

# Dopplersonographie der retrobulbären Gefäße bei augengesunden Probanden

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
des Fachbereichs Humanmedizin  
der Justus Liebig Universität Giessen

*vorgelegt von*

Anja Stein  
aus Halle/Saale

Giessen 2002

Aus der Abteilung für Diagnostische Radiologie  
des Zentrums für Radiologie am Klinikum der Justus Liebig Universität Giessen  
Leiter: Prof. Dr. W. S. Rau

1. Gutachter: Prof. Dr. Klingmüller

2. Gutachter: Prof. Dr. Kaufmann

Tag der Disputation: 04.06.2003

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
1.1	Anatomische Grundlagen .....	5
1.2	Grundlagen der Dopplersonographie der retrobulbären Gefäße .....	8
1.3	Bestimmung des Augeninnendrucks .....	12
<b>2</b>	<b>Methodik und Probanden .....</b>	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>17</b>
3.1	Vergleich der Flussparameter für linkes und rechtes Auge .....	20
3.2	Differenzierung zwischen Arteriae ciliares posteriores breves et longi .....	21
3.3	Abhängigkeit der Flussparameter vom Alter .....	26
3.4	Abhängigkeit der Flussparameter von Blutdruck und Pulsfrequenz .....	30
3.5	Abhängigkeit der Flussparameter vom Geschlecht .....	53
3.6	Abhängigkeit der Flussparameter von Augeninnendruck und Visus .....	57
3.7	Abhängigkeit der Flussparameter vom Rauchen .....	64
3.8	Abhängigkeit der Flussparameter von der Ovulationshemmereinnahme .....	66
3.9	Abhängigkeit der Flussparameter von der Schilddrüsenfunktion .....	70
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>72</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>93</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>95</b>
<b>7</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>98</b>
7.1	Grafiken .....	98

### Abkürzungsverzeichnis

CI	Arteria carotis interna	
CRA	Arteria centralis retinae	
EDV	Enddiastolische Flussgeschwindigkeit (enddiastolic velocity)	cm/s
IOP	Augeninnendruck (intraocular pressure)	mmHg
OA	Arteria ophthalmica	
OBF	Pulsatiler okulärer Blutfluss (ocular blood flow)	µl/min
OPA	Okuläre Pulsatilitätsamplitude	mmHg
PI	Pulsatilitätsindex (Gosling's Index)	
PSV	Maximale systolische Geschwindigkeit (peak systolic velocity)	cm/s
PCAl	Arteriae ciliares posteriores longi	
PCAs	Arteria ciliares posteriores breves	
RI	Widerstandsindex (Pourcelot's index)	
RR_s	systolischer Blutdruck	mmHg
RR_d	diastolischer Blutdruck	mmHg
TAMn	Durchschnittliche mittlere Geschwindigkeit (time averaged mean velocity)	cm/s
TMAx	Durchschnittliche Maximalgeschwindigkeit (time averaged peak velocity)	cm/s

# 1 Einleitung

Die Farbdopplersonographie ist eine Methode der Ultraschalldiagnostik, die es ermöglicht, den Blutfluss in Gefäßen darzustellen. Zur quantitativen Charakterisierung des Blutflusses dient die Spektralanalyse dieses Signals. Die Technik der Dopplersonographie wurde zuerst 1979 beschrieben und zunächst bei kardiologischen Untersuchungen eingesetzt. Später verwendete man sie auch zur Beurteilung der Hämodynamik peripherer Kreisläufe und der Durchblutung verschiedener Organsysteme. Seit mehreren Jahren wird die Farbdopplersonographie auch eingesetzt, um die okuläre Blutzirkulation bei gesunden Personen und bei solchen mit okulären Erkrankungen zu analysieren. In diesem Zusammenhang wurde beispielsweise der okuläre Blutfluss bei Diabetes mellitus<sup>29,39</sup>, Glaukom<sup>3,10,11,27</sup>, Endophthalmitis<sup>30</sup> oder Gefäßverschlüssen<sup>1,31</sup> untersucht. In Zukunft könnte dieses Verfahren auch Einblicke in die Pathophysiologie anderer ischämischer Erkrankungen des Nervus opticus oder in den Einfluss verschiedener Therapiekonzepte liefern.

In verschiedenen Studien wurde versucht, Normalwerte für die farbdopplersonographische Untersuchung der retrobulbären Gefäße von gesunden Personen zu etablieren. Bei Kaiser et al.<sup>19</sup> wurde hierzu am derzeit größten Kollektiv von 189 Freiwilligen der Blutfluss in der Arteria ophthalmica, der Arteria centralis retinae und den Arteria ciliares posteriores breves untersucht.

Einige Autoren halten eine Differenzierung zwischen Arteria ciliares posteriores breves und longi in manchen Fällen für möglich<sup>1,23,24</sup>. Jedoch wurden hierzu keine quantitativen Aussagen gemacht, und es wurden auch keine Unterscheidungskriterien genannt. Diese Differenzierung wäre jedoch für die Beurteilung von pathologischen Flussprofilen in den Gefäßen bei verschiedenen okulären Erkrankungen von Bedeutung. So sind zum Beispiel beim Offenwinkelglaukom im wesentlichen die Arteria ciliares posteriores breves für die entstehenden Gesichtsfelddefekte verantwortlich. Die Arteria ciliares posteriores longi hingegen versorgen Iris und Corpus ciliare und sind nur bei entsprechenden Erkrankungen dort betroffen.

Unsere Studie soll diese Differenzierung anhand der jeweils typischen dopplersonographischen Flussprofile verdeutlichen sowie für beide Gefäßtypen entsprechende Normalwerte der Flussparameter festsetzen und vergleichen. Zielsetzung ist es weiterhin, die ebenfalls untersuchte Arteria centralis retinae und die Arteria ophthalmica hinsichtlich ihrer Flussparameter auszuwerten. Für alle dargestellten Gefäße überprüfen wir zusätzlich die Korrelationen zwischen den jeweiligen Flussparametern und den Parametern Alter, Geschlecht, Blutdruck, Puls, Rauchgewohnheiten, Visus und Augeninnendruck. Hierdurch soll die Farbdopplersonographie als geeignetes Verfahren zur Diagnostik und Verlaufskontrolle okulärer Krankheitsbilder weiter etabliert werden.

## 1.1 Anatomische Grundlagen

Im folgenden Kapitel werden die untersuchten retrobulbären Gefäße in ihrem anatomischen Verlauf beschrieben, um das Verständnis der späteren Ausführungen zur sonographischen Untersuchung zu erleichtern.

### ARTERIA CAROTIS INTERNA

Die Arteria carotis communis teilt sich meist auf Höhe des Oberrandes des Cartilago thyroidea (etwa C<sub>4</sub>) in die Arteria carotis interna und Arteria carotis externa. In der Nähe der Teilungsstelle ist die Arteria carotis communis etwas erweitert, der Sinus caroticus. In der Arterienwand liegen hier Pressorezeptoren.

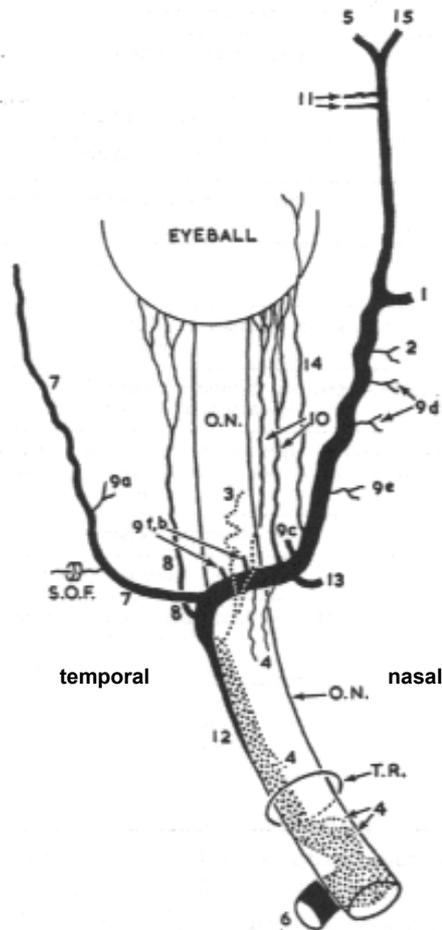
Die Äste der Arteria carotis externa dienen der Versorgung des Gesichts und des Halses, während die Arteria carotis interna extrakraniell keine Äste abgibt (Pars cervicalis). Sie tritt über den Canalis caroticus in den Schädel (Pars petrosa) über. Dort verläuft sie über einen kurzen Bereich im Sinus cavernosus (Pars cavernosa), um anschließend im Bereich des Carotissiphons (Pars cerebralis) die Arteria ophthalmica als ersten größeren Ast abzugeben. Im weiteren Verlauf ist die Arteria carotis interna an der Bildung des Circulus arteriosus cerebri und somit an der Blutversorgung des Cerebrums beteiligt.

### ARTERIA OPHTHALMICA

Die Arteria ophthalmica ist der erste größere Ast der Arteria carotis interna. Sie versorgt nicht nur das Auge sondern auch Teile der Nase und der Hirnhäute der vorderen Schädelgrube. Nach Eintritt in die Orbita durch den Canalis opticus verläuft sie inferolateral des Nervus opticus bis sie über (in 82,6% der Fälle) oder unter (in 17,4% der Fälle) ihm kreuzt<sup>16</sup>. Anschließend löst sich die Arteria ophthalmica vom Nervus opticus und verläuft in medialer Richtung von inferolateral nach superomedial. Hierbei wird der Musculus rectus medialis über- und anschließend der Musculus obliquus superior unterkreuzt, um schließlich die mediale Wand der Orbita in der Nähe des Foramen ethmoidalis anterior zu erreichen. Auf diesem Weg kann die Arteria ophthalmica eine deutliche Schleifenbildung zeigen.

Die meisten der zahlreichen Äste zur Versorgung von Orbitastrukturen und Retina verlassen die Arteria ophthalmica im mittleren Drittel. Dabei ist die Reihenfolge der Abgänge sehr variabel. Häufiger findet sich jedoch folgendes Muster (bei überkreuzender Arteria ophthalmica)<sup>16</sup>:

1. Arteria centralis retinae und mediale Arteria ciliaris posterior
2. laterale Arteria ciliaris posterior
3. Arteria lacrimalis
4. Äste zu den äußeren Augenmuskeln (Musculus rectus medialis/lateralis/superior, Musculus obliquus superior, Musculus levator palpebrae), Arteria ethmoidalis posterior, Arteria supratrochlearis, mediale Arteria ciliaris posterior (untereinander variabel, meist eng zusammen)
5. Arteria ethmoidalis anterior, Ast zum areolären Gewebe.



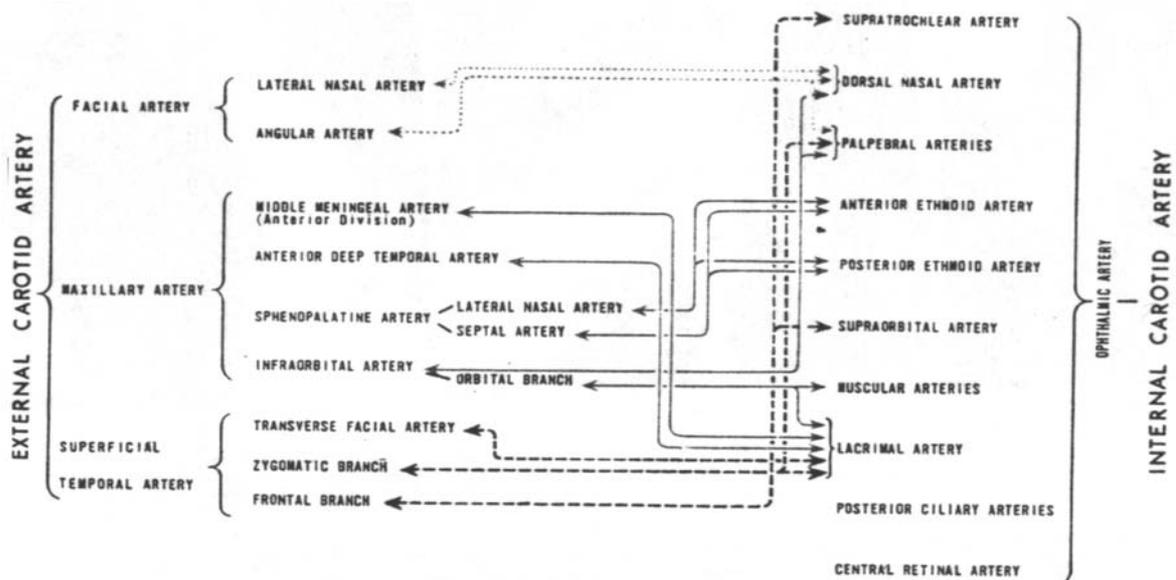
**Abbildung 1**

Abgänge der Äste der Arteria ophthalmica (bei überkreuzendem Nervus opticus):

- 1 – Arteria ethmoidalis anterior
- 2 – Ast zum areolären Gewebe
- 3 – Arteria centralis retinae
- 4 – kollaterale Äste
- 5 – Arteria dorsalis nasi
- 6 – Arteria carotis interna
- 7 – Arteria lacrimalis
- 8 – laterale Arteria ciliaris posterior
- 9a – Arterie zum Musculus rectus lateralis
- 9b – Arterie zu Musculus levator palpebrae
- 9c – Arteria muscularis medialis
- 9d – Arterie zum Musculus rectus medialis
- 9e – Arterie zum Musculus obliquus superior
- 9f – Arterie zum Musculi rectus superior
- 10 – mediale Arteria ciliaris posterior
- 11 – Arteria palpebralis medialis
- 12 – Arteria ophthalmica
- 13 – Arteria ethmoidalis posterior
- 14 – Arteria supraorbitalis
- 15 – Arteria supratrochlearis
- S.O.F. – Fissura orbitalis superior
- O.N. – Nervus opticus
- T.R. – Circulus tendinosus

(Abbildung aus Hayreh, 1962)<sup>18</sup>

Im superomedialen Winkel der Orbita teilt sich die Arteria ophthalmica schließlich in ihre frontalen, supratrochleären und dorsonasalen Endäste auf. Einige dieser Endäste anastomosieren mit Ästen der Arteria carotis externa (Arteria angularis, Arteria meningea media, Stirnast der Arteria temporalis superficialis).



**Abbildung 2**

Anastomosen der Arteria ophthalmica mit verschiedenen Ästen der Arteria carotis externa.

(Abbildung aus Hayreh, 1963)<sup>17</sup>

## ARTERIA CENTRALIS RETINAE

Nach ihrem Abgang aus der Arteria ophthalmica tritt die Arteria centralis retinae 10-12mm vom Bulbus entfernt von inferior in den Nervus opticus ein. Dort verläuft sie nasal der Vena centralis retinae nach vorne bis zum Sehnervenkopf, wo sie zu einem geringen Anteil an der Bildung des Circulus arteriosus Zinii beiträgt (siehe Abbildung 3). Sie verzweigt sich weiter an der inneren Oberfläche der Retina, die sie über Kapillaren bis zur inneren Körnerschicht versorgt (Schichten 6-10).

## ARTERIAE CILIARES POSTERIORES BREVES ET LONGI

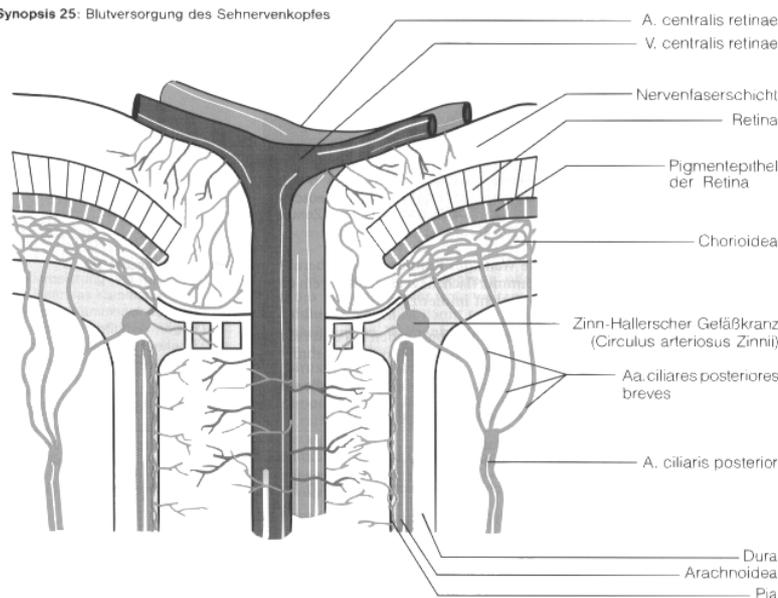
Aus der Arteria ophthalmica entspringen normalerweise zwei oder drei Arteriaes ciliares posteriores. Dabei entspringt jeweils ein Stamm medial und lateral, der dritte entweder medial, lateral oder superior. Jeder Hauptstamm teilt sich in mehrere Äste:

- 6-8 Arteriaes ciliares posteriores breves
- 2 Arteriaes ciliares posteriores longi (jeweils ein Gefäß lateral und medial).

Die Arteriaes ciliares posteriores breves treten in der Nähe des Nervus opticus medial, lateral oder superior durch die Sklera, um dann in die Chorioidea einzutreten. Die Chorioidea enthält ein dichtes Nervengeflecht und stellt ein schwammartiges Netzwerk unterschiedlich großer Gefäße dar, mit den größeren Gefäßen und Venen skleraseitig und einem Kapillargeflecht (Choriokapillaris) retinawärts gelegen. Die kapillarfreien äußeren Retinaschichten (Schichten 1-5) werden durch Diffusion hauptsächlich von der Choriokapillaris versorgt.

Die Arteriaes ciliares posteriores breves bilden am Sehnervenkopf den Circulus arteriosus Zinnii (Zinn-Hallerscher Gefäßkranz). Auch die Arteria centralis retinae entsendet einige wenige Äste. Von diesem Gefäßkranz aus ziehen zahlreiche Gefäße vor und hinter die Lamina cribrosa zur Blutversorgung der Sehnervpapille. Die Durchblutungssituation der Papille spielt eine wesentliche Rolle bei der Entstehung von Glaukomanfällen.

Synopsis 25: Blutversorgung des Sehnervenkopfes



### Abbildung 3

Blutversorgung der Papilla nervi optici.

(Abbildung aus *Duale Reihe Augenheilkunde*, 1994)<sup>36</sup>

Die Arteriae ciliares posteriores longi treten weiter entfernt vom Nervus opticus medial bzw. lateral zusammen mit gleichnamigen Nerven durch die Sklera. Sie ziehen an der Innenseite der Sklera weiter zu Corpus ciliare und Iris. Dort sind sie zum einen an der Bildung des Circulus arteriosus iridis major am vorderen Rand des Corpus ciliare in der Nähe der Iriswurzel beteiligt. Zum anderen versorgen sie den Circulus arteriosus iridis minor im Bereich der Iriskrause.

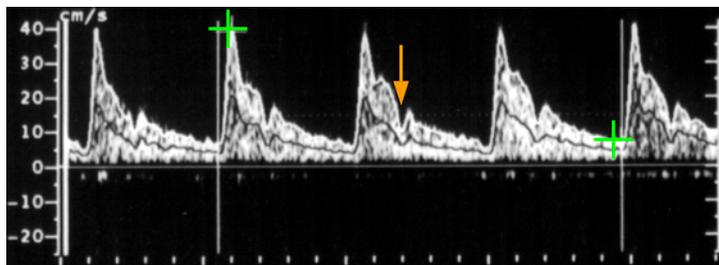
#### ARTERIA LACRIMALIS

Die Arteria lacrimalis entspringt aus dem mittleren Drittel der Arteria ophthalmica. Sie kann aber in Einzelfällen auch der Arteria meningialis media entstammen. Sie verläuft zunächst lateral über den Oberrand des Musculus rectus lateralis und erreicht dann die Glandula lacrimalis in der Fossa lacrimalis der temporalen Orbita. Zu den Endästen der Arteria lacrimalis gehören unter anderem Rami glandulares (zur Versorgung der Glandula lacrimalis), Rami palpebrales laterales und Rami zygomatici.

## 1.2 Grundlagen der Dopplersonographie der retrobulbären Gefäße

Das folgende Kapitel beschreibt die jeweils typischen Flussprofile für die einzelnen Gefäße, wie sie auch bei bisherigen Untersuchungen zur Dopplersonographie gefunden wurden. Zur Illustration werden Abbildungen aus unserem untersuchten Kollektiv verwendet.

#### ALLGEMEINE GRUNDLAGEN



**Abbildung 4**

Komponenten eines typischen Dopplerflussprofils am Beispiel einer Arteria ophthalmica.

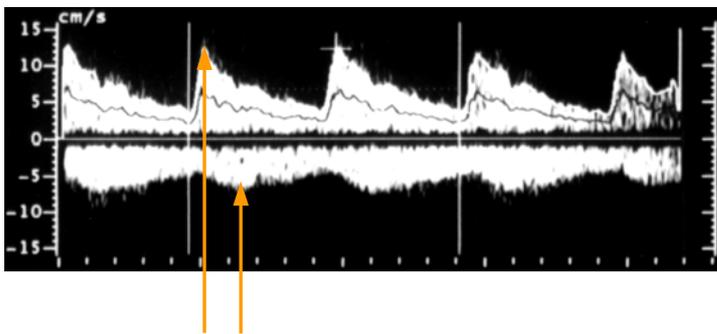
Die obige Abbildung 4 zeigt die graphische Darstellung der Spektralanalyse der Dopplerfrequenz. Die X-Achse entspricht der Zeitachse, die Y-Achse der Blutflussgeschwindigkeit des Gefäßes in cm/s. Aus den Änderungen der Flussgeschwindigkeit im Gefäß während eines Herzzyklus, d.h. Änderungen der Dopplerfrequenz, ergibt sich das Dopplerflussprofil dieses Gefäßes.

Die Flussgeschwindigkeit in einer Arterie steigt zu Beginn der Systole schnell an und erreicht mit der maximalen systolischen Flussgeschwindigkeit (PSV = peak systolic velocity) ihr Maximum (der Ort der Messung entspricht dem linken Kreuz in Abbildung 4). In der Diastole fällt die Geschwindigkeit bis zur enddiastolischen Geschwindigkeit ab (EDV = enddiastolic velocity, rechtes Kreuz in Abbildung 4). Während der Diastole kann meist eine dichrotische Kerbe (dichrotic notch) beobachtet werden (Pfeil in Abbildung 4), die dem Schluss der Aortenklappe entspricht. Hierauf folgt dann ein zweiter kleinerer systolischer Peak.

Die Bestimmung der PSV und EDV berücksichtigt nicht die Form der Dopplerflusskurve. Deswegen werden zur weiteren Charakterisierung zwei Indices herangezogen: der Pulsatilitätsindex (PI) und der Widerstandsindex (RI). PI und RI werden wie folgt berechnet (TAMx = time averaged peak velocity):

$$\text{PI} = \frac{\text{PSV} - \text{EDV}}{\text{TAMx}} \quad \text{RI} = \frac{\text{PSV} - \text{EDV}}{\text{PSV}}$$

Diese Indices dienen in der Hämodynamik der Einschätzung des Widerstandes im peripheren Gefäßbett gegen den Blutfluss des untersuchten versorgenden Gefäßes. Der RI (auch Pourcelot's Index genannt) wird von 0 bis 1 angegeben, wobei bei 0 kein Widerstand und bei 1 maximal hoher Widerstand im peripheren Gefäßbett vorliegt.



**Abbildung 5**

Typische Flussprofile der Arteria und Vena centralis retinae (ober- bzw. unterhalb der Nulllinie).

Die Flussgeschwindigkeit in einer Vene ändert sich weniger pulsatil und ist im allgemeinen atemabhängig. Im Unterschied dazu beobachtet man bei der Vena centralis retinae eine herzyklussynchrone Pulsatilität. Diese begründet sich aus dem engen Verlauf mit der Arteria centralis retinae. Der maximale Fluss in der Vene wird jeweils kurz nach dem maximalen systolischen Fluss in der Arteria centralis retinae erreicht (Pfeilmarkierungen in obiger Abbildung 5).

#### ARTERIA OPHTHALMICA

Die Arteria ophthalmica wird in ihrem schrägen Verlauf nasal des Nervus opticus dargestellt. Hier gelingt es meist, das Gefäß über einen längeren Bereich zu verfolgen. Dadurch ist eine genauere Winkeleinstellung und eine eindeutige Identifizierung möglich.

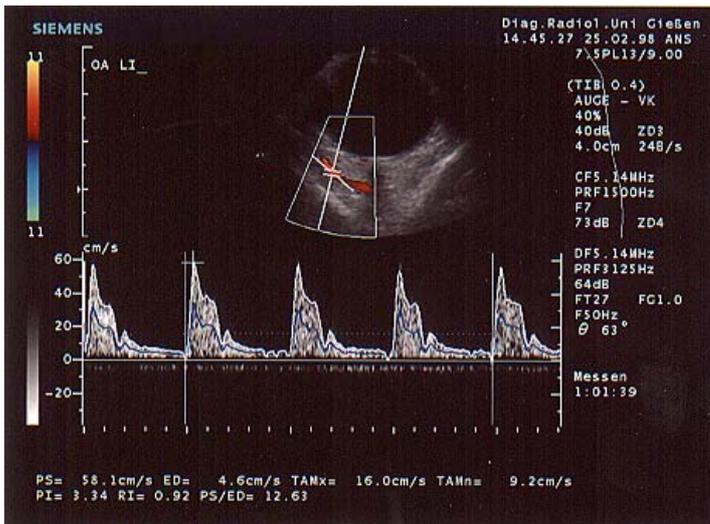


Abbildung 6

Flussprofil der Arteria ophthalmica nasal des Nervus opticus.

Die Doppleranalyse zeigt ein Flussprofil mit einem steilen hohen systolischen Anstieg und einer geringen EDV. Eine tiefe dichrotische Kerbe mit einem zweiten systolischen Peak ist deutlich erkennbar.

#### ARTERIA CENTRALIS RETINAE

Der Verlauf der Arteria centralis retinae kann innerhalb des echoarm dargestellten Nervus opticus zusammen mit der Vena centralis retinae verfolgt werden. Dabei zeigt das Gefäß den typischen pulsatilen Fluss einer Arterie im Gegensatz zum mehr kontinuierlichen Fluss der gleichzeitig sichtbaren Vena centralis retinae. Auch diese beiden Gefäße lassen sich meist über einen längeren Abschnitt darstellen und ermöglichen so eine optimale Winkelkorrektur. Da sie zudem fast senkrecht zum Schallkopf verlaufen, sind hier die Winkelfehler sehr gering, und die Ergebnisse sind gut reproduzierbar<sup>7</sup>.

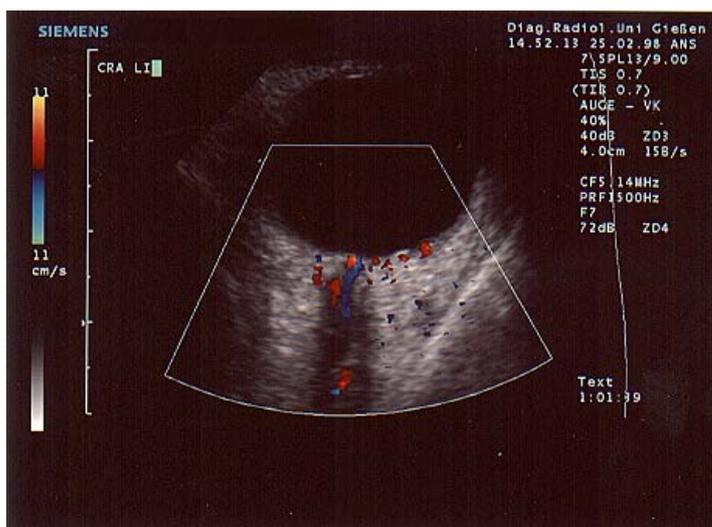
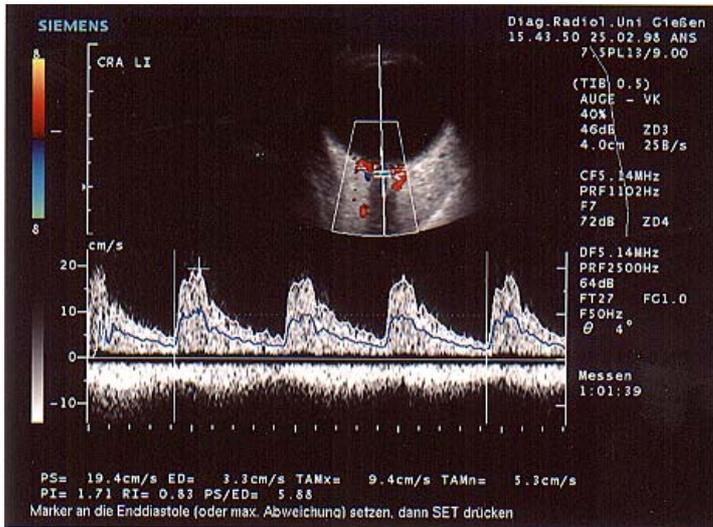


Abbildung 7

Gemeinsamer Verlauf der Arteria und Vena centralis retinae im echoarm dargestellten Nervus opticus.

Das Dopplerflussprofil der Arteria centralis retinae zeigt einen steilen systolischen Flussanstieg mit einem mehr abgerundeten Peak. Dabei wird eine geringere PSV als bei der Arteria ophthalmica erreicht. Der diastolische Flussgeschwindigkeitsabfall erfolgt langsamer und gleichmäßiger. Die dichrotische Kerbe ist dabei weniger evident. Der signifikant

pulsatile arterielle Fluss mit dem steilen systolischen Peak verdeutlicht den hohen Widerstand im distalen Gefäßbett der Retina.

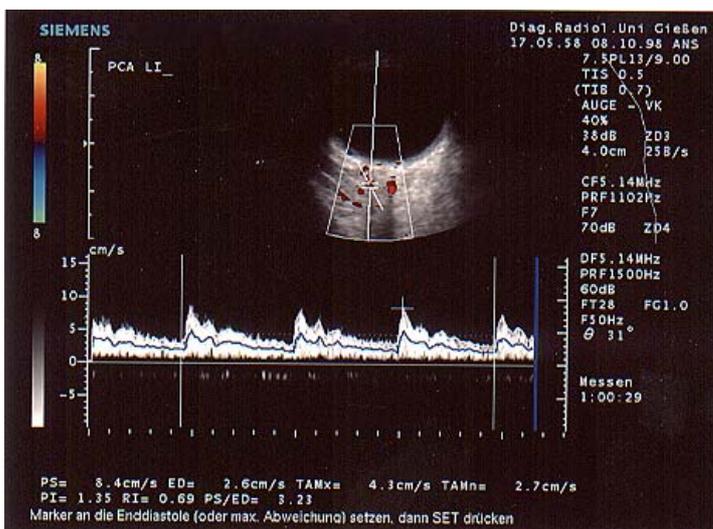


**Abbildung 8**

Dopplerflussprofil der Arteria und Vena centralis retinae gemessen wenige Millimeter hinter der Sehnervenpapille.

#### ARTERIAE CILIAIRES POSTERIORES BREVES

Meist können mehrere Arteriae ciliares posteriores temporal und nasal kurz vor dem Bulbus dargestellt werden. Diese Gefäße zeigen eine geringere Pulsatilität entsprechend dem geringeren Widerstand des choroidalen Gefäßbettes. Nach einem kurzen wenig steilen systolischen Geschwindigkeitsanstieg fällt die Flussgeschwindigkeit während der Diastole nur wenig und relativ gleichförmig ab. Die dichrotische Kerbe ist nur selten eindeutig zu identifizieren. In mehreren Studien konnten keine Unterschiede in den Flussparametern zwischen temporalen und nasalen Arteriae ciliares posteriores festgestellt werden<sup>2,13,19,33</sup>.



**Abbildung 9**

Dopplerflussprofil einer Arteria ciliaris posterior brevis medial des Nervus opticus.

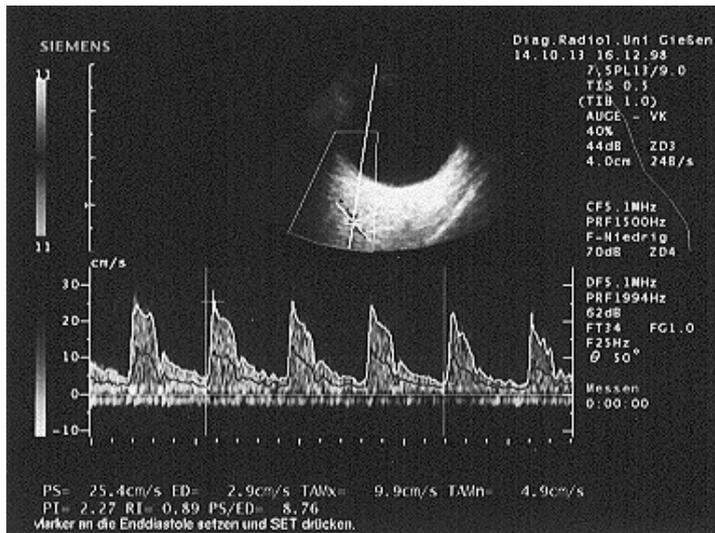
#### ARTERIAE CILIAIRES POSTERIORES LONGI

Obwohl mehrere Autoren<sup>1,23,24,28</sup> angeben, dass die Arteriae ciliares posteriores longi identifiziert werden konnten, ist bisher keine praktische Differenzierung der Flussprofile zwischen Arteriae ciliares posteriores breves et longi erfolgt. Wir konnten beide Gefäßtypen anhand der Lokalisation und des Flussprofils unterscheiden und haben die entsprechenden

Flussparameter ermittelt (siehe Kapitel 3.2 Differenzierung zwischen Arteriae ciliares posteriores breves et longi, Seite 21).

#### ARTERIA LACRIMALIS

Die Arteria lacrimalis wird in ihrem schrägen Verlauf temporal des Nervus opticus dargestellt. Das Flussprofil ähnelt dem der Arteria ophthalmica, wobei lediglich der systolische Peak etwas mehr abgerundet ist.



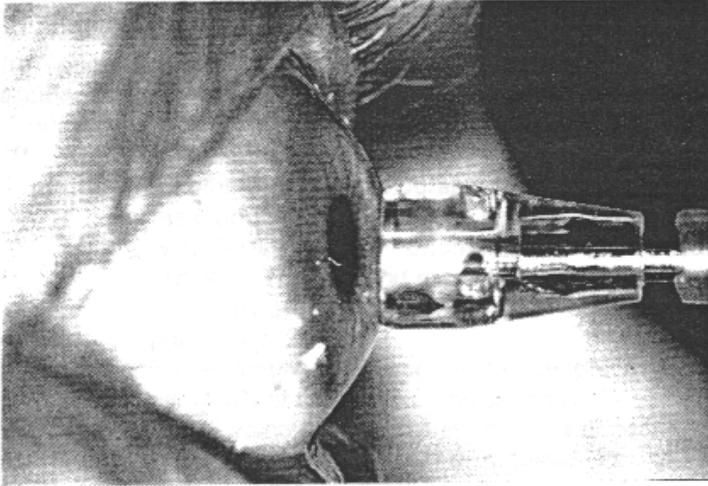
**Abbildung 10**

Flussprofil der Arteria lacrimalis lateral in der Orbita.

### 1.3 Bestimmung des Augeninnendrucks

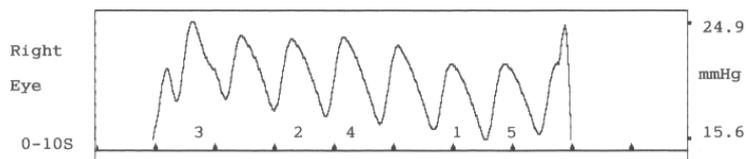
Der Augeninnendruck (IOP) aller Probanden wurde mit Hilfe des Langham OBF-Tonometers (OBF Labs, Wiltshire, UK, LTD) gemessen. Dieses Gerät ermöglicht die gleichzeitige Bestimmung der okulären Pulsamplitude (OPA) und des okulären Blutflusses (OBF).

Der Proband sitzt aufrecht vor einer Spaltlampe, in die die Messsonde eingespannt ist. In jedes Auge wird ein Tropfen Procain eingetropfert, um unwillkürlichen Lidschluss während der Messung zu vermeiden. Die Sonde des Pneumotonometers wird vorsichtig auf das Zentrum der Cornea aufgesetzt, so dass sie der Oberfläche dicht anliegt. Dies erkennt man an einem pfeifenden Geräusch.

**Abbildung 11**

Korrekte Positionierung der OBF-Messsonde auf der Hornhaut.

Das Gerät zeichnet selbständig für maximal 30s die Veränderungen des Augeninnendrucks (IOP) mit dem systemischen Puls auf. Fünf dieser Pulscurven werden ausgewertet. Hieraus wird ein mittlerer Augeninnendruck berechnet, der für unsere Auswertung relevant ist. Abbildung 12 zeigt den Verlauf einer solchen pulsatischen Druckkurve. Die zur Auswertung verwendeten Pulse sind nummeriert.

**Abbildung 12**

OBF Tonometrie mit Darstellung der Pulsatilität des IOP.

Die Pulsatilität des Augeninnendrucks wird auf Änderungen des Blutvolumens mit dem Herzzyklus zurückgeführt. Als Differenz zwischen systolischem und diastolischem Augeninnendruck kann die Amplitude dieser Pulsationen (OPA) bestimmt werden. Sie ist ein Maß für die pulsatile Komponente des gesamten okulären Blutflusses (OBF). Der pulsatile Anteil beträgt nach dopplersonographischen Messungen etwa 70% der gesamten okulären Perfusion (entsprechend ca. 0,724 ml/min).

Von der Gesamtperfusion des Auges (ca. 800 ml/min) entfallen ca. 85% auf die Choroidea (677 ml/min). Die pulsatile Komponente des Gesamtblutflusses ist ebenfalls zum größten Teil choroidalen Ursprungs. Die okuläre Pulsamplitude (OPA) kann also indirekt zur Abschätzung der choroidalen Perfusion genutzt werden.

Die non-pulsatile Komponente des Gesamtblutflusses kann jedoch nicht direkt bestimmt werden, und das genaue Verhältnis zwischen pulsatilem Blutfluss und gesamter okulärer Durchblutung ist unklar. Daher ist die während der Untersuchung angezeigte Gesamtperfusion (OBF in  $\mu\text{l}/\text{min}$ ) nur als Schätzwert zu betrachten.

## 2 Methodik und Probanden

Wir untersuchten prospektiv 73 augengesunde Probanden im Alter von 17 bis 82 Jahren. Von jedem Probanden wurde eine eingehende Anamnese erhoben hinsichtlich Augenerkrankungen, systemischen oder vaskulären Erkrankungen, Medikamenteneinnahme und vaskulären Risikofaktoren. Folgende Ausschlusskriterien (Tabelle 1) wurden angewandt:

Ausschlusskriterien	
Augenerkrankungen:	Glaukom, Gesichtsfelddefekte, Augenoperationen und Laserbehandlungen
Systemische Erkrankungen:	Diabetes mellitus, Hypercholesterinämie, neurologische Erkrankungen
Vaskuläre Erkrankungen:	Angina pectoris, thromboembolische Ereignisse (Myokardinfarkt, Apoplex), Stenose der Arteria carotis interna (>50%), periphere Gefäßerkrankungen (AVK, Vaskulitis)

**Tabelle 1**

Ausschlusskriterien bezüglich okulären, systemischen und vaskulären Grunderkrankungen für unser Kollektiv.

Untersucht wurden 36 Männer und 37 Frauen, darunter 14 Raucher (9 Männer, 5 Frauen). 13 Frauen nahmen Ovulationshemmer ein (darunter 4 Raucherinnen). 44 Probanden waren fehlsichtig (7 Probanden mit Hypermetropie, 32 mit Myopie und 5 mit Presbyopie). Wir untersuchten auch die Differenz zwischen den Flussparametern bei 5 Probanden mit behandelter und 3 Probanden mit beobachteter Hypertonie im Vergleich zu einem Kontrollkollektiv. Probanden mit Hypertonie erfüllten mindestens die Kriterien der Grenzwerthypertonie nach WHO (>140 mmHg systolisch oder >90 mmHg diastolisch).

Tabelle 2 zeigt einen Überblick über die Zusammensetzung unseres Kollektivs.

Überblick über die Kollektivzusammensetzung					
Parameter	Range (Min-Max)	Median	Mittelwert $\pm$ SD	5. Perzentile	95. Perzentile
Alter	17 – 82	27,0	33,6 $\pm$ 16,0	20,0	67,5
RR systol.	95 – 180	120,0	120,6 $\pm$ 14,1	105,0	150,0
RR diastol.	50 – 110	70,0	71,6 $\pm$ 10,1	60,0	90,0
Puls	36 – 112	72,0	72,6 $\pm$ 12,9	56,0	98,0
IOP	6,8 – 21,1	14,0	14,4 $\pm$ 2,8	9,2	18,1
OPA	0,9 – 5,8	2,4	2,4 $\pm$ 0,8	1,2	3,7
OBF	336 – 2527	821,5	850,6 $\pm$ 291,7	505,1	1347,9

**Tabelle 2**

Kollektivzusammensetzung bezüglich Alter, Blutdruck, Puls, intraokulärem Druck, okulärer Pulsamplitude und okulärem Blutfluss. Aufgeführt wurden jeweils Spannweite (Range), Median, Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung sowie die Werte für die 5. und 95. Perzentile.

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Hierbei ist festzuhalten, dass die Männer durchschnittlich älter waren (mittleres Alter 38,2 Jahre, Frauen 29,0 Jahre) sowie einen signifikant höheren systolischen Blutdruck hatten (mittlerer systolischer Blutdruck 126,7 mmHg, Frauen 114,5 mmHg). Dieser Effekt könnte durch die Altersabhängigkeit des Blutdrucks erklärt werden (siehe Kapitel 3.4 Abhängigkeit der Flussparameter von Blutdruck und Pulsfrequenz, Seite 30).

Bei jedem Probanden wurden Blutdruck und Puls im Liegen bestimmt. Weiterhin wurden Augeninnendruck, okuläre Pulsamplitude und okulärer Blutfluss an einer Spaltlampe sitzend mit einem OBF Tonometer gemessen (OBF Labs (UK) Ltd OBF Tonometer).

Alle Ultraschalluntersuchungen wurden mit einem Sonoline Elegra Advanced System (Siemens, Erlangen) mit einem 7,5PL13 Phased-Array-Schallkopf bei 9 MHz Sendefrequenz und einer auf 40% reduzierten Sendeleistung durchgeführt. Diese Grundeinstellungen wurden in einem speziellen Programm gespeichert. Alle Messungen wurden vom selben Untersucher nach einem standardisierten Schema durchgeführt, um eine größere inter- und intraobserver Variabilität zu vermeiden.

Standardisiertes Untersuchungsschema
Arteria carotis interna (CI)
Arteria ophthalmica (OA)
Arteria centralis retinae (CRA)
Arteria ciliaris posterior brevis (PCAs)
Arteria ciliaris posterior longus (PCAl)
Arteria lacrimalis

<p><b>Tabelle 3</b></p> <p>Standardisierte Untersuchungsreihenfolge der Gefäße, die jeweils am linken und rechten Auge angewendet wurde.</p>
--

Am liegenden Probanden wurde der Schallkopf auf die geschlossenen Augenlider aufgesetzt. Anstelle des üblichen Kontaktgels verwendeten wir normales Leitungswasser, da das alkalische Gel reizend auf die Schleimhäute des Auges wirken könnte<sup>1</sup>. Unserer Erfahrung nach entsteht mit dieser Methode kein Verlust an Bildqualität, da der von uns verwendete Schallkopf nur eine Auflagefläche von 1 x 1,3 cm hat. Während der Untersuchung wurde er zudem vor jeder neuen Messung neu befeuchtet. Dieser Schallkopf wird primär in der Pädiatrie eingesetzt, z.B. zur Schädelsonographie durch die offene Fontanelle im Rahmen des Neugeborenen Screenings.

Um Artefakte zu vermeiden, wurde der Proband gebeten, seine Augen möglichst nicht zu bewegen. Außerdem sollte der Untersucher möglichst wenig Druck mit dem Schallkopf auf das Auge ausüben. Es wurden nacheinander beide Augen sowie beide Arteriae carotis internae des Probanden untersucht, wofür insgesamt 30-45 Minuten benötigt wurden. Zunächst erfolgte ein B-Scan mit farbkodierter Dopplerflussinformation zur Identifizierung der okulären Strukturen und Gefäße, Gatepositionierung und Winkelkorrektur. Wir verwendeten eine Standard-Gategröße von 1mm. Hierzu ist anzumerken, dass diese kleinste einstellbare Gategröße noch deutlich über dem geschätzten Gefäßdurchmesser der Arteriae ciliares posteriores breves (ca. 0,2mm) liegt (siehe Kapitel 0 Fehlerbetrachtung, Seite 89).

Für jedes Gefäß wurde anschließend mindestens drei Mal eine Dopplerspektralanalyse durchgeführt über jeweils 3 Herzzyklen.

Die Messungen für die Arteria ophthalmica wurden bei allen Probanden in gleicher Position und Tiefe in ihrem schrägen Verlauf nasal des Nervus opticus durchgeführt, da hier bei transkraniellen Doppleruntersuchungen eine direkte Korrelation zwischen Flussparametern und Tiefe der Messung in der Orbita demonstriert wurde. Auch für die Arteria ciliare posteriora brevis et longa versuchten wir, die Messungen in konstantem Abstand von der Orbitakante durchzuführen, obwohl für diese Gefäße bisher nicht nachgewiesen wurde, dass die Veränderung der Messtiefe einen Einfluss auf die Flussparameter haben könnte.

Meist sind mehrere Arteria ciliare posteriora brevis nasal und temporal darstellbar. Bisher wurden keine Differenzen der Flussparameter zwischen nasalen und temporalen Gefäßen nachwiesen. Daher wählten wir nach dem Zufallsprinzip ein Gefäß für alle Messungen der Arteria ciliare posteriora brevis an diesem Auge aus.

Zur quantitativen Beschreibung der Dopplerflusskurven wurden folgende Messparameter bestimmt (Tabelle 4). In einer Messung wurde über mindestens drei Herzzyklen gemittelt, um die Effekte physiologischer Variation zu vermindern.

Flussparameter		
Abkürzung	Deutsch (Englisch)	Einheit
PSV	maximale systolische Flussgeschwindigkeit (peak systolic velocity)	cm/s
EDV	enddiastolische Flussgeschwindigkeit (enddiastolic velocity)	cm/s
TAMx	durchschnittliche Maximalgeschwindigkeit (time averaged peak velocity)	cm/s
TAMn	durchschnittliche mittlere Geschwindigkeit (time averaged mean velocity)	cm/s
PI	Pulsatilitätsindex (Gosling's index, pulsatility index)	-
RI	Widerstandsindex (Pourcelot's index, resistive index)	-

**Tabelle 4**

Flussparameter zur quantitativen Beschreibung der Dopplerflusskurven.

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe auch Seite 2)

### 3 Ergebnisse

Die Arteria carotis interna wurde bei 62 von 73 Probanden (84,9%) beidseitig identifiziert und vermessen. Bei 4 Probanden (5,5%) konnte das Gefäß nicht, bei 7 Probanden (9,6%) nur einseitig (davon 3 links und 4 rechts) dargestellt werden. In diesen Fällen lag meist die Aufzweigung der Arteria carotis communis in Arteria carotis interna und externa weit distal, so dass das Schallfeld durch die Mandibula verdeckt wurde. Bei einigen Probanden ließ sich dieser Zustand jedoch durch Überstreckung des Halses ausgleichen. Insgesamt wurde die Arteria carotis interna also bei 131 von 146 Augen (89,7%) identifiziert.

Die Arteria ophthalmica konnte bei 71 von 73 Probanden (97,3%) beidseitig dargestellt werden. Bei zwei Probanden (2,7%) gelang eine optimale Messung nur an einem Auge (jeweils links). Dies entspricht insgesamt einer Darstellbarkeit bei 144 von 146 Augen (98,6%).

