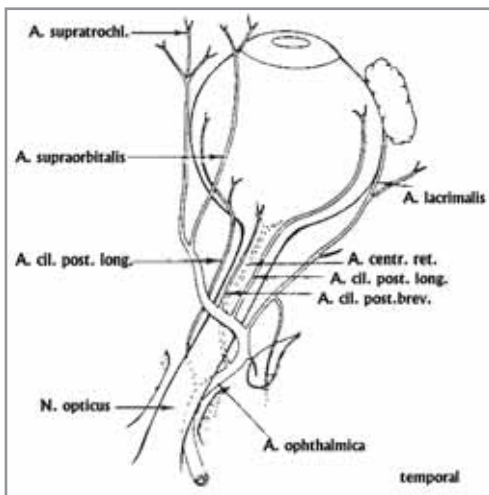


Karl-Georg Schmidt, Volker Klingmüller

## Die Farb- und Spektral- Dopplersonographische Untersuchung der orbitalen Arterien

Als Ursache oder auch als wichtige Begleiterscheinung von verschiedenen Augenerkrankungen werden zunehmend Veränderungen der Augendurchblutung diskutiert. Besonders bei den Glaukomen als häufigste Ursache der Erblindung, aber auch bei der Retinitis pigmentosa, sollen Gefäßprozesse eine entscheidende Rolle spielen. Die Dopplersonographie als Methode, mit der nicht-invasiv und quantitativ der Blutfluss auch in kleinsten Gefäßen bestimmt werden kann, erlangt deswegen zunehmend an Bedeutung. In den Fällen, in denen bereits durch gefäßaktive Medikamente versucht wird, den Krankheitsverlauf positiv zu beeinflussen, kann mit der Dopplersonographie dem Kliniker ein objektiver Parameter angeboten werden. Die dopplersonographische Untersuchung der Gefäßversorgung des Auges und die Referenzwerte der Dopplerparameter von augengesunden Probanden werden beschrieben.



■ Abb. 1: Retrobulbäre Arterien.  
Durchmesser (Schätzwerte): A. ophthalmica (2-3 mm), supratrochlearis (1 mm), A. supraorbitalis (1 mm), centralis retinae (0,2 mm), A. ciliaris posterior longa (0,2 mm), A. ciliaris posterior brevis (0,2 mm)

Die Gefäßversorgung des Auges zeichnet sich durch eine sehr große Variabilität aus. Aufgrund des unterschiedlichen Verlaufes des Hauptgefäßes des Auges, der A. ophthalmica,

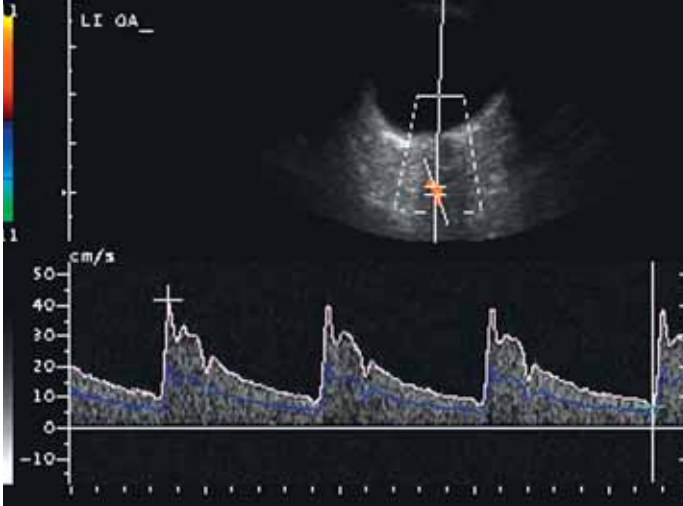
ist auch der Ursprung der kleineren Arterien, A. lacrimalis, A. centralis retinae, A. ciliaris posteriores brevis und A. ciliaris posteriores longae, unterschiedlich. Der Durchmesser der A. ophthalmica ist 2-3 mm, der der A. supracochlearis und der der A. supraorbitalis 1 mm, und der Durchmesser der übrigen Arterien ist 0,3 mm (Schätzwerte) (Abb.1).

### Diagnostischer Ultraschall

In der diagnostischen Sonographie werden Ultraschallwellen in den Körper eingestrahlt und an Strukturen des Körpers unterschiedlich

stark reflektiert. Aus diesen Echos wird ein Bild der schallreflektierenden Grenzschichten erstellt. Im B-Mode (Brightness-mode, B-Bild) werden die Gewebstrukturen entsprechend ihrer Echogenität helligkeitskodiert abgebildet. Die Sklera als stark schallreflektierende Struktur erscheint hell, der Glaskörper bleibt dunkel. (im oberen Bildteil, Abb. 2-5). Eine wesentliche diagnostische Bereicherung für die Sonographie der intraorbitalen Arterien ist daher der Einsatz der Farbkodierung des Blutflusses. Bei dieser Darstellungsart wird die Bewegung der Erythrozyten farblich kodiert, sodass auch die kleineren Gefäße durch den in ihnen stattfindenden Blutfluss sichtbar werden.

