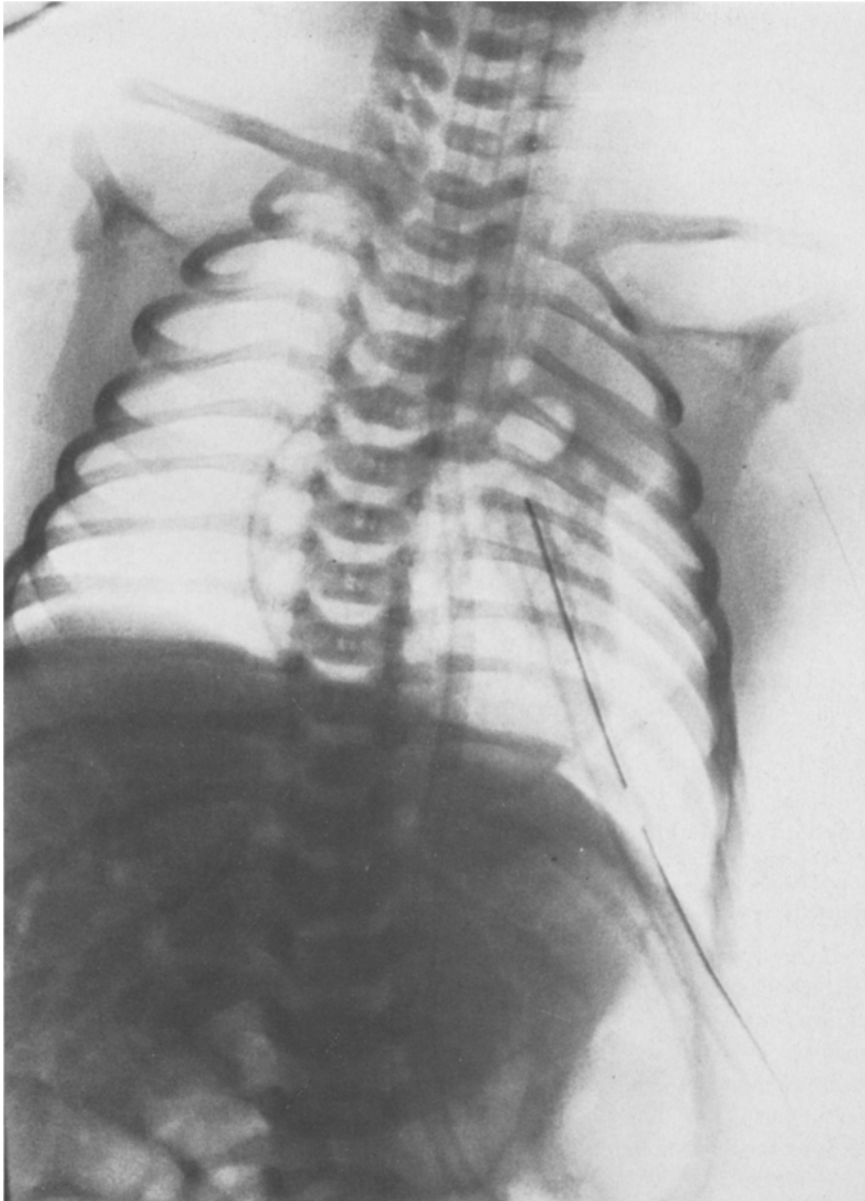


Abb. 2. (zu Fall 2): Thorax-Abdomen-Übersichtsaufnahme (a-p.) kurz vor der Luftembolie

tritt die Wand des rechten Vorhofs als seitliche Begrenzung deutlich hervor (Luft als negatives Kontrastmittel). Die Pulmonalarterie, der Aortenbogen, eine A. carotis, die beiden Aa. subclaviae und axillares sowie die Äste des Truncus coeliacus sind als rundliche oder bandförmige Aufhellungen zu erkennen. Zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahme war die Verbindung zwischen der Infusionspumpe und dem in die linke Achselvene vorgeschobenen Katheter bereits unterbrochen. Die ableitenden Venen sind daher nicht mehr lufthaltig, wohl aber die Arterien des Körperkreislaufs.



