

**Ophthalmodynamographie
und
Ophthalmodynamometrie
in der neurologischen Praxis**

Ophthalmodynamographie und Ophthalmodynamometrie in der neurologischen Praxis

PROEFSCHRIFT

**TER VERKRIJGING VAN DE GRAAD VAN DOCTOR IN DE
GENEESKUNDE**

**AAN DE ERASMUS UNIVERSITEIT TE ROTTERDAM
OP GEZAG VAN DE RECTOR MAGNIFICUS
PROF. DR. B. LEIJNSE**

**EN VOLGENS BESLUIT VAN HET COLLEGE VAN DEKANEN.
DE OPENBARE VERDEDIGING ZAL PLAATS VINDEN OP
WOENSDAG 9 MAART 1977 DES NAMIDDAGS
TE 3.00 UUR PRECIES**

DOOR

FRANS STRIK

GEBOREN TE DEN HAAG

**J. Verhaag B.V. - Oldenzaal
1977**

Promotor: Dr. M. de Vlieger

Co-referenten: Prof. Dr. G. van den Brink

Prof. Dr. H. E. Henkes

Ich sage nicht, dasz jeder Gelehrte sein Fach wirklich weiter
bringen müsse; wenn er nun nicht kann ?
aber ich sage dasz er streben müsse, es weiterzubringen;
dasz er nicht ruhen - nicht glauben müsse, seiner Pflicht
Genüge getan zu haben, bis er es weitergebracht hat.

Johan Gottlieb Fichte:
Über die Bestimmung des Gelehrten

Aan allen
die door hun bevestigend vertrouwen
deze studie mogelijk maakten.

Inhalt	6
Einleitung	9
Übersicht und Einteilung	12
Kapitel I	
Grundlegendes über extra-kranielle Gefässobstruktionen aus der Literatur.	15
A. Atheromatöse Degeneration der Karotiden.	15
B. Hämodynamische Veränderungen im Circulus arteriosus Willisii bei Verschluss (eines) der vier Stämme.	17
C. Pathologisch-anatomische Untersuchungen bei Patienten mit obstruierenden Prozessen an den Karotiden.	19
D. Messungen der regionalen Gehirndurchblutung (rCBF) bei obstruierenden Prozessen an den Karotiden.	19
E. Anatomie und Radio-Anatomie der orbitalen Gefäße.	24
F. Kollaterale Zirkulation im Gehirn.	26
G. Die Gefahren der Gehirnangiographie.	28
Kapitel II	
Atraumatische Methoden zur Analyse der Zirkulation im Karotisgebiet.	30
A. Anatomische Methoden.	30
1. Echotomographie des Halses.	30
2. Abbildung mittels der Doppler-Apparatur.	31
B. Physiologische Methoden.	31
1. Von der Blutstromgeschwindigkeit abhängige Methoden.	31
a. Feststellung der Arm-Retinazeit.	31
I. mittels Stoppuhr.	31
II. mittels Fundus-Reflektometrie.	31
b. Fluoreszenz-Angiographie des Gesichtes.	32
c. Serienszintiphotographie des Schädels, des Halsgebietes und des Aortenbogens.	32
2. Untersuchung der pulsierenden Veränderungen der Blutstromgeschwindigkeit. Transkutane Doppler-flow-Messung.	33
3. Untersuchungen der Druckpulsationen.	37
a. An der Karotis - Karotissphygmographie.	37
b. Am Auge.	38
I. Die suction-cup Methode.	38
II. Ophthalmic Plethysmography.	41
III. Methoden zur Untersuchung des 'corneal indentation pulse'.	42
aa. Ophthalmodynamo - Kardiographie.	42
bb. Oculosphygmographie.	42
cc. Die dynamische Tonometrie.	43
4. Untersuchung der Volumenpulsationen.	45
a. An der Karotis im Hals	45
b. Am Karotissiphon.	45
c. Des Gehirns.	45
C. Verschiedenes.	46
1. Registrierung von Geräuschen an den Karotiden.	46
2. Karotiskompressionstonographie.	47

