

K. H. Deeg
H. M. Lode

Transfontanelläre Doppler-Sonographie der Hirnvenen im Säuglingsalter

Teil I – Normalbefunde

Trans-fontanellar Doppler Sonography of the Intracranial Veins in Infants Part I – Normal Values

Zusammenfassung

Die dopplersonographische Flussmessung in den intrakraniellen Venen des Säuglings ist wenig etabliert. Für das Verständnis intrakranieller Pathologien wie z.B. von Gefäßfehlbildungen, intrakraniellen hämorrhagischen Infarzierungen und Sinusvenenthrombosen ist jedoch eine fundierte Kenntnis der Anatomie der intrakraniellen Venen und deren Strömungsverhältnisse essenziell wichtig. In der vorliegenden Arbeit wird der normale anatomische Verlauf der wichtigsten Hirnvenen und deren Flussprofile dargestellt. Folgende Hirnvenen können im Sagittalschnitt farbdopplersonographisch dargestellt und mit der gepulsten Doppler-Sonographie gemessen werden: Sinus sagittalis superior und inferior, Sinus rectus, Vena cerebri interna, Vena Galeni magna und die Venae thalamostriatae. Im Koronarschnitt können der Sinus sagittalis superior, rectus und transversus sowie die medullären und subependymalen Venen, die Venae terminales, cerebri internae sowie die Vena Galeni magna und die thalamostriären Venen abgebildet und gemessen werden.

Schlüsselwörter

Doppler-Sonographie · intrakranielle Venen · Säuglinge · Normalbefunde

Abstract

Dopplersonographic flow measurements in the intracranial veins of infants are not often applied. For the understanding of intracranial pathology such as vascular malformations, intracranial hemorrhagic infarction and venous thrombosis, a thorough understanding of the anatomical position and of the normal flow profiles and flow velocities in intracranial veins is essential. We describe the normal anatomic course of the cerebral veins and their flow profiles and flow velocities in infants. In sagittal sections, the following veins can be shown by colour coded Doppler sonography and measured by pulsed Doppler sonography: The superior and inferior sagittal sinus, and the straight sinus as well as the internal cerebral vein, the vein of Galen and the thalamostriatic veins. In coronal sections, the medullary and subependymal veins, the terminal veins, the internal cerebral veins, the great vein of Galen, the superior sagittal, straight and transverse sinus can be demonstrated and measured.

Key words

Doppler sonography · intracranial veins · infants · normal values

Institutsangaben

Klinik für Kinder- und Jugendmedizin, Sozialstiftung Bamberg

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. K. H. Deeg · Klinik für Kinder- und Jugendmedizin, Sozialstiftung Bamberg · Buger Straße 80 · 96049 Bamberg · Tel.: ++ 49/9 51/5 03/27 01 · Fax: ++ 49/5 03/27 05 · E-mail: karl-heinz.deeg@sozialstiftung-bamberg.de

eingereicht: 16.8.2005 · angenommen: 6.10.2005

Bibliografie

Ultraschall in Med 2005; 26: 507–517 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York
DOI 10.1055/s-2005-858881 · Online-Publikation: 2005
ISSN 0172-4614

Mit der zerebralen Doppler-Sonographie kann die Blutströmung in den intrakraniellen Gefäßen gemessen werden. Eine Vielzahl von Publikationen ist über Veränderungen der Blutströmung in den intrakraniellen Arterien in den letzten 20 Jahren erschienen. Demgegenüber haben sich nur wenige Arbeiten mit den intrakraniellen Venen und deren Pathologien beschäftigt. In der vorliegenden Arbeit sollen die dopplersonographisch von der großen Fontanelle aus darstellbaren intrakraniellen Venen und deren Flussprofile sowie Richtwerte der Flussgeschwindigkeiten dargestellt werden. Wichtige Krankheitsbilder, bei denen Veränderungen der venösen Blutströmung eine Rolle spielen, sollen in Teil II der Arbeit dargestellt werden.

Das Gehirn wird von mehreren großen intrakraniellen Sinus drainiert: dem Sinus sagittalis superior, dem Sinus sagittalis inferior, dem Sinus rectus, transversus und sigmoideus (Abb. 1 a). Die weiße Substanz, die Basalganglien, das Ventrikelsystem und die Capsula interna werden von den inneren zerebralen Venen drainiert [12]. Im Einzelnen handelt es sich um medulläre und subependymale Venen, die das Mark drainieren und in die Vena terminalis münden, die Venae thalamostriatae, die die Basalganglien drainieren, die Venae chorioideae, die den Plexus chorioideus drainieren sowie die Vena basalis Rosenthalii, die die basalen Hirnabschnitte drainiert (Abb. 1 b).

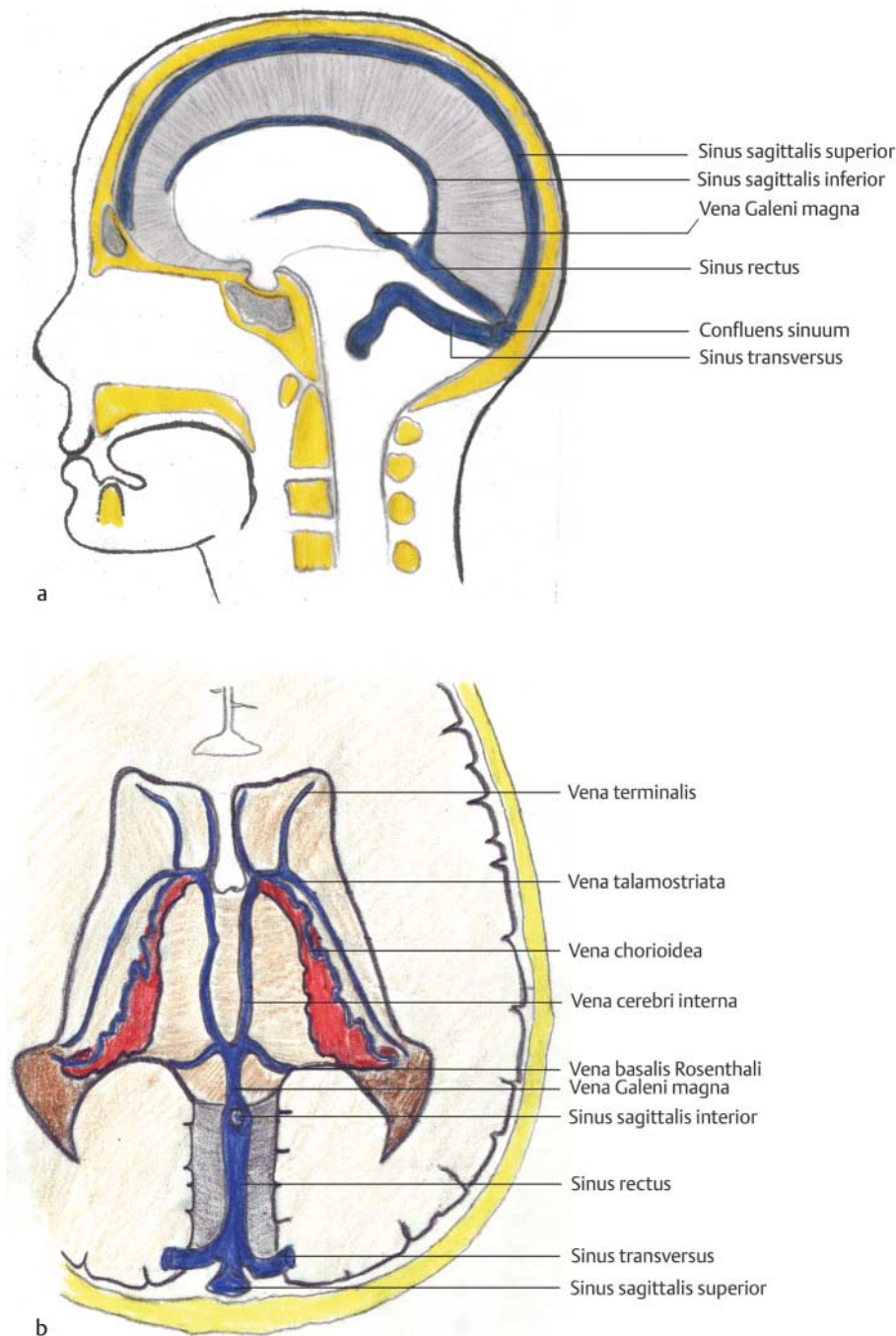


Abb. 1 a Schematische Darstellung der großen Hirnvenen im medianen Sagittalschnitt. b Schematische Darstellung der tiefen Hirnvenen im Axialschnitt.
 Fig. 1 a Diagramm of the great intracranial veins in a midline sagittal section. b Diagram of the deep venous drainage of the brain in axial section.