Die Dopplersonographie wird zur nichtinvasiven Flussmessung eingesetzt. Bei der Sonographie sind bewegende Strukturen, z.B. Ery-



■ Abb. 2: A. ophthalmica im Triplex-Mode. Die A. ophthalmica hat ein typisches Flussmuster mit dichrotischer Kerbe, im farbkodierten Dopplermode ist sie immer gut aufgrund ihres Verlaufes und ihres kräftigen Flusses zu erkennen. Im unteren Bildteil ist die Spektraldopplerkurve abgebildet.

throzyten in Gefäßen, kommt es zu einer Verschiebung der reflektierten zur gesendeten Frequenz. Aus dieser Differenzfrequenz, der Dopplerfrequenz, kann die Geschwindigkeit der Erythrozyten berechnet werden. Weiterhin kann durch das Pulsrepetitionsverfahren der Ort der Dopplermessung im Gefäß genau lokalisiert werden. Das Ergebnis der Frequenzanalyse des Dopplersignals erscheint als fortlaufende x/y-Grafik (im unteren Bildteil (Abb. 2-5).

Im Doppler-Mode wird die Dopplerfrequenz in ihre spektralen Anteile zerlegt, in Geschwindigkeiten der Erythrozyten umgerechnet und als x/y- Grafik abgebildet. Im Color- oder Farbdoppler-Mode (auch: FKDS = farbkodierte Dopplersonographie) werden in einer einstellbaren Untersuchungsregion die Geschwindigkeiten der Erythrozyten farbkodiert angezeigt. Im Farb-

duplex wird dem Grauwertbild der Farbdoppler-Mode überlagert (Abb. 2-5, jeweils oberer Bildteil). Mit dieser Methode können auch sehr kleine durchströmte Gefäße sicher erkannt werden, die aufgrund des physikalisch begrenzten Auflösungsvermögens im B-Bild sonst nicht zu erkennen wären. Im Spektralduplex erscheint das B-Bild mit dem eingezeichneten Meßvolumen und gleichzeitig die Spektralanalyse des Dopplersignals auf dem Bildschirm. Im Triplex - Mode werden simultan das B-Bild, das farbkodierte Gefäßbild und das Dopplerspektrum erstellt.

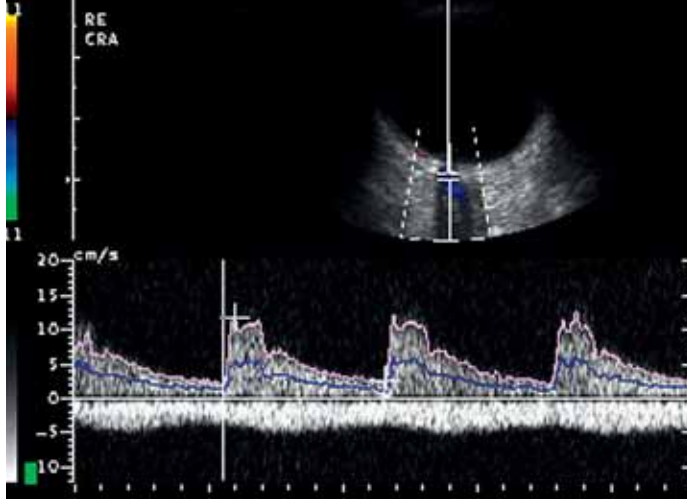
Aus der Dopplerkurve können systolische Spitzengeschwindigkeit (peak systolic velocity, PSV, in cm/s), enddiastolische Geschwindigkeit (end diastolic velocity, EDV, in cm/s), mittlere maximale Geschwindigkeit (time average maximum velocity, TAMX, in cm/s)

und gemittelte mittlere Geschwindigkeit (time average mean velocity, TAMN, in cm/s) abgelesen werden. Aus diesen Parametern werden der Pulsatilitätsindex PI (nach Gosling,  $PI=(PSV-EDV)/TAMX$ ) und der Widerstandsindex RI (nach Pourcelot,  $RI=(PSV-EDV)/PSV$ ) berechnet.

