

Zweidimensionale Ultraschall-Diagnostik von Hirntumoren und Subduralhämatomen mit dem elektronischen Sektor-Scan

K. Voigt, K. Kendel, H. J. Büdingen und H.-J. Freund

Neurologische Universitätsklinik mit Abteilung für Neurophysiologie
(Prof. R. Jung) Freiburg i. Br.

Eingegangen am 26. August 1975

Two-Dimensional Ultrasonic Diagnosis of Brain Tumors and Subdural Hematomas by Electronic Sector Scanning

Summary. 1. *Electronic sector scanning (ESS)* is a new two-dimensional ultrasonic technique which provides continuous and instantaneous cross-sections of intracranial structures through the intact skull, including the ventricles and large cerebral arteries, by means of a stationary probe.

2. The efficiency of the ESS in the diagnosis of brain tumors and extracerebral hematomas in 295 neuroradiologically controlled cases out of an unselected number of patients during 1972–1974 is described.

3. Supratentorial brain tumors can be detected directly with the ESS by abnormal reflections of the tumors as well as indirectly by displacement of intracranial reference structures, mainly the ventricular borders. In 239 cases of suspected brain tumor, 126 were neuroradiologically confirmed as supratentorial brain tumors. Among these 126 brain tumors the correct localization was determined by the ESS in 86.5%.

4. The highest reliability of the ESS proved to be the direct demonstration of frontal tumors (93%), whereas space-occupying lesions near the midline could be shown only in 79%. Up to now there have been difficulties in the diagnosis of tumors situated near bony structures, e.g., calvarian meningiomas.

5. Subdural hematomas (56 patients) could be lateralized correctly in 93%. However, direct demonstration of the border of the hematomas could be achieved only in 48.2%. Chronic subdural hematomas in children are easier to recognize and the border could be demonstrated in 18 out of 19 cases.

6. The clinical applicability and diagnostic values of the ESS as a nontraumatic investigation procedure are discussed in comparison to cerebral angiography, pneumoencephalography, brain scintigraphy, and CAT scan.

Key words: Two-dimensional ultrasonography — Electronic Sector Scan — Intracranial localization — Brain tumors — Subdural hematomas.

Zusammenfassung. 1. Der elektronische Sektor-Scan (ESS), ein neues zweidimensionales Ultraschall-Untersuchungsverfahren des Gehirns, liefert bei unbewegtem Schallkopf durch den intakten Schädel fortlaufende, momentane Querschnittsbilder intrakranieller Strukturen einschließlich der Ventrikel und Pulsationen der großen cerebralnen Gefäße. Diese Echotomogramme sind nach Richtung und Anzahl in beliebig variablen Schnittebenen durch Schädel und Gehirn zu legen.

2. Die Leistungen des ESS bei Hirntumoren und extracerebralen Hämatomen in der klinisch-neurologischen Diagnostik eines unselektierten Krankengutes der Jahre 1972 bis 1974 werden anhand von 295 neuroradiologisch kontrollierten Fällen beschrieben.

3. Supratentorielle Hirntumoren können mit dem ESS sowohl direkt durch abnorme Tumorreflexionen als auch indirekt durch Verlagerung intrakranieller Referenzstrukturen, meistens

der Ventrikelgrenzen, nachgewiesen werden. Bei 126 neuroradiologisch kontrollierten Großhirntumoren lag die Treffsicherheit des ESS bezüglich der richtigen Lokalisation bei 86,5%.

4. Am zuverlässigsten ist der ESS für den direkten Nachweis von Frontaltumoren (93%), während mittelliniennahe Tumoren nur bei 79% erkennbar waren. Infratentoriell, basal und knochennah gelegene Tumoren sind nicht darstellbar.

5. Beim Nachweis von *Subduralhämatomen* (56 Patienten) fanden sich in 93% richtige Seitenhinweise, aber nur in 48,2% eine Direktreflektion der Hämatomgrenze. Chronische Subduralhämatome bei Kindern sind besser erkennbar und wurden in 18 von 19 Fällen nachgewiesen.

6. Klinische Anwendbarkeit und diagnostischer Wert des ESS als atraumatische Untersuchungsmethode werden gegenüber Angiographie, Pneumencephalographie, Hirnszintigraphie und CAT-Scan diskutiert.

Schlüsselwörter: Zweidimensionale Ultraschallmethode — Elektronischer Sektor-Scan — Intrakranielle Lokalisation — Hirntumoren — Subduralhämatome.

Echobilder von normalen und pathologischen Hirnstrukturen mit Darstellung von Hirntumoren und Hämatomen können durch *zweidimensionale Schnittdarstellungen eines Ultraschallstrahlenbündels* für die Patienten atraumatisch und ohne die Belastungen und Risiken der Pneumencephalographie und Arteriographie gewonnen werden. Apparatur und Methodik des von Somer (1968) entwickelten *Sektor-Scan-Verfahrens* [23, 24] wurden bereits an anderer Stelle dargestellt [4, 26]. Diese Technik erweitert das von Leksell [11—13] eingeführte, eindimensionale Echoimpulschallverfahren: Mit stehendem Schallkopf können bei intaktem Schädel nicht nur mittelständige Hirnstrukturen, sondern auch Seitenventrikelbegrenzungen, Arterien und Tumor- oder Hämatomkonturen auf einem Querschnittsbild gesehen und lokalisiert werden.

Die eindimensionale A-Bild-Technik beschränkt sich bei Raumforderungen vorwiegend auf die Seitendiagnose mit Verlagerung der Mittellinie sowie auf Messungen des dritten Ventrikels. Untersuchungstechnisch bedingte Täuschungsmöglichkeiten durch fehlende Gesamtbeurteilung von Schädel und Gehirn können durch zweidimensionale Ultraschall-Untersuchungsmethoden, die sog. B-Scan-Verfahren, ausgeschaltet werden. Mechanische zweidimensionale Ultraschallverfahren (sog. Linear-, Radial-, Circular- und Compound-Scans) ergaben aber am Schädel wegen der Knochenkalotte nur unbefriedigende Ergebnisse. Das von uns verwendete Sektor-Scan-Verfahren liefert bei *ruhendem Schallkopf* durch elektronische Steuerung Schnittebenen, die nicht, wie bisher, durch Schallkopfbewegungen erstellt werden müssen. Ein wesentlicher Vorteil ist die fortlaufende Abbildung der *Echotomogrammbilder* des untersuchten Schädelabschnittes sowie die freie Wahl der nach Richtung und Anzahl beliebig variablen Schnittebenen.

Nach unseren 3-jährigen Erfahrungen mit dem von Somer [23, 24] entwickelten *elektronischen Sektor-Scan* (ESS) sollen hier die präoperativen Ergebnisse der *Routinediagnostik von Hirntumoren und Subduralhämatomen* zusammengefaßt werden. An einem großen, unselektionierten neurologischen Patientengut wird die Leistungsfähigkeit des ESS für raumfordernde intracraniale Prozesse in unserer Klinik von Anfang 1972 bis Ende 1974 dargestellt. Die ESS-Befunde wurden, soweit möglich, mit den neuroradiologischen, operativen und autoptischen Ergebnissen verglichen und auf ihre Verlässlichkeit überprüft.

Die Ergebnisse zeigen, daß der Sektor-Scan eine praktisch brauchbare Ergänzung der Isotopenszintigraphie und der neu entwickelten computerunterstützten axialen Röntgentomographie (CAT, EMI) darstellt. Er nimmt zwischen diesen Verfahren auf der einen Seite und der A-Scan Echoencephalographie auf der anderen Seite eine nützliche Zwischenstellung in der neurologischen und neurochirurgischen Screeningdiagnostik ein.

Technische Grundlagen und apparatives Funktionsprinzip

Das technisch-apparative Grundprinzip des ESS besteht aus zwei Einheiten: 1. einem nach Konstruktions- und Arbeitsweise neuartigen multiplen *Schallkopf*, der sich von den bisher in der Echoencephalographie gebräuchlichen Schallköpfen unterscheidet, und 2. dem dazugehörigen *elektronischen Steuerungsteil*.