Die Arteria centralis retinae konnte bei allen Probanden in beiden Augen (100%) identifiziert und vermessen werden.

Die Arteriae ciliares posteriores breves wurden bei 57 von 73 Probanden (78,1%) beidseitig demonstriert. Bei einem Probanden (1,4%) konnten die Gefäße nicht eindeutig identifiziert werden. Bei 15 Probanden (20,5%) gelang eine eindeutige Zuordnung nur einseitig (davon 8 links und 7 rechts). Insgesamt wurden die Flussparameter in 129 von 146 Augen (88,4%) bestimmt.

Die Arteriae ciliares posteriores longi wurden bei 26 von 73 Probanden (35,6%) beidseitig identifiziert und vermessen. Bei 15 Probanden (20,5%) konnte das Gefäß nicht, bei 32 Probanden (43,8%) nur einseitig (davon 15 links und 17 rechts) dargestellt werden. Insgesamt ließen sich diese Gefäße bei 84 Augen von 146 (57,5%) eindeutig von den Arteriae ciliares posteriores breves differenzieren (siehe Kapitel 3.2 Differenzierung zwischen Arteriae ciliares posteriores breves et longi, Seite 21).

Für alle Flussparameter der Gefäße wurden Minimum, Maximum, Median, Mittelwert und Standardabweichung (SD) berechnet.

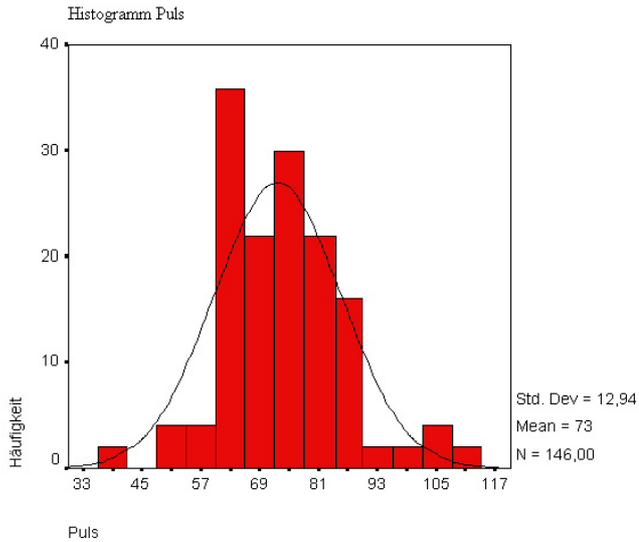
Flussparameter der retrobulbären Gefäße						
Gefäß	Parameter	Range (Min-Max)	Median	Mittelwert ±SD	5. Perzentile	95. Perzentile
CI	PSV	37,43 – 168,43	77,20	82,65 ± 26,98	48,69	145,54
	EDV	8,77 – 65,03	24,50	25,41 ± 8,37	13,9	40,07
	PI	0,800 – 2,495	1,457	1,476 ± 0,349	0,982	2,105
	RI	0,517 – 0,857	0,697	0,686 ± 0,068	0,572	0,797
OA	PSV	17,67 – 123,87	44,77	48,63 ± 18,34	25,51	80,92
	EDV	2,70 – 23,70	8,13	8,85 ± 4,59	3,32	18,53
	PI	1,107 – 4,680	2,145	2,215 ± 0,627	1,391	3,265
	RI	0,667 – 0,937	0,822	0,817 ± 0,061	0,714	0,913
CRA	PSV	6,60 – 23,13	12,09	12,81 ± 3,41	8,63	20,31
	EDV	1,60 – 8,70	3,13	3,50 ± 1,30	2,04	6,29
	PI	0,933 – 2,230	1,467	1,465 ± 0,246	1,050	1,900
	RI	0,593 – 0,823	0,730	0,729 ± 0,050	0,640	0,800
PCAs	PSV	6,80 – 18,05	12,17	12,16 ± 2,43	8,38	16,11
	EDV	2,00 – 6,83	3,90	4,01 ± 1,01	2,51	5,80
	PI	0,830 – 1,997	1,200	1,208 ± 0,208	0,906	1,576
	RI	0,520 – 0,837	0,670	0,669 ± 0,056	0,573	0,754
PCAI	PSV	8,85 – 25,10	15,44	15,56 ± 3,51	10,56	22,37
	EDV	1,90 – 9,60	4,29	4,46 ± 1,64	2,48	7,90
	PI	0,785 – 2,250	1,378	1,407 ± 0,282	1,022	1,886
	RI	0,525 – 0,880	0,715	0,717 ± 0,065	0,625	0,819

**Tabelle 5**

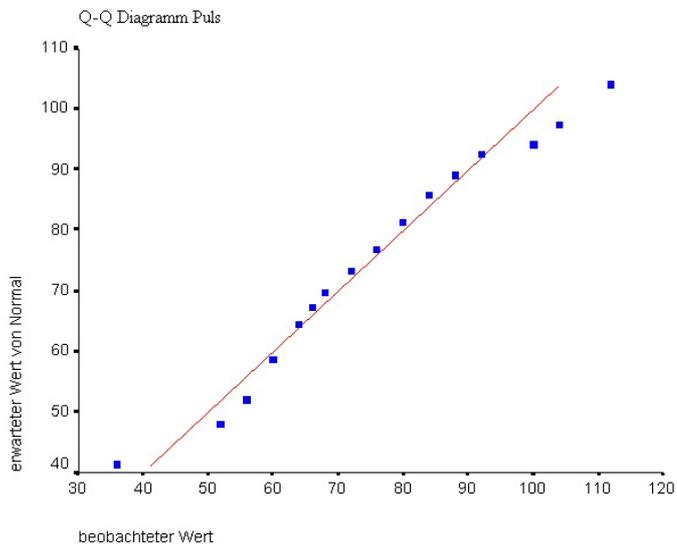
Flussparameter der Arteria carotis interna, Arteria ophthalmica, Arteria centralis retinae und Arteriae ciliares posteriores breves et longi für unser Kollektiv. Aufgeführt wurden jeweils Spannweite (Range), Median, Mittelwert ± Standardabweichung sowie die Werte für die 5. und 95. Perzentile.

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Im Anhang (Kapitel 7.1 Grafiken, Seite 98) findet sich für alle Gefäße eine graphische Darstellung der Häufigkeitsverteilungen sowie ein Q-Q-Diagramm zur Prüfung der Werte auf Normalverteilung. Hierbei wird der beobachtete Wert gegen den bei einer Normalverteilung erwarteten Wert aufgetragen. Je genauer die beobachteten Werte auf einer 45° Geraden liegen, desto eher entsprechen sie einer Normalverteilung. Die Abbildungen 13 und 14 zeigen am Beispiel der gemessenen Pulsfrequenzen, dass diese annähernd normalverteilt sind.

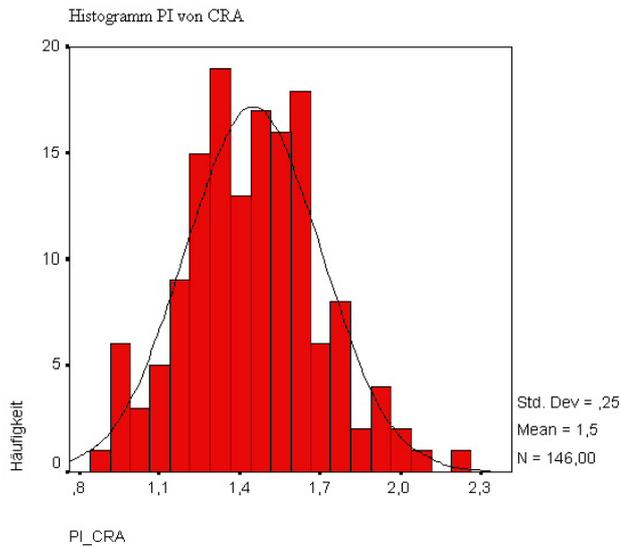
**Abbildung 13**

Häufigkeitsdarstellung der gemessenen Pulsfrequenzen als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve (siehe Abbildung 82).

**Abbildung 14**

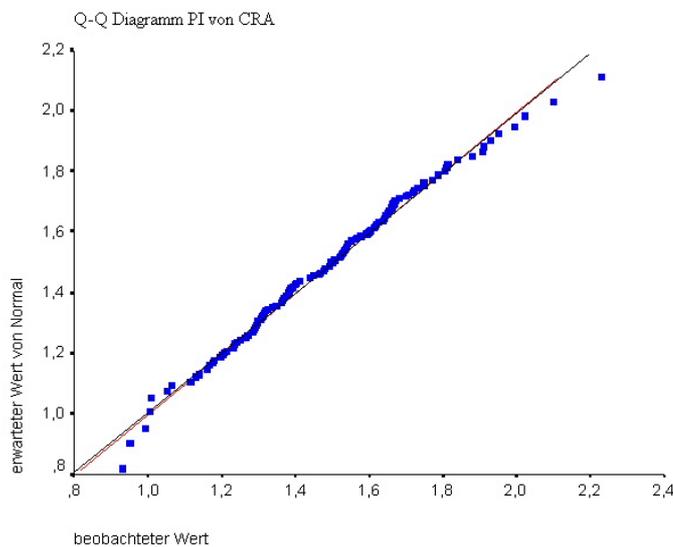
Darstellung der beobachteten und erwarteten Pulsfrequenzen als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung (siehe Abbildung 83).

Bei Betrachtung der Q-Q-Diagramme für die Flussparameter der Gefäße fällt auf, dass besonders die von einer Winkelkorrektur unabhängigen Parameter PI und RI sehr stark an eine Normalverteilung angenähert sind. Sie sind daher am besten für Korrelationsbetrachtungen geeignet, da sie durch Ausschaltung dieser Fehlerquelle weniger streuen.

**Abbildung 15**

Häufigkeitsdarstellung der Pulsatilitätsindices in der Arteria centralis retinae (PI\_CRA) als Histogramm mit überlageter Normalverteilungskurve (siehe Abbildung 114).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 16**

Darstellung der beobachteten und erwarteten Pulsatilitätsindices in der Arteria centralis retinae als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung (siehe Abbildung 115).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

### 3.1 Vergleich der Flussparameter für linkes und rechtes Auge

Mittels Levene-Test zur Überprüfung der Varianzhomogenität sowie Student's t-Test zum Vergleich der Mittelwerte zweier unabhängiger Stichproben wurde nachgewiesen, dass bei gleichen Varianzen keine Differenz zwischen den für das rechte und das linke Auge bestimmten Flussparametern besteht. Das Signifikanzniveau wurde auf  $< 0,05$  festgelegt.

Vergleich der Flussparameter für linkes und rechtes Auge					
Gefäß	Parameter	linkes Auge Mittelwert $\pm$ SD	rechtes Auge Mittelwert $\pm$ SD	mittlere Differenz	Signifikanz
OA	PSV	49,47 $\pm$ 18,09	47,81 $\pm$ 18,66	1,66	0,588
	EDV	9,30 $\pm$ 5,17	8,42 $\pm$ 3,94	0,88	0,251
	PI	2,211 $\pm$ 0,682	2,219 $\pm$ 0,574	-0,008	0,983
	RI	0,814 $\pm$ 0,067	0,820 $\pm$ 0,056	-0,006	0,575
CRA	PSV	12,58 $\pm$ 3,35	13,03 $\pm$ 3,47	-0,46	0,420
	EDV	3,38 $\pm$ 1,30	3,63 $\pm$ 1,30	-0,25	0,240
	PI	1,490 $\pm$ 0,253	1,439 $\pm$ 0,238	0,052	0,205
	RI	0,735 $\pm$ 0,050	0,723 $\pm$ 0,049	0,012	0,145
PCAs	PSV	12,26 $\pm$ 2,31	12,06 $\pm$ 2,55	0,20	0,635
	EDV	4,07 $\pm$ 1,07	3,96 $\pm$ 0,96	0,11	0,550
	PI	1,210 $\pm$ 0,221	1,206 $\pm$ 0,196	0,004	0,910
	RI	0,668 $\pm$ 0,058	0,669 $\pm$ 0,054	-0,001	0,885
PCAI	PSV	15,95 $\pm$ 3,56	15,15 $\pm$ 3,46	0,80	0,298
	EDV	4,41 $\pm$ 1,61	4,51 $\pm$ 1,69	-0,10	0,792
	PI	1,450 $\pm$ 0,291	1,361 $\pm$ 0,270	0,088	0,153
	RI	0,726 $\pm$ 0,065	0,707 $\pm$ 0,064	0,019	0,180

**Tabelle 6**

Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen linkem und rechtem Auge mit mittlerer Differenz und Signifikanz. (Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

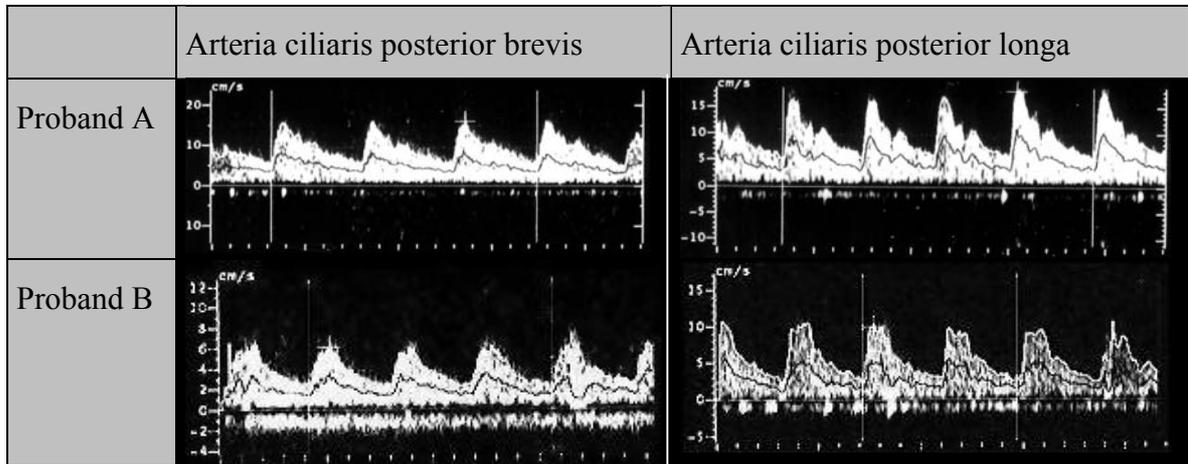
### 3.2 Differenzierung zwischen Arteriae ciliares posteriores breves et longi

In den meisten Fällen können mehrere Arteriae ciliares posteriores temporal und nasal kurz vor dem Bulbus dargestellt werden. Wir untersuchten die Arteriae ciliares posteriores breves in unmittelbarer Nähe des Sehnervs. Von diesen nasal oder temporal darstellbaren Gefäßen wurde eines zufällig ausgewählt, da in bisherigen Studien keine seitenabhängigen Flussdifferenzen festgestellt werden konnten. Diese Gefäße zeigen eine geringere Pulsatilität entsprechend dem geringeren Widerstand des choroidalen Gefäßbettes. Nach einem kurzen, wenig steilen systolischen Geschwindigkeitsanstieg fällt die Flussgeschwindigkeit während der Diastole nur wenig und relativ gleichförmig ab. Die dichrotische Kerbe ist nur selten eindeutig zu identifizieren.

Aber auch in einiger Entfernung vom Nervus opticus nicht direkt bulbusnah können in einigen Fällen im Farbdopplermodus Gefäße dargestellt und im Duplexmodus Flussprofile abgeleitet werden. Es zeigt sich meist ein Gefäß temporal etwa auf halber Strecke zwischen Bulbus und Arteria lacrimalis mit Verlauf nach anterior und lateral. Auffallend an diesem Gefäß ist sein gegenüber den Arteriae ciliares posteriores breves leicht verändertes Flussprofil. Auch nasal lässt sich allerdings weniger regelmäßig ein solches Gefäß mit ähnlichem Flussprofil in einiger Entfernung vom Bulbus in mehr oder weniger schrägem Verlauf nach anterior nasal demonstrieren. Bei einem Probanden lassen sich maximal zwei

dieser GefäÙe darstellen. Es ist naheliegend, dass es sich bei diesen GefäÙen um die Arteria ciliaris posterior longi handelt, worauf auch der Verlauf retrobulbär hindeutet.

Abbildung 17 stellt die Flussprofile der beiden GefäÙstypen am Beispiel zweier Probanden gegenüber. Hier wird auch die altersabhängige Veränderung des Flussprofils deutlich, auf die im Kapitel 3.3 Seite 26, näher eingegangen wird.

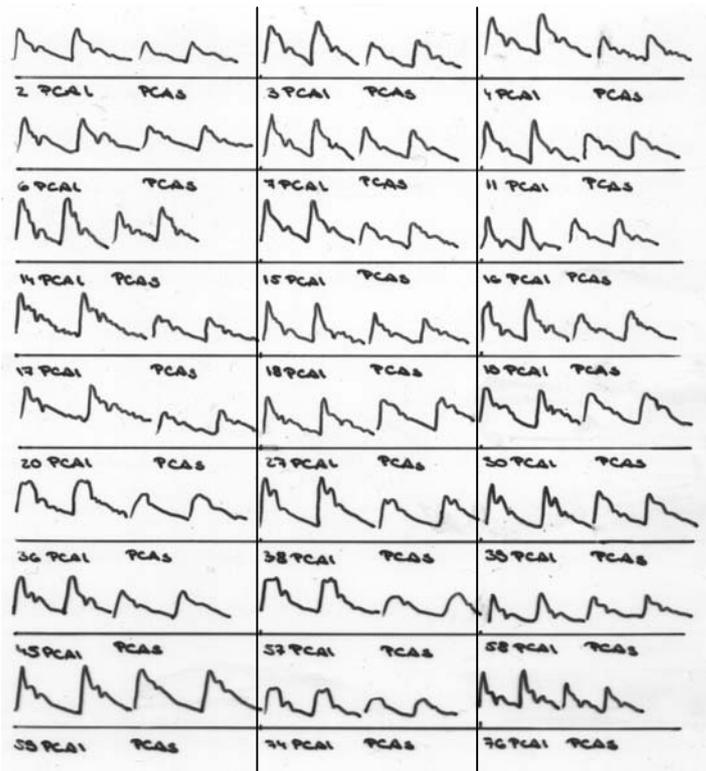


**Abbildung 17**

Gegenüberstellung der Flussprofile der Arteriae ciliares posteriores breves et longi am Beispiel zweier Probanden (Proband A 17 7/12 Jahre alt, Proband B 76 3/12 Jahre alt).

Die Arteriae ciliares posteriores breves zeigen eine geringe Pulsatilität entsprechend dem geringeren Widerstand des choroidalen GefäÙbettes. Nach einem kurzen, wenig steilen systolischen Geschwindigkeitsanstieg fällt die Flussgeschwindigkeit während der Diastole nur wenig und relativ gleichförmig ab. Die dichrotische Kerbe ist nur selten eindeutig zu identifizieren. In der Arteria ciliaris posterior longa wird nach einem steileren Anstieg des Flusses eine höhere PSV erreicht. Danach folgt ein steilerer Abfall der Flussgeschwindigkeit. Häufig ist eine deutliche dichrotische Kerbe ausgeprägt. Auch der zweite systolische Peak ist prominenter. In der Regel fällt der Fluss auf eine etwas höhere EDV ab.

Abbildung 18 zeigt nochmals an einigen Beispielen schematisch vergleichend das Flussprofil einer Arteria ciliaris posterior brevis und einer Arteria ciliaris posterior longa am selben Auge des jeweiligen Probanden. Hierbei wurden beide GefäÙe in gleicher Skalierung dargestellt, um den Verlauf des Flussprofils nicht zu verfälschen.



**Abbildung 18**

Darstellung schematischer Flussprofile zum Vergleich der Arteria ciliaris posterioris brevis (PCAS) und Arteria ciliaris posterioris longi (PCAL) an einigen repräsentativen Probanden.

Es wird ersichtlich, dass sich im Einzelfall die Entscheidung, ob es sich um eine Arteria ciliaris posterior brevis oder eine Arteria ciliaris posterioris longi handelt, nicht allein auf die Form des Flussprofils stützen kann. Insbesondere bei älteren Patienten können hier Probleme entstehen. Es müssen immer alle darstellbaren Gefäße sorgfältig untersucht und möglichst bei gleicher Skalierung verglichen werden, da insbesondere bei schrägem Anschneiden der Gefäße mit nicht optimaler Gatepositionierung Verwechslungen möglich sind. Weiterhin sollte der genaue Verlauf des Gefäßes verifiziert werden. Insbesondere die Differenzierung von der Arteria lacrimalis ist wegen der Ähnlichkeit ihres Flussprofils mit dem der Arteria ciliaris posterioris longi von Bedeutung. Weiterhin ist nicht klar, inwieweit das Flussprofil der drei Hauptstämme der Arteria ciliaris posterioris sich von dem der Arteria ciliaris posterioris longi unterscheidet, da hierzu noch keine Daten vorliegen.

Die Flussparameter der Arteria ciliaris posterioris brevis wurden in 129 von 146 Augen (88,4%) bestimmt. Im Gegensatz dazu konnten die Arteria ciliaris posterioris longi nur in 84 von 146 Augen (57,5%) eindeutig von den Arteria ciliaris posterioris brevis differenziert werden. Bei 15 Probanden (20,5%) konnten diese Gefäße nicht, bei 32 Probanden (43,8%) nur einseitig (davon 15 links und 17 rechts) dargestellt werden.

Zum Vergleich der Flussparameter beider Gefäßtypen wurde ein Student's t-Test zum Mittelwertsvergleich bei unabhängigen Stichproben durchgeführt (Tabelle 7).

Vergleich der Flussparameter der Arteriae ciliares posteriores breves et longi				
Parameter	PCAs Mittelwert $\pm$ SD	PCAl Mittelwert $\pm$ SD	Mittlere Differenz	Signifikanz
PSV	12,11 $\pm$ 2,64	15,43 $\pm$ 3,92	<b>3,63</b>	<b>&lt; 0,001</b>
EDV	4,0 $\pm$ 1,08	4,45 $\pm$ 1,77	<b>0,61</b>	<b>0,001</b>
PI	1,203 $\pm$ 0,235	1,394 $\pm$ 0,322	<b>0,176</b>	<b>&lt; 0,001</b>
RI	0,664 $\pm$ 0,078	0,710 $\pm$ 0,097	<b>0,043</b>	<b>&lt; 0,001</b>

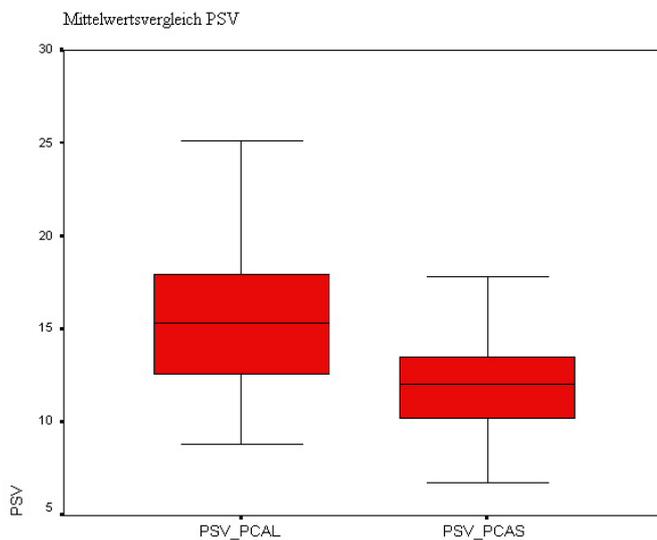
**Tabelle 7**

Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter der Arteriae ciliares posteriores breves et longi mit mittlerer Differenz und Signifikanz. Signifikante Differenzen sind fett dargestellt, d.h.  $p < 0,05$ .

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

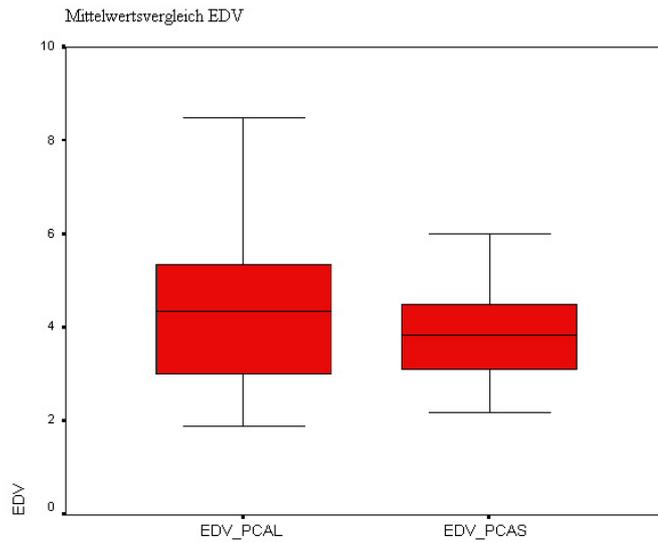
Die Flussparameter der beiden Gefäßtypen unterscheiden sich signifikant, wobei die Flussparameter der Arteriae ciliares posteriores longi in allen Bereichen höher liegen als die der Arteriae ciliares posteriores breves. Der pulsatile Fluss mit schnell erreichter hoher PSV und höherem RI verdeutlicht die Perfusionsverhältnisse im distalen Gefäßbett.

Diese Zusammenhänge werden in den Abbildungen 19 bis 22 als Boxplots dargestellt. Die Box repräsentiert den interquartilen Range der 50% der Werte enthält. Die von der Box ausgehenden vertikalen Linien markieren die minimalen und maximalen Werte, wobei extrem ausfallende Werte ausgeschlossen werden. Die horizontale Linie durch die Box markiert den Median.

**Abbildung 19**

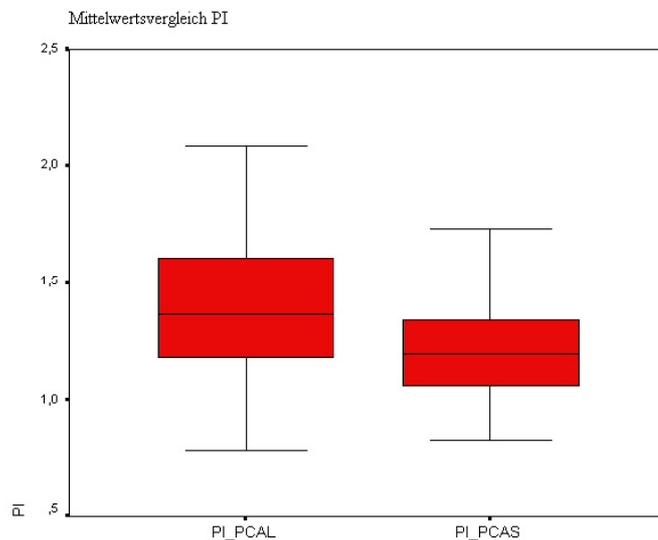
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten zwischen den Arteriae ciliares posteriores breves (PSV\_PCAs) und Arteriae ciliares posteriores longi (PSV\_PCAl),  $p < 0,001$ .

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 20**

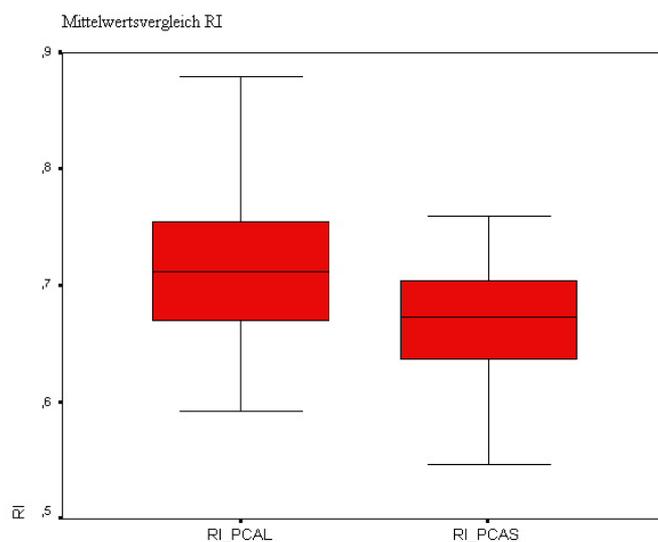
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten zwischen den Arteriae ciliares posteriores breves (EDV\_PCAs) und Arteriae ciliares posteriores longi (EDV\_PCAL),  $p=0,001$ .

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 21**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Pulsatilitätsindices zwischen den Arteriae ciliares posteriores breves (PI\_PCAs) und Arteriae ciliares posteriores longi (PI\_PCAL),  $p<0,001$ .

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 22**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Widerstandsindices zwischen den Arteriae ciliares posteriores breves (RI\_PCAs) und Arteriae ciliares posteriores longi (RI\_PCAL),  $p<0,001$ .

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

In verschiedenen Studien wurde der Einfluss okulärer Erkrankungen des hinteren Augenabschnitts auf die Flussparameter der Arteriae ciliares posteriores breves untersucht. Unter

Kenntnis der in unserer Studie ermittelten Flussparameter für die Arteriae ciliares posteriores longi könnten nun Studien folgen, die Perfusionsänderungen bei Erkrankungen des vorderen Augenabschnittes untersuchen, zum Beispiel bei Iridozyklitis.

### 3.3 Abhängigkeit der Flussparameter vom Alter

Bivariate Korrelationen zwischen zwei parametrischen Variablen wurden anhand des Spearman'schen Korrelationskoeffizienten angegeben. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt. Tabelle 8 zeigt die Ergebnisse der Korrelationsbetrachtungen zwischen Alter der Probanden und entsprechenden Flussparametern.

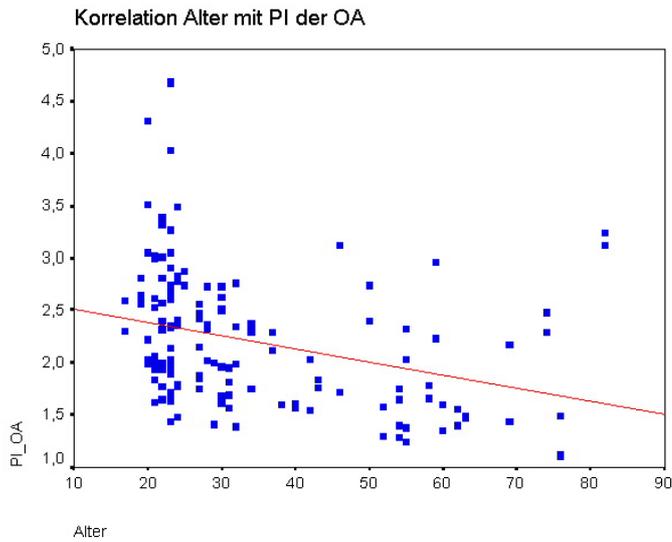
Korrelation der Flussparameter mit dem Alter der Probanden			
Gefäß	Flussparameter	Korrelationskoeffizient	Signifikanz
OA	PSV	-0,104	0,214
	EDV	0,136	0,103
	PI	<b>-0,413</b>	<b>&lt; 0,001</b>
	RI	<b>-0,337</b>	<b>&lt; 0,001</b>
CRA	PSV	<b>0,278</b>	<b>0,001</b>
	EDV	<b>0,274</b>	<b>0,001</b>
	PI	<b>-0,216</b>	<b>0,009</b>
	RI	0,091	0,276
PCAs	PSV	<b>-0,310</b>	<b>&lt; 0,001</b>
	EDV	<b>-0,231</b>	<b>0,009</b>
	PI	-0,107	0,227
	RI	-0,077	0,386
PCAI	PSV	-0,114	0,300
	EDV	-0,021	0,848
	PI	<b>-0,281</b>	<b>0,010</b>
	RI	-0,136	0,216

**Tabelle 8**

Korrelationskoeffizient und Signifikanz für die Korrelation zwischen Flussparametern und Alter. Signifikante Korrelationen mit  $p < 0,05$  sind fett hervorgehoben.

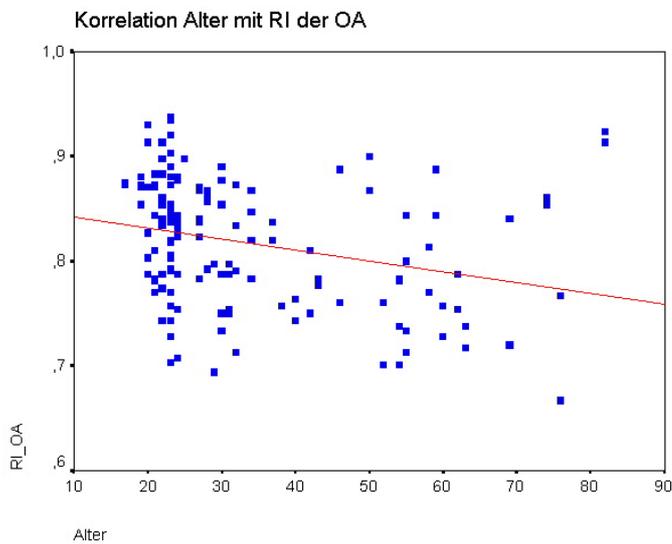
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Es zeigt sich eine statistisch signifikante Abnahme des PI und RI der Arteria ophthalmica (Abbildungen 23 und 24). Dieser Effekt ist unabhängig vom Geschlecht zu beobachten (siehe Kapitel 3.5 Abhängigkeit der Flussparameter vom Geschlecht, Seite 53).

**Abbildung 23**

Scatterplot zur Darstellung der Korrelation zwischen Alter und Pulsatilitätsindices der Arteria ophthalmica (PI\_OA) mit linearer Regressionsgerade ( $R=-0,413$ ,  $p<0,001$ ).

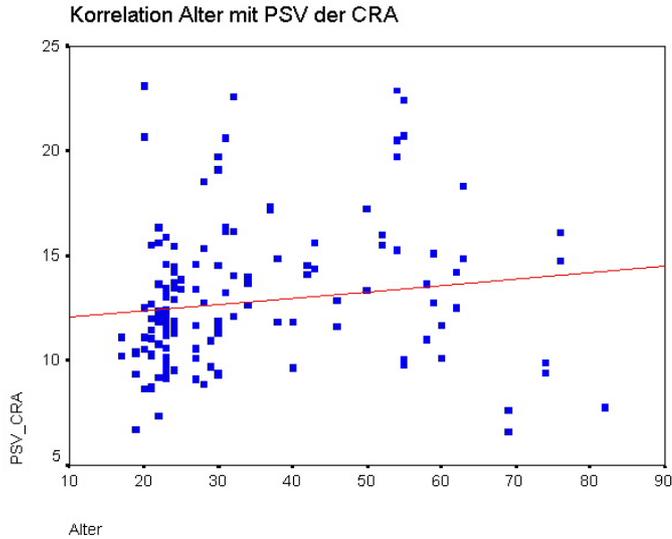
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 24**

Scatterplot zur Darstellung der Korrelation zwischen Alter und Widerstandsindices der Arteria ophthalmica (RI\_OA) mit linearer Regressionsgerade ( $R=-0,337$ ,  $p<0,001$ ).

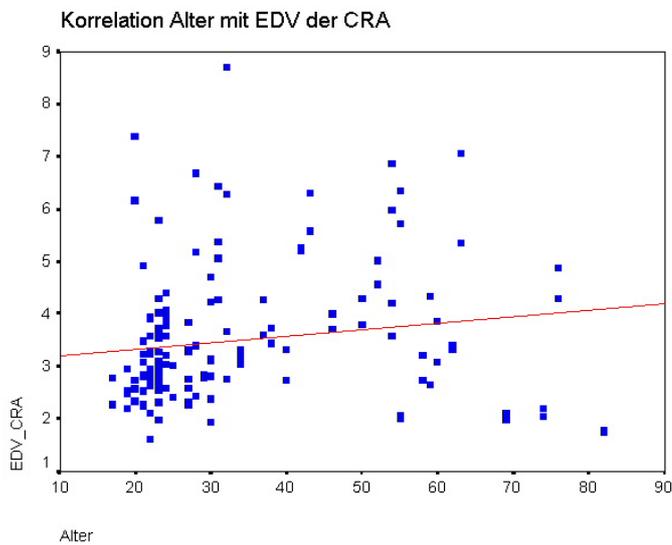
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

In der Arteria centralis retinae wurde eine signifikante Zunahme der PSV und EDV mit dem Alter der Probanden nachgewiesen (Abbildungen 25 und 26). Weiterhin konnte eine Abnahme des PI beobachtet werden (Abbildung 27).

**Abbildung 25**

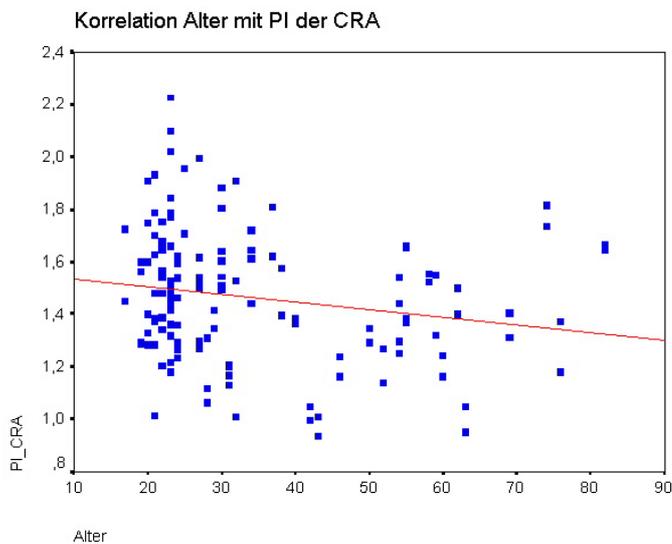
Scatterplot zur Darstellung der Korrelation zwischen Alter und maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten der Arteria centralis retinae (PSV\_CRA) mit linearer Regressionsgerade ( $R=0,278$ ,  $p=0,001$ ).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 26**

Scatterplot zur Darstellung der Korrelation zwischen Alter und enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten der Arteria centralis retinae (EDV\_CRA) mit linearer Regressionsgerade ( $R=0,274$ ,  $p=0,001$ ).

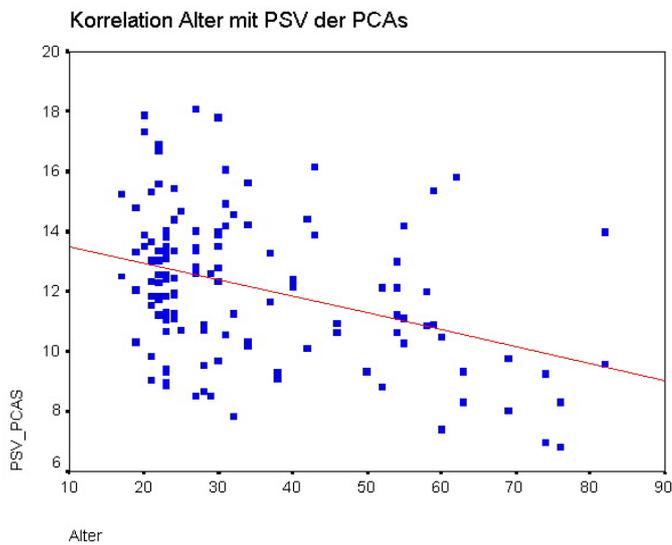
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 27**

Scatterplot zur Darstellung der Korrelation zwischen Alter und Pulsatilitätsindices der Arteria centralis retinae (PI\_CRA) mit linearer Regressionsgerade ( $R=-0,216$ ,  $p=0,009$ ).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

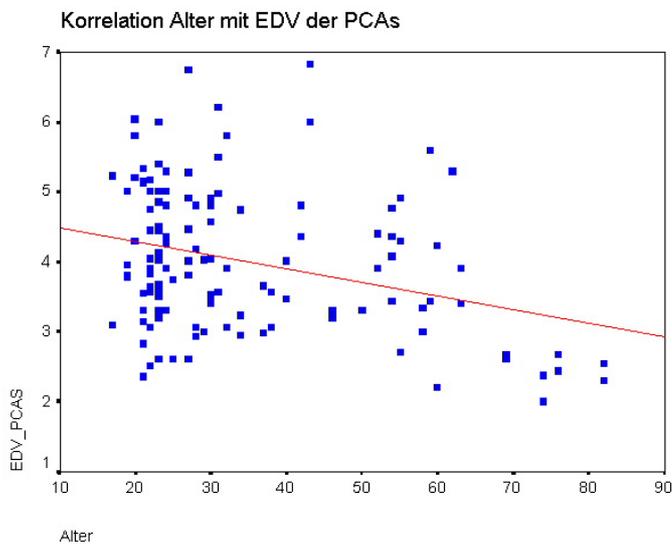
In unserer Studie konnte eine Abnahme der PSV in den Arteriaes ciliares posteriores breves mit dem Alter nachgewiesen werden (Abbildung 28). Es findet sich weiterhin eine Abnahme der EDV, ebenfalls nur in den Arteriaes ciliares posteriores breves in signifikanter Weise (Abbildung 29). Bei den Arteriaes ciliares posteriores longi nimmt der PI signifikant mit dem Alter ab (Abbildung 30).



**Abbildung 28**

Scatterplot zur Darstellung der Korrelation zwischen Alter und maximaler systolischer Flussgeschwindigkeit der Arteriaes ciliares posteriores breves (PSV\_PCAs) mit linearer Regressionsgerade ( $R=-0,310$ ,  $p<0,001$ ).

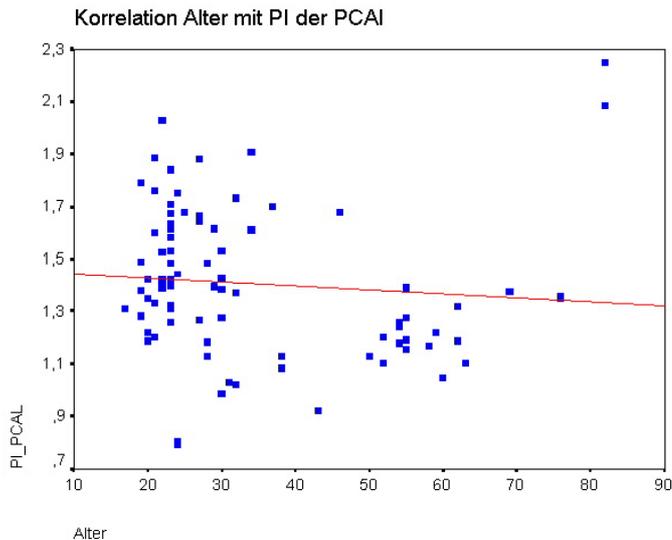
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)



**Abbildung 29**

Scatterplot zur Darstellung der Korrelation zwischen Alter und enddiastolischer Flussgeschwindigkeit der Arteriaes ciliares posteriores breves (EDV\_PCAs) mit linearer Regressionsgerade ( $R=-0,231$ ,  $p=0,009$ ).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

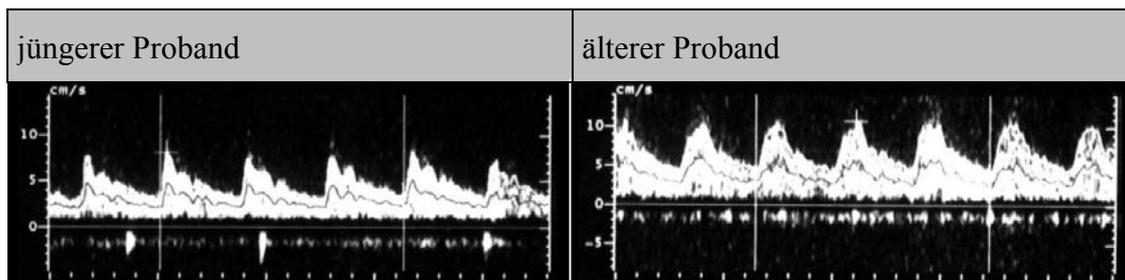


**Abbildung 30**

Scatterplot zur Darstellung der Korrelation zwischen Alter und Pulsatilitätsindices der Arteriae ciliares posteriores longi (PI\_PCAI) mit linearer Regressionsgerade ( $R=-0,281$ ,  $p=0,010$ ).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Unabhängig davon wird eine Veränderung der Form des Flusskurvenprofils bei zunehmendem Alter deutlich (siehe Abbildung 31 und auch Abbildung 18). Dabei flacht vor allem der erste systolische Peak ab, und die dichrotische Kerbe wird weniger evident.



**Abbildung 31**

Vergleich der Flussprofile eines jüngeren 24 jährigen und eines älteren 76 jährigen Probanden am Beispiel einer Arteria ciliaris posterior brevis.

Der linke Teil der Abbildung 31 stammt von der Arteria ciliaris posterior brevis eines 24 Jahre alten Probanden. Der systolische Peak ist spitz und steil. Die dichrotische Kerbe ist tief. Der nachfolgende zweite Peak ist ebenfalls scharf abgegrenzt. Im zügigen Abfall zur EDV werden oft noch weitere Peaks sichtbar. Die rechte Abbildung zeigt das gleiche Gefäß bei einem 76 Jahre alten Probanden. Deutlich ist der weniger steile und abgerundete erste systolische Peak zu erkennen. Nach einer weniger evidenten dichrotischen Kerbe folgt ein ebenfalls abgerundeter, oft kaum identifizierbarer zweiter systolischer Peak.

### 3.4 Abhängigkeit der Flussparameter von Blutdruck und Pulsfrequenz

Es bestehen wechselseitige Beziehungen zwischen Blutdruck und Alter. Der systolische und diastolische Blutdruck steigen signifikant mit dem Alter der Probanden. Die Pulsfrequenz sinkt hingegen.

Korrelation zwischen Alter und Blutdruck bzw. Puls		
Parameter	Korrelationskoeffizient	Signifikanz
systolischer Blutdruck	<b>0,508</b>	<b>&lt; 0,001</b>
diastolischer Blutdruck	<b>0,295</b>	<b>&lt; 0,001</b>
Pulsfrequenz	<b>-0,279</b>	<b>0,001</b>

**Tabelle 9**

Korrelationskoeffizient und Signifikanz für die Korrelation zwischen Alter und Blutdruck bzw. Alter und Pulsfrequenz.

#### ABHÄNGIGKEIT DER FLUSSPARAMETER VOM SYSTOLISCHEN BLUTDRUCK

Zur Verdeutlichung der Zusammenhänge zwischen Flussparametern, Alter und Blutdruck werden wir die Flussparameter für unser Kollektiv in zwei Altersklassen nach Gruppen mit hohem bzw. niedrigem systolischem Blutdruck untersuchen. Als Trennwert (cutoff) für die zwei Altersgruppen wurde der Median von 27 Jahren gewählt: 39 Probanden sind jünger oder gleich 27 Jahre alt (14 Männer, 25 Frauen), und 34 Probanden sind älter als 27 Jahre (22 Männer, 12 Frauen). Als Trennwert für den Blutdruck wurde der Median von 120 mmHg gewählt. In der Gruppe jünger oder gleich 27 Jahren hatten 33 Personen einen systolischen Blutdruck kleiner oder gleich 120 mmHg, 6 Probanden lagen über 120 mmHg. In der Altersklasse über 27 Jahren fanden sich 13 Personen mit niedrigerem und 21 Personen mit höherem systolischem Blutdruck als 120 mmHg. Tabelle 10 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Flussparameter in den oben beschriebenen Gruppen.