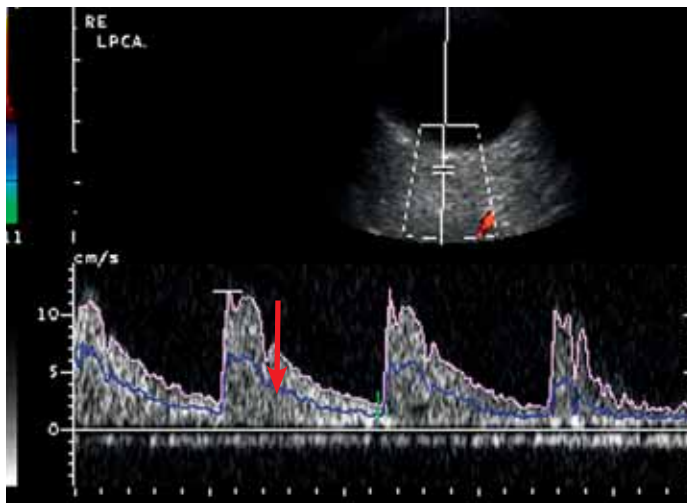
Die Patienten werden in bequemer Rückenlage untersucht. Der Schallkopf wird auf das geschlossene Oberlid mit möglichst geringem Druck aufgesetzt. Für die Ultraschalluntersuchung des Auges werden hochfrequente und kleine Schallköpfe mit reduzierter Sendeenergie eingesetzt. Das Meßvolumen (Gate) wird für die A. ophthalmica mit 2 mm, für die Ziliararterien und für die Zentralarterie mit 1 mm als kleinsten einstellbarer Wert gewählt.

## Material und Methoden

Die Dopplersonographie der kurzen hinteren Ziliararterien erfolgte direkt vor ihrem Durchtritt durch die Sklera nahe dem Sehnerv. Als Schallkopf wurde ein Phased-Array (7,5PL13, Sonoline Elegra Advanced System und Acuson Antares, Siemens, Erlangen) eingesetzt. Dieser besonders kleine und leichte Schallkopf mit einer Kantenlänge von 13 mm wurde primär für die pädiatrische Sonographie entwickelt. Er wurde auf das geschlossene Augenlid aufgesetzt.



■ Abb. 3: A. centralis retinae im Triplex-Mode. Die A. ophthalmica ist durch ihren Verlauf im echoarmen N. opticus sicher zu identifizieren. Bei der Messung wird immer die V. centralis retinae miterfaßt, sie erscheint in der Spektral-Dopplerkurve (im unteren Bildteil) unterhalb der Grundlinie.



■ Abb. 4: A. ciliaris posterior longa im Triplex-Mode. Das Flußmuster der A. ciliaris posterior longa zeigt in der Systole noch steil abfallenden Fluß mit dichrotischer Kerbe (Pfeil).

Die Platzierung des Meßfensters erfolgte im Farb-Duplex-Mode, da die ca 0,2 mm großen SPCA im B-Mode nicht zu erkennen sind. Die Geräteparameter waren Inhalt eines speziellen Meßprogrammes und blieben konstant für die Untersuchung aller Probanden. Die Parameter PSV, EDV, TAMX und TAMN wurden aus der Spektral-Dopplerkurve geräteseitig

abgelesen und daraus Pulsatilitätsindex (PI) und der Widerstandsindex (RI) berechnet (Abb. 2-5).

### Ergebnisse

Die A. ophthalmica ist aufgrund ihres Verlaufes und wegen des kräftigen Signal im Farbduplex eindeutig zu erkennen. Die A. ophthalmica und ihre Endäste, die A. supracoch-

learis und A. supraorbitalis, haben ein Flußprofil mit einem ausgeprägten hohen systolischen Spitzenfluß und einer dichrotischen Einkerbung am Ende der Systole (Abb.3 Pfeil). Auch A. ciliaris posterior longa und A. centralis retinae haben im Flußprofil eine dichrotische Einkerbung (Abb. 3, 4).

Dagegen ist das Flußprofil der A. ciliaris posteriores breves, die direkt am N. opticus durch die Sklera treten, charakterisiert durch einen gleichmäßigen Fluß (Abb. 5). Es zeigt sich also, dass die intraorbitalen Arterien jeweils ein typisches Flussprofil haben, das zur gegenseitigen Abgrenzbarkeit zusätzlich verwendet werden kann.