**Abb. 3.** (zu Fall 2): Thorax-Abdomen-Übersichtsaufnahme (a.-p.) unmittelbar vor dem Tod

Ursache der gekreuzten Embolie war die Durchgängigkeit von Foramen ovale und Ductus Botalli. Die noch atelektatische linke Lunge stellt sich als homogene Verschattung des oberen Thoraxdrittels dar.

Die Gasmenge im Herzen konnte wegen der vorangegangenen Spitalsobduktion nicht mehr gemessen werden. Da die Luftembolie erst am Ende des Infusionsprogramms auftrat, ist zu vermuten, daß die Schlauchquetschpumpe nach Leerlaufen der Infusionsflüssigkeit Luft in die Venen



**Abb. 4.** (zu Fall 3): Vorderansicht des Herzens in situ (nach Eröffnung des Perikards); gekreuzte Luftembolie: Gasblähung der rechten Herzhälfte, Lufthaltigkeit der Koronararterien (Pfeil !)

preßte. Nach dem Ergebnis der technischen Überprüfung war das verwendete Gerät bei ordnungsgemäßer Bedienung voll funktionstüchtig und gegen Luftansaugung geschützt. Die tödliche Embolie läßt sich daher nur mit einer Ausschaltung der Warneinrichtung erklären. Bei einer genauen Inspektion der Pumpe zeigte sich, daß an der Umrandung der Alarm/Start-Taste mikroskopisch kleine Klebstoffrückstände hafteten (vgl. unten Fall 3).

Besonderes Augenmerk verdienen die zur i.v. Flüssigkeitszufuhr benützten *Apparaturen*. Mit der Gefahr einer Luftembolie ist nicht nur bei den schon erwähnten Überdrucktransfusionen oder bei Verwendung zentraler Venenkatheter zu rechnen. Auch Infusionen in periphere Gefäße können unter besonders ungünstigen Umständen eine Lufteinschwemmung nach sich ziehen. So berichtete Maresch über ein protrahiertes Emboliegeschehen, das durch mehrmaligen Spritzen- und Infusionswechsel bedingt war; den venösen Zugang bildete in diesem Fall eine Flügelnadel am linken Unterarm. Thieler wies darauf hin, daß während einer Infusion Gasblasen aus der Belüftungsnadel unmittelbar in das flüssigkeitsableitende Schlauchsystem gelangen können, wenn dessen Öffnung neben der Nadelspitze liegt.

Große Publizität haben in letzter Zeit Zwischenfälle mit *automatischen Infusionspumpen* erlangt. Diese Geräte sind zwar unter Normbedingungen gegen den Weitertransport von Luft gesichert, doch läßt sich bei manchen Modellen die Warneinrichtung mit einfachen Mitteln – gewollt oder ungewollt – außer Funktion setzen. Der erste derartige Vorfall wurde 1976 von Weiler veröffentlicht. Durch unsachgemäßes Einlegen des Wächterglases schaltete sich die Pumpe nach Leerlaufen der Infusionslösung nicht ab, sondern preßte die nunmehr angesaugte Luft in die Venen einer



42-jährigen Patientin. Auch die im folgenden geschilderte Beobachtung unterstreicht die Notwendigkeit, Infusionsgeräte und -bestecke in die gerichtsmedizinischen Untersuchungen einzubeziehen:

*Fall 3:* Nur zwei Tage nach dem oben erwähnten Infusionszwischenfall (Beispiel 2) starb im selben Krankenhaus unter ähnlichen Umständen ein weiterer Säugling an Luftembolie. Der zwei Wochen alte Knabe wurde nach der operativen Korrektur einer Ösophagus- und Duodenalatriesie künstlich beatmet und über einen Armvenenkatheter parenteral ernährt. Bei eingeschalteter Infusionspumpe entwickelte sich plötzlich eine Zyanose, der bald ein irreversibler Herzstillstand folgte. Wie die späteren Erhebungen ergaben, war es auch in diesem Fall unbemerkt zum Verbrauch der gesamten Infusionsflüssigkeit gekommen, ohne daß sich der Pumpenmotor abgestellt hätte.