3. Thermometrie und Thermographie.	49
a. Thermometrie	49
b. Thermographie.	50
D. Kombination von Untersuchungsmethoden.	51
 Kapitel III	
Ophthalmodynamometrie und Ophthalmodynamographie.	55
A. Ophthalmodynamometrie.	55
1. Einleitung.	55
2. Technik.	55
3. Berechnung der Blutdruckwerte und der normalen ophthalmobrachialen Verhältnisse.	57
4. Messpunkte bei der ODM.	58
5. Experimenteller Grund der ODM.	59
6. Bedeutung der festgestellten Abweichungen.	60
7. Einige neuartige Veränderungen der ODM.	62
a. Ophthalmodynamometrie mit dem AO-Dynopter nach Sisler.	63
b. Die 'Arteria-ophthalmica-Tonometrie' nach Stepanik.	63
c. Die Ultraschallophthalmodynamometrie nach Bauer.	64
8. Das Verhältnis zwischen Druck und Strom im okulären Gefässgebiet.	64
B. Ophthalmodynamographie.	66
1. Einleitung.	66
2. Grundprinzipien.	66
3. Methodik.	68
4. Eigene Aufstellung.	72
5. Beurteilungskriterien der Kurven.	76
6. Experimentelle Basisdaten.	86
7. Verhältnis ODG-ODM.	94
8. Beurteilung des Ophthalmodynamogrammes.	95
9. Ergebnisse der Ophthalmodynamographie (und der Ophthalmodynamometrie) bei Verschlussprozessen an den Karotiden.	101
10. Ophthalmodynamographie bei Gefässchirurgie im Hals.	103

Kapitel IV

Klinische Anwendung der Ophthalmodynamographie und Ophthalmodynamometrie.	104
A. Übersicht des klinischen Materials.	104
B. Ergebnisse der angiographischen Untersuchung.	107
C. Ophthalmodynamographie und Ophthalmodynamometrie bei den untersuchten Patienten.	110
1. Anwendbarkeit.	110
2. Relative cephale Hypertonie.	110
3. Das ODG-ODM-Verhältnis im Zusammenhang mit der Art des Kollateralkreislaufs.	111
4. Beurteilungskriterien ODM und ODG.	112
a. Ophthalmodynamometrie.	112
b. Ophthalmodynamographie.	113

I.	Der Prozentsatz der Druckdifferenz in der Arteria ophthalmica.	113
II.	Die diastolischen Ophthalmicawerte abgeleitet aus der ODG-Kurve.	113
III.	Die ophthalmobrachiale Relation.	113
IV.	Das Verhältnis der Pulsationsvolumina.	115
V.	Ein verzögertes Eintreffen der Pulswelle in der Orbita.	115
VI.	Die graphische Analyse der ODG-Pulsationen.	123
5.	Ergebnisse der ODG-ODM-Untersuchung bei Patienten mit obliterierenden Prozessen an den Karotiden.	124
6.	Die relative Wichtigkeit der Beurteilungskriterien bei ODG und ODM.	127
7.	ODG- und ODM-Untersuchung vor und nach desobstruierenden Operationen.	129
	Zusammenfassung.	131
	Summary.	136
	Samenvatting.	141
	Literatur.	146
	Curriculum vitae.	159

EINLEITUNG

In den letzten zwei Dezennien hat die Kenntnis der ischämischen cerebrovaskulären Anfälle stark zugenommen. Diese Zunahme offenbart sich an erster Stelle in einer Umwandlung der klinischen Terminologie. Im Gegensatz zu einem Versuch das neurologische Bild zu erklären von dem Verschluss einer einzigen Cerebralarterie aus, wird jetzt vielmehr der Akzent auf die Entwicklung des Bildes gelegt.

