

Die Feststellung des Todes durch den irreversiblen Ausfall des gesamten Gehirns – („Hirntod“)

Wertigkeit technischer Methoden zur Bestätigung der klinischen Zeichen

Die Diagnose des Todes durch irreversiblen Ausfall aller Hirnfunktionen (Hirntod) stellt besondere Anforderungen an Sorgfalt und Kompetenz der untersuchenden Ärzte. Die klinische Untersuchung mit zweimaligem Nachweis der Symptome Koma, Ausfall aller Hirnstammreflexe und Apnoe im verschiedenen Abstand (52–54) ist zuverlässig und erlaubt die zweifelsfreie Diagnose des Todes. Mehrere apparative Methoden sind geeignet, die klini-

schen Zeichen des Todes zu bestätigen und die sonst erforderliche Wartezeit zu verkürzen. Der Nachweis des endgültigen und vollständigen zerebralen Zirkulationsstillstandes kann durch Angiographie aller hirnersorgenden Arterien erfolgen. Die transkranielle Dopplersonographie und die Hirnszintigraphie erlauben ebenfalls die Feststellung der erloschenen Hirnperfusion. Die Elektroenzephalographie (EEG) und Untersuchungen evozierter

zerebraler Potentiale können den Nachweis erloschener bioelektrischer Aktivität des Gehirns erbringen. Andere Verfahren sind wegen ihrer technischen und methodischen Beschränkungen derzeit nicht als Bestätigungsmethoden geeignet. Für alle apparativen Untersuchungen müssen die methodischen Voraussetzungen und technischen Richtlinien bei der Durchführung und Auswertung eingehalten werden.

Walter F. Haupt, Otmar Schober, Heinz Angstwurm, Klaus Kunze

Grundlagen

Die Feststellung des irreversiblen Ausfalls der gesamten Hirnfunktion („Hirntod“) erfordert in besonderem Maß Verantwortungsbewußtsein und Sachkompetenz der untersuchenden Ärzte. Die Bundesärztekammer (BÄK) hat seit 1982 Empfehlungen zur Hirntoddiagnostik (52, 53, 54) vorgelegt. Auf ähnliche Empfehlungen anderer Länder sei verwiesen (5, 11, 12). Die Empfehlungen der BÄK haben zu Recht stets an der grundlegenden Bedeutung der klinischen Untersuchung und deren Voraussetzungen festgehalten. Der vollständige und endgültige Funktionsausfall des Gehirns kann ohne apparative Zusatzuntersuchungen auch durch klinische Verlaufsuntersuchungen zweifelsfrei nachgewiesen werden. Bei Kindern sind einige Besonderheiten zu berücksichtigen (4, 33, 52–54). Jeder mit einem apparativen Verfahren befaßte Arzt muß die

jeweiligen Fehlermöglichkeiten und Grenzen der Methode kennen und beachten; schon deshalb braucht er eine besondere sachliche Erfahrung. Auch die Aufzeichnungen der apparativen Untersuchungen müssen archiviert werden und erlauben daher nach langer Zeit noch eine Überprüfung der erhobenen Befunde.

Ein vollständiger Blut- und Sauerstoffmangel des Gehirns von mehr als 8 Minuten führt im Tierexperiment zu einer Totalnekrose des Gehirns (21, 23). Experimentelle Bedingungen, unter denen sich einzelne Neuronenverbände des Warmblütergehirns von einem längeren Blut- oder Sauerstoffmangel erholen können, sind nicht auf die Behandlung des Menschen übertragbar (25, 26, 27). Neuropathologische Befunde belegen eine irreversible Nekrose des menschlichen Gehirns nach einer vollständigen Anoxie von 5 bis 8 Minuten (6). Aus diesen physiologischen und pathologisch-anatomi-

schen Befunden ist zu folgern, daß der Nachweis eines vollständigen zerebralen Zirkulationsstillstands über mehr als 8 Minuten zu Recht als sicherer Beweis des vollständigen und irreversiblen Funktionsausfalls des gesamten Gehirns gilt.

Damit kann bei Vorliegen der klinischen Zeichen des Funktionsausfalls des gesamten Gehirns der Tod unmittelbar und ohne weitere Wartezeit festgestellt werden.

Im Folgenden sollen verschiedene technische Methoden beschrieben und ihre Wertigkeit für die Bestätigung der klinischen Zeichen des Todes kritisch gewürdigt werden.

