

Aus der Klinik für Ophthalmologie
(Direktor: Prof. Dr. med. J. Roider)
im Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Zusammenhang zwischen dem am Oberarm und am Auge
gemessenen Blutdruck und Messung des
Venenpulsationsdrucks mittels Kontaktglas-Dynamometer**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von
Britta Köpke
aus Duisburg

Kiel 2015

1. Berichtstatter: Prof. Dr. Johann Roider
2. Berichtstatter: Prof. Dr. Michael Synowitz
Tag der mündlichen Prüfung: 13.12.2016
Zum Druck genehmigt, Kiel, den 20.09.2016

gez.: Prof. Dr. Alexa Karina Klettner
(Vorsitzende der Prüfungskommission)

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Der Sehnerv	1
1.2. Der Spontanpuls der Vena centralis retinae.....	2
1.3. Ophthalmodynamometrie der Arteria ophthalmica.....	4
1.4. Ophthalmodynamometrie an venösen retinalen Gefäßen.....	5
1.5. Nutzen der Ophthalmodynamometrie in der Augenheilkunde.....	5
1.5.1. Glaukom.....	5
1.5.2. Arterielle okuläre Gefäßverschlüsse	6
1.5.3. Venöse okuläre Gefäßverschlüsse	7
1.5.4. Endokrine Orbitopathie	7
1.5.5. Erhöhter Hirndruck	8
1.6. Studienziele und Fragestellung	8
2. Studienteilnehmer und Methoden	9
2.1. Studienteilnehmer	9
2.2. Ausschlusskriterien	9
2.3. Untersuchungsmethoden	9
2.3.1. Automatische Refraktometrie	9
2.3.2. Subjektive Visusbestimmung	10
2.3.3. Blutdruck- und Pulsmessung	10
2.3.4. Spaltlampenuntersuchung	11
2.3.5. Goldmann-Applanationstonometrie.....	11
2.3.6. Ultraschallpachymetrie.....	12
2.3.7. Funduskopie	13
2.3.8. Kontaktglas-Dynamometrie nach Löw.....	13
2.4. Untersuchungsablauf	16
2.5. Datenerhebung und Dokumentation	17
2.6. Auswertung und statistische Berechnung	17
3. Ergebnisse	21
3.1. Beschreibung der Probanden	21
3.2. Normalverteilung.....	21
3.3. Systemischer Blutdruck.....	23
3.3.1. Unterschiede vor und nach Kontaktglas-Dynamometrie	23
3.3.2. Unterschiede rechts – links	24

3.3.3. Altersabhängigkeit.....	25
3.3.4. Korrelation zum BMI.....	25
3.4. Spontanpuls – Ergebnisse	25
3.5. Kontaktglas-Dynamometrie – Ergebnisse	27
3.5.1. Messwiederholungsgenauigkeit.....	28
3.5.2. Unterschiede rechtes – linkes Auge.....	29
3.5.3. Altersabhängigkeit.....	31
3.5.4. Kontaktglas-Dynamometrie-Ergebnisse nach Blutdruckgruppen	35
3.5.5. Abhängigkeit vom systemischen Blutdruck	40
3.5.6. Korrelation mit dem BMI.....	45
3.6. Untersuchungsabbruch.....	45
3.7. Beschwerden und Probleme	46
4. Diskussion	47
4.1. Methodenkritik.....	47
4.1.1. Probanden	47
4.1.2. Blutdruckmessung.....	47
4.1.3. Ophthalmologische Untersuchungsmethoden	48
4.1.3.1. Applanationstonometrie und Pachymetrie.....	48
4.1.3.2. Kontaktglas-Dynamometrie	50
4.1.4. Untersuchungsablauf	51
4.2. Diskussion der Ergebnisse.....	51
4.2.1. venöse Spontanpulsation.....	51
4.2.2. Ergebnisse der Kontaktglas-Dynamometrie.....	53
4.2.2.1. Messwiederholungsgenauigkeit	53
4.2.2.2. Normalwerte und Altersabhängigkeit	54
4.2.2.3. Verhältnis zum systemischen Blutdruck.....	57
4.2.2.4. Einfluss auf den systemischen Blutdruck	59
4.2.2.5. Korrelation zum BMI.....	60
4.2.2.6. Vergleich von rechtem und linkem Auge.....	60
4.3. Fazit	61
5. Zusammenfassung	63
6. Literaturverzeichnis	65
7. Danksagung	72
8. Lebenslauf.....	73

1. Einleitung

1.1. Der Sehnerv

Der Nervus opticus stellt eine Ausstülpung des Zwischenhirns dar (1). Er enthält die Axone der retinalen Ganglienzellen, den dritten Neuronen der Sehbahn. Gegliedert wird der Nervus opticus in drei Abschnitte, einen intrabulbären, einen intraorbitalen und einen intrakraniellen. Der intrabulbäre Teil ist als Papilla nervi optici ophthalmoskopisch im Auge sichtbar. Hier vereinigen sich die Sehnervenfasern zum Sehnerv, um gebündelt durch die Lamina cribrosa, eine siebartige Öffnung der Sklera, das Auge zu verlassen. Da an dieser Stelle keine Photorezeptoren liegen, findet sich an der zugehörigen Gesichtsfeldstelle ein absoluter Ausfall, der blinde Fleck. Die Papille ist im physiologischen Zustand hochoval, vital, d.h. gelb-orange gefärbt, scharf begrenzt und nicht prominent. Sie kann eine leicht quere ovale zentrale Aushöhlung, die als Exkavation bezeichnet wird, aufweisen. Die Größe der Exkavation muss in Bezug zur Papillengröße beurteilt werden und kann als Dezimalzahl, Exkavations- zu Papillendurchmesser, Cup-Disc Ratio (CDR) genannt, angegeben werden. Eine vergrößerte CDR oder Zunahme der Exkavation in der Vertikalen kann einen Hinweis auf einen Nervenfaserverlust geben.

Nach dem Durchtritt durch die Lamina cribrosa beginnt der intraorbitale Teil des Sehnervs, der s-förmig durch die Orbita und den Canalis opticus verläuft. Hinter dem Canalis opticus folgt der kurze intrakranielle Anteil bis zum Chiasma opticum. Intraorbital und intrakranial ist der Sehnerv von den Hirnhäuten Dura mater, Arachnoidea und Pia mater umhüllt (2).

Zusammen mit dem Sehnerv treten Gefäße in den Bulbus ein bzw. aus diesem aus. Die Arteria centralis retinae ist der erste Ast der Arteria ophthalmica. Sie tritt ca. 8 mm hinter dem Auge von unten in den Sehnerv ein und zieht mit ihm bis zur Netzhaut (1,2). An der Papille zweigt sich die Arteria centralis retinae in ihre 4 Hauptäste auf. Die Arterien sind hellrot und verlaufen an der inneren Oberfläche der Netzhaut. Sie versorgen die inneren Netzhautschichten. Die Netzhautvenen erscheinen in etwas dunklerem Rot. Sie können an der Papille, wo sie sich zur Zentralvene vereinigen, eine spontane physiologische Pulsation aufweisen (2). Die Vena centralis retinae tritt mit dem Sehnerv aus dem Auge, verläuft für einige Millimeter innerhalb des Sehnervs bis sie diesen verlässt und in die Vena

ophthalmica superior einmündet (3). Beim Verlassen des Sehnervs muss die Vene die umgebenden Hirnhäute und den Subarachnoidalraum passieren. Dadurch steht der venöse Druck unter dem Einfluss des im Subarachnoidalraum herrschenden Hirndrucks. Damit Blut aus dem Auge über die Vena centralis retinae abfließen kann, muss der Druck in dieser höher als der Hirndruck sein (4).

Die Vena ophthalmica superior vereinigt sich mit der Vena ophthalmica inferior zur Vena ophthalmica, die zum größten Teil in den Sinus cavernosus drainiert (1).

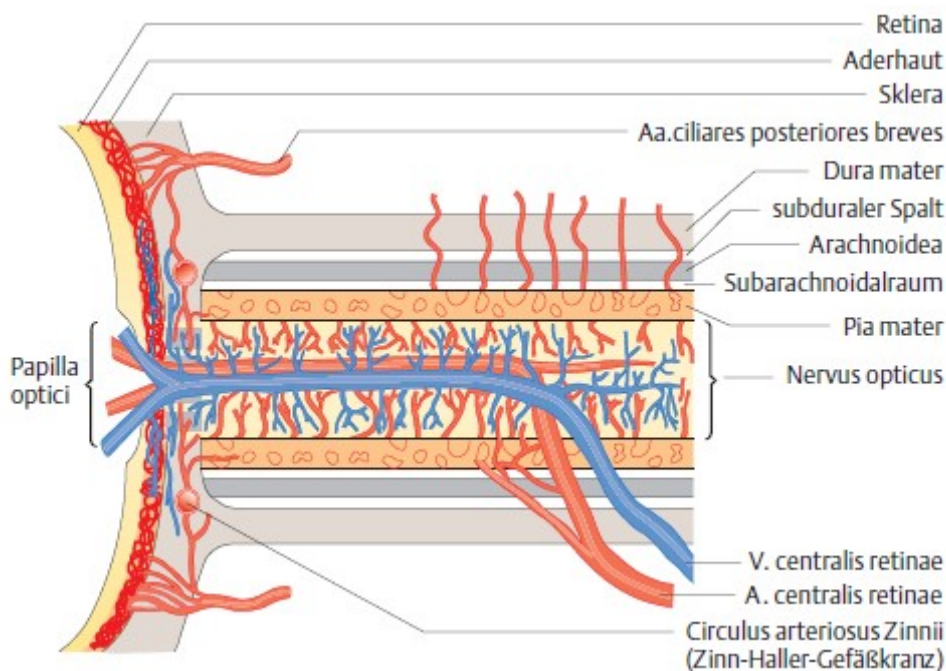


Abb. 1: Schematisierter Längsschnitt durch den Sehnerv, aus Augenheilkunde, Duale Reihe (5).

1.2. Der Spontanpuls der Vena centralis retinae

„Das Pulsieren der Centralvene ist eine physiologische Erscheinung, welche allerdings nicht in allen Augen beobachtet wird.“ (6), schrieb Coccius 1853 und erwähnte damit erstmals das spontane Pulsieren der Vena centralis retinae in der Literatur. Ein seit langem bekanntes Phänomen, dessen Ursache seit seiner Erstbeschreibung noch nicht abschließend geklärt worden ist.

Baurmann stellte die Verhältnisse am Auge nach. Er führte eine kollabierbare Modellvene aus Gummi mit konstantem Zu- und Abflussdruck durch ein geschlossenes nicht dehnbares Gefäß. Daran zeigte er, dass Pulsationen am Ende der Modellvene dann entstehen, wenn der Druck im Gefäß höher als der

Abflussdruck ist. Ließ er den Druck von außen auf die Modellvene rhythmisch schwanken, nahmen die Pulsationen diesen Rhythmus an. Übertragen auf das Auge bedeutet das, dass es zu Pulsationen der Zentralvene im Auge kommt, wenn der Augeninnendruck den extraokularen Venendruck übersteigt. Der Rhythmus wird durch die Augeninnendruckschwankungen vorgegeben (7). Der Augeninnendruck des Menschen schwankt mit dem pulssynchronen Bluteinstrom in die Aderhaut (8). Diverse Autoren zeigten jedoch experimentell, dass der Augeninnendruck nie höher als der retinale Venendruck ist (9).

Levine stellte 1998 seine *constant inflow – variable outflow* (CIVO) Hypothese auf: Der venöse Druck des intraokularen Anteils der Vena centralis retinae ist vom Augeninnendruck abhängig, der Hirndruck beeinflusst den hinter der Lamina cribrosa gelegenen Teil der Vena centralis retinae. Da der Augeninnendruck pulssynchron um 3 mmHg schwankt, der Hirndruck nur um 1 mmHg, ergibt sich ein schwankender intravenöser Druckgradient. Dieser liegt in der Systole ca. 1 mmHg über, in der Diastole 1 mmHg unter dem mittleren Druckgradienten von bulbär zu retrobulbär. Dadurch kommt es in der Systole zu einem stärkeren venösen Blutabfluss bei konstantem Bluteinstrom und die Vene kollabiert. In der Diastole ist der Abfluss vermindert und die Vene reexpandiert (9).

Ist der Pulsdruck, also die Differenz aus systolischem und diastolischem Druck, bulbär und retrobulbär gleich, erfolgt der venöse Abstrom gleichmäßig ohne Pulsationen. Der retrobulbäre Pulsdruck steigt z.B. bei erhöhtem Hirndruck parallel mit dem mittleren Hirndruck an. Erreicht er das Niveau des intraokularen Pulsdrucks, stoppen die Pulsationen und treten dann wieder auf, wenn man den Augeninnendruck künstlich durch Druck von außen erhöht. Das gleiche ist der Fall, wenn der intraokulare Pulsdruck mit dem mittleren Augeninnendruck auf das Niveau des retrobulbären Pulsdrucks fällt, z.B. bei einer perforierenden Bulbusverletzung. Auch dann erlischt ein Spontanpuls der Vena centralis retinae (9).

Neue Untersuchungen von Kain et al. ergaben, dass der Zentralvenenkollaps nicht in der Systole, sondern während der Diastole auftritt. Sie ziehen in Betracht, dass der Hirndruck doch mit einer größeren Amplitude schwankt als der Augeninnendruck und die CIVO Hypothese nicht verworfen werden muss (10).

Meyer-Schwickerath et al. beschreiben verschiedene Formen des venösen Kollapses. Beim Invaginationskollaps fällt die Vene zusammen, sodass eine Venenwand auf der gegenüberliegenden zu liegen kommt und die Vene in

pulsierendem Rhythmus wieder reexpandiert. Beim axialen oder Sanduhr-Kollaps hingegen verengt sich die Vene zirkulär. Hier kommt es meist nur zu einem einmaligen Kollapsphänomen beim Erreichen des Venenpulsationsdrucks. Der axiale Kollaps ist daher deutlich schwieriger zu beobachten (4).

Je nach Anatomie der Papille und Gefäßverlauf variiert die Länge des pulsierenden Venenanteils und kann durch Arterien oder gliales Gewebe verdeckt sein, sodass manchmal gar kein Zentralvenenkollaps erkennbar ist (4,11).

1.3. Ophthalmodynamometrie der Arteria ophthalmica

Die Ophthalmodynamometrie ist ein Verfahren zur Bestimmung des Blutdrucks im Bereich des Zu- und Abflusses der zentralen Netzhautgefäße im Auge. Indem von außen eine messbare Kraft auf den Bulbus ausgeübt wird, wird der Augeninnendruck künstlich erhöht, bis Pulsationen in den Gefäßen auftreten. Von der benötigten Kraft kann auf den Blutdruck geschlossen werden (8,12). Erhöht man den Augeninnendruck bis auf das Druckniveau der zufließenden Arteria ophthalmica, kommt es zu einem pulsierenden Blutfluss bis hin zum Abbruch des Bluteinstroms in die Arteria centralis retinae. Mit der Ophthalmodynamometrie wird daher der Druck in der Arteria ophthalmica zwischen ihrem Ursprung aus der Arteria carotis interna und ihrem ersten Ast, der Arteria centralis retinae erfasst und nicht der Druck in der Arteria centralis retinae selbst (13,14).

Die Geschichte der Ophthalmodynamometrie geht auf Paul Bailliant zurück, der 1917 das Verfahren erstmals beschrieb. Mittels eines Federstempels erhöhte er von außen den Druck im Auge und beobachtete dabei die Zentralgefäße (15).

Das Verfahren war in den 60er und 70er Jahren zur Diagnostik von Stenosen der Arteria carotis interna populär, bis es von der Dopplersonographie abgelöst wurde und in Vergessenheit geriet. Erst in den 90er Jahren wurde das Interesse an dieser Untersuchungstechnik im Zusammenhang mit vaskulären Risikofaktoren verschiedener Augenerkrankungen wieder größer (15).

Beim Kontaktglas-Dynamometer nach Löw wird mit dem Untersuchungsgerät selbst, dem Kontaktglas, der Druck aufs Auge ausgeübt. Die Augeninnendruckerhöhung kann dann von einer Zentraleinheit abgelesen werden (4). Dieses Messverfahren wird unter 2.3.8. noch detaillierter beschrieben.

1.4. Ophthalmodynamometrie an venösen retinalen Gefäßen

Ähnlich der arteriellen Blutdruckmessung kann mit der Ophthalmodynamometrie bei Venen, die nicht spontan pulsieren, über das Auslösen des Kollapsphänomens der Druck in der Zentralvene bestimmt werden.

In der Literatur finden sich für den gemessenen Druck, wenn die Zentralvene beginnt zu pulsieren, unterschiedliche Bezeichnungen: Analog zu Blutdruckmessungen an Arterien wird das Phänomen unter anderem als *diastolischer Venendruck* bezeichnet (4). An anderer Stelle werden die Begriffe *Zentralvenenabflussdruck (venous outflow pressure)* (3,4,16–19), *Venenpulsationsdruck (venous pulsation pressure, VPP)* (20,21), *Zentralvenendruck* (8,22,23) oder *Zentralvenenkollapsdruck* (24–31) synonym gebraucht.

Im Folgenden wird die Bezeichnung Venenpulsationsdruck (VPP) verwendet.

1.5. Nutzen der Ophthalmodynamometrie in der Augenheilkunde

Verschiedene Studien mit dem Kontaktglas-Dynamometer nach Löw oder einem anderen Ophthalmodynamometer zeigten die vielseitigen potentiellen Anwendungsmöglichkeiten dieser Technik bei den nachfolgend aufgeführten Erkrankungen.

1.5.1. Glaukom

Das Glaukom ist die zweithäufigste Ursache von Erblindung weltweit. Annähernd 70 Millionen Menschen sind von der Erkrankung betroffen (32). Zum Glaukom gehört eine Reihe ätiologisch unterschiedlicher Erkrankungen, denen ein Sehnervenschaden mit Untergang von Ganglienzellen gemeinsam ist. Die Patienten weisen einen charakteristischen Papillenbefund mit auffälliger Exkavation sowie typische Gesichtsfelddefekte auf, die bis zur Erblindung fortschreiten können. Je nach Konfiguration des Kammerwinkels des Auges unterscheidet man das Offenwinkelglaukom, mit offen einsehbarem Kammerwinkel, vom Winkelblockglaukom, bei dem der Kammerwinkel verlegt ist (2,32).

Die Ursache des Offenwinkelglaukoms ist immer noch unklar. Oft, aber nicht zwangsläufig, geht das Offenwinkelglaukom mit einem erhöhten Augeninnendruck

einher. Dieser wird heute nicht mehr als alleinige Glaukomursache, sondern als Risikofaktor für die Entwicklung und Progression des Glaukoms angesehen.

Eine Rolle spielt vermutlich auch die Durchblutung des Sehnervs, die sich als Perfusionsdruck (PP) untersuchen lässt. Der PP ist ein Maß für die Durchblutung eines Organs. Mit zunehmendem Perfusionsdruck steigt die Durchblutung an. Der Perfusionsdruck lässt sich bestimmen, indem man den venösen Druck vom arteriellen Druck subtrahiert. Der mittlere arterielle Druck (MAP) lässt sich näherungsweise aus dem diastolischen und systolischen Blutdruck (BP) berechnen.

$$PP = \text{arterieller Druck} - \text{venöser Druck}$$
$$MAP = BP_{\text{diastolisch}} + \frac{1}{3} (BP_{\text{systolisch}} - BP_{\text{diastolisch}}) \quad (33).$$

Der mittlere Perfusionsdruck (MPP) am Auge kann aus dem mittleren arteriellen Druck der Arteria ophthalmica und dem VPP berechnet werden. Beide Parameter können mittels Ophthalmodynamometrie gemessen werden (siehe Kapitel 2.3.8)

$$MPP_{\text{Auge}} = MAP_{\text{ophthalmica}} - VPP.$$

Es wird vermutet, dass ein verminderter Perfusionsdruck am Auge für die Entstehung eines Sehnervenschadens einen eigenständigen Risikofaktor darstellt (2,34–36).

In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass ein niedriger diastolischer, systolischer oder mittlerer okulärer Perfusionsdruck mit einem erhöhten Auftreten eines Offenwinkelglaukoms in verschiedenen Bevölkerungsgruppen assoziiert ist (34–40). Bei Glaukompatienten zeigte sich außerdem seltener ein Spontanpuls der Zentralvene, als bei Normalprobanden (8,21,41–43). Der VPP bzw. die Kraft, um einen Venenpuls zu induzieren, war bei Glaukompatienten höher als beim Kontrollkollektiv. Außerdem zeigte sich ein Zusammenhang zwischen Höhe des VPPs und der Seite der größeren Exkavation sowie eine Korrelation zwischen VPP und der Schwere des Gesichtsfeldschadens (8,21,26,42).

1.5.2. Arterielle okuläre Gefäßverschlüsse

Der ophthalmodynamometrisch gemessene arterielle diastolische Blutdruck ist bei Patienten mit einem Verschluss der Arteria centralis retinae oder einem retinalen

Arterienastverschluss, gemessen am betroffenen Ast, signifikant niedriger als beim Kontrollkollektiv (44). Das gleiche Ergebnis liegt bei einer symptomatischen ischämischen Ophthalmopathie vor, bei der es zu einer Unterversorgung des Auges kommt, oft durch das Vorliegen einer Stenose der Arteria carotis interna oder communis. Der klinische Befund ähnelt einer diabetischen Retinopathie oder einem ischämischen Netzhautvenenverschluss. Hier kann die Ophthalmodynamometrie zur Diagnosefindung beitragen (44–46).

Außerdem könnte die Ophthalmodynamometrie helfen zwischen einer anterioren ischämischen Optikoneuropathie (AION) arteriitischer Genese und nicht-arteriitischer Genese zu differenzieren. Bei der AION handelt es sich um einen Papillenfarkt mit plötzlicher einseitiger Sehinderung. Patienten mit entzündlichen Gefäßveränderungen bei arteriitischer AION zeigten einen signifikant niedrigeren diastolischen Druck in der Kontaktglas-Dynamometrie, als Patienten mit nicht-arteriitischer AION (25).

1.5.3. Venöse okuläre Gefäßverschlüsse

Verglichen mit einer Kontrollgruppe weisen Patienten mit einem Verschluss der Vena centralis retinae, einem retinalen Venenastverschluss oder einer venösen Stase im Bereich der Netzhaut einen signifikant höheren Venenpulsationsdruck (VPP) auf (23,29).

1.5.4. Endokrine Orbitopathie

Die endokrine Orbitopathie gehört zu den Autoimmunerkrankungen. Sie geht mit einem autoimmun-entzündlichen Infiltrat der Orbita und einem erhöhten Orbita-Gewebsdruck einher. Zu den Leitsymptomen gehören ein Exophthalmus, charakteristische Lidzeichen, Motilitätsstörungen und die Optikuskompression (2,28).

Der Venenpulsationsdruck wird aufgrund des anatomischen Verlaufs der Vena centralis retinae vom intraorbitalen Gewebsdruck sowie vom Hirndruck beeinflusst. Bei Patienten mit endokriner Orbitopathie ergeben sich ebenfalls signifikant höher gemessene VPPs, die sich parallel zur Krankheitsaktivität ändern (28,47). Mit der Ophthalmodynamometrie erhält man durch die Messung des VPPs indirekt eine Aussage über den erhöhten Orbitadruck (28). Sie könnte wichtige zusätzliche Informationen für Diagnostik und Therapie liefern.

1.5.5. Erhöhter Hirndruck

Außerdem lässt die Kenntnis des VPPs bei Erkrankungen, die mit einem erhöhten Hirndruck einhergehen, eine Aussage über die Höhe des Hirndrucks zu.

Verschiedene Autoren zeigten, dass eine lineare Korrelation zwischen dem Hirndruck und dem Venenpulsationsdruck besteht, wobei letzterer geringfügig höher als der Hirndruck ist. Über die ophthalmodynamometrische Messung des VPPs lässt sich nicht-invasiv der Hirndruck bestimmen (3,4,16,48). Die Ophthalmodynamometrie könnte in der Diagnostik und Verlaufskontrolle von Erkrankungen mit erhöhtem Hirndruck sinnvoll sein und langfristig helfen, die Anzahl von invasiven Liquorpunktionen zu reduzieren (3,16,22,27,48,49).