Die Venae terminales, subependymales, chorioideae und thalamostriatae vereinigen sich mit den beiden Venae basales Rosenthalii zu den Venae cerebri internae (Abb. 1 b). Der Zusammenfluss beider Venae cerebri internae bildet die Vena Galeni magna, die sich ihrerseits mit dem Sinus sagittalis inferior zum Sinus rectus vereinigt (Abb. 1 b).

Dopplersonographisch darstellbare intrakranielle Venen

Von den großen intrakraniellen Venen können der Sinus sagittalis superior und inferior, der Sinus rectus und Sinus transversus mit der farbkodierten Doppler-Sonographie dargestellt und mit der gepulsten Doppler-Sonographie gemessen werden.

Von den genannten kleinen Hirnvenen lassen sich die Venae terminales, die subependymalen Venen, die Venae cerebri internae und die Vena Galeni magna abbilden. Der dopplersonographische Nachweis der Venae thalamostriatae und chorioideae gelingt aufgrund ihrer Kleinheit nicht immer.

Die meisten Venen können sowohl im Sagittal- als auch Koronarschnitt dargestellt werden (Tab. 1, 2).

Tab. 1 Im Sagittalschnitt darstellbare Venen

– Sinus sagittalis superior
– Sinus sagittalis inferior
– Sinus rectus
– Vena cerebri magna Galeni
– Venae cerebri internae
– Venae thalamostriatae

Tab. 2 Im Koronarschnitt darstellbare Venen

– Sinus sagittalis superior
– Sinus transversus
– Sinus rectus
– Vena Galeni magna
– Venae cerebri internae
– Subependymale Venen
– Venae terminales
– Venae thalamostriatae

Normalbefunde

Im Sagittalschnitt darstellbare Venen (Tab. 1)

Sinus sagittalis superior

Der Sinus sagittalis superior kann im medianen Sagittal- und Koronarschnitt mit hochauflösenden Linearschallköpfen abgebildet werden (Abb. 2). Hierzu sollte eine Frequenz von über 7,5 MHz verwendet werden. Der Farbdoppler muss auf eine sehr geringe Nyquistgrenze und damit eine hohe Empfindlichkeit in-

gestellt werden (ca. 2 cm/s). Trotz ungünstiger Winkelverhältnisse lässt sich dann die Blutströmung im Sinus sagittalis superior mit der farbkodierten Doppler-Sonographie darstellen und mit der gepulsten Doppler-Sonographie messen (Abb. 2 a, b).

Mit der gepulsten Doppler-Sonographie kann ein kontinuierlicher Fluss mit puls- und atemsynchronen Amplitudenschwankungen gefunden werden (Abb. 2 c). Im okzipitalen Anteil kann der Sinus sagittalis superior auch in einem medianen Sagittalschnitt mit einem konventionellen Sektorschallkopf abgebildet werden (Abb. 2 d). Hierbei muss der Schallkopf nach hinten gekippt werden und das Doppler-Sonographiegerät auf höchste Empfindlichkeit eingestellt werden, damit die niedrige Blutströmungsgeschwindigkeit im Sinus sagittalis gemessen werden kann. Auf Grund ungünstiger Winkelverhältnisse (> 60°!) ist eine Quantifizierung der Blutströmung im Sinus sagittalis superior fragwürdig und sollte eigentlich unterbleiben.

Sinus sagittalis inferior

Der Sinus sagittalis inferior verläuft oberhalb des Balkens parallel zum Sinus sagittalis superior. Die Blutströmung ist im Sagittalschnitt vom Schallkopf weggerichtet, sodass sich der Sinus sagittalis inferior farbdopplersonographisch blau darstellt (Abb. 4 b). Leider ist die dopplersonographische Flussmessung im Sinus sagittalis inferior dadurch erschwert, dass sich dieser Sinus zusammen mit der A. pericallosa um den Balken schlingt. Auch die A. pericallosa stellt sich über dem Splenium corporis callosi farbdopplersonographisch blau dar, da die Blutströmung vom Schallkopf weggerichtet ist. Mit dem Farbdoppler können beide Gefäße somit nicht sicher voneinander abgegrenzt werden. Mit der gepulsten Doppler-Sonographie ist jedoch im Einzelfall die Unterscheidung möglich. Hierbei platziert man das Messvolumen zunächst im farbdopplersonographisch darstellbaren Gefäß. Erhält man zunächst ein arterielles Signal, so liegt das Messvolumen in der A. pericallosa. Um die Blutströmung im Sinus sagittalis inferior zu messen, kippt man den Schallkopf etwas zur Seite oder verschiebt das Messvolumen leicht nach kranial oder kaudal, bis man ein venöses Strömungssignal erhält, das dann dem Sinus sagittalis inferior entspricht.

Charakteristisch ist eine bandförmige Blutströmung mit atem- und pulssynchronen Amplitudenschwankungen.

Kleine intrazerebrale Venen

Die tiefe venöse Drainage der inneren Zerebralvenen erfolgt über die beiden Venae cerebri internae, die Vena Galeni magna und den Sinus rectus (Abb. 3).

In einem leicht von der Mittellinie abweichenden Sagittalschnitt kann eine der beiden Venae cerebri internae sowie die Vena Galeni magna und der Sinus rectus hinter dem 3. Ventrikel dargestellt werden. Die drei genannten Venen gehen fließend ineinander über und bilden dabei das Spiegelbild eines S (Abb. 4 a, b, c). Hinter dem 3. Ventrikel lässt sich eine der beiden Venae cerebri internae darstellen (Abb. 4 a). Danach wendet sich das Gefäß nach okzipital und läuft unter dem Splenium corporis callosi. Dieser horizontale Verlauf entspricht der Vena Galeni magna

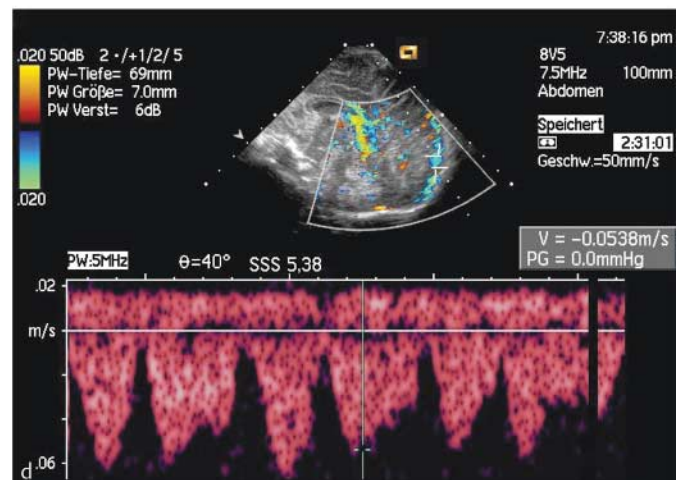
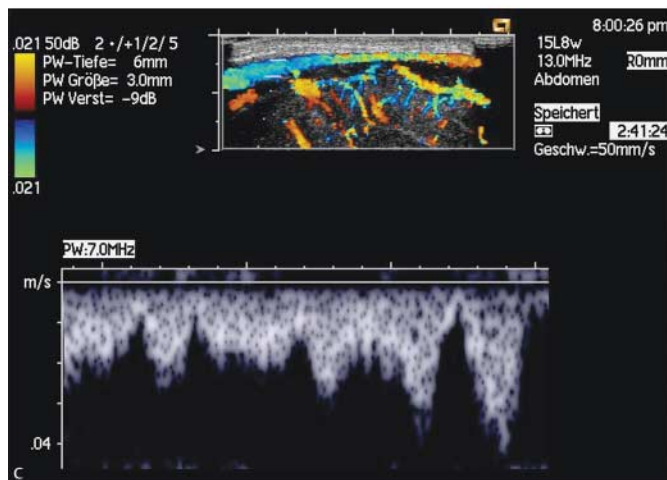
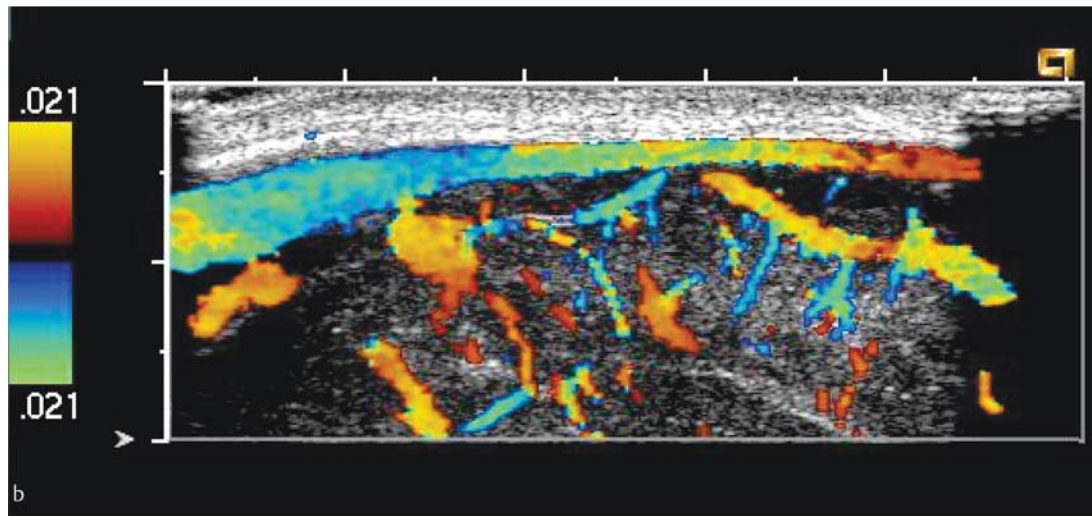
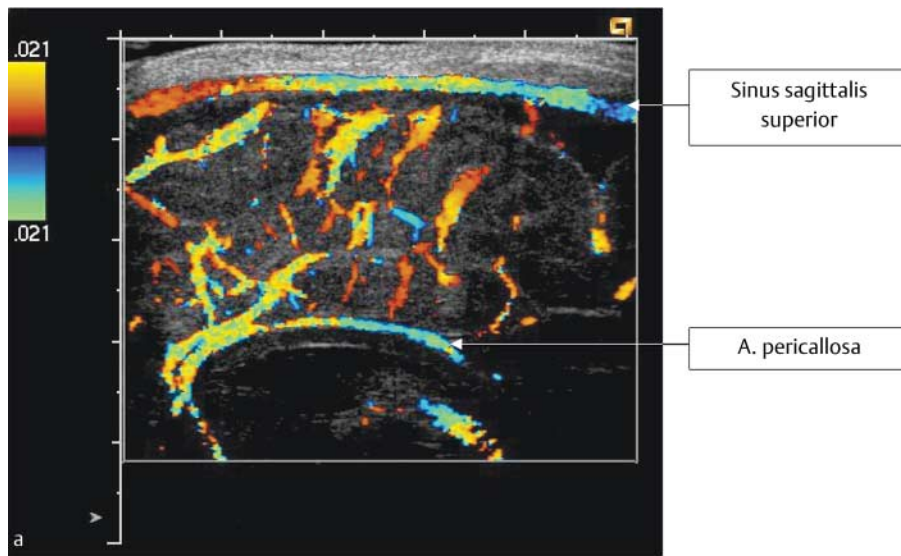