Bei der Obduktion entleerten sich aus der rechten Herzhälfte etwa 15 ml Luft in Form mittelgroßer Blasen. Schon vor dem Einstechen in den gleichfalls gashaltigen linken Ventrikel wiesen die Blutleere, Gasblähung und „silberdrahtartige“ Beschaffenheit der Koronararterien auf eine zentrale Luftembolie hin (Abb. 4). Der Luftübertritt in den großen Kreislauf (paradoxe Embolie) war durch einen subaortalen Ventrikelseptumdefekt, das offene Foramen ovale und den noch durchgängigen Ductus Botalli erfolgt.

Der verwendete Infusomat gehörte der gleichen Type an wie das Gerät in Fall 2. Es handelte sich um eine automatische Peristaltikpumpe, die unabhängig vom Gefäßinnendruck und von äußeren Faktoren (Viskosität der Lösung, Höhe der Infusionsflasche, Umgebungstemperatur) die vorgewählte Tropfenrate aufrecht erhält. Die in der Zeiteinheit infundierte Tropfenzahl wird von einem Detektor erkannt und über einen elektronischen Regelkreis mit der Sollmenge verglichen. Wenn trotz Selbstregulation die eingestellte Tropfenzahl – z. B. infolge Luftansaugung – nicht mehr erreicht werden kann, wird ein Warnsignal ausgelöst. Bei jedem Alarm beendet die Pumpe ihre Tätigkeit; erst das Niederdrücken der Starttaste setzt sie neuerlich in Gang. Wenn nun dieser Druckknopf arretiert wird, stellt sich die Pumpe auch unter Alarmbedingungen nicht mehr ab und erbringt – unabhängig von der eingestellten Tropfenzahl – die maximale Förderleistung. Nach Verbrauch der Infusionslösung kann auf diese Weise Luft in den Venenkatheter gelangen. Funktionsmängel wurden bei der technischen Überprüfung des Infusomaten nicht festgestellt. Klebstoffreste in der Umgebung der Starttaste deuteten darauf hin, daß der Druckknopf durch Niederkleben arretiert war. Diese Annahme wurde durch Erhebungen beim Pflegepersonal bestätigt: Demnach sei der Schalter bei zu häufigem Ansprechen der Warneinrichtung mit Heftpflasterstreifen fixiert worden.

Zur weiteren Beweissicherung sollten die verdächtigen Spuren und die im Krankenhaus eingeführten Heftpflaster („Leukoplast“ und „Normaplast“) chemisch untersucht werden.

### Methodik und Ergebnisse der Klebstoffanalyse

Kautschukheftpflaster (Colleplastra adhaesiva) bestehen aus einer Gewebsgrundlage, die mit Klebmasse beschichtet ist. Als elastische Grundsubstanz fungieren Naturkautschuk (luftgetrocknet oder geräuchert) und synthetische Polymere (z. B. Polyisobutylen). Als Kleber werden natürliche Harze (Kolophonium, Dammar, Terpene) und synthetische Produkte (Polyvinyläther) verwendet. Die im Handel befindlichen Pflaster unterscheiden sich hauptsächlich in der Zusammensetzung dieser Kleberkomponente. Füllmittel für den Kleber sind Zinkoxid (beim „Leukoplast“ und „Hansaplast“), Kreide, Kaolin, Titanoxid und Stärkepulver. Zur besseren Hautverträglichkeit werden Wolf fett, Leinöl und Vaseline zugesetzt (Schütz).

Wegen ihrer komplexen Zusammensetzung wurde die inkriminierte Probe infrarot- und massenspektroskopisch mit den in Frage kommenden Klebmassen des „Leukoplast“ und „Normaplast“ verglichen. Es war zu erwarten, daß mit Hilfe dieser Methoden die Verschiedenheit der beiden Vielstoffgemische an ihren Spektren deutlich gemacht werden kann.