Vergleich der Flussparameter getrennt nach Alter in zwei Blutdruckklassen					
		≤ 27 Jahre Mittelwert ±SD		> 27 Jahre Mittelwert ±SD	
Parameter		≤ 120 mmHg	> 120 mmHg	≤ 120 mmHg	> 120 mmHg
OA	PSV	47,5 ± 18,4	55,0 ± 20,4	43,4 ± 17,1	52,1 ± 17,8
	EDV	7,4 ± 3,8	10,5 ± 4,8	7,9 ± 3,3	11,3 ± 5,4
	PI	2,49 ± 0,62	2,17 ± 0,63	2,09 ± 0,44	1,87 ± 0,55
	RI	0,84 ± 0,05	0,80 ± 0,07	0,81 ± 0,06	0,79 ± 0,06
CRA	PSV	11,9 ± 2,6	11,0 ± 2,3	14,1 ± 2,8	13,9 ± 4,4
	EDV	3,1 ± 0,9	3,1 ± 1,1	4,1 ± 1,3	3,9 ± 1,6
	PI	1,53 ± 0,22	1,50 ± 0,31	1,39 ± 0,29	1,40 ± 0,21
	RI	0,74 ± 0,04	0,72 ± 0,06	0,72 ± 0,06	0,72 ± 0,04
PCAs	PSV	12,9 ± 2,0	12,4 ± 2,7	12,5 ± 2,4	10,8 ± 2,4
	EDV	4,1 ± 0,9	4,5 ± 1,1	4,4 ± 1,1	3,5 ± 0,9
	PI	1,25 ± 0,20	1,13 ± 0,18	1,13 ± 0,19	1,23 ± 0,22
	RI	0,68 ± 0,05	0,64 ± 0,07	0,65 ± 0,06	0,67 ± 0,05
PCAI	PSV	15,5 ± 3,3	15,8 ± 4,4	16,6 ± 3,5	14,9 ± 3,7
	EDV	4,3 ± 1,7	4,4 ± 1,7	4,7 ± 1,4	4,5 ± 1,8
	PI	1,47 ± 0,27	1,51 ± 0,24	1,36 ± 0,25	1,32 ± 0,32
	RI	0,73 ± 0,07	0,72 ± 0,05	0,71 ± 0,06	0,70 ± 0,06

**Tabelle 10**

Mittelwerte ± Standardabweichung der Flussparameter in folgenden vier Gruppen: (a) ≤27 Jahre und systolischer Blutdruck ≤120 mmHg, (b) ≤27 Jahre und systolischer Blutdruck >120 mmHg, (c) >27 Jahre und systolischer Blutdruck ≤120 mmHg und (d) >27 Jahre und systolischer Blutdruck >120 mmHg.

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Zum Vergleich der Mittelwerte in den vier verschiedenen Gruppen wurde ein Student's t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt (Tabelle 11).

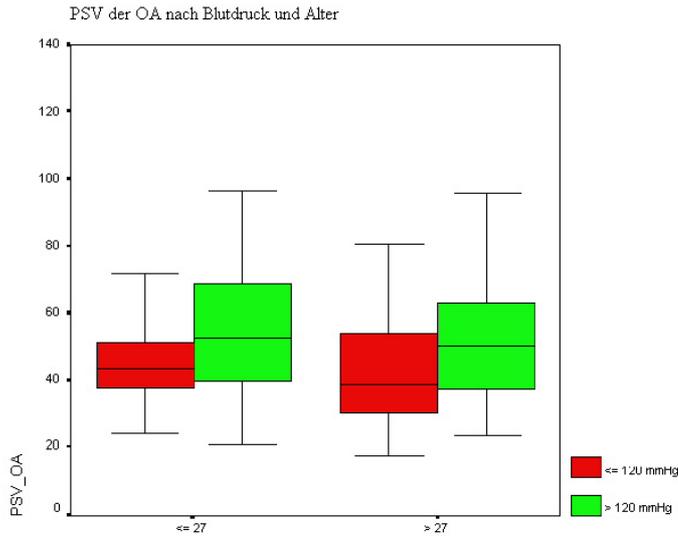
Vergleich der Flussparameter in zwei Alters- und systolischen Blutdruckklassen									
Parameter		mittlere Differenz zw. Blutdruckgruppen		Signifikanz		mittlere Differenz zw. Altersgruppen		Signifikanz	
		≤ 27 Jahre	> 27 Jahre	≤ 27 Jahre	>27 Jahre	≤ 120 mmHg	>120 mmHg	≤ 120	> 120
OA	PSV	-7,50	<b>-8,71</b>	0,207	<b>0,050</b>	4,07	2,86	0,327	0,640
	EDV	<b>-3,08</b>	<b>-3,43</b>	<b>0,014</b>	<b>0,002</b>	-0,52	-0,86	0,534	0,621
	PI	0,323	0,217	0,103	0,094	<b>0,404</b>	0,298	<b>0,003</b>	0,119
	RI	<b>0,042</b>	0,025	<b>0,016</b>	0,100	<b>0,032</b>	0,015	<b>0,008</b>	0,468
CRA	PSV	0,89	0,29	0,277	0,739	<b>-2,23</b>	<b>-2,83</b>	<b>&lt; 0,001</b>	<b>0,006</b>
	EDV	0,02	0,16	0,952	0,680	<b>-0,94</b>	-0,80	<b>0,002</b>	0,116
	PI	0,037	-0,009	0,699	0,888	<b>0,147</b>	0,101	<b>0,023</b>	0,201
	RI	0,015	-0,007	0,291	0,633	0,021	-0,001	0,124	0,955
PCAs	PSV	0,48	<b>1,67</b>	0,517	<b>0,010</b>	0,37	1,56	0,472	0,085
	EDV	-0,35	<b>0,83</b>	0,290	<b>0,002</b>	-0,24	<b>0,94</b>	0,297	<b>0,009</b>
	PI	0,120	-0,100	0,080	0,073	<b>0,119</b>	-0,101	<b>0,015</b>	0,194
	RI	<b>0,046</b>	-0,024	<b>0,015</b>	0,098	<b>0,032</b>	-0,038	<b>0,014</b>	0,067
PCAI	PSV	-0,29	1,67	0,848	0,147	-1,11	0,86	0,258	0,628
	EDV	-0,15	0,22	0,843	0,679	-0,46	-0,09	0,323	0,909
	PI	-0,044	0,046	0,708	0,619	0,106	0,196	0,163	0,175
	RI	0,003	0,012	0,925	0,527	0,013	0,023	0,515	0,449

**Tabelle 11**

Mittlere Differenz und Signifikanz bei Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen folgenden Gruppen: zwischen systolischem Blutdruck ≤120 mmHg und >120 mmHg (a) in der Gruppe ≤27 Jahre und (b) in der Gruppe >27 Jahre; zwischen den Altersklassen ≤27 Jahre und >27 Jahre (c) in der Gruppe mit systolischem Blutdruck ≤120 mmHg und (d) in der Gruppe mit systolischem Blutdruck >120 mmHg. Signifikante Korrelationen mit  $p < 0,05$  sind fett hervorgehoben.

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

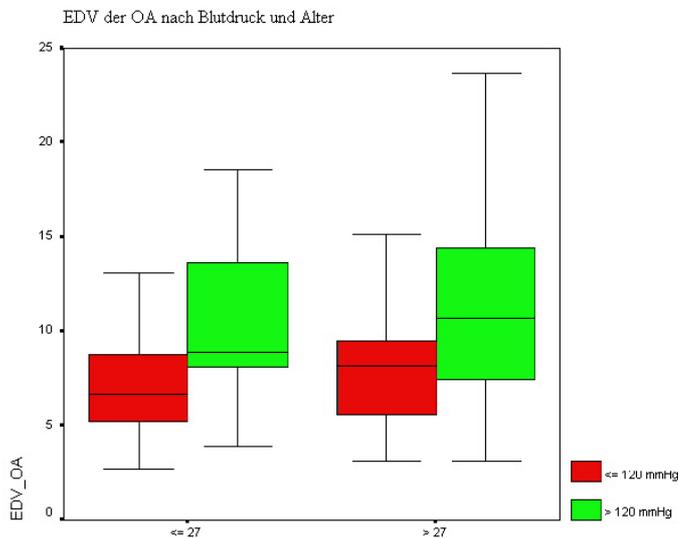
Die folgenden Abbildungen 32 bis 47 verdeutlichen die signifikanten Differenzen der Flussparameter in den verschiedenen Alters- und Blutdruckgruppen. Zunächst wird die Arteria ophthalmica betrachtet (Abbildungen 32 bis 35).

**Abbildung 32**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die maximalen systolischen Geschwindigkeiten in der Arteria ophthalmica (PSV\_OA) zwischen den folgenden Gruppen (von links nach rechts):

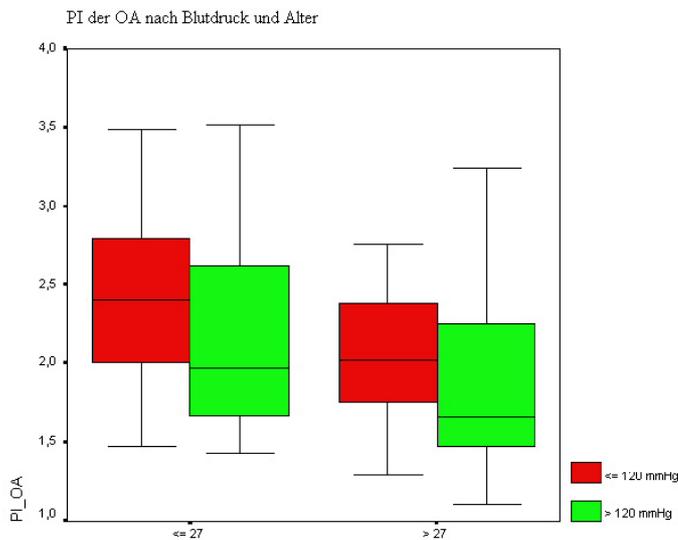
- (a)  $\leq 27$  Jahre, systolischer Blutdruck  $\leq 120$  mmHg (rot);
- (b)  $\leq 27$  Jahre, systolischer Blutdruck  $> 120$  mmHg (grün);
- (c)  $> 27$  Jahre, systolischer Blutdruck  $\leq 120$  mmHg (rot);
- (d)  $> 27$  Jahre, systolischer Blutdruck  $> 120$  mmHg (grün).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 33**

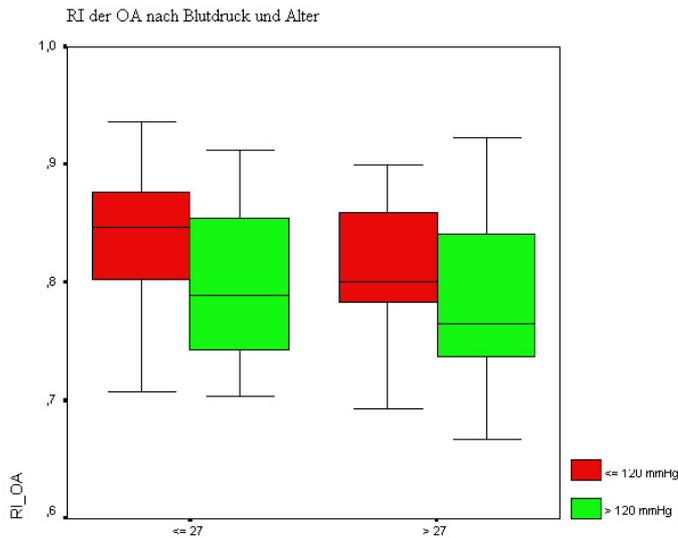
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die enddiastolischen Geschwindigkeiten in der Arteria ophthalmica (EDV\_OA) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 34**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Pulsatilitätsindices in der Arteria ophthalmica (PI\_OA) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

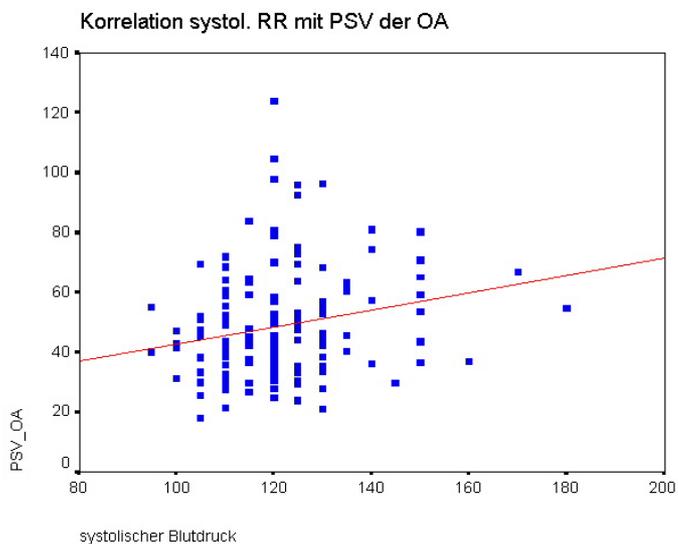
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 35**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Widerstandsindices in der Arteria ophthalmica (RI\_OA) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

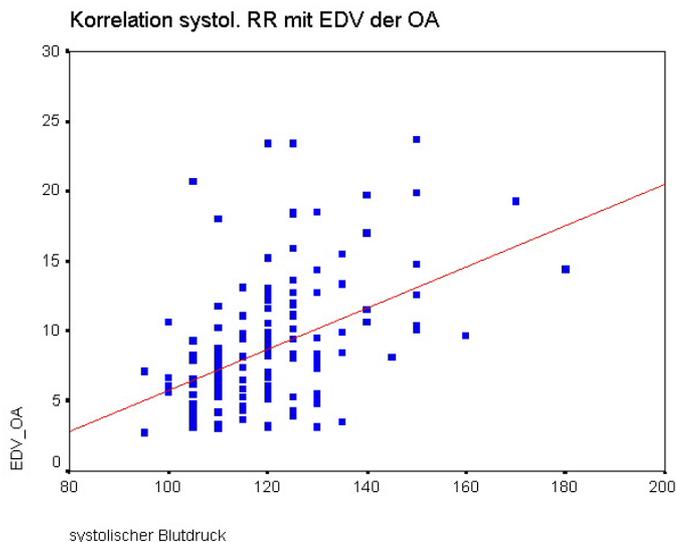
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Die PSV und EDV in der Arteria ophthalmica werden überwiegend durch den systolischen Blutdruck beeinflusst. Unabhängig von der Altersgruppe zeigen sich bei höherem systolischem Blutdruck auch höhere Flussgeschwindigkeiten. Betrachtet man die Korrelation der Flussgeschwindigkeiten mit dem systolischen Blutdruck unabhängig vom Alter der Probanden, zeigt sich eine signifikante Zunahme der PSV ( $R=0,255$ ;  $p=0,002$ , Abbildung 36) und der EDV ( $R=0,440$ ;  $p<0,001$ , Abbildung 37).

**Abbildung 36**

Scatterplot mit linearer Regressionsgerade zur Darstellung der Korrelation zwischen systolischem Blutdruck und maximaler systolischer Flussgeschwindigkeit in der Arteria ophthalmica (PSV\_OA),  $R=0,255$ ;  $p=0,002$ .

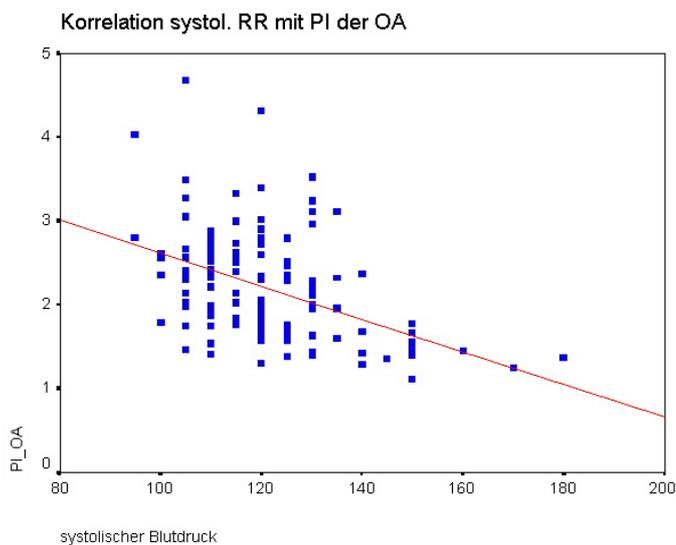
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 37**

Scatterplot mit linearer Regressionsgerade zur Darstellung der Korrelation zwischen systolischem Blutdruck und enddiastolischer Flussgeschwindigkeit in der Arteria ophthalmica (EDV\_OA),  $R=0,440$ ;  $p<0,001$ .

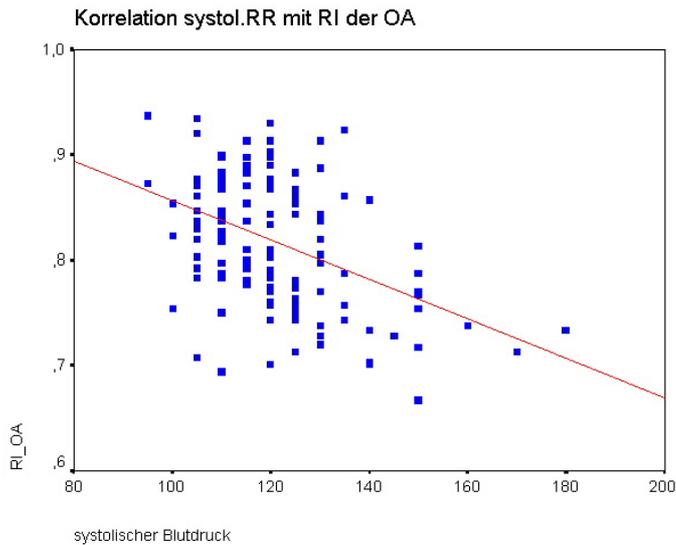
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Für den PI und RI bestehen nicht nur Unterschiede in den verschiedenen Blutdruck- sondern auch in den zwei Altersgruppen. Die jüngere Gruppe mit niedrigerem systolischem Blutdruck ist diejenige mit den höchsten Indices, während die ältere Gruppe mit den höheren Blutdrücken sich entgegengesetzt verhält. Alter und Blutdruck wirken hier offenbar additiv. Die altersabhängige signifikante Abnahme des PI und RI unabhängig vom systolischen Blutdruck wurde bereits im vorherigen Kapitel angedeutet (siehe Kapitel 3.3 Abhängigkeit der Flussparameter vom Alter, Seite 26). Betrachtet man die Korrelation mit dem systolischen Blutdruck unabhängig vom Alter der Probanden, zeigt sich ebenfalls eine signifikante Abnahme des PI ( $R=-0,432$ ;  $p<0,001$ , Abbildung 38) und des RI ( $R=-0,378$ ;  $p<0,001$ , Abbildung 39).

**Abbildung 38**

Scatterplot mit linearer Regressionsgerade zur Darstellung der Korrelation zwischen systolischem Blutdruck und Pulsatilitätsindex in der Arteria ophthalmica (PI\_OA),  $R=-0,432$ ;  $p<0,001$ .

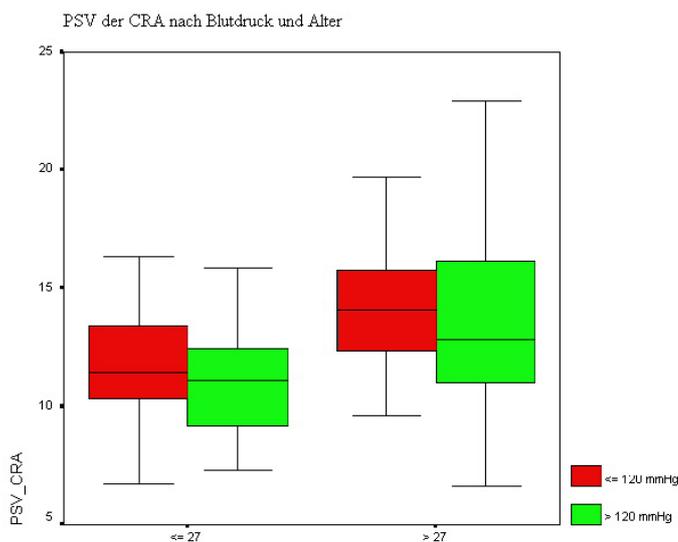
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 39**

Scatterplot mit linearer Regressionsgerade zur Darstellung der Korrelation zwischen systolischem Blutdruck und Widerstandsindex in der Arteria ophthalmica (RI\_OA)  $R=-0,378$ ;  $p<0,001$ .

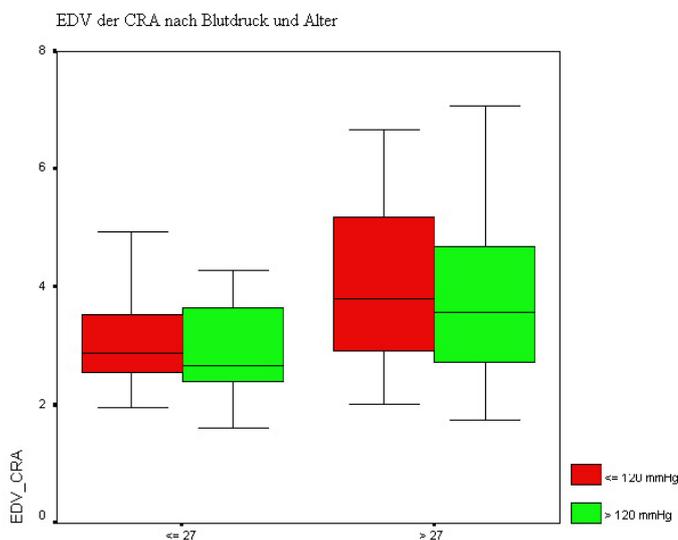
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

In den folgenden Abbildungen 40 bis 43 werden die Ergebnisse für die Arteria centralis retinae vorgestellt.

**Abbildung 40**

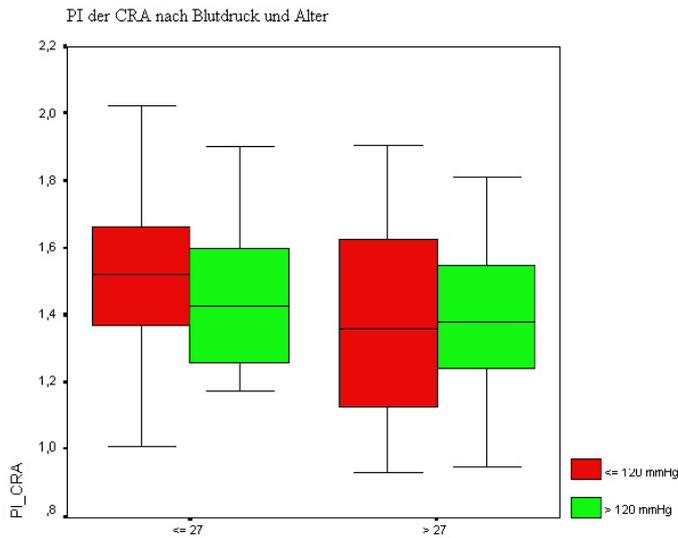
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria centralis retinae (PSV\_CRA) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 41**

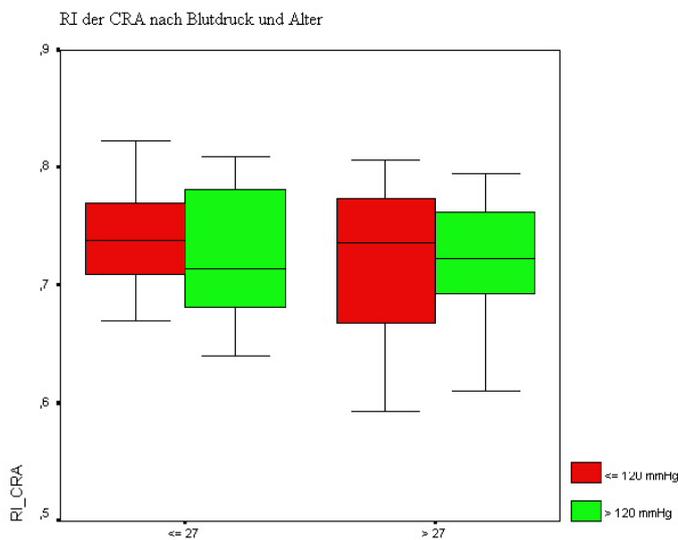
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria centralis retinae (EDV\_CRA) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 42**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Pulsatilitätsindices in der Arteria centralis retinae (PI\_CRA) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

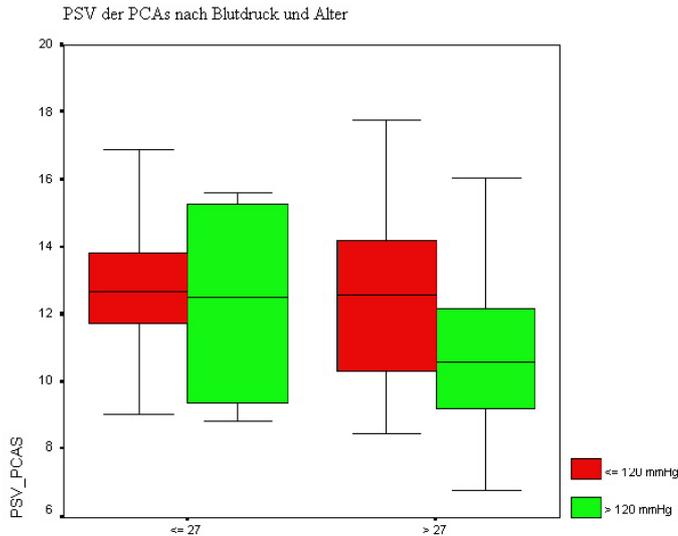
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 43**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Widerstandsindices in der Arteria centralis retinae (RI\_CRA) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

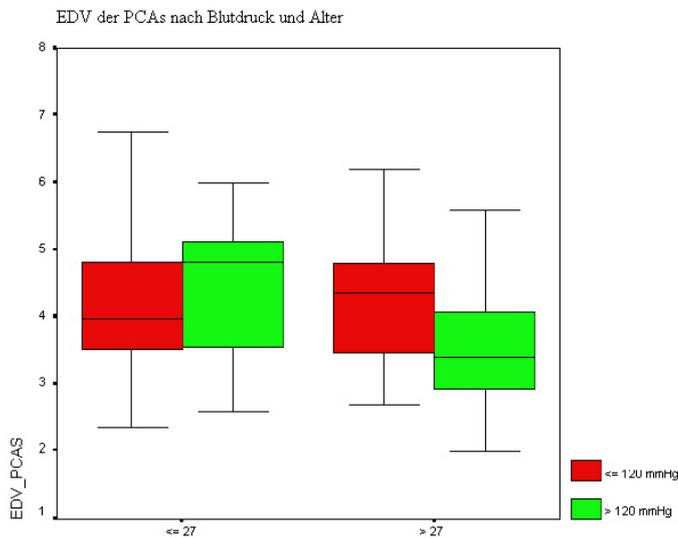
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Für Flussparameter der Arteria centralis retinae finden sich unabhängig vom Alter der Probanden keine signifikanten Differenzen zwischen den systolischen Blutdruckgruppen. Die PSV und EDV steigen jedoch im Alter unabhängig vom Blutdruck der Probanden signifikant an (siehe Kapitel 3.3 Abhängigkeit der Flussparameter vom Alter, Seite 26). Es folgen die Ergebnisse für die Arteriae ciliares posteriores breves (Abbildungen 44 bis 47).

**Abbildung 44**

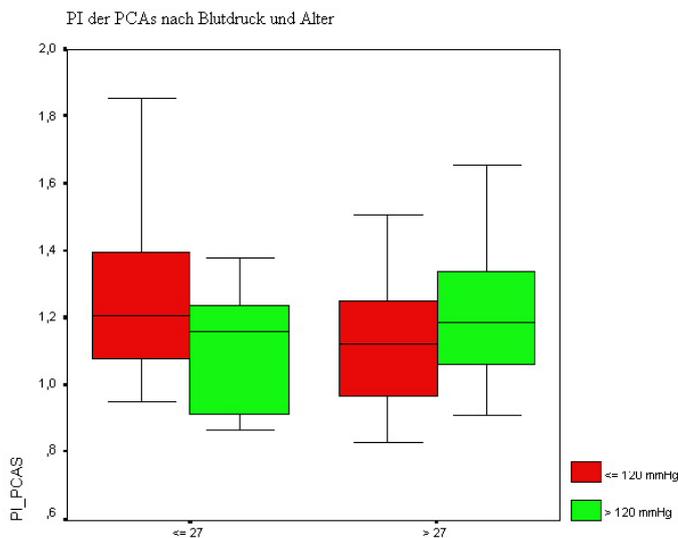
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores breves (PSV\_PCAs) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 45**

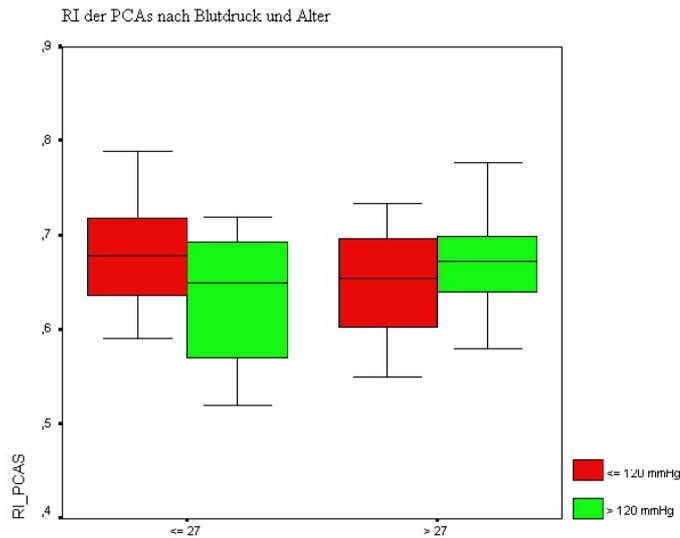
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores breves (EDV\_PCAs) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 46**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Pulsatilitätsindices in den Arteriae ciliares posteriores breves (PI\_PCAs) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

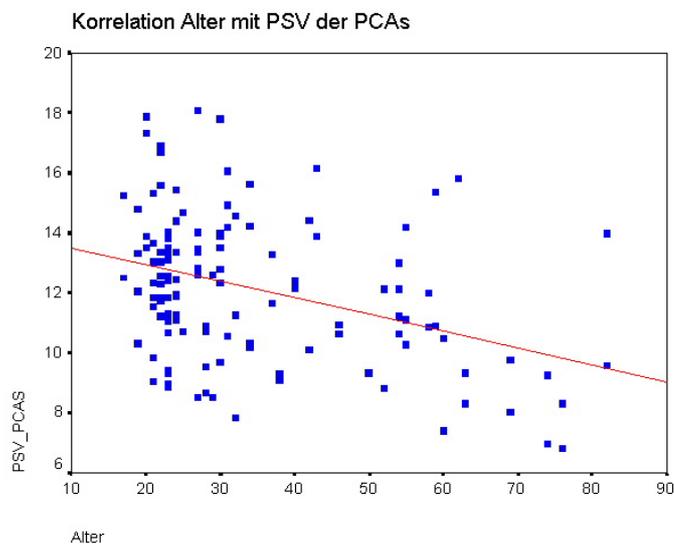
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 47**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Widerstandsindices in den Arteria ciliares posteriores breves (RI\_PCAs) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

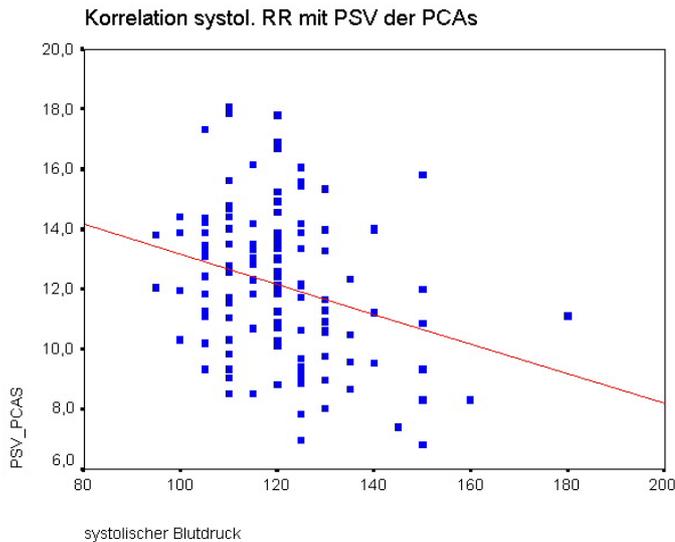
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Für die Flussparameter in den Arteria ciliares posteriores breves gilt, dass bei gleichzeitig hohem Alter und hohem systolischem Blutdruck die PSV sowie die EDV abnehmen. Auch bei alleiniger Betrachtung der Korrelationen der PSV mit dem Alter ( $R=-0,310$ ;  $p<0,001$ ) bzw. mit dem systolischen Blutdruck der Probanden ( $R=-0,265$ ;  $p=0,002$ ) bestätigt sich diese signifikante Abnahme (Abbildungen 48 und 49).

**Abbildung 48**

Scatterplot mit linearer Regressionsgerade zur Darstellung der Korrelation zwischen Alter und maximaler systolischer Flussgeschwindigkeit in den Arteria ciliares posteriores breves (PSV\_PCAs)  $R=-0,310$ ;  $p<0,001$ .

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 49**

Scatterplot mit linearer Regressionsgerade zur Darstellung der Korrelation zwischen systolischem Blutdruck und maximaler systolischer Flussgeschwindigkeit in den Arteriae ciliares posteriores breves (PSV\_PCAs)  
 $R=-0,265$ ;  $p=0,002$ .

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Der PI in den Arteriae ciliares posteriores breves nimmt nur in der Gruppe mit niedrigerem systolischem Blutdruck signifikant mit dem Alter ab. Der RI in den Arteriae ciliares posteriores breves nimmt in allen anderen Gruppen gegenüber dem RI der jungen Gruppe mit niedrigem Blutdruck ab.

In den Arteriae ciliares posteriores longi treten weder durch zunehmendes Alter noch durch höheren systolischen Blutdruck Unterschiede in den Flussparametern auf.

#### ABHÄNGIGKEIT DER FLUSSPARAMETER VOM DIASTOLISCHEN BLUTDRUCK

Auch für den diastolischen Blutdruck bestehen wechselseitige Beziehungen zwischen den Flussparametern und dem Alter der Probanden. Wir untersuchten hier ebenfalls die Flussparameter für unser Kollektiv in zwei Altersklassen nach Gruppen mit hohem bzw. niedrigem diastolischem Blutdruck. Als Trennwert (cutoff) für den diastolischen Blutdruck wurde der Median von 70 mmHg gewählt. In der Gruppe jünger oder gleich 27 Jahren hatten 27 Personen einen diastolischen Blutdruck kleiner oder gleich 70 mmHg, 12 Probanden hatten einen höheren diastolischen Blutdruck. In der Altersklasse über 27 Jahren fanden sich 16 Personen mit niedrigerem und 18 Personen mit höherem diastolischem Blutdruck als 70 mmHg. Tabelle 12 stellt die Flussparameter der retrobulbären Gefäße in den beschriebenen Gruppen dar.

Vergleich der Flussparameter getrennt nach Alter in zwei Blutdruckklassen					
		≤ 27 Jahre Mittelwert ±SD		> 27 Jahre Mittelwert ±SD	
Parameter		≤ 70 mmHg	> 70 mmHg	≤ 70 mmHg	> 70 mmHg
OA	PSV	94,23 ± 19,70	47,26 ± 16,88	47,08 ± 17,98	50,00 ± 18,00
	EDV	7,47 ± 3,93	8,84 ± 4,26	8,21 ± 4,69	11,56 ± 4,68
	PI	2,541 ± 0,659	2,203 ± 0,492	2,227 ± 0,480	1,710 ± 0,426
	RI	0,847 ± 0,051	0,812 ± 0,058	0,828 ± 0,055	0,766 ± 0,050
CRA	PSV	11,93 ± 2,75	11,47 ± 2,22	12,68 ± 3,30	15,13 ± 3,98
	EDV	3,12 ± 0,96	3,08 ± 0,89	3,26 ± 1,13	4,58 ± 1,55
	PI	1,530 ± 0,236	1,524 ± 0,226	1,515 ± 0,228	1,283 ± 0,205
	RI	0,737 ± 0,045	0,732 ± 0,048	0,745 ± 0,043	0,700 ± 0,053
PCAs	PSV	13,03 ± 2,01	12,30 ± 2,32	11,57 ± 2,50	11,42 ± 2,64
	EDV	4,20 ± 0,91	4,09 ± 1,04	3,59 ± 1,03	4,09 ± 1,05
	PI	1,236 ± 0,180	1,209 ± 0,239	1,299 ± 0,233	1,087 ± 0,139
	RI	0,678 ± 0,047	0,665 ± 0,069	0,690 ± 0,056	0,639 ± 0,045
PCAI	PSV	16,01 ± 3,50	13,64 ± 2,15	15,08 ± 3,10	16,10 ± 4,14
	EDV	4,46 ± 1,79	3,75 ± 0,87	3,93 ± 1,26	5,24 ± 1,72
	PI	1,468 ± 0,267	1,506 ± 0,245	1,490 ± 0,327	1,199 ± 0,160
	RI	0,727 ± 0,072	0,726 ± 0,053	0,739 ± 0,062	0,679 ± 0,044

**Tabelle 12**

Mittelwerte ± Standardabweichung der Flussparameter in folgenden vier Gruppen: (a) ≤27 Jahre und diastolischer Blutdruck ≤70 mmHg, (b) ≤27 Jahre und diastolischer Blutdruck >70 mmHg, (c) >27 Jahre und diastolischer Blutdruck ≤70 mmHg und (d) >27 Jahre und diastolischer Blutdruck >70 mmHg.

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Zum Vergleich der Mittelwerte in den verschiedenen Gruppen wurde ein Student's t-Test für unabhängige Stichproben durchgeführt. Tabelle 13 zeigt die mittlere Differenz und Signifikanz beim Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen den beschriebenen Gruppen.

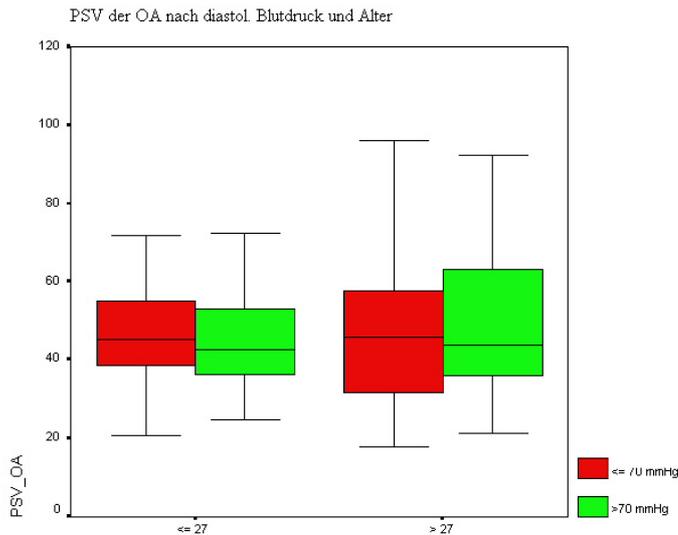
Vergleich der Flussparameter in zwei Alters- und diastolischen Blutdruckklassen									
Parameter		mittlere Differenz zw. Blutdruckgruppen		Signifikanz		mittlere Differenz zw. Altersgruppen		Signifikanz	
		≤ 27 Jahre	> 27 Jahre	≤ 27 Jahre	>27 Jahre	≤ 70 mmHg	>70 mmHg	≤ 70	> 70
OA	PSV	1,976	-2,916	0,676	0,510	2,152	-2,340	0,615	0,564
	EDV	-1,365	<b>-3,351</b>	0,177	<b>0,005</b>	-0,742	<b>-2,728</b>	0,433	<b>0,028</b>
	PI	<b>0,338</b>	<b>0,517</b>	<b>0,030</b>	<b>&lt;0,001</b>	<b>0,314</b>	<b>0,493</b>	<b>0,021</b>	<b>&lt;0,001</b>
	RI	<b>0,035</b>	<b>0,062</b>	<b>0,011</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,019	<b>0,046</b>	0,116	<b>0,002</b>
CRA	PSV	0,459	<b>-2,448</b>	0,474	<b>0,008</b>	-0,752	<b>-3,659</b>	0,259	<b>&lt;0,001</b>
	EDV	0,041	<b>-1,322</b>	0,859	<b>&lt;0,001</b>	-0,138	<b>-1,501</b>	0,547	<b>&lt;0,001</b>
	PI	0,006	<b>0,232</b>	0,919	<b>&lt;0,001</b>	0,015	<b>0,241</b>	0,778	<b>&lt;0,001</b>
	RI	0,006	<b>0,045</b>	0,627	<b>&lt;0,001</b>	-0,007	<b>0,032</b>	0,463	<b>0,021</b>
PCAs	PSV	0,721	0,148	0,202	0,821	<b>1,460</b>	0,886	<b>0,007</b>	0,214
	EDV	0,106	-0,506	0,675	0,059	<b>0,611</b>	-0,001	<b>0,009</b>	0,997
	PI	0,028	<b>0,212</b>	0,602	<b>&lt;0,001</b>	-0,062	<b>0,122</b>	0,198	<b>0,021</b>
	RI	0,013	<b>0,050</b>	0,377	<b>&lt;0,001</b>	-0,012	0,025	0,324	0,108
PCAI	PSV	2,370	-1,029	0,062	0,371	0,938	<b>-2,461</b>	0,329	<b>0,040</b>
	EDV	0,706	<b>-1,314</b>	0,260	<b>0,008</b>	0,527	<b>-1,493</b>	0,253	<b>0,003</b>
	PI	-0,038	<b>0,291</b>	0,704	<b>0,001</b>	-0,022	<b>0,307</b>	0,793	<b>&lt;0,001</b>
	RI	0,001	<b>0,060</b>	0,978	<b>0,001</b>	-0,012	<b>0,047</b>	0,531	<b>0,016</b>

**Tabelle 13**

Mittlere Differenz und Signifikanz bei Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen folgenden Gruppen: zwischen diastolischem Blutdruck ≤70 mmHg und >70 mmHg (a) in der Gruppe ≤27 Jahre und (b) in der Gruppe >27 Jahre; zwischen den Altersklassen ≤27 Jahre und >27 Jahre (c) in der Gruppe mit diastolischem Blutdruck ≤70 mmHg und (d) in der Gruppe mit diastolischem Blutdruck >70 mmHg. Signifikante Korrelationen mit  $p < 0,05$  sind fett hervorgehoben.

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

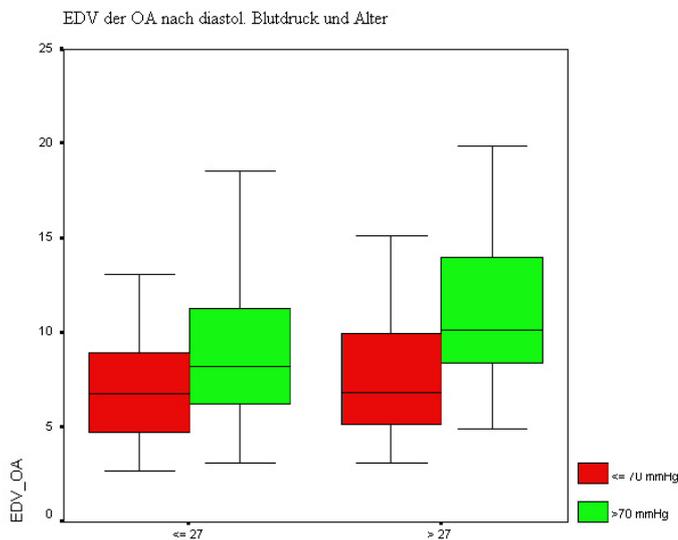
Die Abbildungen 50 bis 65 sollen nun die signifikanten Differenzen der Flussparameter in den verschiedenen Alters- und Blutdruckgruppen verdeutlichen. Zunächst wird die Arteria ophthalmica betrachtet (Abbildungen 50 bis 53).

**Abbildung 50**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria ophthalmica (PSV\_OA) zwischen den folgenden Gruppen (von links nach rechts):

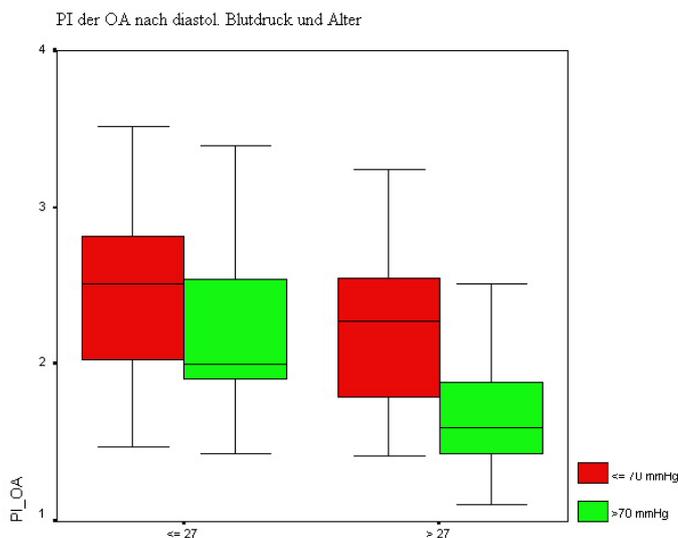
- (a)  $\leq 27$  Jahre, diastolischer Blutdruck  $\leq 70$  mmHg (rot);
- (b)  $\leq 27$  Jahre, diastolischer Blutdruck  $> 70$  mmHg (grün);
- (c)  $> 27$  Jahre, diastolischer Blutdruck  $\leq 70$  mmHg (rot);
- (d)  $> 27$  Jahre, diastolischer Blutdruck  $> 70$  mmHg (grün).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 51**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria ophthalmica (EDV\_OA) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

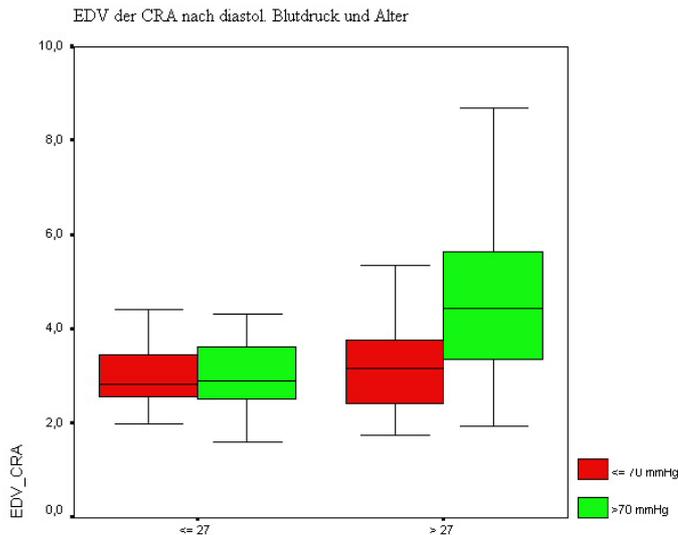
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 52**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Pulsatilitätsindices in der Arteria ophthalmica (PI\_OA) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

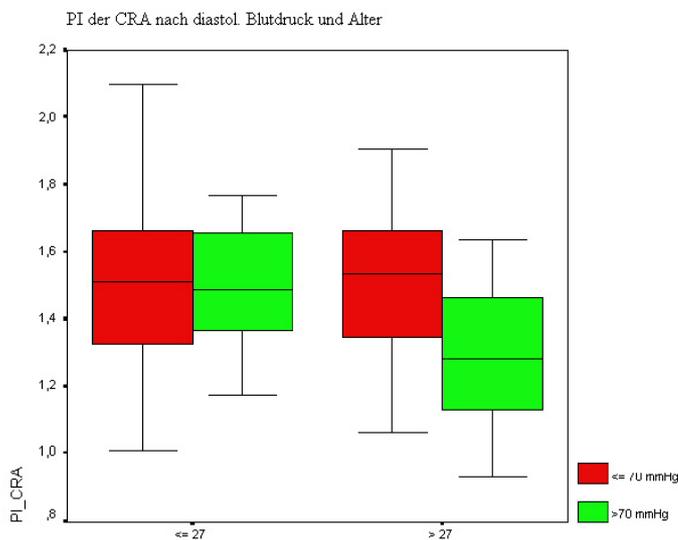
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)



**Abbildung 55**

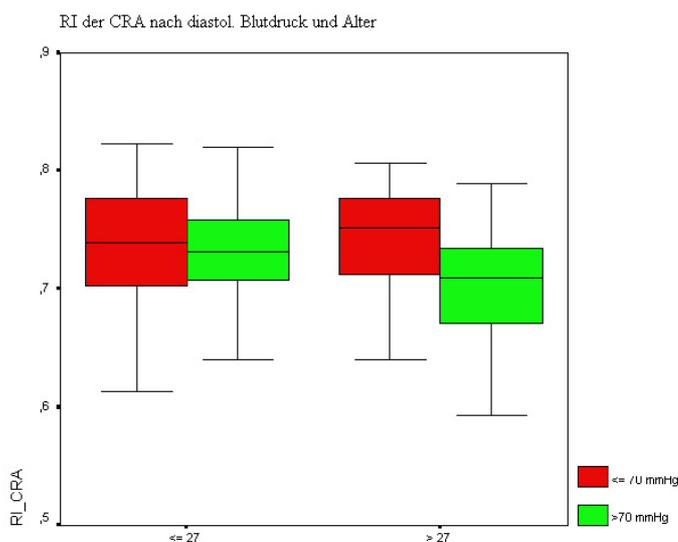
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria centralis retinae (EDV\_CRA) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 56**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Pulsatilitätsindices in der Arteria centralis retinae (PI\_CRA) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 57**

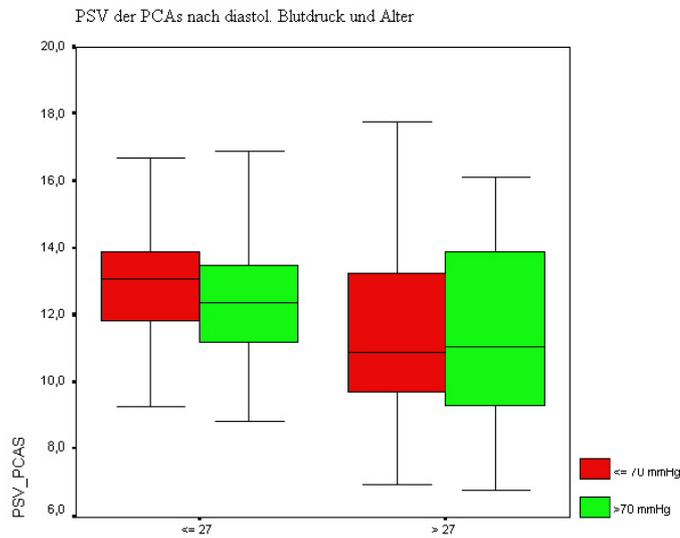
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Widerstandsindices in der Arteria centralis retinae (RI\_CRA) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Auffallend für die Arteria centralis retinae ist, dass sich lediglich die Flussparameter der Probanden mit gleichzeitig hohem diastolischem Blutdruck und höherem Alter von den

Parametern der anderen Probanden unterscheiden. Die PSV und die EDV sind erhöht, während PI und RI sinken. Alter und diastolischer Blutdruck scheinen hier additiv zu wirken.