Abb. 2 a Darstellung des Sinus sagittalis superior und der Arteria pericallosa im medianen Sagittalschnitt mit einem hochauflösenden Linearschallkopf von 13 MHz. Der Sinus sagittalis inferior verläuft parallel mit der Arteria pericallosa. **b** Darstellung des Sinus sagittalis superior mit einem hochauflösenden Linearschallkopf von 13 MHz. Trotz ungünstigem Einfallswinkel kann die Blutströmung mit der farbkodierten Doppler-Sonographie dargestellt werden, wenn die Nyquistgrenze empfindlich genug eingestellt wird (hier 2,1 cm/s). **c** und **d** Dopplersonographische Flussmessungen im Sinus sagittalis superior mit der gepulsten Doppler-Sonographie. Kontinuierliche Blutströmung mit breitem Frequenzspektrum und atem- und pulssynchronen Amplitudenschwankungen mit einer Flussgeschwindigkeit zwischen 2 und 6 cm/s.

Fig. 2 a Sagittal section through the midline with a high resolution linear transducer of 13 MHz. The image shows the superior sagittal sinus as well as the pericallosal artery, which runs parallel to the inferior sagittal sinus. **b** Imaging of the superior sagittal sinus with a high resolution linear transducer of 13 MHz. Although the angle of incidence is bad, blood flow can be shown by colour coded Doppler sonography, if the Nyquist limit is sensitive enough (2.1 cm/s). **c** and **d** Pulsed Doppler sonographic flow measurement within the superior sagittal sinus. Continuous blood flow with a broad frequency spectrum. Alterations of the peak flow velocities caused by respiratory movements.

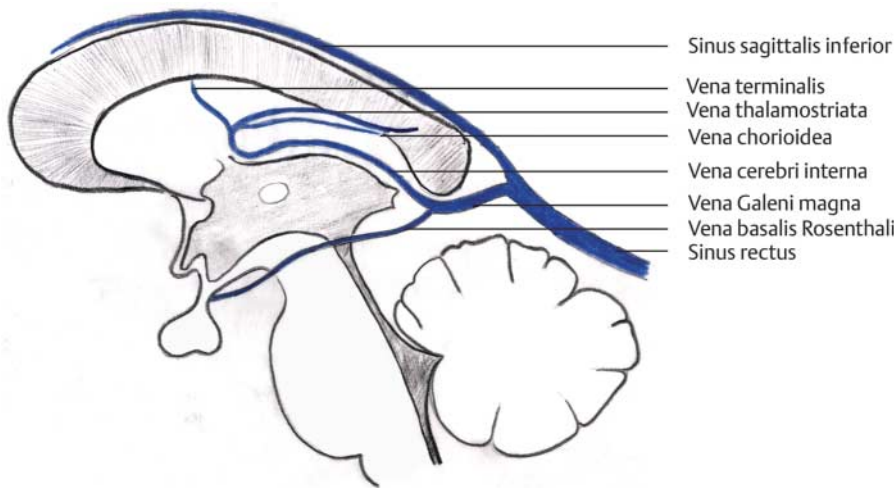


Abb. 3 Tiefe venöse Drainage über die Vena Galeni magna, den Sinus sagittalis inferior und den Sinus rectus. Die tiefen Venen drainieren das Mark, die Basalganglien, die germinale Matrix und den Plexus chorioideus.

Fig. 3 Diagramm of the deep venous drainage by the way of the great vein of Galen, the inferior sagittal sinus and the straight sinus. The deep cerebral veins drain the white matter, the basal ganglia, the germinal matrix and the choroid plexus.

(Abb. 4 a, b). Anschließend ändert das Gefäß wieder seine Richtung nach kaudal und bildet dort den Sinus rectus (Abb. 4 b, c). Bevor die Vena Galeni magna nach kaudal ihre Richtung ändert, nimmt sie von kranial den Sinus sagittalis inferior auf (Abb. 4 b). Nach dem Zusammenfluss der Vena Galeni mit dem Sinus sagittalis inferior bilden diese Venen den Sinus rectus (Abb. 4 c).

Im Bereich der Vena cerebri interna und des Sinus rectus liegen günstige Einfallswinkel vor, sodass hier die Blutströmung im Sagittalschnitt mit der gepulsten Doppler-Sonographie gemessen werden kann (Abb. 5 a, b). In der Vena cerebri interna findet sich ein nahezu kontinuierlicher bandförmiger Fluss mit breitem Frequenzspektrum ohne nennenswerte puls- und atemsynchrone Amplitudenschwankungen. Im Sinus rectus kommt es durch den Zusammenfluss mehrerer Venen (V. Galeni magna und Sinus sagittalis inf.) zu einem Anstieg der Flussgeschwindigkeiten (Abb. 6). Wie in allen größeren intrakraniellen Venen finden sich puls- und atemsynchrone Amplitudenschwankungen (Abb. 6).

Im Koronarschnitt darstellbare Venen (Tab. 2)

Im Koronarschnitt lassen sich die Venae terminales, die subependymalen Venen, die medullären Venen, die Venae cerebri internae, die Vena Galeni magna, der Sinus sagittalis superior und rectus sowie der Sinus transversus und der confluens sinuum darstellen (Tab. 2), (Abb. 7).

Große intrakranielle Venen

Der Sinus sagittalis superior kann im Koronarschnitt an der Hirnoberfläche im zweidimensionalen Schnittbild als dreieckige Struktur mit konkaver Begrenzung dargestellt werden (Abb. 8 a). Mit der farbkodierten Doppler-Sonographie lässt sich die Durchgängigkeit des Sinus sagittalis superior beweisen und von einer Sinusvenenthrombose abgrenzen (Abb. 8 b).

Der Sinus transversus kommt in einem nach okzipital geneigten Koronarschnitt im Bereich der Ansatzstelle des Tentorium cerebelli oberhalb der Kleinhirnhemisphären zur Darstellung (Abb. 8 c). In diesem Bereich lässt sich wie in den anderen großen intrakraniellen Sinus eine bandförmige Blutströmung mit puls- und atemsynchronen Amplitudenschwankungen finden (Abb. 8 d).

Eine weitere Möglichkeit der Darstellung des Sinus transversus ist die Abbildung in axialen Schnittebenen durch die hintere Seitenfontanelle.