Das wesentliche Merkmal des *Schallkopf-Komplexes* beim ESS besteht darin, daß er nicht aus einem einzelnen piezoelektrischen Kristall, sondern aus 21 *Schwingerelementen* besteht, die einzeln erregt werden. Jedes der 21 Schwingerelemente des Schallkopfes ist rechteckig mit einer Breite $a = 0,475$ mm und einer Länge von 10 mm und ist von dem jeweils benachbarten Einzelement durch eine 0,05 mm dicke, elektrisch und akustisch isolierende Teflonschicht getrennt. Der Abstand zwischen den Mittelpunkten zweier nebeneinander liegender Schwingerelemente beträgt somit 0,525 mm (Abb. 1a). Die Abmessung eines Einzelements ist dabei

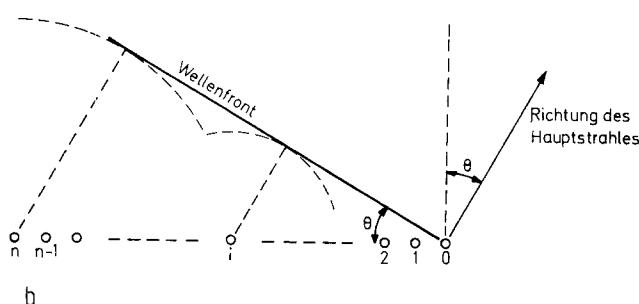
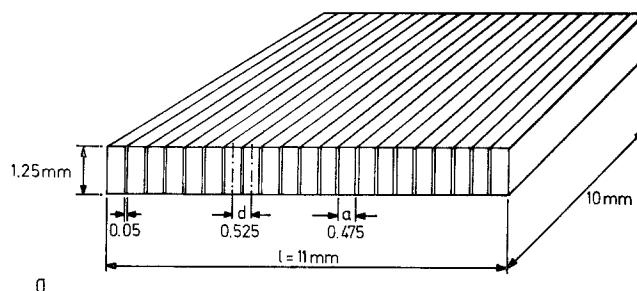


Abb. 1a und b. Ultraschallkopfkomplex und Wellenfront. (a) ESS-Schallkopf: Schemazeichnung und Größenangaben des aus 21 Schwingerelementen bestehenden Schallkopf-Komplexes. (b) Ultraschall-Wellenfront: Nach dem Huygensschen Interferenzprinzip resultierende Gesamtwellenfront aller Schwingerelemente ($o-n$) und deren Propagationsrichtung Θ zur Schallkopfoberfläche

ausreichend klein, daß bei seiner Erregung eine circuläre Wellenfront resultiert. Bei der gewählten Sendefrequenz von 1,3 MHz mißt eine Wellenlänge λ in Wasser 1,15 mm. Der Mittelpunktsabstand zweier benachbarter Schwingerelemente beträgt somit etwa $\lambda/2$. Die Gesamtbaumessung des Schallkopf-Komplexes mit 11×10 mm entspricht dabei ungefähr der Größe der konventionellen Schallköpfe. Auf dem ESS-Schallkopf ist eine Markierung angebracht, die während Untersuchungen die jeweilige Schnittebene anzeigt und einer entsprechenden Markierung auf dem Fernsehschirm entspricht.

Im *elektronischen Steuerungsteil* ist jedem Schwingerelement ein dazugehöriger *Send-Oscillator* und diesem wiederum eine elektronisch variable *Impuls-Verzögerungskette* vorgeschaltet. Die Impuls-Verzögerungsketten arbeiten in der Weise, daß das erste Schwingerelement zuerst, danach das zweite und jedes weitere folgende Einzelement in gleich großen Verzögerungsintervallen erregt wird, so daß die nach dem Huygensschen Interferenzprinzip resultierende Gesamtwellenfront aller 21 Schwingerelemente dann eine Ebene mit dem Winkel Θ zur Schallkopfoberfläche bildet, der von der Verzögerung der Impulse der Einzellemente abhängt (Abb 1 b). Der Winkel dieser Wellenfront variiert, weil die Verzögerung der Impulsansteuerung in den 21 Elementen variabel ist. Diese Änderungen der Verzögerung erfolgen bei einer Grundimpulsrate von 1000/sec für einen Winkelbereich von wahlweise 90 oder 30° dabei schnell genug, um ein für das menschliche Auge unbewegtes und stehendes Bild zu erzeugen.

Vergleichbar dem Sendeteil, jedoch in umgekehrter Arbeitsweise, funktioniert auch die an den ebenfalls als Empfänger der reflektierten Echosignale dienenden Schallkopf-Komplex gekoppelte elektronische Empfangseinheit. Die reflektierten und über den ESS-Schallkopf wieder aufgenommenen Echosignale werden schließlich mittels Intensitätsmodulation an korrespondierenden Punkten eines Fernsehschirmes sichtbar gemacht. Die Dokumentation der Untersuchungsbefunde wird mit einer Kamera vorgenommen, die in einer festmontierten Vorrichtung auf ein zweites Oscilloskop, auf das zu diesem Zweck das Originalbild des ESS überspielt wird, fokussiert ist und maßstabsgerechte Photographien des Sektorbildes liefert.

Eingehendere Beschreibungen der technisch-apparative und elektronischen Grundlagen des ESS gab Somer 1968 und 1971 [23, 24].

Klinischer Untersuchungsablauf

Durch den intakten Schädel hindurch können mit dem ESS zahlreiche intracraniale Strukturen, wie die *Ventrikelwände*, die *Arterien*, der *Interhemisphärenspalt* oder die *Inselcisternen* verlässlich und konstant reproduzierbar dargestellt und deshalb als Kenn- oder Referenzstrukturen verwendet werden. Für die klinische Anwendung des ESS war es zunächst notwendig, ein *normiertes Schema von Untersuchungsebenen* festzulegen, die durch einfache Drehungen des am Schädel aufgesetzten Schallkopfes erlangt werden. Diese Ebenen sollten alle wichtigen darstellbaren Kennstrukturen zeigen und Direktanfärbcungen intracranialer Raumforderungen mit ausreichender Wahrscheinlichkeit erfassen lassen. Obwohl durchgehende und vollständige Ultraschallschnitbilder des Schädels mit dem ESS zu erzielen sind, werden beide Hemisphären getrennt untersucht, wobei zuerst die jeweils *schallkopffernen Strukturen* dargestellt werden. Dieses Verfahren hat sich bewährt, da das schallkopfferne Untersuchungsfeld zum einen bei dem keil- bzw. sektorförmigen Ausschnitt vollständiger repräsentiert und zum anderen nicht durch Störechos aufgrund der Schallkopfkoppelung und der naheliegenden Kalotte überlagert ist wie das schallkopfnahe Gebiet.

Beim Aufsuchen und Identifizieren der normalerweise und regelmäßig echoencephalographisch darstellbaren Referenzstrukturen ergab es sich, daß wegen des 90° großen Sektors der Ultraschallschnittebenen nur wenige Positionswechsel des Schallkopfes erforderlich waren, um diese diagnostischen Kriterien für die echoencephalographische Erfassung zu erfüllen. Bei der Wahl der Ebenen der Ultraschalltomogramme am Schädel wurde eine enge Korrelation zu den von Aubaniac und Porot (1955) angegebenen *radioanatomischen Schnittebenen* [2] gesucht. Das System der frontalen und lateralen radioanatomischen Schnittebenen und die korrespondierenden Schallkopfpositionen des ESS am Schädel zeigt Abb. 2. Ein Vergleich zwischen einem frontalen Querschnitt nach Aubaniac und Porot (1955) und dem entsprechenden ESS-Tomogramm findet sich auf Abb. 3.