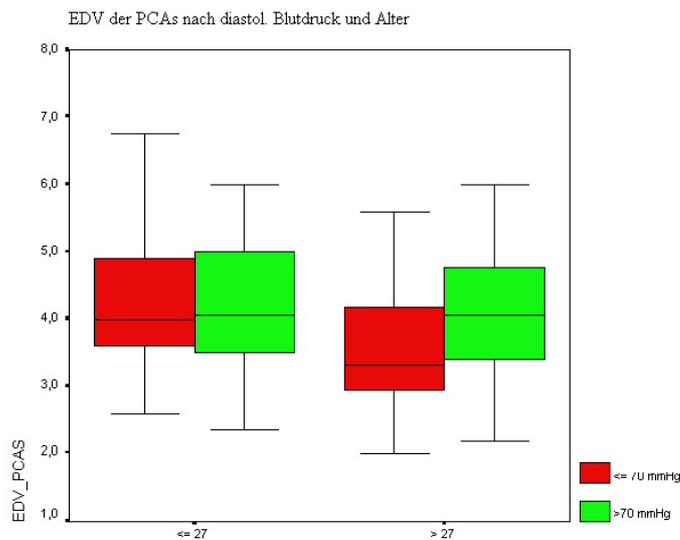
Es folgt die Betrachtung der Arteria ciliaris posteriora brevis (Abbildungen 58 bis 61).



**Abbildung 58**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteria ciliaris posteriora brevis (PSV\_PCAs) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

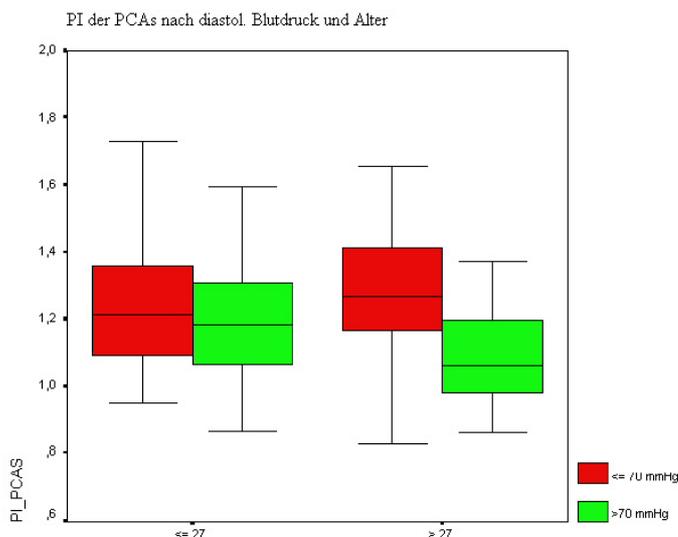
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)



**Abbildung 59**

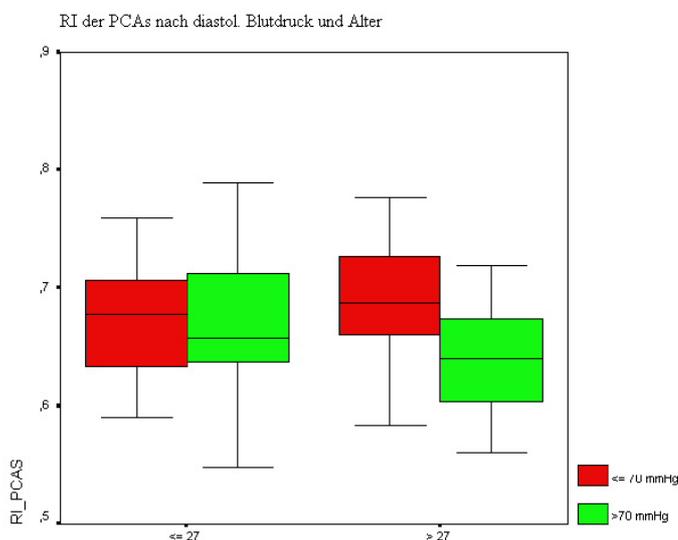
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteria ciliaris posteriora brevis (EDV\_PCAs) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 60**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Pulsatilitätsindices in den Arteriae ciliares posteriores breves (PI\_PCAs) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

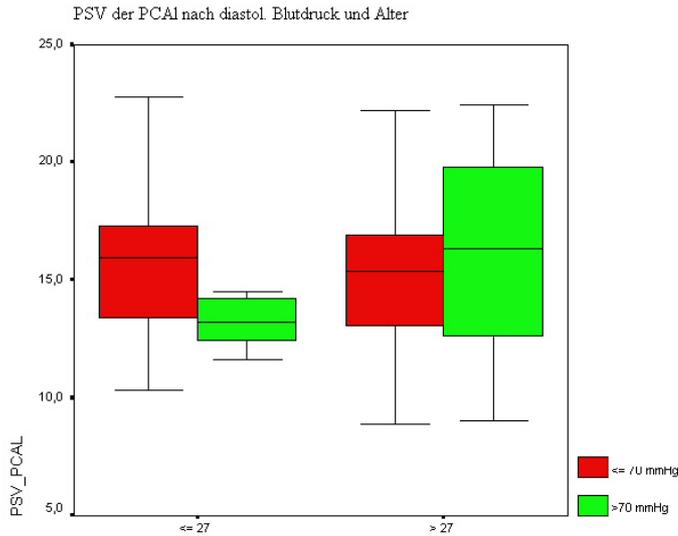
**Abbildung 61**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Widerstandsindices in den Arteriae ciliares posteriores breves (RI\_PCAs) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

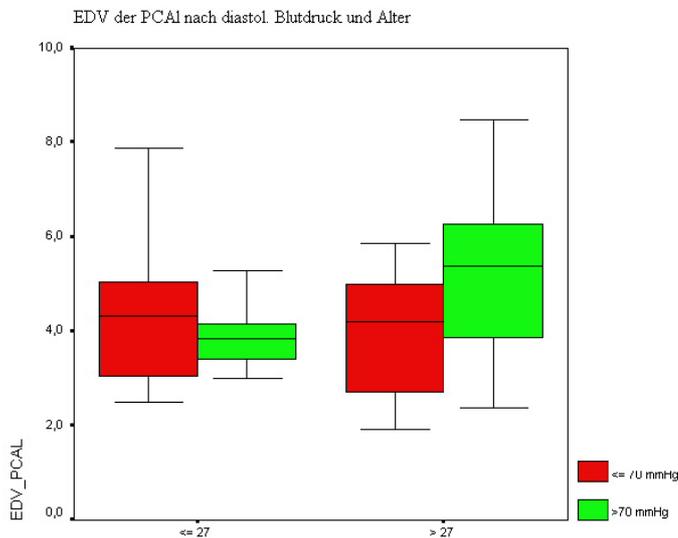
In der jüngeren Gruppe unterscheiden sich die Flussparameter bei hohem und niedrigem diastolischem Blutdruck nicht voneinander. In der Gruppe mit niedrigerem Blutdruck zeigt sich eine signifikante Abnahme der PSV und EDV mit zunehmendem Alter. Diese Veränderung ist jedoch in der Gruppe mit höherem diastolischem Blutdruck nicht signifikant. Mit zunehmendem Alter steigen PI und RI an, wobei dieser Effekt sich bei gleichzeitig auch höherem diastolischem Blutdruck wieder ausgleicht.

Zum Abschluss werden noch die Flussparameter der Arteriae ciliares posteriores longi betrachtet (Abbildungen 62 bis 65).

**Abbildung 62**

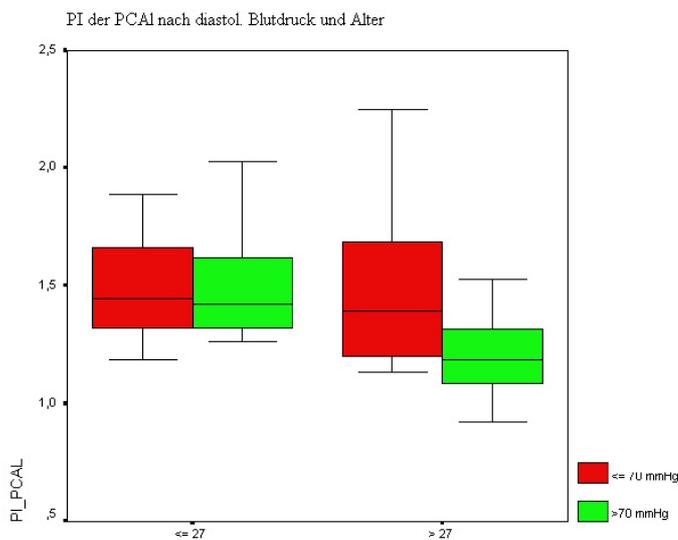
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteria ciliare posterioris longi (PSV\_PCAI) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 63**

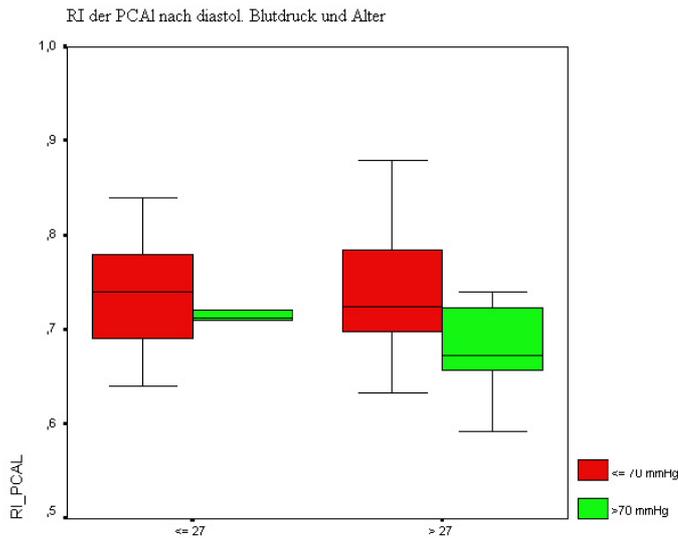
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteria ciliare posterioris longi (EDV\_PCAI) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 64**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Pulsatilitätsindices in den Arteria ciliare posterioris longi (PI\_PCAI) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 65**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Widerstandsindices in den Arteria ciliares posteriores longi (RI\_PCAI) zwischen den oben genannten Gruppen (a) bis (d).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Auch für die Arteria ciliares posteriores longi zeigt sich ähnlich wie für die Arteria centralis retinae, dass sich lediglich die Flussparameter der Probanden mit gleichzeitig hohem diastolischem Blutdruck und höherem Alter von den Parametern der anderen Probanden unterscheiden. Die PSV und die EDV sind erhöht, während PI und RI sinken. Alter und diastolischer Blutdruck scheinen auch hier additiv zu wirken.

#### VERÄNDERUNG DER FLUSSPARAMETER BEI ARTERIELLER HYPERTONIE

Wir untersuchten an 5 Probanden mit behandelter und 3 Probanden mit beobachteter Hypertonie, ob Unterschiede zu einem altersangepassten Kontrollkollektiv bestehen. Probanden mit beobachteter Hypertonie erfüllten mindestens die Kriterien der WHO für eine Grenzwerthypertonie (Blutdruck systolisch >140 mmHg oder diastolisch >90 mmHg). Wir konnten keine wesentlichen Differenzen zwischen den Flussparametern feststellen. Es muss jedoch angemerkt werden, dass das betrachtete Kollektiv recht klein ist.

Tabelle 14 zeigt den Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen Probanden mit normalem Blutdruck und Probanden mit arterieller Hypertonie mit mittlerer Differenz und Signifikanz.

Vergleich der Flussparameter bei normalem RR und behandelter /beobachteter Hypertonie					
Gefäß	Parameter	normaler RR Mittelwert ±SD	Hypertonie Mittelwert ±SD	mittlere Differenz	Signifikanz
OA	PSV	37,10 ± 10,16	49,78 ± 15,83	-12,68	0,012
	EDV	7,68 ± 4,25	11,24 ± 5,96	-3,559	0,061
	PI	2,001 ± 0,590	1,785 ± 0,647	0,216	0,331
	RI	0,800 ± 0,068	0,781 ± 0,073	0,020	0,434
CRA	PSV	14,16 ± 4,56	13,43 ± 4,35	0,738	0,643
	EDV	3,82 ± 1,43	3,81 ± 1,65	0,008	0,988
	PI	1,367 ± 0,161	1,409 ± 0,247	-0,042	0,573
	RI	0,731 ± 0,043	0,723 ± 0,053	0,008	0,642
PCAs	PSV	11,14 ± 1,97	10,00 ± 2,62	1,136	0,196
	EDV	3,78 ± 0,89	3,14 ± 0,98	0,636	0,079
	PI	1,159 ± 0,145	1,274 ± 0,317	-0,116	0,227
	RI	0,663 ± 0,044	0,681 ± 0,074	-0,018	0,441
PCAI	PSV	14,44 ± 3,55	14,90 ± 3,15	-0,469	0,746
	EDV	4,26 ± 1,26	4,19 ± 1,52	0,075	0,901
	PI	1,277 ± 0,161	1,382 ± 0,402	-0,105	0,431
	RI	0,706 ± 0,037	0,719 ± 0,074	-0,013	0,596

**Tabelle 14**

Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen Probanden mit normalem Blutdruck und Probanden mit arterieller Hypertonie mit mittlerer Differenz und Signifikanz.

*(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)*

Auch im Vergleich der Probanden mit behandelter zu den Probanden mit beobachteter Hypertonie fanden sich keine Unterschiede in den Flussparametern.

Tabelle 15 zeigt den Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen Probanden mit behandelter und beobachteter arterieller Hypertonie mit mittlerer Differenz und Signifikanz.

Vergleich der Flussparameter bei behandelter oder beobachteter Hypertonie					
Gefäß	Parameter	behandelt Mittelwert $\pm$ SD	beobachtet Mittelwert $\pm$ SD	mittlere Differenz	Signifikanz
OA	PSV	46,97 $\pm$ 14,66	54,47 $\pm$ 17,97	-7,501	0,377
	EDV	10,45 $\pm$ 6,87	12,55 $\pm$ 4,28	-2,102	0,514
	PI	1,925 $\pm$ 0,791	1,551 $\pm$ 0,161	0,373	0,179
	RI	0,788 $\pm$ 0,091	0,768 $\pm$ 0,030	0,020	0,525
CRA	PSV	14,18 $\pm$ 5,34	12,17 $\pm$ 1,56	2,011	0,288
	EDV	4,14 $\pm$ 2,04	3,27 $\pm$ 0,38	0,870	0,218
	PI	1,416 $\pm$ 0,296	1,396 $\pm$ 0,161	0,020	0,881
	RI	0,720 $\pm$ 0,061	0,730 $\pm$ 0,039	-0,010	0,720
PCAs	PSV	9,27 $\pm$ 2,21	11,31 $\pm$ 3,03	-2,035	0,172
	EDV	2,88 $\pm$ 0,80	3,61 $\pm$ 1,19	-0,734	0,189
	PI	1,289 $\pm$ 0,366	1,247 $\pm$ 0,238	0,042	0,824
	RI	0,680 $\pm$ 0,084	0,681 $\pm$ 0,060	-0,001	0,988
PCAI	PSV	14,69 $\pm$ 3,83	15,29 $\pm$ 1,86	-0,602	0,778
	EDV	3,85 $\pm$ 1,83	4,78 $\pm$ 0,49	-0,934	0,352
	PI	1,498 $\pm$ 0,470	1,179 $\pm$ 0,111	0,319	0,130
	RI	0,738 $\pm$ 0,087	0,688 $\pm$ 0,030	0,050	0,098

**Tabelle 15**

Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen Probanden mit behandelter und Probanden mit beobachteter arterieller Hypertonie mit mittlerer Differenz und Signifikanz.

*(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)*

#### ABHÄNGIGKEIT DER FLUSSPARAMETER VON DER HERZFREQUENZ

Für keines der untersuchten Gefäße fand sich eine Abhängigkeit der Flussparameter von der Herzfrequenz. Die folgende Tabelle 16 fasst diese Ergebnisse zusammen:

Korrelation der Flussparameter mit der Pulsfrequenz			
Gefäß	Flussparameter	Korrelationskoeffizient	Signifikanz
OA	PSV	0,090	0,283
	EDV	0,035	0,677
	PI	0,024	0,775
	RI	0,035	0,677
CRA	PSV	0,009	0,913
	EDV	-0,074	0,373
	PI	0,092	0,271
	RI	0,117	0,160
PCAs	PSV	0,101	0,255
	EDV	0,045	0,616
	PI	0,024	0,790
	RI	0,060	0,496
PCAI	PSV	0,069	0,533
	EDV	0,044	0,690
	PI	-0,001	0,993
	RI	0,028	0,799

**Tabelle 16**

Korrelationskoeffizient und Signifikanz für die Korrelation zwischen Flussparametern und Herzfrequenz.

*(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)*

### 3.5 Abhängigkeit der Flussparameter vom Geschlecht

Der durchgeführte Levene-Test sowie der Student's t-Test für unabhängige Stichproben zeigte für die Arteria ophthalmica eine signifikante Differenz der Flussparameter zwischen den beiden Geschlechtern. Tabelle 17 zeigt den Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen Männern und Frauen mit mittlerer Differenz und Signifikanz.

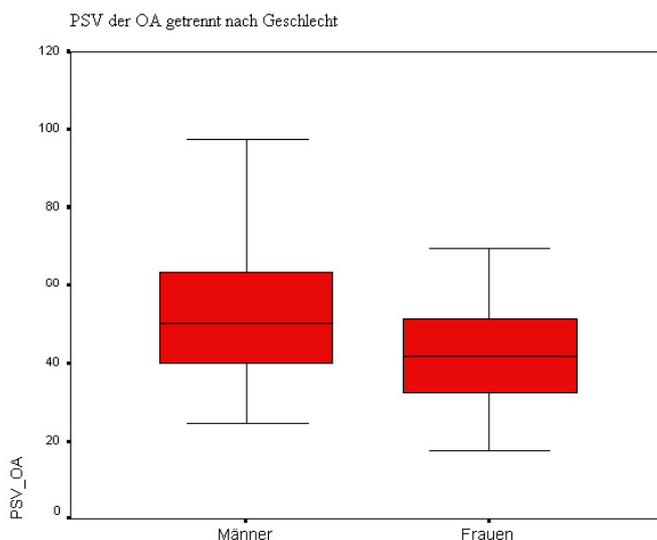
Vergleich der Flussparameter bei Männern und Frauen					
Gefäß	Parameter	Männer Mittelwert $\pm$ SD	Frauen Mittelwert $\pm$ SD	mittlere Differenz	Signifikanz
OA	PSV	52,95 $\pm$ 18,34	44,42 $\pm$ 17,45	<b>8,536</b>	<b>0,005</b>
	EDV	10,61 $\pm$ 4,62	7,14 $\pm$ 3,89	<b>3,464</b>	<b>&lt; 0,001</b>
	PI	2,012 $\pm$ 0,592	2,413 $\pm$ 0,601	<b>-0,401</b>	<b>&lt; 0,001</b>
	RI	0,796 $\pm$ 0,062	0,838 $\pm$ 0,053	<b>-0,043</b>	<b>&lt; 0,001</b>
CRA	PSV	12,33 $\pm$ 3,22	13,26 $\pm$ 3,54	-0,930	0,099
	EDV	3,35 $\pm$ 1,14	3,65 $\pm$ 1,44	-0,304	0,159
	PI	1,473 $\pm$ 0,235	1,456 $\pm$ 0,258	0,017	0,685
	RI	0,730 $\pm$ 0,045	0,728 $\pm$ 0,055	0,028	0,740
PCAs	PSV	11,53 $\pm$ 2,56	12,74 $\pm$ 2,16	<b>-1,209</b>	<b>0,004</b>
	EDV	3,84 $\pm$ 0,99	4,17 $\pm$ 1,02	-0,321	0,072
	PI	1,197 $\pm$ 0,181	1,219 $\pm$ 0,231	-0,022	0,554
	RI	0,665 $\pm$ 0,052	0,672 $\pm$ 0,059	-0,007	0,471
PCAI	PSV	14,98 $\pm$ 3,26	16,23 $\pm$ 3,71	-1,254	0,103
	EDV	4,35 $\pm$ 1,31	4,58 $\pm$ 1,97	-0,230	0,526
	PI	1,364 $\pm$ 0,217	1,456 $\pm$ 0,339	-0,092	0,152
	RI	0,711 $\pm$ 0,048	0,724 $\pm$ 0,080	-0,013	0,381

**Tabelle 17**

Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen Männern und Frauen mit mittlerer Differenz und Signifikanz. Signifikante Differenzen mit  $p < 0,05$  sind fett hervorgehoben.

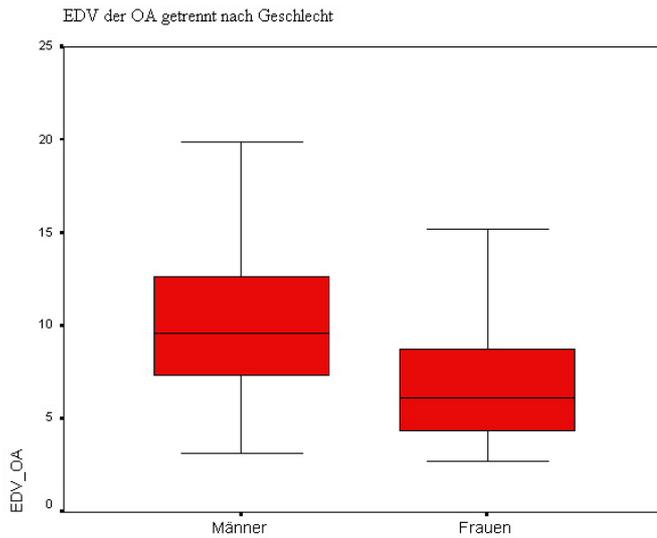
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Für die Arteria ophthalmica haben in unserem Kollektiv die Männer gegenüber den Frauen eine signifikant höhere PSV und EDV bei niedrigerem PI und RI (Abbildungen 66 bis 69).

**Abbildung 66**

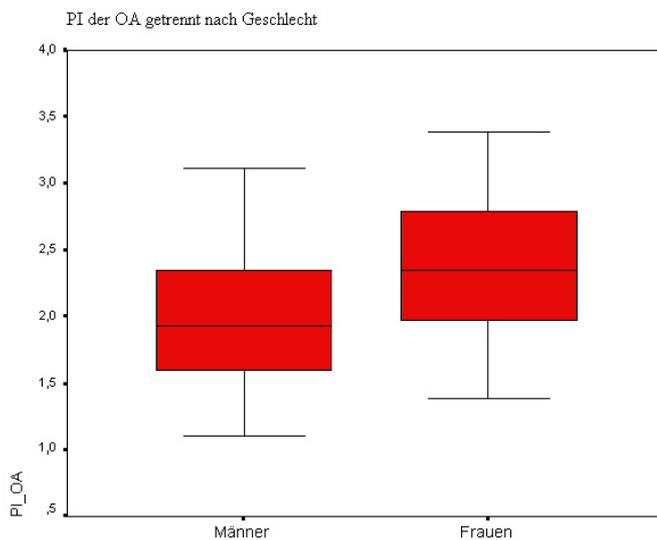
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria ophthalmica (PSV\_OA) zwischen beiden Geschlechtern ( $p=0,005$ ).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 67**

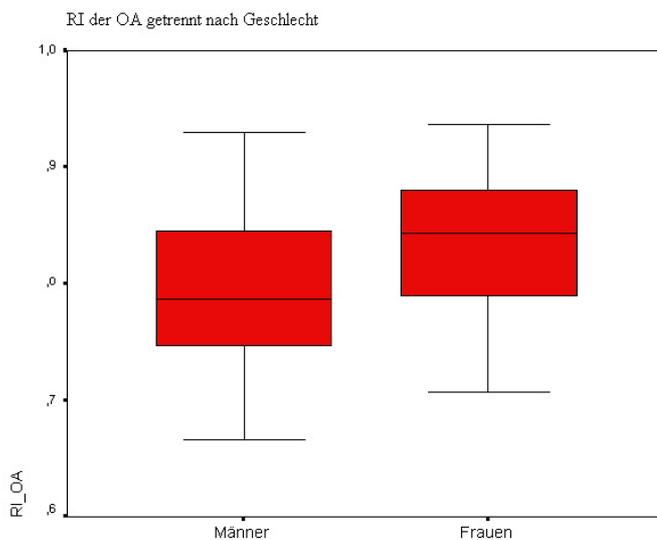
Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria ophthalmica (EDV\_OA) zwischen beiden Geschlechtern ( $p < 0,001$ ).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 68**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Pulsatilitätsindices in der Arteria ophthalmica (PI\_OA) zwischen beiden Geschlechtern ( $p < 0,001$ ).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 69**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die Widerstandsindices in der Arteria ophthalmica (RI\_OA) zwischen beiden Geschlechtern ( $p < 0,001$ ).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

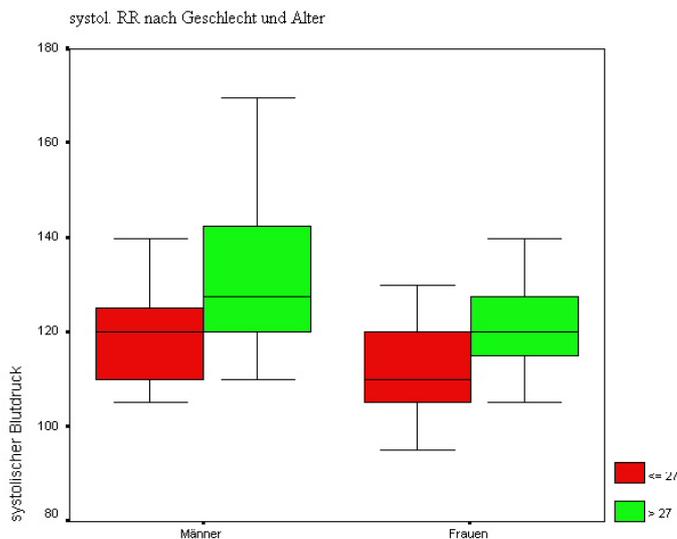
Untersucht man die Kollektivzusammensetzung (Tabelle 18) getrennt nach Geschlechtern, wird deutlich, dass die Männer signifikant älter waren und höhere systolische und diastolische Blutdrücke hatten. Die Gruppe der älteren Männer ist diejenige mit den höchsten systolischen Blutdrücken.

Kollektivzusammensetzung getrennt nach Männern und Frauen				
Parameter	Männer Mittelwert $\pm$ SD	Frauen Mittelwert $\pm$ SD	mittlere Differenz	Signifikanz
Alter	38,2 $\pm$ 17,2	29,0 $\pm$ 13,2	<b>9,22</b>	<b>&lt; 0,001</b>
systolischer RR	126,7 $\pm$ 15,2	114,5 $\pm$ 9,6	<b>12,21</b>	<b>&lt;0,001</b>
diastolischer RR	74,2 $\pm$ 11,1	69,1 $\pm$ 8,3	<b>5,04</b>	<b>0,002</b>
Puls	68,9 $\pm$ 15,1	76,1 $\pm$ 9,3	<b>-7,16</b>	<b>0,001</b>

**Tabelle 18**

Vergleich der Mittelwerte für Alter, Blutdruck und Puls zwischen Männern und Frauen mit mittlerer Differenz und Signifikanz.

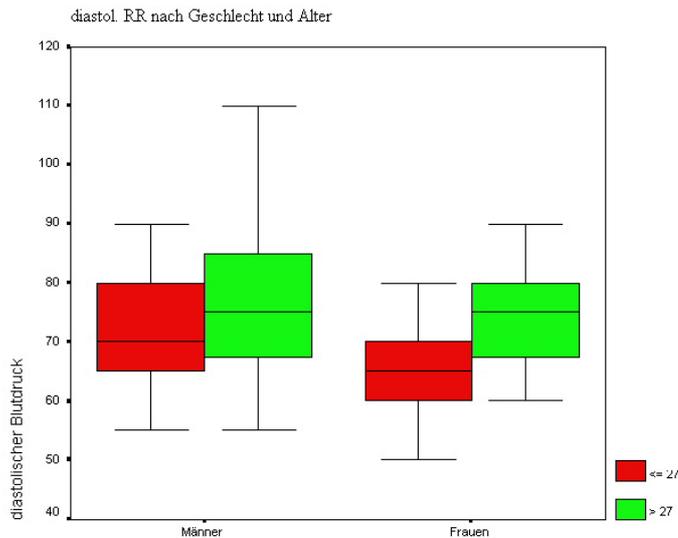
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)



**Abbildung 70**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für den systolischen Blutdruck zwischen beiden Geschlechtern, jeweils getrennt nach Alter in eine Gruppe  $\leq 27$  Jahre (rot) und  $> 27$  Jahre (grün).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 71**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für den diastolischen Blutdruck zwischen beiden Geschlechtern, jeweils getrennt nach Alter in eine Gruppe  $\leq 27$  Jahre (rot) und  $> 27$  Jahre (grün).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

### 3.6 Abhängigkeit der Flussparameter von Augeninnendruck und Visus

#### ABHÄNGIGKEIT DER FLUSSPARAMETER VOM AUGENINNENDRUCK

In unserer Untersuchung konnte keine Korrelation zwischen mit dem OBF Tonometer gemessenen mittleren Augeninnendruck und den dopplersonographischen Flussparametern gezeigt werden (Tabelle 19).

Korrelation der Flussparameter mit dem Augeninnendruck			
Gefäß	Flussparameter	Korrelationskoeffizient	Signifikanz
OA	PSV	-0,046	0,589
	EDV	0,022	0,798
	PI	-0,054	0,526
	RI	-0,049	0,563
CRA	PSV	0,108	0,201
	EDV	0,044	0,600
	PI	0,048	0,573
	RI	0,082	0,332
PCAs	PSV	-0,066	0,466
	EDV	< 0,001	0,997
	PI	-0,026	0,733
	RI	-0,037	0,677
PCAI	PSV	0,025	0,826
	EDV	0,061	0,587
	PI	-0,083	0,462
	RI	-0,033	0,773

**Tabelle 19**

Korrelationskoeffizient und Signifikanz für die Korrelation zwischen Flussparametern und Augeninnendruck.

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Der Augeninnendruck ist in unserem Kollektiv unabhängig von Alter, Blutdruck, Puls oder Geschlecht der Probanden.

#### ABHÄNGIGKEIT DER FLUSSPARAMETER VON DER OKULÄREN PULSAMPLITUDE

Die okuläre Pulsamplitude als zeitliche Schwankung des Augeninnendrucks ist ein indirektes Maß für die choroidale Perfusion und entspricht dem pulsatilen Blutvolumen, das pro Herzschlag in das Auge gelangt. Sie korreliert wie folgt mit den Flussparametern der retrobulbären Gefäße (Tabelle 20):

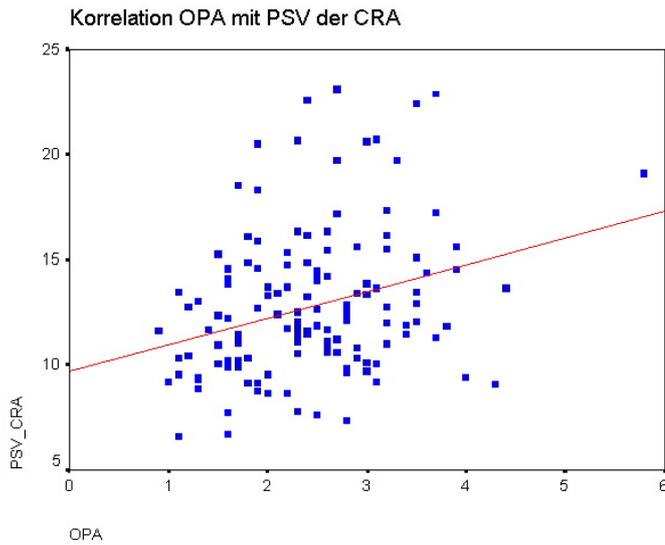
Korrelation der Flussparameter mit der okulären Pulsamplitude			
Gefäß	Flussparameter	Korrelationskoeffizient	Signifikanz
OA	PSV	-0,129	0,130
	EDV	-0,066	0,440
	PI	0,005	0,951
	RI	< 0,001	0,996
CRA	PSV	<b>0,284</b>	<b>0,001</b>
	EDV	<b>0,223</b>	<b>0,008</b>
	PI	0,039	0,645
	RI	0,052	0,542
PCAs	PSV	<b>0,206</b>	<b>0,020</b>
	EDV	0,156	0,081
	PI	0,061	0,497
	RI	-0,002	0,981
PCAI	PSV	<b>0,374</b>	<b>0,001</b>
	EDV	<b>0,328</b>	<b>0,003</b>
	PI	-0,123	0,275
	RI	-0,112	0,320

**Tabelle 20**

Korrelationskoeffizient und Signifikanz für die Korrelation zwischen Flussparametern und okulärer Pulsamplitude. Signifikante Korrelationen mit  $p < 0,05$  sind fett hervorgehoben.

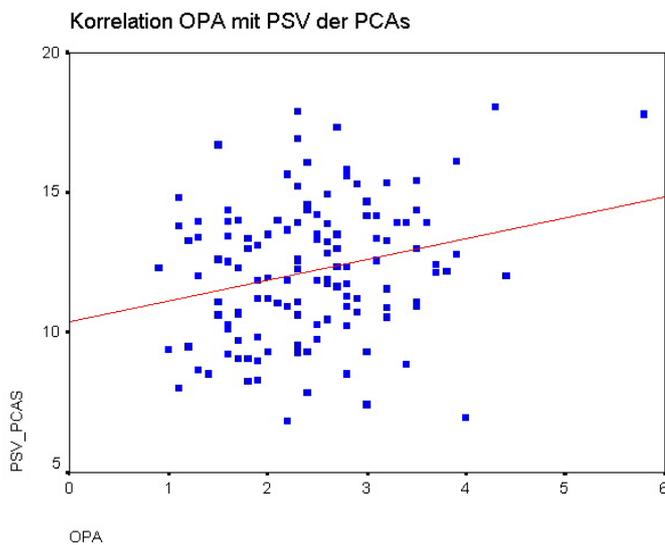
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Offenbar spiegelt die okuläre Pulsamplitude hauptsächlich die PSV der okulären Gefäße wider, die in unmittelbarer Nähe der Bulbus liegen und die unter anderem an der Perfusion der Choroidea beteiligt sind (Abbildung 72 bis 74).

**Abbildung 72**

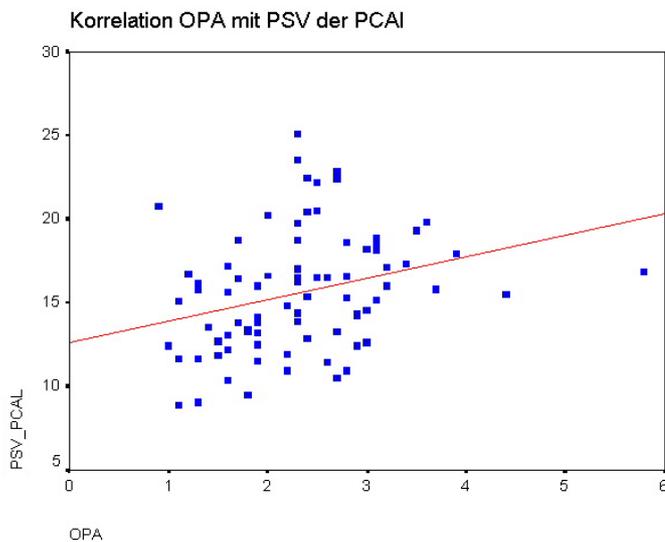
Scatterplot mit linearer Regressionsgerade zur Darstellung der Korrelation zwischen okulärer Pulsamplitude und maximaler systolischer Flussgeschwindigkeit in der Arteria centralis retinae (PSV\_CRA),  $R=0,284$ ,  $p=0,001$ .

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 73**

Scatterplot mit linearer Regressionsgerade zur Darstellung der Korrelation zwischen okulärer Pulsamplitude und maximaler systolischer Flussgeschwindigkeit in den Arteria ciliares posteriores breves (PSV\_PCAs),  $R=0,206$ ,  $p=0,020$ .

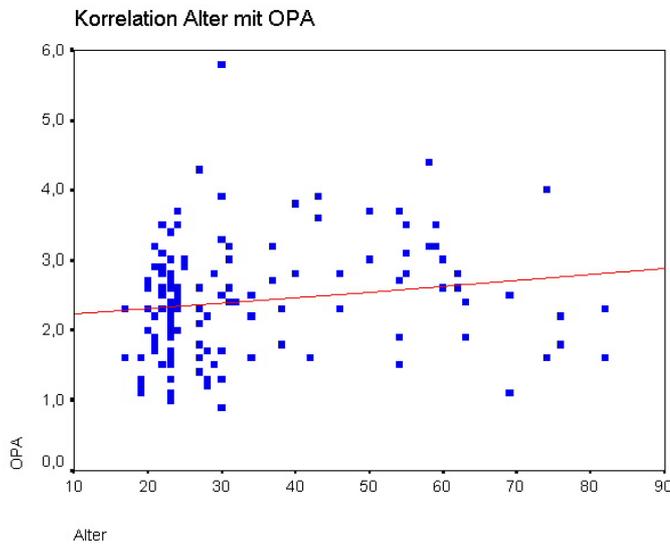
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 74**

Scatterplot mit linearer Regressionsgerade zur Darstellung der Korrelation zwischen okulärer Pulsamplitude und maximaler systolischer Flussgeschwindigkeit in den Arteria ciliares posteriores longi (PSV\_PCAI),  $R=0,374$ ,  $p=0,001$ .

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Die okuläre Pulsamplitude korreliert auch signifikant mit dem Alter ( $R=0,204$ ,  $p=0,015$ ) der Probanden (Abbildung 75).



**Abbildung 75**

Scatterplot mit linearer Regressionsgerade zur Darstellung der Korrelation zwischen okulärer Pulsamplitude und Alter der Probanden ( $R=0,204$ ,  $p=0,015$ ).

*(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)*

#### ABHÄNGIGKEIT DER FLUSSPARAMETER VOM OKULÄREN BLUTFLUSS

Mit dem OBF Tonometer ist auch eine Abschätzung des okulären Blutflusses möglich. Von der Gesamtpfusion des Auges (ca. 800ml/min) entfallen ca. 85% auf die Choroidea (ca. 677ml/min). Die pulsatile Komponente des Gesamtblutflusses ist daher zum größten Teil choroidalen Ursprungs und beträgt nach dopplersonographischen Messungen etwa 70% der gesamten okulären Perfusion. Die non-pulsatile Komponente des Gesamtblutflusses kann jedoch nicht direkt bestimmt werden, und das genaue Verhältnis zwischen pulsatilem Blutfluss und gesamter okulärer Durchblutung ist unklar. Daher ist die in der Auswertung angezeigte Gesamtpfusion (OBF) nur als Schätzwert zu betrachten.

Tabelle 21 verdeutlicht, dass lediglich die PSV in den Arteriae ciliares posteriores breves et longi sowie der PI der Arteriae ciliares posteriores breves mit dem gemessenen okulären Blutfluss korrelieren.

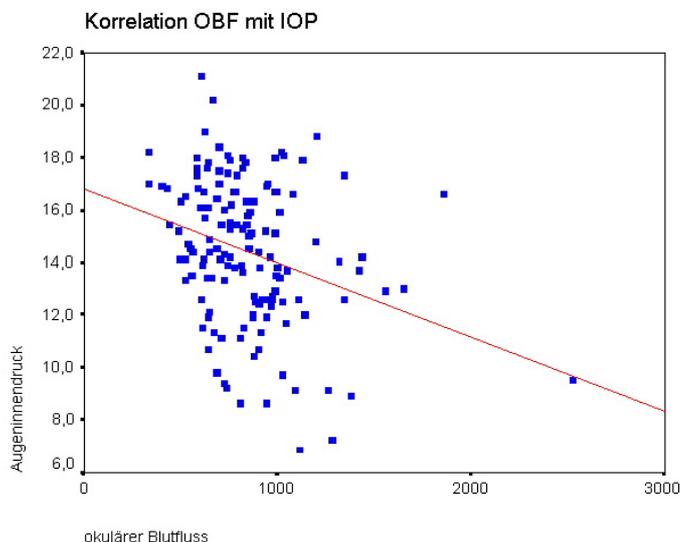
Korrelation der Flussparameter mit dem okulären Blutfluss			
Gefäß	Flussparameter	Korrelationskoeffizient	Signifikanz
OA	PSV	-0,070	0,413
	EDV	-0,089	0,298
	PI	0,074	0,386
	RI	0,097	0,256
CRA	PSV	0,135	0,109
	EDV	0,049	0,562
	PI	0,069	0,417
	RI	0,082	0,330
PCAs	PSV	<b>0,249</b>	<b>0,005</b>
	EDV	0,075	0,404
	PI	<b>0,182</b>	<b>0,042</b>
	RI	0,174	0,051
PCAI	PSV	<b>0,227</b>	<b>0,042</b>
	EDV	0,152	0,174
	PI	-0,008	0,944
	RI	-0,032	0,774

**Tabelle 21**

Korrelationskoeffizient und Signifikanz für die Korrelation zwischen den Flussparametern und dem okulären Blutfluss. Signifikante Korrelationen mit  $p < 0,05$  sind fett hervorgehoben.

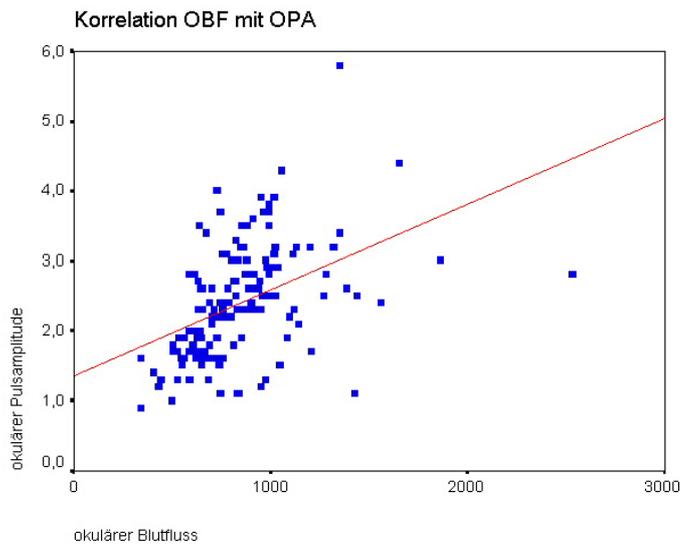
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Hierbei ist zu beachten, dass der okuläre Blutfluss sowohl mit dem Augeninnendruck ( $R = -0,289$ ,  $p < 0,001$ ) als auch mit der okulären Pulsamplitude ( $R = 0,534$ ,  $p < 0,001$ ) signifikant korreliert (Abbildungen 76 und 77). Daher erklärt sich, warum bei ansteigendem okulärem Blutfluss gleichgerichtete Veränderungen der Flussparameter beobachtet werden wie bei ansteigender okulärer Pulsamplitude.

**Abbildung 76**

Scatterplot mit linearer Regressionsgerade zur Darstellung der Korrelation zwischen okulärem Blutfluss und Augeninnendruck der Probanden ( $R = -0,289$ ,  $p < 0,001$ ).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 77**

Scatterplot mit linearer Regressionsgerade zur Darstellung der Korrelation zwischen okulärem Blutfluss und okulärer Pulsamplitude der Probanden ( $R=0,204$ ,  $p=0,015$ ).

*(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)*

#### ABHÄNGIGKEIT DER FLUSSPARAMETER VOM VISUS

Tabelle 22 stellt die Mittelwerte der Flussparameter für Probanden mit normalem Visus und Probanden, die eine Brille tragen, gegenüber. Es wurde getrennt in zwei Altersgruppen untersucht, da die fehsichtige Gruppe durch die Probanden mit Presbyopie insgesamt älter ist als die normalsichtige Gruppe.