Kleine intrakranielle Venen

Venae terminales und subependymales

Die Venae terminales kommen in einem Koronarschnitt am Boden der Seitenventrikel zur Darstellung. Mit hochauflösenden Linearschallköpfen und einer niedrigen Nyquistgrenze können die Venen am Boden (V. terminales) und Dach (subependymale Venen) der Seitenventrikel abgebildet werden (Abb. 9 a).

Dopplersonographische Flussmessungen in diesem Bereich zeigen eine kontinuierliche Blutströmung ohne nennenswerte Amplitudenschwankungen und breitem Frequenzspektrum. (Abb. 9 b). Die Venae terminales und subependymales nehmen die medullären Venen auf, die die gesamte weiße Substanz drainieren. Mit konventionellen Schallköpfen lassen sich die medullären Venen nicht abbilden. Mit hochauflösenden Linearschallköpfen und einer Frequenz > 10 MHz können die medullären Venen jedoch farbdopplersonographisch dargestellt werden (Abb. 9 c).

Venae cerebri internae

Verfolgt man die Venae terminales weiter nach kaudal und okzipital in einem nach hinten geneigten Koronarschnitt (Abb. 10), können beide Venae cerebri internae paramedian neben dem Cavum septi pellucidi dargestellt werden (Abb. 10 a). Auf Grund des Partialvolumeneffektes ist es jedoch oft nicht möglich, beide Venen voneinander abzugrenzen (Abb. 10 c). Neben den Venae terminales erhalten die Venae cerebri internae Blut aus den Venae chorioideae, die den Plexus chorioideus drainieren und den Venae thalamostriatae, die die Basalganglien drainieren (Abb. 10 b). Diese Venen sind nur im Einzelfall farbdopplersonographisch darstellbar.

In beiden Venae cerebri internae kann eine kontinuierliche bandförmige Blutströmung mit breitem Frequenzspektrum nachgewiesen werden (Abb. 10 c). Beide Venae cerebri internae vereinigen sich hinter dem Balkenknie zur Vena Galeni magna, die in einem weniger weit nach okzipital gezeigten Koronarschnitt dargestellt werden kann.

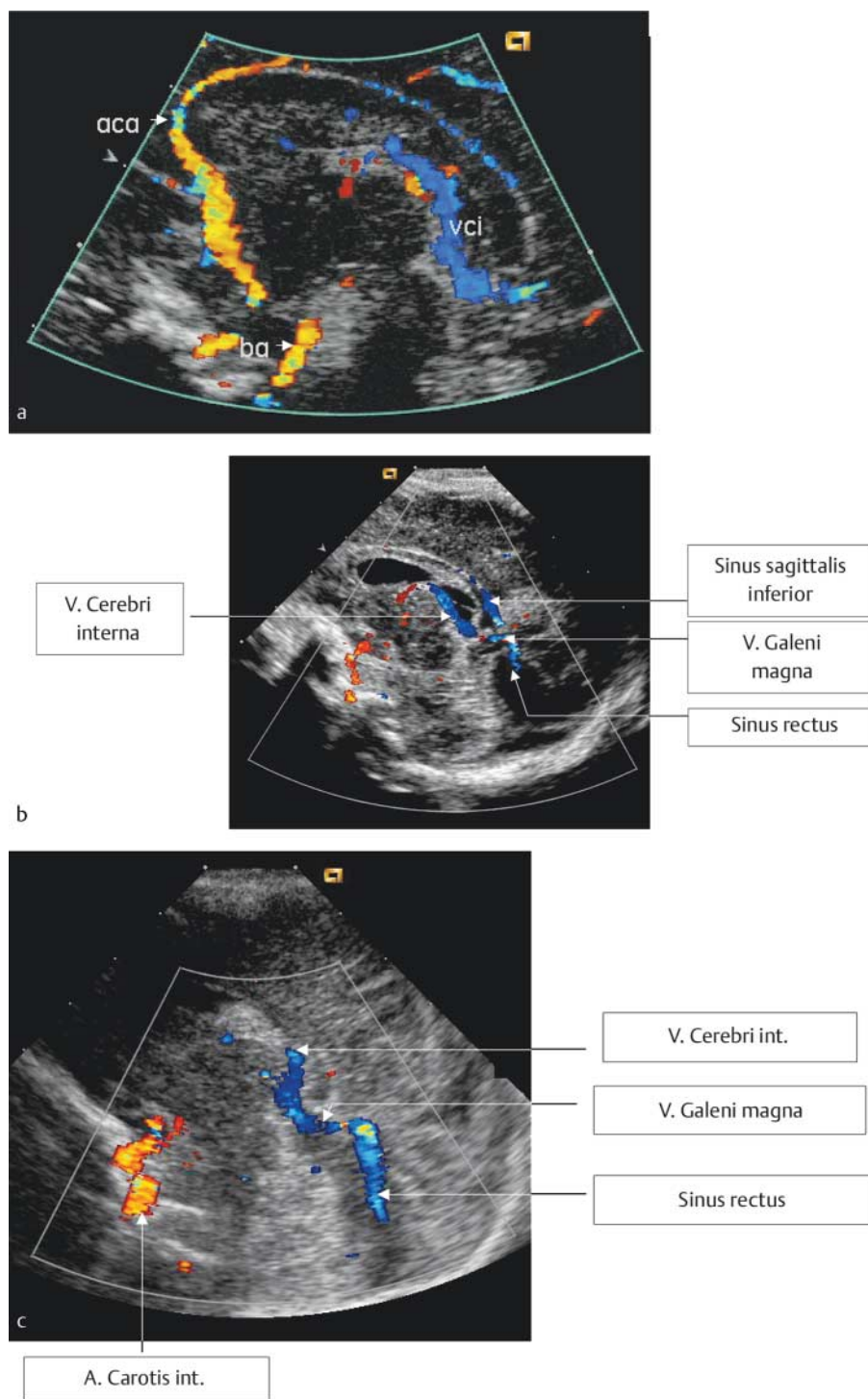


Abb. 4 **a** Darstellung der Vena cerebri interna im medianen Sagittalschnitt, ACA = Arteria cerebri anterior, BA = Arteria basilaris, VCI = Vena cerebri interna, VG = Vena cerebri magna Galeni. **b** Verlauf der inneren Hirnvenen im medianen Sagittalschnitt. Hinter dem Cavum septi pellucidi kommt ein septiertes Cavum Vergae zur Darstellung. Vor dem Cavum Vergae verläuft die Vena cerebri interna, oberhalb der Sinus sagittalis inferior, die sich mit der Vena Galeni magna (unter dem Splenium corporis callosi) zum Sinus rectus vereinigt. **c** Verlauf der inneren zerebralen Venen im medianen Sagittalschnitt. Die Vena cerebri interna verläuft vor, die Vena Galeni magna unterhalb des Splenium corporis callosi.

Fig. 4 **a** Sagittal section through the midline. Colour Doppler imaging of the internal cerebral vein (VCI), the great vein of Galen (VG), the basilar (BA) and anterior cerebral artery (ACA). **b** Course of the inner cerebral veins in a sagittal section through the midline. The internal cerebral vein is shown in front of the cavum Vergae, the inferior sagittal sinus cranially to the cavum Vergae. The great vein of Galen is shown beneath the splenium corporis callosi. The inferior sagittal sinus and the great vein of Galen together form the straight sinus. **c** Course of the deep cerebral veins in a sagittal section through the midline. The internal cerebral veins are shown in front of the splenium corporis callosi, the great vein of Galen beneath the splenium corporis callosi.

Neigt man den Schallkopf noch etwas weniger weit nach okzipital, kann auch der Sinus rectus mit der farbkodierten Doppler-Sonographie abgebildet und mit der gepulsten Doppler-Sonographie gemessen werden (Abb. 11 a, b). Da das Gefäß durch den Zusammenfluss der Vena Galeni mit dem Sinus sagittalis inferior entsteht, kommt es zu einem Anstieg der Flussgeschwindigkeiten (Abb. 11 b).

Die Abgrenzung der Vena Galeni magna vom Sinus rectus ist im Koronarschnitt schwieriger als im Sagittalschnitt.

Flussgeschwindigkeiten in den intrakraniellen Venen (Tab. 3)

Sinus sagittalis superior

Bezinque et al. [1] ermittelten im Sinus sagittalis superior bei reifen Neugeborenen eine maximale Flussgeschwindigkeit von $16,9 \pm 17,3$ cm/s und bei Frühgeborenen (≤ 36 Wochen) $12,9 \pm 10,5$ cm/s. Taylor et al. konnte eine mittlere Flussgeschwindigkeit von 9,2 cm/s finden [13].

Diese Werte entsprechen den von Hirabuki et al. kernspintomographisch gemessenen Werten von $12,3 \pm 2,8$ cm/s [10].

