

Aus der Neurologischen Klinik mit Abteilung für Neurophysiologie der Universität
Freiburg i. Br. (Prof. Dr. R. JUNG)

Ultraschallregistrierung der Pulsation einzelner intrakranieller Arterien zur Diagnostik von Gefäßverschlüssen

Von
HANS-JOACHIM FREUND

Mit 4 Textabbildungen

(Eingegangen am 31. August 1965)

Die Registrierung mittelständiger Strukturen des Gehirns durch Ultraschall gehört als Echoencephalographie bereits zur neurologischen und neurochirurgischen Routinediagnostik. Laterale Echoreflexionen werden bei der üblichen Methode zwar auch beobachtet, sind jedoch weniger konstant als das Mittelecho und können zur Zeit noch nicht sicher zugeordnet werden, obgleich diese Frage untersucht wird¹. Pulsierende Mittelechos wurden von verschiedenen Untersuchern gesehen. Sie sind lediglich Ausdruck der Pulsation des ganzen Gehirns und können bei üblicher Untersuchungstechnik nur passager und mit nicht verwertbarer Puls-Amplitude erhalten werden. Dagegen sind große Pulsationen lateraler Echoreflexionen in bestimmten Gewebstiefen und Beschallungsebenen regelmäßig erkennbar. Da diese offenbar Pulsationen der großen Hirnarterien entsprechen, haben wir versucht, sie für die Diagnostik der Hirngefäßerkrankungen nutzbar zu machen.

Zur Diagnose cerebraler Gefäßerkrankungen fehlen bisher klinisch verwertbare unblutige Untersuchungsmethoden intracerebraler arterieller Gefäßverschlüsse oberhalb des Abgangs der Art. ophthalmica. Die Rheo-encephalographie ergibt keine lokalspezifischen Befunde in der Tiefe der großen Arterienstämme und ist wegen der Oberflächendurchblutungseffekte von zweifelhaftem Wert. Die Ophthalmodynamographie zeigt nur bei unteren Carotisthrombosen verwertbare Ergebnisse und versagt bei allen höheren Verschlüssen. Die Arteriographie ist mit einer Gefährdung des Patienten verbunden. Bei Verdacht auf arterielle cerebrale Stenosen oder Verschlüsse sind angiographische Untersuchungen vermehrt risikobelastet, so daß eine gefahrlose diagnostische Methode besonders willkommen wäre. Wir haben deshalb eine unblutige intrakranielle Registrierung des Pulsechos durch Änderung der üblichen echoencephalographischen Untersuchungstechnik entwickelt und die

Pulsationen einzelner Hirnarterien registriert. Diese arteriellen Echo-pulsationen lassen sich von den geringen cerebralen und Mittelecho-pulsationen deutlich unterscheiden. Im folgenden wird versucht, diese lokalisierten Echopulsationen einzelnen, größeren Gehirnarterien zuzuordnen. Wir hoffen, damit einen Weg zur unblutigen gefahrlosen Diagnostik der Carotisthrombosen und anderer Gefäßverschlüsse der großen Hirnarterien zu finden.

Methodik

Die Untersuchungen wurden mit einem Echoencephalographen der Fa. Siemens-Reiniger durchgeführt. Es handelt sich um ein Echoimpulsschallverfahren. Verwendet wurde ein 2 MHz Meßkopf von 15 mm Durchmesser. Meßköpfe mit größeren Durchmessern sind zur Registrierung von Gefäßpulsationen nicht geeignet, da das Flächenverhältnis Gefäß zur Breite der Durchschallung für Re-

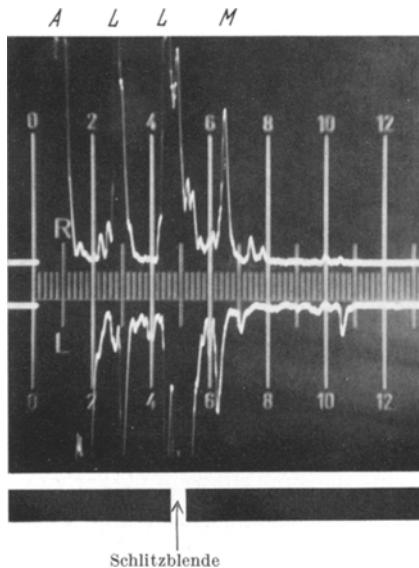


Abb. 1. Normales Echoencephalogramm mit Anfangsecho (A), Mittelecho (M), lateralen Echoreflexionen (L). Stehendes Bild, aufgenommen mit einer Polaroidkamera. Die Tiefenpulsationen der Arterien sind bei geeigneter Beschallungsebene im lateralen Echo L zu beobachten und können wie im üblichen Echo in ihrer Gewebstiefe bestimmt werden. An dieser Stelle wird das pulsierende Echo durch eine vertikale Schlitzblende mit fortlaufendem Film registriert (Abb. 3 und 4)