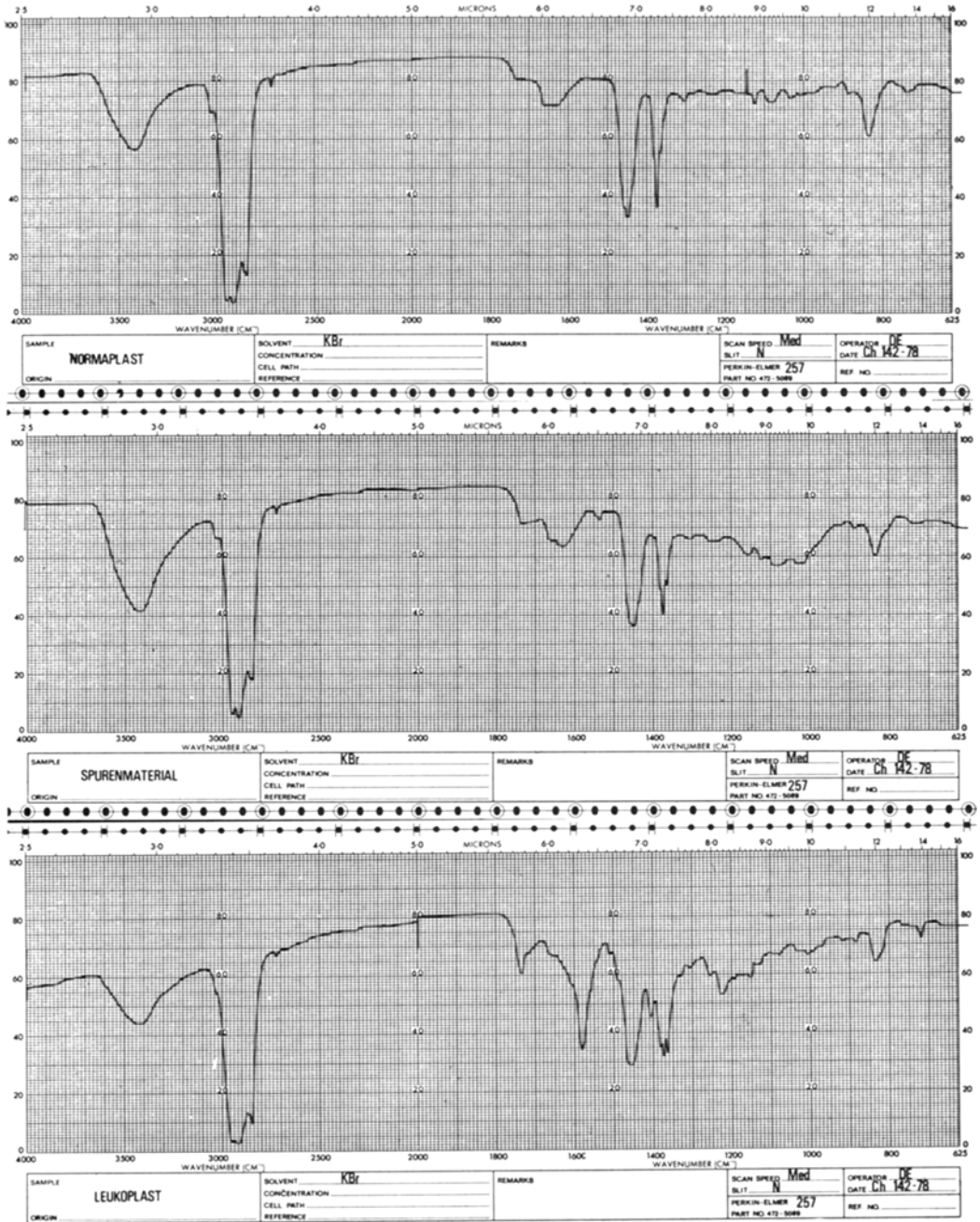


Abb. 5. IR-Spektren der „Leukoplast“- und „Normaplast“-Klebmasse im Vergleich mit dem Spektrum des Spurenmaterials