So unterscheidet man jetzt:

TIA (transient ischaemic attacks)

RINDs (reversible ischaemic neurologic deficits)

Acute strokes

Progressing strokes

Completed strokes

Kannte man bisher nur die Thrombosis cerebri und die Embolia cerebri in der Form eines thrombotischen oder embolischen Verschlusses einer der intrakraniellen Cerebralarterien, jetzt stellt es sich heraus, dass ein erheblicher Teil der cerebrovaskulären Störungen mit extrakraniellen Gefässobstruktionen zusammenhängt, für welche gefässchirurgische Eingriffe zur Verfügung stehen. Im Jahr 1954 wurde von Eastcott c.s. der erste Patient beschrieben bei dem eine erfolgreiche Operation an einer stenosierten Arteria carotis vorgenommen wurde. Im Jahr 1955 wurde jedoch über einen bereits 1951 operierten Patienten berichtet (Carrea c.s. Zitat Weibel und Fields 1969).

Allgemein ist man jetzt der Ansicht dass Thrombendarterektomie im Studium der vorübergehenden cerebralen bzw. retinalen Ischämien am sinnvollsten ist.

Zur Erzielung einer vollständigen Analyse ist es immer notwendiger geworden über ein Bild aller Zuführungsgefässse des Gehirns verfügen zu können. Zu diesem Zweck wurde, nebst der direkten perkutanen Punktionsangiographie der Arteria carotis und der Arteria vertebralis, die Methode der Aortenbogenangiographie mittels eines Katheters, von einer Selektivfüllung der extrakraniellen Gefässse gefolgt, entwickelt. Für eine Übersicht der radiologischen Aspekte der cerebrovaskulären Anfälle siehe man Puylaert (1975).

Eine erhebliche Verbesserung der röntgenologischen Bilder wurde mittels der Subtraktions-technik von Ziedzes des Plantes (1961) erzielt.

Nicht nur von angiographischer, sondern auch von klinischer Seite wurde die Wichtigkeit der kollateralen Gefässversorgung erkannt und auch auf diesem Gebiet wurden erhebliche Fortschritte gemacht (Fields, Bruetman und Weibel 1965; Weibel und Fields 1969).

Mit der Methode von Kety und Schmidt (1948) als Ausgangspunkt wurde eine Reihe von Techniken entwickelt mittels deren durch clearance radioaktiver Isotopen die regionale Gehirndurchblutung (rCBF) gemessen werden konnte (Lassen und Ingvar 1961). Auf diesem Gebiet erschien eine umfangreiche Literatur, der Physiologie und der Pathophysiologie des Blutkreislaufs im Gehirn und des Gehirnmetabolismus gewidmet.

Sowohl für die Gehirnangiographie wie auch für die meist zuverlässigen rCBF-Messungen sind Punktions der Arteria carotis unentbehrlich. Dieses Verfahren bringt jedoch noch immer eine gewisse Gefahr mit sich, so dass meistens die Ansicht vertreten wird, dass Angiographie unterlassen werden soll, wenn Kontraindikationen gegen einen etwaigen gefässchirurgischen Eingriff vorliegen.

Das Interesse hat sich deswegen weiter konzentriert auf die Entwicklung von atraumatischen Methoden, mittels deren Verschlussprozesse an den extrakraniellen Zuführungsarterien des Gehirns rechtzeitig erwischt werden könnten, und welche gleichzeitig einen Beitrag zur Kenntnis der Physiologie und der Pathophysiologie der Gehirndurchblutung liefern sollten. Diese dürften, bei positivem Erfolg, die Indikation zur Angiographie unterstützen. Außerdem könnte man sie verwenden zur Beurteilung des hämodynamischen Effektes einer Stenose; im Laufe und nach Beendung einer Operation zur Feststellung des Erfolges einer Obstruktionseentfernung und der Zweckmässigkeit einer Karotisunterbindung. Zum Schluss würden diese Methoden bei genügender Zuverlässigkeit, als screening method für Patienten mit erhöhter Disposition zur Atherosklerose (z.B. bei Diabetes, Gicht, Hypertonie und Hyperlipämie) Verwendung finden können.