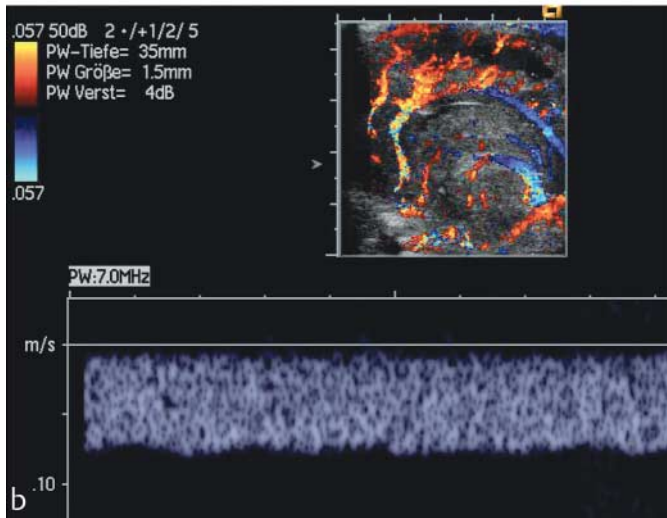
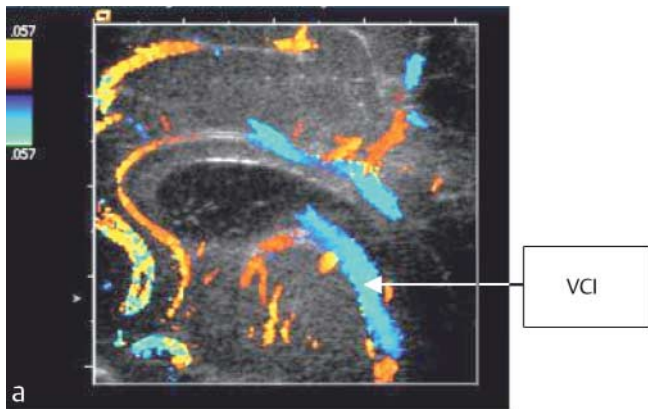


Abb. 5 a, b Dopplersonographische Flussmessungen in der Vena cerebri interna (VCI) (medianer Sagittalschnitt). Kontinuierliche Blutströmung mit breitem Frequenzspektrum und einer maximalen Flussgeschwindigkeit von ca. 7 cm/s.

Fig. 5 a, b Flow measurement in the internal cerebral vein (VCI) (Sagittal section through the midline). Continuous blood flow with broad frequency spectrum and a peak flow velocity of 7 cm/sec.

Wie bereits erwähnt ist eine Quantifizierung der Flussgeschwindigkeiten im Sinus sagittalis superior aufgrund ungünstiger Winkelverhältnisse ($> 60^\circ$) fragwürdig.

Sinus sagittalis inferior

Normalwerte der mittleren Flussgeschwindigkeit im Sinus sagittalis inferior wurden von Taylor et al. für reifgeborene Neugeborene mit 3,5 cm/s angegeben [13].

Sinus rectus

Flussgeschwindigkeiten im Sinus rectus wurden von Pfannschmidt et al. [11] erhoben: Sie fanden bei Neugeborenen und jungen Säuglingen eine maximale Flussgeschwindigkeit von $12,6 \pm 7,8$ cm/s [11]. Taylor et al. ermittelten eine mittlere Flussgeschwindigkeit von 5,9 cm/s [13].

Vena Galeni magna

Taylor et al. ermittelten bei Reifgeborenen in der Vena Galeni magna eine mittlere Flussgeschwindigkeit von 4,3 cm/s [13], Winkler et al. [14] von 5,6 cm/s. Fenton et al. [9] konnten maximale Flussgeschwindigkeiten zwischen 2,3 und 9,5 cm/s nachweisen.

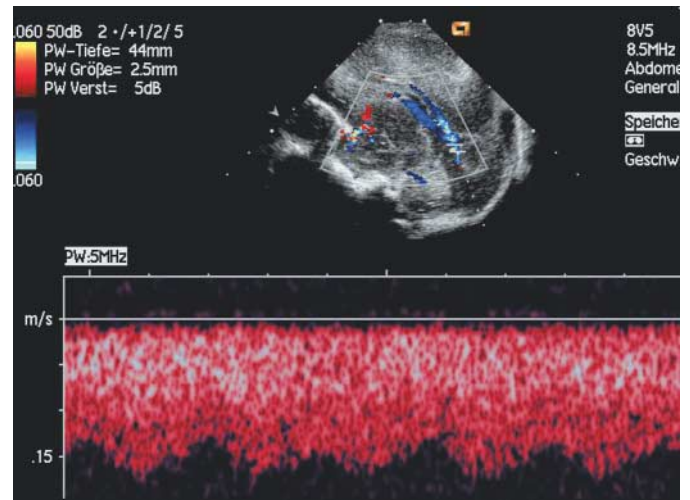


Abb. 6 Dopplersonographische Flussmessung im Sinus rectus nach Zusammenfluss der Sinus sagittalis inferior mit der Vena cerebri magna Galeni und den beiden Venae basales Rosenthali. Anstieg der Flussgeschwindigkeit auf 15 cm/s im Vergleich mit den niedrigeren Flussgeschwindigkeiten in den Venae terminales und Venae cerebri internae.

Fig. 6 Dopplersonographic flow measurement within the straight sinus after the confluents of the inferior sagittal sinus, the great vein of Galen and both basal veins of Rosenthal. Increase of the flow velocities to 15 cm/sec in comparison with the lower flow velocities in the terminal and internal cerebral veins.

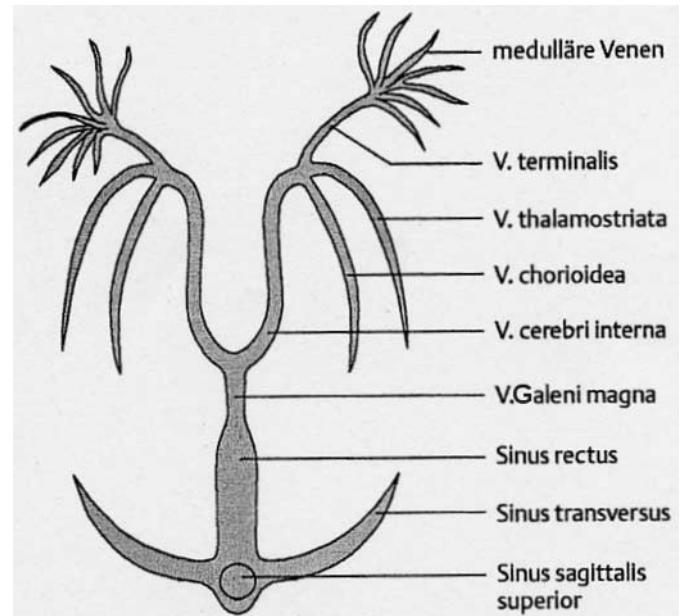


Abb. 7 Schematische Darstellung der tiefen venösen Drainage (aus Hoffmann V., Deeg K.H. und Hoyer P., Ultraschall in Pädiatrie und Kinderchirurgie. Deeg K.H., Zentrales Nervensystem, Thieme 2005)

Fig. 7 Diagramm of the deep venous drainage (From Hoffmann V., Deeg K.H. und Hoyer P., Ultraschall in Pädiatrie und Kinderchirurgie. Deeg K.H., Zentrales Nervensystem, Thieme 2005)

Vena cerebri interna

Pfannschmidt et al. fanden eine maximale Flussgeschwindigkeit von $5,5 \pm 1,6$ cm/s [11], Taylor et al. konnten demgegenüber eine mittlere Flussgeschwindigkeit von 3,3 cm/s messen [13].