1. Nachweis des zerebralen Zirkulationsstillstandes

Der vollständige Ausfall der Hirndurchblutung läßt sich durch Röntgen-Kontrast-Darstellung (An-

giographie) der beiden inneren Hals- und der beiden Wirbelschlagadern sowie ihrer Aufzweigungen im Hirnschädel sichtbar machen, durch Ultraschalluntersuchungen erkennen oder durch verschiedene Verfahren indirekt erschließen.

a. Zerebrale Panangiographie

Der direkte Nachweis eines irreversiblen Zirkulationsstillstandes des Gehirns ist mittels Angiographie aller hirnversorgenden Arterien (beidseitige Darstellung der A. carotis sowie der A. vertebralis) zu führen. Daher forderten alle Hirntodprotokolle aus der Zeit vor 1968 die zerebrale Panangiographie mit zwei Kontrastmittelinjektionen in einem Zeitabstand von mehr als 15 Minuten als physiologisch-experimentell begründeten Nachweis für die erloschene Perfusion des Gehirns bei Abbruch aller radiologisch darstellbaren intrazerebralen Arterien (10, 28, 37). Die zerebrale Panangiographie ist nach wie vor eine sichere und anerkannte Methode zur Bestätigung der klinischen Zeichen des Todes. Eine potentielle Gefährdung des Patienten besteht in der Notwendigkeit eines Transportes und Flachlagerung während der Untersuchung außerhalb der Intensivstation. Ferner sind Bedenken gegen diese Methode vorgebracht worden, da Nebenwirkungen in Form eines allergischen Schocks und von Blutungen an der Punktionsstelle möglich sind.

b. Ultraschalluntersuchungen

Die transkranielle Dopplersonographie (TCD) erfaßt die Durchblutung der basalen Hirnarterien sowie von Hauptästen der A. cerebri media und der A. basilaris. Beim Sistieren der Hirndurchblutung treten charakteristische Veränderungen der Pulsationsprofile auf. Neben den extrakraniellen hirnversorgenden Arterien müssen die basalen intrakraniellen Arterien sowie die A. basilaris untersucht werden. Diese Untersuchung kann nur unter den von der BÄK festgelegten Bedingungen zum Nachweis der ausgefallenen Hirndurchblutung angewendet werden (9, 17, 41, 51, 54). Die Ultraschalluntersuchung ist nicht invasiv und kann

auch im Vorfeld der Todesdiagnostik beliebig wiederholt werden.

Ultraschall-Untersuchungen mittels A-Bild-Verfahren ermöglichen die Untersuchung der Pulsation der Mittellinienstrukturen des Gehirns. Die pulssynchrone Weiteänderung des dritten Hirnventrikels erlischt bei fehlender Hirnzirkulation. Die Methode ist wegen ihrer unsicheren Ergebnisse nicht in der Todesdiagnostik anwendbar (50).

c. Messung der zerebralen arteriovenösen Sauerstoffdifferenz (AVDO₂)

Die Bestimmung des aeroben Hirnstoffwechsels ist durch Messung der arterio-venösen Sauerstoffdifferenz möglich. Bei fortschreitendem Funktionsausfall des Gehirns nimmt die Sauerstoffausschöpfung ab. Durch Zuflüsse aus dem extrazerebralen Kreislauf fällt die AVDO₂ nicht auf Null ab, daher ist keine exakte Differenzierung zwischen intra- und extrazerebralem Sauerstoffverbrauch möglich. Die Methode ist deshalb für die Todesdiagnostik nicht geeignet.

d. Clearance-Methoden

Die Hirndurchblutung kann durch Auswaschung (Clearance) von inhalierten oder injizierten Substanzen wie Xenon oder Wasserstoff gemessen werden. Die Untersuchungen setzen ein Eindringen der gemessenen Stoffe in das Gehirn voraus. Bei Vorliegen eines zerebralen Zirkulationsstillstandes ist diese Voraussetzung nicht gegeben. Die Untersuchung erfordert eine Bohrlochtrepanation, zudem sagt sie nur etwas über ein kleines Hirnareal aus. Diese Verfahren eignen sich daher nicht für die Bestätigung der klinischen Zeichen des Todes.

e. Liquorzirkulationsmessung

Die lumbale Injektion von In-111-markiertem DTPA gibt Auskunft über die Liquorzirkulation. Bei fehlendem intrakraniellen Nachweis der Tracersubstanz kann auf eine hirndruckbedingte Blockade der Liquorzirkulation am Foramen magnum geschlossen werden. Da auch spinale Verletzungen, etwa bei polytraumatisierten Patienten, zu einem Liquorzirkulationsstop führen kön-

nen, scheidet dieses Verfahren für die Diagnostik des Todes aus.

f. Zerebrale Perfusions-szintigraphie

Die Beurteilung der zerebralen Perfusion kann mit Tc-99m-DTPA als Sequenzszintigraphie durchgeführt werden. Bei bolusartiger i.v.-Applikation zeigt sich der Perfusionsausfall des Gehirns in einer fehlenden Darstellung des Tracers, wobei in anteriorer Ansicht die Aa. carotides und ihre Versorgungsgebiete dargestellt werden können. Zu berücksichtigen ist ein begrenztes räumliches Auflösungsvermögen.