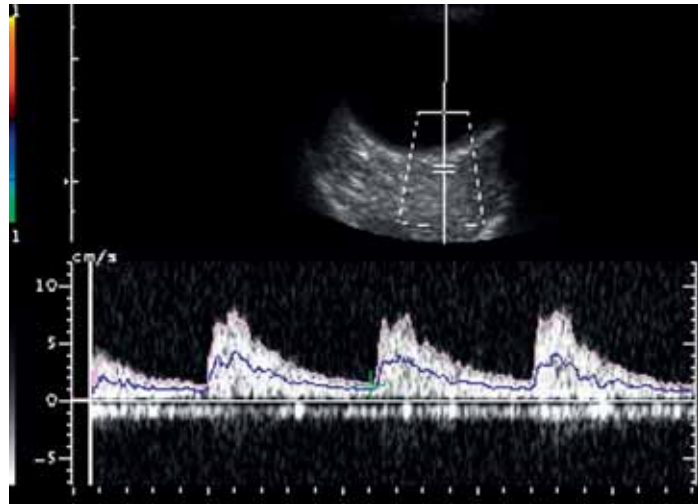
Die Ergebnisse von 74 augengesunden Probanden im Alter von 17 - 74 Jahren sind: Der systolische Spitzenfluß (PSV) in der A. ophthalmica beträgt 44,5 cm/s, der enddiastolische Fluß (EDV) 7,95 cm/s, PI berechnete sich mit 2,2, RI mit 0,82 (Abb. 2). Die A. et V. centralis retinae werden immer gleichzeitig erfaßt, der arterielle Fluß ist oberhalb, der venöse unterhalb der Grundlinie dargestellt (Abb. 3); PSV ist hier 12,0 cm/s, EDV 3,2 cm/s, PI 1,48 und RI 0,73. In den Ziliargefäßen - ohne Unterscheidung zwischen kurzen und langen - werden folgende Mittelwerte gemessen: PSV 12,78 cm/s, EDV 3,9 cm/s, PI 1,31 und RI 0,69. Aufgrund der Nähe zum Optikuskopf

und aufgrund des Flußprofils (Abb. 4 und 5) kann jedoch zwischen den kurzen und langen Ziliargefäßen differenziert werden, und die Einzelwerte für die A.ciliaris posterior longa sind: PSV 15,57 cm/s, EDV 3,90 cm/s, PI 1,48, RI 0,74. In den A.ciliaris posteriores breves wurde PSV mit 10,90 cm/s und EDV mit 3,26 cm/s bestimmt, so dass sich PI mit 1,30 und RI 0,69 berechnet.

### Zusammenfassung

Die kurzen hinteren Ziliararterien (engl.: short posterior ciliary arteries, SPCA) versorgen über die peripapilläre Aderhaut den Sehnervenkopf. Die gesamte okuläre Perfusion beträgt etwa 800 mg/min. Auf die Chorioidea entfallen 677 mg/min (85%). Volumenänderungen im Bulbus führen zu Änderungen des intraokulären Druckes (IOD). Die Variabilität der retrobulbären Gefäße ist sehr groß. Nach dem Verlauf der Arteria ophthalmica unterscheidet man einen Überkreuzungs- und einen Unterkreuzungstyp. Bei dem häufigeren Überkreuzungstyp verläuft die A.ophthalmica im Foramen opticum zunächst temporo-caudal des N.opticus, schlängelt sich um den Nerv und überkreuzt diesen noch vor der Mitte zwischen Foramen opticum und Bulbus, um sich dann in die Endäste A.supratrochlearis und A. supraorbitalis aufzuteilen (Abb. 1).

Als erstes entspringt die A. centralis retina zusammen mit einer langen



■ Abb. 5: A. ciliaris posterior brevis im Triplex-Mode. Das Flußmuster der A. ciliaris posterior brevis zeigt im Gegensatz zur A. ciliaris posterior longa in der Systole einen nur flach abfallenden Fluß ohne dichrotische Kerbe.

Ziliararterie, die kurzen Ziliararterien entspringen oft erst nach der Überkreuzung.

Beim Unterkreuzungstyp bleibt die A. ophthalmica zunächst caudal-temporal des N. opticus, kreuzt nach nasal noch unterhalb des Nerven und legt sich im Verlauf mit einer Schlinge auf den Nerv, bevor sie sich weiter nasal endgültig aufteilt. In diesem Fall ist der erste Ast eine einzeln temporale lange Ziliararterie, und als zweites die Zentralarterie, oft einzeln oder zusammen mit kurzen hinteren Ziliararterien. Es sind schließlich 4 - 6 kurze hintere Ziliararterien, die sich vor dem Eintritt in den Bulbus in 15-20 kleinere Äste aufteilen, die nahe des N. opticus durch die Sklera treten. Die zwei langen hinteren Ziliararterien verlaufen nasal und temporal in der

Supra-choroidea zur Iris und zum Ziliarkörper.

Die retrobulbären Gefäße können an ihrem Verlauf und Flußprofil sicher identifiziert und damit auch quantifiziert werden. Mit den Ergebnissen der hier vorgestellten dopplersonographischen Studie kann die Perfusion des Auges quantitativ beurteilt werden.

▶ PD Dr. med. Karl-Georg Schmidt  
Augenzentrum Höfe  
Kantonstraße 102  
CH-8807 FREIENBACH

▶ Prof. Dr. Volker Klingmüller  
Kinderradiologie, Klinik für  
Strahlendiagnostik  
Universitätsklinikum Gießen/Marburg,  
Standort Marburg  
Philipps-Universität  
Baldinger Straße 1  
D-35043 MARBURG