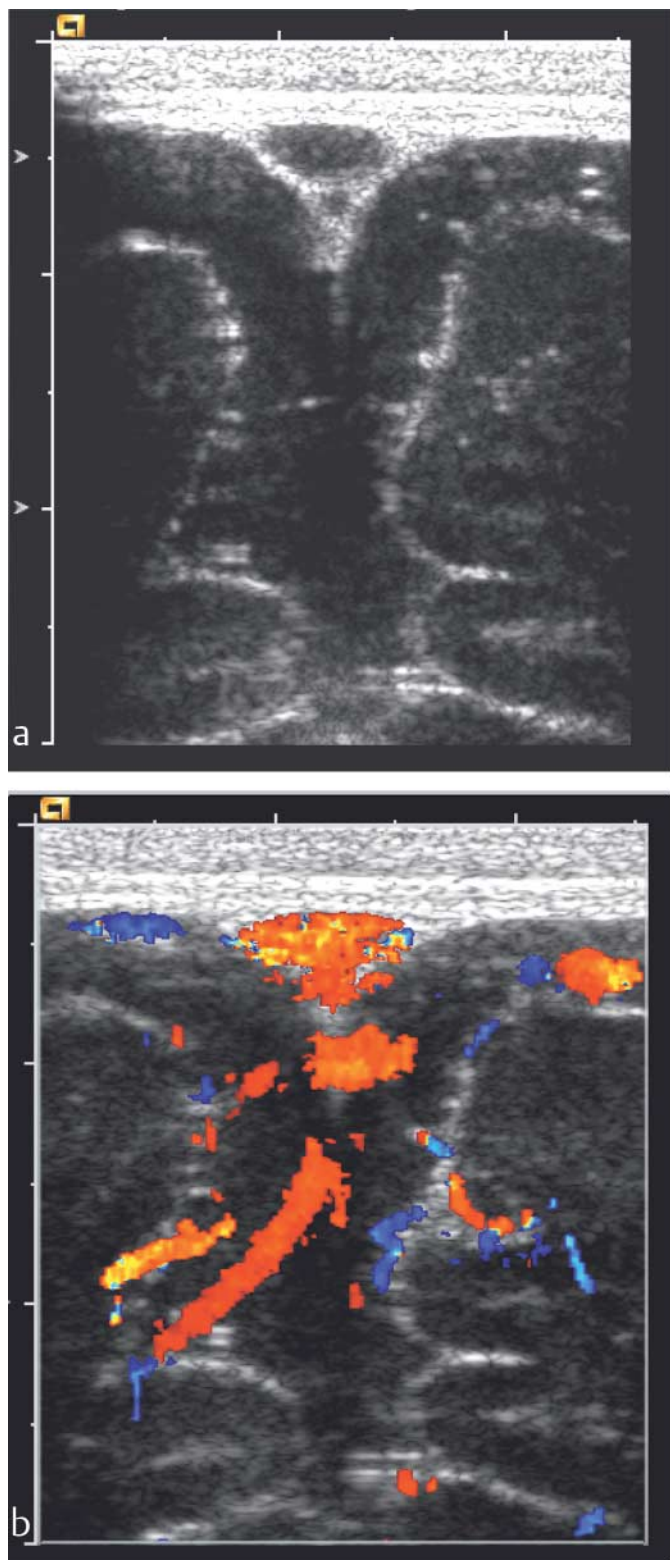


Abb. 8 **a** 2-dimensionales Schnittbild: Darstellung des Sinus sagittalis superior im Koronarschnitt. Der Sinus sagittalis superior stellt sich als dreieckige Struktur mit konkaver Begrenzung dar. **b** Farbkodierte Doppler-Sonographie der Blutströmung im Sinus sagittalis superior. Neben dem Sinus sagittalis superior sind einzelne Brückenvenen abgebildet. **c** und **d** Dopplersonographische Flussmessungen im Sinus transversus im nach hinten geneigten Koronarschnitt. **c** Mit der farbkodierten Doppler-Sonographie kommt der Sinus transversus am Tentorium-Ansatz zur Darstellung. **d** Mit der gepulsten Doppler-Sonographie finden sich puls- und atemsynchrone Amplitudenschwankungen. Auf Grund des nicht bekannten Einfallswinkels können die Flussgeschwindigkeiten nicht quantifiziert werden.

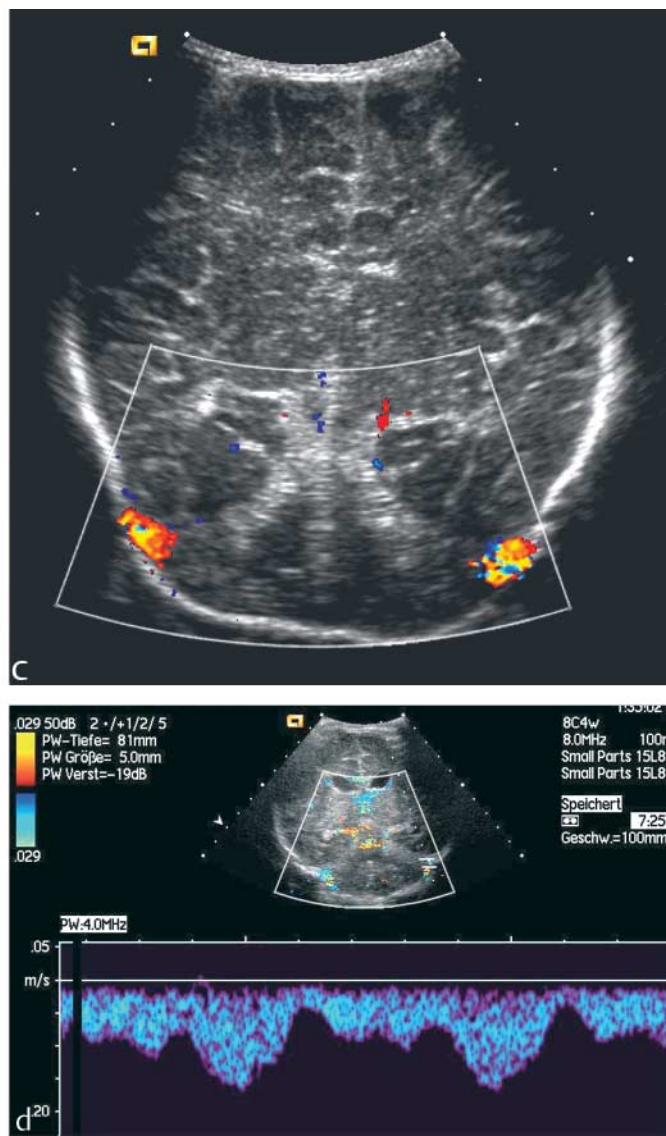


Fig. 8 **a** 2D-imaging of the superior sagittal sinus with in a high resolution linear transducer in a coronal section. The superior sagittal sinus has a triangular shape with concave borders. **b** Colour coded Doppler sonography of blood flow in the superior sagittal sinus. Beside the sinus two bridging veins are displayed. **c** and **d** Dopplersonographic flow measurement in the transverse sinus in a posterior coronal section. **c** Colour coded Doppler sonography shows the transverse sinus at the insertion of the tentorium cerebelli. **d** Pulsed Doppler sonography shows alterations of the amplitude caused by respiratory movements. As the angle of incidence is not exactly known flow velocities cannot be quantified.

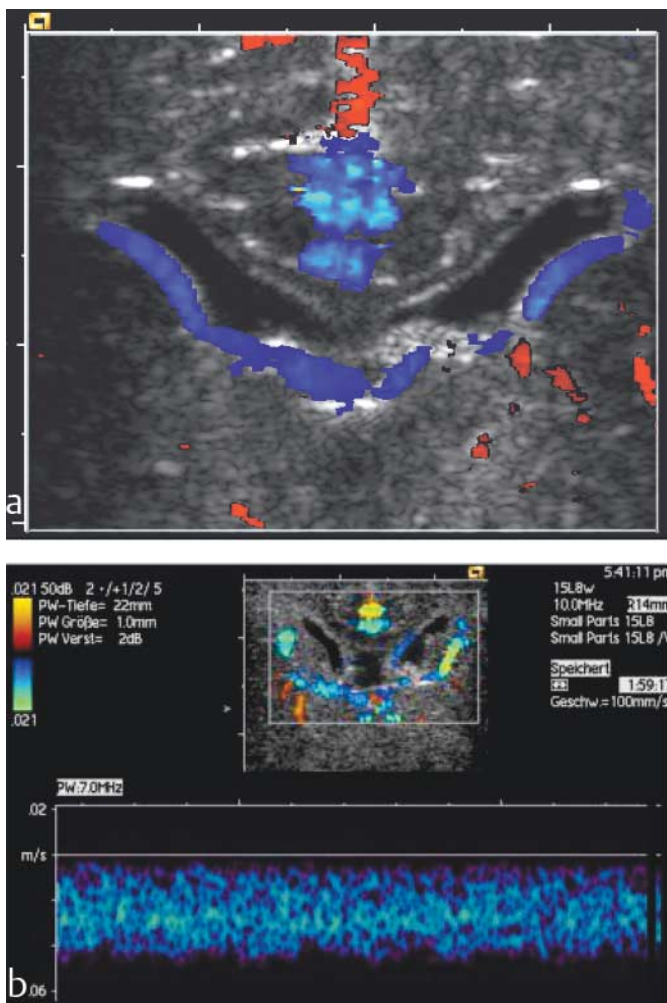


Abb. 9 a und b Farbkodierte dopplersonographische Darstellung der Venae terminales und der subependymalen Venen. Die Venae terminales verlaufen am Boden, die subependymalen Venen am Dach der Seitenventrikel. Die Venae terminales und die subependymalen Venen drainieren die medullären Venen aus dem Mark. Mit der gepulsten Doppler-Sonographie kann eine kontinuierliche Blutströmung mit einer Flussgeschwindigkeit von ca. 4 cm/s nachgewiesen werden. c Darstellung der medullären Venen, die in die subependymalen Venen und in die Vena terminalis münden mit einem 11 MHz-Linear-schallkopf (koronare Ausschnittsvergrößerung in Höhe des Seitenventrikelvorderhornes).