Eine verlässliche und praktikable Methode liegt mit der nicht-invasiven Tc-99m-HMPAO-Szintigraphie vor. Der i.v.-applizierte lipophile Tracer durchdringt die intakte Blut-Hirnschranke und bleibt dort hydrophil über mehrere Stunden in nahezu unveränderter Konzentration „ge-trappt“. Dieses führt beim durchbluteten Gehirn zu einer positiven Darstellung. Die Aufnahme des Radiopharmakons erfolgt nahezu proportional zur Durchblutung. Die planare HMPAO-Szintigraphie kann in verschiedenen Ansichten erfolgen.

Beim vollständigen Ausfall von Hirnperfusion und Hirnfunktion und einer fehlenden Tc-99m-HMPAO-Anreicherung, stimmen die Befunde mit den Ergebnissen anderer technischer Nachweisverfahren (zum Beispiel EEG, evozierte Potentiale und Angiographie) überein. Die Aufnahme des Tracers wird nicht durch Medikamente und Stoffwechselstörungen beeinflusst, wie etwa das EEG (15, 24, 32, 35, 36, 42, 43, 44, 49). Diese Methode ist zur Bestätigung der klinischen Zeichen des Todes geeignet und von der BÄK anerkannt (54).

g. Zerebrale Positronen-Emissionstomographie (PET)

Die Positronen-Emissions-Tomographie erlaubt die quantitative Messung des regionalen Hirnstoffwechsels (Glukose, Sauerstoff, Durchblutung). Wie bei der Angiographie und den weiteren tomographischen bildgebenden Verfahren (CT, MRI/MRS – Magnetresonanztomographie [29] und -spektroskopie, SPECT – Einzel-Photonen-

Emissionstomographie) ergeben sich Bedenken wegen des Transportes und der Überwachung und Behandlung außerhalb der Intensivstation sowie Flachlagerung des Patienten. Die tomographischen Verfahren haben daher keine Bedeutung in der Diagnostik des Todes.

2. Elektrophysiologische Methoden zur Bestätigung des Hirntodes:

a. Elektroenzephalographie (EEG)

Das EEG zeichnet die spontan entstehende bioelektrische Aktivität der Großhirnrinde, nicht aber des Hirnstammes auf. Nach mehr als 8minütiger kompletter Anoxie des Gehirns erlischt das EEG irreversibel. Ist das EEG bei vorbestehenden klinischen Zeichen des Todes in Form des Komas und der apnoischen Hirnstamm-Areflexie unter Beachtung der technischen Richtlinien der Deutschen EEG-Gesellschaft (22) isoelektrisch, so ist der endgültige Funktionsausfall des Gehirns sicher. Diese Aussage ist durch vielfältige klinische Untersuchungen bestätigt worden (2, 7, 39, 45).

Probleme können sich ergeben aus technischen Schwierigkeiten bei der Ableitung auf Intensivstationen und durch Medikamenteneinwirkung, insgesamt aber nur durch Umstände, die dem Erfahrenen keine Schwierigkeiten in der Erkennung und Beurteilung bereiten. Die Untersuchung ist nebenwirkungsfrei und beliebig oft wiederholbar und ohne jede Gefahr für den Patienten. Die Bestätigung der klinischen Zeichen des Todes bei primär infratentoriellen Läsionen muß nach den Richtlinien der BÄK mittels EEG, Angiographie oder Tc-99m-HMPAO-Szintigraphie erfolgen. Nur diese Methoden können zuverlässig Auskunft über noch vorhandene Funktionsreste der Hirnrinde geben. In mehreren Berichten ist das Überdauern von EEG-Aktivität nach Feststellung der klinischen Zeichen des Todes bei infratentorieller Läsion belegt worden (13, 14).

Die Vorteile der EEG-Untersuchung liegen bei optimaler Ableitung in der sicheren Beurteilbarkeit der Hirnrindenfunktion, besonders bei infratentoriellen Läsionen. Die Methode ist vielfach eher verfügbar als etwa evozierte zerebrale Potentiale. Der technische und zeitliche Aufwand ist etwa gleich wie bei evozierten Potentialen.

b. Evozierte Potentiale des Gehirns:

In der klinischen Diagnostik werden in erster Linie medianusevozierte somatosensible Potentiale (SEP) und frühe akustisch evozierte Potentiale (FAEP) eingesetzt. Visuell evozierte Potentiale (VEP) haben in der Hirntoddiagnostik keine Anwendung, da die optischen Bahnen ausschließlich supratentoriell verlaufen.