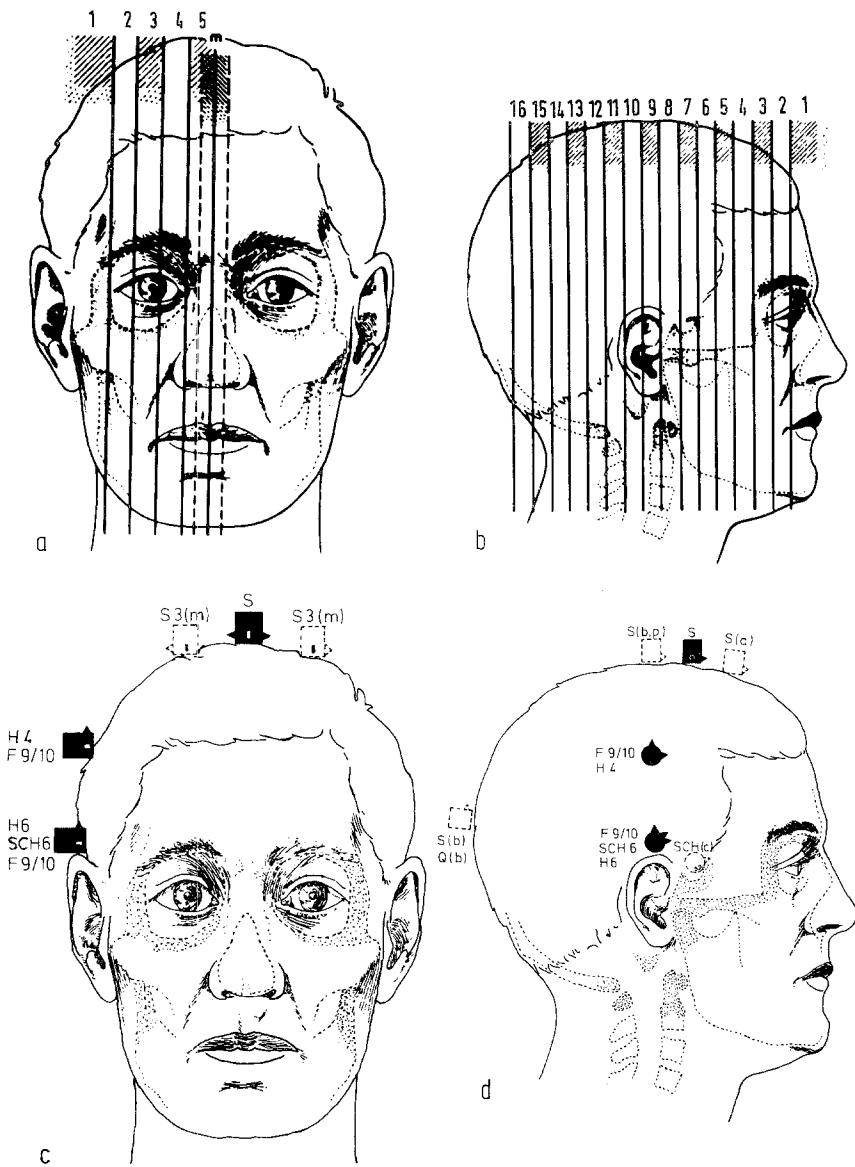
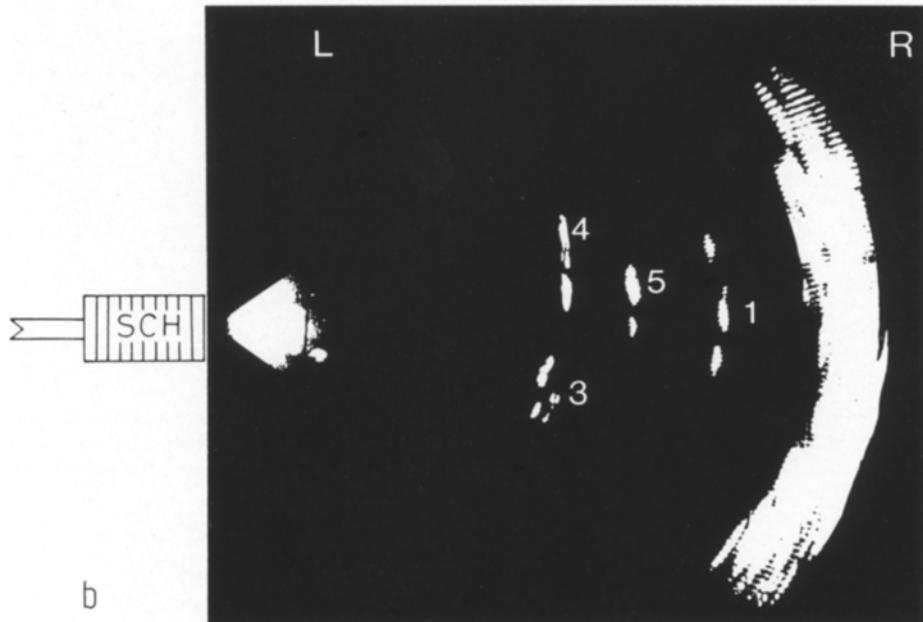
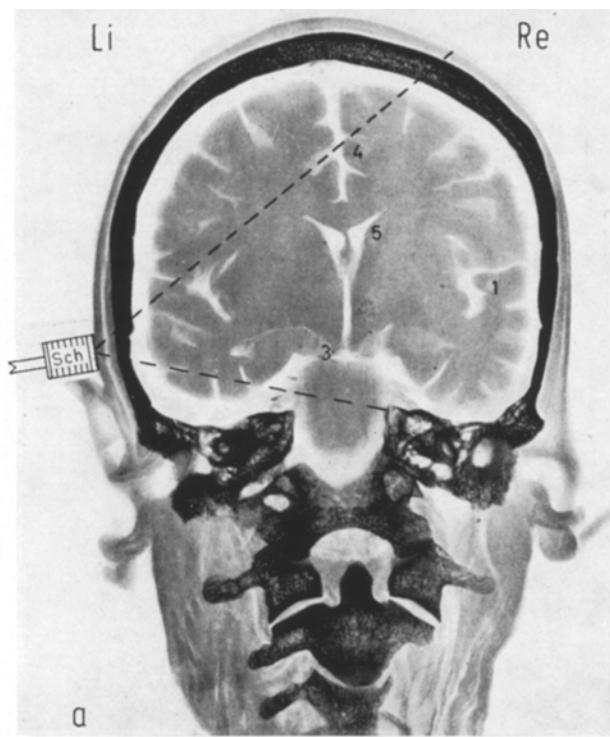


Abb. 2a-d. Senkrechte Schnittebenen und Schallkopfpositionen. Sagittale (a) und frontale (b) Tomogrammebenen am Schädel nach dem Atlas von Aubaniac und Porot [2], der als anatomische Grundlage des Sektor-Scan zu verwenden ist. Sende- und Ableitepunkte der Schallkopfpositionen (c und d): Echotomogramme in Schnittebenen entsprechend 2a und b. Bei horizontaler Lage des Schallkopfes können entsprechende Schnittebenen durch den Schädel gelegt werden

Patientengut und Untersuchungsmethoden

Während der Jahre 1972 bis 1974 wurden an unserer Klinik alle Patienten, bei denen der Verdacht auf einen arteriellen Gefäßprozeß, Hydrocephalus oder eine intracranielle Raumforderung (Tumor, Hämatom) bestand, unselektiv mit dem ESS vor weiteren diagnosti-



schen Eingriffen untersucht. In diese Auswertung wurden nur diejenigen ESS-Befunde einbezogen, für die neuroradiologische, operative oder autoptische Ergebnisse vorlagen. Die neuroradiologischen Kontrolluntersuchungen bestanden aus cerebralen Angiographien, Pneumencephalographien, Hirnszintigraphien und in Einzelfällen EMI-Untersuchungen, wobei in der Mehrzahl der Fälle die Befunde von wenigstens zwei dieser Techniken vorlagen. Bei den intracranialen Raumforderungen wurden die ESS-Diagnosen nur dann als richtig bewertet, wenn die echoencephalographisch dargestellten Tumorreflexionen lokalisorisch denen der Kontrolluntersuchungen entsprachen.

Unter diesen Voraussetzungen beziehen sich die hier mitgeteilten Ergebnisse auf 56 Patienten mit klinischem Verdacht auf ein extracerebrales Hämatom und weitere 239 Patienten mit Verdacht auf einen Hirntumor, deren ESS-Diagnosen ausnahmslos neuroradiologisch und/oder operativ kontrolliert werden konnten.

Ergebnisse

A: Kontrollierte Fälle mit der Verdachtsdiagnose Tumor cerebri (239 Patienten)

Aus einem Krankengut von 239 Patienten mit der klinischen *Verdachtsdiagnose* eines Hirntumors wurde in 113 Fällen ein normaler ESS-Befund erhoben. Dieser *negative Befund* wurde in 93 Fällen durch nachfolgende neuroradiologische Kontrolluntersuchungen bestätigt. In den übrigen 20 Fällen wurde eine intracraniale Raumforderung neuroradiologisch, operativ oder autoptisch nachgewiesen. Somit fanden sich beim Nachweis von Hirntumoren in $17,7\%$ der Fälle *falsch negative ESS-Diagnosen*.