Couture et al. konnten bei 419 Säuglingen einen linearen Anstieg der Flussgeschwindigkeiten in der V. cerebri interna mit zunehmendem Alter nachweisen [3]. Mit 32 Wochen betrug die mittlere Flussgeschwindigkeit im Mittel 7,2 cm/s, mit 40 Wochen 9,8 cm/s, mit 2 Monaten 13 cm/s und mit 6 Monaten 14,8 cm/s [3].

Venae terminales/subependymale Venen

Schneider konnte in der V. terminalis von Frühgeborenen der 29. SSW eine maximale Flussgeschwindigkeit von 3,2 cm/s finden. Bis zum Alter von 36. SSW war die maximale Flussgeschwindigkeit auf 4,6 cm/s angestiegen [12].

Taylor et al. fanden bei reifen Neugeborenen in den subependymalen Venen ähnliche Werte mit mittleren Flussgeschwindigkeiten von 3 cm/s [13].

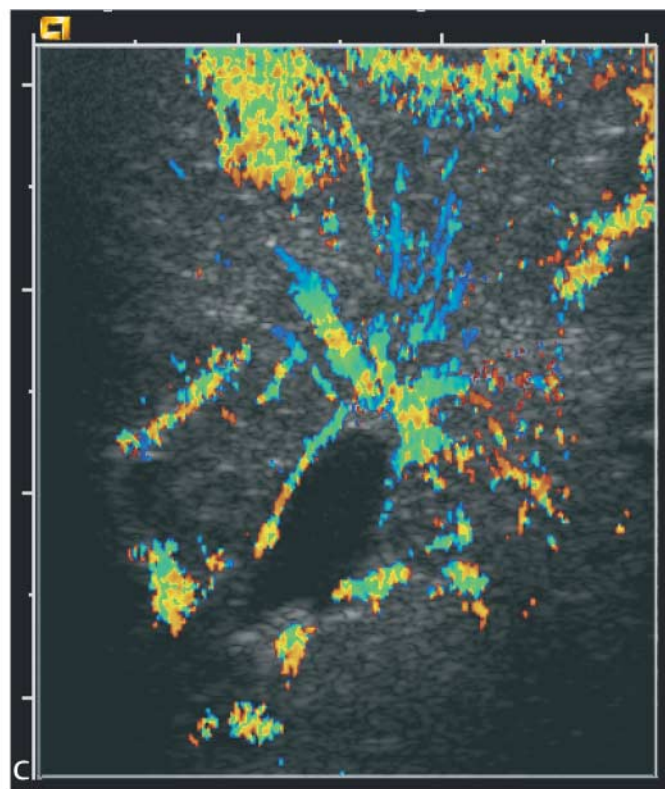
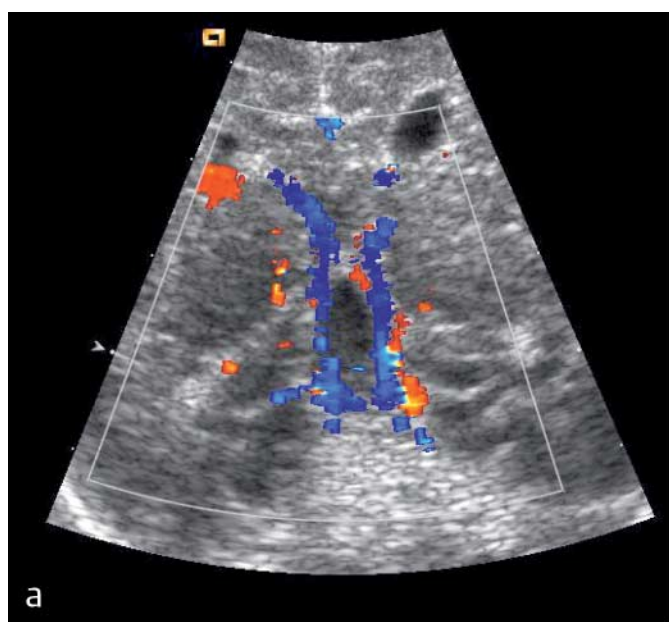


Fig. 9 a and b Colour coded Doppler sonography of the terminal and subependymal veins. The terminal veins run at the bottom, the subependymal veins at the roof of the lateral ventricle. They drain the blood from the white matter by the way of the medullary veins. Pulsed Doppler sonography shows a continuous blood flow with flow velocities of 4 cm/sec. c Imaging of the medullary veins which are drained by the subependymal and terminal veins with a high resolution linear transducer of 11 MHz (coronal view in the region of the frontal horn).

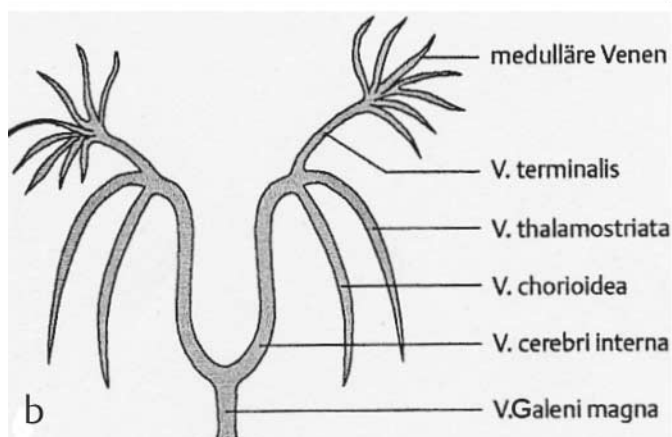
Medulläre Venen

Dopplersonographische Flussmessungen in den medullären Venen sind bisher nicht erfolgt. Dies liegt an der schwierigen Darstellungsmöglichkeit dieser kleinsten Venen. Die Flussgeschwindigkeiten in den medullären Venen liegen nach unseren Erfahrungen bei ca. 2 cm/s.

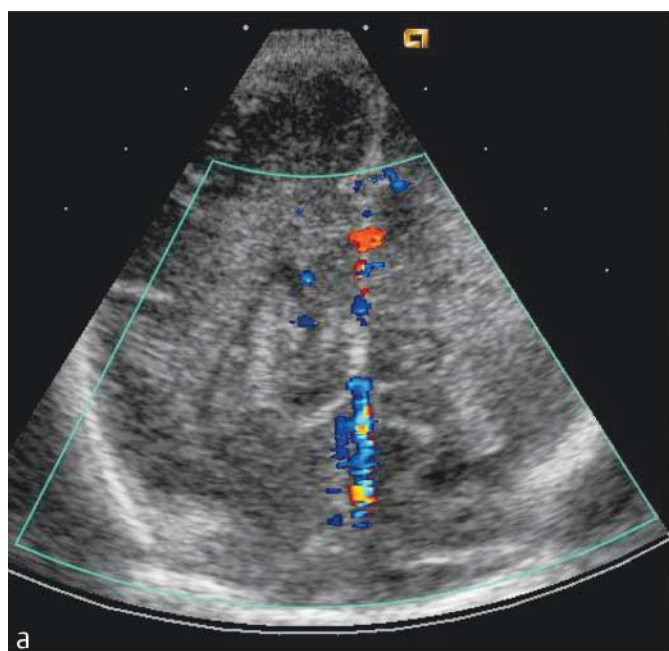
Zusammenfassend gibt es wenig valide Daten bezüglich der Entwicklung der Flussgeschwindigkeit und der Faktoren, die die Blutströmung in den Hirnvenen beeinflussen. Couture fand eine große Variabilität der Flussgeschwindigkeiten [3]. In großen Hirnvenen können höhere Flussgeschwindigkeiten als in kleinen Venen gemessen werden [3]. Weiterhin steigen die Flussgeschwindigkeiten in allen Venen mit zunehmendem Alter an [3, 12].



a



b



a

Abb. 11 **a** und **b** Dopplersonographische Flussmessungen im Sinus rectus (nach hinten geneigter Koronarschnitt). Der Sinus rectus stellt sich in der Mittellinie hinter dem Splenium corporis callosi dar. Mit der gepulsten Doppler-Sonographie findet sich ein kontinuierlicher Fluss mit puls- und atemsynchronen Amplitudenschwankungen und einer Flussgeschwindigkeit von ca. 10 cm/s.