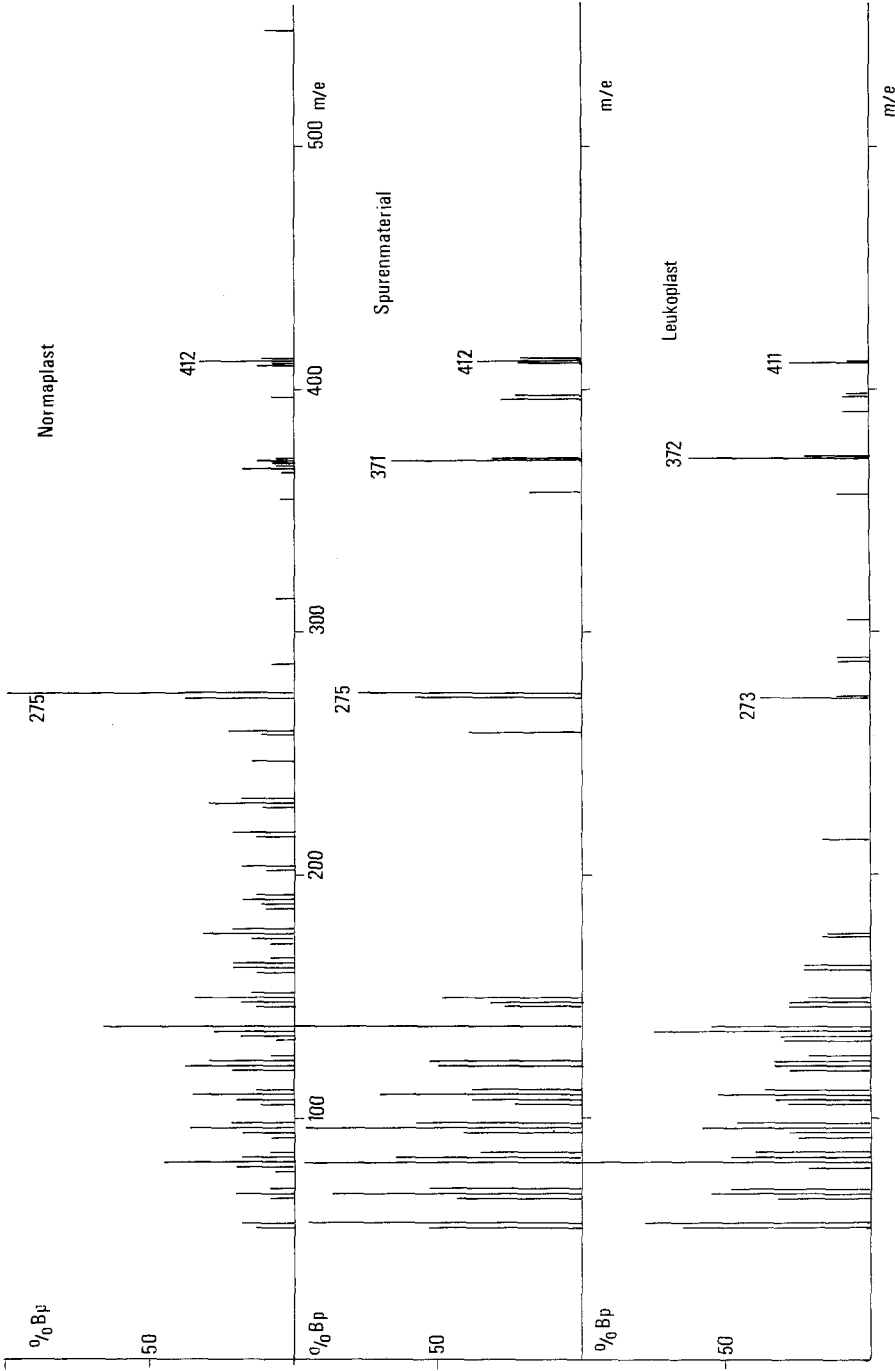


Abb. 6. Normierte Massenspektren der „Leukoplast“- und „Normaplast“-Klebmasse im Vergleich mit dem Spektrum des Spurenmaterials

### a) Infrarotspektroskopische Untersuchung

Das IR-Spektrum entsteht durch Aufzeichnung der Absorptionsbanden von Molekülschwingungen. Ein Molekül aus  $n$  Atomen weist  $3n - 6$  Grundschwingungen auf und solche, bei denen sich die Dipolmomente ändern, sind IR-aktiv. Da die Kraftkonstanten der Bindungen nur begrenzt beeinflussbar sind, treten innerhalb gewisser Wellenzahlenbereiche typische Gruppenfrequenzen auf. Verschiebungen der Absorptionsbanden in diesen Bereichen lassen sich durch zwischenmolekulare Wechselwirkung (Polymorphie), mechanische und elektrische Kopplungseffekte erklären.

Bei Reinsubstanzen kann der Informationsgehalt der IR-Spektren wesentlich zur Strukturklärung beitragen. Die Komponenten von Vielstoffgemischen lassen sich so kaum identifizieren, doch ist im Rahmen von Vergleichsuntersuchungen häufig eine Zuordnung möglich.