1.6. Studienziele und Fragestellung

Um ophthalmodynamometrisch gewonnene Werte diagnostisch verwenden zu können, ist das Vorhandensein von umfangreichen Erfahrungen in Form von Normalwerten notwendig. In der vorliegenden Studie sollen, anhand von Messungen an gesunden Probanden mit dem Kontaktglas-Dynamometer nach Löw, Normwerte für den Venenpulsationsdruck und den diastolischen und systolischen Druck in der Arteria ophthalmica erhoben werden. Im Detail ergibt sich folgende Fragestellung:

1. Wie ist die Messwiederholungsgenauigkeit der Werte?
2. Wie groß ist die Streuung der Messwerte in einem Normkollektiv?
3. Wie häufig und in welchem Ausmaß treten Seitenunterschiede zwischen rechtem und linkem Auge auf?
4. Bestehen Einflüsse durch das Alter, den systemischen Blutdruck oder den Body-Mass-Index (BMI) auf die Messwerte?
5. Wie häufig treten venöse Spontanpulsationen innerhalb der gesunden Probandengruppe auf und bestehen Unterschiede im Hinblick auf das Alter und den systemischen Blutdruck?

2. Studienteilnehmer und Methoden

2.1. Studienteilnehmer

Für die Messung des Blutdrucks in den Augengefäßen wurden freiwillige Probanden im Alter von 20 bis 80 Jahren untersucht, die durch persönliche Ansprache oder Aushänge rekrutiert wurden. Die Probanden mussten anamnestisch und augenärztlich gesund sein. Durch eine standardisierte Befragung wurden relevante internistische Erkrankungen sowie Augenerkrankungen ausgeschlossen. Andere bekannte Erkrankungen wurden zusätzlich protokolliert und Medikamenteneinnahme und Rauchstatus erfragt. Größe und Gewicht der Studienteilnehmer wurden nach deren Angaben ins Protokoll aufgenommen.

2.2. Ausschlusskriterien

Ausgeschlossen wurden Probanden, bei denen anamnestisch eine der folgenden Erkrankungen vorlag: arterieller Hypertonus, Herzrhythmusstörungen, Herzklappenfehler, koronare Herzkrankheit, arterielle Verschlusskrankheit, Vaskulitis, Diabetes mellitus, Zustand nach Herzinfarkt oder Schlaganfall, HIV-Infektion, Optikusneuropathie, Glaukom, endokrine Orbitopathie, Amaurosis fugax, Zustand nach Gefäßverschluss am Auge, Zustand nach Augenverletzung, nach Augenoperation oder Laserbehandlung. Darüber hinaus wurden Probanden von der Studie ausgeschlossen, bei denen ein Nikotinabusus zum Zeitpunkt der Untersuchung oder in den vorausgegangenen fünf Jahren bestand. Bei einer Refraktion außerhalb von -5 bis +5 Dioptrien (sphärisches Äquivalent) oder bei der Feststellung einer der oben genannten Augenerkrankungen in der augenärztlichen Untersuchung wurde das entsprechende Auge von der Studie ausgeschlossen.

2.3. Untersuchungsmethoden

2.3.1. Automatische Refraktometrie

Die objektive Refraktionsbestimmung erfolgte mit dem automatischen Refraktometer Humphrey® Automatic Refractor Modell 599 (Fa. Carl Zeiss Meditec AG, Jena). Die

Tischhöhe und die höhenverstellbare Kinnstütze wurden dem Probanden entsprechend eingestellt. Während der Messung wurde der Proband angehalten, den Kopf ruhig und die Augen geöffnet zu halten. Mit dem Cursor wurde die Messeinrichtung auf die Pupille zentriert und die automatische Messung der Refraktionswerte gestartet.

2.3.2. Subjektive Visusbestimmung

Für die monokulare Visusprüfung wurden genormte Zahlen als Sehzeichen verwendet, die mittels Sehzeichenprojektor in fünf Metern Entfernung vom Untersuchungsstuhl an die Projektionstafel geworfen wurden. Wurde ohne Refraktionsausgleich oder mit eigener Korrektur des Probanden nur ein unzureichender Visus von weniger als 1,0 erreicht, wurde der Refraktionsfehler mit dem Phoropter ausgeglichen, bis der bestkorrigierte Visus erreicht wurde. Die Sehschärfe und der nötige Refraktionsausgleich wurden im Untersuchungsprotokoll festgehalten.

2.3.3. Blutdruck- und Pulsmessung

Der Blutdruck wurde nicht-invasiv mit dem automatischen Oberarm-Blutdruckmessgerät OMRON M5-I (OMRON Matsusaka Co. Ltd., Japan) an beiden Armen gemessen. Das Gerät misst nach der oszillometrischen Methode. Durch eine elektrische Pumpe mit Kontrollsystem bestimmt das Gerät den richtigen Aufpumpdruck und lässt die Luft durch ein automatisches Druckablassventil selbstständig ab. Die Messgenauigkeit des OMRON M5-I-Blutdruckmessgeräts ist durch das internationale ESH-Protokoll (European Society of Hypertension) der Europäischen Hypertonie Gesellschaft und durch das Prüfsiegelprotokoll der Deutschen Hochdruckliga geprüft und bestätigt worden (50,51).

Die verwendete Manschette (140 mm x 480 mm) wird für einen Oberarmumfang von 22-32 cm empfohlen. Vor der Messung wurde geprüft, ob die Manschette für den Oberarmumfang des Probanden zulässig war. Die Manschette wurde 1-2 cm oberhalb der Ellenbeuge am entkleideten Oberarm angebracht, so dass sich die Manschette auf Herzhöhe befand. Durch Betätigen der Start-Taste wurden

Blutdruck- und Pulsmessung automatisch durch das Gerät vorgenommen und die Werte auf dem LCD-Display angezeigt.

2.3.4. Spaltlampenuntersuchung

Mit Hilfe der Spaltlampe wurde der Vorderabschnitt der Augen morphologisch untersucht. Die Untersuchungseinheit wurde so eingestellt, dass der Kopf des Probanden an Kinnstütze und Stirnband mit den Augen auf Höhe der Markierung positioniert war. Durch die Vergrößerung des Stereomikroskops wurde die Beschaffenheit der Lider, der Konjunktiva, der Kornea, der Vorderkammer, der Iris, der Linse und des vorderen Glaskörpers begutachtet. Pathologische Auffälligkeiten wurden im Untersuchungsprotokoll notiert.

2.3.5. Goldmann-Appplanationstonometrie

Der intraokulare Druck wurde mit der Goldmann-Appplanationstonometrie bestimmt. Sie stellt den internationalen Goldstandard der Augeninnendruckmessung dar (52). Die Appplanationstonometrie basiert auf dem Imbert-Fickschen Gesetz

$$P = G / F.$$

Dabei ergibt sich P, der Druck, innerhalb einer flüssigkeitsgefüllten Kugel, aus der Division der aufgewendeten Kraft (G), mit der die Kugel abgeplattet wird, durch die Applanationsfläche (F). Gültigkeit erhält diese Formel für den Augapfel bei einer Applanationsfläche von 3,0 bis 3,5 mm Durchmesser. Der Widerstand durch die Rigidität der Kornea und die Kapillaranziehungskräfte aufgrund des Tränenfilms an der Grenzfläche Hornhaut – Applanationskörper heben sich bei Abplattung dieser Fläche auf (53, 54).

Bei der Goldmann-Appplanationstonometrie werden Tonometerköpfchen für die Abplattung der Kornea verwendet. Bei diesen handelt es sich um ein Doppelprisma in der Form eines planen Kegels mit einer Applanationsfläche von 7,35 mm² bei einem Durchmesser von 3,06 mm (2).

Zur Anästhesierung der Kornea wurden Thilorbin® Augentropfen (Alcon Pharma GmbH, Freiburg) verwendet. Neben dem Anästhetikum Oxybuprocain beinhalten diese Augentropfen den Farbstoff Fluorescein, der den Tränenfilm anfärbt.

Das Tonometerköpfchen wurde mit seiner Nullgrad-Markierung an der weißen Linie der dafür vorgesehenen Halterung an der Spaltlampe angebracht. In dieser Position ist das Doppelprisma horizontal ausgerichtet, wodurch das Bild durch die Spaltlampe betrachtet halbiert und horizontal versetzt erscheint. An der Spaltlampe wurde der Beleuchtungsspalt maximal weit geöffnet und ein Kobaltfilter in den Strahlengang geschaltet, der blaues kurzwelliges Licht filtert. Das Auge des sitzenden Probanden wurde seitlich in einem Winkel von ca. 60 Grad beleuchtet. Indem das Tonometerköpfchen vorsichtig gegen die Kornea vorgeschoben wurde, wurde diese zentral abgeplattet und der von der Applanationsfläche verdrängte fluoresceingelbe Tränenfilm als zwei versetzte Halbkreise sichtbar. An der Stellschraube der Spaltlampe wurde der Druck, mit dem die Hornhaut applaniert wird, eingestellt. Der richtige Applanationsdruck ist dann erreicht, wenn die Halbkreise sich an ihren Innenrändern berühren. Der intraokulare Druck wurde in mmHg an der Stellschraube abgelesen.

2.3.6. Ultraschallpachymetrie

Die mittlere zentrale Hornhautdicke der Probanden wurde mit dem Ultraschallpachymeter IOPac™ Advanced (Fa. Heidelberg Engineering, Heidelberg) bestimmt. Der Proband wurde angewiesen die Augen fixiert auf einen Punkt zu richten. Die Messsonde wurde zentral auf die Kornea aufgesetzt. Sobald die Ultraschallsonde die Kornea berührte, maß das Gerät 8 Mal in Folge und zeigte den Mittelwert der Messungen in Mikrometer an. Die gemessene mittlere zentrale Hornhautdicke wurde für die Korrektur des gemessenen intraokulären Drucks verwendet. Eine Hornhaut, die dünner als gewöhnlich ist, täuscht einen niedrigeren Augeninnendruck, eine Hornhaut die hingegen dicker ist, einen zu hohen Augeninnendruck bei der Applanationstonometrie vor (55). Der Korrekturwert wurde mit Hilfe der linearen pachymetrischen Korrekturtabelle nach von Eicken et al. (56) ermittelt. Sie basiert auf Untersuchungen von Kohlhaas et al., die die Hornhautdurchschnittsdicke bei 550 µm fanden und bei einer Abweichung von dieser um 25 µm einen Messfehler von 1 mmHg bei der Augeninnendruckmessung bestimmten (55).

2.3.7. Funduskopie

Die indirekte Funduskopie wurde mit einer 78 Dioptrien Lupe bei medikamentös mydriatischer Pupille vorgenommen. Beurteilt wurden die Beschaffenheit der Papille, die Papillenexkavation, das Papillenstadium nach Jonas, die Makula, die Gefäße sowie die zentrale Netzhautanlage. Die venösen Gefäße am Fundus wurden bezüglich eines spontan vorhandenen Venenpulses begutachtet und das Vorliegen einer Spontanpulsation notiert.

2.3.8. Kontaktglas-Dynamometrie nach Löw

Für die Messung des Blutdrucks an der retinalen Zentralarterie und -vene verwendeten wir das Kontaktglas-Dynamometer der Firma Meditron GmbH, Völklingen. Das Kontaktglas-Dynamometer besteht aus einem Goldmann-Dreispiegelglas, das mit einem Drucksensor versehen ist. An der Rückseite des Dreispiegelglases befindet sich ein schwarzer Haltering aus Kunststoff, in den der Drucksensor integriert wurde. Mit Hilfe von Dehnungsmessstreifen, die an der Verbindungsstelle von Haltering und Kontaktglas liegen, kann der Anpressdruck, mit dem das Kontaktglas gegen den Bulbus gedrückt wird, gemessen werden (8).



**Abb. 2: Kontaktglas-Dynamometer, Firma Meditron GmbH, Völklingen.
Goldmann-Dreispiegelglas mit Drucksensor im Haltering.**

Aus der Kraft, die aufgewendet werden muss, um in den Arterien oder Venen an der Sehnervenscheibe Gefäßpulsationen auszulösen, kann auf die Erhöhung des

Augeninnendrucks geschlossen werden. Nach dem dritten Newtonschen Gesetz stellen die Kräfte zwischen zwei wechselwirkenden Körpern immer ein Kraft-Gegenkraft-Paar dar. Wobei Kraft und Gegenkraft gleich groß sind, aber in entgegengesetzte Richtungen wirken (57). Es handelt sich in diesem Fall um die Kraft, mit der das Kontaktglas gegen den Augapfel gedrückt wird. Ihr steht eine ebenso große Kraft gegenüber: der Druck, der sich im Augeninneren aufbaut und dem Kontaktglas entgegen wirkt.

Die Steigerung des Augeninnendrucks ist von der Kraft und der Auflagefläche des Kontaktglases abhängig: $\text{Druck} = \text{Kraft} / \text{Fläche}$.

Die Kontaktfläche des Dreispiegelglases hat einen Durchmesser von 18mm, woraus sich eine Fläche von ca. 250 mm^2 ergibt. Für eine Augeninnendrucksteigerung um 1 mmHg bei dieser Fläche müssen 0,033 N aufgewendet werden. Bei der praktischen Durchführung zeigte sich hingegen, dass 0,04 N dafür nötig waren (58).

Der Drucksensor des Kontaktglas-Dynamometers ist über ein Kabel mit einer Auswerteeinheit verbunden, welche auf einem LCD-Display kontinuierlich die Steigerung des Augeninnendrucks entsprechend der ausgeübten Kraft auf den Bulbus anzeigt, wobei eine Einheit einem Millimeter Quecksilbersäule (mmHg) entspricht (58). Mittels einer Hold-Taste kann der angezeigte Wert auf dem Display festgehalten werden. Dies ist ebenfalls mit einem Fußschalter, der mit der Zentraleinheit verbunden werden kann, möglich.

Das Kontaktglas-Dynamometer wurde vor jeder Messung kalibriert. Dafür wurde das Gerät angeschaltet, das Kontaktglas in sagittaler Richtung gehalten, wie es am Probanden verwendet wird, und die „On“-Taste erneut betätigt, so dass in dieser Position $0,0 (\pm 0,2)$ relative Einheiten auf dem Display angezeigt wurden. In die Vertiefung des Kontaktglases wurde das Kontaktgel Methocel® 2% (OmniVision® GmbH, Puchheim) aufgetragen. Der Proband saß, mit dem Kinn an der Kinnstütze und die Stirn gegen die Halterung lehnd, auf dem Untersuchungsstuhl. Während der Proband nach oben blickte und der Untersucher das Unterlid nach unten zog, wurde das Kontaktglas vorsichtig zwischen die Lidspalte auf die anästhesierte Kornea des Auges aufgesetzt. Der Untersucher betrachtete den Augenhintergrund durch die 12-fache Vergrößerung des binokularen Mikroskops der Spaltlampe und durch das Dreispiegelglas des Kontaktglas-Dynamometers. Er stellte sich den

Fundus des Probanden so ein, dass die Papille mit den Gefäßen optimal zu beobachten waren. Der Proband wurde angehalten während der Kontaktglas-Dynamometrie die entsprechende Blickrichtung beizubehalten und beide Augen geöffnet zu halten.

Sofern keine Spontanpulsationen der Zentralvene und ihrer Äste in der vorherigen Funduskopie erkennbar waren und durch Druck auf den Bulbus sich Pulsationen auslösen ließen, wurde primär der Venenpulsationsdruck (VPP) gemessen.

Der Untersucher erhöhte manuell den Druck mit dem Kontaktglas-Dynamometer in sagittaler Richtung auf den Bulbus bis Pulsationen oder ein einmaliger Kollaps in der Zentralvene oder einer ihrer Äste zu verzeichnen waren. Sobald Pulsationen sichtbar waren, wurde der angezeigte Wert auf dem Display des Geräts vom Assistenten festgehalten und im Protokoll notiert. Ohne das Kontaktglas-Dynamometer vom Auge zu entfernen, wurde diese Messung weitere viermal unter Beobachtung der Zentralvene oder eines ihrer Äste durchgeführt.

Anschließend wurde der diastolische Druck an der Zentralarterie gemessen. Während der Untersucher die Zentralarterie mit ihren Ästen beobachtete, steigerte er wieder langsam den Anpressdruck des Kontaktglases auf den Augapfel. Wird der diastolische Gefäßdruck der zufließenden Arteria ophthalmica im Augeninneren erreicht, kann das Blut nicht mehr gleichmäßig durch die Zentralarterie fließen, sondern pulsatil. Beim Sichtbarwerden von Gefäßpulsationen eines arteriellen Astes stoppte der Untersucher mit der Druckerhöhung. Der Druckwert wurde notiert und der Bulbus durch Wegnahme des Anpressdrucks, aber Belassen des Kontaktglases auf dem Auge, entlastet. Weitere viermal wurde der Druck stetig bis zum Erreichen der Pulsationen erhöht und die Werte ins Protokoll übernommen.

Es schloss sich die Bestimmung des systolischen Drucks an der Zentralarterie an. Dafür wurde kontinuierlich der Druck auf den Bulbus gesteigert, bis die zuvor sichtbaren Gefäßpulsationen eines arteriellen Astes sistierten. Der Augeninnendruck überschreitet in diesem Moment den systolischen Gefäßdruck der Arteria ophthalmica, der Bluteinstrom und die zuvor sichtbaren Pulsationen stoppen. Auch diese Messung wurde viermal wiederholt, wobei zwischen den Einzelmessungen der Augapfel durch Wegnahme des Drucks wieder entlastet und die Durchblutung gewährleistet wurde.

Nach den Messungen wurde der Proband angehalten die Augen zuzukneifen, wodurch sich das Kontaktglas von der Kornea löste.

Nach jedem Probanden wurde das Kontaktglas-Dynamometer vom Kontaktgel gesäubert und desinfiziert.



**Abb. 3: Kontaktglas-Dynamometer, Firma Meditron GmbH, Völklingen.
Goldmann-Dreispiegelglas mit Zentraleinheit abgebildet.**

2.4. Untersuchungsablauf

Alle Untersuchungen wurden stets erst am rechten, dann am linken Auge durchgeführt. Begonnen wurde mit der Bestimmung der objektiven Refraktion. Daraufhin wurde der monokulare Visus des Probanden ermittelt und der Vorderabschnitt der Augen mit der Spaltlampe untersucht.

Anschließend wurde zur Betäubung der Kornea je ein Tropfen Thilorbin® Augentropfen (Alcon Pharma GmbH, Freiburg) in den Bindehautsack appliziert. Bei anästhesierter Kornea wurde erst die mittlere zentrale Hornhautdicke bestimmt und direkt im Anschluss der intraokulare Druck gemessen.

Die folgenden Untersuchungen des Fundus sollten in Mydriasis erfolgen. Dafür wurde je ein Tropfen Mydriatikum in den Bindehautsack gegeben. Es wurden Mydriasis Misch-Augentropfen, hergestellt durch die Apotheke des UK S-H Kiel, verwendet (Zusammensetzung: 0,25g Phenylephrin-HCl, 0,05g Tropicamid, 0,01g Na.EDTA, 0,002g Benzalkoniumchlorid in 10ml wässriger Lösung).

Die Zeit bis zum Erreichen der Mydriasis wurde genutzt, um den Probanden mit dem standardisierten Fragebogen bezüglich internistischer Erkrankungen und Augen-erkrankungen zu befragen.

Bei weiter Pupille wurde der Fundus der Augen mittels indirekter Ophthalmoskopie untersucht. Vor der Kontaktglas-Dynamometrie wurde die Kornea erneut durch eine Tropfanästhesie betäubt. Verwendet wurde an dieser Stelle Ophthocain®-N Augentropfen (Dr. Winzer Pharma GmbH, Berlin).

Die erste Erhebung des systemischen Blutdrucks und des Pulses erfolgte direkt vor der Kontaktglas-Dynamometrie erst am rechten, dann am linken Oberarm.

Währenddessen wurde das Kontaktglas-Dynamometer kalibriert und das Kontaktgel Methocel® 2% (OmniVision GmbH, Puchheim) in die Vertiefung des Kontaktglases aufgetragen.

Es wurde wie oben beschrieben gegebenenfalls der VPP gemessen, daraufhin der diastolische und der systolische Druck der Arteria ophthalmica.

Im Anschluss an die Untersuchung mit dem Kontaktglas-Dynamometer, wurden erneut der systemische Blutdruck und der Puls am rechten sowie am linken Arm gemessen.

2.5. Datenerhebung und Dokumentation

Die Probandenrekrutierung und Untersuchung fand im Zeitraum von November 2008 bis einschließlich September 2010 statt.

Die Untersuchungen wurden vorab durch die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel genehmigt und nach Aufklärung der Probanden und deren schriftlicher Einverständniserklärung vorgenommen. Die Studie wurde nach den Richtlinien der Deklaration von Helsinki durchgeführt.

Alle Probanden wurden durch einen Oberarzt der Universitätsaugenklinik Kiel untersucht, der in der Methode der Kontaktglas-Dynamometrie geübt war.

Die erhobenen Probandendaten und Messwerte wurden in einer Dokumentationsvorlage notiert und später in einer Tabelle von Microsoft Office Excel zusammengefasst.

2.6. Auswertung und statistische Berechnung

Zunächst wurde der Augeninnendruck mit dem pachymetrischen Korrekturwert addiert, der mithilfe der mittleren zentralen Hornhautdicke ermittelt wurde. Wir verwendeten dafür die unten stehende Korrekturtabelle (56).

Lineare pachymetrische Korrekturtabelle			
Hornhautdicke [μm]	PKW	Hornhautdicke [μm]	PKW
276-300	+10	550-574	0
301-325	+ 9	575-599	- 1
326-350	+ 8	600-624	- 2
351-375	+ 7	625-649	- 3
376-400	+ 6	650-674	- 4
401-425	+ 5	675-699	- 5
426-450	+ 4	700-724	- 6
451-475	+ 3	725-749	- 7
476-500	+ 2	750-774	- 8
501-525	+ 1	775-799	- 9
526-549	0	800-824	-10

Tab. 1: Lineare pachymetrische Korrekturtabelle in Abhängigkeit von der zentralen mittleren Hornhautdicke. PKW: pachymetrischer Korrekturwert. Erstellt nach von Eicken et al. (56)

Die mit dem Kontaktglas-Dynamometer gemessenen Druckwerte wurden daraufhin mit dem korrigierten Augeninnendruck des Probanden addiert. Die Summen ergeben die gesuchten Gefäßdrücke. Die so ermittelten Werte wurden für alle weiteren Berechnungen verwendet. Alle Rechnungen wurden für das rechte und linke Auge separat durchgeführt.

Neben der Gesamtgruppe der eingeschlossenen Probanden wurden auch Untergruppen untersucht. Die Gesamtgruppe wurde dafür nach dem Alter in drei Gruppen aufgeteilt.

	Altersgruppe 1	Altersgruppe 2	Altersgruppe 3
Altersgrenzen in Jahren	20 - <40	40 - <60	60 - 80

Tab. 2: Einteilung in Altersgruppen.

Außerdem wurden die Probanden nach dem Mittelwert des systemischen Blutdrucks in vier Blutdruckgruppen, genannt Hypertoniegruppe 0 bis 3 (HTN0-3), eingeteilt. HTN1, HTN2 und HTN3 wurden für Gegenüberstellungen mit der Gruppe HTN0 als

HTN1-3 zusammengefasst. Für die Einteilung wurden die geltenden Grenzwerte der Hypertonie-Schweregrade 1 bis 3 von der Deutschen Hochdruckliga e.V. und der Europäischen Gesellschaften für Hypertonie und Kardiologie übernommen (12). Fielen der systolische und der diastolische Blutdruckwert in unterschiedliche Gruppen, wurde der Proband in die höhere der beiden Gruppen eingeteilt.

		HTN0	HTN1	HTN2	HTN3	HTN1-3
Grenzwerte in mmHg	systolisch	<140	≥140<160	≥160<180	≥180	≥140
		und	und/oder	und/oder	und/oder	und/oder
	diastolisch	<90	≥90<100	≥100<110	≥110	≥90

Tab. 3: Einteilung in Hypertoniegruppen (HTN) mit Grenzwerten.

Bei den Hypertoniegruppen handelt es sich nicht um eine Hypertonie im Sinne einer Diagnose, sondern sie sollen die Blutdruckhöhe der Probanden zum Zeitpunkt der Messung widerspiegeln und eine vergleichende Untersuchung ermöglichen.

Die Druckwerte wurden mit dem Test nach Lilliefors auf Normalverteilung geprüft. Für Gesamtgruppe und Untergruppen wurde Median, Minimum, Maximum, unteres und oberes Quartil für den VPP und den arteriellen systolischen und diastolischen Druck berechnet.