flexionen zu ungünstig wird. Spezielle kleinere Meßköpfe für die Pulsecho-registrierung sind noch zu entwickeln. Der Meßkopf wird in eine Plexiglashalterung geschraubt und mittels eines um den Kopf des Patienten gespannten starken Gummibandes unter Druck an die gewünschte Ableitstelle gepreßt. Diese mechanische Befestigung ist Voraussetzung für die Untersuchung, da die übliche Untersuchungstechnik mit der freien Hand zur Messung der Mittellinie eine zu große Bewegungsunruhe auf das System überträgt und der Druck des Meßkopfes auf die Kopfhaut ständig schwankt. Bei fixiertem Meßkopf erhält man, je nach Schall-intensität und Tiefenausgleich häufige, konstante laterale Echo-reflexionen, die

bestimmten anatomischen Strukturen, an deren Grenzen Impedanzänderungen vorkommen, entsprechen¹ sowie das sogenannte Mittelecho (Abb. 1). Diese Echo-reflexionen zeigen bei größter Verstärkung und geringstem Tiefenausgleich lediglich minimale Pulsationen. Neben diesen geringen Echopulsen registrierten wir *große, grob pulsierende laterale Echoreflexionen*, deren anatomischer Zusammenhang zunächst unklar war. Es war anzunehmen, daß sie von größeren Arterienstämmen reflektiert werden, da sie nur bei ganz bestimmter Anordnung des Meßkopfes und in *konstanter Gewebstiefe* zu finden sind. Durch Modelluntersuchungen an der Leiche wurde die Lokalisation der Schallableitstellen und die räumliche Echodistanz der maximalen Pulsationen mit dem Arterienverlauf verglichen.

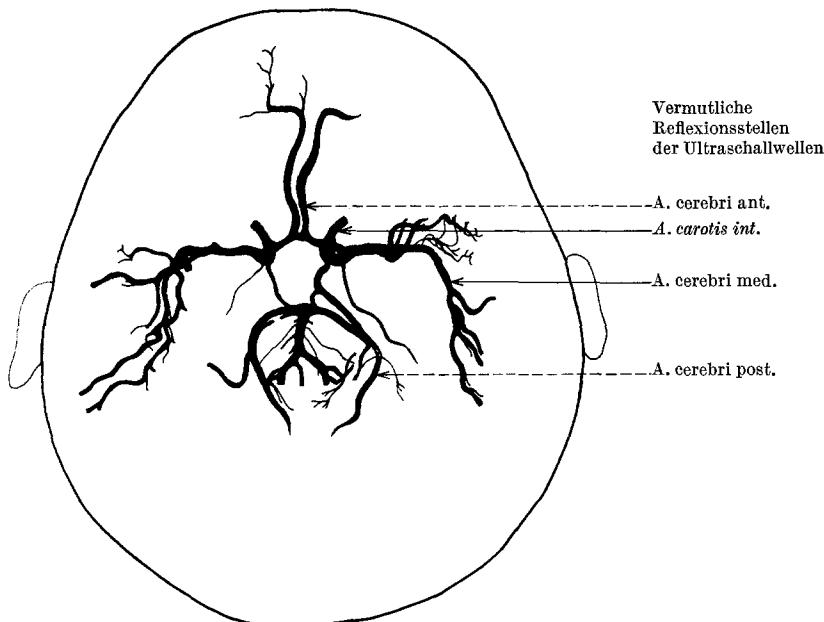


Abb. 2. Verlauf der großen Hirnarterien mit den wahrscheinlichen Reflexionsstellen im Echoencephalogramm (Pfeile)

Lokalisation der Echopulsationen. An einem normalen Leichengehirn wurden Zuordnungen des Gefäßverlaufs einzelner Hirnarterien zu Ableitstellen von der äußeren Kopfhaut gewonnen. Es kommen nur jene Gefäßabschnitte der größeren Hirnarterien in Betracht, deren Längsachse etwa 90° zur Beschallungssachse liegt (Abb. 2). Folgende *optimale Schall- und Ableitpunkte an der äußeren Kopfhaut* wurden für die großen intrakraniellen Arterienstämmen festgestellt:

Arteria carotis interna: 3–5 cm vor und 1–2 cm über dem oberen Rand des Kiefergelenkes.