*Präparation der Proben:* Klebemasse von „Leukoplast“ und „Normaplast“ wurde ebenso wie die vom Pumpengehäuse isolierte Spur mit je 100 mg Kaliumbromid (E. Merck, Uvasolqualität) 30 min. in einer Achatreibschale vermahlen. Anschließend wurde das Material einige Stunden über Phosphorpentoxid im Vakuum getrocknet und 30 min. lang bei 200 atü zu Pillen gepreßt. Das Vermessen der IR-Spektren erfolgte auf einem Perkin-Elmer 257-Gitterspektrophotometer (Abb. 5).

Die intensiven Absorptionsbanden bei  $2920\text{--}2960\text{ cm}^{-1}$  (C-H-Valenzschwingungen), bei  $1450\text{ cm}^{-1}$  (C-H-Deformationsschwingungen) und bei  $1360\text{--}1380\text{ cm}^{-1}$  (C-H- und O-H-Deformationsschwingungen) finden sich auch in den Spektren von Kautschuk (Hummel, Spektrum 630–632). Deutliche Unterschiede zwischen „Normaplast“- und „Leukoplast“-Spektrum bestehen im Bereich von  $1370\text{ cm}^{-1}$ , wo das „Normaplast“ eine wesentlich stärkere Bande aufweist. Die weniger ausgeprägten Absorptionsbanden der „Leukoplast“-Probe bei  $1730\text{ cm}^{-1}$  (C=)Valenzschwingungen) und  $1580\text{ cm}^{-1}$  (C=C- und C=N-Valenzschwingungen sowie N-H-Deformationsschwingungen) fehlen im „Normaplast“-Spektrum. Anhand der aufgezeigten Unterschiede war es möglich, das Spektrum der fraglichen Spur jenem der „Normaplast“-Klebmasse zuzuordnen.

### b) Massenspektroskopische Untersuchung

Ein Massenspektrum entsteht durch Registrieren ionisierter Molekülbruchstücke. Die durch Elektronenstoß einer bestimmten Energie (70 eV) gebildeten Fragmente sind für Reinsubstanzen charakteristisch und unter gleichen Bedingungen reproduzierbar. Voraussetzung für das Auftreten von Bruchstücken ist die ausreichende Flüchtigkeit, die bei Hochpolymeren nicht immer gegeben ist. Für solche Substanzen sind dann andere Ionisationsverfahren (Felddesorption) anzuwenden. Spektren von Vielstoffgemischen lassen sich nicht im Sinne einer Strukturklärung interpretieren. Der Vergleich mit Spektren bekannter Substanzgemische erlaubt jedoch oft eine Zuordnung.

*Präparation der Proben:* Untersucht wurde der in Äthylacetat lösliche Anteil der „Leukoplast“- und „Normaplast“-Klebmassen sowie der inkriminierten Probe. Je 5 Mikroliter Lösung kamen in einen Goldtiegel, wo das Lösungsmittel abgedunstet wurde. Anschließend wurden die Proben mittels Schubstange in die Ionenquelle eingebracht und bei  $280^\circ\text{C}$  Tiegeltemperatur ionisiert (Varian MAT 112 Massenspektrometer, 70 eV, Ionenquellentemperatur  $180^\circ\text{C}$ ).

Aus den normierten Massenspektren (Abb. 6) ist ersichtlich, daß die Spuren vom Pumpengehäuse eine ähnliche Zusammensetzung aufweisen wie die Klebmasse des „Normaplast“.

## Literatur

- Bewes, P. C.: Danger of air embolism in high-pressure blood-transfusions. *Lancet* I, 429–430 (1961)
- Burrows, E. H.: Fatal venous air embolism: an intravenous transfusion accident. *S. Afric. Med. J.* 436–439 (1954)
- Depastas, G.: Persönliche Mitteilung