Bei 126 Patienten wurde aufgrund pathologischer Echokonturen mit dem ESS die Diagnose eines *Hirntumors* gestellt. Hirntumoren sind mit dem ESS oft, davon neuroradiologisch, operativ oder autoptisch in 106 Fällen bestätigt, durch Auftreten pathologischer Echoreflexionen direkt erkennbar und indirekt durch Verlagerung von Kennstrukturen nachweisbar. Echoreflexionen werden dabei als pathologisch und hinreichend verdächtig für eine intracraniale Raumforderung im weiteren Sinne angesehen, wenn sie in einem im Normalfalle reflexionsfreien intracranialen Areal auftreten und/oder ungewöhnliche Formbildkriterien aufweisen.

Bei 73 dieser Patienten fand sich neben der Tumorreflexion eine zusätzliche Verlagerung von einer oder mehrerer der Kennstrukturen im ESS (Abb. 4). In 17 Fällen ($13,5\%$) zeigten die ESS-Befunde allerdings *abnorme Konturen an anderer Stelle* und waren damit *falsch positiv*. Damit gelang insgesamt bei 109 Patienten in $86,5\%$ mit dem ESS ein qualitativ und topographisch korrekter Tumornachweis. Außer mit den in allen Fällen durchgeführten neuroradiologischen Kontrastmitteluntersuchungen konnten die ESS-Befunde bei 58 Patienten zusätzlich mit den *Operations- oder Autopsie-Ergebnissen* korreliert werden.

Wie die folgende Zusammenstellung (Tabelle 1) zeigt, variierte der Prozentanteil richtiger ESS-Diagnosen in Abhängigkeit von der Tumorlokalisierung.

Abb. 3a und b. Radioanatomisches und echotomographisches frontales Schnittbild mit folgenden Hirnstrukturen. (a) Radioanatomisches Schnittbild des ganzen Schädels nach [2]: 1 = Fissura Sylvii; 3 = Basalcisternen; 4 = Fissura interhemispherica und Falx cerebri; 5 = laterale Wand des Seitenventrikels. (b) ESS-Echotomogramm der Frontalebene: Ultraschallbild der Strukturen 1—5

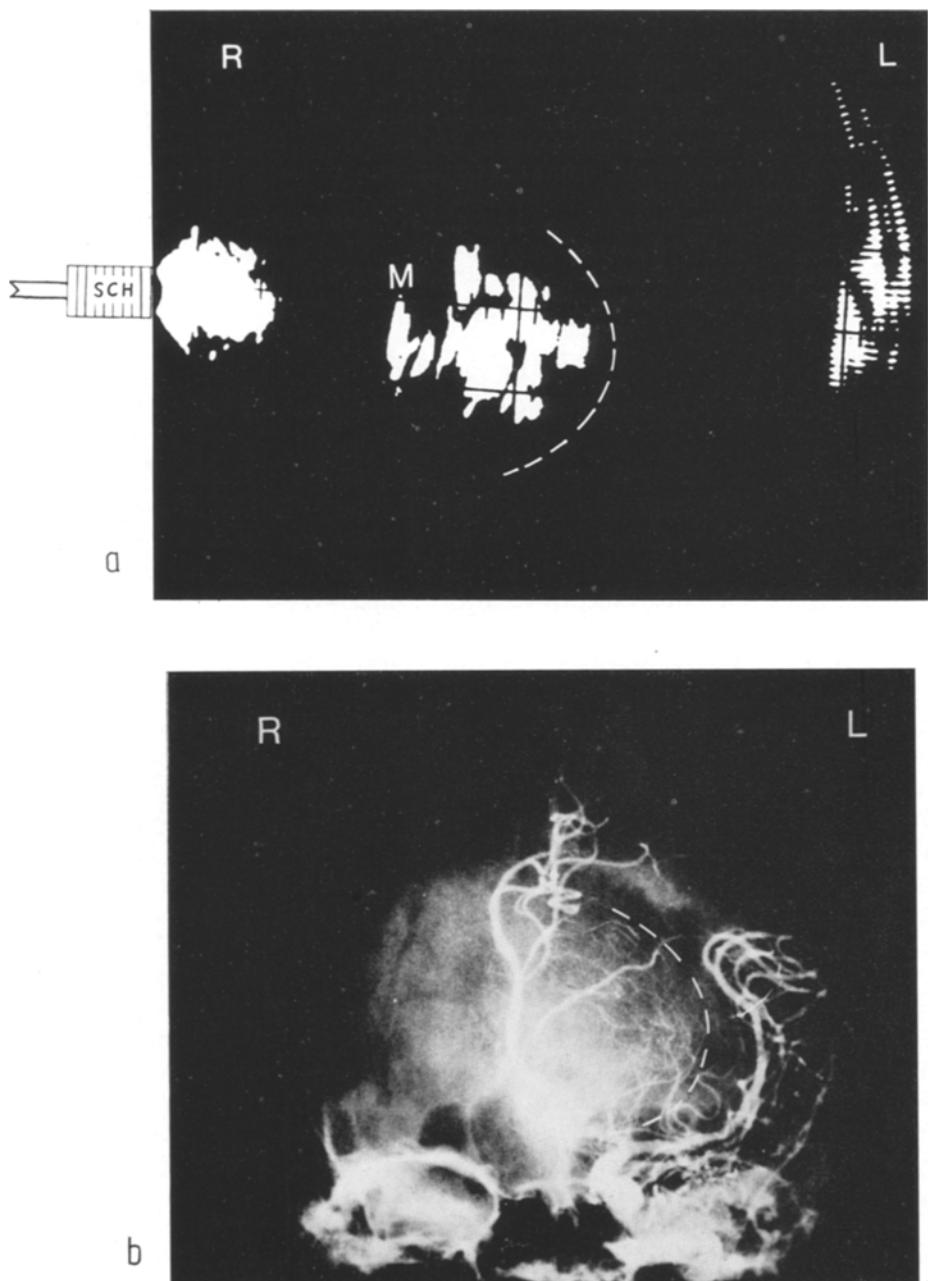


Abb. 4a und b. Frontales Echotomogramm und Arteriogramm eines soliden Stammganglion-tumors links. (a) ESS-Tumorreflexionen im frontalen Echotomogramm. Solides fronto-miales und basales Gliom. M = verlagerte Mittellinienstrukturen. (b) Frontales Angiographiebild desselben Tumors

Tabelle 1. Ergebnisse der Sektor-Scan (ESS)-Diagnostik von 126 direkt dargestellten Tumoren in verschiedenen Hirnregionen

ESS-Diagnosen	Frontalbereich		Temporalbereich		Occ.-Parietalbereich		Mittellinienbereich	
	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%	Anzahl	%
richtige Lokalisation:	27	93	41	84	19	90,5	19	79
falsch-positive Lokalisation:	2	7	8	16	2	9,5	5	21
Total	29	100	49	100	21	100	24	100

Raumforderungen im *Frontalbereich* konnten in 93% nachgewiesen werden. Dagegen wurden mittelliniennahe Tumoren nur in 79% dargestellt. Eine konstante Differenz zwischen Echogrenze und operativem oder autoptischem Befund war das *kleinere Volumen des im Scan sichtbaren pathologischen Bezirks*: Die echoencephalographisch demonstrierte *Tumorgröße* lag daher fast immer unter der operativ oder autoptisch gefundenen. Die Tumorart und -histologie hatte dagegen nach den bisherigen ESS-Ergebnissen keinen wesentlichen Einfluß.

Nur *Tumorcysten* ergaben besondere Befunde. Es gelang in einem höheren Prozentsatz, cystische Raumforderungen oder cystische Anteile innerhalb eines Tumors mit dem ESS nachzuweisen. In 15 von 17 histologisch kontrollierten Fällen mit cystischen Tumoranteilen konnten diese als reflexionsarme oder -freie Areale innerhalb der pathologischen Echokonturen dargestellt werden (Abb. 5). Im übrigen war die Tumorart ohne Einfluß auf die ESS-Ergebnisse. Das ESS-Bild zeigte abnorme Gewebskonturen sowohl bei vom Hirngewebe deutlich abgegrenzten Tumoren (Meningome oder cystische Tumoren) (Abb. 6) wie ebenso häufig bei infiltrierend wachsenden Glioblastomen oder Metastasen (Abb. 7).

In der Gruppe mit *falsch negativen ESS-Befunden* entgingen knochennah gelegene *Meningome* (3 Konvexitätsmeningeome, 2 Keilbeinflügelmeningeome), Tumoren an der *Schädelbasis* (2 chromophobe Adenome) und symmetrische Raumforderungen der Mittellinie (2 Schmetterlingsgliome der Stammganglien) dem echoencephalographischen Nachweis.