Flussparameter getrennt nach Visus in zwei Altersklassen									
		normaler Visus Mittelwert $\pm$ SD		Brillenträger Mittelwert $\pm$ SD		mittlere Differenz normal-/fehlsichtig		Signifikanz	
Parameter		$\leq 27$ Jahre	$> 27$ Jahre	$\leq 27$ Jahre	$> 27$ Jahre	$\leq 27$	$> 27$	$\leq 27$	$> 27$
OA	PSV	50,5 $\pm$ 21,1	53,5 $\pm$ 20,8	47,0 $\pm$ 16,7	47,0 $\pm$ 16,7	-3,47	-6,51	0,429	0,198
	EDV	8,1 $\pm$ 3,9	10,5 $\pm$ 5,0	7,8 $\pm$ 4,2	9,8 $\pm$ 4,9	-0,33	-0,71	0,724	0,614
	PI	2,44 $\pm$ 0,63	2,01 $\pm$ 0,47	2,42 $\pm$ 0,64	1,94 $\pm$ 0,54	-0,014	-0,065	0,921	0,658
	RI	0,83 $\pm$ 0,06	0,80 $\pm$ 0,06	0,84 $\pm$ 0,05	0,79 $\pm$ 0,06	0,005	-0,004	0,708	0,796
CRA	PSV	12,0 $\pm$ 3,2	14,3 $\pm$ 3,6	11,4 $\pm$ 1,9	13,8 $\pm$ 4,0	-0,64	-0,49	0,284	0,644
	EDV	3,2 $\pm$ 1,2	4,0 $\pm$ 1,6	3,0 $\pm$ 0,6	3,9 $\pm$ 1,5	-0,24	-0,04	0,263	0,921
	PI	1,52 $\pm$ 0,23	1,47 $\pm$ 0,27	1,52 $\pm$ 0,23	1,37 $\pm$ 0,23	-0,002	-0,101	0,969	0,135
	RI	0,73 $\pm$ 0,05	0,73 $\pm$ 0,05	0,74 $\pm$ 0,04	0,72 $\pm$ 0,05	0,004	-0,009	0,683	0,540
PCAs	PSV	13,3 $\pm$ 2,1	12,2 $\pm$ 2,8	12,2 $\pm$ 2,2	11,2 $\pm$ 2,4	<b>-1,07</b>	-0,99	<b>0,046</b>	0,173
	EDV	4,4 $\pm$ 0,9	4,1 $\pm$ 1,0	3,9 $\pm$ 0,9	3,8 $\pm$ 1,1	<b>-0,51</b>	-0,28	<b>0,028</b>	0,357
	PI	1,20 $\pm$ 0,21	1,19 $\pm$ 0,16	1,23 $\pm$ 0,18	1,19 $\pm$ 0,24	-0,022	-0,004	0,643	0,947
	RI	0,66 $\pm$ 0,06	0,67 $\pm$ 0,05	0,68 $\pm$ 0,04	0,66 $\pm$ 0,06	0,017	-0,002	0,193	0,881
PCAI	PSV	16,5 $\pm$ 4,0	16,9 $\pm$ 3,6	14,4 $\pm$ 2,7	15,1 $\pm$ 3,6	-2,02	-1,80	0,061	0,153
	EDV	4,6 $\pm$ 1,6	4,8 $\pm$ 1,6	4,0 $\pm$ 1,7	4,5 $\pm$ 1,7	-0,65	-0,26	0,211	0,645
	PI	1,46 $\pm$ 0,25	1,39 $\pm$ 0,29	1,48 $\pm$ 0,27	1,32 $\pm$ 0,29	0,028	-0,077	0,732	0,443
	RI	0,72 $\pm$ 0,05	0,72 $\pm$ 0,06	0,73 $\pm$ 0,07	0,70 $\pm$ 0,06	0,008	-0,015	0,718	0,487

**Tabelle 22**

Mittlere Differenz und Signifikanz bei Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen normal- und fehlsichtigen Probanden (a) in der Gruppe  $\leq 27$  Jahre und (b) in der Gruppe  $> 27$  Jahre. Signifikante Differenzen mit  $p < 0,05$  sind fett hervorgehoben.

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Lediglich in der jüngeren Gruppe findet sich eine Abnahme der PSV und der EDV in den Arteria ciliares posteriores breves bei den fehlsichtigen Personen im Vergleich zu Probanden mit normalem Visus.

Untersucht man nur in der brilletragenden Gruppe die Korrelation der Flussparameter mit dem Grad der Fehlsichtigkeit (als Abweichung des Visus von 1 in Dioptrien), kommt man zu den in Tabelle 23 dargestellten Ergebnissen.

Die PSV in der Arteria ophthalmica nimmt mit zunehmender Fehlsichtigkeit ab, während die PSV und die EDV in der Arteria centralis retinae zunehmen.

Korrelation der Flussparameter mit dem Grad der Fehlsichtigkeit			
Gefäß	Flussparameter	Korrelationskoeffizient	Signifikanz
OA	PSV	<b>-0,263</b>	<b>0,024</b>
	EDV	-0,162	0,169
	PI	-0,017	0,887
	RI	0,017	0,888
CRA	PSV	<b>0,365</b>	<b>0,001</b>
	EDV	<b>0,241</b>	<b>0,037</b>
	PI	-0,038	0,744
	RI	0,083	0,479
PCAs	PSV	0,116	0,360
	EDV	0,154	0,224
	PI	-0,107	0,400
	RI	-0,137	0,280
PCAI	PSV	0,141	0,362
	EDV	0,025	0,873
	PI	-0,037	0,813
	RI	0,102	0,509

**Tabelle 23**

Korrelationskoeffizient und Signifikanz für die Korrelation zwischen Flussparametern und Grad der Fehlsichtigkeit (als Abweichung vom Visus 1,0). Signifikante Korrelationen mit  $p < 0,05$  sind fett hervorgehoben.

*(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)*

### 3.7 Abhängigkeit der Flussparameter vom Rauchen

Tabelle 24 verdeutlicht, dass zwischen den Flussparametern bei Rauchern und Nichtrauchern keine Differenzen bestehen. Die Gruppen der Raucher und Nichtraucher unterscheiden sich auch nicht signifikant hinsichtlich Geschlecht, Blutdruck oder Alter.

Vergleich der Flussparameter bei Rauchern und Nichtrauchern					
Gefäß	Parameter	Raucher Mittelwert $\pm$ SD	Nichtraucher Mittelwert $\pm$ SD	mittlere Differenz	Signifikanz
OA	PSV	52,97 $\pm$ 18,31	47,62 $\pm$ 18,27	5,344	0,173
	EDV	9,49 $\pm$ 4,99	8,70 $\pm$ 4,50	0,786	0,424
	PI	2,240 $\pm$ 0,624	2,210 $\pm$ 0,631	0,030	0,823
	RI	0,824 $\pm$ 0,064	0,816 $\pm$ 0,061	0,008	0,599
CRA	PSV	13,03 $\pm$ 3,54	12,75 $\pm$ 3,39	0,273	0,704
	EDV	3,55 $\pm$ 1,40	3,49 $\pm$ 1,28	0,054	0,843
	PI	1,453 $\pm$ 0,203	1,467 $\pm$ 0,256	-0,014	0,790
	RI	0,729 $\pm$ 0,047	0,729 $\pm$ 0,051	0,001	0,507
PCAs	PSV	12,67 $\pm$ 2,37	12,03 $\pm$ 2,43	0,647	0,226
	EDV	3,96 $\pm$ 0,82	4,02 $\pm$ 1,06	-0,064	0,774
	PI	1,261 $\pm$ 0,204	1,194 $\pm$ 0,208	0,067	0,145
	RI	0,684 $\pm$ 0,049	0,665 $\pm$ 0,057	0,020	0,108
PCAI	PSV	15,58 $\pm$ 2,91	15,55 $\pm$ 3,69	0,026	0,977
	EDV	4,39 $\pm$ 1,45	4,48 $\pm$ 1,70	-0,095	0,825
	PI	1,403 $\pm$ 0,252	1,408 $\pm$ 0,292	-0,005	0,945
	RI	0,722 $\pm$ 0,053	0,715 $\pm$ 0,068	0,008	0,373

**Tabelle 24**

Mittlere Differenz und Signifikanz bei Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen Rauchern und Nichtrauchern.

*(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)*

Für die Gruppe der Raucher (14 Probanden) wurde zusätzlich die Abhängigkeit von der gerauchten Zigarettenmenge in Packyears (Zigaretenschachteln pro Tag multipliziert mit der Anzahl der Jahre, seit denen geraucht wird) untersucht. Dabei ist zunächst zu bemerken, dass auch hier eine Abhängigkeit vom Alter besteht. Je älter die Patienten sind, desto mehr haben sie insgesamt gesehen bereits geraucht ( $R=0,797$ ,  $p<0,001$ ). Daher testeten wir die Korrelationen getrennt in zwei Altersgruppen. Tabelle 25 stellt diese Ergebnisse dar.

Korrelation der Flussparameter mit den Packyears					
		Korrelationskoeffizient		Signifikanz	
Gefäß	Flussparameter	≤ 27 Jahre	> 27 Jahre	≤ 27 Jahre	> 27 Jahre
OA	PSV	-0,053	0,100	0,857	0,746
	EDV	-0,089	0,072	0,763	0,815
	PI	0,071	0,127	0,810	0,678
	RI	-0,036	-0,119	0,904	0,698
CRA	PSV	-0,177	0,035	0,545	0,904
	EDV	-0,275	0,239	0,341	0,410
	PI	0,071	0,001	0,810	1,000
	RI	0,147	0,009	0,616	0,976
PCAs	PSV	0,102	-0,477	0,739	0,099
	EDV	0,175	-0,269	0,568	0,374
	PI	-0,175	0,083	0,569	0,787
	RI	-0,141	0,233	0,645	0,444
PCAI	PSV	-0,076	-0,528	0,846	0,117
	EDV	-0,177	-0,462	0,648	0,179
	PI	0,017	-0,043	0,966	0,906
	RI	-0,017	0,092	0,966	0,800

**Tabelle 25**

Korrelationskoeffizient und Signifikanz für die Korrelation der Flussparameter mit den gerauchten Packyears (a) in der Gruppe ≤27 Jahre und (b) in der Gruppe >27 Jahre. (Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Es wird ersichtlich, dass auch innerhalb der Rauchergruppe keine Unterschiede in den Flussparametern in Abhängigkeit von der gerauchten Menge festgestellt werden konnten.

### 3.8 Abhängigkeit der Flussparameter von der Ovulationshemmereinnahme

In den letzten Jahren kam die Diskussion auf, inwieweit Ovulationshemmer das Risiko für thromboembolische Komplikationen erhöhen. Wir untersuchten, ob sich hierdurch Veränderungen an der okulären Perfusion bemerkbar machen. Die Einnahme von Ovulationshemmern korrelierte nicht mit dem Alter oder dem Blutdruck der Probandinnen. Wir unterschieden bei der Untersuchung nicht zwischen den verschiedenen Ovulationshemmerarten, d.h. zwischen Ovulationshemmern der dritten Generation, Minipille o.ä..

Tabelle 26 zeigt den Vergleich der Flussparameter zwischen den Probandinnen mit und ohne Einnahme von Ovulationshemmern.

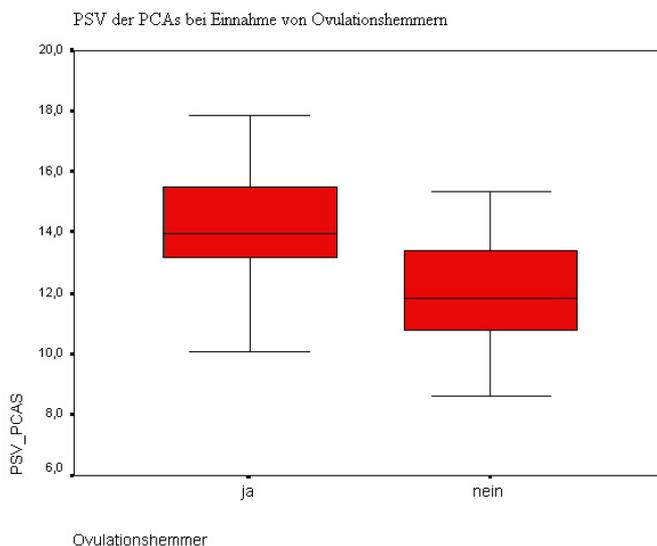
Vergleich der Flussparameter bei Einnahme bzw. Nichteinnahme von Ovulationshemmern					
Gefäß	Parameter	Einnahme Mittelwert $\pm$ SD	Nichteinnahme Mittelwert $\pm$ SD	mittlere Differenz	Signifikanz
OA	PSV	38,78 $\pm$ 11,51	47,35 $\pm$ 19,31	<b>-8,573</b>	<b>0,046</b>
	EDV	6,07 $\pm$ 2,69	7,70 $\pm$ 4,31	-1,630	0,089
	PI	2,552 $\pm$ 0,797	2,341 $\pm$ 0,462	0,210	0,232
	RI	0,841 $\pm$ 0,060	0,837 $\pm$ 0,050	0,004	0,738
CRA	PSV	14,07 $\pm$ 3,61	12,83 $\pm$ 3,47	1,240	0,152
	EDV	4,12 $\pm$ 1,71	3,40 $\pm$ 1,21	0,720	0,064
	PI	1,424 $\pm$ 0,312	1,474 $\pm$ 0,225	-0,051	0,425
	RI	0,712 $\pm$ 0,064	0,736 $\pm$ 0,047	-0,024	0,068
PCAs	PSV	14,09 $\pm$ 2,27	11,98 $\pm$ 1,71	<b>2,104</b>	<b>&lt;0,001</b>
	EDV	4,61 $\pm$ 1,04	3,92 $\pm$ 0,93	<b>0,694</b>	<b>0,007</b>
	PI	1,227 $\pm$ 0,254	1,214 $\pm$ 0,220	0,014	0,819
	RI	0,670 $\pm$ 0,061	0,673 $\pm$ 0,059	-0,003	0,843
PCAI	PSV	17,37 $\pm$ 4,47	15,60 $\pm$ 3,13	1,771	0,155
	EDV	5,13 $\pm$ 2,13	4,28 $\pm$ 1,84	0,845	0,202
	PI	1,406 $\pm$ 0,263	1,483 $\pm$ 0,377	-0,078	0,500
	RI	0,712 $\pm$ 0,064	0,730 $\pm$ 0,088	-0,018	0,503

**Tabelle 26**

Mittlere Differenz und Signifikanz bei Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen Probandinnen mit und ohne Einnahme von Ovulationshemmern. Signifikante Differenzen mit  $p < 0,05$  sind fett hervorgehoben.

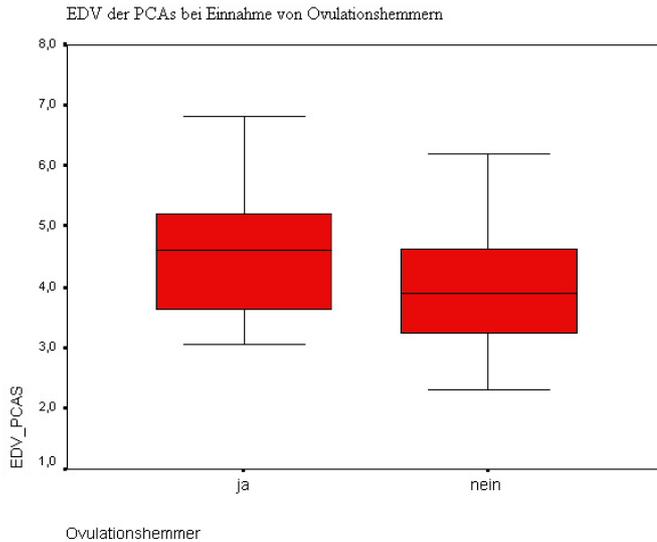
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Offenbar sind vor allem die PSV und die EDV in den Arteriae ciliares posteriores breves bei Probandinnen, die Ovulationshemmer einnehmen, gegenüber denen anderer Frauen erhöht (Abbildungen 78 und 79).

**Abbildung 78**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores breves (PSV\_PCAs) zwischen Probandinnen mit und ohne Einnahme von Ovulationshemmern ( $p < 0,001$ ).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)



**Abbildung 79**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores breves (EDV\_PCAs) zwischen Probandinnen mit und ohne Einnahme von Ovulationshemmern ( $p=0,007$ ).

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Übereinstimmend wird Frauen von der Einnahme von Ovulationshemmern abgeraten, wenn sie gleichzeitig Raucherinnen sind, da sich das thromboembolische Risiko hier um ein Vielfaches erhöht. Daher unterscheiden wir die Gruppen nochmals in Raucherinnen und Nichtraucherinnen. Tabelle 27 stellt diese Ergebnisse dar. In Klammern wurde die Anzahl der untersuchten Probandinnen angegeben.

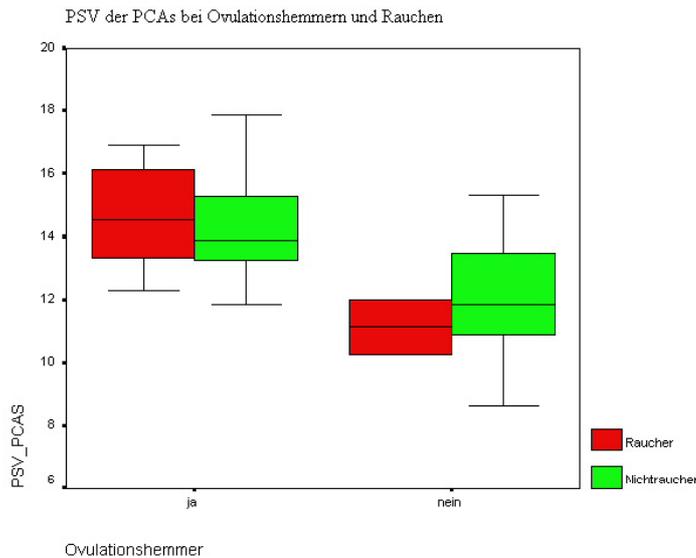
Vergleich der Flussparameter in Abhängigkeit von der Einnahme von Ovulationshemmern und vom Rauchen					
		Einnahme von Ovulationshemmern Mittelwert $\pm$ SD		Nichteinnahme von Ovulationshemmern Mittelwert $\pm$ SD	
Parameter		Raucher (4)	Nichtraucher (9)	Raucher (1)	Nichtraucher (23)
OA	PSV	38,18 $\pm$ 9,49	39,06 $\pm$ 12,61	48,24 $\pm$ 9,52	47,32 $\pm$ 19,69
	EDV	5,99 $\pm$ 2,99	6,10 $\pm$ 2,62	6,60 $\pm$ 0,71	7,75 $\pm$ 4,40
	PI	2,545 $\pm$ 0,679	2,555 $\pm$ 0,867	2,684 $\pm$ 0,175	1,356 $\pm$ 0,310
	RI	0,844 $\pm$ 0,069	0,840 $\pm$ 0,057	0,863 $\pm$ 0,014	0,836 $\pm$ 0,051
CRA	PSV	14,71 $\pm$ 3,71	13,78 $\pm$ 3,63	8,02 $\pm$ 1,86	13,04 $\pm$ 3,38
	EDV	4,28 $\pm$ 2,15	4,05 $\pm$ 1,54	2,57 $\pm$ 0,52	3,44 $\pm$ 1,22
	PI	1,437 $\pm$ 0,286	1,418 $\pm$ 0,330	1,290 $\pm$ 0,004	1,482 $\pm$ 0,227
	RI	0,718 $\pm$ 0,069	0,709 $\pm$ 0,064	0,679 $\pm$ 0,012	0,739 $\pm$ 0,047
PCAs	PSV	14,04 $\pm$ 3,16	14,11 $\pm$ 1,91	11,17 $\pm$ 1,22	12,02 $\pm$ 1,73
	EDV	4,20 $\pm$ 1,06	4,78 $\pm$ 1,02	3,79 $\pm$ 0,02	3,92 $\pm$ 0,95
	PI	1,332 $\pm$ 0,294	1,184 $\pm$ 0,231	1,141 $\pm$ 0,161	1,217 $\pm$ 0,224
	RI	0,695 $\pm$ 0,068	0,660 $\pm$ 0,056	0,660 $\pm$ 0,038	0,674 $\pm$ 0,060
PCAI	PSV	18,14 $\pm$ 3,71	16,94 $\pm$ 5,0	14,40 $\pm$ 1,98	15,70 $\pm$ 3,22
	EDV	5,30 $\pm$ 2,08	5,03 $\pm$ 2,28	3,10 $\pm$ 0,28	4,38 $\pm$ 1,89
	PI	1,397 $\pm$ 0,260	1,411 $\pm$ 0,280	1,640 $\pm$ 0,212	1,470 $\pm$ 0,388
	RI	0,717 $\pm$ 0,057	0,710 $\pm$ 0,070	0,785 $\pm$ 0,049	0,726 $\pm$ 0,089

**Tabelle 27**

Mittelwerte der Flussparameter folgender Gruppen: (a) Raucherinnen mit Einnahme von Ovulationshemmern (4 Probandinnen), (b) Nichtraucherinnen mit Einnahme von Ovulationshemmern (9 Probandinnen), (c) Raucherinnen ohne Einnahme von Ovulationshemmern (1 Probandin) und (d) Nichtraucherinnen ohne Einnahme von Ovulationshemmern (23 Probandinnen).

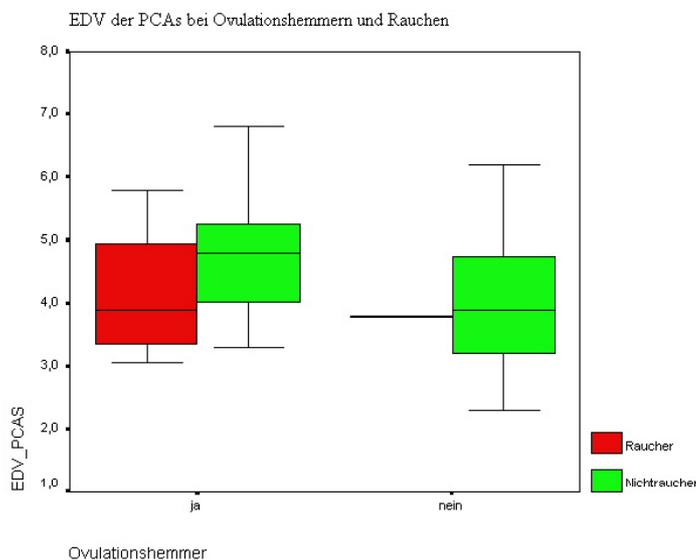
(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Da wir nur eine Raucherin untersuchten, die keine Ovulationshemmer einnahm, wurden eventuelle Differenzen der Flussparameter zu ihren Werten in der Auswertung nicht berücksichtigt. Beim Vergleich der Flussparameter der rauchenden Probandinnen, die Ovulationshemmer einnahmen, mit denen der nichtrauchenden Kontrollpersonen mit und ohne Einnahme von Ovulationshemmern fielen keine signifikanten Differenzen auf. Es bestätigt sich jedoch, dass die PSV ( $p=0,001$ ) und EDV ( $p=0,006$ ) in den Arteriae ciliares posteriores breves bei Probandinnen mit Einnahme von Ovulationshemmern höher sind als bei Probandinnen, die keine Ovulationshemmer einnehmen. Dieser Effekt ist unabhängig von der Tatsache, ob die Probandinnen gleichzeitig rauchen (Abbildungen 80 und 81).

**Abbildung 80**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores breves (PSV\_PCAs) zwischen rauchenden (rot) und nicht-rauchenden (grün) Probandinnen mit und ohne Einnahme von Ovulationshemmern.

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

**Abbildung 81**

Boxplots zum Vergleich der Mittelwerte für die enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores breves (EDV\_PCAs) zwischen rauchenden (rot) und nicht-rauchenden (grün) Probandinnen mit und ohne Einnahme von Ovulationshemmern.

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Da auch hier das untersuchte Kollektiv sehr klein ist, sind für statistisch relevante Aussagen zu diesem Thema weitere Untersuchungen nötig.

### 3.9 Abhängigkeit der Flussparameter von der Schilddrüsenfunktion

Sechs unserer Probanden nahmen L-Thyroxin bei bestehender Hypothyreose ein. Bei einem Vergleich der Flussparameter dieser Probanden mit alters- und geschlechtsangepassten Kontrollen fallen keine Differenzen auf. Jedoch muss einschränkend angemerkt werden, dass die endokrinologischen Schilddrüsenparameter nicht direkt bestimmt wurden. Tabelle 28 stellt die Ergebnisse des Student's t-Test dar.

Vergleich der Flussparameter bei normaler Schilddrüsenfunktion und Hypothyreose					
Gefäß	Parameter	kein L-Thyroxin Mittelwert $\pm$ SD	Hypothyreose Mittelwert $\pm$ SD	mittlere Differenz	Signifikanz
OA	PSV	46,03 $\pm$ 15,19	41,73 $\pm$ 12,39	4,301	0,408
	EDV	9,99 $\pm$ 4,63	8,23 $\pm$ 4,61	1,747	0,300
	PI	1,895 $\pm$ 0,451	2,128 $\pm$ 0,589	-0,233	0,207
	RI	0,789 $\pm$ 0,052	0,811 $\pm$ 0,062	-0,023	0,262
CRA	PSV	14,09 $\pm$ 4,14	15,48 $\pm$ 4,36	-1,386	0,366
	EDV	4,05 $\pm$ 1,43	4,43 $\pm$ 1,99	-0,379	0,525
	PI	1,354 $\pm$ 0,174	1,376 $\pm$ 0,220	-0,023	0,744
	RI	0,714 $\pm$ 0,042	0,725 $\pm$ 0,063	-0,011	0,556
PCAs	PSV	12,25 $\pm$ 2,14	12,63 $\pm$ 2,42	-0,382	0,650
	EDV	4,30 $\pm$ 0,99	4,34 $\pm$ 1,08	-0,051	0,894
	PI	1,123 $\pm$ 0,182	1,169 $\pm$ 0,154	-0,048	0,483
	RI	0,650 $\pm$ 0,051	0,658 $\pm$ 0,045	-0,008	0,650
PCAI	PSV	15,88 $\pm$ 3,04	17,74 $\pm$ 3,80	-1,859	0,239
	EDV	5,18 $\pm$ 1,80	5,55 $\pm$ 1,82	-0,372	0,661
	PI	1,226 $\pm$ 0,306	1,232 $\pm$ 0,128	-0,005	0,965
	RI	0,679 $\pm$ 0,079	0,692 $\pm$ 0,044	-0,013	0,699

**Tabelle 28**

Mittlere Differenz und Signifikanz bei Vergleich der Mittelwerte der Flussparameter zwischen Probanden mit normaler Schilddrüsenfunktion und unter Einnahme von L-Thyroxin.

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

## 4 Diskussion

Die Dopplersonographie hat sich zu einer bedeutenden Methode entwickelt, um die okuläre Blutzirkulation bei gesunden Probanden und bei Patienten mit okulären Erkrankungen zu analysieren, so zum Beispiel bei diabetischer Retinopathie<sup>29,39</sup>, Glaukom<sup>3,10,11,27</sup>, Endophthalmitis<sup>30</sup> oder Gefäßverschlüssen<sup>1,31</sup>.

Studien zu Normalwerten der retrobulbären Gefäße erfassten bisher nur eine geringe Anzahl von Probanden<sup>3,10,11,12,13,15,27,33</sup>, oder es ist unklar, ob die Daten prospektiv erhoben wurden<sup>11,15,24,33</sup>. Weiterhin ist aus einigen Arbeiten<sup>10,11,12,14,15,27,30,33</sup> nicht ersichtlich, welche Ausschlusskriterien angewendet wurden, und ob so ein Kollektiv ohne vaskuläre Risikofaktoren oder systemische Erkrankungen untersucht wurde. Lieb et al.<sup>23</sup> verwerteten z.B. Daten des gesunden Auges von Patienten mit okulären Tumoren. Kaiser et al.<sup>19</sup> untersuchten bei 189 Freiwilligen den Blutfluss in der Arteria ophthalmica, der Arteria centralis retinae und den Arteria ciliares posteriores breves. Eine Stenose der Arteria carotis interna wurde jedoch nicht ausgeschlossen.

Die folgenden tabellarischen Übersichten (Tabelle 29 bis 31) fassen die wichtigsten Ergebnisse bisheriger Studien zur Farbdopplersonographie retrobulbärer Gefäße bei Normalpersonen zusammen. Tabelle 30 zeigt eine Zusammenstellung der in bisherigen Studien verwendeten Ultraschallgeräte mit entsprechenden Literaturreferenzen. Beim Vergleich der Ergebnisse der Literatur zeigt sich, dass wahrscheinlich auch eine Abhängigkeit vom eingesetzten Ultraschallgerät besteht.

Autor	Jahr	Kollektiv	OA	CRA	PCAs	Bemerkungen / Korrelationen
Auburn <sup>1</sup> (QAD1)	1993	?	PSV 31,3±4,2 EDV 8,3±3,9 PI 1,55	PSV 10,1±1,9 EDV 2,6±1,2 PI 1,52	PSV 12,4±4,2 EDV 4,3±2,2 PI 1,09	PCAI können dargestellt werden (keine Aussagen zu Flussprofil und Strömungsgeschwindigkeiten)
Baxter <sup>2</sup> (Acuson)	1995	80 (15 für PCAs)	PSV 35,0 (11,0-65,0) EDV 8,6 (1,9-23,0) RI 0,74 (0,56-0,90)	PSV 10,2 (4,6-18,6) EDV 3,1 (1,3-6,3) RI 0,69 (0,56-0,89)	PSV 12,2 EDV 5,2 RI 0,60	Geschlecht: keine Korrelation Alter: PSV_OA↓, EDV_OA↓ (r=-0,31 p=0,003), RI_CRA↑ (r=0,21 p=0,04)
Butt <sup>3</sup> (Acuson)	1995	17 (34)	PSV 30,1±9,9 EDV 8,4±2,9 RI 0,72±0,05	PSV 13,4±6,3 EDV 2,6±1,6 RI 0,80±0,08		Alter: keine Korrelation Niederdruckglaukom: RI_OA↑ (p=0,02), RI_CRA↑ (p=0,02), EDV_OA↓ (p=0,04)
Galassi <sup>10</sup> (QAD1)	1992	20 (20)	PSV 41,3±3,4 EDV 9,5±2,0 RI 0,76±0,04	PSV 13,4±2,4 EDV 2,0±1,8 RI 0,85±0,08	PSV 12,5±1,7 EDV 3,1±0,4 RI 0,71±0,07	Glaukom: PSV_OA↓ (p<0,001), RI_CRA↑, RI_PCA↑ (p<0,1) Glaukom mit therapieresistentem IOP↑ im Vergleich zu eingestelltem IOP: EDV_CRA↓ und RI_CRA↑ (beide p<0,001), EDV_PCA↓ und RI_PCA↑ (beide p<0,05)
Galassi <sup>11</sup> (QAD1)	1994	20 (20)	PSV 43,1±5,9 EDV 10,2±2,2 RI 0,76±0,04	PSV 12,1±1,2 EDV 2,3±1,2 RI 0,81±0,09	PSV 11,9±1,4 EDV 3,3±0,6 RI 0,72±0,04	Alter: PSV_OA↓ (p<0,000), EDV_OA↓ (p<0,000), EDV_CRA↓ (p<0,000), EDV_PCA↓ (p=0,008), RI_CRA↑ (p=0,008), RI_PCA↑ (p=0,002) Glaukom: PSV_OA↓ (p<0,001) Glaukom mit therapieresistentem IOP↑ im Vergleich zu eingestelltem IOP: EDV_CRA↓ und RI_CRA↑ (beide p<0,001), EDV_PCA↓ und RI_PCA↑ (beide p<0,05)
Giovagnorio <sup>12</sup> (Spectra)	1993	20				keine Unterscheidung zwischen PCAI und PCAs möglich Flussparameter wie bei Lieb (1991) <sup>23</sup>
Greenfield <sup>13</sup> (Q2000)	1995	32	PSV 37,9±10,8 EDV 10,6±4,3 PI 1,41±0,26	PSV 11,0±2,5 EDV 4,0±1,4 PI 1,13±0,28	PSV 10,6±3,5 EDV 4,4±2,1 PI 0,99±0,28	Geschlecht: bei Männern OA EDV↑ (p=0,04) Alter: EDV_CRA↓ (r=-0,301, p<0,05), PI_CRA↑ (r=0,328, p<0,05), EDV_PCA↓ (r=-0,329, p<0,05), PI_PCA↑ (r=0,397, p<0,05) RR diastolisch: EDV_OA↑ (r=0,299 p<0,05), PI_OA↓ (r=-0,41 p<0,05) OA zeigt größere interindividuelle Variabilität als CRA oder PCA (p<0,0001)
Guthoff <sup>14</sup> (Ultramark, Acuson)	1991	72	PSV 31,6±9,0 EDV 8,2±3,7	PSV 9,5±3,1 EDV 3,1±1,6		Keine Korrelation mit IOP oder systolischem RR Alter: PSV_OA↓ (r=-0,147 p<0,05), EDV_OA↓ (r=-0,085 p<0,01), PSV_OA/EDV_OA↑ (r=0,130), PSV_CRA/EDV_CRA↑ (r=0,166) RR systol/RR diastol↑: PSV_OA/EDV_OA↑ (r=0,254), PSV_CRA/EDV_CRA↑ (r=0,363)

Autor	Jahr	Kollektiv	OA	CRA	PCAs	Bemerkungen / Korrelationen
Harris <sup>15</sup> (Q2000)	1995	15	PSV 35,9±9,1 EDV 9,9±5,2 RI 0,73±0,08	PSV 8,7±2,2 EDV 2,5±1,1 RI 0,72±0,08	PSV 7,9±2,3 EDV 2,5±0,9 RI 0,68±0,09	beste reproduzierbare Ergebnisse für OA, größere Variabilität für PCA
Kaiser <sup>19</sup> (Q2000)	1996	189	PSV 39,2±5,3 (30,6-43,9) EDV 9,1±2,5 (8,2-12,3) RI 0,77±0,05 (0,72-0,78)	PSV 11,0±1,8 (8,7-19,0) EDV 3,3±0,9 (2,2-9,4) RI 0,71±0,05 (0,65-0,80)	PSV 11,2±1,7 (9,1-14,2) EDV 3,6±0,8 (3,3-4,8) RI 0,68±0,05 (0,61-0,7)	keine Korrelation mit Geschlecht oder Herzfrequenz Alter: PSV_OA↓ (r=-0,21, p<0,01), PSV_PCA↓ (r=-0,23, p<0,001), EDV_CRA↓ (r=-0,15, p=0,03), EDV_PCA↓ (r=-0,25, p<0,0001), RI_PCA↑ (r=0,20, p=0,003) RR systolisch: EDV_OA↓ (r=-0,17, p<0,01), RI_OA↑ (r=0,18, p<0,01), RI_PCA↑ (r=0,15, p<0,05) RR diastolisch: EDV_OA↑ (r=0,16, p=0,02), RI_OA↓ (r=-0,16, p<0,05), RI_CRA↓ (r=-0,14, p=0,04), RI_PCA↓ (r=-0,15, p=0,02)
Kvernes <sup>22</sup> (PEDOF)	1980	40	PSV 34±6		PSV 14±3	Alter: keine Korrelation, jedoch Veränderung der Flusskurvenprofils (an- gehobener zweiter systolischer Peak) IOP: EDV_PCA↓
Lieb <sup>23</sup> (Q2000)	1991	40	PSV 31,4±4,2 (23,5-39,8)	PSV 10,3±2,1 (6,4-17,)	PSV 12,4±4,8 (1,4-22,7)	Geschlecht: keine Korrelation keine Unterscheidung zwischen PCAl und PCAs möglich
Lieb <sup>25</sup>	1992	400				in manchen Fällen Differenzierung zwischen PCAl und PCAs möglich
Lieb <sup>24</sup> (Q2000)	1993	222	PSV 37,7±7,0 EDV 8,8±2,8	PSV 9,6±1,4 EDV 2,4±0,8	PSV 11,3±2,2 EDV 3,6±1,2	PCAl und PCAs identifiziert diabetische Retinopathie: PSV_CRA↓, EDV_CRA↓
Martorina <sup>27</sup> (Echoflow2)	1987	19 (33)	TMAx 12,35±6,9			Glaukom: TMAx_OA↓ (p<0,001)
Mendivil <sup>28</sup> (SSA270)	1995	40	PSV 36,9±7,0 EDV 10,6±4,3	PSV 12,5±2,4 EDV 4,0±0,7	PSV 14,4±2,6 EDV 4,8±1,7	PCAl und PCAs identifiziert, aber nicht differenzierbar keine Korrelation mit Geschlecht Alter: PSV_OA↓ (r=-0,24), EDV_OA↓ (r=-0,22) RR systol./RR diastol.: PSV_OA/EDV_OA↑ (r=0,19)
Mendivil <sup>29</sup> (SSA270)	1995	30 (25)	PSV 36,6±7,0 EDV 10,8±4,4	PSV 12,6±2,6 EDV 4,1±0,8	PSV 14,2±2,7 EDV 4,8±1,9	keine Korrelation mit Alter oder Geschlecht diabetische Retinopathie: PSV_OA/EDV_OA↓, PSV_CRA/EDV_CRA↓
Michelson <sup>30</sup> (EME)	1990	50 (10)	<50.Lebensjahr PSV 38,8±6,3 EDV 11,6±4,7 >50.Lebensjahr PSV 28,3±4,6 EDV 6,7±3,3			Alter: PSV_OA↓ (r=-0,56, p<0,001), EDV_OA↓ (r=-0,52, p<0,0001), RI_OA↑ (r=0,275, p<0,05) Endophthalmitis: PSV_OA↑ (p=0,0001), EDV_OA↑ (p<0,001), PI_OA unverändert im erkrankten im Vergleich zum nicht erkrankten Auge

Autor	Jahr	Kollektiv	OA	CRA	PCAs	Bemerkungen / Korrelationen
Rankin <sup>33</sup> (Acuson)	1995	28 (76)		PSV 14,1±4,4 EDV 4,35±1,5 RI 0,70±0,08	PSV 9,48±2,1 EDV 3,36±1,0 RI 0,65±0,08	Normaldruckglaukom: EDV_CRA↓, RI_CRA↑ (p<0,05) Hochdruckglaukom: EDV_CRA↓, RI_CRA↑, EDV_PCA↓, RI_PCA↑ (p<0,05)
<b>Rojanapongpun<sup>35</sup></b> (Medasonic)	<b>1993</b>	60	PSV 45,12±7,75 EDV 11,95±3,42 PI 1,53±0,38 RI 0,74±0,07			Alter: PSV_OA↓ (p=0,003), EDV_OA↓ (p<0,039), Veränderung der Form des Flussprofils: erster systolischer Peak kleiner mit abgerundeter Spitze, dichrotische Kerbe weniger evident, zweiter systolischer Peak abgerundet, zweite Kerbe mit drittem Peak Geschlecht: keine Korrelation
Tamaki <sup>39</sup> (SSA 270)	1993	33 (36)	PSV 25,4±7,6 EDV 6,3±2,3 RI 0,75±0,052			Alter: PSV_OA↓ (r=-0,65, p<0,001), EDV_OA↓ (r=-0,61, p<0,001) diabetische Retinopathie: RI_OA↑ (p<0,05)
<b>Williamson<sup>43</sup></b> (Acuson)	<b>1995</b>	95	PSV 35,0±11,2 EDV 8,6±3,8 RI 0,74±0,082	PSV 10,2±2,8 EDV 3,1±1,1 RI 0,693±0,077		Alter: PSV_OA↓ (r=-0,31, p=0,003), EDV_OA↓ (r=-0,31, p=0,003), RI_CRA↑ (r=0,21, p=0,04), RR systolisch↑, RR diastolisch, bestätigt durch multiple Regressionsanalyse (Alter und RR) Geschlecht: keine Korrelation RR systolisch: PSV_OA↑ (b=0,56), PSV_CRA↑ (b=0,39), kein Unterschied von Patienten mit beobachteter/behandelter Hypertension (8 Probanden) zu normotensiven Probanden RR diastolisch: keine Korrelation Rauchen (19 Probanden): TMAx_OA↓ (p=0,03) RI_OA↓ (p=0,003), ehemalige Raucher (9 Probanden) und Nichtraucher (60 Probanden) hatten identische Ergebnisse keine Unterschiede in den Flussparametern im Vergleich zu gesunden Probanden bei 5 Probanden mit Myokardinfarkt, Angina pectoris und Apoplex

**Tabelle 29**

Übersicht über die Ergebnisse bisheriger Studien mit Autor und verwendetem Ultraschallgerät (1. Spalte), Erscheinungsjahr der Publikation (2. Spalte), Größe des augengesunden Kollektivs bzw. in Klammern Anzahl der untersuchten Personen mit okulären Erkrankungen (3. Spalte), Flussparametern der Arteria ophthalmica, Arteria centralis retinae und Arteria ciliares posteriores breves (4. – 6. Spalte) sowie über die Ergebnisse zu Korrelationen und zur Darstellbarkeit der Arteria ciliares posteriores breves et longi (7. Spalte). Für uns besonders relevante Studien wurden fett hervorgehoben. (Abkürzungsverzeichnis und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Übersicht über verwendete Ultraschallgeräte:		
Hersteller		Literaturreferenz
Acuson 128	Acuson, Mountain View, California, USA	2, 3, 4, 5, 14, 33, 40, 43
Echoflow2	Dyagnostic, USA	27
EME	Überlingen, Deutschland	30
Elegra	Sonoline Elegra Advanced System, Siemens, Erlangen, Deutschland	21
Medasonic II	Medasonics, Mountain View, California, USA	35
PEDOF	Division of Engineering Cybernetics, University of Trondheim	22
Q2000	Siemens-Quantum Medical Systems, Inc., Issaquah, Washington, USA	13, 15, 19, 23, 24, 25
QAD1	Siemens-Quantum Medical Systems, Inc., Issaquah, Washington, USA	1, 7, 10, 11
Spectra	Diasonics/Sonotron	12
SSA 270	Toshiba, Tokyo, Japan	28, 29, 39
Ultramark	Advanced Technical Laboratories-Scientific Medical Systems Co., Bothell, Washington, USA	14

**Tabelle 30**

Hersteller der in bisherigen Studien verwendeten Ultraschallgeräte mit Literaturreferenzen.

Ergebnisse zu den Flussparametern retrobulbärer Gefäße in bisherigen Studien		
Arteria ophthalmica	Arteria centralis retinae	Arteriae ciliares posteriores breves
PSV 35,5 (25,4 – 45,12)	PSV 11,2 (8,7 – 14,1)	PSV 11,9 (7,9 – 14,4)
EDV 9,3 (6,3 – 11,95)	EDV 3,1 (2,0 – 4,35)	EDV 3,9 (2,5 – 5,2)
PI 1,5 (1,41 – 1,55)	PI 1,33 (1,13 – 1,52)	PI 1,04 (0,99 – 1,09)
RI 0,75 (0,72 – 0,77)	RI 0,75 (0,69 – 0,85)	RI 0,67 (0,60 – 0,72)

**Tabelle 31**

In bisherigen Studien ermittelte Flussparameter als durchschnittliche Mittelwerte und Spannweiten für die Arteria ophthalmica, Arteria centralis retinae und Arteriae ciliares posteriores breves.

(*Abkürzungsverzeichnis und Maßeinheiten siehe Seite 2*)

Die Arteria ophthalmica konnte meist über einen längeren Verlauf eindeutig identifiziert werden, in unserer Studie in 144 von 146 Augen (98,6%). In bisherigen Untersuchungen finden sich für die Flussparameter in der Arteria ophthalmica folgende Angaben: PSV 25,4±7,6 cm/s (Tamaki et al.<sup>39</sup>) bis 45,12±7,75 cm/s (Rojanapongpun et al.<sup>35</sup>), EDV 6,3±2,3 cm/s (Tamaki et al.<sup>39</sup>) bis 11,95±3,42 cm/s (Rojanapongpun et al.<sup>35</sup>), PI (Auburn et al.<sup>1</sup>) bis 1,41±0,26 (Greenfield et al.<sup>13</sup>) und RI 0,72±0,05 (Butt et al.<sup>3</sup>) bis 0,77±0,05 (Kaiser et al.<sup>19</sup>). PI wurde jedoch nur in 3 Studien<sup>1,13,33</sup> ausgewertet, RI in 9 von 19 Studien<sup>2,3,10,11,15,19,35,39,43</sup>. In der hier vorliegenden Studie zeigte die Arteria ophthalmica ein Flussprofil mit steilem hohem systolischem Peak, bei geringer EDV und tiefer dichrotischer Kerbe mit zweitem systolischem Peak. Wir ermittelten folgende Flussparameter: PSV 48,63 ± 18,34 cm/s; EDV 8,85 ± 4,59 cm/s; PI 2,215 ± 0,627; RI 0,817 ± 0,061. PSV, PI und RI in der Arteria ophthalmica liegen somit geringfügig über den in bisherigen Studien festgestellten Mittelwerten. Sie überschreiten jedoch nicht die bei anderen Autoren aufgeführten Maximalwerte (z.B. Baxter et al.<sup>2</sup>). Dies könnte dadurch erklärt werden, dass durch den Verlauf des Gefäßes nach medial in einem Winkel zwischen 25° und 45° Fehler bei der Doppler-Winkeleinstellung entstehen, die sich als stärkere Variabilität der Flussparameter bemerkbar machen. So kann die auch von Greenfield et al.<sup>13</sup> beschriebene signifikant größere Streuung der Flussparameter zum einen durch physiologische interindividuelle Schwankungen oder durch Ungenauigkeiten in der Einstellung des Doppler-Winkels erklärt werden.

Für die Arteria centralis retinae finden sich in 15 der bisherigen Studien Angaben zu den Flussparametern: PSV 8,7±2,2 cm/s (Harris et al.<sup>15</sup>) bis 14,1±4,4 cm/s (Rankin et al.<sup>33</sup>), EDV 2,0±1,8 cm/s (Galassi et al.<sup>10</sup>) bis 4,35±1,5 cm/s (Rankin et al.<sup>33</sup>), PI 1,13±0,28 (Greenfield et al.<sup>13</sup>) bis 1,52 (Auburn et al.<sup>1</sup>) und RI 0,69 (Baxter et al.<sup>2</sup>) bis 0,85±0,08 (Galassi et al.<sup>10</sup>). Der PI wurde nur in den beiden oben aufgeführten Studien<sup>1,13</sup> ausgewertet, der RI in 8 Studien<sup>2,3,10,11,15,19,33,43</sup>. Die Arteria centralis retinae konnte in ihrem Verlauf nach Eintritt in den Nervus opticus zusammen mit der Vena centralis retinae bulbunah bei allen Probanden dargestellt werden. Dabei zeigte sie den typischen pulsatilen Fluss einer Arterie mit steilem systolischem Peak im Gegensatz zum mehr kontinuierlichen Fluss der Vena centralis retinae. Durch ihren geradlinigen, wenig gewundenen Verlauf in einem Winkel von 0 bis 5° zum Schallkopf übertragen sich Fehler in der Winkelkorrektur weniger in Streuungen der Flussgeschwindigkeiten. Die Ergebnisse lassen sich daher auch bei verschiedenen Untersuchern am besten reproduzieren<sup>2,7</sup>. Es ergaben sich folgende Flusspa-

parameter: PSV  $12,81 \pm 3,41$  cm/s; EDV  $3,50 \pm 1,30$  cm/s; PI  $1,465 \pm 0,246$  und RI  $0,729 \pm 0,050$ . Unsere Ergebnisse bestätigen somit die Daten bisheriger Studien.

Die Arteriae ciliares posteriores wurden bisher in 13 Studien<sup>1,2,10,11,13,15,19,22,23,25,28,29,33</sup> ausgewertet. Meist wurde aufgrund der Position und des Flussprofils des vermessenen Gefäßes davon ausgegangen, dass es sich um die Arteriae ciliares posteriores breves handelte. Einige Untersucher<sup>1,23,24</sup> halten eine Differenzierung zwischen Arteriae ciliares posteriores breves und den Arteriae ciliares posteriores longi in manchen Fällen für möglich. Jedoch wurden hierzu bisher keine quantitativen Aussagen gemacht, und es wurden auch keine Unterscheidungskriterien genannt. Diese Differenzierung wäre jedoch für die Beurteilung von pathologischen Flussprofilen in den Gefäßen bei verschiedenen okulären Erkrankungen von Bedeutung. So gehen zum Beispiel die Gesichtsfelddefekte beim Offenwinkelglaukom mit Perfusionsstörungen in den Arteriae ciliares posteriores breves einher. Die Arteriae ciliares posteriores longi hingegen versorgen Iris und Corpus ciliare und sind bei entsprechenden Erkrankungen dort betroffen.