Zur Bestimmung der Messwiederholungsgenauigkeit wurde der Variationskoeffizient berechnet.

Für Korrelationsuntersuchungen wurde der Spearman Rangkorrelationskoeffizient bestimmt.

Die Überprüfung einer signifikanten Differenz bzw. Übereinstimmung zweier Gruppen erfolgte mittels Wilcoxon-Rangsummentest. Zum Vergleich mehrerer Gruppen wurde ein Kruskal-Wallis-Test verwendet.

Die Häufigkeit einer spontanen und einer induzierbaren Venenpulsation wurde als absolute und prozentuale Häufigkeit berechnet. Die Verteilung des Auftretens einer spontanen Venenpulsation in zwei Gruppen wurde mit dem Chi-Quadrat-Vierfeldertest untersucht.

Bei Signifikanzprüfungen wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit Alpha mit 5% vorgegeben, so dass $p < 0,05$ als statistisch signifikant angesehen wurde.

Für die statistischen Berechnungen wurde das Programm Statistica 7.1 (StatSoft Inc., 2005, Tulsa, USA) verwendet.

3. Ergebnisse

3.1. Beschreibung der Probanden

Insgesamt wurden 170 Augen von 85 Probanden untersucht, davon 36 männliche (42,4%) und 49 weibliche (57,7%) mit einem mittleren Alter von $41,4 \pm 17,7$ Jahren. Der Body-Maß-Index (BMI, berechnet aus Körpergewicht in Kilogramm dividiert durch die Körpergröße in Metern zum Quadrat) betrug im Mittel $23,8 \pm 3,6$. Die untersuchte Gruppe hatte an beiden Augen eine mittlere Sehschärfe von $1,0 \pm 0,2$ bei einem mittleren sphärischen Äquivalent ($S\ddot{A}$ =sphärisches Glas + $\frac{1}{2}$ zylindrisches Glas) von $-0,5 \pm 1,96$ Dioptrien am rechten und $-0,5 \pm 1,79$ Dioptrien am linken Auge.

Vier Probanden (8 Augen) mussten von der Auswertung ausgeschlossen werden. Ein Proband wies an beiden Augen eine Myopie mit Refraktionswerten von mehr als -5 Dioptrien auf. Die anderen drei Probanden gaben eine kardiovaskuläre Erkrankung in der Anamnese an, die zum Ausschluss führte.

3.2. Normalverteilung

Die Prüfung auf Normalverteilung der berechneten Druckwerte ergab ein uneinheitliches Ergebnis. Für den diastolischen Ophthalmicadruk an beiden Augen und den systolischen am rechten Auge konnte mit $p > 0,05$ im Test nach Lilliefors eine Normalverteilung angenommen werden. Für den systolischen Ophthalmicadruk links konnte mit $p < 0,05$ hingegen von keiner Normalverteilung ausgegangen werden. Wurden alle venösen Druckwerte zusammengenommen auf Normalverteilung geprüft, konnte man für das rechte sowie das linke Auge bei $p < 0,05$ von keiner Normalverteilung ausgehen. Das Histogramm der Druckwerte zeigt eine 2-gipflige Verteilung (Abb.4).

Ließ man hingegen die Druckwerte der Probanden unbeachtet, bei denen keine Kontaktglas-Dynamometrie zur venösen Druckmessung erfolgte, sondern der Augeninnendruck dem VPP gleichgesetzt wurde, da eine Spontanpulsation der Vene vorlag, zeigt sich ein anderes Ergebnis. Für die mit dem Kontaktglas-Dynamometer gemessenen venösen Druckwerte, isoliert betrachtet, ergab sich $p > 0,05$ für das rechte und linke Auge. Eine Normalverteilung konnte angenommen werden (Abb.5).

Da somit nicht für alle Variablen eine Normalverteilung vorlag, wurde im Folgenden einheitlich die unter 2.6 beschriebenen nichtparametrischen statistischen Tests verwendet.

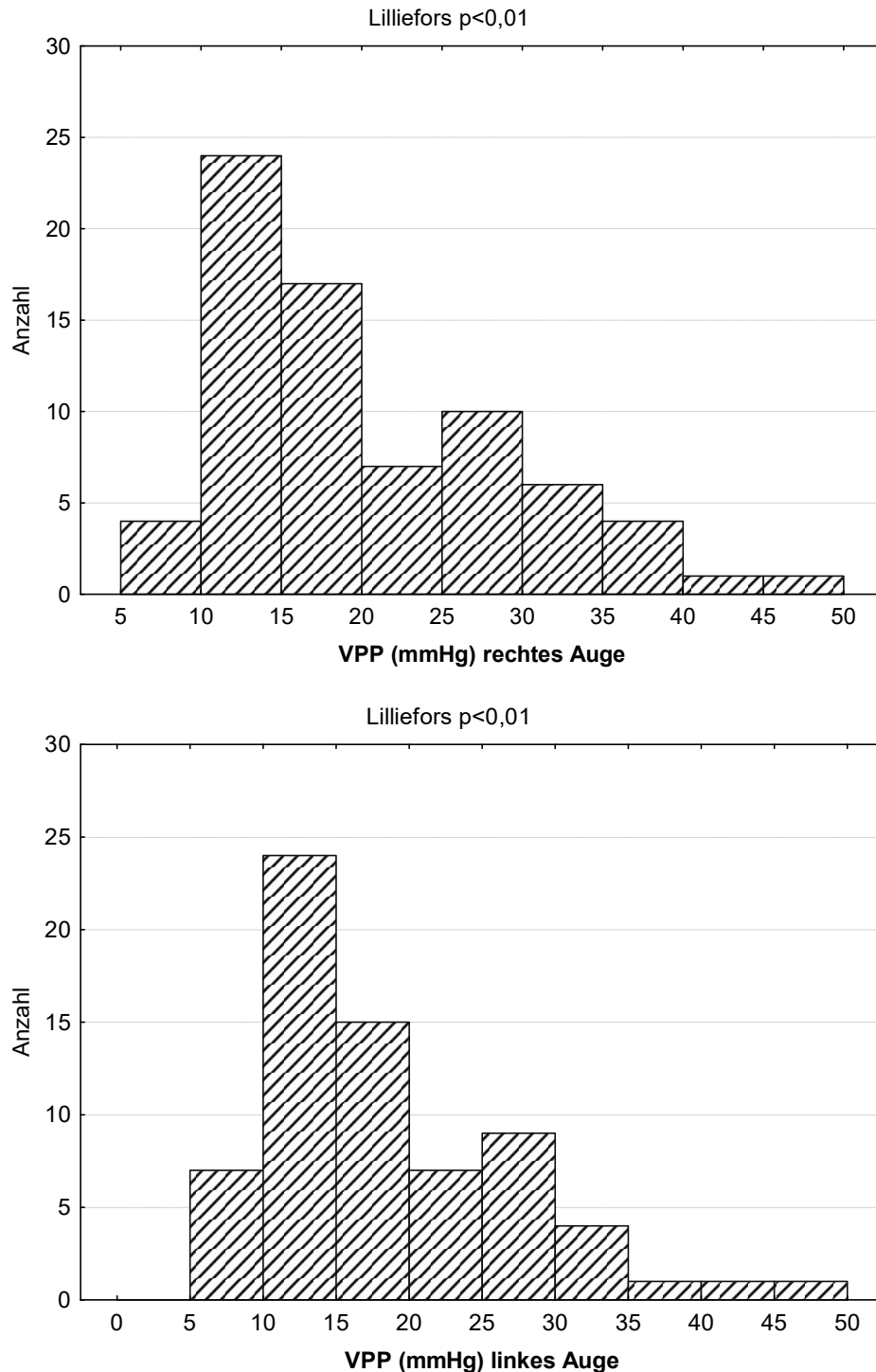


Abb. 4: Histogramm des VPP (Venenpulsationsdruck). Im Test nach Lilliefors kann von keiner Normalverteilung ausgegangen werden. Die Verteilung der Druckwerte stellt sich 2-gipflig dar. Oben: rechtes Auge mit n=74 , unten: linkes Auge mit n=69.

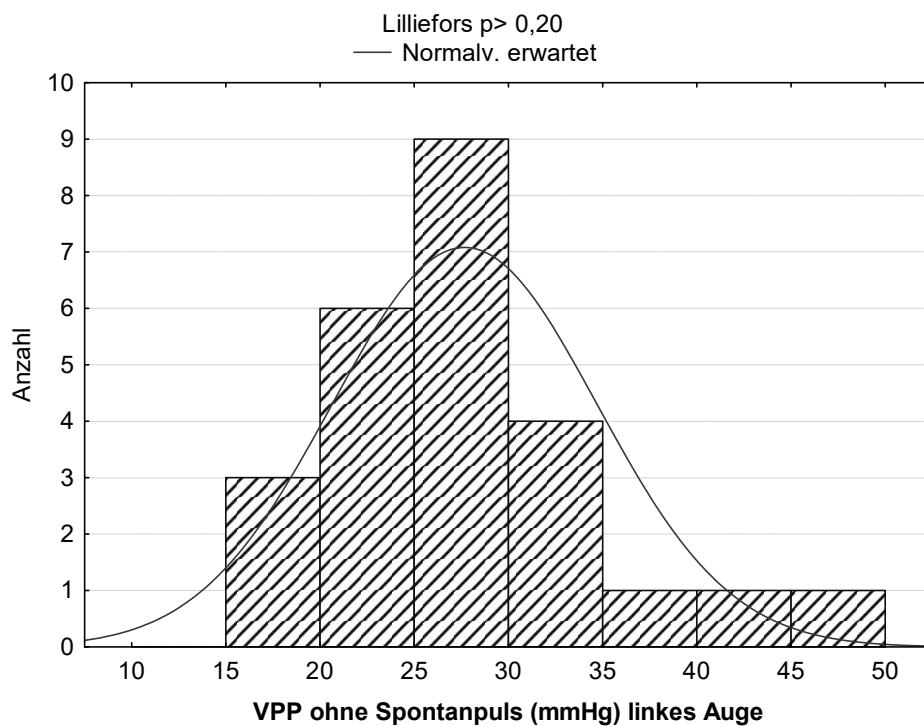
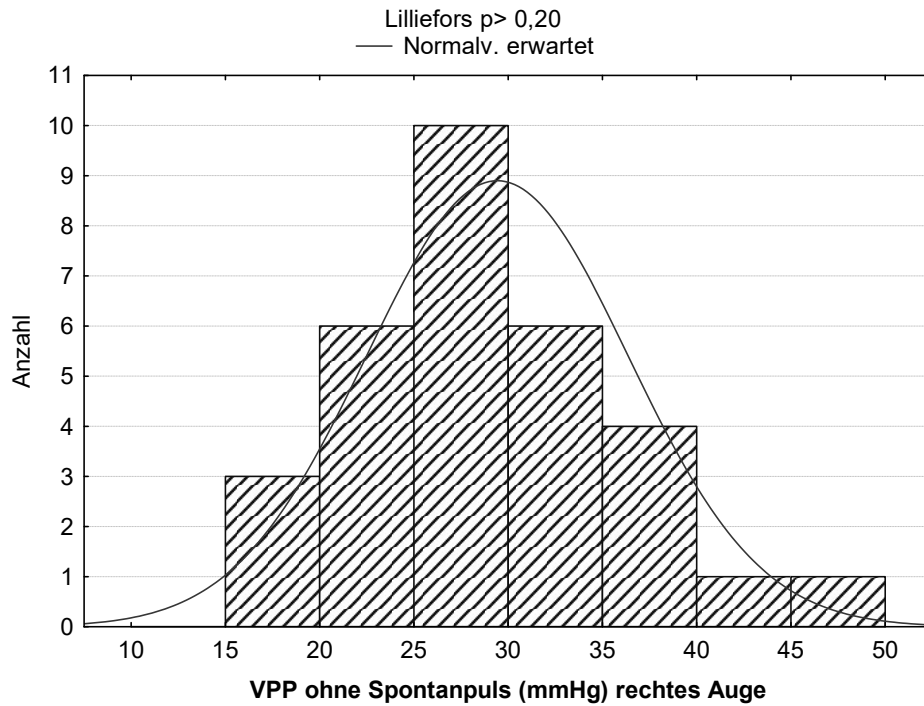


Abb. 5: Histogramm mit Normalverteilungskurve des VPP (Venenpulsationsdruck) gemessen mit dem Kontaktglas-Dynamometer bei Nichtvorliegen einer venösen Spontanpulsation. (Untergruppe von Abb. 4.) Im Test nach Lilliefors kann von einer Normalverteilung ausgegangen werden. Oben: rechtes Auge mit $n=31$, unten: linkes Auge mit $n=25$.

3.3. Systemischer Blutdruck

3.3.1. Unterschiede vor und nach Kontaktglas-Dynamometrie

Systemischer Blutdruck	N	vor KGD	nach KGD	Differenz des Median (p-Wert)
Diastolisch re. (mmHg) Median Q1/Q3	80	82,0 77,0 / 90,0	80,5 74,0 / 90,5	1,5
Diastolisch li. (mmHg) Median Q1/Q3	79	81,0 75,0 / 90,0	82,0 75,0 / 91,0	-1,0
Systolisch re. (mmHg) Median Q1/Q3	80	133,0 123,5 / 146,0	131,0 122,0 / 144,5	2,0
Systolisch li. (mmHg) Median Q1/Q3	79	131,0 121,0 / 148,0	128,0 118,0 / 143,0	3,0 (p<0,005)

Tab. 4: Systemischer Blutdruck am rechten Arm (re.) und linken Arm (li.) gemessen, vor und nach der Kontaktglas-Dynamometrie (KGD) sowie deren Differenz. Unteres Quartil (Q1), oberes Quartil (Q3), N=Anzahl; Bei signifikanter Differenz im Wilcoxon-Rangsummentest ist das Ergebnis fett gedruckt und der P-Wert angegeben.

Tabelle 4 stellt den Median des systemischen Blutdrucks vor und nach der Kontaktglas-Dynamometrie gegenüber und zeigt die jeweilige Differenz. Der systemische diastolische und systolische Blutdruck war am rechten und linken Arm vor der Kontaktglas-Dynamometrie meist höher als danach.

Die systemischen Blutdruckwerte vor und nach Kontaktglas-Dynamometrie wurden auf eine signifikante Differenz mittels Wilcoxon-Test überprüft.

Für den systolischen systemischen Blutdruck am linken Arm wurde eine statistisch signifikante Differenz zwischen den Messungen vor bzw. nach der Kontaktglas-Dynamometrie gefunden. Für die anderen Messungen ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterschiede.

3.3.2. Unterschiede rechts – links

Zwischen dem Median der diastolischen Blutdruckmessungen am Arm bestehen nur geringe Unterschiede zwischen den Messungen rechts und links. Für die systolischen Blutdruckmessungen ist der Unterschied größer. Für den Median der systolischen Blutdruckmessungen nach der Kontaktglas-Dynamometrie ergab sich eine mediane Differenz von 4,0 mmHg zwischen rechtem und linkem Arm. Nach Wilcoxon-Rangsummentest ist dies eine statistisch signifikante Differenz mit $p < 0,05$. Die anderen Differenzen zwischen rechtem und linkem Arm waren nicht signifikant.

Systemischer Blutdruck	N	re. Arm	li. Arm	Differenz des Median (p-Wert)
Diastolisch vor KGD (mmHg) Median Q1/Q3	80	82,0 77,0 / 90,0	81,0 75,0 / 90,0	1,0
Diastolisch nach KGD (mmHg) Median Q1/Q3	79	81,0 74,0 / 91,0	82,0 75,0 / 91,0	-1,0
Systolisch vor KGD (mmHg) Median Q1/Q3	80	133,0 123,5 / 146,0	130,0 121,0 / 147,0	3,0
Systolisch nach KGD (mmHg) Median Q1/Q3	79	132,0 122,0 / 145,0	128,0 118,0 / 143,0	4,0 (p<0,05)

Tab. 5: Systemischer Blutdruck vor und nach der Kontaktglas-Dynamometrie (KGD) am rechten Arm (re.) und linken Arm (li.) sowie deren Differenz. Unteres Quartil (Q1), oberes Quartil (Q3), N=Anzahl; Bei signifikanter Differenz im Wilcoxon-Rangsummentest ist das Ergebnis fett gedruckt und der P-Wert angegeben.

3.3.3. Altersabhängigkeit

In den vorliegenden Daten ist der Median des systemischen Blutdrucks diastolisch mit zunehmender Altersgruppe höher und systolisch in der Altersgruppe 3 höher als in den beiden anderen (siehe Tab. 8).

Die gemessenen systemischen Blutdruckwerte korrelierten alle sowohl diastolisch als auch systolisch mit dem Alter der Probanden mit einem Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten (r_s) zwischen $r_s=0,37$ ($p<0,001$) und $r_s=0,53$ ($p<0,001$).

3.3.4. Korrelation zum BMI

Für die diastolischen und systolischen systemischen Blutdruckmessungen ergab sich eine signifikante Korrelation zum BMI mit einer Rangkorrelation zwischen $r_s=0,38$ ($p<0,001$) und $r_s=0,47$ ($p<0,001$).

3.4. Spontanpuls – Ergebnisse

In der Gesamtgruppe konnte eine venöse Spontanpulsation an 53,8 % der rechten Augen und an 55,0% der linken Augen beobachtet werden. Lag kein Spontanpuls vor, war eine venöse Pulsation an 83,8 % der rechten und 73,5 % der linken Augen durch Druck auf den Bulbus induzierbar.

Die absoluten und relativen Häufigkeiten für die Gesamtgruppe und die Altersgruppen gibt Tabelle 6 wieder.

Venöse Pulsationen und induzierbare venöse Pulsationen scheinen im höheren Lebensalter an beiden Augen häufiger vorzukommen.

Im Kruskal-Wallis-Test konnte allerdings kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Häufigkeit eines Spontanpulses oder einer induzierbaren venösen Pulsation zwischen den Altersgruppen festgestellt werden.

		Gesamtgr.	Altersgr. 1 20-<40 J.	Altersgr. 2 40-<60 J.	Altersgr. 3 60-80 J.
rechtes Auge	Spontanpuls Anzahl /n relativ (%)	43 /80 53,8	21 /41 51,2	12 /23 52,2	10 /16 62,5
	induzierter Puls Anzahl /n relativ (%)	31 /37 83,8	14 /20 70,0	11 /11 100	6 /6 100
linkes Auge	Spontanpuls Anzahl /n relativ (%)	44 /80 55,0	20 /41 48,8	12 /23 52,2	12 /16 75,0
	induzierter Puls Anzahl /n relativ (%)	25 /34 73,5	13 /20 65,0	8 /10 80,0	4 /4 100

Tab. 6: Absolute und relative Häufigkeiten einer spontanen und induzierbaren Venenpulsation in der Gesamtgruppe und den Altersgruppen.

Ein Spontanpuls war bei Probanden mit erhöht gemessenem systemischem Blutdruck (HTN1-3) häufiger zu verzeichnen als bei Probanden mit systemischem Blutdruck im Normalbereich. Für das linke Auge ergab sich im Chi-Quadrat-Vierfeldertest ein signifikanter Unterschied bezüglich des Vorhandenseins eines Spontanpulses innerhalb dieser Gruppen mit $p < 0,05$. Für das rechte Auge konnte kein signifikanter Unterschied für das Auftreten einer Spontanpulsation nachgewiesen werden.

Die Häufigkeit einer Spontanpulsation stieg an beiden Augen in den Gruppen mit höherem Blutdruck zunehmend an (HTN0<HTN1<HTN2). Für das linke Auge konnte eine signifikante Differenz im Kruskal-Wallis-Test bezüglich der Häufigkeit einer Spontanpulsation innerhalb der 3 Gruppen festgestellt werden ($p < 0,05$). Am rechten Auge war das Auftreten einer Spontanpulsation nicht signifikant verschieden in den HTN-Gruppen.

Die Häufigkeit einer induzierbaren venösen Pulsation am rechten Auge stieg ebenfalls in den Gruppen mit höherem Blutdruck an. Am linken Auge war ein induzierbarer venöser Puls häufiger bei Probanden mit systemischem Blutdruck im Normalbereich gegenüber den Probanden mit erhöht gemessenem Blutdruck (HTN1-3) und gegenüber der Probandengruppe mit leicht erhöhtem Blutdruck (HTN1). Die Häufigkeiten einer induzierbaren venösen Pulsation waren nicht signifikant verschieden.

		HTN0	HTN1	HTN2	HTN1-3
rechtes Auge	Spontanpuls Anzahl /n relativ (%)	25 /52 48,1	10 /18 55,6	7 /9 77,8	18/28 64,3
	induzierter Puls Anzahl /n relativ (%)	22 /27 81,5	7 /8 87,5	2 /2 100	9 /10 90,0
linkes Auge	Spontanpuls Anzahl /n relativ (%)	24 /52 46,2	11 /18 61,1	8 /9 88,9	20 /28 71,4
	induzierter Puls Anzahl /n relativ (%)	20 /27 74,1	4 /6 66,7	1 /1 100	5 /7 71,4

Tab. 7: Absolute und relative Häufigkeiten einer spontanen und induzierbaren Venenpulsation in den Blutdruckgruppen.

3.5. Kontaktglas-Dynamometrie – Ergebnisse

Tabelle 8 zeigt eine Übersicht über den systemischen Blutdruck und die erhobenen Ergebnisse mit dem Kontaktglas-Dynamometer für die Gesamtgruppe und in Abhängigkeit vom Alter.

Angegeben wurde der Median, der Minimal- und Maximalwert und das obere und untere Quartil für den VPP und den diastolischen und systolischen Ophthalmica- druck.

		Gesamt	Altersgr. 1 20-<40 Jahre	Altersgr. 2 40-<60 Jahre	Altersgr. 3 60-80 Jahre
Anzahl (n)		81	42	23	16
Geschlecht m/w		33/48	17/25	9/14	7/9
mittleres Alter ± Stbw		41,0 ± 17,3	25,9 ± 5,1	50,6 ± 5,6	66,4 ± 4,6
systemischer Blutdruck (mmHg)					
Median Systole		130,1	127,0	126,5	146,0
Median Diastole		81,1	78,3	82,0	90,9
rechtes Auge	VPP (mmHg)				
	Median	17,6	17,0	18,0	17,0
	Min / Max	9,0 / 46,0	10,0 / 46,0	9,0 / 43,9	9,0 / 31,2
	Q1 / Q3	15,0 / 27,9	15,0 / 29,6	15,0 / 28,5	15,0 / 23,1
	diastol. Druck (mmHg)				
	Median	58,5	61,4	58,6	51,4
	Min / Max	32,6 / 103,7	38,6 / 103,7	32,6 / 88,2	43,2 / 76,5
	Q1 / Q3	51,6 / 67,0	55,1 / 70,0	50,9 / 65,7	46,7 / 58,0
	systol. Druck (mmHg)				
Median	88,9	89,5	89,9	85,7	
Min / Max	56,9 / 142,3	56,9 / 142,3	57,0 / 125,4	71,3 / 112,6	
Q1 / Q3	79,7 / 102,1	80,4 / 103,6	80,9 / 100,3	77,2 / 101,6	
linkes Auge	VPP (mmHg)				
	Median	17,0	17,0	17,0	15,0
	Min / Max	8,0 / 47,4	8,0 / 47,4	9,0 / 28,5	9,0 / 28,6
	Q1 / Q3	14,0 / 23,4	14,0 / 28,5	14,5 / 22,1	14,0 / 20,7
	diastol. Druck (mmHg)				
	Median	66,5	66,5	63,8	67,9
	Min / Max	32,3 / 101,7	32,3 / 101,3	47,3 / 101,7	50,3 / 85,9
	Q1 / Q3	57,4 / 74,7	59,9 / 76,0	54,2 / 69,4	57,5 / 75,2
	systol. Druck (mmHg)				
Median	98,1	96,5	100,9	99,4	
Min / Max	67,2 / 164,4	67,2 / 156,3	69,5 / 161,7	77,8 / 164,4	
Q1 / Q3	86,7 / 110,6	86,4 / 110,6	82,6 / 114,6	87,8 / 108,0	

Tab. 8: Zusammenfassung der erhobenen Werte für die Gesamtgruppe und die Altersgruppen. Standardabweichung (Stbw), Minimum (Min), Maximum (Max), unteres Quartil (Q1), oberes Quartil (Q3), Venenpulsationsdruck (VPP).