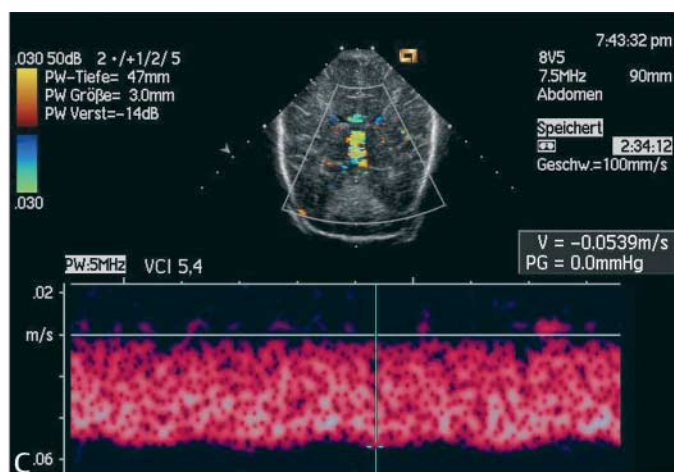
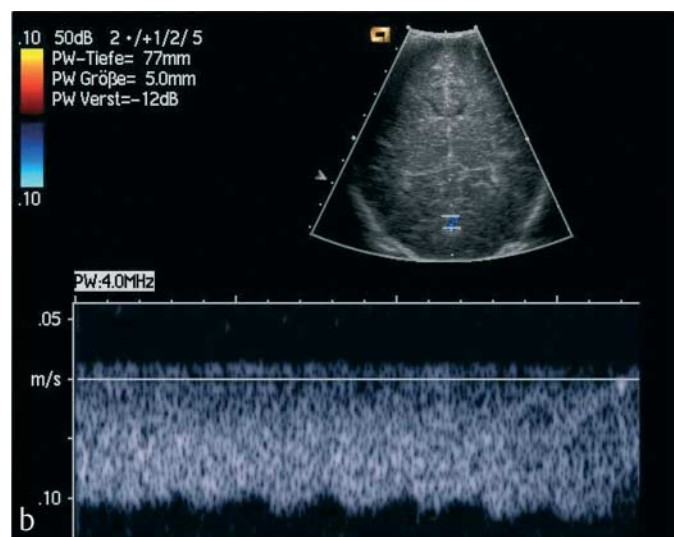


Abb. 10 **a** und **b** Dopplersonographische Flussmessungen in den Venae cerebri internae im nach hinten geneigten Koronarschnitt. **a** Farb-kodierte Doppler-Sonographie: Neben dem Cavum septi pellucidi stellen sich beide Venae cerebri internae dar. Die Venae cerebri internae drainieren das Blut der Basalganglien (Vv. thalamostriatae), des Plexus chorioideus (Vv. chorioideae) und der weißen Substanz (medulläre Venen). **b** Schematische Darstellung der tiefen venösen Drainage. **c** Dopplersonographische Flussmessungen in den Venae cerebri internae. Auf Grund des Partialvolumeneffektes können beide Venae cerebri internae nicht voneinander abgegrenzt werden. Es findet sich eine kontinuierliche Blutströmung mit einer Flussgeschwindigkeit von ca. 5 cm/s.

Fig. 10 **a** and **b** Doppler sonographic flow measurements in the internal cerebral vein in a posterior coronal section. **a** Colour coded Doppler sonography: Lateral to the cavum septi pellucidi both internal cerebral veins are displayed. They drain blood from the basal ganglia (Vv. thalamostriatae), the choroid plexus (choroidal veins) and the white matter (medullary veins). **b** Diagramm of the deep venous drainage. **c** Dopplersonographic flow measurements in the internal cerebral veins. Due to the partial volume effect both internal cerebral veins cannot be differentiated. The frequency spectrum shows continuous blood flow with flow velocities of 5 cm/sec.



b

Fig. 11 **a** and **b** Doppler sonographic flow measurement in the straight sinus (posterior coronal section). The straight sinus is displayed posteriorly to the splenium corporis callosi. Pulsed Doppler sonography shows continuous flow with undulation of the amplitude caused by respiratory movements and the pulse cycle with flow velocities of 10 cm/sec.

Tab. 3 Normalwerte der Flussgeschwindigkeiten in den Hirnvenen von Früh- und Reifgeborenen

Autor	Sinus sagittalis superior	Sinus sagittalis inferior	Sinus rectus	Vena Galeni magna	Vena cerebri interna	subependymale Venen	Vena terminalis	Bemerkungen
Taylor	9,2 cm/s	3,5 cm/s	5,9 cm/s	4,3 cm/s	3,3 cm/s	3 cm/s		– mittlere Flussgeschwindigkeit
Winkler			13,2 cm/s	5,6 cm/s				– maximale Flussgeschwindigkeit
Pfannschmidt			12,6 ± 7,8 cm/s		5,5 ± 1,6 cm/s			– maximale Flussgeschwindigkeit
Fenton				2,3–9,5 cm/s				– maximale Flussgeschwindigkeit
Bezinque	Reifgeborene 16,9 ± 17,3 cm/s Frühgeborene 12,9 ± 10,5 cm/s							– maximale Flussgeschwindigkeit
Couture					32. SSW: 7,2 cm/s 40. SSW: 9,8 cm/s 2 Mon: 13 cm/s 6 Mon: 14,8 cm/s			– maximale Flussgeschwindigkeit
Schneider							29. SSW: 3,2 cm/s 36. SSW: 4,6 cm/s	– maximale Flussgeschwindigkeit

Eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst die Blutströmung in den Hirnvenen: die physiologische Aktivität, die Fontanellenkompression und Kopfbewegungen [1, 4]. So kann es bei Kopftrotation, Extension und Fontanellendruck zu einem Abfall der Flussgeschwindigkeiten kommen [4]. Fontanellendruck kann jedoch auch zu einem Anstieg der Flussgeschwindigkeiten führen [1]. Fenton fand einen Abfall der Flussgeschwindigkeiten bei Kompression der Jugularvenen. Während in den großen zerebralen Venen (Sinus sagittalis) eine hohe Variabilität herrscht, zeigen Flussmessungen in den kleinen Venen (v. a. in der Vena cerebri interna) wenig Variabilität und damit eine gute Reproduzierbarkeit. Gerade diesen Gefäßen, die im Schnittpunkt zwischen den kleinsten (medulläre Venen) und den großen Venen stehen, kommt somit unter pathophysiologischen Bedingungen eine große Bedeutung zu [3].

Literatur

- 1 Bezinque SL, Slovis TL, Touchette AS et al. Characterization of superior sagittal sinus blood flow velocity using color flow Doppler in neonates and infants. *Pediatr Radiol* 1995; 25: 175–179
- 2 Couture AP, Veyrac C. Cerebral venous thrombosis. In: Couture A, Veyrac C (Hrsg). *Transfontanellar Doppler imaging in neonates*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001: 249–264
- 3 Couture AP. Normal neonatal brain: Color Doppler and Pulsed Doppler. In: Couture AP, Veyrac C (Hrsg). *Transfontanellar Doppler imaging in neonates*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 2001: 9–90
- 4 Cowan F, Thoresen M. Changes in superior sagittal sinus blood velocities due to postural alterations and pressure on the head of the newborn infant. *Pediatrics* 1985; 75: 1038–1047

- 5 Cowan F, Thoresen M. The effects of intermittend positive pressure ventilation on cerebral-arterial and venous blood velocities in the newborn infant. *Acta Paediatr Scand* 1987; 76: 239–247
- 6 Dean LM, Taylor GA. The intracranial venous system in infants: Normal and abnormal findings on duplex and color Doppler sonography. *AJR* 1995; 164: 151–156
- 7 Deeg KH. Zentrales Nervensystem. *Vaskuläre Erkrankungen* In: Hofmann V, Deeg KH, Hoyer P. (Hrsg). *Sonographie in Pädiatrie und Kinderchirurgie*, 3. Auflage. Stuttgart, New York: Thieme, 2005
- 8 Deeg KH (Hrsg.). *Zerebrale Dopplersonographie im Kindesalter*. Berlin, 1989: 23–61
- 9 Fenton AC, Paphoma E, Evans DH et al. Neonatal cerebral venous flow velocity measurement using a color flow Doppler system. *J Clin Ultrasound* 1991; 19: 69–72
- 10 Hirabuki N, Watanabe Y, Mano T et al. Quantitation of flow in the superior sagittal sinus performed with cine phase-contrast MR imaging of healthy and achondroplastic children. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000; 21: 1497–1501
- 11 Pfannschmidt J, Jorch G. Transfontaneller pulsed doppler measurement of blood flow velocity in the internal jugular vein, straight sinus and internal cerebral vein in preterm and term neonates. *Ultrasound in Med & Biol* 1989; 15: 9–12
- 12 Schneider A. Normalwerte für die Blutströmungsgeschwindigkeiten in der Vena terminalis von Frühgeborenen. *Ultraschall in Med* 2004; 25: 137–140
- 13 Taylor GA. Intracranial venous system in the newborn: Evaluation of normal anatomy and flow characteristics with color Doppler US. *Radiology* 1992; 183: 449–452
- 14 Winkler P, Helmke K. Duplex scanning of the deep venous drainage in the evaluation of blood flow velocity of the cerebral vascular system in infants. *Pediatr Radiol* 1989; 19: 79–90