Für die Arteriae ciliares posteriores breves finden sich in der Literatur folgende Angaben zu den Flussparametern: PSV  $7,9 \pm 2,3$  cm/s (Harris et al.<sup>15</sup>) bis  $14,4 \pm 2,6$  cm/s (Mendivil et al.<sup>28</sup>), EDV  $2,5 \pm 0,9$  cm/s (Harris et al.<sup>15</sup>) bis  $5,2$  cm/s (Baxter et al.<sup>2</sup>), PI  $0,99 \pm 0,28$  (Greenfield et al.<sup>13</sup>) bis  $1,09$  (Auburn et al.<sup>1</sup>) und RI  $0,60$  (Baxter et al.<sup>2</sup>) bis  $0,72 \pm 0,04$  (Galassi et al.<sup>11</sup>). Der PI wurde nur in zwei Studien<sup>1,13</sup>, der RI nur in 6 Studien<sup>2,10,11,15,19,33</sup> berechnet. In der hier vorgestellten Studie konnten meist mehrere Arteriae ciliares posteriores breves temporal und nasal kurz vor dem Bulbus dargestellt werden. Wir untersuchten diese Gefäße in unmittelbarer Nähe des Sehnervs, da sie hier gerade und senkrecht zum Schallkopf verlaufen. Sie zeigten eine geringere Pulsatilität entsprechend dem geringen Widerstand des choroidalen Gefäßbettes. Nach einem kurzen, wenig steilen systolischen Geschwindigkeitsanstieg fiel die Flussgeschwindigkeit während der Diastole nur wenig und relativ gleichförmig ab. Die dichrotische Kerbe war nur selten eindeutig zu identifizieren (Abbildungen 17 und 18, Kapitel 3.2 Differenzierung zwischen Arteriae ciliares posteriores breves et longi, Seite 21). Für die Arteriae ciliares posteriores breves wurden folgende Flussparameter in 129 von 146 Augen (88,4%) bestimmt: PSV  $12,16 \pm 2,43$  cm/s; EDV  $4,01 \pm 1,01$  cm/s; PI  $1,208 \pm 0,208$  und RI  $0,669 \pm 0,056$ . Diese Flussparameter entsprechen im wesentlichen den in anderen Studien bereits ermittelten Werten.

Die Papilla nervi optici wird zum größten Teil über die Arteriae ciliares posteriores breves perfundiert (siehe Kapitel 1.1 Anatomische Grundlagen, Seite 5). Daher würden Veränderungen der Flussparameter dieser Gefäße den besten Nachweis für die Beeinträchtigung der Blutzirkulation bei Glaukompatienten liefern. Die starke Streuung der Flussparameter der Arteriae ciliares posteriores breves beeinträchtigt jedoch die Beurteilbarkeit von Veränderungen der Absolutwerte. Weiterhin kann nicht gewährleistet werden, dass das gewählte Gefäß tatsächlich an der Versorgung der Papilla nervi optici über den Circulus arteriosus Zinnii beteiligt ist oder die weiter entfernt gelegene Choroidea versorgt. Die Arteriae ciliares posteriores longi ließen sich bei 84 Augen von 146 (57,5%) anhand des Flussprofils und typischen Verlaufs eindeutig von den Arteriae ciliares posteriores breves differenzieren (siehe Kapitel 3.2 Differenzierung zwischen Arteriae ciliares posteriores breves et longi, Seite 21). Die Darstellung dieser Gefäße gelang meist temporal im Verlauf nach anterior und lateral. Das gegenüber den Arteriae ciliares posteriores breves unterschiedliche Flussprofil zeigte einen steileren systolischer Anstieg mit spitzem maxi-

malem systolischem Peak (Abbildungen 17 und 18, Kapitel 3.2 Differenzierung zwischen Arteriae ciliares posteriores breves et longi, Seite 21). Es wurde eine signifikant höhere PSV erreicht ( $15,56 \pm 3,51$  cm/s,  $p < 0,001$ ). Es folgte ein steiler diastolischer Flussabfall mit prominenter dichrotischer Kerbe. Es wird eine höhere EDV mit  $4,46 \pm 1,64$  cm/s ( $p = 0,001$ ) erreicht. PI und RI sind ebenfalls signifikant höher als in den Arteriae ciliares posteriores breves (PI  $1,407 \pm 0,282$ ,  $p < 0,001$ ; RI  $0,717 \pm 0,065$ ,  $p < 0,001$ ). Dies lässt auf einen höheren Widerstand im distalen Gefäßbett schließen.

Insbesondere bei älteren Patienten kann sich die Entscheidung, ob es sich um eine Arteria ciliaris posterior brevis oder eine Arteria ciliaris posterior longa handelt, nicht allein auf die Form des Flussprofils stützen. Es müssen immer alle darstellbaren Gefäße sorgfältig untersucht und möglichst bei gleicher Skalierung verglichen werden, da insbesondere bei schrägem Anschneiden der Gefäße mit nicht optimaler Gatepositionierung Verwechslungen möglich sind. Weiterhin sollte der genaue Verlauf des Gefäßes verifiziert werden. Insbesondere die Differenzierung von der Arteria lacrimalis ist wegen der Ähnlichkeit ihres Flussprofils mit dem der Arteriae ciliares posteriores longi von Bedeutung. Weiterhin ist nicht klar, inwieweit das Flussprofil der drei Hauptstämme der Arteriae ciliares posteriores sich von dem der Arteriae ciliares posteriores longi unterscheidet, da hierzu noch keine Daten vorliegen.

Zwischen den Flussparametern des linken und rechten Auges waren keine signifikanten Differenzen nachweisbar. Dies wird durch mehrere Untersuchungen<sup>2,13,19,28,35,43</sup> bestätigt.

Um beurteilen zu können, wie sich die Flussparameter der retrobulbären Gefäße bei verschiedenen okulären Erkrankungen verhalten, muss der Einfluss systemischer Faktoren bekannt sein. Oft sind es gerade die älteren Patienten mit multiplen anderen medizinischen Problemen, die zusätzlich an Augenerkrankungen wie dem Glaukom oder der diabetischen Retinopathie leiden. Daher untersuchten wir bei unserem Kollektiv den Einfluss von Alter, Blutdruck, Pulsfrequenz, Rauchen und von der Einnahme von Ovulationshemmern oder L-Thyroxin bei Hypothyreose. Es sind noch weitere bisher nicht untersuchte Faktoren denkbar, wie zum Beispiel Adipositas, Hypercholesterinämie, Vaskulitis, Migraine, Diabetes mellitus, Stenosen der Arteria carotis interna oder Linksherzinsuffizienz. Die Methode der Dopplersonographie ist jedoch vor allem für Verlaufsbeobachtungen und die Beurteilung von Therapieerfolgen eines einzelnen Patienten geeignet, da hier alle weiteren oben genannten Einflussfaktoren annähernd konstant bleiben.

Obwohl in drei der bisherigen Studien<sup>3,22,29</sup> keine Korrelation der Flussparameter mit dem Alter nachweisbar war, zeigten andere Studien (10 Studien)<sup>2,11,13,14,19,28,30,35,39,43</sup> statistisch signifikante Korrelationen. Die meisten der genannten Untersuchungen demonstrierten übereinstimmend eine Abnahme der PSV mit zunehmendem Alter, was vor allem an der Arteria ophthalmica<sup>2,11,14,19,28,30,35,39,43</sup> deutlich wurde, sowie eine Abnahme der EDV aller Gefäße (gezeigt an der Arteria ophthalmica<sup>2,11,14,28,30,35,39,43</sup>, der Arteria centralis retinae<sup>11,13,19</sup> und den Arteriae ciliares posteriores<sup>11,13,19</sup>). Weiterhin stellte sich eine Zunahme des RI vor allem der Arteria centralis retinae<sup>2,11,43</sup> heraus. Festzuhalten ist jedoch, dass diese Korrelationen zwar statistisch signifikant, jedoch aufgrund der großen Streuung der Werte kaum von klinischer Bedeutung sind.

Die Korrelationsbetrachtungen der Flussparameter mit dem Alter erbrachten in unserem Kollektiv folgende Ergebnisse:

- In der Arteria ophthalmica fand sich eine statistisch signifikante Abnahme des PI ( $R=-0,413$ ,  $p<0,001$ ) und des RI ( $R=-0,337$ ,  $p<0,001$ ).
- In der Arteria centralis retinae fand sich eine signifikante Zunahme der PSV ( $R=0,278$ ,  $p=0,001$ ) und der EDV ( $R=0,274$ ,  $p=0,001$ ) sowie eine Abnahme des PI ( $R=-0,216$ ,  $p=0,009$ ).
- In den Arteriae ciliares posteriores breves fand sich eine statistisch signifikante Abnahme der PSV ( $R=-0,310$ ,  $p<0,001$ ) und der EDV ( $R=-0,231$ ,  $p=0,009$ ).
- In den Arteriae ciliares posteriores longi fand sich eine statistisch signifikante Abnahme des PI ( $R=-0,281$ ,  $p=0,010$ ).

In der Arteria ophthalmica fanden wir in Abhängigkeit vom Alter eine signifikante Abnahme des PI ( $R=-0,413$ ,  $p<0,001$ ) und RI ( $R=-0,337$ ,  $p<0,001$ ). Dies wurde bisher nicht als statistisch signifikant demonstriert, wobei der PI bisher nur in wenigen Studien mit ausgewertet wurde. Diese Korrelation zeigte sich unabhängig vom Geschlecht (siehe Kapitel Kapitel 3.3 Abhängigkeit der Flussparameter vom Alter, Seite 26). In früheren Studien<sup>2,11,14,19,28,30,35,38,43</sup> konnte eine Abnahme der PSV der Arteria ophthalmica mit dem Alter festgestellt werden. Dies war bei unseren Untersuchungen jedoch nicht statistisch signifikant ( $R=-0,104$ ,  $p=0,214$ ). Ebenso zeigten acht Studien<sup>2,11,14,28,30,35,34,43</sup> eine Abnahme der EDV der Arteria ophthalmica mit dem Alter. In unserer Studie fand sich hier eher eine Zunahme, die jedoch ebenfalls nicht statistisch signifikant war ( $R=0,136$ ,  $p=0,103$ ). Auch die genannten Studien verneinen letztendlich eine klinische Bedeutung der gezeigten Korrelationen. Weiterhin zeigte insbesondere die Arteria ophthalmica eine größere interindividuelle Variabilität (Greenfield et al.<sup>13</sup>) und durch den starken Einfluss einer inkorrekten Winkelkorrektur bei der Flussmessung eine größere Streuung der Flussparameter.

Eine signifikante Zunahme der PSV der Arteria centralis retinae mit dem Alter der Probanden, wie in unserer Untersuchung nachgewiesen ( $R=0,278$ ,  $p=0,001$ ), konnte bisher nicht gezeigt werden. Drei Studien<sup>11,13,19</sup> zeigten eine Abnahme der EDV der Arteria centralis retinae mit dem Alter. In unserer Studie fand sich hier eine signifikante Zunahme ( $R=0,274$ ,  $p=0,001$ ). Weiterhin wurde eine altersabhängige Zunahme des RI<sup>2,11,43</sup> beschrieben, die in unserer Untersuchung zwar vorhanden, jedoch nicht statistisch signifikant war ( $R=0,091$ ,  $p=0,276$ ). Die in unserer Studie beobachtete Abnahme des PI ( $R=-0,216$ ,  $p=0,009$ ) steht im Gegensatz zu den Untersuchungen von Greenfield et al.<sup>13</sup>, die eine signifikante Zunahme mit dem Alter an der Arteria centralis retinae nachgewiesen haben.

Kaiser et al.<sup>19</sup> zeigten eine Abnahme der PSV der Arteriae ciliares posteriores mit dem Alter. Dieser Zusammenhang konnte in unserer Studie ebenfalls nachgewiesen werden. Statistisch signifikant war dies jedoch nur in den Arteriae ciliares posteriores breves ( $R=-0,310$ ,  $p<0,001$ ). In Übereinstimmung mit früheren Arbeiten<sup>11,13,19</sup> fand sich in unserem Kollektiv eine Abnahme der EDV, ebenfalls nur in den Arteriae ciliares posteriores breves in signifikanter Weise ( $R=-0,231$ ,  $p=0,009$ ). Die in anderen Untersuchungen gezeigte Zunahme des PI<sup>13</sup> und des RI<sup>11,19</sup> konnte bei uns nicht nachgewiesen werden. In unserer Studie war sogar eher eine Abnahme zu verzeichnen, was jedoch nur bei den Arteriae ciliares posteriores longi für den PI signifikant erscheint ( $R=-0,281$ ,  $p=0,010$ ).

Festzuhalten ist, dass in drei Studien<sup>3,22,29</sup> keine Korrelation der untersuchten Flussparameter mit dem Alter nachweisbar war und die gezeigten Korrelationen zwar statistisch signifikant, jedoch aufgrund der großen Streuung der Werte kaum von klinischer Bedeutung sind. Weiterhin deuten die in verschiedenen Studien differierenden Ergebnisse darauf hin, dass letztlich kein relevanter Zusammenhang zwischen den Flussparametern der retrobulbären Gefäße und dem Alter der Probanden besteht. Es ist daher anzunehmen, dass interindividuelle Schwankungen einen größeren Einfluss auf die gemessenen Flussparameter haben als das Alter.

Kvernes et al.<sup>20</sup> und Rojanapongpun et al.<sup>33</sup> beschrieben eine Veränderung der Form des Flussprofils mit zunehmendem Alter. Dabei flachte vor allem der erste systolische Peak ab und die dichrotische Kerbe war weniger ausgeprägt. Diesen Befund konnten wir bei unseren Probanden in allen untersuchten Gefäßen bestätigen (siehe Abbildung 31, Kapitel 3.3 Abhängigkeit der Flussparameter vom Alter, Seite 26). Erklärt wurde dies durch die nachlassende Elastizität der Gefäßwände bei zunehmenden Arteriosklerose. Dies macht sich jedoch offenbar kaum als signifikante Veränderung der Flussparameter bemerkbar.

Kaiser et al.<sup>19</sup> konnten für keines der untersuchten Gefäße eine Abhängigkeit der Flussparameter von der Pulsfrequenz nachweisen. Dies wird in unserer Untersuchung bestätigt.

Wie schon bei Williamson et al.<sup>43</sup> festgestellt, steigen der systolische und diastolische Blutdruck signifikant mit dem Alter der Probanden (systolisch  $R=0,508$ , diastolisch  $R=0,295$ , beide  $p<0,001$ ). Dies wird durch zunehmende arteriosklerotische Veränderungen und Steifigkeit der Gefäße erklärt. Zusätzlich lässt auch die Windkesselfunktion der Aorta nach. Es bestehen also wechselseitige Beziehungen zwischen Flussparametern, Alter und Blutdruck. Daher untersuchten wir die Flussparameter in zwei Altersgruppen getrennt am Median von 27 Jahren. Für die zwei Blutdruckgruppen wählten wir als Trennwert (Cutoff) für den systolischen Blutdruck den Median von 120 mmHg bzw. für den diastolischen Blutdruck den Median von 70 mmHg. Zur Korrelation der Flussparameter mit dem Blutdruck finden sich in den bisherigen Studien recht inkonstante Ergebnisse. Bei Kaiser et al.<sup>19</sup> sowie Williamson et al.<sup>43</sup> wurden Veränderungen der Flussparameter mit Erhöhung des systolischen Blutdrucks aufgezeigt. Hierbei unterschieden sich jedoch die Ergebnisse hinsichtlich der signifikant beeinflussten Gefäße. Greenfield et al.<sup>13</sup> und Guthoff et al.<sup>14</sup> beschrieben jedoch keine Korrelation mit dem systolischen Blutdruck. Der Student's t-Test für unabhängige Stichproben ergab für folgende Gefäße in unserem Kollektiv signifikante Differenzen zwischen der Gruppe mit systolischem Blutdruck  $\leq 120$  mmHg und der Gruppe mit systolischem Blutdruck  $>120$  mmHg:

- In der Arteria ophthalmica fand sich bei zunehmendem systolischem Blutdruck eine statistisch signifikante Zunahme der PSV in der Altersgruppe  $>27$  Jahre ( $p=0,050$ ), eine Zunahme der EDV in beiden Altersgruppen (für die Gruppe  $\leq 27$  Jahre  $p=0,014$ , für die Gruppe  $>27$  Jahre  $p=0,002$ ), sowie eine Abnahme des RI in der Altersgruppe  $\leq 27$  Jahre ( $p=0,016$ ).
- In den Arteriae ciliares posteriores breves fand sich in der Altersklasse  $>27$  Jahre eine statistisch signifikante Abnahme der PSV ( $p=0,010$ ) und der EDV ( $p=0,002$ ) in der Gruppe mit höherem gegenüber der Gruppe mit niedrigerem systolischem Blutdruck. In der Altersklasse  $\leq 27$  Jahre zeigte sich dagegen ein geringerer RI ( $p=0,015$ ) in der Gruppe mit höherem gegenüber der Gruppe mit niedrigerem systolischem Blutdruck.

- In der Arteria centralis retinae und den Arteria ciliares posteriores longi fanden sich in beiden Altersgruppen keine signifikanten Differenzen der Flussparameter zwischen den Gruppen mit hohem oder niedrigerem systolischem Blutdruck.

In der Arteria ophthalmica nahm die PSV in der Altersgruppe über 27 Jahren bei höherem systolischem Blutdruck zu ( $p=0,050$ ). Dies wird durch Untersuchungen von Williamson et al.<sup>43</sup> bestätigt. Die EDV nahm in beiden Altersklassen signifikant mit dem systolischem Blutdruck zu. Für RI fanden sich die höchsten Werte bei der jüngeren Gruppe mit niedrigem Blutdruck. Signifikant niedrigere Werte finden sich bei höherem Alter und/oder höherem Blutdruck. Bei Kaiser et al.<sup>19</sup> fand sich jedoch im Gegensatz zu unseren Ergebnissen eine Abnahme der EDV und eine signifikante Zunahme des RI der Arteria ophthalmica.

Für die Flussparameter der Arteria centralis retinae fanden sich unabhängig vom Alter der Probanden keine signifikanten Differenzen zwischen den systolischen Blutdruckgruppen. Williamson et al.<sup>37</sup> beschrieben eine Zunahme der PSV der Arteria centralis retinae bei steigendem systolischem Blutdruck, jedoch wurde das Alter der Probanden nicht gleichzeitig berücksichtigt.

Für die Arteria ciliares posteriores breves fanden sich in der älteren Gruppe bei höherem systolischem Blutdruck niedrigere PSV und EDV als in allen anderen Gruppen. Auch bei alleiniger Betrachtung der Korrelationen mit dem systolischem Blutdruck der Probanden bestätigte sich die signifikante Abnahme der PSV ( $R=-0,265$ ;  $p=0,002$ ). Der RI nahm in allen anderen Gruppen gegenüber der jungen Gruppe mit niedrigem systolischem Blutdruck ab. Kaiser et al.<sup>19</sup> beschrieben im Gegensatz zu unseren Ergebnissen eine Zunahme des RI bei steigendem systolischem Blutdruck mittels multipler linearer Regressionsanalyse.

Die Arteria ciliares posteriores longi wurden in unserer Untersuchung weder durch das Alter noch durch den systolischen Blutdruck signifikant beeinflusst. Diese Gefäße wurden bei bisherigen Korrelationsbetrachtungen noch nicht mitberücksichtigt.

Zusammenfassend differieren die Ergebnisse bisheriger Studien hinsichtlich der Beeinflussung der Flussparameter durch den systolischen Blutdruck. Greenfield et al.<sup>13</sup> und Guthoff et al.<sup>14</sup> fanden sogar keinerlei Zusammenhänge mit dem systolischen Blutdruck. Auch sind die Streuungen der Flussparameter insbesondere in der Arteria ophthalmica sehr groß, so dass interindividuelle Schwankungen wahrscheinlich eine größere Bedeutung haben als eine Beeinflussung durch den Blutdruck. Insgesamt sind die Resultate zu Korrelationen mit dem systolischen Blutdruck unschlüssig und haben wahrscheinlich keine klinische Relevanz.

Williamson et al.<sup>43</sup> konnten keine Korrelation mit dem diastolischen Blutdruck zeigen. Es bleibt unklar, ob bei diesen Untersuchungen das Alter der Probanden gleichzeitig berücksichtigt wurde. Lediglich bei Kaiser et al.<sup>19</sup> wurde eine multiple lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Hinsichtlich des diastolischen Blutdrucks kamen Kaiser et al.<sup>19</sup> und Greenfield et al.<sup>13</sup> zu dem übereinstimmenden Ergebnis, dass die EDV in der Arteria ophthalmica mit dem diastolischen Blutdruck ansteigt. Korrelationen zu anderen Gefäßen differierten in den beiden genannten Studien. Der Student's t-Test für unabhängige Stichproben ergab in unserem Kollektiv für folgende Gefäße signifikante Differenzen zwischen der Gruppe mit

diastolischem Blutdruck  $\leq 70$  mmHg und der Gruppe mit diastolischem Blutdruck  $>70$  mmHg:

- In der Arteria ophthalmica fand sich bei zunehmendem diastolischem Blutdruck eine statistisch signifikante Zunahme der EDV in der Altersgruppe  $>27$  Jahre ( $p=0,005$ ), sowie eine Abnahme des PI (für die Gruppe  $\leq 27$  Jahre  $p=0,030$ , für die Gruppe  $>27$  Jahre  $p<0,001$ ) und des RI in beiden Altersgruppen (für die Gruppe  $\leq 27$  Jahre  $p=0,011$ , für die Gruppe  $>27$  Jahre  $p<0,001$ ).
- In der Arteria centralis retinae zeigten sich signifikante Differenzen nur in der Altersgruppe  $>27$  Jahren. In der Gruppe mit höherem Blutdruck fand sich gegenüber der Gruppe mit niedrigerem Blutdruck eine Zunahme der PSV ( $p=0,008$ ) und der EDV ( $p<0,001$ ) sowie eine Abnahme des PI ( $p<0,001$ ) und RI ( $p<0,001$ ).
- In den Arteria ciliares posteriores breves fand sich in der Altersklasse  $>27$  Jahre eine statistisch signifikante Abnahme des PI ( $p<0,001$ ) und des RI ( $p<0,001$ ) in der Gruppe mit höherem gegenüber der Gruppe mit niedrigerem systolischem Blutdruck.
- In den Arteria ciliares posteriores longi fand sich ebenfalls nur in der Altersklasse  $>27$  Jahre eine statistisch signifikante Zunahme der EDV ( $p=0,008$ ) sowie eine Abnahme des PI ( $p=0,001$ ) und des RI ( $p=0,001$ ) in der Gruppe mit höherem gegenüber der Gruppe mit niedrigerem systolischem Blutdruck.

In der Arteria ophthalmica unterschied sich die PSV in den verschiedenen Alters- und Blutdruckgruppen nicht voneinander. In der älteren Gruppe mit höherem diastolischem Blutdruck fand sich gegenüber den anderen Gruppen eine signifikant höhere EDV. Diese Beobachtung wird in den Untersuchungen von Greenfield et al.<sup>13</sup> und Kaiser et al.<sup>19</sup> bestätigt. Mit zunehmendem diastolischem Blutdruck, aber auch mit zunehmendem Alter sanken PI und RI in der Arteria ophthalmica. Greenfield et al.<sup>13</sup> bestätigten diese Veränderung für den PI und Kaiser et al.<sup>19</sup> für den RI. Für den diastolischen Blutdruck scheinen ebenso wie für den systolischen Blutdruck Autoregulationsmechanismen zu existieren, die insbesondere bei gleichzeitig hohem Alter und hohem diastolischem Blutdruck den Widerstand im peripheren Gefäßbett der Arteria ophthalmica regulieren, um eine bessere Perfusion zu ermöglichen.

Auffallend für die Arteria centralis retinae ist, dass sich vor allem die Flussparameter der Probanden mit gleichzeitig hohem diastolischem Blutdruck und höherem Alter von den Parametern der anderen Probanden unterschieden. Die PSV und EDV waren erhöht, während PI und RI sanken. Alter und diastolischer Blutdruck scheinen hier additiv zu wirken. Die Abnahme des RI in der Arteria centralis retinae mit zunehmendem diastolischem Blutdruck wurde bereits von Kaiser et al.<sup>19</sup> beschrieben und bestätigt somit unsere Ergebnisse.

In der jüngeren Gruppe unterschieden sich die Flussparameter in den Arteria ciliares posteriores breves bei hohem und niedrigem diastolischem Blutdruck nicht voneinander. In der Gruppe  $>27$  Jahren zeigte sich in der Gruppe mit höherem diastolischem Blutdruck ein niedrigerer PI und RI als in der Gruppe mit niedrigerem diastolischem Blutdruck. Kaiser et al.<sup>19</sup> bestätigten eine signifikante Abnahme des RI mit dem diastolischen Blutdruck, die bei uns auch ohne Berücksichtigung der Altersgruppen signifikant war ( $R=-0,264$ ;  $p=0,002$ ).

Auch für die Arteria ciliares posteriores longi zeigte sich ähnlich wie für die Arteria centralis retinae und die Arteria ciliares posteriores breves, dass sich lediglich die Flussparameter der Probanden mit gleichzeitig hohem diastolischem Blutdruck und höherem

Alter von den Parametern der anderen Probanden unterschieden. Die EDV war in dieser Gruppe erhöht, während PI und RI erniedrigt waren. Diese Gefäße wurden in bisherigen Untersuchungen noch nicht mit berücksichtigt.

Insgesamt differieren auch für den diastolischen Blutdruck die Ergebnisse in den verschiedenen Studien sehr stark. Williamson et al.<sup>43</sup> konnten keine Korrelation mit dem diastolischen Blutdruck zeigen. Greenfield et al.<sup>13</sup> und Kaiser et al.<sup>19</sup> stützen unsere Ergebnisse zur Korrelation mit dem diastolischen Blutdruck durch multiple lineare Regressionsanalyse. Bis auf Williamson et al.<sup>43</sup> haben alle bisherigen Studien jedoch ausschließlich normotensive Probanden untersucht. Bis jedoch größere Untersuchungen vorliegen, die auch eine entsprechende Anzahl von Probanden mit erhöhtem systolischem und diastolischem Blutdruck einbeziehen, kann zur Beeinflussung der Flussparameter durch den Blutdruck keine abschließende Aussage gemacht werden.

In der Arteria ophthalmica, der Arteria centralis retinae und den Arteriae ciliares posteriores longi waren vor allem bei Probanden mit gleichzeitig höherem Alter und höherem diastolischem Blutdruck steigende PSV und EDV sowie sinkende PI und RI zu finden. Kommen also zwei arteriosklerotische Risikofaktoren zusammen, nämlich Alter und erhöhter Blutdruck, wird offenbar autoregulatorisch der Widerstand im peripheren Gefäßbett gesenkt, um höhere Flussgeschwindigkeiten und damit eine bessere Perfusion zu gewährleisten.

In der Mehrzahl der Studien (siehe Tabelle 29) wurden ausschließlich normotensive Probanden betrachtet. Unklar ist daher, inwieweit die Flussparameter bei arterieller Hypertension von denen bei gesunden Personen abweichen oder ob Korrelationen durch Einbezug dieser Personen deutlicher würden. Williamson et al.<sup>43</sup> konnten in diesem Zusammenhang bei 8 Patienten mit beobachteter oder behandelter Hypertension keine Differenz der Flussparameter zu einem Kontrollkollektiv feststellen. Auch wir untersuchten an 5 Probanden mit behandelter und 3 Probanden mit beobachteter Hypertonie, ob Unterschiede zu einem altersangepassten Kontrollkollektiv bestehen. Wir konnten ebenfalls keine wesentlichen Differenzen zwischen den Flussparametern feststellen. Auch zwischen den Probanden mit manifester beobachteter und behandelter Hypertonie bestanden keine Unterschiede in den Flussparametern. Es muss jedoch angemerkt werden, dass das betrachtete Kollektiv recht klein ist.

Hinsichtlich des Geschlechts wurde in sieben der bisherigen Studien keine Korrelation zu den Flussparametern der genannten Gefäße gefunden<sup>2,19,23,28,29,35,43</sup>. Lediglich bei Greenfield et al.<sup>13</sup> zeigte sich bei Männern eine höhere EDV in der Arteria ophthalmica. Dies wurde jedoch darauf zurückgeführt, dass in dieser Studie der diastolische Blutdruck der untersuchten Männer gegenüber dem der Frauen signifikant höher war, und dass dieser wiederum positiv mit der Höhe der EDV in der Arteria ophthalmica korrelierte. Somit erklärte sich der beschriebene Unterschied eher durch den Effekt des diastolischen Blutdrucks als durch das Geschlecht. Der Student's t-Test für unabhängige Stichproben ergab für folgende Gefäße in unserem Kollektiv signifikante Differenzen zwischen den Geschlechtern:

- In der Arteria ophthalmica fand sich für die Männer gegenüber den Frauen eine höhere PSV ( $p=0,005$ ) und EDV ( $p<0,001$ ) bei niedrigerem PI und RI (beide  $p<0,001$ ).

- In den Arteriae ciliares posteriores breves fand sich für die Männer gegenüber den Frauen eine höhere PSV ( $p=0,004$ ).
- In der Arteria centralis retinae und den Arteriae ciliares posteriores longi fanden sich keine signifikanten Differenzen.

Für die Arteria ophthalmica hatten in unserem Kollektiv die Männer eine signifikant höhere PSV ( $p=0,005$ ) und EDV ( $p<0,001$ ) bei niedrigerem PI und RI (beide  $p<0,001$ ). Dies führten wir darauf zurück, dass die Männer bei Betrachtung unserer Kollektivzusammensetzung einen höheren Blutdruck hatten ( $p<0,001$ ) und älter waren ( $p<0,001$ ). Wie wir in den Kapiteln 3.3 Abhängigkeit der Flussparameter vom Alter (siehe Seite 26) und 3.4 Abhängigkeit der Flussparameter von Blutdruck und Pulsfrequenz (siehe Seite 30) gezeigt haben, stiegen die PSV und EDV und sanken der PI und RI in der Arteria ophthalmica bei höherem systolischem Blutdruck und Alter. Bei für Männer und Frauen gleicher Kollektivzusammensetzung hinsichtlich Blutdruck und Alter ist davon auszugehen, dass das Geschlecht keinen Einfluss auf die Flussparameter der retrobulbären Gefäße hat. Dies wird durch die Ergebnisse bisheriger Studien bestätigt<sup>2,19,23,28,29,35,43</sup>.

Nur wenige Studien untersuchten den Zusammenhang zwischen Augeninnendruck und Fluss in den retrobulbären Gefäßen bei augengesunden Probanden. Canning et al.<sup>5</sup> konstatierten, dass induzierte Veränderungen des Augeninnendrucks weniger deutliche, aber erkennbare Veränderungen im Blutfluss produzieren. Während Guthoff et al.<sup>14</sup> keine Korrelationen fanden, zeigten Kvernes et al.<sup>22</sup> eine Abnahme der EDV in den Arteriae ciliares posteriores. Ebenso wie Guthoff et al.<sup>14</sup> konnten wir in unserer Untersuchung keine Korrelation zwischen mit dem OBF Tonometer ermittelten mittleren Augeninnendrücken und dopplersonographisch gemessenen Flussparametern nachweisen. Bei gesunden Probanden ohne Gesichtsfeldausfälle fand sich also eine intakte Perfusion der okulären Strukturen, unabhängig von der Höhe des Augeninnendrucks, der sich jedoch maximal im hochnormalen Bereich (IOP max. 21,1 mmHg) bewegte. In einigen Studien<sup>10,11,33</sup> konnten im Vergleich dazu bei Glaukompatienten mit erhöhtem Augeninnendruck und Gesichtsfelddefekten Veränderungen der Flussparameter festgestellt werden. Der Augeninnendruck war in unserem Kollektiv unabhängig von Alter, Blutdruck, Puls oder Geschlecht der Probanden.

Bei Patienten mit primärem Offenwinkelglaukom und normalem intraokulärem Druck (Normaldruckglaukom) werden erniedrigte okuläre Pulsamplituden gemessen<sup>31,40</sup>. Die okuläre Pulsamplitude als zeitliche Schwankung des Augeninnendrucks ist ein indirektes Maß für die choroidale Perfusion und das pulsatile Blutvolumen, das pro Herzschlag in das Auge gelangt. Bei durch verminderte Flussgeschwindigkeiten in den retrobulbären Gefäßen verursachten Perfusionsminderungen in der Choroidea könnten auch bei normalem Augeninnendruck bereits Gesichtsfeldausfälle entstehen<sup>21,33</sup>. Perfusionssteigernde Therapien, z.B. Calcium-Antagonisten wie Nifedipin, können nach ersten klinische Studien zumindest die Progression dieser Erkrankung mindern<sup>20,37</sup>. Bisher liegen jedoch keine Untersuchungen vor, die die Änderungen der Flussparameter der retrobulbären Gefäße mit zunehmender okulärer Pulsamplitude bei augengesunden Probanden überprüfen. Die Korrelationsbetrachtungen der Flussparameter mit der okulären Pulsamplitude erbrachten in unserem Kollektiv folgende Ergebnisse:

- In der Arteria ophthalmica fanden sich keine signifikanten Korrelationen.
- In der Arteria centralis retinae fand sich eine signifikante Zunahme der PSV ( $R=0,284$ ,  $p=0,001$ ) und der EDV ( $R=0,223$ ,  $p=0,008$ ).

- In den Arteriae ciliares posteriores breves fand sich eine statistisch signifikante Zunahme der PSV ( $R=-0,206$ ,  $p=0,020$ ).
- In den Arteriae ciliares posteriores longi fand sich eine statistisch signifikante Zunahme der PSV ( $R=0,374$ ,  $p=0,001$ ) und der EDV ( $R=0,328$ ,  $p=0,003$ ).

Es bestand eine positive Korrelation der okulären Pulsamplitude zur PSV und EDV derjenigen okulären Gefäße, die in unmittelbarer Nähe des Bulbus liegen und unter anderem an der Perfusion der Choroidea beteiligt sind: der Arteria centralis retinae, den Arteriae ciliares posteriores breves und den Arteriae ciliares posteriores longi. Bei augengesunden Personen fand bei erhöhter okulärer Pulsamplitude also eine kompensatorische Erhöhung der choroidalen Perfusion statt. Bei Patienten mit primärem Offenwinkelglaukom und erhöhtem Augeninnendruck (Hochdruckglaukom) findet sich dieser Adaptationsmechanismus wieder<sup>37,38</sup>:

- Sind bei diesen Patienten keine Gesichtsfeldausfälle vorhanden, findet sich eine erhöhte okuläre Pulsamplitude gegenüber gesunden Probanden, und die damit erhöhten Flussgeschwindigkeiten in den retrobulbären Gefäßen wirken protektiv auf die Axone des Nervus opticus.
- Bei Patienten mit pathologischen Papillenveränderungen und Gesichtsfeldausfällen ist die okuläre Pulsamplitude gegenüber einem gesunden Vergleichskollektiv zwar nicht verändert, jedoch gegenüber den Patienten mit Hochdruckglaukom aber ohne Gesichtsfeldausfälle deutlich vermindert. Die hierdurch fehlende Kompensation der relativ reduzierten Gesamtdurchblutung bei Hochdruckglaukom führt zu hypoperfusionsbedingten Schäden am Nervus opticus.

Bei Patienten mit Normaldruckglaukom führt analog die erniedrigte okuläre Pulsamplitude zu einer verminderten okulären Mikrozirkulation, aus der die Optikusneuropathie mit korrespondierenden Gesichtsfeldausfällen resultiert<sup>21,37,38</sup>.

Einschränkend muss beachtet werden, dass in unserem Kollektiv die okuläre Pulsamplitude auch mit zunehmendem Alter signifikant zunahm ( $R=0,204$ ,  $p=0,015$ ). Analog wäre eine Perfusionssteigerung in den bulbusnahen Gefäßen mit dem Alter zu vermuten. Für die Arteria centralis retinae konnten wir eine signifikante Zunahme der PSV ( $R=0,278$ ,  $p=0,001$ ) und EDV ( $R=0,274$ ,  $p=0,001$ ) mit dem Alter bestätigen. Um im Alter mögliche Perfusionsausfälle durch arteriosklerotische Veränderungen zu vermeiden, ist vermutlich kompensatorisch die okuläre Pulsamplitude und damit die Perfusion der Papilla nervi optici erhöht. Jedoch fanden wir in den Arteriae ciliares posteriores breves mit dem Alter eine Abnahme der PSV ( $R=-0,310$ ,  $p<0,001$ ) und EDV ( $R=-0,231$ ,  $p=0,009$ ) trotz Zunahme der okulären Pulsamplitude mit dem Alter. Vermutlich spielen hier noch andere Faktoren eine Rolle, so dass die Zunahme der okulären Pulsamplitude allein keine absolut sichere Aussage über die choroidale Perfusion zulässt.

Von den in Tabelle 29 aufgeführten Studien werden bei Butt et al.<sup>3</sup>, Galassi et al.<sup>10,11</sup>, Klingmüller et al.<sup>21</sup>, Martorina et al.<sup>27</sup> sowie Rankin et al.<sup>33</sup> Patienten mit Glaukom im Vergleich zu einem gesunden Kollektiv untersucht (siehe Seite 73 bis 75). Bis auf Martorina et al.<sup>27</sup>, die keine signifikanten Änderungen der Flussparameter nachwiesen, fanden alle Untersucher übereinstimmend einen Anstieg des RI der Arteria centralis retinae, gleichgültig, ob die Messungen an Patienten mit Nieder- oder Hochdruckglaukom durchgeführt wurden. Für andere Flussparameter fanden sich bei den genannten Studien keine übereinstimmenden Korrelationen. Bei den Untersuchungen von Rankin et al.<sup>33</sup> zeigten Probanden

mit Niederdruckglaukom eine niedrigere EDV in der Arteria centralis retinae als ein gesundes Kontrollkollektiv. Bei Klingmüller et al.<sup>21</sup> zeigten Patienten mit Niederdruckglaukom in den Arteriae ciliares posteriores breves eine signifikant erniedrigte PSV und EDV bei erhöhtem PI und RI sowie eine Erniedrigung der okulären Pulsamplitude. Bei Patienten mit Hochdruckglaukom waren diese Veränderungen nicht signifikant. Die beiden letztgenannten Studien<sup>21,33</sup> bestätigen somit die obigen pathophysiologischen Überlegungen zur Entstehung der Optikusneuropathie bei Hoch- und Niederdruckglaukom. Unsere Studie konnte zeigen, dass ein Adaptationsmechanismus mit Erhöhung der choroidalen Perfusion bei zunehmender okulärer Pulsamplitude bereits in einem augengesunden Kollektiv vorhanden ist, dessen Störung dann zu den beschriebenen Veränderungen beim Glaukom führt. Die Höhe der okulären Pulsamplitude ist dabei unabhängig von der Höhe des Augeninnendrucks.

Mit dem OBF Tonometer ist auch eine Abschätzung des okulären Blutflusses möglich. Lediglich die pulsatile Komponente des Gesamtblutflusses (etwa 70%) kann direkt aus den pulsatilen Schwankungen des Augeninnendrucks bestimmt werden. Sie ist zum größten Teil choroidalen Ursprungs. Da das genaue Verhältnis zwischen pulsatiler Komponente und Gesamtperfusion jedoch nicht bekannt ist und auch individuellen Schwankungen unterliegen könnte, kann der tatsächliche Gesamtblutfluss nur geschätzt werden (siehe Kapitel 3.6 Abhängigkeit der Flussparameter von Augeninnendruck und Visus, Seite 57). Bisher liegen keine Untersuchungen zur Korrelation zwischen gemessenem okulären Blutfluss und Flussparametern der retrobulbären Gefäße vor. Die Korrelationsbetrachtungen der Flussparameter mit dem okulären Blutfluss gemessen mit dem OBF Tonometer erbrachten in unserem Kollektiv folgende Ergebnisse:

- In der Arteria ophthalmica und in der Arteria centralis retinae fanden sich keine signifikanten Korrelationen.
- In den Arteriae ciliares posteriores breves fand sich eine statistisch signifikante Zunahme der PSV ( $R=0,249$ ,  $p=0,005$ ) und des PI ( $R=0,182$ ,  $p=0,042$ ).
- In den Arteriae ciliares posteriores longi fand sich eine statistisch signifikante Zunahme der PSV ( $R=0,227$ ,  $p=0,042$ ).

Die PSV in den Arteriae ciliares posteriores breves und in den Arteriae ciliares posteriores longi sowie die PI der Arteriae ciliares posteriores breves korrelierten mit dem gemessenen okulären Blutfluss. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der okuläre Blutfluss auch mit der okulären Pulsamplitude ( $R=0,534$ ,  $p<0,001$ ) signifikant korrelierte. Daher könnte sich erklären, warum sich gleichgerichtete Korrelationen der Flussparameter ergeben, wie für die okuläre Pulsamplitude beschrieben. Weiterhin korrelierte der okuläre Blutfluss mit dem Augeninnendruck ( $R=-0,289$ ,  $p<0,001$ ). Insgesamt ist daher fraglich, inwieweit der mit dem OBF Tonometer gemessene okuläre Blutfluss ein Maß für die tatsächliche Gesamtperfusion ist, da beispielsweise keinerlei Korrelation mit den Flussgeschwindigkeiten in der Arteria centralis retinae bestand. Diese versorgt jedoch neben der Papilla nervi optici auch die inneren Schichten der Retina bis zur inneren Körnerschicht, und hat damit einen nicht unwesentlichen Anteil an der choroidalen Perfusion<sup>96</sup>.

Bisher liegen keine Untersuchungen zur Abhängigkeit der Flussparameter vom Visus der Probanden vor. Zur Abhängigkeit der Flussparameter vom Visus wurde getrennt in zwei Altersgruppen untersucht, da die brilletragende Gruppe durch die Probanden mit Presbyopie insgesamt älter ist als die normalsichtige Gruppe. Der Student's t-Test für unabhängige

Stichproben ergab in unserem Kollektiv folgende Differenzen zwischen normal- und fehlsichtigen Probanden:

- In der Arteria ophthalmica, in der Arteria centralis retinae und in den Arteriae ciliares posteriores longi fanden sich keine signifikanten Differenzen.
- In den Arteriae ciliares posteriores breves fanden sich für Probanden  $\leq 27$  Jahre bei den brilletragenden Probanden gegenüber den normalsichtigen Probanden eine niedrigere PSV ( $p=0,046$ ) und EDV ( $p=0,028$ ).

Untersucht man nur in der brilletragenden Gruppe die Korrelation der Flussparameter mit dem Grad der Fehlsichtigkeit (als Abweichung des Visus von 1 in Dioptrien), zeigten sich folgende Ergebnisse:

- In der Arteria ophthalmica nahm die PSV signifikant mit dem Grad der Fehlsichtigkeit ab ( $R=-0,263$ ,  $p=0,024$ ).
- In der Arteria centralis retinae zeigte sich eine signifikante Zunahme der PSV ( $R=0,365$ ,  $p=0,001$ ) und EDV ( $R=0,241$ ,  $p=0,037$ ).
- In den Arteriae ciliares posteriores breves et longi konnten keine Korrelationen der Flussparameter mit dem Grad der Fehlsichtigkeit nachgewiesen werden.

Es ist zu berücksichtigen, dass durch die Zusammensetzung des Kollektivs bei so einfacher Betrachtung ein falscher Eindruck entsteht. Der Grad der Fehlsichtigkeit korrelierte auch mit der okulären Pulsamplitude ( $R=0,394$ ,  $p=0,001$ ), dem okulären Blutfluss ( $R=0,288$ ,  $p=0,013$ ) und dem Alter der Probanden ( $R=0,357$ ,  $p=0,002$ ). Für alle diese Parameter wurde ebenfalls eine Beeinflussung der Flussparameter nachgewiesen. Es ist also zu vermuten, dass der Visus eher keinen Einfluss auf die Perfusion des Auges hat. Eine weitere Fehlerquelle besteht darin, dass der Visus nicht direkt gemessen, sondern nur nach Angaben des Probanden übernommen wurde. Daher könnten auch in der Gruppe mit „normalem Visus“ Personen mit bisher nicht entdeckter Fehlsichtigkeit enthalten sein.

Williamson et al.<sup>43</sup> fanden bei Rauchern gegenüber Nichtrauchern und ehemaligen Rauchern eine geringere durchschnittliche maximale systolische Flussgeschwindigkeit (TMax) und einen niedrigeren RI in der Arteria ophthalmica. Jedoch war das Kollektiv mit nur 19 Rauchern gegenüber dem Kontrollkollektiv mit 60 Nichtrauchern recht klein. In unserer Untersuchung konnten wir zwischen den Flussparametern bei Rauchern und Nichtrauchern keine Differenzen feststellen, allerdings war unser Kollektiv mit nur 14 Rauchern ebenfalls sehr klein. Die Gruppen der Raucher und Nichtraucher unterschieden sich in unserem Kollektiv nicht signifikant hinsichtlich Geschlecht, Blutdruck oder Alter.

Für die Gruppe der Raucher wurde zusätzlich die Abhängigkeit von der insgesamt bereits gerauchten Menge (Packyears) untersucht. Auch hier fand sich eine Abhängigkeit vom Alter, da die Patienten, je älter sie sind, insgesamt bereits mehr geraucht haben ( $R=0,797$ ,  $p<0,001$ ). In den zwei untersuchten Altersgruppen bestanden auch innerhalb der Rauchergruppe keine Unterschiede zwischen den Flussparametern in Abhängigkeit von der gerauchten Menge.

Ovulationshemmer erhöhen insbesondere bei gleichzeitigem Rauchen das Risiko für thromboembolische Komplikationen. Wir untersuchten, ob sich Veränderungen an der okulären Perfusion bemerkbar machen. Bisher liegen keine Studien zu diesem Thema vor. Bei den Frauen waren die Gruppen mit und ohne die Einnahme von Ovulationshemmern

hinsichtlich Alter oder Blutdruck gleich zusammengesetzt. Wir untersuchten nicht zwischen den verschiedenen Arten von Ovulationshemmern. Der Student's t-Test für unabhängige Stichproben ergab in unserem Kollektiv folgende Differenzen zwischen Probandinnen mit und ohne Einnahme von Ovulationshemmern, zunächst ohne Berücksichtigung des Rauchens:

- In der Arteria ophthalmica zeigte sich eine signifikante Abnahme der PSV ( $p=0,046$ ) bei Frauen, die Ovulationshemmer einnehmen, gegenüber den Frauen, die keine Ovulationshemmer einnahmen.
- In der Arteria centralis retinae und in den Arteriae ciliares posteriores longi fanden sich keine signifikanten Differenzen.
- In den Arteriae ciliares posteriores breves fand sich für Frauen, die Ovulationshemmer einnahmen, gegenüber den Frauen, die keine Ovulationshemmer einnahmen, eine höhere PSV ( $p<0,001$ ) und EDV ( $p=0,007$ ).

In einem zweiten Schritt verglichen wir 9 Nichtraucherinnen, die Ovulationshemmer einnahmen, 4 Raucherinnen, die Ovulationshemmer einnahmen, und 23 Nichtraucherinnen, die keine Ovulationshemmer einnahmen. Es bestätigte sich, dass die PSV ( $p=0,001$ ) und EDV ( $p=0,006$ ) in den Arteriae ciliares posteriores breves bei Einnahme von Ovulationshemmern höher ist als bei Probandinnen, die keine Ovulationshemmer einnahmen. Dies war unabhängig von der Tatsache, ob die Probandinnen gleichzeitig rauchten. Da auch hier das untersuchte Kollektiv sehr klein ist, sind für statistisch relevante Aussagen zu diesem Thema weitere Untersuchungen nötig.

Sechs unserer Probanden nahmen L-Thyroxin bei bestehender Hypothyreose ein. Auch hierzu gibt es bisher keine Daten anderer Autoren. Bei einem Vergleich der Flussparameter dieser Probanden mit alters- und geschlechtsangepassten Kontrollpersonen fielen keine Differenzen auf. Jedoch muss einschränkend bemerkt werden, dass die Schilddrüsenparameter nicht direkt bestimmt wurden. Insbesondere bei Hyperthyreose ist jedoch zum Beispiel im Rahmen der endokrinen Orbitopathie eine Beeinflussung der Flussparameter denkbar, so dass bei der Untersuchung okulärer Erkrankungen eine Hyper- oder Hypothyreose mit in die Bewertung der retrobulbären Flussparameter einfließen sollte.

Drei der in der Übersicht in Tabelle 29 aufgeführten Studien<sup>25,29,39</sup> untersuchen Patienten mit diabetischer Retinopathie. Hierbei fanden sich keine übereinstimmenden Ergebnisse zur Beeinflussung der Flussparameter. Lieb et al.<sup>24</sup> fanden eine Abnahme der PSV und EDV in der Arteria centralis retinae im Vergleich zum gesunden Kollektiv. Mendivil et al.<sup>29</sup> zeigten Korrelationen zum Quotienten aus PSV zu EDV in der Arteria centralis retinae und der Arteria ophthalmica. Tamaki et al.<sup>39</sup> wiesen eine Zunahme des RI der Arteria ophthalmica nach. Bei unserer Untersuchung wurde ein bekannter Diabetes mellitus als Ausschlusskriterium gewertet, wobei mikroangiopathische Veränderungen bereits vor Diagnosestellung beginnen können. Weiterhin verließen wir uns auf die anamnestischen Angaben der Probanden und bestimmten den Blutzucker nicht direkt.