Arteria cerebri post: ca. 4,5 cm oberhalb und 1 cm hinter dem Meatus acusticus externus. *Arteria cerebri media:* 5,5–6,5 cm oberhalb des Meatus acusticus externus.

Von diesen Stellen erhält man in der Vertikalen pulsierende Echoreflexionen, die stets pulssynchron sind und systolisch ein mehrfaches der minimalen diastolischen Amplitudenhöhe betragen. Praktisch wichtig ist, daß die oben genannten Ableitstellen nicht schematisch optimale Pulsationen ergeben, sondern daß durch ge-

ringes Verschieben des Meßkopfes im Bereich des jeweils angegebenen *Areals die größte Reflexion gesucht werden muß*. Außerdem ist sorgfältig darauf zu achten, daß während der Beschallung von beiden Seiten keine Änderung der Verstärkung, Impulsstärke oder des Tiefenausgleiches vorgenommen wird. *Diese pulsierenden Echos erscheinen echoencephalographisch konstant in einer bestimmten Tiefe, die dem Abstand des Gefäßes von der Kopfhaut entspricht.*

Die fortlaufende Registrierung der pulsierenden Echos wurde durch eine *vertikale Schlitzblende* vor dem Bildschirm des Echoencephalographen auf waagrecht transportierendem Film durchgeführt, die das pulsierende Echo aus den lateralen Re-

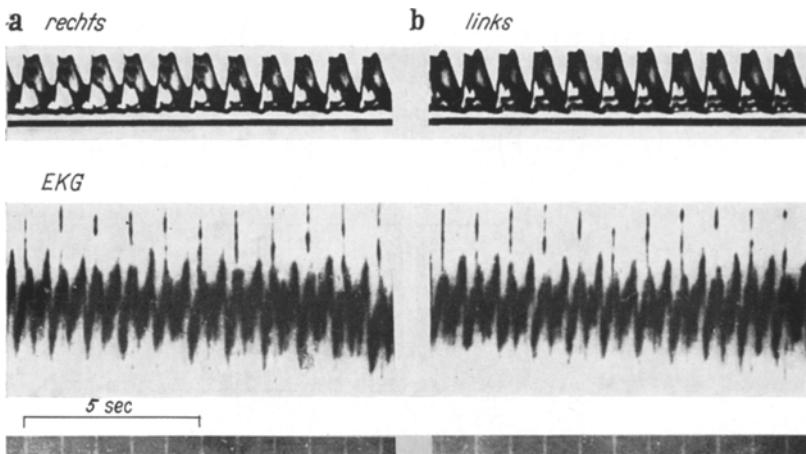


Abb.3. Seitenvergleich normaler pulsierender Echoreflexionen der *A. carotis interna* eines Gesunden bei fortlaufender Registrierung. a rechte, b linke *A. carotis int.* in 7,0 cm Gewebstiefe. c EKG mit derselben Filmgeschwindigkeit zur Kontrolle der Pulsrhythmen. Zeitmarke 1 sec

flexionen (in Abb.1) herausblendet. Die Filmgeschwindigkeit betrug in der Regel 0,5 mm/sec. Die Registrierung der Pulsationen erfolgte nacheinander von den korrespondierenden Ableitstellen der linken und rechten Schädelhälfte (Abb.3).