3.5.1. Messwiederholungsgenauigkeit

Als Genauigkeitsmaß der Kontaktglas-Dynamometrie wurde der Variationskoeffizient aus den 5 Messwiederholungen eines Probanden bestimmt.

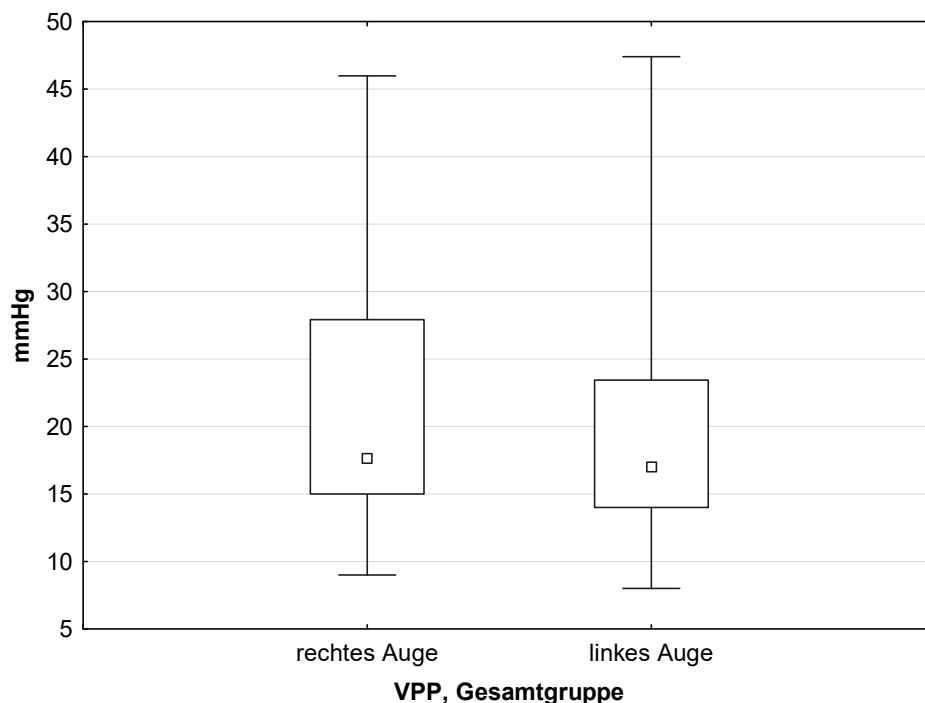
Tabelle 9 gibt den minimalen und maximalen Variationskoeffizienten wieder sowie den Mittelwert der Variationskoeffizienten aller eingeschlossenen Probanden als mittleren Variationskoeffizienten.

Variationskoeffizient		Min. (%)	Max. (%)	Mittelwert (%)
rechtes Auge	VPP	2,5	43,2	13,0
	diastol. Druck	1,8	16,4	7,5
	systol. Druck	0,8	22,3	6,2
linkes Auge	VPP	2,8	46,4	16,4
	diastol. Druck	1,1	24,3	8,1
	systol. Druck	1,4	18,8	6,3

Tab. 9: Variationskoeffizient der Kontaktglas-Dynamometrie-Messungen mit Minimum (Min.), Maximum (Max.) und mittlerem Variationskoeffizienten (Mittelwert) in Prozent. Venenpulsationsdruck (VPP).

3.5.2. Unterschiede rechtes – linkes Auge

Der Median des VPPs war in der Gesamtgruppe und in allen Alters- und HTN-Gruppen am rechten Auge höher als am linken. Der Median des diastolischen und systolischen Ophthalmicadrucks war in allen Gruppen am rechten Auge niedriger als am linken.



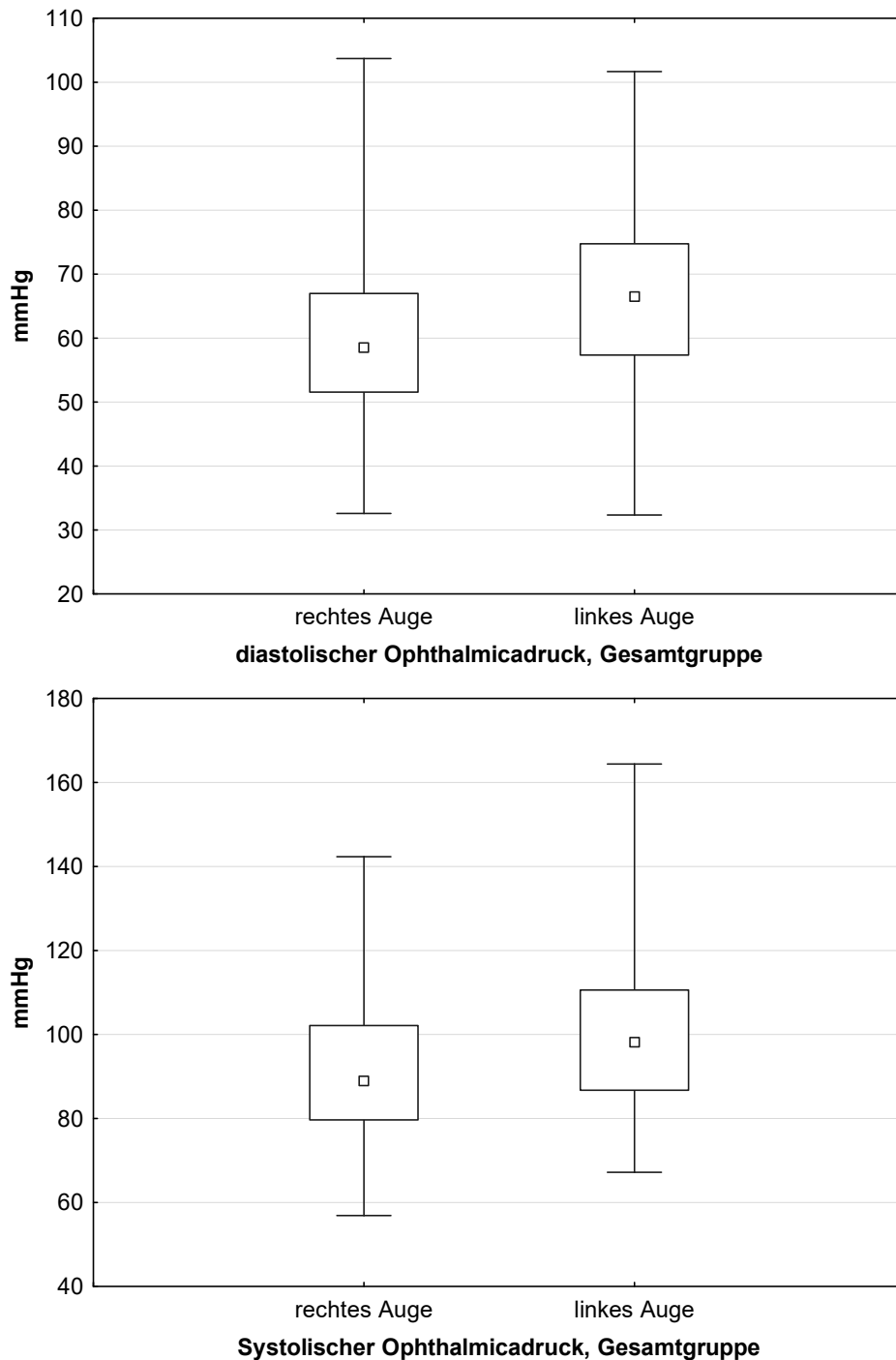


Abb. 6: von oben nach unten: Venenpulsationsdruck (VPP), diastolischer Ophthalmicadruk, systolischer Ophthalmicadruk am rechten Auge gegenüber linkem Auge in der Gesamtgruppe. Kleines mittleres Quadrat=Median, obere und untere Begrenzung der Box=oberes und unteres Quartil, oberer Whisker=Maximum, unterer Whisker=Minimum, Spannweite wird durch die Whisker begrenzt.

Innerhalb der Gesamtgruppe wurden die Druckwerte am rechten und am linken Auge auf eine signifikante Differenz mit dem Wilcoxon-Rangsummentest überprüft. Die Nullhypothese lautete, die Mediane der Druckwerte am rechten und linken Auge unterscheiden sich nicht signifikant. Bei einem Signifikanzniveau von 5% ergibt sich

der approximative kritische Bereich von $\pm 1,96$ aus dem 2,5%- und 97,5%-Quantil einer Standardnormalverteilung.

Im Vergleich des VPPs des rechten und linken Auges zeigte sich keine statistisch signifikante Differenz. Das Ergebnis lag innerhalb des Annahmebereichs der Nullhypothese.

Im Vergleich der diastolischen und systolischen Ophthalmicadrücke von rechtem und linkem Auge ergab sich eine statistisch signifikante Differenz. Die Nullhypothese muss verworfen werden, für den diastolischen Druck mit $p < 0,000005$ und für den systolischen Druck mit $p = 0,000001$.

Die Differenz des diastolischen Ophthalmicadrucks zwischen rechtem und linkem Auge korrelierte darüber hinaus signifikant mit der Differenz aus dem diastolischen systemischen Blutdruck des rechten und linken Arms gemessen vor Kontaktglas-Dynamometrie ($r_s = 0,24$; $p > 0,05$). Die Differenz des systolischen Ophthalmicadrucks zeigte ebenfalls eine signifikante Korrelation zur Differenz des diastolischen systemischen Blutdrucks vor Kontaktglas-Untersuchung ($r_s = 0,31$; $p < 0,01$), als auch zum systolischen systemischen Blutdruck vor Kontaktglas-Dynamometrie ($r_s = 0,23$; $p < 0,05$).

3.5.3. Altersabhängigkeit

Der Median des VPPs innerhalb der Altersgruppen liegt nah beieinander und zeigt keine Gesetzmäßigkeit zueinander (Abb. 7).

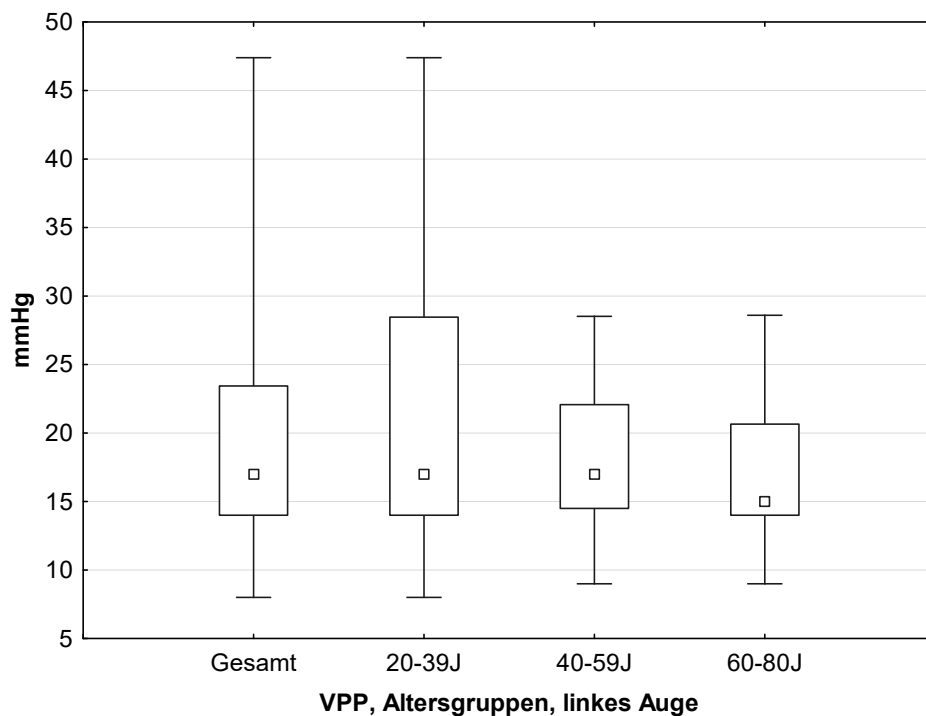
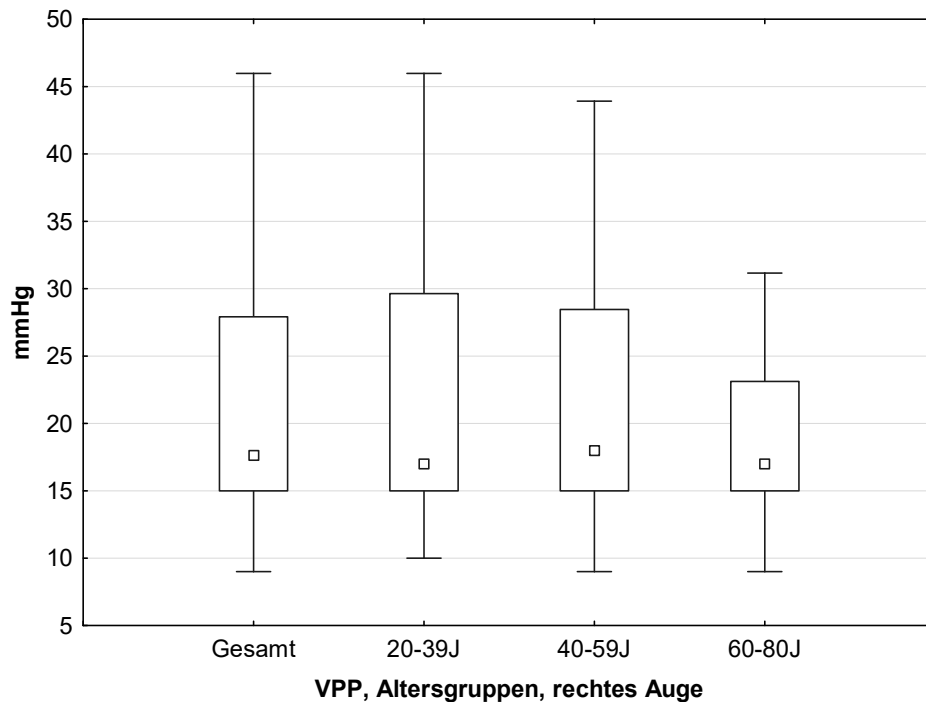
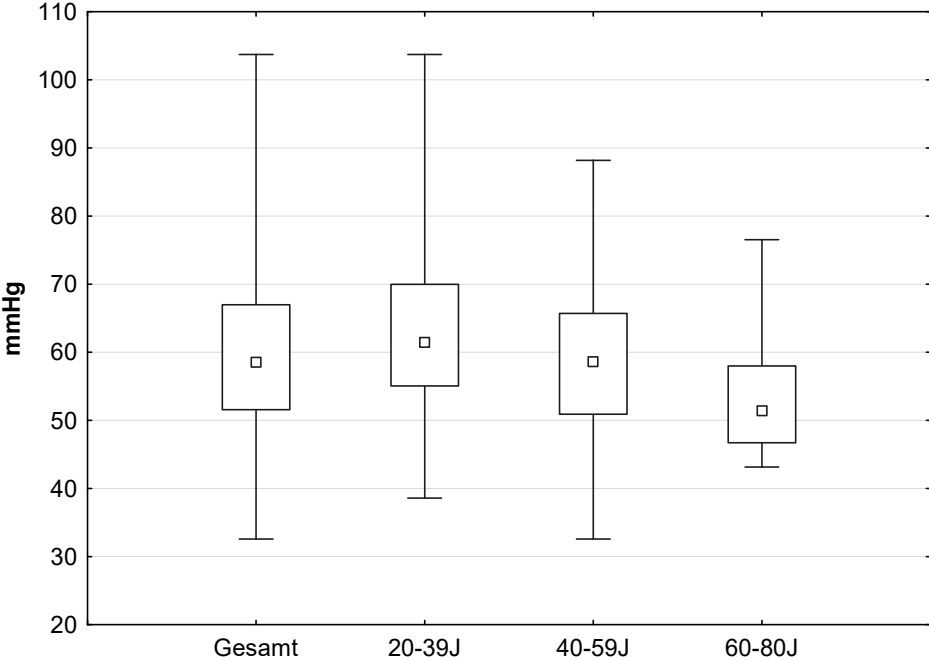


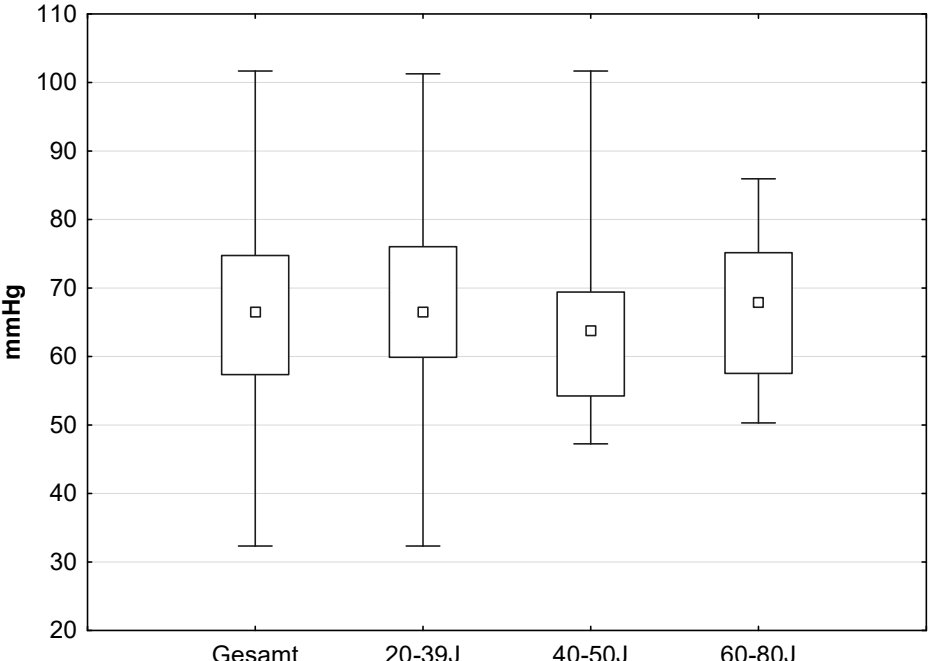
Abb. 7: Darstellung des Venenpulsationsdrucks (VPP) in der Gesamtgruppe und in den Altersgruppen. Oben: rechtes Auge, unten: linkes Auge. Kleines mittleres Quadrat=Median, obere und untere Begrenzung der Box=oberes und unteres Quartil, oberer Whisker=Maximum, unterer Whisker=Minimum, Spannweite wird durch die Whisker begrenzt.

Der Median des diastolischen Ophthalmicadrucks am rechten Auge wird mit höherer Altersgruppe niedriger. Am linken Auge hingegen zeigt sich keine Gesetzmäßigkeit.

Ebenso ist keine Gesetzmäßigkeit für den Median des systolischen Ophthalmicadrucks an beiden Augen erkennbar.

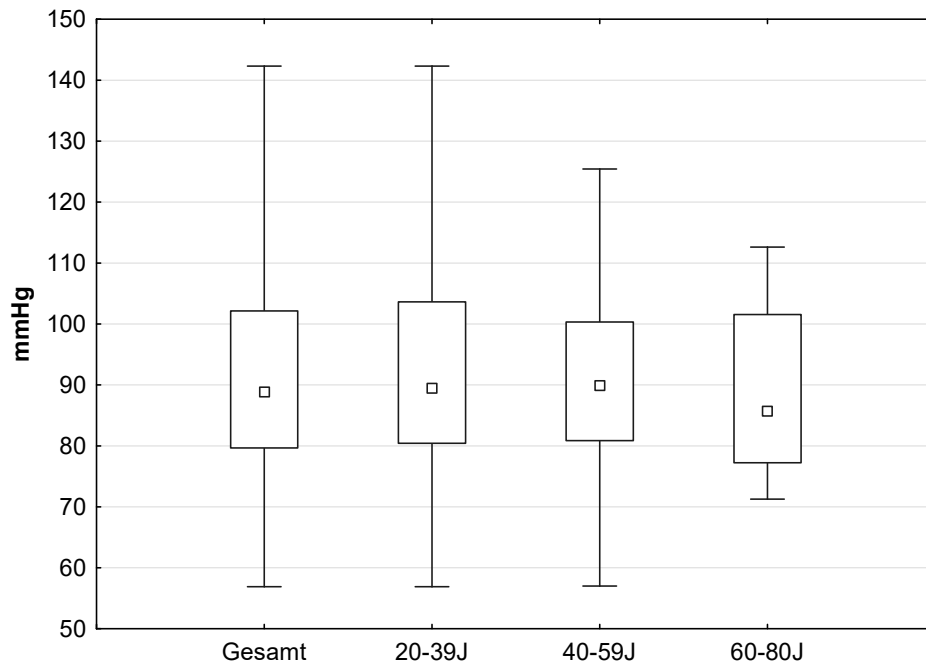


Diastolischer Ophthalmikadruck, Altersgruppen, rechtes Auge

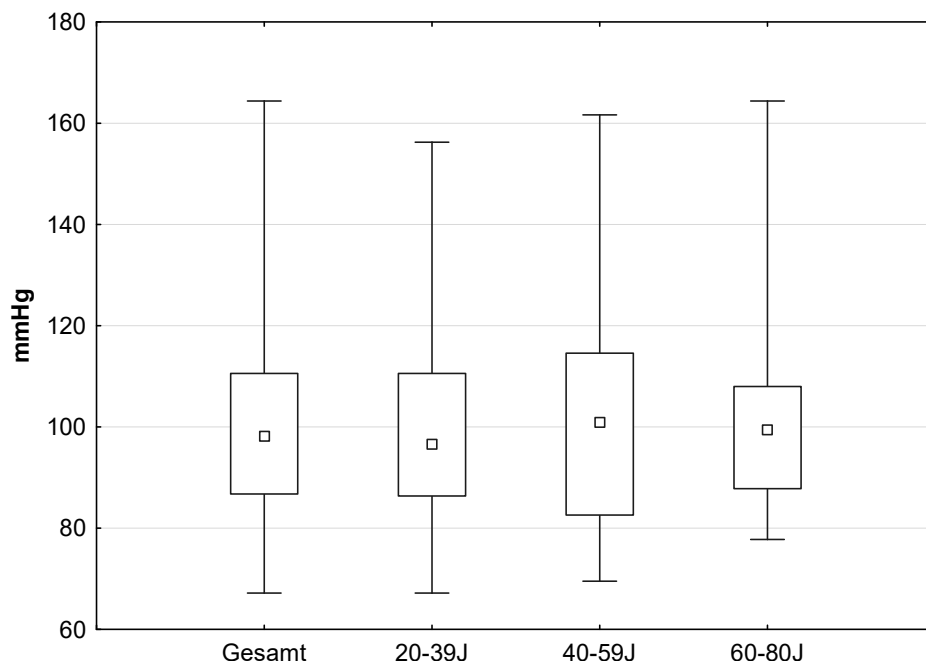


Diastolischer Ophthalmicadruck, Altersgruppen, linkes Auge

Abb. 8: Darstellung des diastolischen Ophthalmicadrucks in der Gesamtgruppe und den Altersgruppen. Oben: rechtes Auge, unten: linkes Auge. Kleines mittleres Quadrat=Median, obere und untere Begrenzung der Box=oberes und unteres Quartil, oberer Whisker=Maximum, unterer Whisker=Minimum, Spannweite wird durch die Whisker begrenzt.



Systolischer Ophthalmikadruck, Altersgruppen, rechtes Auge



Systolischer Ophthalmikadruck, Altersgruppen, linkes Auge

Abb. 9: Darstellung des systolischen Ophthalmicadrucks in der Gesamtgruppe und den Altersgruppen. Oben: rechtes Auge, unten: linkes Auge. Kleines mittleres Quadrat=Median, obere und untere Begrenzung der Box=oberes und unteres Quartil, oberer Whisker=Maximum, unterer Whisker=Minimum, Spannweite wird durch die Whisker begrenzt.

Zwischen dem Alter der Probanden und dem diastolischen Ophthalmicadruk am rechten Auge ergab sich eine statistisch signifikante negative Rangkorrelation ($r_s = -0,30$; $p < 0,01$). Des Weiteren zeigte sich für den diastolischen Ophthalmicadruk am

rechten Auge ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen im Kruskal-Wallis-Test.

Für den diastolischen Ophthalmicadruk am linken Auge sowie den VPP und den systolischen Ophthalmicadruk an beiden Augen konnte keine signifikante Korrelation zum Alter der Probanden festgestellt werden ($p > 0,1$). Der Unterschied zwischen den Altersgruppen war hier nicht signifikant verschieden.