B. Bestätigte Fälle mit der Verdachtsdiagnose Subduralhämatom (56 Patienten)

Mit dem ESS können Subduralhämatome oder Hygrome auf Frontalschnitten in etwa der Hälfte der Fälle durch scharfe, die Kalottenwölbung sekantenförmig schneidende pathologische Reflexionen des Hämatoms selbst nachgewiesen werden. Nur 48,2% der neuroradiologisch oder operativ bestätigten Fälle zeigten diesen *direkten Hämatomreflexionsbefund*. Dagegen wurden 93% dieser Fälle *indirekt* durch Verlagerung dargestellter und identifizierter Referenzstrukturen *seitenlokalisatorisch* als Raumforderung nachgewiesen. Bei kindlichen, chronischen Subduralhämatomen, besonders im Säuglingsalter, sind die Darstellungen der

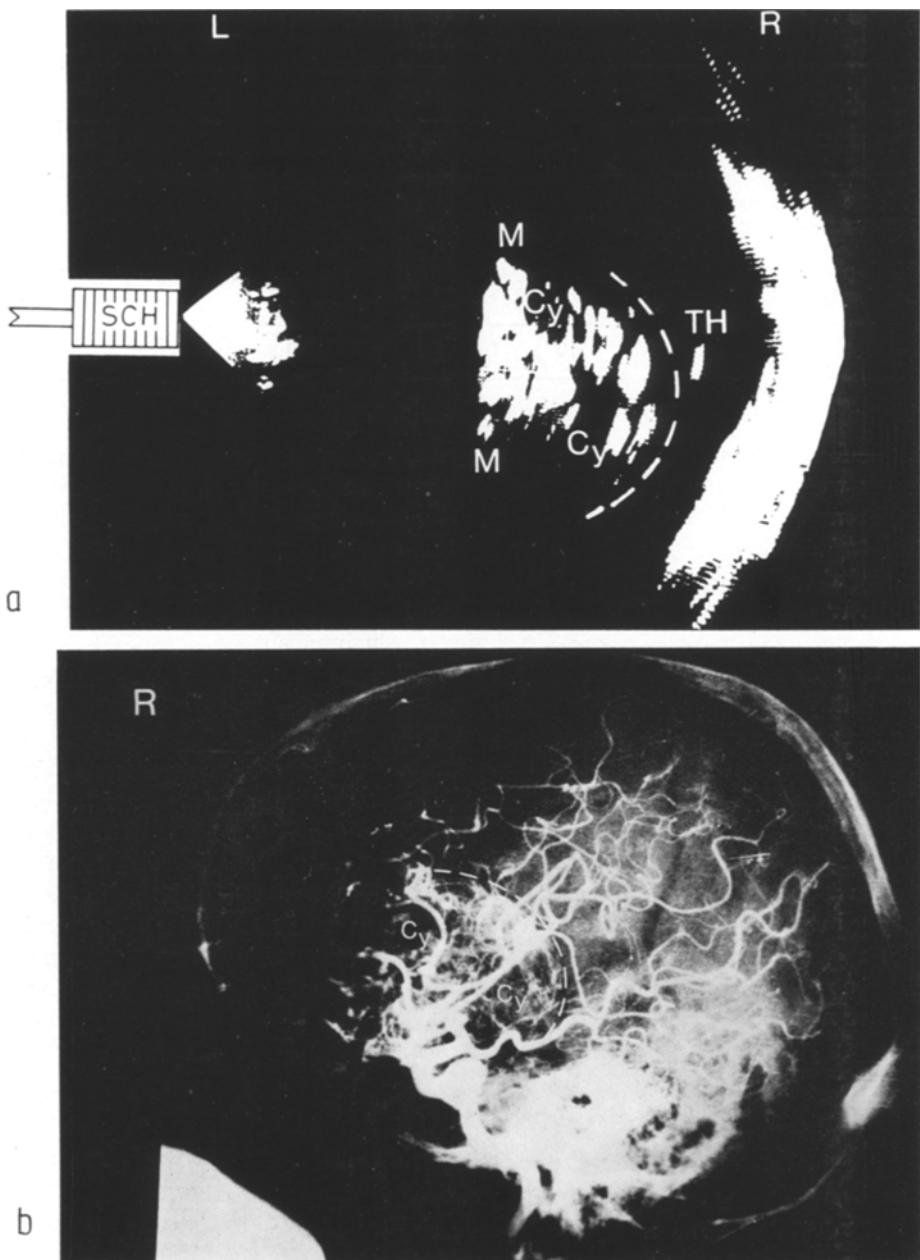


Abb. 5a und b. Echotomogramm (Frontalschnitt) und Arteriogramm bei Frontotemporal-tumor rechts. (a) Echotomogramm des teils cystischen, teils soliden Tumors im frontotemporalen Marklager und paramedian rechts (M = Mittellinienstrukturen; Cy = cystische Tumoranteile; TH = an die Kalotte gedrängtes Temporalhorn). (b) Seitliches Angiographiebild desselben Tumors (histologisch gesichertes Glioblastom der rostralen Stammganglien rechts mit cystischen Nekrosen)

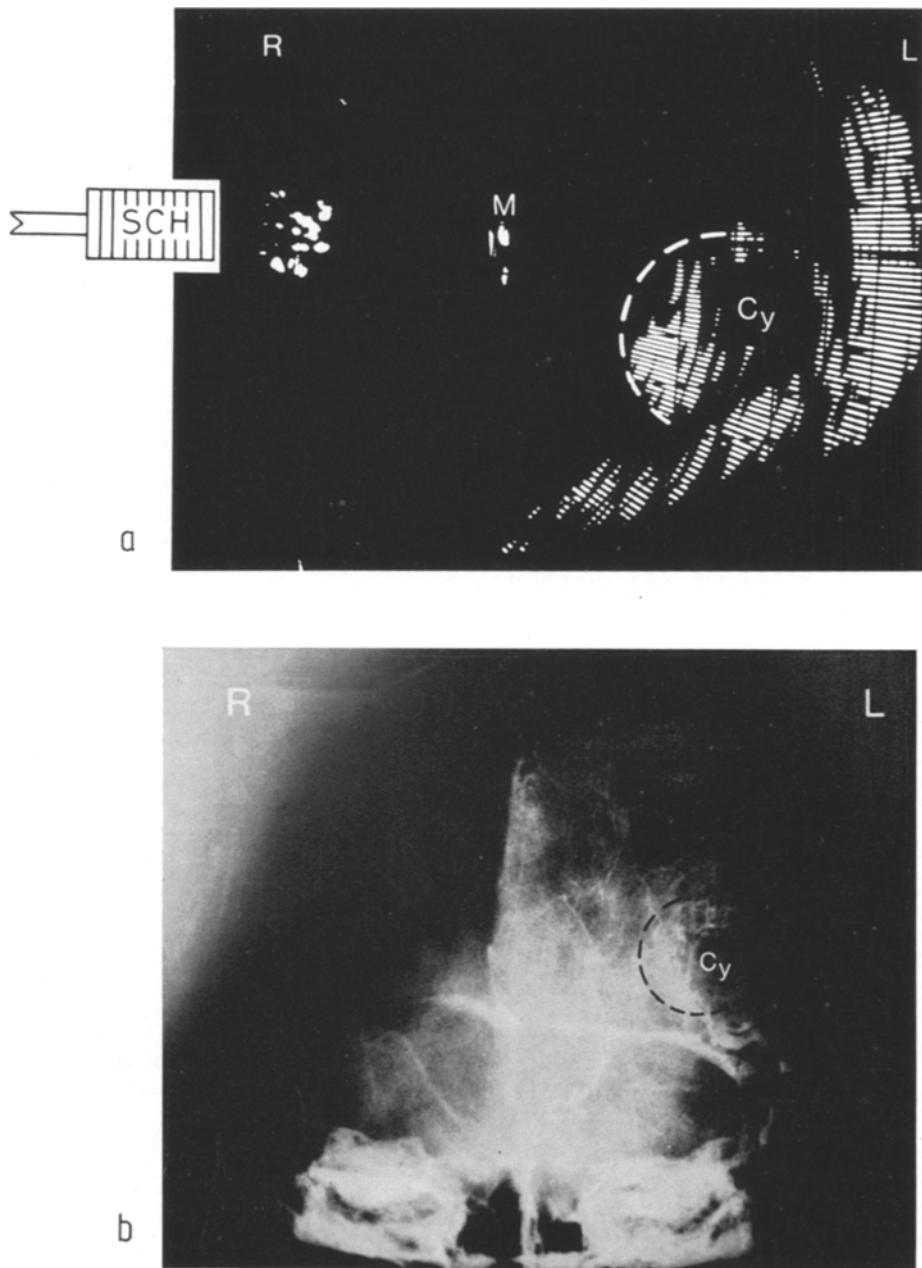


Abb. 6a und b. Echotomogramm (Frontalschnitt) und Phlebogramm bei Parietaltumor links. (a) ESS-Tumorreflexionen im Echotomogramm. Tumor mit großer Cyste parietal und subcortical links. (b) Frontales Angiographiebild desselben Tumors in der venösen Phase (operativ bestätigtes Spongioblastom mit zentraler Blutungshöhle)