Der bilaterale Verlust der kortikalen SEP-Antwort bei supratentoriellen Läsionen ist mit einer infauten Prognose verknüpft (20). Für die Bestätigung der klinischen Zeichen des Hirntodes sind SEP nur unter den von der BÄK festgelegten Bedingungen zulässig.

Die FAEP geben die Funktion der akustischen Bahnen des Hirnstammes wieder. Sie erlauben eine Aussage über die bioelektrische Funktion eines wesentlichen Teils, aber nicht des gesamten unteren Hirnstammes. Bei bestehenden klinischen Zeichen des Todes sind FAEP erloschen (8, 13, 16, 18, 46). Voraussetzung für die Verwertung von FAEP-Befunden im Rahmen der Hirntoddiagnostik ist der Nachweis einer zunächst erhaltenen und im Verlauf erlöschenden akustischen Reizantwort oder des erhaltenen Rezeptors (Welle I bilateral) (8, 19, 53, 54). Die Untersuchung ist im Gegensatz zur Angiographie nicht invasiv und gefahrlos, sie kann beliebig oft wiederholt werden. Der technische Aufwand ist etwa gleich dem EEG. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber dem EEG ist die weitgehende Unabhängigkeit von elektrischen Störfeldern und insbesondere auch von Medikamenteneinflüssen (1, 48). Bei infratentoriellen Läsionen ist die EEG-Untersuchung zwingend erforderlich, da die elektrische Hirnrindenaktivität den endgültigen

Ausfall der Hirnstammfunktion (sogenannter „Hirnstammod“) um Tage überdauern kann.

Zuverlässigkeit technischer Methoden in der Bestätigung der klinischen Zeichen des Todes

Sofern die Voraussetzungen für die Diagnose des Todes eingehalten und die klinischen Zeichen des Hirntodes zweifelsfrei dokumentiert wurden, sind bislang keine Fälle bekanntgeworden, in denen die korrekt angewendeten technischen Untersuchungsmethoden unstimmige Ergebnisse erbracht haben. Vereinzelt Berichte über erhaltene Hirnaktivität nach Diagnose des Hirntodes können auf Nichteinhalten der Voraussetzungen oder unzureichende klinische Untersuchung zurückgeführt werden (13). Im übrigen ist zu prüfen, ob dieser Nachweis von Restfunktionen einzelner Neuronenverbände nicht mit dem Verlust aller integrativen Hirnfunktionen zu vereinbaren ist. Einzelne Autoren (38, 40) zitieren scheinbar diskrepante Befundkonstellationen bei der Diagnostik des irreversiblen Ausfalls der Hirnfunktion. In diesen Fällen war der Einsatz technischer Methoden zur Bestätigung der klinischen Zeichen des Todes nicht erlaubt, da die Ätiologie der Hirnfunktionsstörung nicht berücksichtigt wurde oder die klinischen Zeichen des irreversiblen Ausfalls der gesamten Hirnfunktion nicht vorlagen. In einzelnen Fällen waren bei Patienten mit den klinischen Zeichen des Todes noch Reste von elektrophysiologischen Funktionen und Hirndurchblutung nachweisbar (38).

Die Darstellungen solcher seltenen Fälle ist außerordentlich wertvoll, da sie mögliche Fehlerquellen bei der Diagnostik des Todes beleuchten. Die Gültigkeit der bestehenden Empfehlungen der BÄK zur Diagnostik des Todes wird aber nach den bisher berichteten Fällen in keiner Weise in Frage gestellt.

Zusammenfassend stellen die technischen Methoden zur Bestäti-

Rheuma im Alter

25. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Rheumatologie, Nürnberg

gung der klinischen Zeichen des Hirntodes jeweils sichere und zuverlässige Methoden dar. Sie erweisen sich als eine bedeutsame Kontrollinstanz für die klinische Befunderhebung. Klinische und technische Befunde ergänzen sich in sinnvoller Weise.

Der bisher letzte Text der BÄK (54) anerkennt unter den jeweiligen Voraussetzungen die folgenden Verfahren zur Bestätigung der klinischen Zeichen des irreversiblen völligen Hirnausfalls:

1. Zerebrale Panangiographie
2. Transkranielle Dopplersonographie
3. Zerebrale Perfusionsszintigraphie
4. EEG
5. Evozierte Potentiale des Gehirns

Deutsches Ärzteblatt

90 (1993) A₁-3004-3008 [Heft 45]

Die in Klammern gesetzten Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis beim Sonderdruck, zu beziehen über die Verfasser.