3.5.4. Kontaktglas-Dynamometrie-Ergebnisse nach Blutdruckgruppen

Tabelle 10 zeigt die erhobenen Druckwerte der ausgewerteten Blutdruckgruppen und deren Zusammensetzung. Die Probanden aus Hypertoniegruppe 1, 2, und 3 sind zusätzlich als HTN1-3 in einer Spalte zusammengefasst worden. Die HTN3-Gruppe ist nicht aufgeführt, da nur eine Person in diese Gruppe fiel.

Da die Probanden nach dem systemischen Blutdruck in die einzelnen Blutdruckgruppen eingeteilt wurden, steigt der Median des systolischen und des diastolischen systemischen Blutdrucks entsprechend von Gruppe HTN0 zu Gruppe HTN2 an.

		HTN0	HTN1	HTN2	HTN1-3
Anzahl (n)		52	18	9	28
Geschlecht m/w		17/35	9/9	6/3	15/13
mittleres Alter±Stbw		35,9 ±14,5	49,3 ±18,8	53,6 ±15,8	51,0 ±17,7
systemischer Blutdruck (mmHg)					
Median Systole		124,0	146,0	173,3	148,8
Median Diastole		76,9	90,5	102,3	91,9
rechtes Auge	VPP (mmHg)				
	Median	18,0	19,0	17,3	17,3
	Min / Max	9,0 / 46,0	12,0 / 37,5	15,0 / 27,9	12,0 / 37,5
	Q1 / Q3	14,0 / 29,6	15,0 / 23,5	16,0 / 19,0	15,0 / 23,0
	diastol. Druck (mmHg)				
	Median	58,0	58,6	69,8	61,2
	Min / Max	32,6 / 83,0	45,8 / 103,4	50,6 / 103,7	45,8 / 103,7
	Q1 / Q3	48,2 / 64,8	50,9 / 71,4	55,9 / 88,2	52,9 / 75,1
	systol. Druck (mmHg)				
Median	85,9	97,5	91,3	96,8	
Min / Max	56,9 / 119,0	78,4 / 124,8	76,1 / 142,3	76,1 / 142,3	
Q1 / Q3	76,5 / 98,0	84,5 / 105,6	87,9 / 118,8	85,9 / 112,2	
linkes Auge	VPP (mmHg)				
	Median	17,0	15,0	17,0	15,0
	Min / Max	8,0 / 47,4	10,0 / 28,3	14,0 / 23,0	10,0 / 28,3
	Q1 / Q3	13,5 / 27,9	14,0 / 22,3	15,0 / 18,0	14,0 / 19,0
	diastol. Druck (mmHg)				
	Median	62,3	75,4	75,6	75,3
	Min / Max	32,3 / 83,5	57,0 / 98,0	48,5 / 101,7	48,5 / 101,7
	Q1 / Q3	54,5 / 69,4	67,3 / 84,4	58,6 / 94,2	66,0 / 84,7
	systol. Druck (mmHg)				
Median	95,1	105,3	117,4	107,6	
Min / Max	67,2 / 122,0	77,8 / 164,4	82,6 / 161,7	77,8 / 164,4	
Q1 / Q3	83,1 / 102,6	96,4 / 122,5	89,5 / 151,3	96,4 / 123,1	

Tab. 10: Zusammenfassung der erhobenen Werte für die Blutdruckgruppen. Standardabweichung (Stbw), Minimum (Min), Maximum (Max), unteres Quartil (Q1), oberes Quartil (Q3), Venenpulsationsdruck (VPP).

Der mediane VPP am rechten und am linken Auge war innerhalb der Gruppe ohne erhöhten Blutdruck höher als in der Gruppe HTN1-3, mit erhöhtem systemischem Blutdruck. Der mediane VPP in den einzelnen Gruppen mit erhöhtem Blutdruck HTN1, HTN2, HTN3 zeigte keine Gesetzmäßigkeit zueinander (Abb. 10).

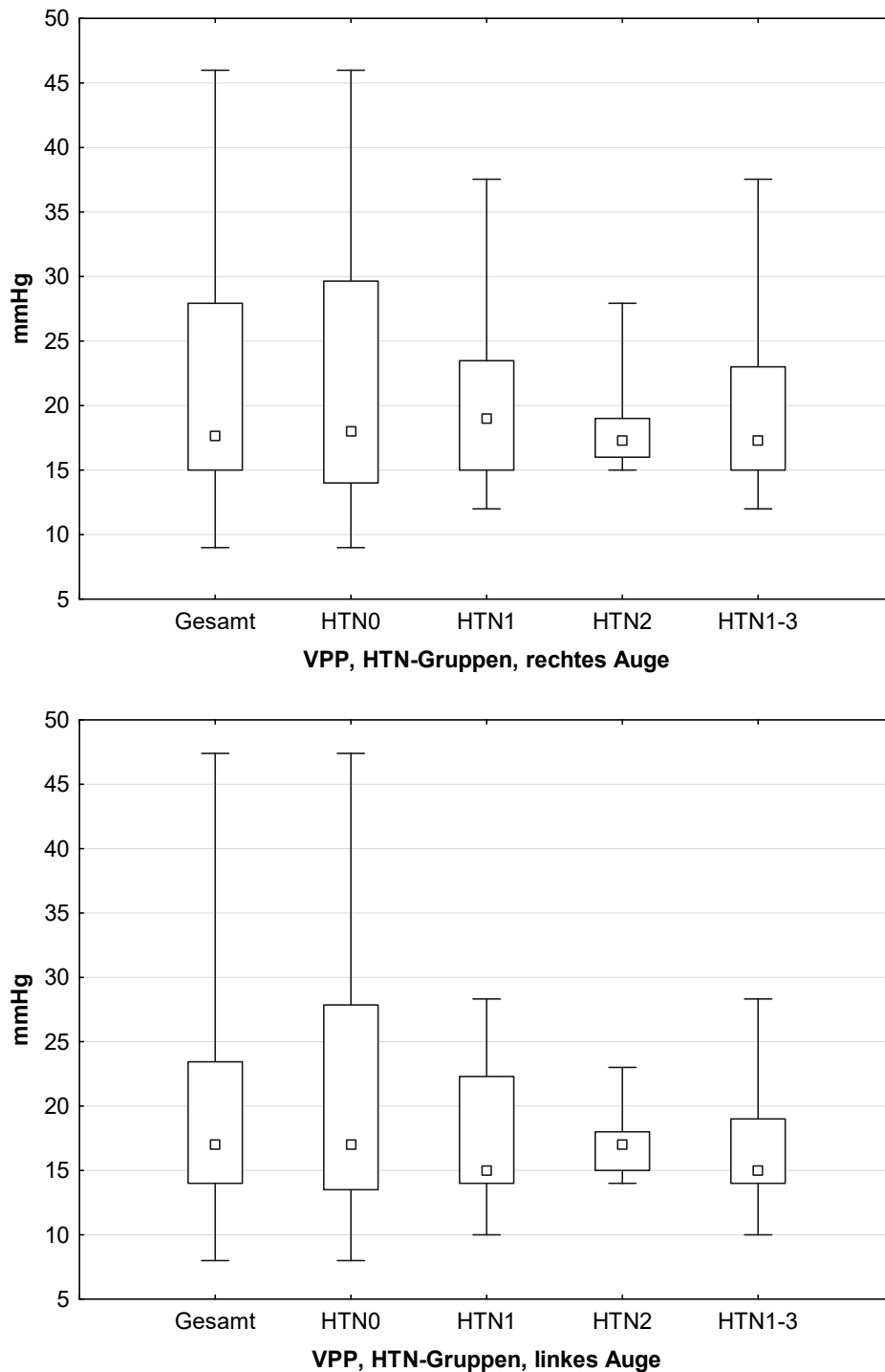


Abb. 10: Darstellung des medianen Venenpulsationsdrucks (VPP) nach Blutdruckgruppen. Oben: rechtes Auge, unten: linkes Auge. Kleines mittleres Quadrat=Median, obere und untere Begrenzung der Box=oberes und unteres Quartil, oberer Whisker=Maximum, unterer Whisker=Minimum, Spannweite wird durch die Whisker begrenzt.

Der mediane diastolische Ophthalmicadruk am rechten und linken Auge zeigte in den Hypertoniegruppen zunehmend höhere Werte: $HTN0 < HTN1 < HTN2$, bzw. $HTN0 < HTN1-3$ (Abb. 11). Beim medianen systolischen Ophthalmicadruk am linken Auge war dies ebenfalls der Fall. Am rechten Auge war der mediane systolische

Druck in den Gruppen HTN1, HTN2 und HTN1-3 höher, als in der Gruppe ohne erhöhten Blutdruck. Der mediane systolische Ophthalmicadruk in der Gruppe HTN1 war allerdings höher als in HTN2: HTN1>HTN2 (Abb. 12).

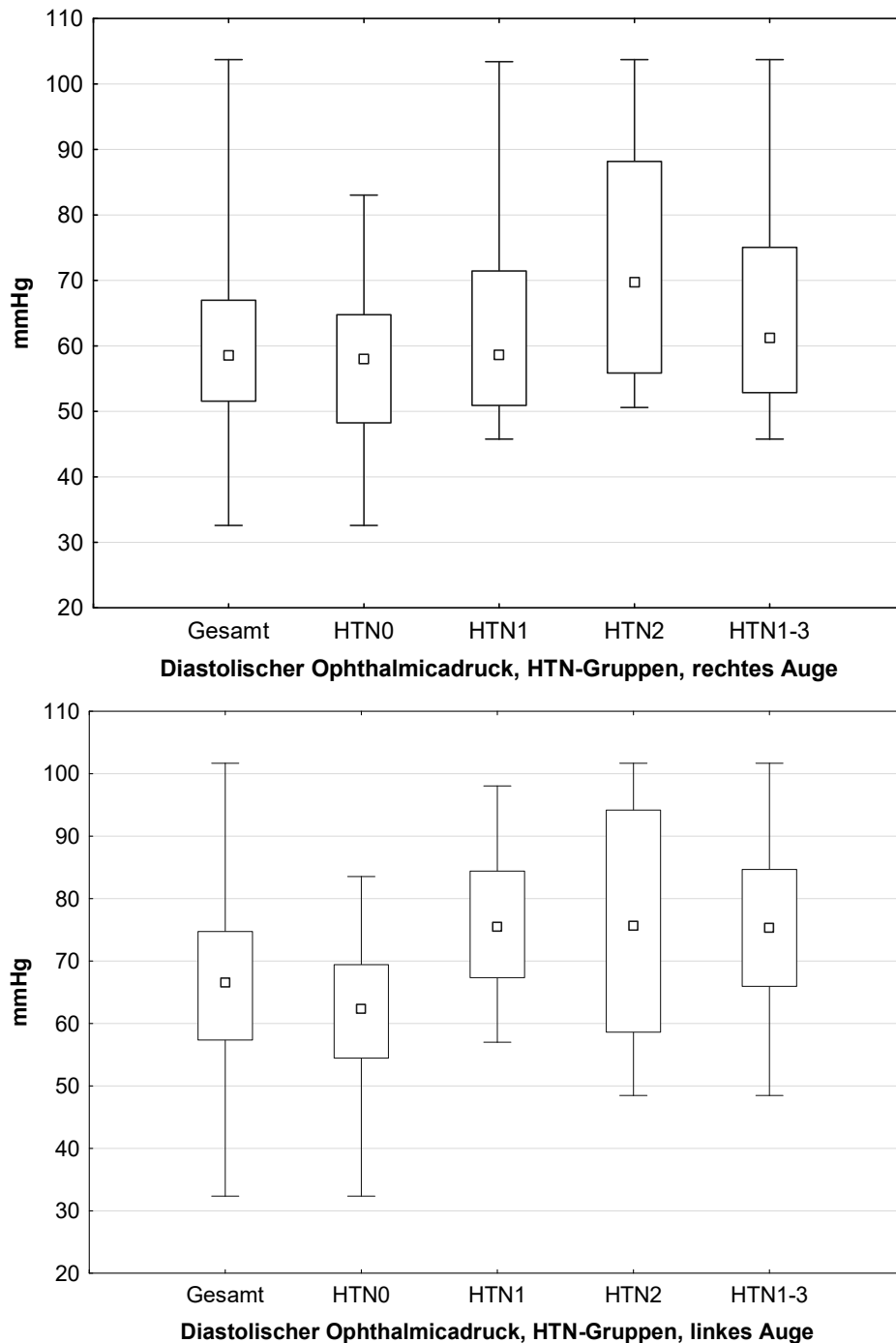
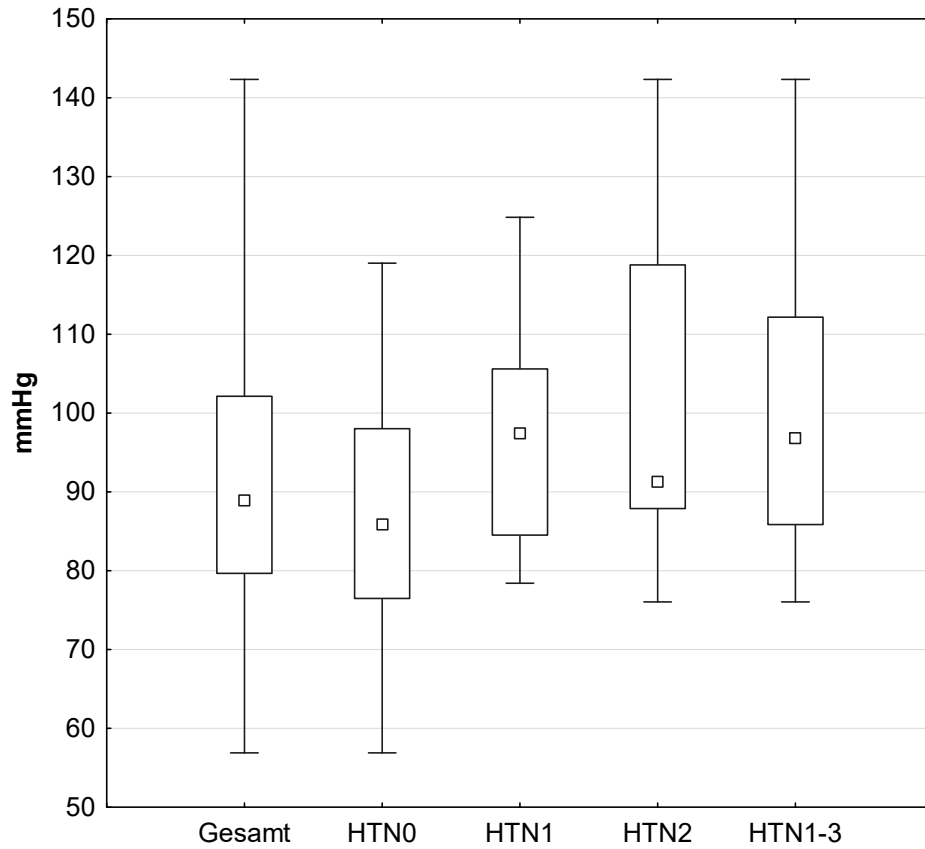
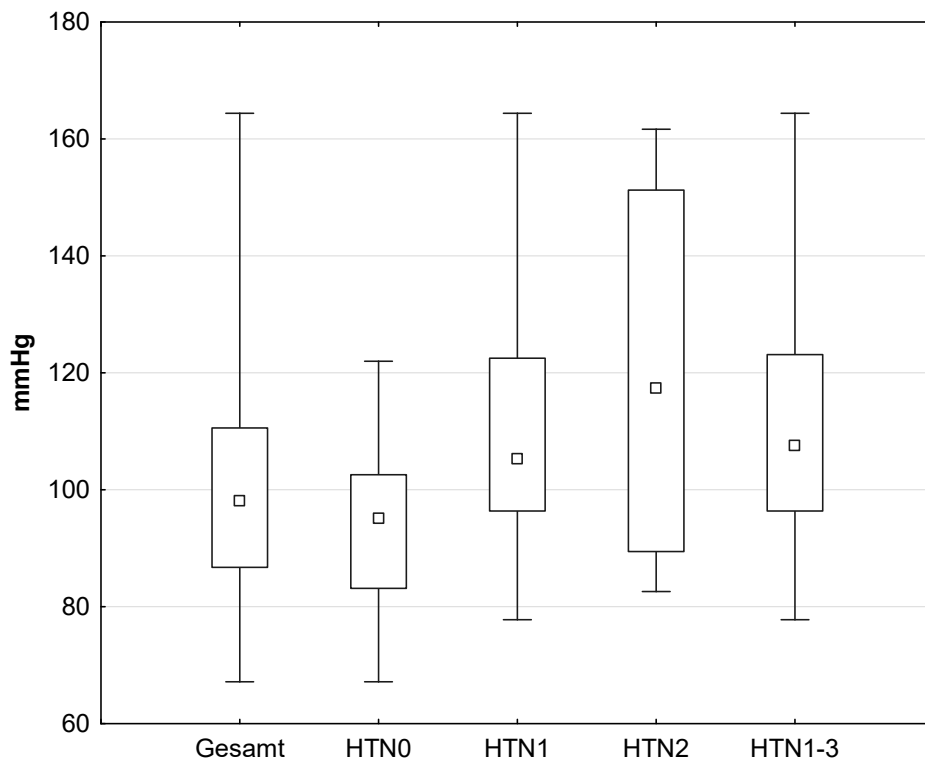


Abb. 11: Darstellung des medianen diastolischen Ophthalmicadrucks nach Blutdruckgruppen. Oben: rechtes Auge, unten: linkes Auge. Kleines mittleres Quadrat=Median, obere und untere Begrenzung der Box=oberes und unteres Quartil, oberer Whisker=Maximum, unterer Whisker=Minimum, Spannweite wird durch die Whisker begrenzt.



Systolischer Ophthalmicdruck, HTN-Gruppen, rechtes Auge



Systolischer Ophthalmicdruck, HTN-Gruppen, linkes Auge

Abb. 12: Darstellung des medianen systolischen Ophthalmicdrucks nach Blutdruckgruppen. Oben: rechtes Auge, unten: linkes Auge. Kleines mittleres Quadrat=Median, obere und untere Begrenzung der Box=oberes und unteres Quartil, oberer Whisker=Maximum, unterer Whisker=Minimum, Spannweite wird durch die Whisker begrenzt.

Die Messwerte am Auge wurden auf einen signifikanten Unterschied innerhalb der HTN-Gruppen, HTN0, HTN1 und HTN2, geprüft. Verwendet wurde der Kruskal-Wallis-Test.

Im Vergleich der drei Blutdruckgruppen bestand im Hinblick auf den VPP kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen für das rechte und linke Auge.

Der diastolische Ophthalmicadruck war am linken Auge mit $p < 0,005$ signifikant unterschiedlich zwischen den Gruppen. Am rechten Auge hingegen bestand keine signifikante Differenz.

Der systolische Ophthalmicadruck war an beiden Augen für die Blutdruckgruppen signifikant verschieden mit $p < 0,05$ am rechten und $p < 0,005$ am linken Auge.

Die Gruppe ohne erhöht gemessenem systemischen Blutdruck (HTN0) und die Gruppe mit erhöht gemessenem systemischen Blutdruck (HTN1-3) wurden außerdem mit dem Wilcoxon-Test verglichen.

Es ergab sich nur ein signifikanter Unterschied zwischen HTN0 und HTN1-3 für den diastolischen und systolischen Ophthalmicadruck des linken Auges ($p < 0,05$).

3.5.5. Abhängigkeit vom systemischen Blutdruck

Der VPP der Gesamtgruppe war nicht mit dem systemischen Blutdruck korreliert ($p > 0,1$).

Der diastolische Ophthalmicadruck (Tab. 11) am rechten Auge korrelierte signifikant mit dem diastolischen systemischen Blutdruck, gemessen vor der Kontaktglasuntersuchung am rechten Arm, $r_s = 0,29$ ($p < 0,01$).

Am linken Auge korrelierte der diastolische Ophthalmicadruck signifikant mit allen erhobenen systemischen Blutdruckwerten. Der Rangkorrelationskoeffizient lag zwischen $r_s = 0,26$ ($p < 0,05$) und $r_s = 0,39$ ($p < 0,0005$).

Der systolische Ophthalmicadruck am rechten und am linken Auge korrelierte, bis auf eine Ausnahme, signifikant mit dem systemischen Blutdruck (siehe Tab. 12). Am rechten Auge betrug der Rangkorrelationskoeffizient zwischen $r_s = 0,24$ ($p < 0,05$) und $r_s = 0,40$ ($p < 0,0005$), am linken zwischen $r_s = 0,22$ ($p = 0,06$) und $r_s = 0,43$ ($p < 0,0005$).

systemischer Blutdruck		diastolischer Ophthalmicadruck	
		rechtes Auge	linkes Auge
vor KGD rechts	diastolisch	<u>0,29</u> (p<0,01)	<u>0,38*</u> (p<0,001)
	systolisch	0,20	0,26* (p<0,05)
nach KGD rechts	diastolisch	<u>0,20</u>	<u>0,36*</u> (p<0,005)
	systolisch	0,15	0,32* (p<0,005)
vor KGD links	diastolisch	<u>0,19</u>	<u>0,39*</u> (p<0,001)
	systolisch	0,14	0,34* (p<0,005)
nach KGD links	diastolisch	<u>0,17</u>	<u>0,39*</u> (p<0,0005)
	systolisch	0,09	0,30* (p<0,01)

Tab. 11: Spearman Rangkorrelation zwischen systemischem Blutdruck und diastolischem Ophthalmicadruck für die Gesamtgruppe. Statistisch signifikante Korrelationen sind fett gedruckt mit Angabe der p-Werte. Die bessere Korrelation für das rechte oder linke Auge ist mit Stern(*) gekennzeichnet. Die jeweils stärkere Korrelation zum systemischen diastolischen oder systolischen Blutdruck ist unterstrichen.

systemischer Blutdruck		systolischer Ophthalmicadruck	
		rechtes Auge	linkes Auge
vor KGD rechts	diastolisch	<u>0,40</u> (p<0,0005)	<u>0,40*</u> (p<0,0005)
	systolisch	0,29* (p<0,05)	0,22
nach KGD rechts	diastolisch	<u>0,27</u> (p<0,05)	<u>0,33*</u> (p<0,005)
	systolisch	0,27 (p<0,05)	0,33* (p<0,005)
vor KGD links	diastolisch	0,24 (p<0,05)	<u>0,38*</u> (p<0,001)
	systolisch	<u>0,29</u> (p<0,01)	0,34* (p<0,005)
nach KGD links	diastolisch	<u>0,33</u> (p<0,005)	<u>0,43*</u> (p<0,0005)
	systolisch	0,27 (p<0,05)	0,41* (p<0,0005)

Tab. 12: Spearman Rangkorrelation zwischen systemischem Blutdruck und systolischem Ophthalmicadruck für die Gesamtgruppe. Statistisch signifikante Korrelationen sind fett gedruckt mit Angabe der p-Werte. Die bessere Korrelation für das rechte oder linke Auge ist mit Stern(*) gekennzeichnet. Die jeweils stärkere Korrelation zum systemischen diastolischen oder systolischen Blutdruck ist unterstrichen.

Mit einer Ausnahme war die entsprechende Korrelation zum linken Auge stärker als zum Rechten. Außerdem ist die Korrelation zum systolischen systemischen Blutdruck mit einer Ausnahme schwächer, als die Korrelation zum diastolischen systemischen Blutdruck.

Der VPP war für alle Altersgruppen für das rechte und linke Auge vom systemischen Blutdruck statistisch unabhängig.

Für den diastolischen und systolischen Ophthalmicadruk ergaben sich in den einzelnen Altersgruppen z. T. signifikante Korrelationen zum systemischen Blutdruck, z. T. waren sie zum systemischen Blutdruck statistisch unabhängig. Einen Überblick geben Tabelle 13 und 14.