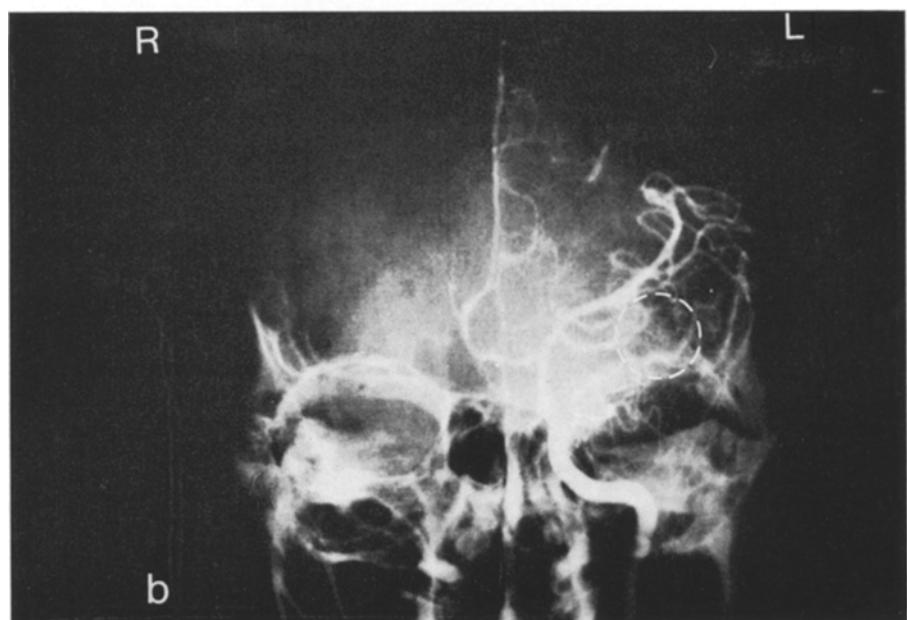
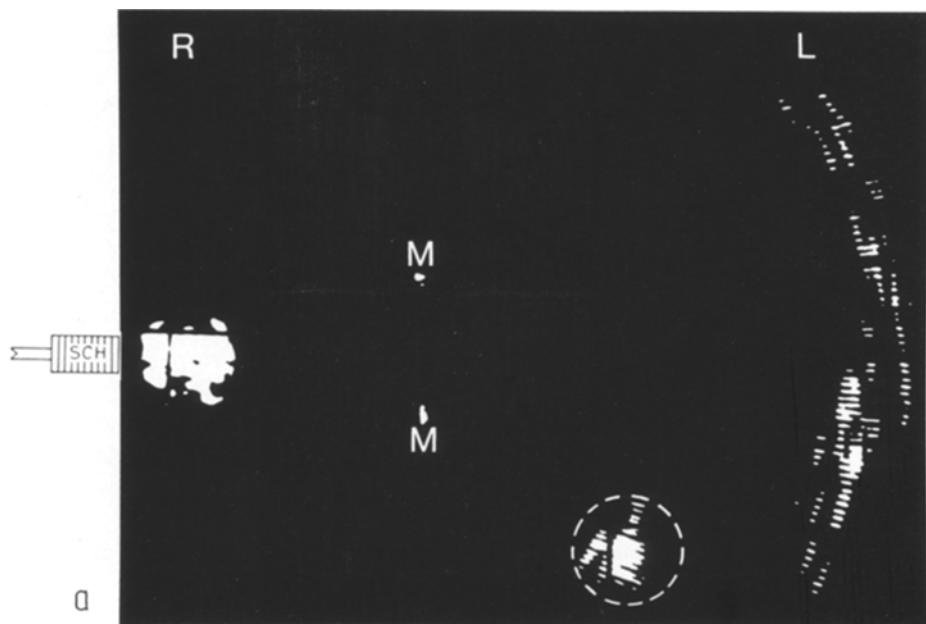


Abb. 7a und b. Echotomogramm und Arteriogramm eines Temporaltumors links. (a) Frontales Echotomogramm eines kleinen, soliden Tumors im linken temporobasalen Marklager. (b) Frontales Angiographiebild desselben Tumors (histologisch bestätigte Hypernephrom-Metastase)

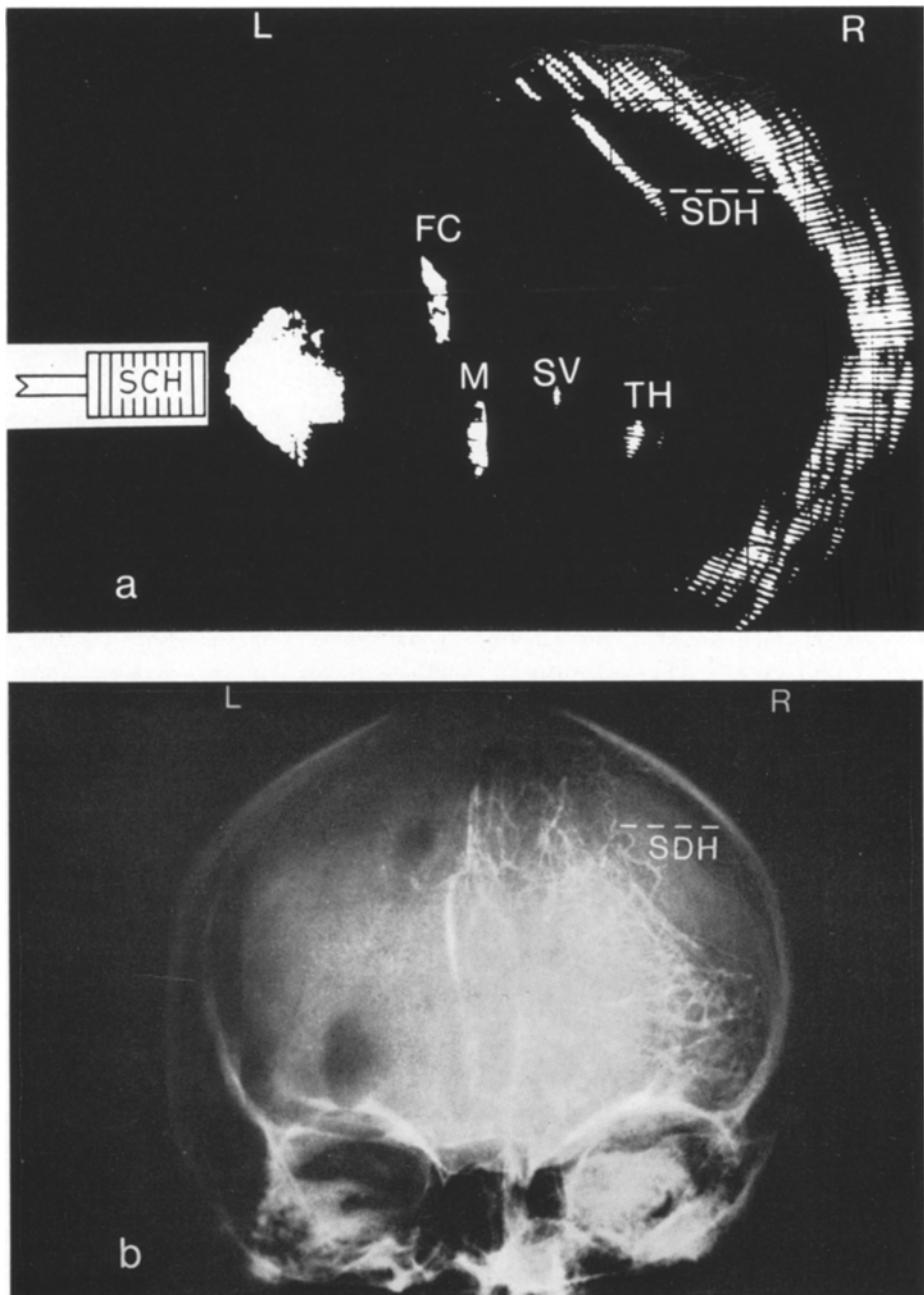


Abb. 8a und b. Echotomogramm und Arteriogramm eines Subduralhämatoms rechts. (a) Fron-tales Echotomogramm des fronto-parietalen Subduralhämatoms (SDH) rechts (FC = Schräg-stand und Linksverlagerung der Falx cerebri; M = Mittellinienstrukturen; SV = laterale Wand des rechten Seitenventrikels; TH = nach medial verlagertes Temporalhorn rechts).