Fehlerquellen bestehen im Wesentlichen in der Identifizierung der Gefäße, der Gatepositionierung und der Doppler-Winkelkorrektur. Insbesondere die Identifizierung der Arteriae ciliares posteriores longi ist kritisch zu sehen. Eine Differenzierung von der Arteria ophthalmica, der Arteria centralis retinae und der Arteria lacrimalis ist anhand des typischen Verlaufs und Flussprofils eindeutig möglich. Diese Gefäße konnten auch bei min-

destens 95% der Probanden dargestellt werden. Verwechslungsmöglichkeiten bestehen jedoch mit den Arteriae ciliares posteriores breves, da das Flussprofil oft recht ähnlich ausfällt. Dies ist insbesondere bei schrägem Anschneiden der Gefäße mit nicht optimaler Gatepositionierung der Fall. Da zu Verlauf, Flussprofil und Flussparametern der gemeinsamen Gefäßstämme der Arteriae ciliares posteriores breves et longi (den Arteriae ciliares posteriores) noch keine Untersuchungen vorliegen, ist unklar, inwieweit sie sich hinsichtlich dopplersonographischen Parametern von den Arteriae ciliares posteriores breves oder den Arteriae ciliares posteriores longi unterscheiden lassen.

Weiterhin ist der retrobulbäre Verlauf der Arteriae ciliares posteriores breves sehr variabel. Auch variiert ihre bei den jeweiligen Probanden darstellbare Anzahl. Von den analysierbaren Gefäßen wurde daher, ebenso wie bei Mendivil<sup>28</sup>, eines nasal oder temporal des echoarm dargestellten Nervus opticus ausgewählt. Bisher konnte keine Differenz der Flussparameter zwischen nasalen und temporalen Arteriae ciliares posteriores nachgewiesen werden<sup>13,19</sup>. Um daher möglichst immer die selben repräsentativen Gefäße zu vermessen, muss man sich in Verlaufsuntersuchungen an den jeweiligen Voraufnahmen des Patienten orientieren. Bei den so einmal gewählten Arteriae ciliares posteriores breves ist jedoch auch dann unsicher, ob diese tatsächlich an der Versorgung der Papilla nervi optici über den Circulus arteriosus Zinnii beteiligt sind oder ob sie nicht doch die weiter entfernt gelegene Choroidea versorgen. Dies wäre jedoch von großer Bedeutung, wollte man die gefundenen Flussparameter von augengesunden Personen mit denen von Glaukompatienten vergleichen, bei denen vermutlich die kompromittierte Blutversorgung der Sehnervenpapille zu Gesichtsfeldausfällen führt.

Wir verwendeten eine Standard-Gategröße von 1mm. Hierzu ist anzumerken, dass diese kleinste einstellbare Gategröße noch deutlich über dem geschätzten Gefäßdurchmesser der Arteriae ciliares posteriores breves (ca. 0,2 mm) liegt. Es ist daher unsicher, ob bei jeder der drei für jedes Gefäß durchgeführten Messungen ein und dasselbe Gefäß verwendet wurde. Es ist auch möglich, dass Dopplersignale von mehr als einem Gefäß gleichzeitig aufgenommen wurden, wenn sie sehr dicht zusammen liegen. Auch bei Arteria centralis retinae ist der Durchmesser des Gefäßes kleiner als die Gateweite. Hier sind jedoch Arteria und Vena centralis retinae eindeutig identifizierbar, und es besteht keine Gefahr, mehrere Arterien gleichzeitig zu vermessen. Bei der Arteria ophthalmica, deren Durchmesser im Bereich zwischen 0,7 – 1,4 mm liegt, besteht dagegen eher das Problem, das Gate optimal im Bereich der maximalen Strömung zu positionieren. Ist dies nicht der Fall, werden zu geringe Flussgeschwindigkeiten gemessen.

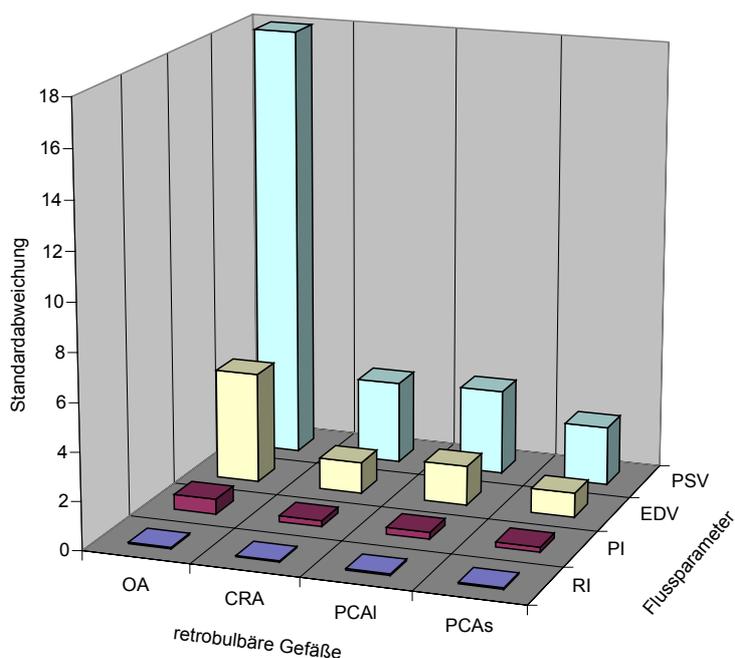
Eine weitere Fehlerquelle stellt die Doppler-Winkelkorrektur dar. Zur korrekten Berechnung der Flussgeschwindigkeit in einem Gefäß ist die Kenntnis des Winkels zwischen der Richtung der Ultraschallwellen, die vom Schallkopf ausgesendet werden, und der Bewegungsrichtung der schallreflektierenden Erythrozyten unerlässlich. Die Frequenzänderung durch den Dopplereffekt ist vom Cosinus dieses Winkels abhängig. Daraus ergibt sich, dass für ein Gefäß, welches in einem Winkel von 90° zum Schallkopf verläuft, keine Dopplersignale abgeleitet werden können ( $\cos 90^\circ = 0$ ). Solange das Gefäß nicht in einem Winkel von 0° von den Schallwellen getroffen wird ( $\cos 0^\circ = 1$ ), muss zur genauen Berechnung der Flussgeschwindigkeit dieser Winkel bestimmt werden und als Korrekturfaktor mit eingehen. Gerade für die uns besonders interessierenden Arteriae ciliares posteriores ist dies aufgrund ihres geschlängelten Verlaufs und geringen Durchmessers schwierig.

Die gewählten Winkel für diese Gefäße lagen überwiegend zwischen  $0^\circ$  und  $25^\circ$ . Dies kann die stärkere Streuung der Flussparameter dieser Gefäße erklären. Kurz vor dem Eintritt in die Choroidea ist dieser Effekt am geringsten, da sie hier meist gerade und senkrecht auf den Bulbus zulaufen. Daher sollten Messungen der Arteriae ciliares posteriores breves auf wenige Millimeter hinter dem Bulbus beschränkt werden, um möglichst konstante Daten zu erhalten.

Die Arteria centralis retinae hat zwar einen ebenso kleinen Durchmesser, doch ist ihr Verlauf durch den echoarm dargestellten Nervus opticus bedingt weniger gewunden. Weiterhin läuft sie relativ senkrecht auf den Schallkopf zu (Winkel zwischen  $0^\circ$  und  $5^\circ$ ) und ist meist über eine Strecke von mehreren Millimetern darzustellen, wodurch Winkelfehler weniger wahrscheinlich sind. Ergebnisse anderer Studien belegen die meist geringe Streuung der Flussparameter der Arteria centralis retinae (z.B. Greenfield et al.<sup>13</sup>).

Bei der Arteria ophthalmica muss besonders auf eine korrekte Winkeleinstellung geachtet werden. Dies wird dadurch vereinfacht, dass das Gefäß meist über längere Strecken verfolgt werden kann. Aufgrund ihres schrägen Verlaufs in einem Winkel zwischen  $25^\circ$  und  $45^\circ$  machen sich jedoch schon wenige Gradabweichungen in größeren Fehlern in der Flussgeschwindigkeit bemerkbar. Greenfield et al.<sup>13</sup> fanden bei der Arteria ophthalmica eine signifikant größere Variabilität der Flussparameter als bei den anderen untersuchten Gefäßen. Dies könnte zum einen durch physiologische interindividuelle Schwankungen erklärt werden. Wahrscheinlicher sind jedoch Ungenauigkeiten in der Einstellung des Doppler-Winkels, die sich aus dem geschlungenen und schrägen Verlauf ergeben.

Abbildung 82 verdeutlicht noch einmal, dass für die PSV und EDV durch den Einfluss der fehlerhaften Winkelkorrektur und hier besonders in der Arteria ophthalmica die größte Variabilität gemessen an der Standardabweichung besteht.



**Abbildung 82**

Darstellung der Standardabweichungen für die Flussparameter der einzelnen retrobulbären Gefäße

(Abkürzungen und Maßeinheiten siehe Seite 2)

Bei transkraniellen dopplersonographischen Untersuchungen wurde für die Arteria ophthalmica eine direkte Korrelation zwischen Flussparametern und Tiefe der Messung in der Orbita demonstriert<sup>35</sup>. Daher wurden in unserer Untersuchung die Messungen für die

Arteria ophthalmica bei allen Probanden möglichst in gleicher Position und Tiefe durchgeführt. Auch für alle anderen Gefäße versuchten wir eine möglichst standardisierte Messtiefe einzuhalten, obwohl ein Zusammenhang zwischen Messtiefe in der Orbita und Flussparametern für diese Gefäße in keiner Untersuchung belegt ist. Jedoch kann aufgrund interindividueller Unterschiede und intraobserver Variation keine absolute Kongruenz der Messposition für alle Gefäße garantiert werden.

Nach Baxter et al.<sup>2</sup> sind dopplersonographische Vermessungen der Arteria ophthalmica sowie der Arteria und Vena centralis retinae hinsichtlich inter- und intraobserver Variabilität am sichersten reproduzierbar. Für diese Gefäße findet sich auch die geringste Streuung der Flussparameter, so dass Aussagen zu Veränderungen der Absolutwerte bei okulären Erkrankungen möglich wären. Die Arteriae ciliares posteriores zeigen jedoch insgesamt eine stärkere Streuung der Werte, wodurch nur größere Veränderungen insbesondere im Vergleich zum anderen Auge desselben Probanden als klinisch signifikant gedeutet werden können. In unserer Studie wurden alle Messungen von einem Untersucher durchgeführt, um Fehler durch unterschiedliche Technik verschiedener Untersucher zu vermeiden. Da die Messungen jedoch über den Zeitraum von einem Jahr erhoben wurden, ist der Einfluss der intraobserver Variabilität nicht zu vernachlässigen.

Wir untersuchten bei unseren Probanden den Einfluss des Augeninnendrucks auf die gemessenen Flussparameter. Hierbei muss sorgfältig darauf geachtet werden, dass der Untersucher keinen Druck mit dem Schallkopf auf das Auge ausübt, da hierdurch die Ergebnisse verfälscht werden könnten. Bei Kvernes et al.<sup>22</sup> führte die Applikation von Druck auf die Cornea über verschiedene aufgelegte Gewichte zu einem Abfall der PSV und EDV in den Arteriae ciliares posteriores. An der Arteria ophthalmica konnten keine Flussänderungen beobachtet werden.

## 5 Zusammenfassung

Die Farbdopplersonographie wird eingesetzt, um die okuläre Blutzirkulation bei gesunden Personen und bei solchen mit okulären Erkrankungen zu analysieren, so zum Beispiel bei diabetischer Retinopathie<sup>29,39</sup>, Glaukom<sup>3,10,11,27</sup>, Endophthalmitis<sup>30</sup> oder Gefäßverschlüssen<sup>1,31</sup>. In verschiedenen Studien wurde versucht, Normalwerte für die farbdopplersonographische Untersuchung der retrobulbären Gefäße von gesunden Personen zu bestimmen. Jedoch untersuchten die Studien zum Teil nur eine geringe Anzahl von Probanden<sup>3,10,11,12,13,15,27,33</sup>. Es blieb teilweise unklar, ob die Daten prospektiv erhoben wurden<sup>11,15,24,33</sup> und welche Ausschlusskriterien<sup>10,11,12,14,15,27,30,33</sup> angewendet wurden. Zur Etablierung von validen Normwerten führten wir eine prospektive Studie mit definierten Ausschlusskriterien, einem standardisierten Untersuchungsablauf und einer ausreichend hohen Probandenanzahl durch.

Wir konnten für die Arteria ophthalmica, die Arteria centralis retinae sowie für die Arteriae ciliares posteriores breves die typischen anatomischen Lokalisationen und Flussprofile beschreiben. Weiterhin bestätigten wir die bisherigen Daten zu den Flussparametern dieser retrobulbären Gefäße. Insbesondere die Arteria centralis retinae lieferte die am besten reproduzierbaren Ergebnisse. Die Arteria ophthalmica und Arteriae ciliares posteriores zeigten auch bei optimaler Winkelkorrektur größere interindividuelle Variabilität.

Obwohl einige Autoren eine Differenzierung zwischen Arteriae ciliares posteriores breves und longi in manchen Fällen für möglich<sup>1,23,24</sup> hielten, lagen bisher keine exakten Daten über die Identifizierung nach Flussprofil und retrobulbärem Verlauf oder über die zugehörigen Flussparameter vor. In der hier vorgelegten Studie wird erstmals eine Möglichkeit dieser Differenzierung zwischen Arteriae ciliares posteriores breves et longi aufgezeigt. Die Darstellung dieser Gefäße gelang meist temporal im Verlauf nach anterior und lateral. Das Flussprofil der Arteriae ciliares posteriores longi zeigte einen steileren systolischer Anstieg mit spitzem maximalem systolischem Peak und steilem diastolischem Flussabfall mit prominenter dichrotischer Kerbe. Es wurde eine signifikant höhere PSV und EDV erreicht. PI und RI lagen ebenfalls signifikant höher als in den Arteriae ciliares posteriores breves. Dies lässt auf einen höheren Widerstand im distalen Gefäßbett schließen. Die Papilla nervi optici wird zum größten Teil über die Arteriae ciliares posteriores breves versorgt. Daher würden Veränderungen der Flussparameter dieser Gefäßgruppe den besten Nachweis für die Beeinträchtigung der Blutzirkulation bei Glaukompatienten liefern. Die starke Streuung der Flussparameter der Arteriae ciliares posteriores breves beeinträchtigt die Beurteilbarkeit von Veränderungen der Absolutwerte. Jedoch könnten trotz allem Verlaufsbeobachtungen von Glaukompatienten zur Früherkennung von Perfusionsstörungen der Papilla nervi optici und zur Beurteilung des Therapieerfolgs beitragen.

Die okuläre Pulsamplitude als indirektes Maß für die choroidale Perfusion korrelierte mit den Flussgeschwindigkeiten der Gefäße, die in unmittelbarer Nähe des Bulbus liegen und die an der Perfusion der Choroidea beteiligt sind. Bei Patienten mit primärem Offenwinkelglaukom werden niedrigere okuläre Pulsamplituden als in einem gesunden Kontrollkollektiv gefunden<sup>31,40</sup>. Man kann also vermuten, dass hier die Flussgeschwindigkeiten der bulbusnahen Gefäße vermindert sind. Durch die daraus resultierende Minderperfusion der Choroidea könnten so bei normalem Augeninnendruck bereits Gesichtsfeldausfälle entste-

hen. Es liegen bereits erste Ergebnisse von Studien vor, die durch eine perfusionsfördernde Therapie, zum Beispiel mit Calcium-Antagonisten, das Fortschreiten der Erkrankung mildern konnten<sup>41,42</sup>. In der vorliegenden Studie wird erstmals eine Korrelation zwischen der okulären Pulsamplitude und den Perfusionsparametern der Arteria centralis retinae und der Arteria ciliares posteriores breves et longi nachgewiesen.

Die Arteria ciliares posteriores longi versorgen Iris und Corpus ciliare und sind nur bei entsprechenden Erkrankungen dort betroffen. Unter Kenntnis der in unserer Studie ermittelten Flussparameter für die Arteria ciliares posteriores longi könnten nun Studien folgen, die Perfusionsänderungen bei Erkrankungen des vorderen Augenabschnittes untersuchen, zum Beispiel bei Iridozyklitis. Bei der Erkennung von arteriovenösen Malformationen, Thromboembolien oder retrobulbären Tumoren hat sich die Dopplersonographie bereits bewährt.

Um beurteilen zu können, wie sich die Flussparameter der retrobulbären Gefäße bei verschiedenen okulären Erkrankungen verhalten, muss der Einfluss systemischer Faktoren bekannt sein. Oft sind es gerade die älteren Patienten mit multiplen anderen medizinischen Problemen, die zusätzlich an Augenerkrankungen wie dem Glaukom oder der diabetischen Retinopathie leiden. Daher untersuchten wir bei unserem Kollektiv den Einfluss von Alter, Blutdruck, Pulsfrequenz, Visus, Augeninnendruck, Rauchgewohnheiten und von der Einnahme von Ovulationshemmern oder L-Thyroxin bei Hypothyreose auf die Flussparameter der retrobulbären Gefäße. Aufgrund der großen Streuung der Flussparameter sind nach unseren Ergebnissen jedoch diese Korrelationen wahrscheinlich nicht von klinischer Bedeutung.

Unsere Studie eröffnet somit Möglichkeiten zur weiteren Anwendung der Dopplersonographie in der Diagnostik und Therapiekontrolle okulärer Erkrankungen.

## 6 Literaturverzeichnis

- <sup>1</sup> Auburn, N.S., Sergott, R.C.: *Orbital Color Doppler Imaging*. Eye. 1993; 7:639-647.
- <sup>2</sup> Baxter, G.M., Williamson, T.H.: *Color Doppler Imaging of the Eye. Normal Ranges, Reproducibility and Observer Variation*. Journal of Ultrasound in Medicine. 1995; 14:91-96.
- <sup>3</sup> Butt, Z., McKillop, G., O'Brien, C., Allan, P., Aspinall, P.: *Measurement of Ocular Blood Flow Velocity Using Color Doppler Imaging in Low Tension Glaucoma*. Eye. 1995; 9:29-33.
- <sup>4</sup> Canning, C.R., Restori, M.: *Doppler Ultrasound of Orbital Vessels*. Australian and New Zealand Journal of Ophthalmology. 1988; 16:229-233.
- <sup>5</sup> Canning, C.R., Restori, M.: *Doppler Ultrasound Studies of the Ophthalmic Artery*. Eye. 1988; 2:92-95.
- <sup>6</sup> Dollerty, C.T.: *Dynamic Aspects of the Retinal Microcirculation*. Archives of Ophthalmology. 1968; 79:536-539.
- <sup>7</sup> Erickson, S.J., Hendrix, L.E., Massaro, B.M., Harris, G.J., Lewandowski, M.F., Foley, W.D., Lawson, T.L.: *Color Doppler Flow Imaging of the Normal and Abnormal Orbit*. Radiology. 1989; 173:511-516.
- <sup>8</sup> Feke, G.T., Riva, C.E.: *Laser Doppler Measurements of Blood Velocity in Human Retinal Vessels*. Journal of the Optical Society of America. 1978; 68:526-531.
- <sup>9</sup> Feke, G.T., Tagawa, H., Deupree, D.M., Goger, D.G., Sebag, J., Weiter, J.J.: *Blood Flow in the Normal Human Retina*. Investigative Ophthalmology and Visual Science. 1989; 30:58-65.
- <sup>10</sup> Galassi, F., Nuzzaci, G., Sodi, A., Casi, P., Cappelli, S., Vielmo, A.: *Possible Correlations of Ocular Blood Flow Parameters with Intraocular Pressure and Visual-Field Alterations in Glaucoma. A Study by Means of Color Doppler Imaging*. Ophthalmologica. 1994; 208:304-308.
- <sup>11</sup> Galassi, F., Nuzzaci, G., Sodi, A., Casi, P., Vielmo, A.: *Color Doppler Imaging in Evaluation of Optic Nerve Blood Supply in Normal and Glaucomatous Subjects*. International Ophthalmology. 1992; 16:273-276.
- <sup>12</sup> Giovanorio, F., Quaranta, L., Bucci, M.G.: *Color Doppler Assessment of Normal Ocular Blood Flow*. Journal of Ultrasound in Medicine. 1993; 12:473-477.
- <sup>13</sup> Greenfield, D.S., Heggerick, P.A., Hedges, T.R.: *Color Doppler Imaging of Normal Orbital Vasculature*. Ophthalmology. 1995; 102:1598-1605.
- <sup>14</sup> Guthoff, R.F., Berger, R.W., Winkler, P., Helmke, K., Chumbley, L.C.: *Doppler Ultrasonography of the Ophthalmic and Central Retinal Vessels*. Archives of Ophthalmology. 1991; 109:532-536.
- <sup>15</sup> Harris, A., Williamson, T.H., Martin, B., Shoemaker, J.A., Sergott, R.C., Spaeth, G.L., Katz, J.L.: *Test/Retest Reproducibility of Color Doppler Imaging Assessment of Blood Flow Velocity in Orbital Vessels*. Journal of Glaucoma. 1995; 4:281-286.
- <sup>16</sup> Hayreh, S.S., Dass, R.: *The Ophthalmic artery. II. Intra-orbital Course*. British Journal of Ophthalmology. 1962; 46:165-185.
- <sup>17</sup> Hayreh, S.S.: *Arteries of the Orbit in the Human Being*. British Journal of Surgery. 1963; 50:938-953.
- <sup>18</sup> Hayreh, S.S.: *The Ophthalmic Artery. III. Branches*. British Journal of Ophthalmology. 1962; 46:212-247.
- <sup>19</sup> Kaiser, H.J., Schötzau, A., Flammer, J.: *Blood-Flow Velocities in the Extraocular Vessels in Normal Volunteers*. American Journal of Ophthalmology. 1996; 122:364-370.

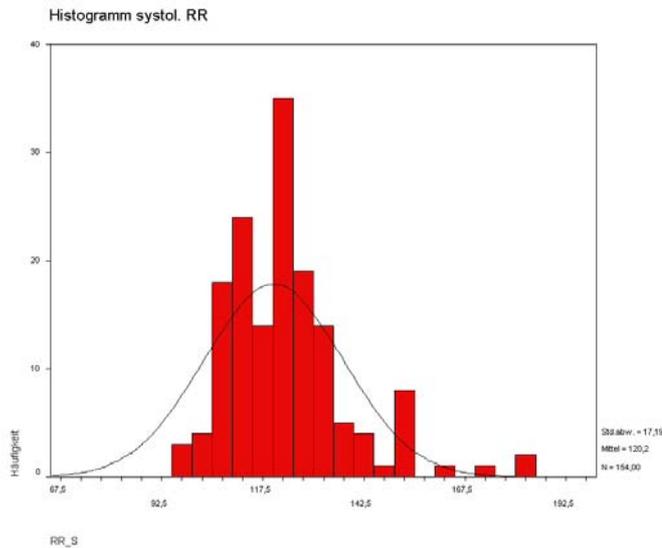
- <sup>20</sup> Kitzawa, Y., Shirai, H, Go, F.J.: *The effect of a Ca<sup>2+</sup> antagonist on visual field in low tension glaucoma*. Graefe's Archives of Clinical and Experimental Ophthalmology. 1989; 227: 364-370.
- <sup>21</sup> Klingmüller, V., Schmidt, K.G., Rückmann, A.v., Koch B., Stein A.: *Dopplersonographie der kurzen hinteren Ziliararterien bei Patienten mit primären Offenwinkelglaukomen*. Ultraschall in der Medizin. 2000; 21:32-37.
- <sup>22</sup> Kvernes, S., Blika, S., Giltvedt, J., Matre, K., Kristoffersen, K., Grip, A., Brubakk, A.O.: *Pulsed Doppler Ultrasound for Measuring Blood Flow Velocity in the Human Ophthalmic Circulation*. Acta Ophthalmologica Scandinavica. 1980; 58:1011-1024.
- <sup>23</sup> Lieb, W.E., Cohen, S.M., Merton, D.A., Shields, J.A., Mitchell, D.G., Goldberg, B.B.: *Color Doppler Imaging of the Eye and Orbit. Technique and Normal Vascular Anatomy*. Archives of Ophthalmology. 1991; 109:527-531.
- <sup>24</sup> Lieb, W.E., Flaharty, P.M., Ho, A., Sergott, R.C.: *Color Doppler Imaging of the Eye and Orbit. A Synopsis of a 400 Case Experience*. Acta Ophthalmologica Scandinavica Supplement. 1992; 204:50-54.
- <sup>25</sup> Lieb, W.E.: *Color Doppler Ultrasonography of the Eye and Orbit*. Current Opinion in Ophthalmology. 1993; 4:68-75.
- <sup>26</sup> Lütjen-Drecoll, E.: *Funktionelle Morphologie der Aderhaut*. in: *Durchblutungsstörungen am Auge*. Enke: Stuttgart. 1995. 15-23.
- <sup>27</sup> Martorina, M., Camerlingo, M.: *A Doppler-Sonographic Study in Glaucoma*. Ophthalmologica. 1987; 194:82-85.
- <sup>28</sup> Mendivil, A., Cuartero, V., Mendivil, M.P.: *Color Doppler Imaging of the Ocular Vessels*. Graefe's Archives of Clinical Experience in Ophthalmology. 1995; 233:135-139.
- <sup>29</sup> Mendivil, A., Cuartero, V., Mendivil, M.P.: *Ocular Blood Flow Velocities in Patients with Proliferative diabetic Retinopathy and Healthy Volunteers. A Prospective Study*. British Journal of Ophthalmology. 1995; 79:413-416.
- <sup>30</sup> Michelson, G., Grierth, K., Priem, R., Laumer, R.: *Blood Velocity in the Ophthalmic Artery in Normal Subjects and in Patients with Endophthalmitis*. Investigative Ophthalmology and Visual Science. 1990; 31:1919-1923.
- <sup>31</sup> Munk, P., Downey, D., Nicolle, D., Vellet, A.D., Rankin, R., Lin, D.T.C.: *The Role of Color Flow Doppler Ultrasonography in the Investigation of Disease in the Eye and Orbit*. Canadian Journal of Ophthalmology. 1993; 28:171-176.
- <sup>32</sup> Popma, S.E.: *Non-invasive Assessment of the Ocular Circulation. Color Doppler Imaging*. Journal of the American Optometric Association. 1995; 66:123-128.
- <sup>33</sup> Rankin, S.J.A., Walman, B.E., Buckley, A.R., Drance, S.M.: *Color Doppler Imaging and Spectral Analysis of the Optic Nerve Vasculature in Glaucoma*. American Journal of Ophthalmology. 1995; 119:685-693.
- <sup>34</sup> Riva, C.E., Grunwald, J.E., Sinclair, S.H., Petrig, B.L.: *Blood Velocity and Volumetric Flow Rate in Human Retinal Vessels*. Investigative Ophthalmology and Visual Science. 1985; 26:1124-1132.
- <sup>35</sup> Rojanaponpun, P., Drance, S.M.: *Velocity of Ophthalmic Arterial Flow Recorded by Doppler Ultrasound in Normal Subjects*. American Journal of Ophthalmology. 1993; 115:174-180.
- <sup>36</sup> Sachsenweger M.: *Duale Reihe Augenheilkunde*. Hippokrates, Stuttgart, 1994.
- <sup>37</sup> Schmidt, K.-G., Mittag, T.W., Pavlovic, S., Hessemer, V.: *Influence of physical exercise and nifedipine on ocular pulse amplitude*. Graefe's Archives of Clinical and Experimental Ophthalmology. 1996; 234: 527-532.

- <sup>38</sup> Schmidt, K.-G., Pillunat L.E.: *Fortbildung Glaukom, Band 3: Funktionsdiagnostik und pathogenetische Konzepte*. Thieme, Stuttgart, 2000.
- <sup>39</sup> Tamaki, Y., Nagahara, M., Yamashita, H., Kikuchi, M.: *Blood Velocity in the Ophthalmic Artery Determined by Color Doppler Imaging in Normal Subjects and Diabetics*. Japanese Journal of Ophthalmology. 1993; 37:385-392.
- <sup>40</sup> Williamson, T.H., Baxter, G.M., Dutton, G.N.: *Color Doppler Velocimetry of the Arterial Vasculature of the Optic Nerve Head and Orbit*. Eye. 1993; 7:74-79.
- <sup>41</sup> Williamson, T.H., Harris, A.: *Color Doppler Ultrasound Imaging of the Eye and Orbit*. Survey of Ophthalmology. 1996; 40:255-267.
- <sup>42</sup> Williamson, T.H., Harris, A.: *Ocular Blood Flow Measurement*. British Journal of Ophthalmology. 1994; 78:939-945.
- <sup>43</sup> Williamson, T.H., Lowe, G.D.O., Baxter, G.M.: *Influence of Age, Systemic Blood Pressure, Smoking, and Blood Viscosity on Orbital Blood Velocities*. British Journal of Ophthalmology. 1995; 79:17-22.
- <sup>44</sup> Yamamoto, Y.: *Doppler Examination of Blood Flow in the Ocular Fundus*. Bibliothek Ophthalmologie. 1975; 83:32-40.

## 7 Anhang

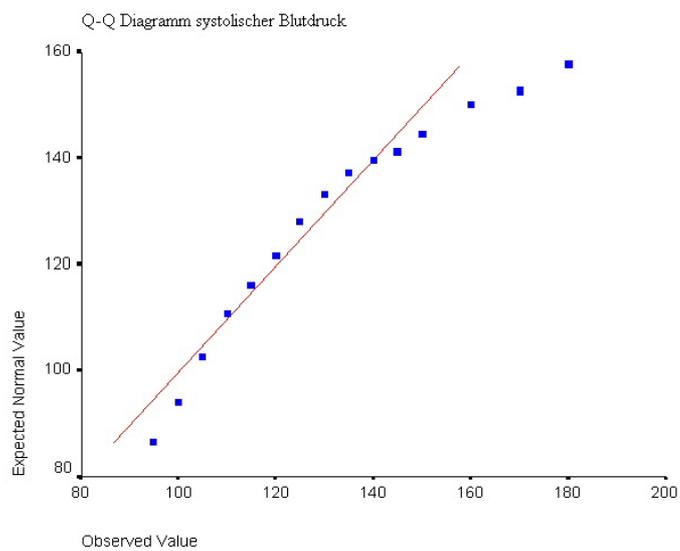
### 7.1 Grafiken

#### SYSTOLISCHER UND DIASTOLISCHER BLUTDRUCK, PULS



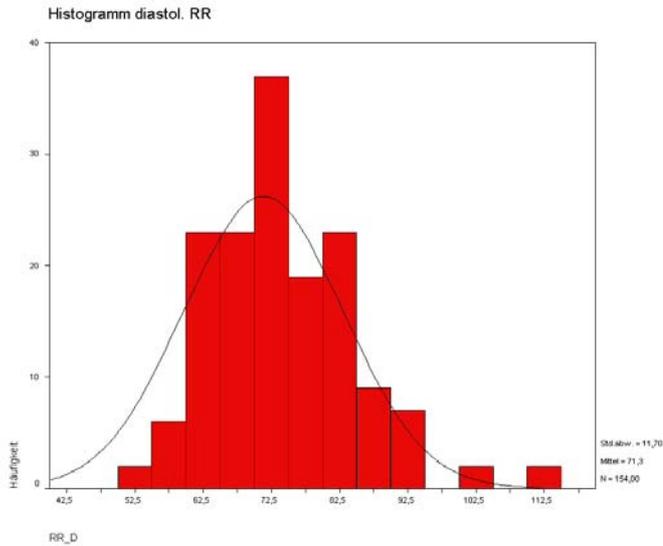
**Abbildung 83**

Häufigkeitsdarstellung der gemessenen systolischen Blutdrücke (RR\_S) als Histogramm mit überlageter Normalverteilungskurve.

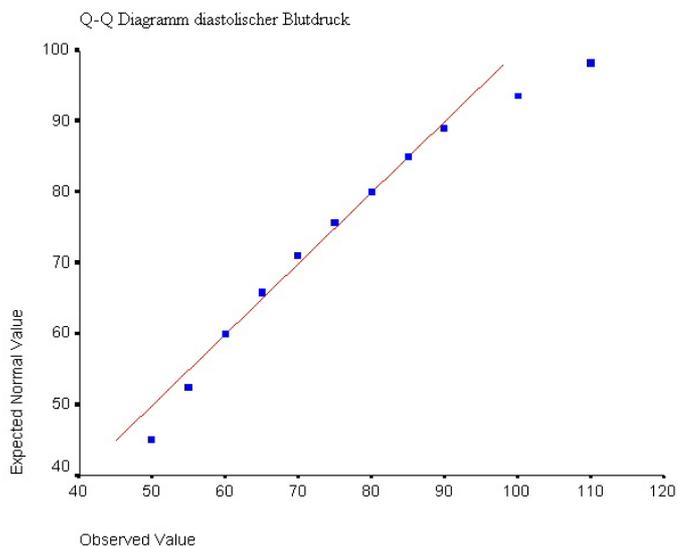


**Abbildung 84**

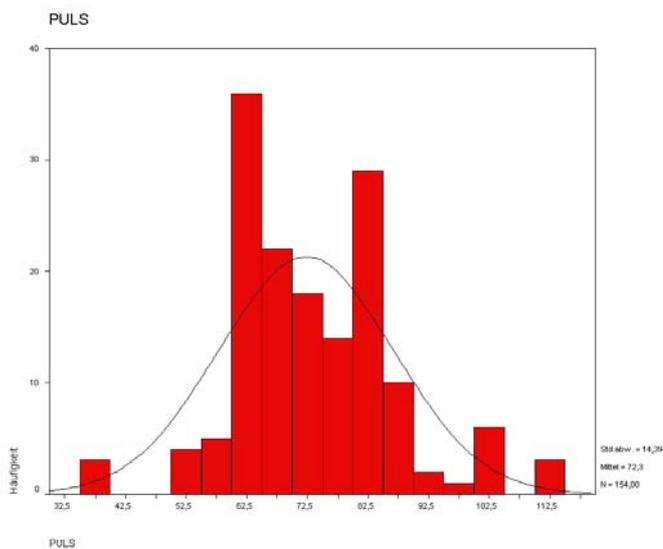
Darstellung der beobachteten und erwarteten systolischen Blutdrücke als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 85**

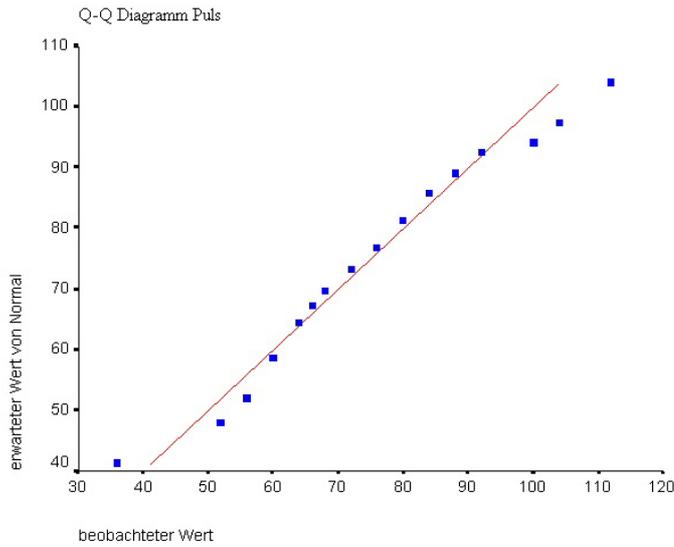
Häufigkeitsdarstellung der gemessenen diastolischen Blutdrücke (RR\_D) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 86**

Darstellung der beobachteten und erwarteten diastolischen Blutdrücke als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 87**

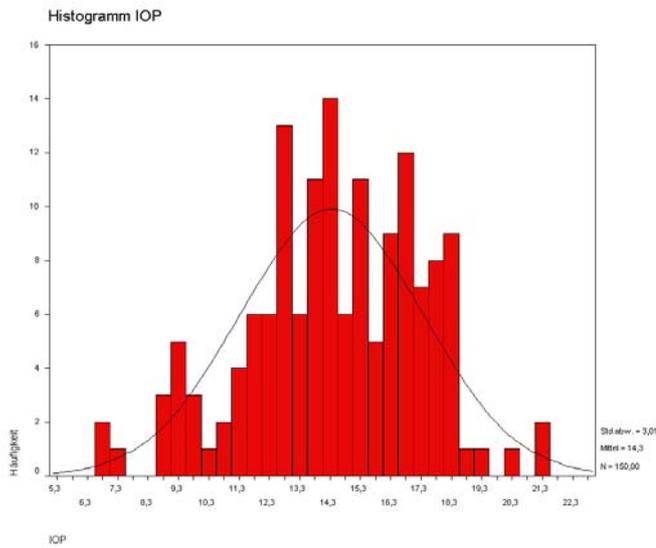
Häufigkeitsdarstellung der gemessenen Pulsfrequenzen als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve (siehe auch Abbildung 13).



**Abbildung 88**

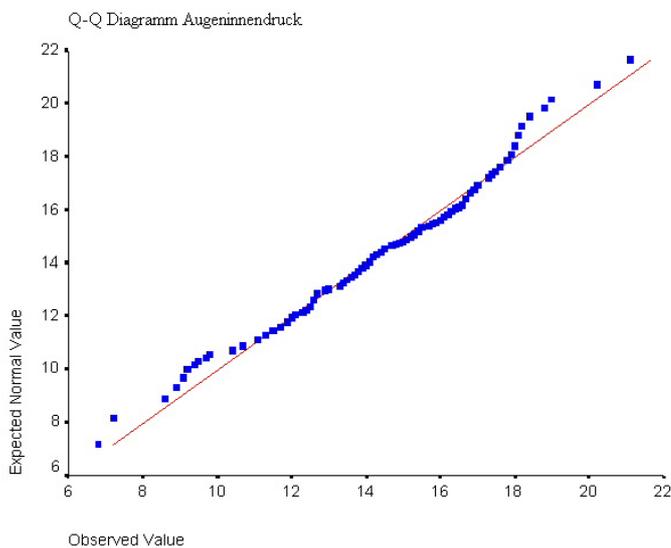
Darstellung der beobachteten und erwarteten Pulsfrequenzen als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung (siehe auch Abbildung 14).

**AUGENINNENDRUCK, OKULÄRE PULSAMPLITUDE (OPA) UND OKULÄRER BLUTFLUSS (OBF)**



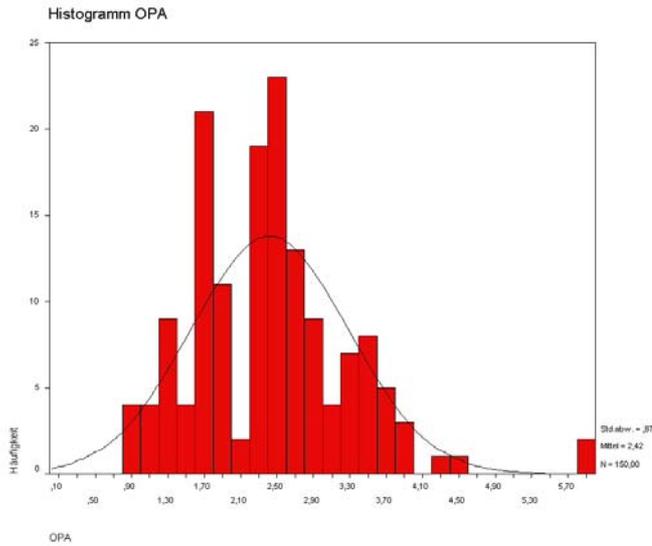
**Abbildung 89**

Häufigkeitsdarstellung der gemessenen Augeninnendrucke als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.



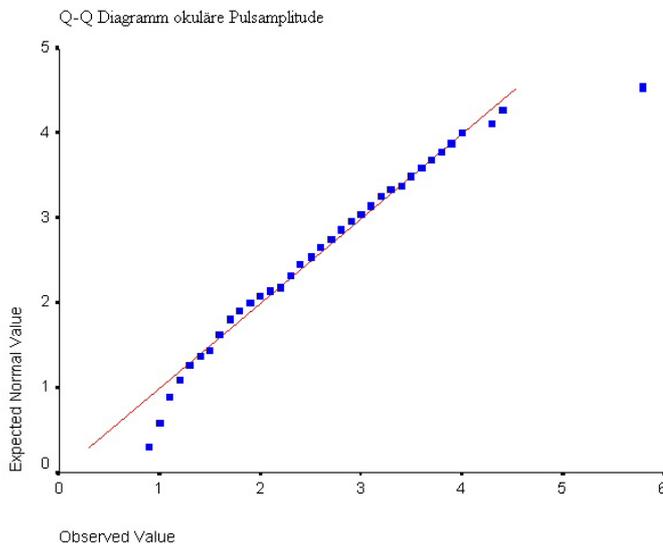
**Abbildung 90**

Darstellung der beobachteten und erwarteten Augeninnendrucke als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.



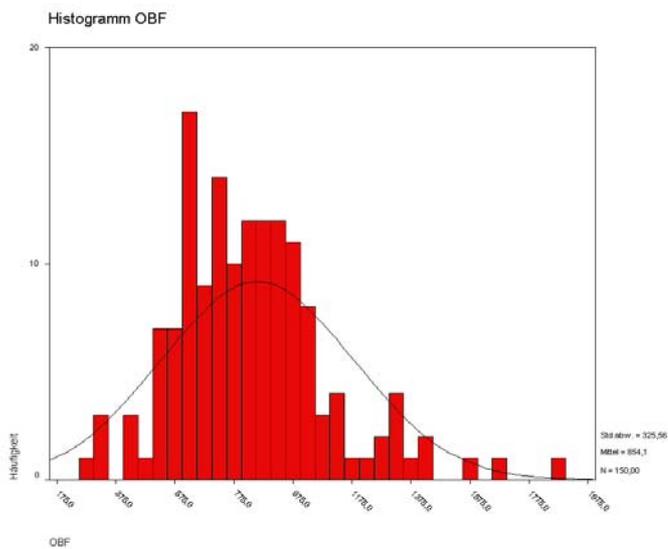
**Abbildung 91**

Häufigkeitsdarstellung der gemessenen okulären Pulsamplituden als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.



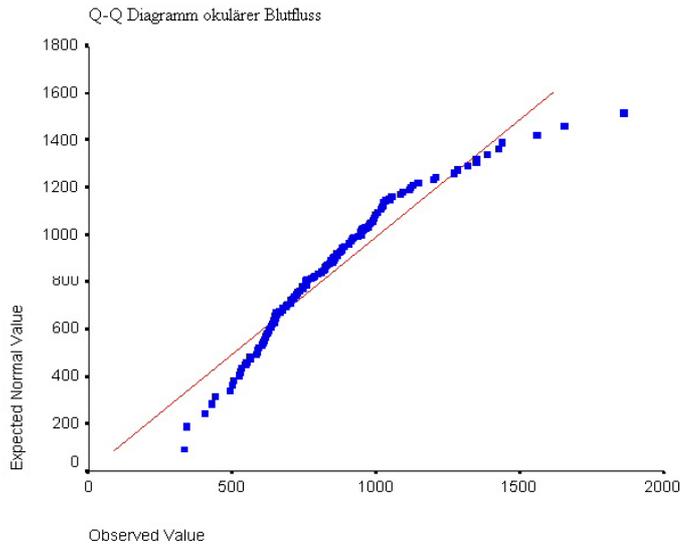
**Abbildung 92**

Darstellung der beobachteten und erwarteten okulären Pulsamplituden als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.