Spearman Rangkorrelation zwischen								
systemischem Blutdruck		&	diastolischem Ophthalmicadruk					
			Altersgr. 1 20-<40 J.		Altersgr. 2 40-<60 J.		Altersgr. 3 60-80 J.	
			RA	LA	RA	LA	RA	LA
vor KGD re.	Diastole		0,48* (p<0,005)	0,37 (p<0,05)	0,39	0,27	0,57 (p<0,05)	0,52* (p<0,05)
	Systole		0,46 (p<0,005)	0,36 (p<0,05)	0,12	0,08	0,30	-0,03
nach KGD re.	Diastole		0,40 (p<0,01)	0,41 (p<0,01)	0,29	0,32	0,25	0,13
	Systole		0,40 (p<0,05)	0,43 (p<0,01)	0,29	0,32	0,21	-0,21
vor KGD li.	Diastole		0,32 (p<0,05)	0,43 (p<0,01)	0,25	0,24	0,59 (p<0,05)	0,45
	Systole		0,36 (p<0,05)	0,44 (p<0,01)	0,05	0,05	0,52 (p<0,05)	0,20
nach KGD li.	Diastole		0,27	0,48* (p<0,005)	0,37	0,28	0,73* (p<0,005)	0,46
	Systole		0,33 (p<0,05)	0,39 (p<0,05)	0,28	0,23	0,22	0,01

Tab. 13: Korrelation zwischen systemischem Blutdruck und diastolischem Ophthalmicadruk für die Altersgruppen. Statistisch signifikante Korrelationen sind fett gedruckt mit Angabe der p-Werte. Die stärkste signifikante Korrelation zum systemischen Blutdruck innerhalb einer Altersgruppe und für ein Auge ist mit Stern(*) gekennzeichnet. Kontaktglas-Dynamometrie (KGD)

Spearman Rangkorrelation zwischen								
systemischem Blutdruck		&	systolischem Ophthalmicadruck					
			Altersgr. 1 20-<40 J.		Altersgr. 2 40-<60 J.		Altersgr. 3 60-80 J.	
			RA	LA	RA	LA	RA	LA
vor KGD re.	Diastole		0,45* (p<0,005)	0,32	0,56* (p<0,01)	0,61 (p<0,005)	0,49	0,31
	Systole		0,44 (p<0,005)	0,35 (p<0,05)	0,35	0,22	-0,08	- 0,29
nach KGD re.	Diastole		0,30	0,31	0,46 (p<0,05)	0,59 (p<0,005)	0,13	- 0,16
	Systole		0,41 (p<0,01)	0,41 (p<0,05)	0,50 (p<0,05)	0,57 (p<0,01)	-0,13	- 0,36
vor KGD li.	Diastole		0,21	0,36 (p<0,05)	0,36	0,47 (p<0,05)	0,33	0,31
	Systole		0,41 (p<0,01)	0,47* (p<0,005)	0,23	0,32	0,22	0,08
nach KGD li.	Diastole		0,29	0,40 (p<0,05)	0,54 (p<0,01)	0,61 (p<0,005)	0,65* (p<0,01)	0,46
	Systole		0,42 (p<0,01)	0,45 (p<0,005)	0,48 (p<0,05)	0,63* (p<0,005)	0,15	0,20

Tab. 14: Korrelation zwischen systemischem Blutdruck und systolischem Ophthalmicadruck für die Altersgruppen. Statistisch signifikante Korrelationen sind fett gedruckt mit Angabe der p-Werte. Die stärkste signifikante Korrelation zum systemischen Blutdruck innerhalb einer Altersgruppe und für ein Auge ist mit Stern(*) gekennzeichnet. Kontaktglas-Dynamometrie (KGD)

Für die Altersgruppe der 20- bis unter 40-jährigen bestanden signifikante Korrelationen zwischen den diastolischen und systolischen Ophthalmicadrücken und einigen erhobenen systemischen Blutdruckwerten (Tab. 13 und 14).

In der Altersgruppe der 40- bis unter 60-jährigen war der diastolische Ophthalmicadruck vom systemischen Blutdruck statistisch unabhängig. Eine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem systolischen Ophthalmicadruck und einigen systemischen Blutdruckwerten zeigten sich auch in dieser Altersgruppe (Tab. 14).

In der Altersgruppe der 60- bis 80-jährigen zeigten sich wenige signifikante Korrelationen. Eine starke Rangkorrelation mit $r_s=0,73$ ($p<0,005$) bestand für den diastolischen Ophthalmicadruck am rechten Auge mit dem diastolisch systemischen Blutdruck, gemessen am linken Arm nach der Kontaktglas-Dynamometer-Untersuchung.

Zwischen den Ophthalmicadrücken und dem systemischen Blutdruck innerhalb der Blutdruckgruppen ergaben sich nur vereinzelt statistisch signifikante Korrelationen.

Einen Überblick darüber geben Tabelle 15 und 16.

In der Gruppe HTN1 zeigte sich zwischen dem VPP des rechten Auges und dem diastolischen systemischen Blutdruck gemessen am rechten Arm nach Kontaktglas-Dynamometrie eine signifikante negative Korrelation, $r_s = -0,66$ ($p < 0,005$). Darüber hinaus war der VPP vom systemischen Blutdruck statistisch unabhängig.

Spearman Rangkorrelation zwischen										
systemischem Blutdruck		&	diastolischem Ophthalmicadruk							
			HTN0		HTN1		HTN2		HTN1-3	
			RA	LA	RA	LA	RA	LA	RA	LA
vor KGD re.	Diastole		0,20	0,21	0,11	0,04	0,77 ($p < 0,05$)	0,18	0,39 ($p < 0,05$)	0,12
	Systole		-0,02	-0,22	0,03	-0,01	-0,18	0,00	0,18	-0,01
nach KGD re.	Diastole		-0,08	0,06	0,03	-0,12	0,72 ($p < 0,05$)	0,74 ($p < 0,05$)	0,31	0,15
	Systole		0,02	0,01	-0,43	-0,30	0,80 ($p < 0,01$)	0,71 ($p < 0,05$)	0,12	0,00
vor KGD li.	Diastole		-0,07	0,13	0,12	0,07	0,62	0,13	0,35	0,11
	Systole		-0,13	-0,06	0,19	0,16	-0,19	0,48	0,24	0,16
nach KGD li.	Diastole		-0,18	0,19	0,00	-0,18	0,78 ($p < 0,05$)	0,55	0,32	0,08
	Systole		-0,07	0,06	-0,43	-0,25	-0,57	-0,31	-0,05	-0,15

Tab. 15: Korrelation zwischen systemischem Blutdruck und diastolischem Ophthalmicadruk für die Blutdruckgruppen. Statistisch signifikante Korrelationen sind fett gedruckt mit Angabe der p-Werte. Kontaktglas-Dynamometrie (KGD)

Spearman Rangkorrelation zwischen										
systemischem Blutdruck		&	systolischem Ophthalmicadruk							
			HTN0		HTN1		HTN2		HTN1-3	
			RA	LA	RA	LA	RA	LA	RA	LA
vor KGD re.	Diastole		0,34 ($p < 0,05$)	0,39 ($p < 0,05$)	0,05	-0,27	0,69	-0,04	0,25	-0,03
	Systole		0,15	-0,10	-0,03	-0,07	-0,21	-0,14	0,02	0,02
nach KGD re.	Diastole		-0,06	0,20	0,12	-0,33	0,81 ($p < 0,05$)	0,67	0,33	0,01
	Systole		0,11	0,13	-0,33	-0,22	0,40	0,57	-0,04	0,05
vor KGD li.	Diastole		0,04	0,22	0,15	-0,02	0,16	-0,11	0,20	0,09
	Systole		0,12	0,00	0,30	0,23	-0,08	0,75	0,21	0,34
nach KGD li.	Diastole		0,03	0,31	0,12	-0,16	0,26	0,29	0,24	0,04
	Systole		0,15	0,34	-0,22	0,01	-0,33	-0,14	-0,10	0,08

Tab. 16: Korrelation zwischen systemischem Blutdruck und systolischem Ophthalmicadruk für die Blutdruckgruppen. Statistisch signifikante Korrelationen sind fett gedruckt mit Angabe der p-Werte. Kontaktglas-Dynamometrie (KGD)

3.5.6. Korrelation mit dem BMI

Der BMI korrelierte signifikant mit dem systolischen Ophthalmicadruck am rechten und linken Auge ($r_s=0,23$ für das rechte Auge, $r_s=0,31$ für das linke Auge; $p<0,05$). Der VPP und der diastolische Ophthalmicadruck waren vom BMI statistisch unabhängig.

3.6. Untersuchungsabbruch

Die Kontaktglas-Dynamometeruntersuchung war bei 71 von 81 der eingeschlossenen Probanden (87,7%) und 146 von 162 Augen (90,1%) problemlos möglich. Die Untersuchung wurde bei 8 von 81 Probanden (9,9%) im Laufe der Untersuchung abgebrochen. Die Hälfte der Abbrüche ging von den Probanden aus. Zwei Probanden (2,5%) brachen nach der Untersuchung des rechten Auges aufgrund von unangenehmen Drucks und Fremdkörpergefühl während der Messung des systolischen Ophthalmicadrucks ab. Ein weiterer Proband (1,2%) lehnte die systolische Messung aufgrund von Schmerzen ab. Ein Proband (1,2%) klagte nach der Kontaktglasuntersuchung am rechten Auge über Übelkeit. Es war zu einem systemischen Blutdruckabfall um 7 mmHg systolisch und 21,5 mmHg diastolisch gekommen, sodass links nicht gemessen werden konnte.

Bei den anderen 4 Probanden (4,9%) wurde die Kontaktglas-Dynamometrie vonseiten des Untersuchers abgebrochen. Ein Proband (1,2%) wies sehr hohe systolische Druckwerte, im Mittel 164,4 mmHg, am linken Auge auf, sodass die Messung links nicht zu Ende geführt wurde. Ein Proband (1,2%) hatte eine kleine Blutung am Fundus des linken Auges, weshalb keine Kontaktglas-Dynamometrie durchgeführt wurde. Bei zwei Probanden (2,5%) war die Kontaktglas-Dynamometrie aufgrund eines Blepharospasmus nicht durchführbar. Bei einem der beiden in Folge der Messung des rechten Auges, bei dem anderen war keine Messung möglich.

Abbruch durch (P/U)	Grund des Abbruchs	Erhobene Messwerte (mmHg)			
		diastol. RA	systol. RA	diastol. LA	systol. LA
P	unangenehmer Druck bei systolischer Messung	67,1	102,3	-	-
P	Schmerzen bei systolischer Messung	103,7	-	87,1	-
P	Fremdkörpergefühl RA bei systolischer Messung	55,9	76,1	-	-
P	Übelkeit nach KGD RA	66,6	97,1	-	-
U	hohe Druckwerte systolisch LA	54,7	105,6	84,4	164,4
U	kleine Blutung am Fundus LA	60,6	98,8	-	-
U	Blendempfindlichkeit, Blepharospasmus	-	-	-	-
U	Blepharospasmus, nach Messung RA	50,9	82,8	-	-

Tab. 17: Gründe für den Untersuchungsabbruch der Kontaktglas-Dynamometrie mit gemessenen Werten am Auge. Abbruch vorgenommen durch Proband (P) oder Untersucher (U). (RA = rechtes Auge; LA = linkes Auge; diastol. = diastolischer Ophthalmicadruk, systol. = systolischer Ophthalmicadruk)

3.7. Beschwerden und Probleme

Zwei Probanden (2,5%) äußerten ein unangenehmes bzw. leicht schmerzhaftes Gefühl bei der systolischen Messung. Bei drei Probanden (3,7%) hat sich das Kontaktglas-Dynamometer während der Untersuchung ausgeschaltet. Bei einem (1,2%) ist es wiederholt aus dem Auge gerutscht. Aufgrund häufiger Augenbewegungen war die Untersuchung bei einem Probanden ungenau, fast nicht durchführbar. Bei einem anderen mussten wegen Gegendruck der Lider so viel Druck aufgewendet werden, dass die Messung des VPPs nicht möglich war.

4. Diskussion

4.1. Methodenkritik

Fehlerquellen dieser Arbeit können in der Auswahl der Probanden sowie in der Erhebung und Interpretation der Messwerte liegen.

4.1.1. Probanden

Für die Auswahl der Probanden wurden Ausschlusskriterien definiert, um relevante internistische Erkrankungen auszuschließen. Der internistische Status wurde durch Anamnese erhoben, daher können bestehende, dem Probanden aber unbekanntere Erkrankungen, übersehen worden sein. Weitere Ausschlusskriterien betrafen Augenerkrankungen, die ebenfalls durch Anamnese, aber auch durch eine ophthalmologische Untersuchung beurteilt wurden.

Die Altersstruktur der untersuchten Probandengruppe zeigte ein Ungleichgewicht mit einem Überschuss an jungen Studienteilnehmern unter 40 Jahren. Dieser Sachverhalt ist zum einen auf die Tatsache zurückzuführen, dass es weniger gesunde ältere Probanden gibt, welche die Kriterien erfüllen. Eine weitere Ursache liegt in der Rekrutierung von Probanden, die zum Teil bei Studenten an der Universität erfolgte.

Das niedrigere Durchschnittsalter unterscheidet sich deutlich von dem anderer Studien zur Erhebung von Messwerten mit einem Ophthalmodynamometer oder Studien zur Häufigkeit eines venösen Spontanpulses und kann dadurch neue Sichtweisen eröffnen. Ein negativer Aspekt ist, dass die Gesamtgruppe der eingeschlossenen Probanden nicht als Stichprobe der Gesamtbevölkerung gelten kann.

4.1.2. Blutdruckmessung

Die Blutdruckmessung mit dem automatischen Oberarm-Blutdruckmessgerät OMRON M5-I wurde wie in 2.3.3. erläutert nach verschiedenen Prüfprotokollen validiert (50,51).

Durch die Verwendung eines automatischen Messgerätes mit einer einfachen Handhabung können untersucherabhängige Messfehler vermieden werden. Eine mögliche Fehlerquelle kann in einer nicht ausreichenden Ruhephase des Probanden vor der Messung bestehen.

Um eine mögliche Veränderung des systemischen Blutdrucks durch die Kontaktglas-Dynamometrie zu untersuchen, wurde der Blutdruck unmittelbar vor und nach der Kontaktglas-Dynamometrie bestimmt.

Während der Kontaktglas-Dynamometrie wurde allerdings keine Blutdruckbestimmung vorgenommen, was unter Umständen zu einer geringer ausgeprägten Korrelation zwischen dem Ophthalmicadruck und dem systemischen Blutdruck geführt haben könnte. Im Folgenden wird noch darauf eingegangen.

4.1.3. Ophthalmologische Untersuchungsmethoden

Alle ophthalmologischen Untersuchungen wurden von einem erfahrenen, in der Kontaktglas-Dynamometrie geübten Facharzt der Augenheilkunde durchgeführt. So konnten interindividuelle untersucherabhängige Fehler durch unterschiedliche Untersuchungstechniken vermieden werden.

Für die Feststellung einer spontanen Pulsation der Vena centralis retinae wäre die Beobachtung durch zwei voneinander unabhängige Untersucher aufgrund der Subjektivität der Untersuchung ggf. genauer gewesen.

4.1.3.1. Applanationstonometrie und Pachymetrie

Fehlerquellen bei der Goldmann-Applanationstonometrie können die Messtechnik, das Messgerät und die Anatomie des Auges betreffen.

Wie unter 2.3.5. beschrieben, kann die Rigidität der Cornea nach experimentellen Daten von Goldmann und Schmidt bei der Goldmann-Applanationstonometrie außer Acht gelassen werden, da sie sich mit der Kapillaranziehungskraft an den Grenzflächen aufhebt (53). Zu einer deutlichen Abweichung der Rigidität der Bulbushülle kann es bei stark myopen oder hyperopen Augen kommen, sowie nach intraokularen Operationen mit Endotamponaden, was zu Messfehlern führt (2). Solche Probanden wurden vorab von der Studie ausgeschlossen.

Der Einfluss der Bulbuslänge und des Hornhautradius auf die Goldmann-Appplanationstonometrie wird von verschiedenen Autoren kontrovers beurteilt (54). Ein geringer Einfluss durch die Bulbuslänge mit einer negativen Korrelation zu den Messwerten der Goldmann-Appplanationstonometrie kann vermutlich durch eine veränderte Rigidität der Bulbuswand erklärt werden (54). Neuere Untersuchungen von Kohlhaas et al. konnten keine Korrelation zwischen dem Hornhautradius sowie der Bulbuslänge mit den Messergebnissen der Appplanationstonometrie feststellen (59).

Bei einem Astigmatismus kann es zur Verzerrung der Messringe kommen, daher sollte ein Astigmatismus von über 3 Dioptrien bei der Messung berücksichtigt werden. Das bedeutet nach der ersten Messung in null Grad Stellung soll das Tonometerköpfchen um 90 Grad rotiert werden, um eine zweite Messung durchzuführen, aus denen der Mittelwert bestimmt wird (60–62). Unter den eingeschlossenen Probanden war keiner mit einem Astigmatismus von über 3 Dioptrien.

Verschiedene Autoren haben gezeigt, dass die Hornhautdicke des Patienten das Messergebnis beeinflusst. Eine dünnere Hornhaut als im Durchschnitt führt zu niedrigeren, eine dickere Hornhaut hingegen zu höheren Augeninnendruckwerten bei der Appplanationstonometrie. Je nach Studie wurden unterschiedliche Ergebnissen bezüglich der mittleren zentralen Hornhautdicke und des nötigen Korrekturfaktors für die Appplanationstonometrie ermittelt (55,56,59,60,63,64).

In dieser Arbeit wurde die von Kohlhaas et al. vorgeschlagene Dresdener Korrekturtabelle verwendet, um den gemessenen intraokularen Druck entsprechend der Hornhautdicke eines Probanden zu korrigieren. Sie basiert auf einer Untersuchung an 125 Patienten, bei denen intrakameral der Augeninnendruck eingestellt und zeitgleich applanatorisch gemessen wurde. Die Messwerte wurden ins Verhältnis zur zentralen Hornhautdicke gesetzt, welche mittels Ultraschall-Pachymetrie bestimmt wurde. Die mittlere zentrale Hornhautdicke betrug bei Kohlhaas et al. 550 μm . Bei einer Abweichung von 25 μm ergab sich ein Messfehler von ca. ± 1 mmHg bei der applanatorischen Augeninnendruckmessung (56,59).

Davon abweichende Normalwerte für die zentrale Hornhautdicke in anderen Studien sind unter anderem auf die Pachymetriemethode zurückzuführen (60). Daher

erscheint die Berechnung nach Dresdener Korrekturtabelle, welche sich auf die gleiche Pachymetriemethode wie in unserer Studie bezieht, sinnvoll.

Technisch bedingte Messfehler bei der Goldmann-Appplanationstonometrie sind z. B. durch Druck auf den Bulbus durch den Untersucher oder das Zukneifen der Augen verursacht, was zur Erhöhung des Augeninnendrucks führen kann. Wird zu viel Fluorescein verwendet, werden die Messringe zu dick und der intraokulare Druck zu hoch gemessen, bei zu wenig Fluorescein ist das Gegenteil der Fall (61).

Mehrere aufeinanderfolgende Messungen im Minutenabstand führen durch das Auspressen von Kammerwasser zu einem kurzzeitigen Abfall des Augeninnendrucks (61). Weitere mögliche Fehlerquellen stellen eine unzureichende Beleuchtung oder ein falsch kalibriertes Tonometer dar. (54,61,62)

Bei korrekter Messtechnik liegt der mittlere Fehler bei unter einem mmHg (54).

Mögliche Messfehler bei der Ultraschall-Pachymetrie können durch Druck auf die Cornea, eine Verkippung oder eine falsche Lokalisation der Messsonde auf der Hornhaut verursacht sein. Eine vermehrte Flüssigkeitsansammlung auf der Hornhaut kann ebenfalls zu falschen Messwerten führen. Insgesamt wird die Ultraschall-pachymetrie als einfach in der Handhabung und gut reproduzierbar mit einer intra- und interindividuellen Abweichung von 5-10 μm beurteilt (13, 19).

4.1.3.2. Kontaktglas-Dynamometrie

Bei der Kontaktglas-Dynamometrie gibt es eine Reihe von möglichen Fehlerquellen: Falsch zu hohe Messwerte können aufgrund eines Blepharospasmus durch Druck der Augenlider oder aber durch ein Verkanten des Kontaktglases auf dem Auge entstehen. Eine kontinuierliche langsame Druckerhöhung mit dem Kontaktglas ist für ein möglichst korrektes Ergebnis erforderlich. Dafür ist eine konstante Kopfhaltung am Stirnband der Spaltlampe vonseiten der Probanden notwendig (15).

Darüber hinaus kann das Messverfahren selbst den zu messenden Blutdruck im Auge durch den okulokardialen Reflex beeinflussen.

Es handelt sich dabei um eine Unterform des Trigeminkardialen Reflexes, der durch Stimulation eines der Trigeminiäste einen Vagus-Reiz auslöst mit Sinusbradycardie, gelegentlich Asystolie und Hypotension. Der okulokardiale Reflex kann durch

Zug an den Augenmuskeln, Druck auf den Bulbus oder andere Manipulation am Auge ausgelöst werden. Bei Unterbrechung des Stimulus stoppt in der Regel der Reflex innerhalb weniger Sekunden und Blutdruck und Puls kehren zum Normwert zurück (66,67).

Eine Messfolge mit mehreren Wiederholungen kann daher problematisch sein und wird von einigen Autoren kritisiert (8). Wir legten eine Wiederholung von 5 Messungen fest, um die Blutdruckerniedrigung in Grenzen zu halten und Messfehler durch Mittelwertbildung möglichst gering halten zu können.

Ein Problem stellt die Messung eines gering über dem Augeninnendruck liegenden Venenpulsationsdruck dar. Eine Augeninnendruckerhöhung von unter 5 mmHg mit dem Kontaktglas-Dynamometer ist technisch nahezu unmöglich.

Außerdem kann die Messung im Bereich von höheren Druckwerten, wie sie für den systolischen Ophthalmicadruk erforderlich sind, Beschwerden und Schmerzen verursachen wie aus 3.6. und 3.7. ersichtlich und so die Methode limitiert sein.

4.1.4. Untersuchungsablauf

Die Abfolge des Untersuchungsablaufs durch den selben Untersucher wurde stets eingehalten. Das rechte Auge wurde immer zuerst untersucht. Sofern die Kontaktglas-Dynamometrie selbst den Blutdruck beeinflusst und damit auch den Gefäßdruck im anderen Auge, ist von einer Beeinflussung der Druckwerte am linken Auge auszugehen.

4.2. Diskussion der Ergebnisse

4.2.1. venöse Spontanpulsation

Die Häufigkeit einer venösen Spontanpulsation bei Normalprobanden wird in der Literatur zwischen 75 und 98% angegeben (11,21,28,42,43,68,69). Unser Ergebnis weicht deutlich davon nach unten ab. Auffällig ist das unterschiedliche mittlere Alter der untersuchten Gruppen. Die Angaben in der Literatur beziehen sich auf Probanden mit einem mittleren Alter von über 63 bis hin zu über 69,5 Jahren. Im

Gegensatz dazu ist unsere Probandengruppe mit einem mittleren Alter von $41,4 \pm 17,7$ Jahren (Mittelwert \pm Standardabweichung) deutlich jünger.

Vergleicht man unsere Altersgruppe 3 (60-80 Jahre) mit einem mittleren Alter von $66,4 \pm 4,6$ Jahren (Spontanpuls bei 62,5% der rechten und 75,0% der linken Augen), so unterscheidet sich hier das Ergebnis nicht sonderlich von jenem in der Literatur.

Dies lässt eine Abhängigkeit des Vorhandenseins einer venösen Spontanpulsation vom Alter vermuten. Bei unseren Ergebnissen treten eine venöse Spontanpulsation und eine induzierbare venöse Pulsation prozentual mit höherem Lebensalter häufiger auf. Statistisch war dies allerdings nicht signifikant. Einige Autoren gaben ebenfalls an, dass die Häufigkeit einer Spontanpulsation statistisch unabhängig vom Alter war (43,68).

In Daten von Lorentzen, in denen die Häufigkeit einer venösen Spontanpulsation auch innerhalb verschiedener Altersgruppen untersucht wurde, zeigte sich ein geringfügig vermehrtes Auftreten in den beiden höchsten Altersgruppen (60-69 und 70-79 Jahre). Im Mittel lag die Häufigkeit einer venösen Spontanpulsation hier, bei einem gemischten Probandenkollektiv im Alter von 10 bis 79 Jahren, bei 81% aller Augen (70). Damit liegt das Ergebnis auch deutlich höher als unseres, bei vermutlich ähnlichem mittlerem Alter der untersuchten Studienteilnehmer, welches allerdings nicht explizit genannt wird.