Ergebnisse

Abb.3 zeigt eine fortlaufende Registrierung von Pulsationen der rechten und linken *A. carotis interna* mit dem Elektrokardiogramm (EKG) mit gleicher Filmgeschwindigkeit. Man erkennt regelmäßige, etwa seitengleiche Pulsationen der *A. carotis interna*. Diese lassen sich bei allen gesunden und Hirnkranken in einer Tiefe von 5,5—7,5 cm — je nach Kopfdurchmesser — bei Ableitung von dem oben genannten Areal registrieren. Ähnliche, geringere Echopulsationen erhält man für die *A. cerebri posterior* in etwa 6 cm Tiefe. Die in der Fissura sylvii verlaufenden *Mediaäste* können in etwa 2—4 cm Tiefe Seitenvergleichbare Echopulsationen auslösen. Bei Beschallung der *A. cerebri anterior* läßt sich *kein* sicherer Seitenvergleich durchführen, da hier wegen des Verlaufes der Arterie in der Mittellinie lediglich ein einzelnes pulsierendes

Echo erhalten wird. Ein brauchbares Pulsecho basaler Gefäße der hinteren Schädelgrube konnten wir bisher nicht erhalten, offenbar wegen der hohen Schallimpedanz der den Aa. vertebrales und basilaris benachbarten Knochenstrukturen.

Die Pulsationen der A. carotis interna lassen sich durch *Kompression* der A. carotis communis teilweise oder vollständig unterdrücken, während die Pulsationen der Mediaäste und der A. cerebri posterior nur kleiner werden oder sich nicht ändern.

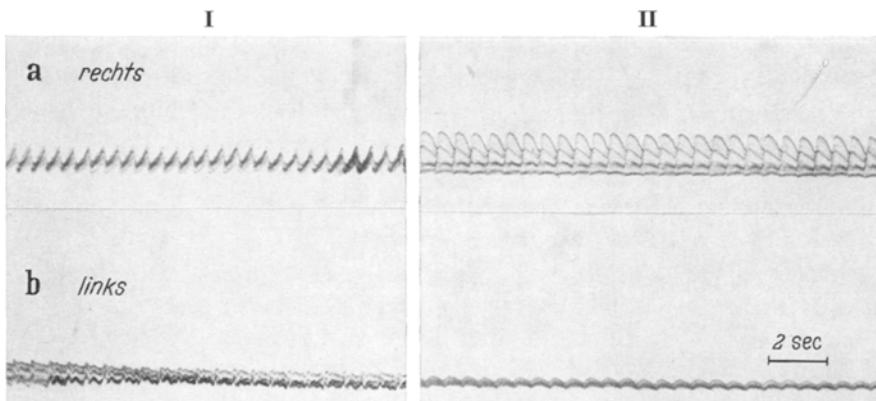


Abb. 4. Pathologische Verminderung der Echopulsationen bei Carotisverschluß links. Seitenvergleich von der rechten a und linken b A. carotis int. bei zwei Patienten mit angiographisch nachgewiesener Carotisthrombose. I Thrombose der A. carotis comm. links vor Gabelung (im Carotissämm, oberes Drittel nach Aortenabgang). II Thrombose der A. carotis int. links (im Carotissinus nach der Gabelung). Registrierung des ersten lateralen Echoes wie in Abb. 3a, b. Man erkennt, daß die pulsierenden Echoreflektionen bei gleicher Verstärkung und Tieftenausgleichung erheblich (auf etwa ein Fünftel der Amplitudenhöhe) reduziert sind. Wahrscheinlich entstehen diese kleinen restlichen Pulsationen links durch Umgebungspulsationen

Meistens findet sich bei optischer Betrachtung der Carotispulsationen ein gering pulsierendes Mittelecho, welches gegenüber der A. carotis interna genau entgegengesetzte Amplitudenänderungen zeigt.

Die Abb. 4 zeigt Seitenvergleiche der Echopulsationen beider Aa. carotis internae bei zwei Patienten mit komplettem, arteriographisch nachgewiesenem *Carotisverschluß*. Fall 1: Thrombose der linken A. carotis communis; Fall 2: Thrombose der linken A. carotis interna. Man sieht, daß die linke A. carotis interna praktisch nicht pulsiert. Die Methode erscheint somit geeignet, Verschlüsse oder stenosierende Gefäßwandprozesse an größeren intrakraniellen Arterienstämmen festzustellen.

Diskussion

Deutung der arteriellen Echopulsationen. Bei den Ultraschallaufzeichnungen arterieller Pulsationen handelt es sich um rein *vertikale* Amplitudenänderungen. Horizontalverschiebungen der Echoreflektionen in der x-Achse können auch bei Vergrößerung nicht beobachtet werden.