(b) Frontales Angiographiebild desselben Subduralhämatoms (SDH)

Hämatomgrenzen wesentlich besser als bei Erwachsenen. Das angiographische Frontalbild und das entsprechende frontale ESS-Tomogramm eines Subduralhämatomes zeigt Abb. 8.

Unter 56 Patienten mit Subduralhämatomen befanden sich 19 Kinder mit zumeist chronischen Subduralhämatomen oder Hygromen und 37 Erwachsene, bei denen nach einem Trauma überwiegend frische Subduralhämatome entstanden waren. Bemerkenswert ist, daß sich unter den 19 kontrollierten Kindern, mit Ausnahme eines falsch negativen Befundes, alle ESS-Diagnosen als richtig erwiesen. In der Gesamtgruppe fehlten Direktreflexionen eines Subduralhämatoms in 29 Fällen und waren in 27 Fällen nachweisbar. Unter den richtigen Diagnosen fand sich dabei in der Erwachsenengruppe ein doppelseitiges Subduralhämatom.

Diskussion

Zur Methodik. Mit dem von Somer (1968) entwickelten elektronischen Sektor-Scan (ESS) steht Neurologen, Neurochirurgen und Radiologen eine zweidimensionale Ultraschall-Untersuchungsmethode zur Verfügung, die bei unbewegtem Schallkopf fortlaufende Momentaufnahmen des untersuchten Schädelabschnittes in nach Richtung und Anzahl beliebig variablen Schnittebenen erzeugt. Neben der anerkannten Unschädlichkeit der Ultraschallanwendung an menschlichem Gewebe im medizinischen Bereich im allgemeinen [21] hat der ESS gegenüber anderen diagnostischen Laboratoriumsmethoden den Vorteil *schneller Durchführbarkeit ohne Belastung und ohne wesentliche Mitarbeit der Patienten*.

Andere Methoden der zweidimensionalen Ultraschalldiagnostik (Linear-, Radial-, Circular- und Compound-Scans) basieren auf dem Prinzip, das intensitätsmodulierte Bild aufgrund verschiedenartiger Positions- und Richtungsänderungen der Schallkopfbewegungen aufzubauen. Dabei hat sich die Anwendung dieser zweidimensionalen Ultraschall-Techniken zur Untersuchung von Weichteilgeweben, wie bei der Mamma-, Herz- und Bauchraumdiagnostik, bald als nützlich erwiesen [6, 7, 28]. Versuche, mit Hilfe dieses mechanischen Prinzips brauchbare, echoencephalographische Schnittbildverfahren am Schädel zu entwickeln [3, 5, 22, 25], stießen jedoch auf physikalische Schwierigkeiten wegen der Schädelknochenstrukturen mit ihrer heterogenen Beschaffenheit, Dicke und mangelnden Parallelität von Tabula interna und externa. Die Suche nach einer zweidimensionalen Ultraschall-Untersuchungsmethode, die ein den tatsächlichen anatomischen Verhältnissen entsprechendes Echotomogramm des Schädels und seines Inneren liefert, führte Somer 1968 zur Entwicklung des *elektronischen Sektor-Scan (ESS)* [23].

Zur Diagnostik und Strukturerfassung. Freund u. Mitarb. [4] haben 1973 gezeigt, daß der ESS in wenigen Minuten typische Bilder intracranieller Echo-muster darstellt, die bestimmten *Strukturgrenzen* entsprechen. So konnten wir die Reliabilität des ESS als klinisch-diagnostische Untersuchungsmethode in der Neurologie an der Topographie und Topometrie dieser intracraniellen Referenzstrukturen nachprüfen [26].

Die diagnostischen Erfahrungen mit diesem Prototyp des elektronischen Echo-Scan seit 1972 in unserer Klinik haben gezeigt, daß dieses Gerät als erstes zweidimensionales Ultraschallverfahren schon für die Anwendung beim Erwachsenen befriedigende Ergebnisse bringt. Die diagnostische Aussagefähigkeit

dieses Verfahrens stellt eine wesentliche *Verbesserung gegenüber der normalen A-Scan-Echoencephalographie* dar.

Vor allem sind zusätzlich *pathologische Konturen* von Tumoren und Subduralhämatomen bei einem relativ hohen Prozentsatz der Patienten mit intracranialen Raumforderungen und bei etwa der Hälfte der Patienten mit Subduralhämatomen darstellbar. Dabei überschreitet die Untersuchungszeit diejenige bei der A-Scan-Echoencephalographie nur wenig. Ferner ist die Sicherheit in der Beurteilung der Mittellinienstrukturen größer, da die Mittellinie nicht von einer einzigen Reflexion, sondern von einer längeren Kontur markiert wird. Dadurch wird nicht nur die Lage der Mittellinie, sondern auch deren *Konturverlauf* in der dargestellten Schnittebene beurteilbar. Der ESS ist deshalb eine sicherere und wesentlich aussagekräftigere echoencephalographische Diagnosemethode als der einfache A-Scan.

Ein dritter wesentlicher Vorteil ist die Registrierung der *Pulsation der großen Hirnarterien*, auf deren Wert für die Erkennung von Hirngefäßverschlüssen in einer späteren Arbeit eingegangen wird. Dadurch kann des ESS für die cerebrale Gefäßdiagnostik wertvoll sein und auf entsprechende arterielle Verschlüsse hinweisen, wie an anderer Stelle [8, 26] gezeigt wurde. Diese kontinuierliche *Darstellung dynamischer Vorgänge* wie Gefäßpulsationen oder flottierende Mittellinien ist ebenso wie die leichtere Handhabung ein entscheidender Vorteil der ESS-Methode.

Der elektronische Sektor-Scan erreicht allerdings bei weitem nicht das Auflösungsvermögen der computerisierten axialen Tomographie (*CAT, EMI*) oder die Sicherheit der Aussage neuroradiologischer Kontrastuntersuchungen. Er nimmt deshalb eine *Zwischenstellung zwischen der A-Scan-Echoencephalographie und den Röntgenverfahren* ein. Sein Einsatz ist insbesondere deshalb lohnend, weil die Untersuchung völlig *ungefährlich* [21], *unbelastend, billig und beliebig oft wiederholbar* ist. Auch bei unruhigen Patienten in der akuten Diagnostik bestehen wesentlich weniger Einschränkungen als sie der EMI-Scan oder andere CAT-Methoden haben. In der Zuordnung des derzeitigen technischen Entwicklungszustandes ist der ESS deshalb ein ideales Gerät der *Vorfelddiagnostik*.

Als weitere Gesichtspunkte in der neurologischen und neurochirurgischen Diagnostik seien noch folgende zwei Anwendungsbereiche genannt: 1. Anwendungen in der *neuropädiatrischen Diagnostik* versprechen erheblich bessere Ergebnisse als beim Erwachsenen. Hierüber wird in einer gesonderten Mitteilung mit Sauer berichtet werden. 2. Nachdem die A-Scan-Echoencephalographie für die *transdurale Beschallung zur Tumorlokalisierung während Operationen* sehr gute Ergebnisse [17, 18] brachte, kann die Anwendung des elektronischen Sektor-Scan für transdurale Tumorlokalisierung und -ausmessungen für die Neurochirurgen einen weiteren wesentlichen Fortschritt darstellen.

Bezüglich der technischen Weiterentwicklung des Verfahrens, von dem für die vorliegenden Untersuchungen nur ein Prototyp zur Verfügung stand, werden z. Zt. eine Reihe wesentlicher technischer Verbesserungen im Rahmen der Serienproduktion dieses Gerätes vorgenommen. Weiterhin wird, ähnlich der CAT, eine Signalverarbeitung durch Computer geprüft. Beide Wege lassen eine Verbesserung dieses Verfahrens erwarten.