Grundsätzlich wird bei vielen dieser Methoden die Pulswelle im Gebiet der Arteria carotis interna erforscht. Dies wird ermöglicht dadurch dass die Arteria ophthalmica den Schädel verlässt und den Inhalt der Orbita und den Bulbus oculi mit Blut versorgt. Von den drei Aspekten der Pulswelle, nämlich Druckpuls, Stompuls und Volumpuls, wurde bis auf heute besonders den ersten zwei Aufmerksamkeit gewidmet.

Nebst der bereits seit längerer Zeit bekannten Ophthalmodynamometrie (Baillart 1917, Weigelin und Lobstein 1962), mittels deren der systolische und der diastolische Blutdruck in der Arteria ophthalmica gemessen wird, hat Hager seit 1956 die Ophthalmodynamographie entwickelt. Dieses Verfahren ermöglicht die Registrierung der Oszillationen des Orbita-Inhalts und daraus nebst den Druckwerten, auch die Beschaffenheit der Oszillationen zu entnehmen. Andere Techniken richten sich insbesondere auf die Pulsationen des Bulbus oculi.

Der Stompuls kann (nicht nur in der Arteria carotis und in der Arteria ophthalmica, sondern auch in der Arteria vertebralis) auf unblutige Weise mittels des Ultraschall-Doppler-Verfahrens studiert werden.

Es gelang die Volumenpulsationen der Arteria carotis im Hals (Planiol c.s. 1972) und des Karotissiphons (Freund 1971, Kristensen 1971) zu registrieren und möglicherweise gibt es einen Zusammenhang zwischen den vertikalen und horizontalen Pulsationen der mid-line Echos, welche in der Echoencephalographie ersichtlich sind mit den Volumenpulsationen des Gehirns (de Vlieger und Ridder 1959, ter Braak und de Vlieger 1965).

Selbstverständlich werden die Oszillationen von der Kompression der Arteria carotis beeinflusst und darauf beruht u.a. die Karotiskompressionstonographie (Barrios und Solis 1963 Zitat Solis 1972).

Ausser der Pulswelle kann die Zirkulationsgeschwindigkeit des Blutes beobachtet werden. Dies ist möglich durch Messung der Arm-Retinaumlaufzeit mittels Fluorescein (Heyman 1961), u.a. durch binokuläre Fundusreflektometrie (Beintema c.s. 1964) und durch Serien-scintiphographie des Schädelns, des Halsgebietes und des Aortenbogens (Janeway 1968), Kramer c.s. 1973).

In der fazialen Thermometrie (Samson c.s. 1968) und Thermographie (Wood 1965) wird ein abgeleiteter Wert der Durchblutung, d.h. die Temperatur im vom letzten Zweig der Arteria ophthalmica versorgten Hautgebiet gemessen und bei der Rheographie die Änderung des

Widerstandes für Wechselstrom im Schädel unter dem Einfluss der Schwingungen des intrakraniellen Blutvolumens.

Schliesslich kann turbulente Strömung ein Geräusch verursachen das nicht mit dem Stethoskop gehört, sonder auch mittels moderner Techniken studiert werden kann (Kartchner und McRae 1969).

Es ist zu erwarten, dass die Anwendung mehrerer Methoden, vorzugsweise unabhängig von einander, das höchste diagnostische Rendement ergeben wird.

Diese Studie ist einer systematischen Anwendung der Ophthalmodynamographie und der Ophthalmodynamometrie, besonders bei Bildern welche auf extrakranielle Gefässobstruktionen hinweisen gewidmet; sowie ein Bericht der weiteren Entwicklung der Ophthalmodynamographie durch elektronische Differentiation und Subtraktion wie auch durch Analyse von der Form der Oszillationen.

ÜBERSICHT UND EINTEILUNG

Atheromatöse Degeneration der extrakraniellen Arterien kann zu einer wachsenden Obstruktion und Ulzeration Anlass geben.