- Dolton, E. G., Gardner, E., Wylie, W. D.: Fatal air embolism during blood-transfusion. *Lancet 1945 I*, 531–532
- Doyle, G. B., Frodsham, P.: *Lancet 1949 I*, 735 (Zit. nach Bewes)
- Flanagan, J. P., Gradisar, I. A., Gross, R. J., Kelly, Th. R.: Air embolus – a lethal complication of subclavian venipuncture. *New Eng. J. Med.* **281**, 488–489 (1969)
- Frey, S.: Die Luftembolie. *Erg. Chir. Orthop.* **22**, 95–161 (1929)
- Haselhorst, G.: Experimentelle Untersuchungen über venöse Luftembolie. *Arch. Gynäk.* **122**, 632–662 (1924)
- Hummel, O.: Atlas der Kunststoff-Analyse, Bd. I. Hochpolymere und Harze. Weinheim/Bergstr.: Verlag Chemie 1968
- Im Obersteg, J.: Die Luftembolie bei kriminellm Abort. *Dtsch. Z. Ges. Gerichtl. Med.* **39**, 646–687 (1949)
- Indar, R.: The dangers of indwelling polyethylene cannulae in deep veins. *Lancet I*, 284–286 (1959)
- Krause, D., Klein, S.: Tierexperimentelle Untersuchungen zur postmortalen ophthalmoskopischen Diagnostik der arteriellen Luftembolie. *Dtsch. Z. Ges. Gerichtl. Med.* **65**, 22–27 (1969)
- Langmaid, Ch., Mushin, W. W.: Air embolism during blood transfusion. *Br. med. J.* **II**, 1142 (1955)
- Levinsky, W. J.: Fatal air embolism during insertion of CVP monitoring apparatus. *J. Am. Med. Assoc.* **209**, 1721–1722 (1969)
- Maresch, W.: Ungewöhnliche Ursachen der Luftembolie. *Beitr. Gerichtl. Med.* **21**, 40–47 (1961)
- Mueller, B.: *Gerichtliche Medizin*, 2. Aufl., 355–359. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1975
- Pfeiffer, K. H.: Über Ursachen und Auswirkungen der Luftembolie aus gerichtsmedizinischer Sicht. Diss. Tübingen (1977)
- Richter, M.: Gerichtsärztliche Diagnostik und Technik. Zit. nach Werkgartner, A.: Ein einfaches Gerät zur Messung der Luftmengen beim Nachweis der Lufteinschwemmung an der Leiche. *Wien. Klin. Wschr.* **51**, 1017 (1938)
- Roer, H., Teichert, G.: Über den röntgenologischen Nachweis von Luftembolien bei tödlichen Schädelbasisbrüchen. *Mschr. Unfallheilk.* **60**, 257–265 (1957)
- Schütz, J.: Pflaster. In: Hagers Handbuch der pharmazeutischen Praxis, P. H. List und L. Hörhammer (Hrsg.), 4. Ausg., Bd. 7, S. 989. Berlin, Heidelberg, New York: Springer (1971)
- Simpson, K.: Air accidents during transfusion. *Lancet 1942 I*, 697–698
- Szabó, I.: Der röntgenologische Nachweis der Luftembolie. *Kriminal. Forens. Wiss.* **5**, 167–173 (1971)
- Taylor, J. D.: Post-mortem diagnosis of air embolism by radiography. *Brit. med. J.* **1952 I**, 890–893
- Thieler, H.: Nil nocere! Möglichkeit einer Luftembolie bei i.v. Infusion. *Z. Ärztl. Fortbild. (Jena)* **65**, 588 (1971)
- Weiler, G.: Zur venösen Gasembolie bei diagnostischen und therapeutischen Eingriffen unter besonderer Berücksichtigung des Pneumoperitoneums. *Beitr. Gerichtl. Med.* **34**, 9–14 (1976)
- Werkgartner, A., Maresch, W.: Tödliche Luftembolie bei Konservenblutübertragung. *Wien. Klin. Wschr.* **69**, 813–814 (1957)
- Wiebecke, D.: Die massive venöse Luftembolie – gefährlichster Transfusionszwischenfall. Ursachen und Art ihrer Entstehung (Zit. nach Weiler)
- Wynne, N. A., Szekely, P.: The electrocardiogram in experimental venous air embolism. *Acta Cardiol. (Bruxelles)* **11**, 339–350 (1956)
- Yoffa, D.: Supraclavicular subclavian venipuncture and catheterisation. *Lancet 1965 II*, 614–617

Eingegangen am 10. Juli 1978