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. med. Walter F. Haupt
Klinik und Poliklinik für Neurologie
der Universität zu Köln
Joseph-Stelzmann-Straße 9
50931 Köln

Prof. Dr. med. Dr. rer. nat.
Otmar Schober
Direktor der Klinik und Poliklinik für
Nuklearmedizin
der Westf. Wilhelms-Universität
Albert-Schweitzer-Straße 33
48129 Münster

Prof. Dr. med. Heinz Angstwurm
Neurologische Klinik
der Ludwig-Maximilians-Universität
München
Ziemssenstraße 1
80336 München

Prof. Dr. med. Klaus Kunze
Direktor der Neurologischen
Universitätsklinik
Hamburg-Eppendorf
Martinistraße 52
20251 Hamburg

Die Deutsche Gesellschaft für Rheumatologie wurde vor 65 Jahren in Bad Schreiberhau im Riesengebirge gegründet; sie gehörte zu den ersten wissenschaftlichen Gesellschaften, die sich nach der Wiedervereinigung Deutschlands mit ihrer Schwestergesellschaft, der Gesellschaft für Rheumatologie der DDR, in ungewöhnlich harmonischer Weise vereinigte. Sie zählt jetzt über 1000 Mitglieder. Dies und die Tatsache, daß es nicht nur der 25., sondern gleichzeitig der erste überregionale Kongreß der Gesellschaft nach der Vereinigung Deutschlands war, gab dem in der Vorweihnachtszeit in Nürnberg stattfindenden Kongreß ein besonderes Gewicht, aber auch eine ungewöhnliche Atmosphäre. Dem entsprach

Rheumatische Erkrankungen des höheren Lebensalters

Mit acht Übersichtsreferaten und acht Symposien mit insgesamt über 40 weiteren Vorträgen war dieses Thema zweifelsohne ein Schwerpunkt des gesamten Kongresses. Mit der Wahl dieses Schwerpunktes war freilich keineswegs primär an geriatrische Aspekte der Rheumatologie gedacht worden. Vielmehr beinhaltete das Thema so interessante Aspekte wie den Gestaltwandel bestimmter rheumatischer Erkrankungen, wenn sie im höheren Lebensalter beginnen, wie beispielsweise die rheumatoide Arthritis. Andererseits sind manche Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises ausgesprochene Krankheiten des höheren Lebensalters wie die Polymyalgia rheumatica. Schließlich ist zum Beispiel die ankylosierende Spondylitis (Morbus Strümpell-Marie-Bechterew) eine Erkrankung mit Beginn im jüngeren bis mittleren Lebensalter, die jenseits

auch die Wahl der drei wissenschaftlichen Hauptthemen: Die rheumatischen Erkrankungen des höheren Lebensalters, die experimentellen Krankheitsmodelle und die aktuellen Therapieprobleme, die ebenso „therapeutischer Rechenschaftsbericht“ wie ein Blick in die Zukunft waren. Darüber hinaus spiegelten zahlreiche Referate und Poster die faszinierende Entwicklung wieder, die das Fach Rheumatologie in Forschung und Klinik in den letzten Jahren erlebt hat.

Von den drei Hauptthemen können im folgenden nur einige Beiträge aus dem Hauptthema „Rheumatische Erkrankungen des höheren Lebensalters“ und dem Themenblock „Aktuelle Therapieprobleme“ referiert werden.

des 60. Lebensjahres praktisch nicht neu auftreten kann, dafür aber gerade radiomorphologisch erhebliche altersbedingte Modifikationen erfahren kann, welche die Diagnose im höheren Lebensalter erschweren (*Wright und Helliwell*). Die Kenntnisse dieser Besonderheiten rheumatischer Erkrankungen in bezug auf das Alter sind vor allem von Bedeutung vor dem Hintergrund der demographischen Entwicklung in Deutschland, in dem bekanntermaßen der Anteil älterer Menschen in unserer Bevölkerung ständig zunimmt.

Den rheumatischen Erkrankungen kommt dabei schon aufgrund ihrer Häufigkeit eine besondere Stellung zu (*Kruse und Lehr*). Für die entzündlich-rheumatischen Erkrankungen spielen in diesem Zusammenhang auch Veränderungen der Immunologie des höheren Lebensalters eine Rolle.

So nehmen Autoimmunphänomene ab dem mittleren Lebensalter zu (zum Beispiel Rheumafaktoren, antinukleäre Antikörper) und verlie-