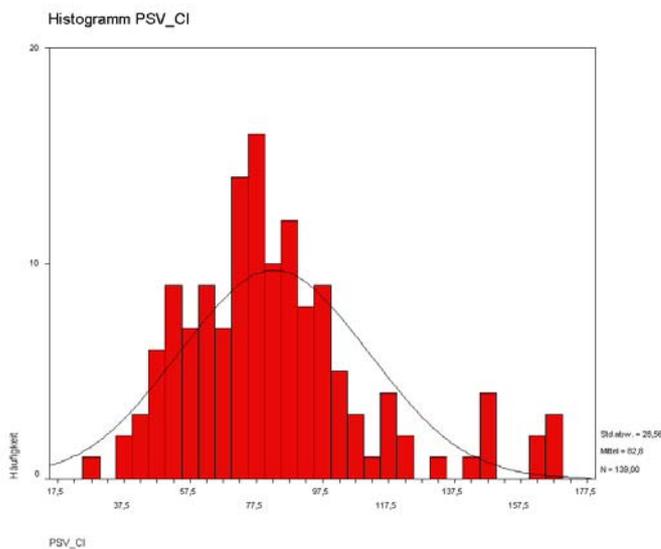
**Abbildung 93**

Häufigkeitsdarstellung der gemessenen okulären Blutflüsse als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

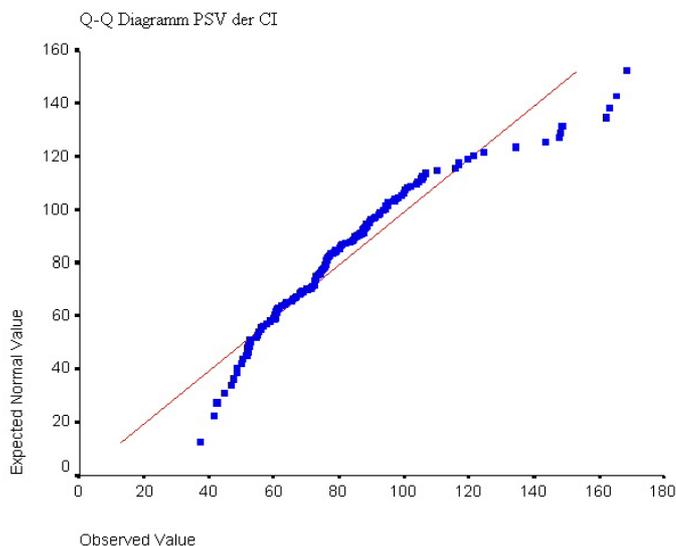
**Abbildung 94**

Darstellung der beobachteten und erwarteten okulären Blutflüsse als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

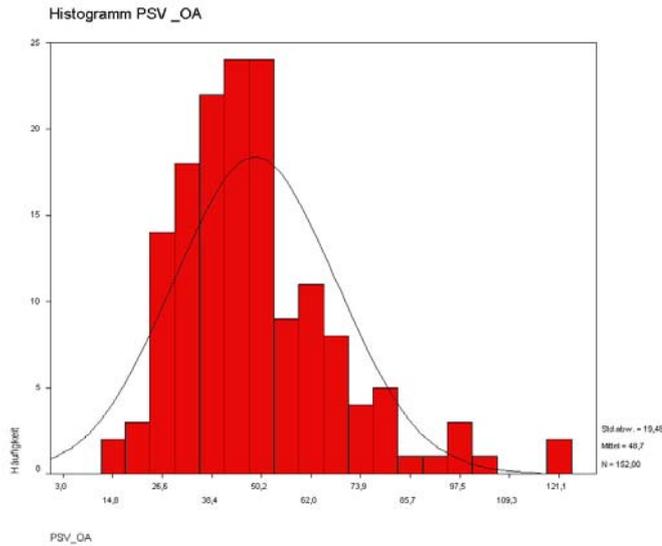
### MAXIMALE SYSTOLISCHE FLUSSGESCHWINDIGKEIT (PSV) FÜR ALLE GEFÄßE

**Abbildung 95**

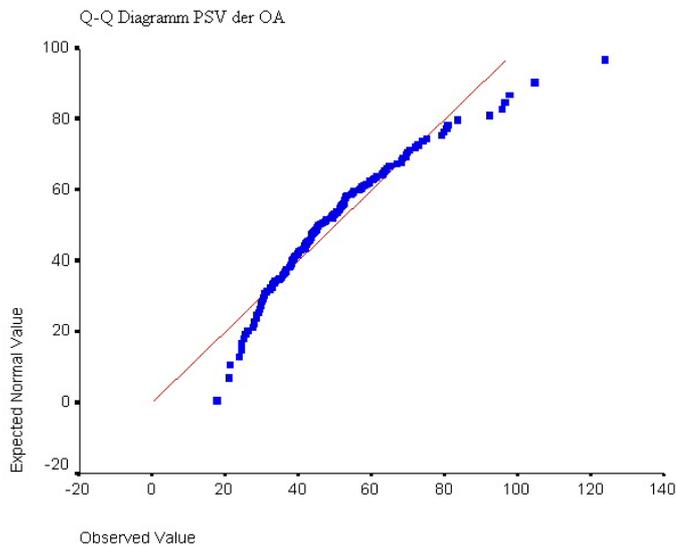
Häufigkeitsdarstellung der maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria carotis interna (PSV\_CI) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 96**

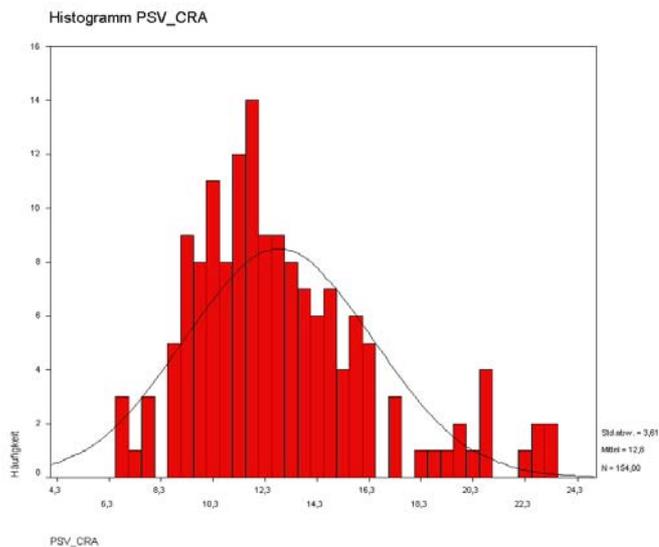
Darstellung der beobachteten und erwarteten maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria carotis interna als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 97**

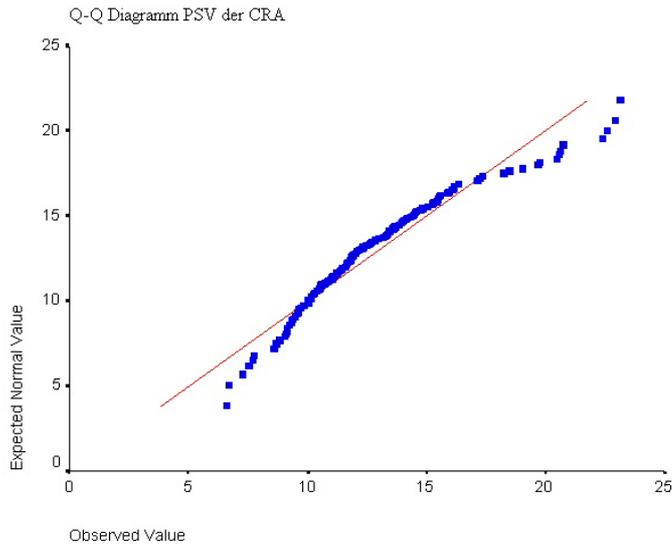
Häufigkeitsdarstellung der maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria ophthalmica (PSV\_OA) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 98**

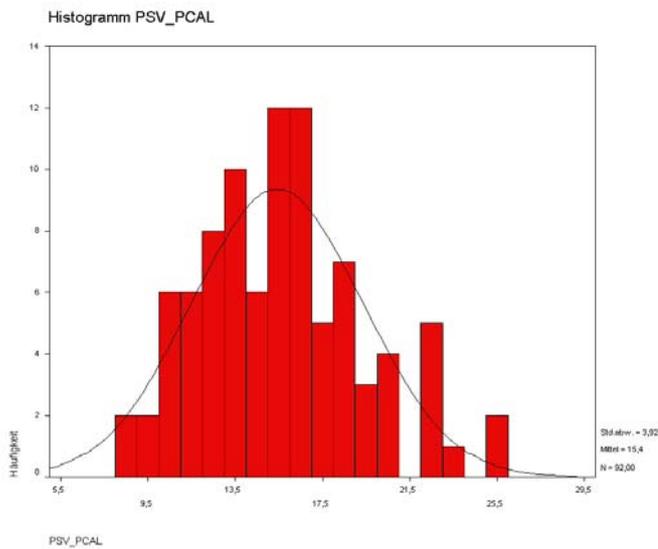
Darstellung der beobachteten und erwarteten maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria ophthalmica als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 99**

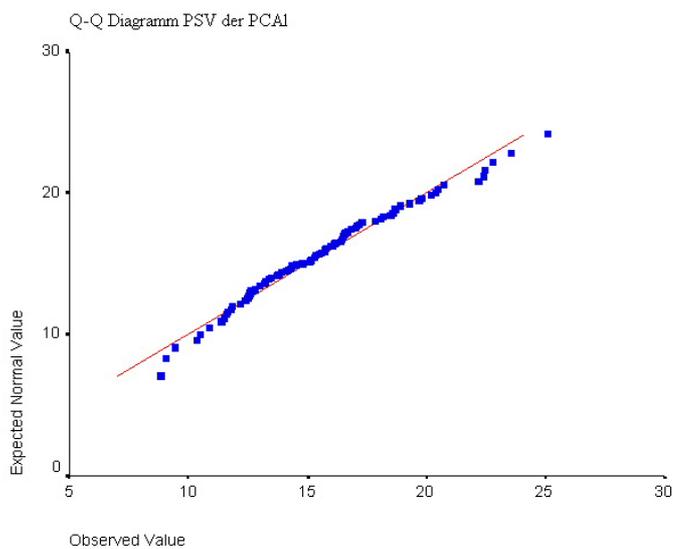
Häufigkeitsdarstellung der maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria centralis retinae (PSV\_CRA) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 100**

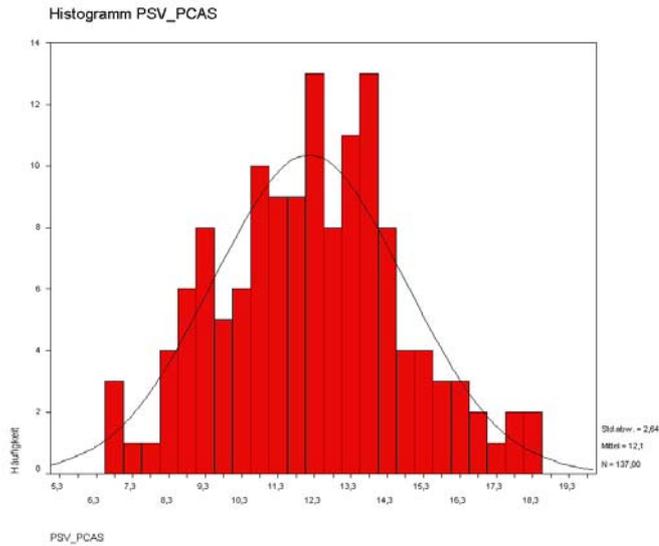
Darstellung der beobachteten und erwarteten maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria centralis retinae als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 101**

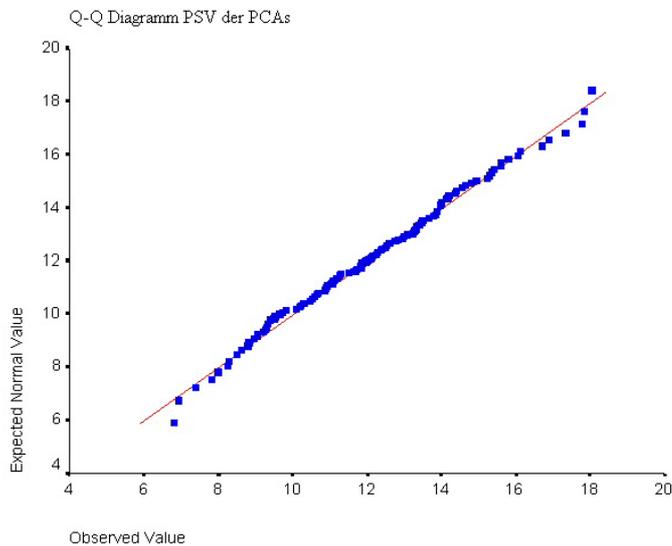
Häufigkeitsdarstellung der maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores longi (PSV\_PCAL) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 102**

Darstellung der beobachteten und erwarteten maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores longi als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

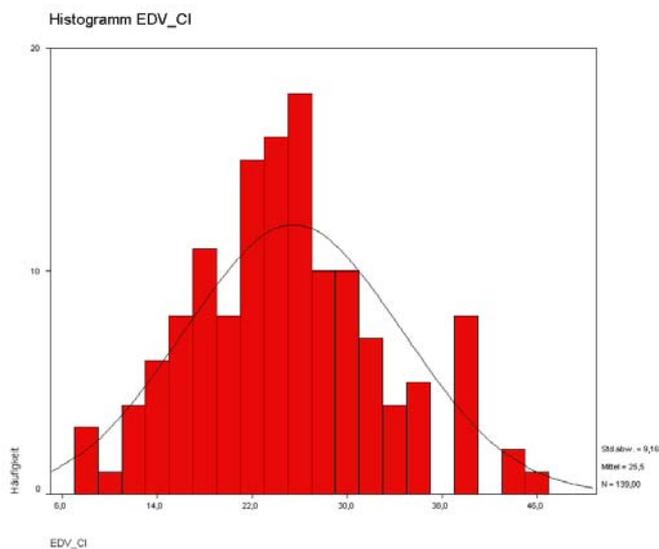
**Abbildung 103**

Häufigkeitsdarstellung der maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores breves (PSV\_PCAs) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

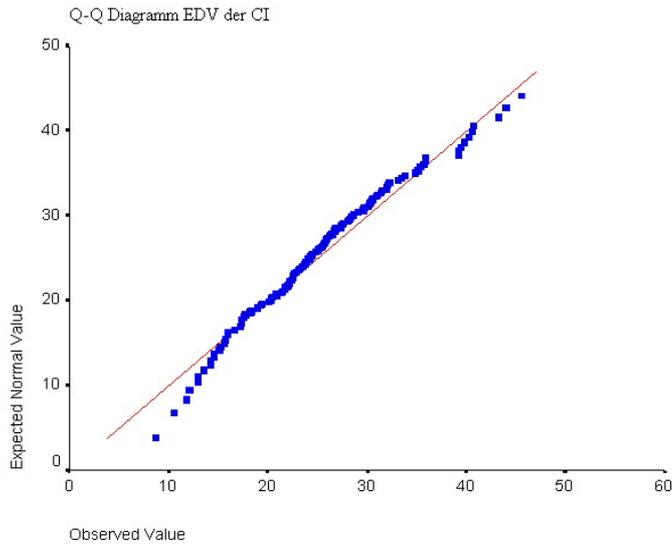
**Abbildung 104**

Darstellung der beobachteten und erwarteten maximalen systolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores breves als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

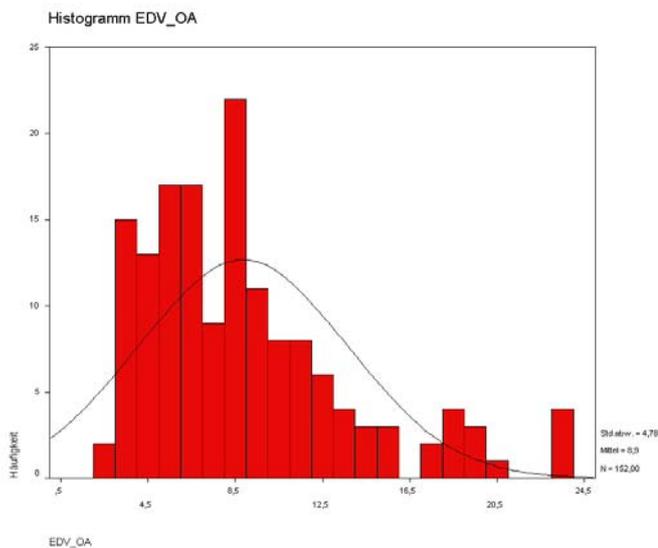
## ENDDIASTOLISCHE FLUSSGESCHWINDIGKEIT (EDV) FÜR ALLE GEFÄßE

**Abbildung 105**

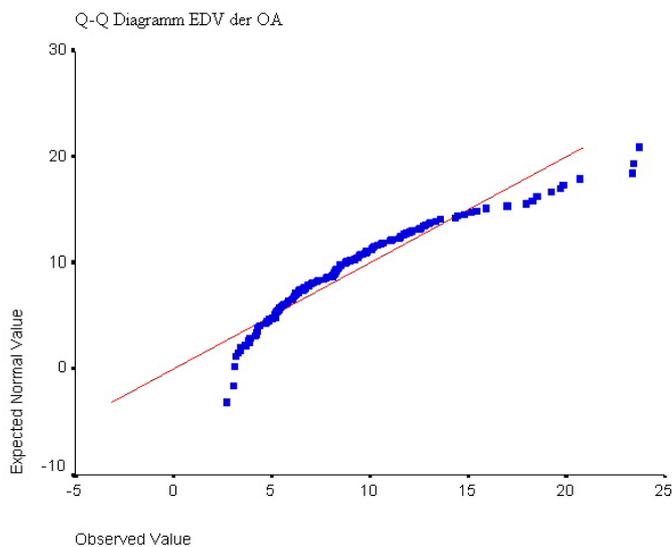
Häufigkeitsdarstellung der enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria carotis interna (EDV\_CI) als Histogramm mit überlagerter

**Abbildung 106**

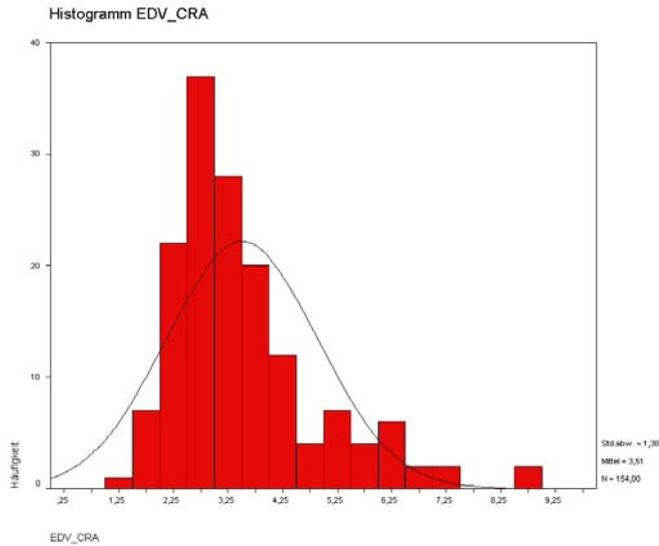
Darstellung der beobachteten und erwarteten enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria carotis interna als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 107**

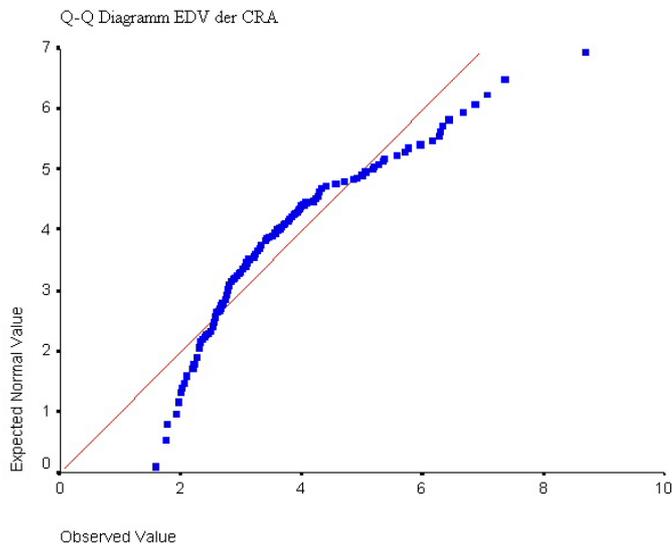
Häufigkeitsdarstellung der enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria ophthalmica (EDV\_OA) als Histogramm mit überlagter

**Abbildung 108**

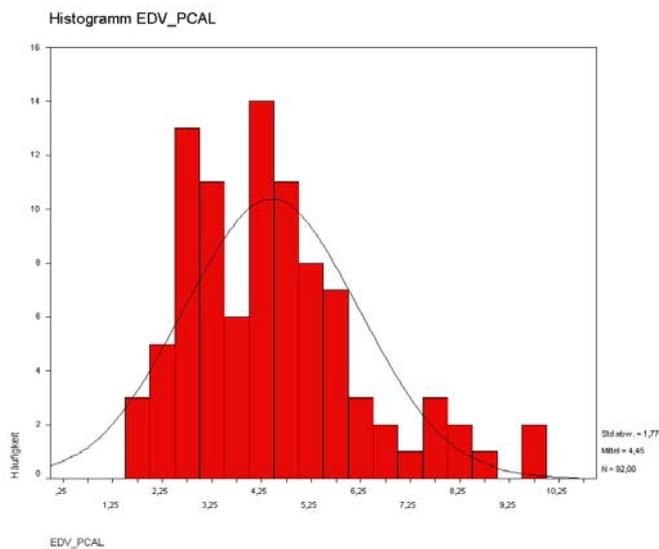
Darstellung der beobachteten und erwarteten enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria ophthalmica als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 109**

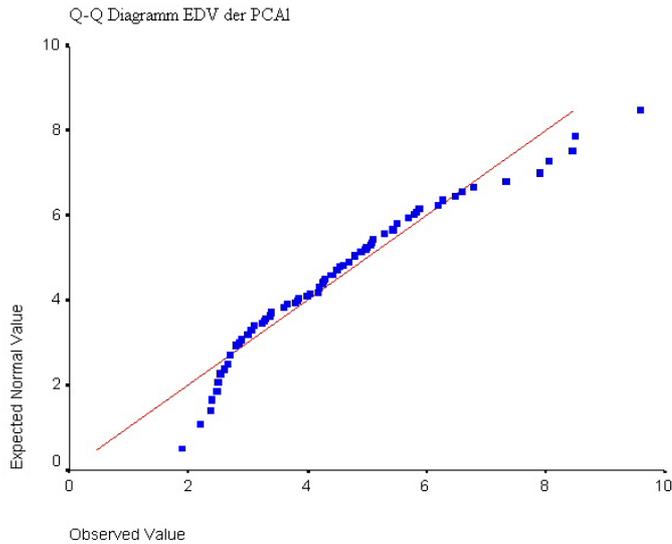
Häufigkeitsdarstellung der enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in der Arteria centralis retinae (EDV\_CRA) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 110**

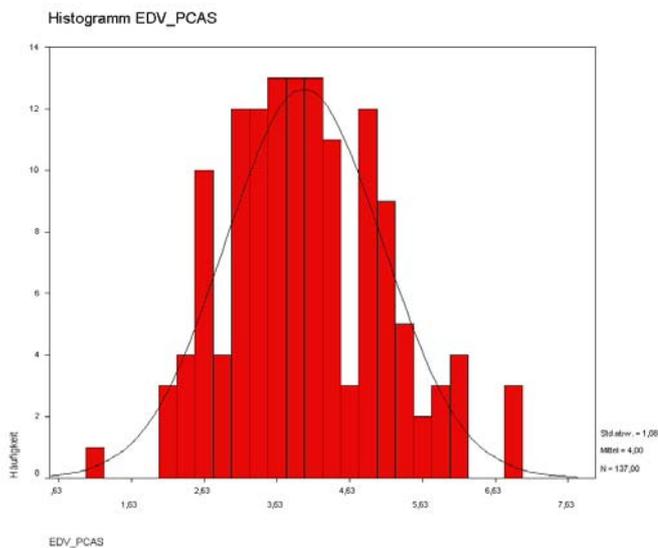
Darstellung der beobachteten und erwarteten enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in der centralis retinae als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 111**

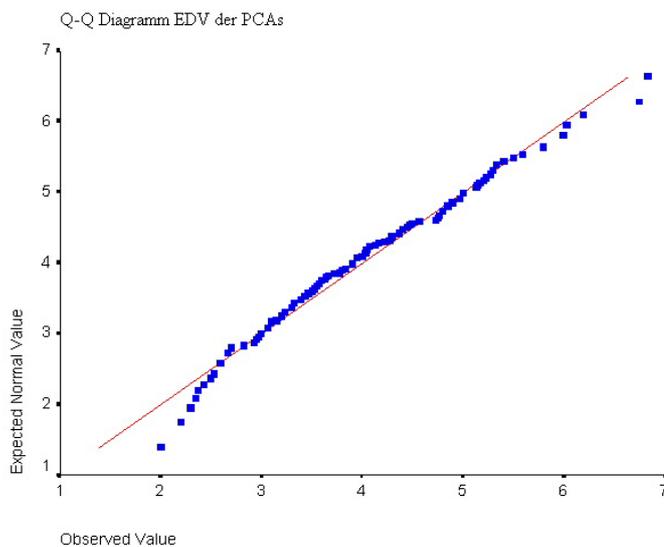
Häufigkeitsdarstellung der enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores longi (EDV\_PCAL) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve

**Abbildung 112**

Darstellung der beobachteten und erwarteten enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores longi als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

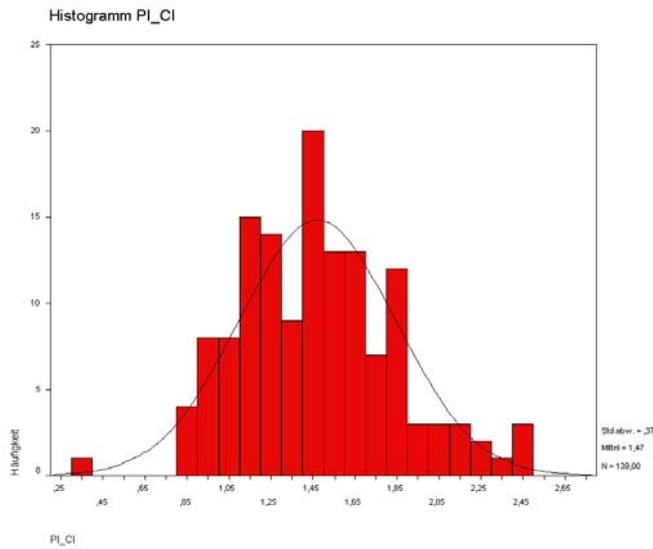
**Abbildung 113**

Häufigkeitsdarstellung der enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores breves (EDV\_PCAS) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve

**Abbildung 114**

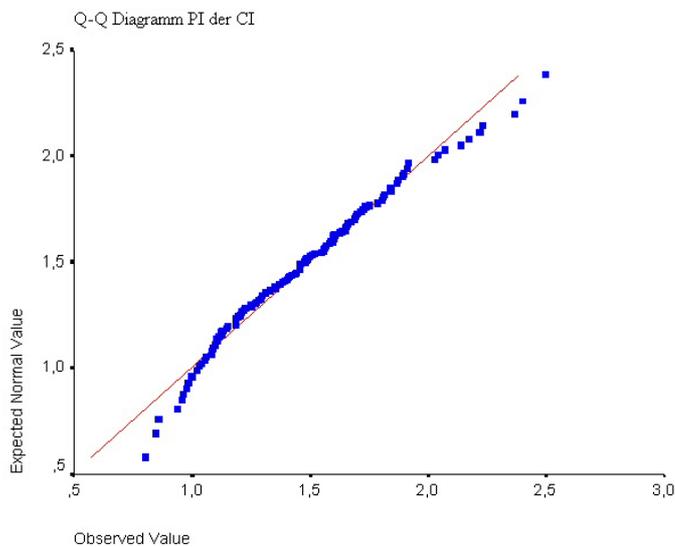
Darstellung der beobachteten und erwarteten enddiastolischen Flussgeschwindigkeiten in den Arteriae ciliares posteriores breves als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

## PULSATILITÄTSINDEX (PI) FÜR ALLE GEFÄßE



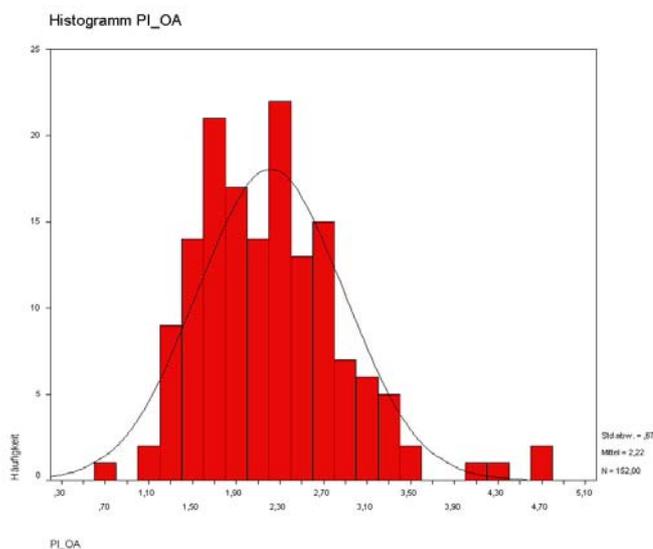
**Abbildung 115**

Häufigkeitsdarstellung der Pulsatilitätsindices in der Arteria carotis interna (PI\_CI) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.



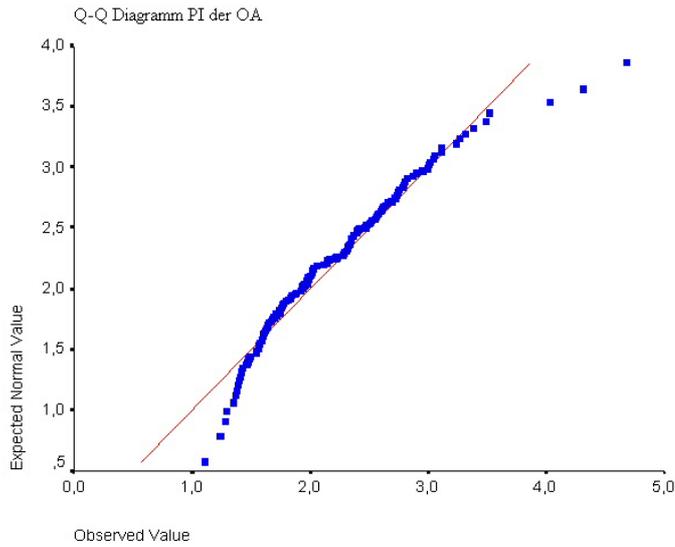
**Abbildung 116**

Darstellung der beobachteten und erwarteten Pulsatilitätsindices in der Arteria carotis interna als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

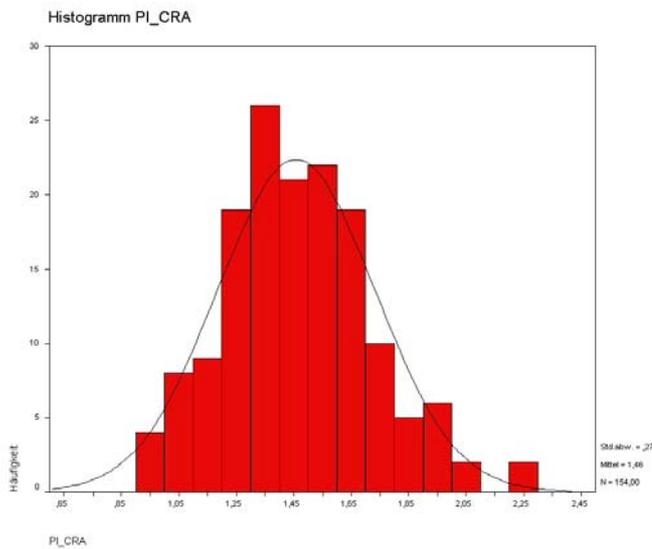


**Abbildung 117**

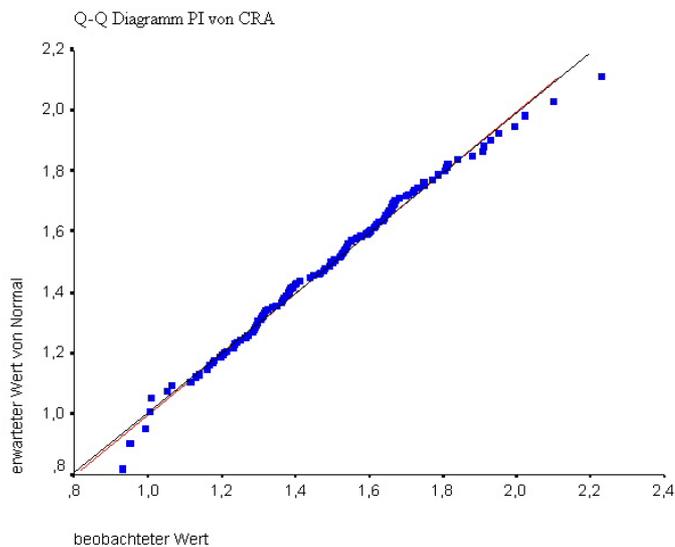
Häufigkeitsdarstellung der Pulsatilitätsindices in der Arteria ophthalmica (PI\_OA) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 118**

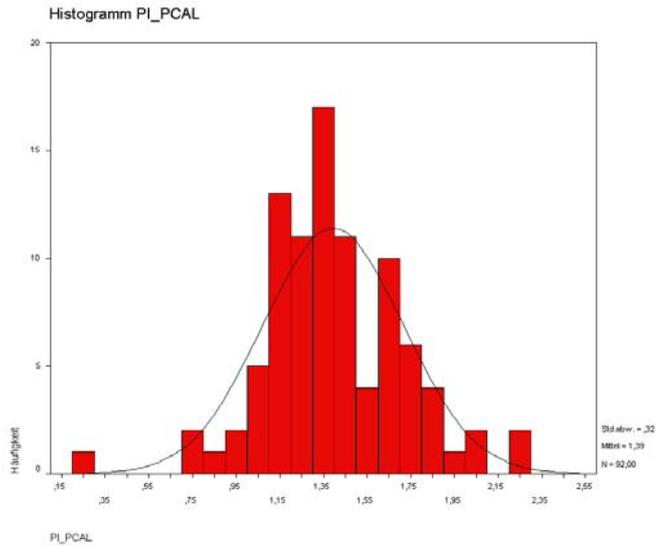
Darstellung der beobachteten und erwarteten Pulsatilitätsindices in der Arteria ophthalmica als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 119**

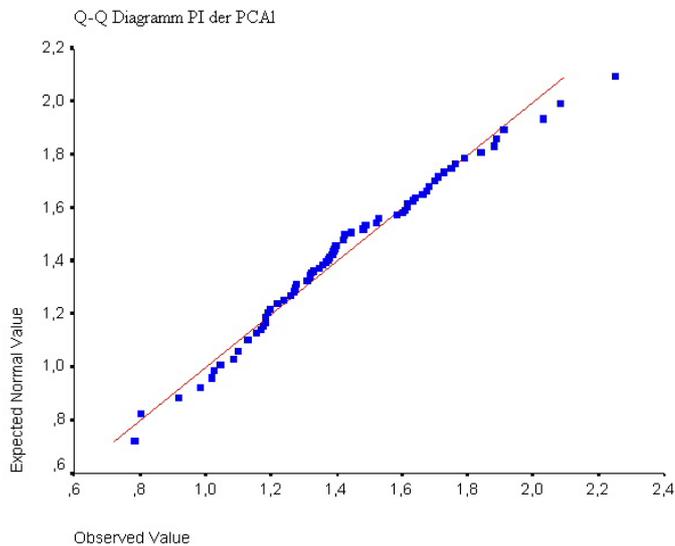
Häufigkeitsdarstellung der Pulsatilitätsindices in der Arteria centralis retinae (PI\_CRA) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve (siehe Abbildung 15).

**Abbildung 120**

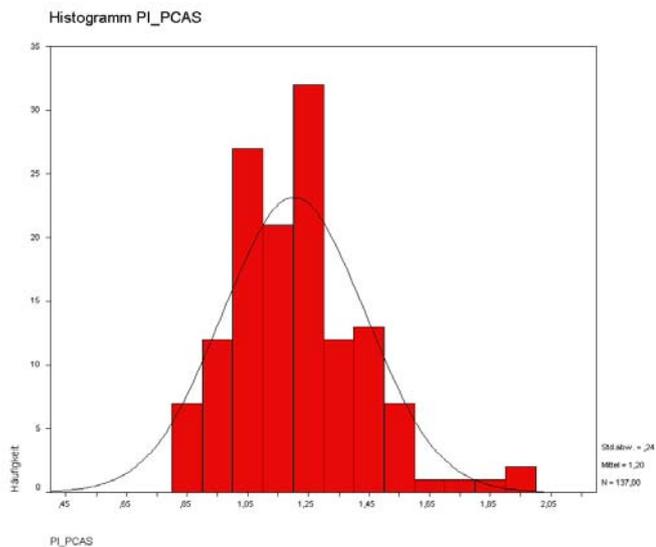
Darstellung der beobachteten und erwarteten Pulsatilitätsindices in der Arteria centralis retinae als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung (siehe Abbildung 16).

**Abbildung 121**

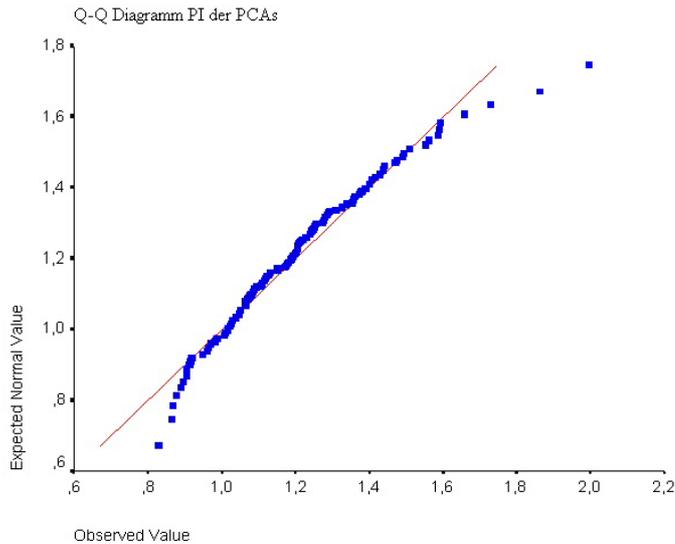
Häufigkeitsdarstellung der Pulsatilitätsindices in den Arteria ciliare posteriora longa (PI\_PCAL) als Histogramm mit überlageter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 122**

Darstellung der beobachteten und erwarteten Pulsatilitätsindices in den Arteria ciliare posteriora longa als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

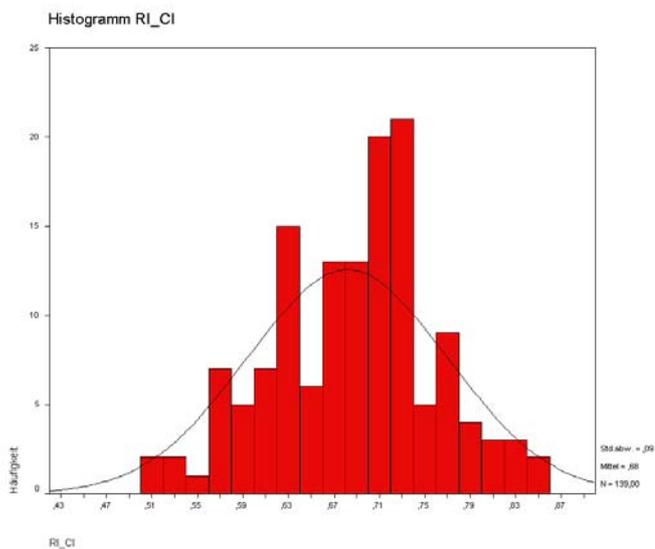
**Abbildung 123**

Häufigkeitsdarstellung der Pulsatilitätsindices in den Arteria ciliare posteriora brevia (PI\_PCAS) als Histogramm mit überlageter Normalverteilungskurve.

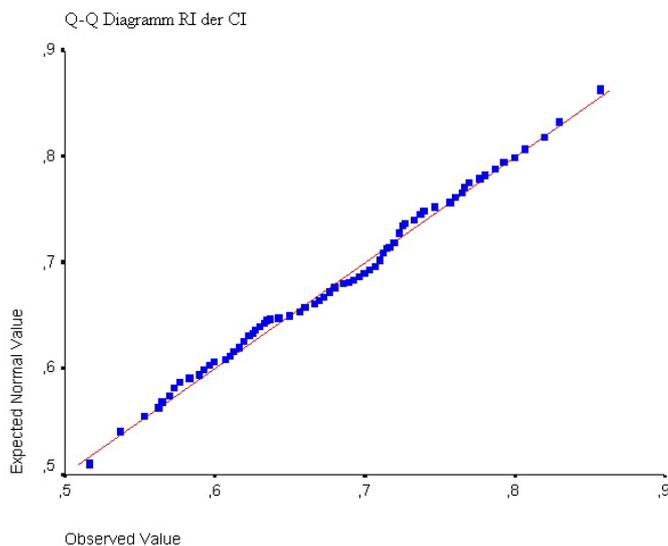
**Abbildung 124**

Darstellung der beobachteten und erwarteten Pulsatilitätsindices in den Arteriae ciliares posteriores breves als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

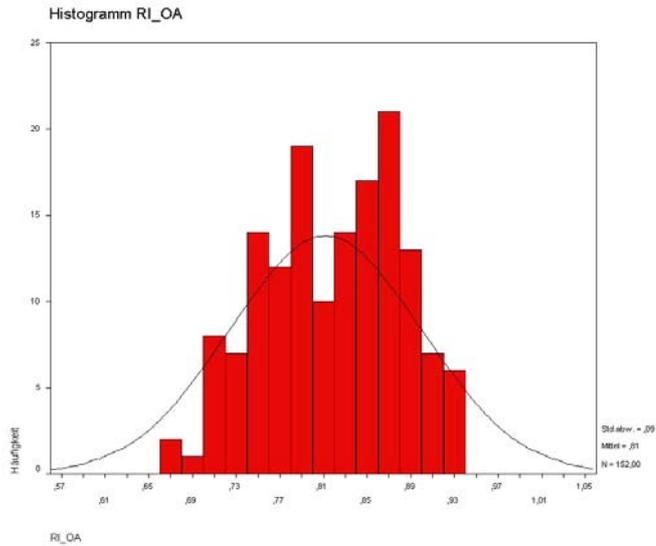
## WIDERSTANDSINDEX (RI) FÜR ALLE GEFÄßE

**Abbildung 125**

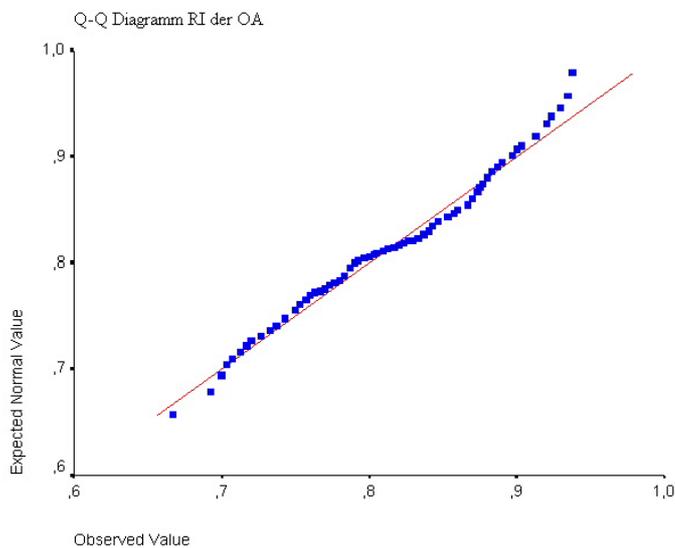
Häufigkeitsdarstellung der Widerstandsindices in der Arteria carotis interna (RI\_CI) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 126**

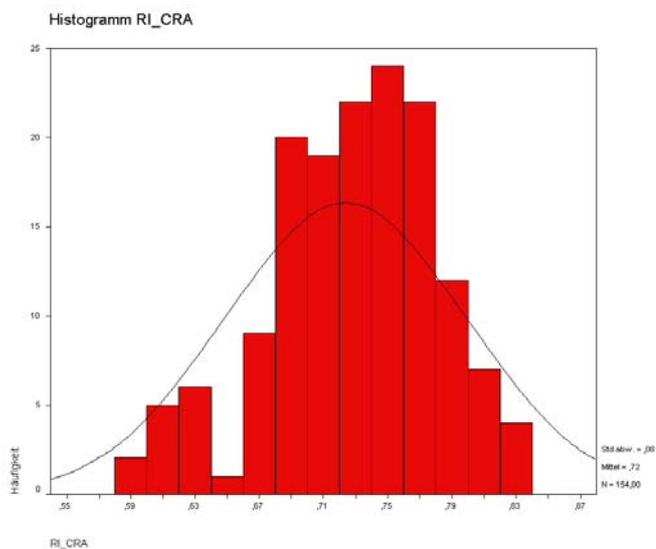
Darstellung der beobachteten und erwarteten Widerstandsindices in der Arteria carotis interna als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 127**

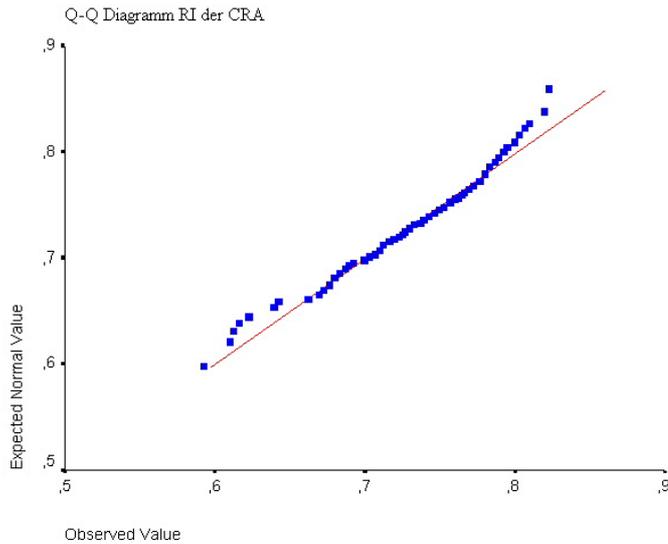
Häufigkeitsdarstellung der Widerstandsindices in der Arteria ophthalmica (RI\_OA) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 128**

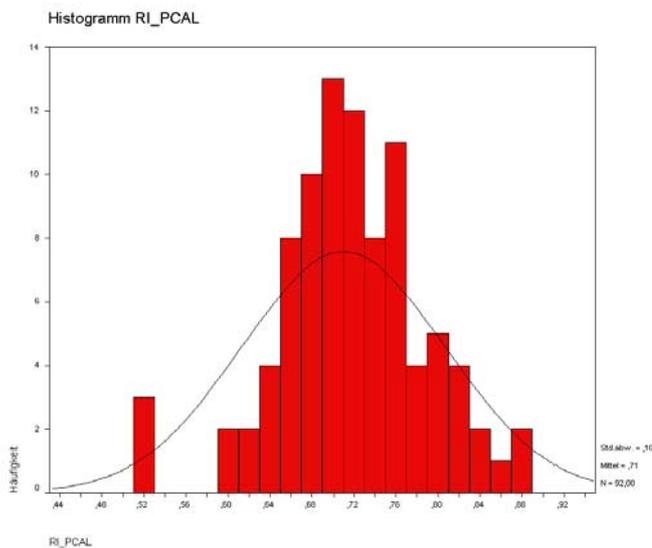
Darstellung der beobachteten und erwarteten Widerstandsindices in der Arteria ophthalmica als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 129**

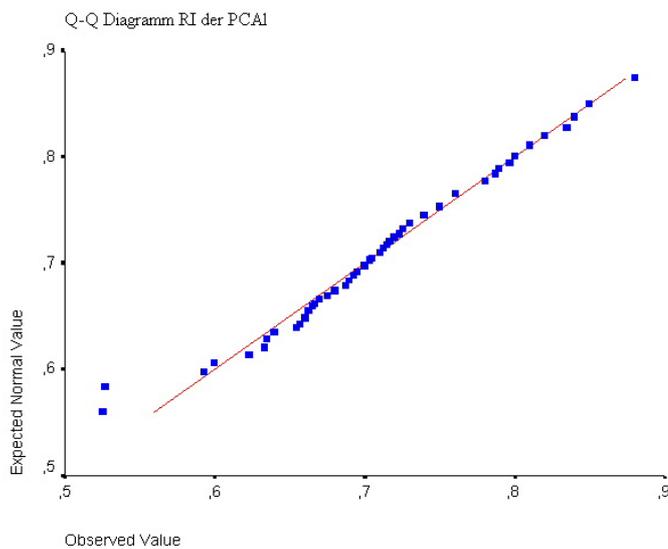
Häufigkeitsdarstellung der Widerstandsindices in der Arteria centralis retinae (RI\_CRA) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 130**

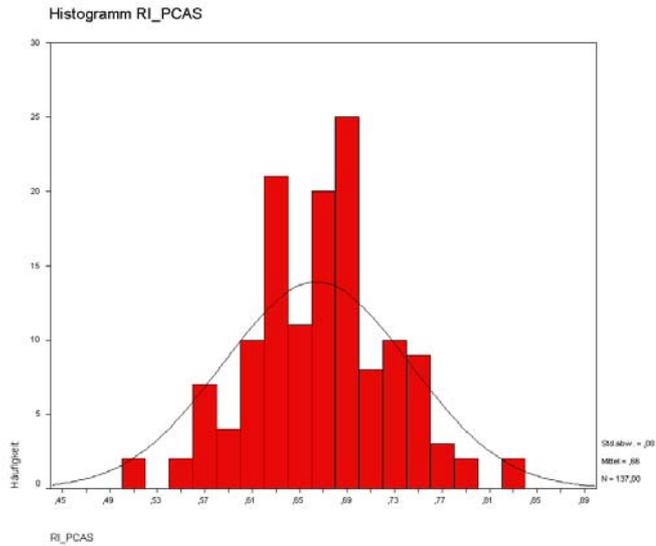
Darstellung der beobachteten und erwarteten Widerstandsindices in der Arteria centralis retinae als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 131**

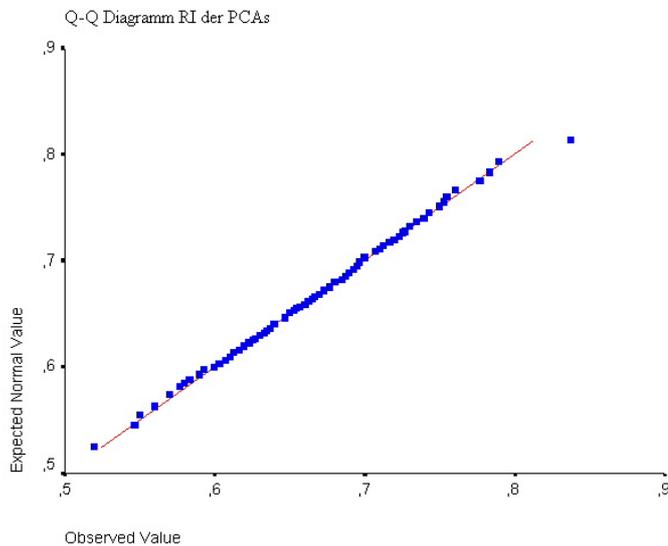
Häufigkeitsdarstellung der Widerstandsindices in den Arteriae ciliares posteriores longi (RI\_PCAL) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 132**

Darstellung der beobachteten und erwarteten Widerstandsindices in den Arteriae ciliares posteriores longi als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.

**Abbildung 133**

Häufigkeitsdarstellung der Widerstandsindices in den Arteriae ciliares posteriores breves (RI\_PCAs) als Histogramm mit überlagerter Normalverteilungskurve.

**Abbildung 134**

Darstellung der beobachteten und erwarteten Widerstandsindices in den Arteriae ciliares posteriores breves als Q-Q-Diagramm zur Prüfung auf Normalverteilung.