Morgan et al. untersuchten die Häufigkeit einer venösen Spontanpulsation bei Glaukompatienten und Glaukomverdächtigen gegenüber 41 Normalprobanden sowie die notwendige ophthalmodynamometrische Kraft (ODF, ophthalmometric force), um eine Venenpulsation an der Papille auszulösen, wenn kein Spontanpuls vorhanden war. Die ODF war mit dem Alter signifikant assoziiert ($p < 0,0001$) – Bei höherem Alter der Patienten war die nötige Kraft zum Auslösen eines Pulsphänomens geringer (21). In einer Folgestudie zeigte sich eine starke Korrelation zwischen dem Alter und dem Pulsdruck sowie eine Assoziation zwischen erhöhtem Pulsdruck und niedrigem ODF, sodass letztgenanntes verdächtigt wird den Zusammenhang zwischen ODF und Alter hervor zu täuschen (42).

In Untersuchungen von Levine lag zwischen dem Vorhandensein eines spontanen Venenpulses und dem systemischen Blutdruck kein Zusammenhang vor (71).

Bei Betrachtung der Blutdruckgruppen in unseren Daten zeigte sich mit höherer Blutdruckgruppe ein Anstieg in der Häufigkeit einer Spontanpulsation, was jedoch nur für das linke Auge das Signifikanzniveau von $p < 0,05$ erreichte.

Da das Alter der Probanden außerdem mit dem systemischen Blutdruck korrelierte, kann der Verdacht, dass ein Spontanplus mit höherem Alter häufiger auftritt auch durch einen mit zunehmendem Alter ansteigenden Blutdruck begründet sein.

Einige Autoren untersuchten die Unterschiede im Auftreten einer Spontanpulsation bei Normalprobanden gegenüber Glaukompatienten und Glaukomverdächtigen und fanden ein signifikant selteneres Auftreten bei den beiden Letzteren (21,42,43,69).

Diese Angaben beziehen sich allerdings auf Patientengruppen mit einem mittleren Alter von 66,9-71,2 Jahren bei Glaukompatienten, bzw. auf ein mittleres Alter von 59,2 Jahren bei Patienten mit Glaukomverdacht.

Um keine falschen Rückschlüsse aus dem Nicht-Vorhandensein einer Spontanpulsation bei einem jüngeren Menschen bezüglich eines Glaukomverdachts zu ziehen, sind weitere Untersuchungen bezüglich des Auftretens einer Spontanpulsation notwendig, die auch vermehrt jüngere Probanden einschließt. Es erscheint sinnvoll, dass mögliche Zusammenhänge mit dem Alter und dem systemischen Blutdruck in Zukunft genauer beleuchtet werden.

4.2.2. Ergebnisse der Kontaktglas-Dynamometrie

4.2.2.1. Messwiederholungsgenauigkeit

Die Reproduzierbarkeit der Kontaktglas-Dynamometrie wurde von Jonas bei einer 10-maligen, bzw. 5-maligen Messung mit einem mittleren Variationskoeffizienten von 16,3%, bzw. 15% für die Messung des Venenpulsationsdrucks und mit 8,5%, bzw. 7,9% für den arteriellen Ophthalmicadruck angegeben (24).

Unsere eigenen Ergebnisse sind denen von Jonas sehr ähnlich. Auffällig ist, dass sich bei beiden eine deutlich bessere Reproduzierbarkeit für die Messung des arteriellen Ophthalmicadrucks im Gegensatz zur Messung des VPPs zeigt.

Hier scheint das Problem der Messung in niedrigen Druckbereichen eine Rolle zu spielen. Die Messung in niedrigen Druckbereichen ist technisch schwierig und erscheint somit auch unpräziser und weniger reproduzierbar zu sein.

4.2.2.2. Normalwerte und Altersabhängigkeit

In der Literatur finden sich keine direkt mit unseren Werten vergleichbaren Daten zum VPP, da der Augeninnendruck außen vor gelassen wurde und nicht zu den gemessenen Druckwerten addiert wurde. In verschiedenen Kontrollgruppen wurde mit dem gleichen Kontaktglas-Dynamometer der Firma Meditron Werte zwischen $2,0 \pm 6,7$ bis $6,1 \pm 8,4$ relative Einheiten bei der Messung des VPPs erhoben (23,26–30,47).

Bei Jonas ergibt sich mit dem mittleren intraokularen Druck der Kontrollgruppe addiert ein VPP von 22,4 (26), an anderer Stelle ein VPP von 21,6 (30).

Geht man von einem mittleren intraokularen Druck von 16 mmHg in der gesunden Bevölkerung aus (62), ergibt sich aus den oben genannten venösen Druckwerten ein VPP zwischen 18,0 und 22,1 in der Literatur.

Der erhobene Median des VPPs von 17,6 mmHg am rechten und 17,0 mmHg am linken Auge ist mit den Angaben in der Literatur vergleichbar, zählt man den mittleren intraokularen Druck hinzu.

Ursache für die etwas niedrigeren Werte in unseren Daten kann die Einbeziehung der Probanden mit spontanem Venenpuls durch Gleichsetzung des VPPs mit dem gemessenen intraokularen Druck sein.

Wie auch bei den Daten zur Spontanpulsation bezieht sich der VPP in der Literatur auf Kontrollgruppen mit deutlich höherem mittleren Alter als in unseren Daten.

Zwischen den Altersgruppen zeigte sich allerdings kein großer Unterschied bezüglich der Höhe des VPPs. Wie in einer Untersuchung von Jonas (31) war der VPP statistisch unabhängig vom Alter.

Der diastolische Ophthalmicadruk wird ebenfalls mehrheitlich ohne Addition des intraokularen Drucks angegeben. Er wird mit 65,6 bis 79,9 relativen Einheiten angegeben (23,26,27,30,31,47). Postuliert man auch hier einen mittleren intraokularen Druck von 16 mmHg und addiert diesen, ergeben sich Werte von 81,6 und 95,9.

Diese sind deutlich höher als die selbst erhobenen Druckwerte von 58,5 mmHg am rechten Auge und 66,5 mmHg am linken. Auffällig ist wieder ein deutlicher Unterschied in dem mittleren Alter der untersuchten Gruppen, welches in den genannten Studien immer über 64 Jahren liegt.

Stodtmeister et al. zeigen, dass das Alter Ursache für die Diskrepanz innerhalb des gemessenen diastolischen Ophthalmicadrucks sein kann. Der diastolische und systolische Ophthalmicadruck war abhängig vom Alter und stieg mit zunehmendem Alter an. Der Median des diastolischen Ophthalmicadrucks nach Addition des intraokularen Drucks lag bei Stodtmeister et al. in der Gruppe der 10-19 Jährigen bei 48 mmHg. Bei den 60-69 Jährigen bei 71 mmHg (72). Aber auch im Vergleich der Altersgruppe der 60-69 Jährigen, die dem mittleren Alter in den oben genannten Studien entspricht, weisen diese um mindestens 10 mmHg höhere Werte auf. Das Alter allein scheint nicht die Ursache der unterschiedlichen Ergebnisse zu sein. In den oben genannten Studien wurden Patienten, die wegen Katarakt oder refraktiver Probleme in der Klinik waren in die Kontrollgruppen eingeschlossen. Die Ausschlusskriterien umfassten, wenn überhaupt Glaukom, Orbita- oder Netzhauterkrankungen. Im Gegensatz zu der Untersuchung von Stodtmeister et al. wurden ein arterieller Hypertonus oder kardiovaskuläre Erkrankungen, die in der Altersgruppe, der über 60 Jährigen sehr verbreitet sind, nicht ausgeschlossen. Bei einem Zusammenhang zum systemischen Blutdruck kann ein Hypertonus Grund für die deutlich höheren diastolischen Ophthalmicadrücke sein.

Der eigens erhobene diastolische Ophthalmicadruck ist am rechten Auge in der Altersgruppe der 20-40 Jährigen und der 40-60 Jährigen mit den Werten bei Stodtmeister et al. in der entsprechenden Altersgruppe gut vergleichbar. Der diastolische Ophthalmicadruck am linken Auge weicht etwas nach oben ab. In der Altersgruppe der 60-80 Jährigen ist hingegen der diastolische Ophthalmicadruck am linken Auge vergleichbar, der des rechten Auges ist um 20 mmHg niedriger als bei Stodtmeister et al. Dieser Druckunterschied zwischen der rechten und der linken Arteria ophthalmica ist von Bedeutung. Unter 4.2.2.6. wird weiter darauf eingegangen.

Für den systolischen Ophthalmicadruck gibt es nur wenige Vergleichsdaten in der Literatur, da meist auf eine systolische Messung verzichtet wurde.

Der systolische Druck in der Arteria ophthalmica lag in der Studie von Stodtmeister et al. bei 10-19 Jährigen im Median bei 79 mmHg und war mit zunehmendem Lebensalter höher. Bei 60-69 Jährigen lag er im Median bei 130 mmHg (72).

In unseren Daten ist der systolische Ophthalmicadruck der Gruppe der 20-40 Jährigen, hier v. a. das rechte Auge mit der entsprechenden Altersgruppe bei Stodtmeister et al. gut vergleichbar wie auch der systolische Ophthalmicadruck am linken Auge in der Altersgruppe der 40-60 Jährigen. Der Ophthalmicadruck am jeweils anderen Auge lag etwas höher, bzw. niedriger als bei Stodtmeister et al., da das linke Auge im Mittel einen um 10 mmHg höheren Druckwert aufwies.

Auffällig ist der deutlich niedrigere systolische Ophthalmicadruck in der Gruppe der über 60 Jährigen. Ob hier der okulokardiale Reflex in einer Messreihe mit 4 Wiederholungen im Gegensatz zu einer einmaligen Messung bei Stodtmeister et al. die Ursache darstellt, bleibt weiter zu untersuchen.

In unseren Daten konnte keine signifikante Altersabhängigkeit für den diastolischen und systolischen Ophthalmicadruck mit Anstieg im höheren Lebensalter wie bei Stodtmeister et al. nachgewiesen werden. Unsere Probanden waren allerdings mehrheitlich jünger, weshalb eine Untersuchung innerhalb der höheren Altersgruppen aufgrund zu geringer Fallzahlen vermutlich statistisch nicht aussagekräftig genug ist.

Der systolische und diastolische systemische Blutdruck hingegen korrelierte signifikant mit dem Alter.

Beachtet werden muss, dass die Messmethode bei Stodtmeister et al. von den anderen Studien und der unseren abweicht. Bei Stodtmeister et al. wurde der Druck mit dem Kontaktglas-Dynamometer auf den Bulbus erhöht bis zum Auftreten von Pulsationen im Bereich der Zentralarterie, danach jedoch wieder vermindert bis zum Verschwinden der Pulsation und erst dann der Druckwert als diastolischer Ophthalmicadruck notiert. Der systolische Ophthalmicadruck wurde gemessen, wenn bei Reduktion des Drucks auf das Auge ein Wiederauftreten einer Pulsation der Arterie nach komplettem Stopp des Blutflusses zu verzeichnen war (72). Aufgrund des unterschiedlichen Vorgehens würde man niedrigere Druckwerte bei Stodtmeister et al. vermuten, was im Vergleich mit unseren Daten nicht der Fall war.

Für eine Vergleichbarkeit ophthalmodynamometrischer Druckwerte bei Patienten und die Festlegung von Normalwerten sollte eine einheitliche Durchführung der Messung mit eindeutiger Bestimmung des Messzeitpunktes und der Anzahl von Wiederholungen vorliegen.

4.2.2.3. Verhältnis zum systemischen Blutdruck

Wie Jonas 2003 schon zeigte, kann eine Korrelation zwischen den kontaktglasdynamometrisch ermittelten Ophthalmicadrücken und dem systemischen Blutdruck festgestellt werden.

Die Korrelation zur Diastole des systemischen Blutdrucks war bei Jonas als auch bei einer späteren Untersuchung von Harder und Jonas stärker ausgeprägt als zur Systole. Hier handelte es sich in beiden Fällen ausschließlich um den diastolischen Ophthalmicadruck, der untersucht wurde (15,31). Interessant ist, dass in unserer Studie sowohl der diastolische als auch der systolische Ophthalmicadruck besser mit der Diastole des systemischen Blutdrucks korrelierte.

Für das linke Auge fielen in der Studie von Jonas die Korrelationskoeffizienten zum systemischen Blutdruck jeweils höher aus, als für das Rechte. Als mögliche Ursache wird der okulokardiale Reflex vermutet. Da in diesem Fall der systemische Blutdruck nach der Kontaktglas-Dynamometrie gemessen wurde und das linke Auge immer zuletzt, besteht zeitlich ein engerer Bezug zum linken Auge (31).

Aber auch bei Messung des systemischen Blutdrucks vor der Kontaktglas-Dynamometrie ergab sich eine bessere Korrelation für das linke Auge, wie aus der Untersuchung von Harder und Jonas (15) hervorgeht, bei welcher auch das linke Auge immer zuletzt gemessen wurde.

Diese Ergebnisse decken sich mit unseren Beobachtungen. In der Regel zeigte sich für das linke Auge ein höherer Spearman Rangkorrelationskoeffizient zwischen dem diastolischen und systolischen Ophthalmicadruck und dem systemischen Blutdruck, als für das Rechte. Auch wenn der systemische Blutdruck vor der Kontaktglas-Dynamometrie gemessen wurde, also unmittelbar vor Messung des rechten Auges. Inwieweit der okulokardiale Reflex das Messergebnis beeinflusst haben kann ist schwierig zu sagen, da er individuell unterschiedlich ausgeprägt ist (73) und es nach Beendigung des Stimulus zu einer schnellen Rekompensation von Blutdruck und Puls kommt (66,67).

Bei Stodtmeister et al. wurde die ausgeprägteste Korrelation bei simultaner systemischer Blutdruckmessung und Kontaktglas-Dynamometrie gefunden (72).

Die zeitlich zur Kontaktglas-Dynamometrie versetzte systemische Blutdruckmessung in unserem Untersuchungsablauf kann unter anderem eine Ursache für die relativ schwach ausgeprägte Korrelation zum systemischen Blutdruck darstellen. Da sich nur für den systolischen systemischen Blutdruck am linken Arm gemessen eine statistisch signifikante Differenz zwischen der Messung vor und nach der Kontaktglas-Dynamometrie ergab, ist dieser Punkt vermutlich zu vernachlässigen.

Ein weiterer Grund für die geringe Korrelation kann die Autoregulation der retinalen Durchblutung sein. Das Auge weist wie das Gehirn eine Autoregulation zur konstanten Blut- und Nährstoffversorgung auf. Über vaskuläre Myofibrillen der Arteriolen und Perizyten wird der Gefäßwiderstand entsprechend angepasst (74). Bei Änderungen des Perfusionsdrucks und des Sauerstoff- oder Kohlenstoffdioxid-Partialdrucks spricht dieses System der Autoregulation an. Der Perfusionsdruck im Auge vermindert sich beispielsweise durch Blutdruckabfall oder Anstieg des intraokularen Drucks (75). Nach Untersuchungen von Ulrich und Ulrich beträgt die autoregulatorische Kapazität im retinalen Stromgebiet ca. 20 mmHg (76).

Es wurde gezeigt, dass bei jungen Normalprobanden unter physischer Belastung das Maß des Blutdruckanstiegs mit der Vasokonstriktion der retinalen Arteriolen korreliert (74). Bei Reduktion des Perfusionsdrucks konnte eine signifikante Vasodilatation der retinalen Arteriolen nachgewiesen werden (75,77).

Das heißt, das Auge reagiert bei Änderungen des Blutdrucks mit einer Veränderung des Gefäßwiderstandes. Auch bei Harder und Jonas wird die Autoregulation als Erklärungsansatz für die relativ geringe Korrelation zum systemischen Blutdruck angenommen (15).

Bei der Analyse der Untergruppen konnte kaum noch eine eindeutige signifikante Korrelation innerhalb einer Gruppe festgestellt werden. In der Gruppe der 20-40 Jährigen korrelierte der diastolische mehr als der systolische Ophthalmicadruck mit dem systemischen Blutdruck. In der Gruppe der 40-60 Jährigen konnten nur für den systolischen Ophthalmicadruck z. T. signifikante Korrelationen zum systemischen Blutdruck festgestellt werden. Innerhalb der anderen Alters- und Blutdruckgruppen war keine eindeutige Korrelation nachzuweisen.

Die Reaktivität der retinalen Arteriolen und somit die Fähigkeit zur Autoregulation nimmt mit dem Alter ab (78,79). Man könnte vermuten, dass durch die verminderte Autoregulation eine Korrelation zum systemischen Blutdruck in den höheren Altersgruppen steigen müsste. Im Alter kommt es allerdings zu Gefäßwandveränderungen mit Zunahme der Wanddicke und Rigidität der retinalen Arteriolen (80–82). Aus der schlechten Korrelation im höheren Alter ließe sich schlussfolgern, dass man möglicherweise aufgrund der Gefäßwandveränderungen etwas Eigenständiges misst, was demnach schlecht mit einer systemischen Blutdruckmessung korreliert. Dagegen spricht, dass andere Autoren bei einem mittleren Alter von über 60 Jahren eine gute Korrelation zwischen dem diastolischen Ophthalmicadruck und dem systemischen Blutdruck mit einem Koeffizienten von 0,77 ($p < 0,001$) nachweisen konnten (31).

Durch die Einteilung der Probanden in Alters- und Blutdruckgruppen sind die Stichproben für die einzelne Gruppe geschrumpft und wahrscheinlich schlicht keine ausreichende statistische Aussagekraft hier vorhanden.

4.2.2.4. Einfluss auf den systemischen Blutdruck

Um den Einfluss der Kontaktglas-Dynamometrie selbst auf den systemischen Blutdruck zu untersuchen, wurden Blutdruck und Puls unmittelbar vor- und nach den Messungen bestimmt. Ein geringer Abfall des systemischen systolischen bzw. diastolischen Blutdrucks konnte verzeichnet werden, welcher nur für den systolischen Blutdruck am linken Arm statistisch signifikant war.

Wie oben beschrieben kann durch Druck auf den Bulbus, wie es bei der Kontaktglas-Dynamometrie praktiziert wird, ein okulokardialer Reflex mit Pulsreduktion und Blutdruckabfall ausgelöst werden (66,67).

Probanden mit Abfall des systolischen systemischen Blutdrucks zeigten mehrheitlich dazu passend eine Pulsreduktion, sodass eine zwar schwache, aber signifikante Korrelation zwischen der Pulsdifferenz und der Differenz des systolischen Blutdrucks vor gegenüber nach der Kontaktglas-Dynamometrie festgestellt werden konnte (83). Es ist davon auszugehen, dass es sich bei diesen Differenzen nicht um ungenaue Messergebnisse handelt, sondern ein Einfluss der Kontaktglas-Dynamometrie auf den systemischen Blutdruck damit nachweisbar ist.

Weshalb die gefundenen Differenzen relativ gering ausgeprägt sind, könnte in der schnellen Rekompensation nach Auslösen eines okulokardialen Reflexes begründet sein (67,73). Nach Anlegen der Blutdruckmanschette könnte der Effekt bereits teilweise rekompensiert sein und nicht mehr vollständig nachweisbar.

In einer Vergleichsuntersuchung von unterschiedlichen Vagusmanövern war die Reaktion auf den Bulbusdruck im Vergleich zu den anderen nicht-invasiven Manövern wie Karotis-Sinus-Massage, Valsalva-Manöver und Auslösen des sogenannten Tauchreflexes durch Eintauchen des Gesichts in Eiswasser oder Bedecken von Gesicht und Stirn mit einem Beutel Eiswasser, am geringsten ausgeprägt (73).

Wie groß der Einfluss der Kontaktglas-Dynamometrie auf den systemischen Blutdruck und das Messergebnis selbst ist, sollte in weiteren Studien mit kontinuierlicher Blutdruck- und Pulsmessung untersucht werden.

4.2.2.5. Korrelation zum BMI

In verschiedenen Populationen ist eine annähernd lineare Beziehung zwischen dem BMI und dem systemischen Blutdruck nachgewiesen worden (84). Bei uns ergab sich ebenfalls eine signifikante Korrelation zwischen dem systemischen Blutdruck und dem BMI.

Eine signifikante Korrelation zeigte sich auch zwischen dem systolischen Ophthalmicadruk am rechten und linken Auge und dem BMI. Hierfür finden sich keine Vergleichsdaten in der Literatur. Da außerdem eine Korrelation zwischen dem systolischen Ophthalmicadruk und dem systemischen Blutdruck vorliegt, ergibt sich hierüber zwangsläufig ein Zusammenhang zum BMI.

Der VPP korrelierte weder mit dem BMI noch mit dem systemischen Blutdruck. Der diastolische Ophthalmicadruk war vom BMI statistisch unabhängig.

4.2.2.6. Vergleich von rechtem und linkem Auge

Aus einer Untersuchung von Jonas und Hennerici geht hervor, dass eine mittlere Druckdifferenz zwischen der Arteria ophthalmica des rechten und des linken Auges in einer gesunden Population bei $15,0 \pm 13,4$ relativen Einheiten liege (85).

In unserer Studie lag die Differenz zwischen dem rechten und linken Auge für den diastolischen Druck im Schnitt bei 8 mmHg, für den systolischen Druck bei 9,2 mmHg. Diese Differenz erwies sich als statistisch signifikant.

Interessant ist, dass in der Gesamtgruppe und allen untersuchten Untergruppen immer das linke Auge einen höheren Druckwert aufwies als das Rechte.

Dieses Ergebnis ist von Bedeutung, da Druckunterschiede zwischen der rechten und der linken Arteria ophthalmica zur Diagnosestellung einer Ischämischen Ophthalmopathie bei Karotisstenose herangezogen werden können (45,46). Eine Fehlinterpretation der Ergebnisse bei Seitenunterschieden sollte vermieden werden.

Ursache für den stets höheren Druck in der linksseitigen Arteria ophthalmica und die bessere Korrelation zwischen dem systemischen Blutdruck und dem diastolischen und systolischen Ophthalmicadruk am linken Auge, kann der standardisierte Untersuchungsablauf sein, nach welchem immer das rechte Auge zuerst untersucht wurde, dann das Linke. Vermeiden ließe sich ein solcher systematischer Fehler, indem nur ein Auge pro Proband gemessen würde. Dies entspricht allerdings nicht den realen klinischen Bedingungen, wo natürlich in der Regel beide Augen eines Patienten untersucht werden, gerade um Unterschiede festzustellen.

Um einer größeren Diskrepanz zwischen den Messwerten des rechten und linken Auges keine falsche Bedeutung beizumessen, sollte dieser Frage weiter nachgegangen werden: Wie wird das 2. Auge in der Messabfolge beeinflusst?

Ein Untersuchungsaufbau, in dem randomisiert entweder mit dem rechten oder dem linken Auge begonnen wird, erscheint für zukünftige Untersuchungen sinnvoll.

4.3. Fazit

Durch die Studie ergibt sich ein Bild von einem deutlich geringeren Vorhandensein einer venösen Spontanpulsation in der jüngeren Bevölkerung mit niedrigerem systemischem Blutdruck, das es gilt zu bestätigen.

Für die Messergebnisse mit dem Kontaktglas-Dynamometer konnte für den diastolischen und systolischen Ophthalmicadruk eine Korrelation zum systemischen Blutdruck nachgewiesen werden, welche allerdings gering ausfiel.

Aufgrund der geringen Korrelation zum systemischen Blutdruck, der signifikanten Differenz zwischen rechtem und linkem Auge und nur zum Teil vergleichbaren

Messergebnissen mit anderen Studien stellt sich die Frage, ob bei korrekter Durchführung der Kontaktglas-Dynamometrie überhaupt eine sinnvolle Interpretation der Messergebnisse bei den eingangs erwähnten Indikationen unter Berücksichtigung aller hier gezeigten einflussnehmenden Faktoren möglich ist. Wie viel Einfluss die Autoregulation auf das Ergebnis hat, welche eine geringe Korrelation zum systemischen Blutdruck bedingen kann, und wie viel Einfluss der okulokardiale Reflex, der den systemischen Blutdruck seinerseits verändern kann und somit auch das zu messende System, muss in weiteren Studien evaluiert werden. Zur besseren Vergleichbarkeit sollte hierfür ein einheitliches Vorgehen gefunden werden.