Zur Anwendung in der Neurologie. Unsere klinischen Erfahrungen mit dem elektronischen Echo-Scan seit 1972 zeigen, daß dieses Ultraschallgerät brauchbare Ergebnisse beim Nachweis intracranialer Raumforderungen (Hirntumoren, extracerebrale Hämatome) durch zweidimensionale Echotomogramme des Schädels schnell, atraumatisch und beliebig oft reproduzierbar liefert. Der *direkte Nachweis von Hirntumoren gelingt häufiger als die Darstellung von extracerebralen Hämatomen*. Die Hämatome werden meistens *indirekt* durch Verlagerung der Kennstrukturen und der Mittellinie erkannt, so daß nur die Seitendiagnose richtig ist. Doch wurden chronische Subduralhämatome oder Hygrome in der Kinder-Untergruppe (19 Patienten) mit Ausnahme nur eines Falles richtig diagnostiziert. Kindliche Subduralhämatome können daher besser mit dem ESS direkt dargestellt werden. Der in der Gesamtgruppe etwa gleich hohe Prozentanteil fehlender direkter Hämatomreflexionen resultiert aus Untersuchungen bei *Erwachsenen* mit vorwiegend frischen Subduralhämatomen. Dies kann dadurch erklärt werden, daß frische Subduralhämatome ohne fibrotisch verdickte oder indurierte Hämatomkapsel und ohne Hämatomorganisation oder Kammerbildungen ungünstigere echoencephalographische Reflexionsbedingungen bieten als chronische.

Bei der Hirntumordiagnostik ergeben die computerunterstützte axiale Tomographie (CAT-Scan) [1, 9, 20] und andere neuroradiologische Untersuchungsmethoden wie Angiographie [10, 14], Pneumencephalographie [14, 6] und Hirnszintigraphie [15, 19, 27] ähnliche Prozentzahlen für die Erfassungshäufigkeit supratentorieller Tumoren. Zudem informieren diese Röntgenmethoden wesentlich umfassender über die Tumorart, Gefäßversorgung und die Verlagerung von Hirnstrukturen. Die Nachweiswahrscheinlichkeit von Hirntumoren mit dem ESS entspricht etwa den am offenen Schädel gewonnenen Ergebnissen der transduralen Echoencephalographie [17, 18].

Diese Ergebnisse, die mit einem Prototyp dieser neuen Technik erzielt wurden, zeigen, daß der ESS ein sehr brauchbares Verfahren für die *Vorfelddiagnostik* der neuroradiologischen Kontrastuntersuchungen und des CAT-Scan's ist. Die ESS-Untersuchung ist fast genau so rasch durchführbar wie die eindimensionale Echoencephalographie, vermittelt aber wesentlich mehr und sicherere Informationen als diese.

Die Untersuchungen wurden unterstützt durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft über den Sonderforschungsbereich „Hirnforschung und Sinnesphysiologie“ (SFB 70).

Literatur

1. Ambrose, J.: Computerized x-ray scanning of the brain. *J. Neurosurg.* **40**, 679–695 (1974)
2. Aubaniac, R., Porot, I.: Radio-anatomic générale de la tête. Paris: Masson et Cie 1955
3. Dreese, M. J., McGee, F. E., Harrelson, A. B.: Correlative aids in B-scan echoencephalography. *Neurology (Minneapolis)* **16**, 766–770 (1966)
4. Freund, H. J., Somer, J. C., Kendel, K. H., Voigt, K.: Electronic sector scanning in the diagnosis of cerebrovascular disease and space-occupying processes. *Neurology (Minneapolis)* **23**, 1147–1159 (1973)
5. Gordon, D.: Zwei- und dreidimensionale Ultra-Schalltechniken in der medizinischen Diagnostik. *Schweiz. med. Wschr.* **99**, 976–984 (1969)
6. Hofmann, D., Holländer, H. J., Wieser, P.: Neue Möglichkeiten der Ultraschalldiagnostik in der Gynäkologie und Geburtshilfe. *Fortschr. Med.* **84**, 689–693 (1966)

7. Howry, D. H., Bliss, R. W.: Ultrasonic visualization of soft tissue structures of the body. *J. Lab. clin. Med.* **40**, 579—592 (1952)
8. Kendel, K., Freund, H. J., Kapp, H., Voigt, K.: Die Darstellung von Hirnarterien mit dem elektronischen Ultraschall-Sector-Scan und ihre diagnostischen Möglichkeiten. *Folia angiol. (Pisa)* **21**, 201—202 (1973)
9. Kistler, J. P., Hochberg, F. H., Brooks, B. R., Richardson, E. P., New, P. F. J., Schnur, J.: Computerized axial tomography: clinicopathologic correlation. *Neurology (Minneap.)* **25**, 201—209 (1975)
10. Krayenbühl, H., Yasargil, M. G.: Die zerebrale Angiographie. Stuttgart: Thieme 1965
11. Leksell, L.: Kirurgisk behandling av skall skador. Vortrag: Meeting of Svenska Läkarsällskapet, Stockholm, 7. 12. 1954
12. Leksell, L.: Echo-encephalography. I. Detection of intracranial complications following head injury, *Acta chir. scand.* **110**, 301—315 (1955/56)
13. Leksell, L.: Echo-encephalography. II. Midline echo from the pineal body as an index of pineal displacement. *Acta chir. scand.* **115**, 255—259 (1958)
14. McAfee, J. D., Taxdal, D. R.: Comparison of radio-isotope scanning with cerebral angiography and air studies in brain tumor localization. *Radiology* **77**, 207—222 (1961)
15. Mishkin, F. S., Mealey, J.: Use and interpretation of the brain scan. Springfield, Ill: Chic. C. Thomas 1969
16. Moore, G. E.: Diagnosis and localization of brain tumors. Springfield, Ill.: Ch. C. Thomas 1953
17. Müller, H. R., Levy, A., Klingler, M.: Zur Technik der transduralen Echoenzephalographie. *Schweiz. Arch. Neurol. Psychiat.* **102**, 313—315 (1968)
18. Müller, H. R.: Transdurale Echolotung von Hirntumoren mittels einer zweidimensionalen A-Scan-Technik. *Schweiz. med. Wschr.* **99**, 1017—1019 (1969)
19. Mundinger, F., Ostertag, C.: Radio-Isotope in der neurologisch-neurochirurgischen Diagnostik. *Hippokrates* **42**, 135—156 (1971)
20. New, P. F. J., Scott, W. R., Schnur, J. A., Davis, K. R., Taveras, J. M., Hochberg, F. H.: Computed tomography with the EMI Scanner in the diagnosis of primary and metastatic intracranial neoplasms. *Radiology* **114**, 75—87 (1975)
21. Rott, H. D., Huber, H. J., Soldner, R., Schwanitz, G.: Chromosomenuntersuchungen nach Einwirkung von Ultraschall auf menschliche Lymphozyten in vitro. *Electromedica* **1**, 14—16 (1972)
22. Schiefer, W., Kazner, E.: Klinische Echo-Encephalographie. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1967
23. Somer, J. C.: Electronic sector scanning for ultrasonic diagnosis. *Ultrasonics* **6**, 153—159 (1968)
24. Somer, J. C.: Electronic sector scanning for ultrasonic beams. In: J. Böck, K. Ossoinig, *Ultrasonographia Medica*. Wien: Verlag der Wien. Med. Akad. 1971
25. Tanaka, K., Ito, K., Ohara, Y.: Ultrasonotomography of the brain. In: E. Kazner, W. Schiefer, K. J. Zülch, *Proc. in Echo-Encephalography*. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1968
26. Voigt, K.: Der elektronische Sektor-Scan in der neurologischen Diagnostik. *Habil.-Schrift*, Freiburg 1973
27. Wang, Y., Paoletti, P.: Radionuclide applications in neurology and neurosurgery. Springfield, Ill.: Ch. C. Thomas 1970
28. Wild, J. J., Reid, J. M.: Applications of echo-ranging techniques to determination of structures of biological tissues. *Science* **115**, 226—230 (1952)

Priv.-Doz. Dr. K. Voigt,
Neurologische Univ. -Klinik
mit Abtl. für Neurophysiologie
D-7800 Freiburg i. Br., Hansastr. 9
Bundesrepublik Deutschland