Es handelt sich somit nicht um Weg-Zeit-Kurven der Arterienwand wie bei der Registrierung der Bewegung der Herzwand (Lit. siehe EFFERT), sondern um eine Änderung des *Reflexionsfaktors*

$$R = \left(\frac{\rho_2 C_2 - \rho_1 C_1}{\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1} \right).$$

Die Änderungen des Reflexionsfaktors erfolgen in diesem Fall nicht nur durch Elastizitätsänderungen der Gefäßwand, sondern durch Änderung der Oberfläche infolge *Zunahme des Gefäßquerschnittes durch die Pulswelle*. Dies bedingt eine Vergrößerung der reflexierenden Fläche und bessere Reflektionsvoraussetzungen für das Verhältnis des Einfalls- zum Ausfallwinkel, da mit zunehmendem Radius die Krümmung der Gefäßwand kleiner wird. Die Flächenkrümmungsänderungen sind zwar relativ gering, führen aber zu einer deutlichen Intensitätsänderung der reflektierenden Ultraschallenergie, da Gefäße im Vergleich zum Hirngewebe eine relativ hohe Dichte haben.

Für die klinische Beurteilung ist wichtig, daß mit dieser Ultraschallregistrierung lediglich eine *Messung der Pulswelle*, aber nicht der Blutströmung erfolgt. Es sind deshalb keine quantitativen Aussagen über Durchblutungsgrößen möglich. Da die Pulswelle aber unter anderem wesentliche Rückschlüsse auf die Güte der vorhergehenden Gefäßstrecke erlaubt, und nach Gefäßverschlüssen oder größeren Stenosen entweder aufgehoben oder stark vermindert ist, sind ihre Registrierungen für die Diagnostik cerebraler Gefäßverschlüsse verwendbar.

Wegen der bekannten Störanfälligkeit echoencephalographischer Untersuchungen gegen mechanische Einflüsse ist auf Ruhigstellung des Kopfes des Patienten sowie auf optimale und genaue Befestigung des Meßkopfes besonderer Wert zu legen. Vor jeder Registrierung ist weiterhin sorgfältig zu prüfen, ob die angezielte Pulsation *maximal* ist oder durch geringe Lageveränderungen des Meßkopfes noch verbessert werden kann.

Die Registrierung intrakranieller arterieller Pulsationen ist zur Zeit aus den genannten Gründen noch unvollkommen und noch nicht als Standardmethode zu verwenden. Technische Verbesserungen sind weiter zu entwickeln. Da jede gefahrlose Methode zur Diagnose cerebraler Gefäßverschlüsse, die eine Arteriographie ersparen könnte, wertvoll wäre, erscheint ein weiterer Ausbau der Methodik mit Anwendung bei cerebralen Gefäßerkrankungen von praktischem Interesse.

Zur Diagnostik von cerebralen Gefäßverschlüssen, Carotisthrombosen und Stenosen sind noch Untersuchungen an einem größeren Krankengut notwendig. Über die Ergebnisse dieser begonnenen Untersuchungen wird später berichtet werden.

Zusammenfassung

Eine neue Methode zur fortlaufenden Registrierung intrakranieller Pulsationen mit Ultraschall wurde aus der Echoencephalographie entwickelt. Die Untersuchungen zeigen, daß seitenvergleichbare Pulsationen der A. carotis interna, der A. cerebri posterior und der Mediaäste in der Fissura sylvii registriert werden können. Bei Gesunden und Patienten mit intakter arterieller Durchblutung sind diese Echopulsationen bilateral etwa symmetrisch registrierbar. Bei einseitigem Carotisverschluß fehlen die homolateralen Pulsationen oder sind im Vergleich zur gesunden Seite stark vermindert. Die Methode kann für die Diagnostik von Carotisthrombosen und von Gefäßverschlüssen oder Stenosen der großen Hirnarterien verwendet werden.

Literatur

- ¹ DREESE, M. J., and M. G. NETZKY: Studies of lateral reflections in the echo-encephalogram. *Neurology (Minneap.)* **14**, 521 (1964).
- ² EFFERT, S.: Der derzeitige Stand der Ultraschallkardiographie. *Arch. Kreisl.-Forsch.* **30**, 213 (1959).
- ³ WIEDAU, E., u. O. RÖHER: *Ultraschall in der Medizin*. Dresden u. Leipzig: Th. Steinkopf 1963.

Dr. H.-J. FREUND,
Neurologische Klinik mit Abt. für Neurophysiologie der Universität,
78 Freiburg i. Br., Hansastr. 9a