5. Zusammenfassung

Bei der Ophthalmodynamometrie werden durch Druckausübung auf den Bulbus Pulsphänomene im Bereich der zentralen Netzhautgefäße ausgelöst. Von der benötigten Kraft kann auf den diastolischen und systolischen Ophthalmicadruck geschlossen werden sowie auf den Venenpulsationsdruck (VPP), wenn keine spontane Pulsation der Vena centralis retinae vorliegt. Mit dieser Untersuchungstechnik können retinale Gefäßerkrankungen des Auges sowie indirekt Carotisstenosen oder die okuläre Perfusion im Rahmen eines Glaukoms genauer untersucht werden.

Der Venenpulsationsdruck wird aufgrund des anatomischen Verlaufs der Vena centralis retinae vom intraorbitalen Gewebsdruck sowie vom Hirndruck beeinflusst, sodass außerdem Aussagen über einen erhöhten Orbitadruck bei einer endokrinen Orbitopathie und über die Höhe des Hirndrucks möglich sind.

In der vorliegenden prospektiven Studie wurden Vergleichswerte mit dem Kontaktglas-Dynamometer nach Löw erhoben und untersucht, ob die Messwerte durch Alter, BMI und den systemischen Blutdruck beeinflusst werden bzw. in wie weit die Kontaktglas-Dynamometrie selber einen Einfluss auf den systemischen Blutdruck hat.

Die Messung des VPPs und des diastolischen und systolischen Ophthalmicadrucks erfolgte an 170 Augen von 85 gesunden Probanden (mittleres Alter $41,4 \pm 17,7$ Jahren, 57,7% weiblich). Die Messwerte wurden mit dem korrigierten intraokularen Druck addiert und aus einer Abfolge von je 5 Messungen der Mittelwert bestimmt. Unmittelbar vor und nach der Kontaktglas-Dynamometrie wurde an beiden Armen eine automatische Blutdruckmessung vorgenommen.

Die Häufigkeit einer venösen Spontanpulsation in der Gesamtgruppe weicht mit 53,8% der rechten Augen und 55,0% der linken Augen deutlich von den Angaben in der Literatur nach unten ab, bei deutlich jüngerem Probandenkollektiv. Das Vorhandensein einer venösen Spontanpulsation schien mit höherem Lebensalter häufiger zu sein, was sich allerdings nicht als statistisch signifikant erwies. Eine Spontanpulsation zeigte sich in den Probandengruppen mit erhöhtem systemischem Blutdruck häufiger, was am linken Auge mit $p < 0,05$ statistisch signifikant war. Ein möglicher Zusammenhang mit Alter und systemischem Blutdruck gilt es in Zukunft genauer zu beleuchten.

In der Gesamtgruppe betrug der Median des VPPs rechts 17,6, links 17,0 mmHg. Der Median des diastolischen Ophthalmicadrucks betrug rechts 58,5, links 66,5 und der des systolischen Ophthalmicadrucks rechts 88,9 und links 98,1 mmHg.

Übereinstimmend mit der Literatur waren im Seitenvergleich die diastolischen und systolischen Ophthalmicadrücke statistisch signifikant verschieden (Wilcoxon-Test; diastolischer Druck $p < 0,000005$; systolischer Druck $p = 0,000001$). Die Untersuchungsreihenfolge der Augen sollte als Ursache hierfür ausgeschlossen werden.

Der BMI korrelierte signifikant mit dem systolischen Ophthalmicadruck am rechten und linken Auge (rechts $r_s = 0,23$, links $r_s = 0,31$; $p < 0,05$). Der VPP und der diastolische Ophthalmicadruck waren vom BMI statistisch unabhängig.

Für den VPP und den systolischen Ophthalmicadruck bestand keine Alterskorrelation. Der diastolische Ophthalmicadruck rechts wies eine schwache Alterskorrelation auf (Spearman $r_s = -0,30$; $p < 0,01$).

Der VPP war für das rechte und linke Auge vom systemischen Blutdruck statistisch unabhängig. Für den diastolischen und systolischen Ophthalmicadruck konnte eine signifikante Korrelation zum systemischen Blutdruck gefunden werden, welche allerdings gering ausfiel. Der Rangkorrelationskoeffizient für den diastolischen Ophthalmicadruck am rechten Auge betrug zwischen $r_s = 0,09$ ($p > 0,05$, nicht signifikant) und $r_s = 0,29$ ($p < 0,01$) und am linken Auge zwischen $r_s = 0,26$ ($p < 0,05$) und $r_s = 0,39$ ($p < 0,0005$). Für den systolischen Ophthalmicadruck am rechten Auge betrug der Rangkorrelationskoeffizient zwischen $r_s = 0,24$ ($p < 0,05$) und $r_s = 0,40$ ($p < 0,0005$), am linken zwischen $r_s = 0,22$ ($p = 0,06$, nicht signifikant) und $r_s = 0,43$ ($p < 0,0005$). Eine Erklärung für die geringe Korrelation zum systemischen Blutdruck kann die Autoregulation der retinalen Durchblutung sein.

Der systemische Blutdruck fiel in der Gesamtgruppe rechts von 133/82 auf 131/80,5 mmHg und links von 131/81 auf 128/82 mmHg (Median). Für den systolischen Wert am linken Arm ergab sich hieraus eine signifikante Differenz (Signifikanzniveau von $p < 0,05$). Der leicht abfallende systemische Blutdruck nach Kontaktglas-Dynamometrie kann mit dem okulokardialen Reflex erklärt werden, welcher u.a. durch Bulbusdruck ausgelöst werden kann. Dies sollte in weiteren Studien mit kontinuierlicher Blutdruckmessung überprüft werden.

Aufgrund einer Reihe auf die Kontaktglas-Dynamometrie und das Messergebnis einflussnehmender Faktoren bleibt die Frage, ob eine sinnvolle Interpretation der Messergebnisse bei den erwähnten Indikationen möglich ist, noch offen.

6. Literaturverzeichnis

1. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS Lernatlas der Anatomie. Kopf und Neuroanatomie. 1., Aufl. Thieme, Stuttgart; 2006. 420 p.
2. Lang GK. Augenheilkunde: Verstehen - Lernen - Anwenden. 4., überarbeitete Auflage. Thieme, Stuttgart; 2008.
3. Motschmann M, Müller C, Walter S, Schmitz K, Schütze M, Firsching R, Behrens-Baumann, W. Ophthalmodynamometrie Ein zuverlässiges Verfahren zur nicht-invasiven Bestimmung des Hirndrucks. Ophthalmologe. Dezember 2000;97(12):860–2.
4. Meyer-Schwickerath R, Stodtmeister R, Hartmann K. Die nicht-invasive Bestimmung des Hirndrucks durch den Augenarzt: physiologische Grundlagen und Vorgehen in der Praxis. Klin Monbl Augenheilkd. Dezember 2004;221(12):1007–11.
5. Sachsenweger M. Augenheilkunde. 2., vollst. überarb. u. erw. A. Thieme, Stuttgart; 2002. 500 p.
6. Coccius EA. Ueber die Anwendung des Augen-spiegels nebst Angabe eines neuen Instrumentes. I. Muller; 1853. 234 p.
7. Baumann M. Ueber die Entstehung und klinische Bedeutung des Netzhautvenenpulses. Ber Zusammenkunft Dtsch Ophthalmol Ges. 1925;45:53–9.
8. Stodtmeister R. Zentralvenenpuls, Zentralvenendruck und Glaukomschaden. Klin Monbl Augenheilkd. Juli 2008;225(7):632–6.
9. Levine DN. Spontaneous pulsation of the retinal veins. Microvasc Res. November 1998;56(3):154–65.
10. Kain S, Morgan WH, Yu D-Y. New observations concerning the nature of central retinal vein pulsation. Br J Ophthalmol. Juli 2010;94(7):854–7.
11. Jacks AS, Miller NR. Spontaneous retinal venous pulsation: aetiology and significance. J Neurol Neurosurg Psychiatr. Januar 2003;74(1):7–9.
12. Strik F. Ophthalmodynamographie und Ophthalmodynamometrie in der neurologischen Praxis. Med. Diss. Rotterdam: Erasmus Universität Rotterdam; 1977.

13. Lobstein A, Nordmann J. Modern ophthalmodynamometry. *Doc Ophthalmol.* 1959;13:397–430.
14. Weigelin E, Lobstein A. *Ophthalmodynamometry.* Karger, S; 1962.134 p.
15. Harder B, Jonas JB. Ophthalmodynamometrie des diastolischen retinalen arteriellen Kollapsdruckes: Korrelation mit dem systemischen Blutdruck. *Ophthalmologe.* April 2008;105(4):376–80.
16. Firsching R, Schütze M, Motschmann M, Behrens-Baumann W. Venous ophthalmodynamometry: a noninvasive method for assessment of intracranial pressure. *J Neurosurg.* Juli 2000;93(1):33–6.
17. Meyer-Schwickerath R, Kleinwächter T, Firsching R, Papenfuss HD. Central retinal venous outflow pressure. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* Dezember 1995;233(12):783–8.
18. Hartmann K, Meyer-Schwickerath R. Measurement of venous outflow pressure in the central retinal vein to evaluate intraorbital pressure in Graves' ophthalmopathy: a preliminary report. *Strabismus.* September 2000;8(3):187–93.
19. Rauber M, Müller S, Mester U. Radiäre Optikusneurotomie beim Zentralvenenverschluss: Erfolgskontrolle mittels ophthalmodynamometrischer Venendruckmessung. *Ophthalmologe.* Oktober 2006;103(10):861–5.
20. Nicolela MT. Retinal vein pulsation predicts increasing optic disc excavation. *Br J Ophthalmol.* April 2007;91(4):405–6.
21. Morgan WH, Hazelton ML, Azar SL, House PH, Yu D-Y, Cringle SJ, Balaratnasingam C. Retinal venous pulsation in glaucoma and glaucoma suspects. *Ophthalmology.* August 2004;111(8):1489–94.
22. Jonas JB, Pfeil K, Chatzikonstantinou A, Rensch F. Ophthalmodynamometric measurement of central retinal vein pressure as surrogate of intracranial pressure in idiopathic intracranial hypertension. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* Juli 2008;246(7):1059–60.
23. Jonas JB, Harder B. Ophthalmodynamometric differences between ischemic vs nonischemic retinal vein occlusion. *Am J Ophthalmol.* Januar 2007;143(1):112–6.
24. Jonas JB. Reproducibility of ophthalmodynamometric measurements of central retinal artery and vein collapse pressure. *Br J Ophthalmol.* Mai 2003;87(5):577–9.

25. Jonas JB, Harder B. Central retinal artery and vein collapse pressure in giant cell arteritis versus nonarteritic anterior ischaemic optic neuropathy. *Eye (Lond)*. April 2008;22(4):556–8.
26. Jonas JB. Central retinal artery and vein collapse pressure in eyes with chronic open angle glaucoma. *Br J Ophthalmol*. August 2003;87(8):949–51.
27. Harder B, Hennerici MG, Jonas JB. Retinaler Zentralvenenkollapsdruck in der Diagnostik der idiopathischen intrakraniellen Hypertension. *Klin Monbl Augenheilkd*. November 2007;224(11):852–5.
28. Harder B, Jonas JB. Ophthalmodynamometrie in der Diagnostik der endokrinen Orbitopathie. *Klin Monbl Augenheilkd*. November 2007; 224(11):847–51.
29. Jonas JB. Ophthalmodynamometric assessment of the central retinal vein collapse pressure in eyes with retinal vein stasis or occlusion. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. Mai 2003;241(5):367–70.
30. Jonas JB. Ophthalmodynamometry in eyes with dilated episcleral veins. *J Glaucoma*. Juni 2003;12(3):285–7.
31. Jonas JB. Ophthalmodynamometric determination of the central retinal vessel collapse pressure correlated with systemic blood pressure. *Br J Ophthalmol*. April 2004;88(4):501–4.
32. Pan Y, Varma R. Natural history of glaucoma. *Indian J Ophthalmol*. Januar 2011;59 Suppl:S19–23.
33. Speckmann E-J, Hescheler J, Köhling R. *Physiologie: mit Zugang zum Elsevier-Portal*. 5. Aufl. Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH; 2008. 924 p.
34. Leske MC. Ocular perfusion pressure and glaucoma: clinical trial and epidemiologic findings. *Curr Opin Ophthalmol*. März 2009;20(2):73–8.
35. Zheng Y, Wong TY, Mitchell P, Friedman DS, He M, Aung T. Distribution of ocular perfusion pressure and its relationship with open-angle glaucoma: the singapore malay eye study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. Juli 2010;51(7):3399–404.
36. Memarzadeh F, Ying-Lai M, Chung J, Azen SP, Varma R. Blood pressure, perfusion pressure, and open-angle glaucoma: the Los Angeles Latino Eye Study. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. Juni 2010;51(6):2872–7.
37. Sommer A. Glaucoma risk factors observed in the Baltimore Eye Survey. *Curr Opin Ophthalmol*. April 1996;7(2):93–8.

38. Leske MC, Wu S-Y, Hennis A, Honkanen R, Nemesure B. Risk factors for incident open-angle glaucoma: the Barbados Eye Studies. *Ophthalmology*. Januar 2008;115(1):85–93.
39. Bonomi L, Marchini G, Marraffa M, Bernardi P, Morbio R, Varotto A. Vascular risk factors for primary open angle glaucoma: the Egna-Neumarkt Study. *Ophthalmology*. Juli 2000;107(7):1287–93.
40. Quigley HA, West SK, Rodriguez J, Munoz B, Klein R, Snyder R. The prevalence of glaucoma in a population-based study of Hispanic subjects: Proyecto VER. *Arch Ophthalmol*. Dezember 2001;119(12):1819–26.
41. Balaratnasingam C, Morgan WH, Hazelton ML, House PH, Barry CJ, Chan H, Cringle SJ, Yu D-Y. Value of retinal vein pulsation characteristics in predicting increased optic disc excavation. *Br J Ophthalmol*. April 2007;91(4):441–4.
42. Morgan WH, Balaratnasingam C, Hazelton ML, House PH, Cringle SJ, Yu D-Y. The force required to induce hemivascular pulsation is associated with the site of maximum field loss in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. April 2005;46(4):1307–12.
43. Legler U, Jonas JB. Frequency of spontaneous pulsations of the central retinal vein in glaucoma. *J Glaucoma*. März 2009;18(3):210–2.
44. Jonas JB. Retinal arterial collapse pressure in eyes with retinal arterial occlusive diseases. *Br J Ophthalmol*. April 2004;88(4):589.
45. Jonas JB, Kalktakji F. Ophthalmodynamometry and ischemic ophthalmopathy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. Mai 2008;246(5):783–4.
46. Jonas JB, Niessen A. Ophthalmodynamometric diagnosis of unilateral ischemic ophthalmopathy. *Am J Ophthalmol*. Dezember 2002;134(6):911–2.
47. Jonas JB. Ophthalmodynamometric measurement of orbital tissue pressure in thyroid-associated orbitopathy. *Acta Ophthalmol Scand*. April 2004;82(2):239.
48. Firsching R, Schütze M, Motschmann M, Behrens-Baumann W, Meyer-Schwickerath R. Non-invasive measurement of intracranial pressure. *Lancet*. 14. Februar 1998;351(9101):523–4.
49. Jonas JB, Harder B. Ophthalmodynamometric estimation of cerebrospinal fluid pressure in pseudotumour cerebri. *Br J Ophthalmol*. März 2003;87(3):361–2.
50. El Assaad MA, Topouchian JA, Asmar RG. Evaluation of two devices for self-measurement of blood pressure according to the international protocol: the Omron M5-I and the Omron 705IT. *Blood Press Monit*. Juni 2003;8(3):127–33.

51. Tholl U, Anlauf M, Lichtblau U, Dammer R, Roggenbuck U. Das Prüfsiegelprotokoll der Deutschen Hochdruckliga zur klinischen Validierung von Blutdruckmessgeräten: Ergebnisse aus 51 Geräteprüfungen. Dtsch Med Wochenschr. November 2006;131(46 Spec No):H31–6.
52. Kass MA. Standardizing the measurement of intraocular pressure for clinical research. Guidelines from the Eye Care Technology Forum. Ophthalmology. Januar 1996;103(1):183–5.
53. Goldmann H, Schmidt T. Weiterer Beitrag zur Applanationstonometrie. Ophthalmologica. Juni 1961;141:441–56.
54. Wiegand W, Schroeder B, Hager A. Grundlagen der Applanationstonometrie. Klin Monbl Augenheilkd. Juli 2005;222(7):552–7.
55. Kohlhaas M, Spörl E, Böhm AG, Pollack K, Sandner D, Pillunat LE. Applanationstonometrie bei Normalpatienten und Patienten nach LASIK. Klin Monbl Augenheilkd. Oktober 2005;222(10):823–6.
56. Von Eicken J, Kohlhaas M, Höh H. Glaukomdiagnostik und Hornhautdicke. Ophthalmologe. September 2005;102(9):840–8.
57. Halliday D, Resnick R, Walker J. Halliday Physik. 2. überarb. u. erg. Auflage. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2009.
58. Systemhandbuch Kontaktglas-Dynamometer, Stand 01.04.2006, Meditron, Poststr.19-21, 66333 Völklingen.
59. Kohlhaas M BA. Effect of central corneal thickness, corneal curvature, and axial length on applanation tonometry. Arch Ophthalmol. 1. April 2006;124(4):471–6.
60. Hager A, Dave H, Wiegand W. Hornhaut-Pachymetrie und Augeninnendruck. Klin Monbl Augenheilkd. Juli 2005;222(7):558–67.
61. Rüfer F. Fehlerquellen bei der Goldmann-Applanationstonometrie. Ophthalmologe. Juni 2011;108(6):546–52.
62. Kanski JJ, Bowling B. Klinische Ophthalmologie: Lehrbuch und Atlas - mit Zugang zum Elsevier-Portal. 7. Aufl. Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH; 2012. 928 p.
63. Wolfs RC, Klaver CC, Vingerling JR, Grobbee DE, Hofman A, de Jong PT. Distribution of central corneal thickness and its association with intraocular pressure: The Rotterdam Study. Am J Ophthalmol. Juni 1997;123(6):767–72.

64. Kutschan A, Schroeder B, Hager A, Dave H, Wegscheider K, Wiegand W. Hornhautdickenabhängige Korrekturfaktoren bei der Goldmann-
Applanationstonometrie. *Ophthalmologe*. Januar 2010;107(1):30–5.
65. Schmidt E, Schwanitz K, Böhm AG, Pillunat LE. Vergleichende Messung der
zentralen Hornhautdicke mit zwei Ultraschallpachymetern. *Ophthalmologe*.
August 2006;103(8):688–92.
66. Arasho B, Sandu N, Spiriev T, Prabhakar H, Schaller B. Management of the
trigemino-cardiac reflex: facts and own experience. *Neurol India*. August
2009;57(4):375–80.
67. Roewer N, Thiel H. *Anästhesie compact: Leitfaden für die klinische Praxis;*
153 Tabellen. Georg Thieme Verlag; 2007. 628 p.
68. Harder B, Jonas JB. Frequency of spontaneous pulsations of the central
retinal vein. *Br J Ophthalmol*. März 2007;91(3):401–2.
69. Abegão Pinto L, Vandewalle E, De Clerck E, Marques-Neves C, Stalmans I.
Lack of spontaneous venous pulsation: possible risk indicator in normal
tension glaucoma? *Acta ophthalmologica*. 9. Juli 2012.
70. Lorentzen SE. Incidence of spontaneous venous pulsation in the retina. *Acta*
Ophthalmol (Copenh). 1970;48(4):765–70.
71. Levin BE. The clinical significance of spontaneous pulsations of the retinal
vein. *Arch Neurol*. Januar 1978;35(1):37–40.
72. Stodtmeister R, Oppitz T, Spoerl E, Haustein M, Boehm AG. Contact lens
dynamometry: The influence of age. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. Dezember
2010;51(12):6620-4.
73. Arnold RW. The human heart rate response profiles to five vagal maneuvers.
Yale J Biol Med. August 1999;72(4):237–44.
74. Strauss RW, Lüdtke U, Kampik A, Neubauer AS. Statische retinale
Gefäßanalyse bei akutem Blutdruckanstieg. *Klin Monbl Augenheilkd*. Juni
2011;228(6):544–9.
75. Tachibana H, Gotoh F, Ishikawa Y. Retinal vascular autoregulation in normal
subjects. *Stroke*. April 1982;13(2):149–55.
76. Stodtmeister R, Christ T, Pillunat L. *Okuläre Durchblutungsstörungen.*
Grundlagen, Diagnostik, Therapie. Enke Ferdinand; 1987.

77. Nagel E, Vilser W. Autoregulative behavior of retinal arteries and veins during changes of perfusion pressure: a clinical study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* Januar 2004;242(1):13–7.
78. Blum M, Bachmann K, Strobel J. Alterskorrelation der blutdruckinduzierten myogenen Autoregulation von menschlichen retinalen Arteriolen an 40 Probanden. *Klin Monbl Augenheilkd.* Oktober 2000;217(4):225–30.
79. Jeppesen P, Gregersen PA, Bek T. The age-dependent decrease in the myogenic response of retinal arterioles as studied with the Retinal Vessel Analyzer. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* November 2004;242(11):914–9.
80. Muraoka Y, Tsujikawa A, Kumagai K, Akiba M, Ogino K, Murakami T, Akagi-Kurashige Y, Miyamoto K, Yoshimura N. Age- and hypertension-dependent changes in retinal vessel diameter and wall thickness: an optical coherence tomography study. *Am J Ophthalmol.* Oktober 2013;156(4):706–14.
81. Grossniklaus HE, Nickerson JM, Edelhauser HF, Bergman LAMK, Berglin L. Anatomic Alterations in Aging and Age-Related Diseases of the Eye. *IOVS.* 12. Januar 2013;54(14):ORSF23–7.
82. Groh MJ, Michelson G, Langhans MJ, Harazny J. Influence of age on retinal and optic nerve head blood circulation. *Ophthalmology.* März 1996;103(3):529–34.
83. Rüfer F, Köpke B. Die Kontaktglasdynamometrie beeinflusst den Systemkreislauf: Folgerungen für die Praxis. *Klin Monbl Augenheilkd.* November 2014;231(11):1120–5.
84. Vaněčková I, Maletínská L, Behuliak M, Nagelová V, Zicha J, Kuneš J. Obesity-related hypertension: possible pathophysiological mechanisms. *J Endocrinol.* Dezember 2014;223(3):R63–78.
85. Jonas JB, Hennerici M. Ophthalmodynamometry for diagnosis of internal carotid artery dissection. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* Januar 2006;244(1):129–30.

7. Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. J. Roider danke ich für die freundliche Überlassung des Dissertationsthemas.

Besonderer Dank gilt Herrn Privatdozent Dr. F. Rüfer, der die Untersuchungen der Probanden durchführte, meine Arbeit über die ganze Zeit betreute und mir mit konstruktive Hilfe bei Durchführung und Anfertigung der Dissertation zur Seite stand.

Außerdem danke ich Herrn Prof. R. Stodtmeister sowie Herrn Dipl. Inform. J. Hedderich für die Anregungen und Hilfestellungen zur Durchführung und Diskussion der Arbeit.

Mein Dank gilt außerdem meinen Eltern, die mir das Studium der Humanmedizin überhaupt ermöglicht haben.

8. Lebenslauf

Swantje Britta Jasmin Köpke

Geburtsdatum: 30. März 1986

Geburtsort: Duisburg

Staatsangehörigkeit: deutsch

Familienstand: ledig

Berufliche Tätigkeit

Seit 04/2015 Assistenzärztin in der Augenabteilung des St. Franziskus-Hospitals, Münster

04/2012 – 03/2015 Assistenzärztin in der Augenklinik, Klinikum Bremen-Mitte

Promotion

Seit 09/2009 Klinik für Ophthalmologie, Universitätsklinik Kiel
Thema: Zusammenhang zwischen dem am Oberarm und am Auge gemessenen Blutdruck und Messung des Venenpulsationsdrucks mittels Kontaktglas-Dynamometer

Studium und praktische Ausbildung

10/2005 - 12/2011 Studium der Humanmedizin an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

12/2011 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

08/2010 - 07/2011 Praktisches Jahr

- Innere Medizin, Segeberger Kliniken
- Ophthalmologie, Universitätsaugenklinik Kiel
- Chirurgie, Imland Klinik, Eckernförde

08/2007 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Schulbildung

06/2005 Allgemeine Hochschulreife, IGS Eckernförde

1996-2005 Integrierte Gesamtschule Eckernförde

01-06/2003 Colegio Andino – Deutsche Schule, Bogotá, Kolumbien

1992-1996 Grundschule Barkelsby