Wenn einer Karotidenobstruktion zufolge ein Druckgradient entsteht, ändern sich die Druckverhältnisse stromaufwärts und stromabwärts. Druckverringerung stromabwärts beeinflusst die Druckverhältnisse im Circulus arteriosus Willisii und in den zu versorgenden Gefässgebieten. Die genannten Druckverhältnisse geben sofort Anlass zum Entstehen von Kollateralzirkulationsbildern deren Zweckmässigkeit für den Ernst des klinischen Bildes (mit) bestimmend ist.

Im Kapitel I werden anhand einiger Literaturdaten mehrere Typen der atheromatösen Degeneration kurz besprochen und wird gleichzeitig untersucht welche Faktoren das Entstehen eines Druckgradienten bestimmen. Die Änderungen welchen die Pulswelle infolge der Stenose stromaufwärts unterliegt, werden soweit es sich um die Druckoszillationen handelt bei der Karotissphygmographie (S. 37) und soweit es die Strömungspulsationen betrifft bei der transkutanen Durchblutungsmessung mit dem Doppler Verfahren (S. 33) erwähnt werden. Die Änderungen der Druckschwingungen stromabwärts von der Stenose werden in Zusammenhang mit den Änderungen in der Durchblutung bei der suction-cup method (S. 38) besprochen.

In der Literatur sind einige Daten bekannt über die Änderungen welche sich bei Verschluss (eines) der vier Stämme in dem Circulus arteriosus Willisii zeigen. Grundsätzlich gibt es hier die Möglichkeit Modellstudien, Tierproben, Untersuchungen des Karotisligatureffektes und Messungen durante operatione bei chirurgischer Beseitigung von Verschlüssen vorzunehmen. Eine erste Annäherung der Folgen einer Karotisobstruktion für das Gehirngewebe, ist das pathologisch-anatomische Studium der für die klinischen Phänomene verantwortlichen Hemisphäre. Die Methode der Messung der regionalen Gehirndurchblutung hat die Kenntnis der Pathophysiologie der Gehirndurchblutung offensichtlich vergrössert und diese für klinische Untersuchungen zugänglich gemacht. Nach einer kurzen Übersicht der dabei zu Diensten stehenden Möglichkeiten wird untersucht werden welche Ansichten sich in der Pathogenese, vor allem von transient ischaemic attacks (TIAs), entwickelt haben.

Mittels angiographischen Untersuchungen ist es möglich sich Kenntnis zu erwerben über die Art (atheromatös oder sonstig), die Lokalisierung und den Typ (ulkus- oder obstruktionsbildend im Falle der Atherosklerose) des pathologischen Prozesses. Ausserdem kann man auf diese Weise Auskünfte bekommen über den Kollateralkreislauf — auch jedoch die Untersuchung des Druckpulses in der Orbita bzw. im Bulbus oculi (Ophthalmodynamographie und Ophthalmodynamometrie) und des Stomppulses in der Arteria ophthalmica (mittels der richtungsempfindlichen Doppler-Apparatur) haben unsere Einsicht auf diesem Gebiet erweitert.

Es besteht die Absicht die wichtigsten kollateralen Gefässsysteme zu behandeln, wobei besonders auch diejenigen Situationen, welche auf extreme Weise kollaterale Zirkulation notwendig machen, beleuchtet werden, nämlich multiple extrakranielle Gefässverschlüsse und kongenitale Hypoplasie der Karotiden. Als Ausgangspunkt für die Angiographie und die Methoden zur Untersuchung der Pulswelle in der Orbita ist eine detaillierte Kenntnis der (Radio-) Angioanatomie der Orbita unentbehrlich. Schliesslich wird die Rede sein von den Gefahren welche heutzutage mit den angiographischen Untersuchungen des Blutkreislaufs im Gehirn entweder mittels Perkutanpunktion der Arteria carotis communis oder mittels Katheterisierung durch die Arteria femoralis oder die Arteria brachialis verbunden sind.

Kapitel II wird einer Besprechung der Techniken zur Untersuchung des Strompulses, des Druckpulses und des Volumpulses in der Gegend der Arteria carotis interna auf andere Weisen als durch Ophthaldynamographie und Ophthalmodynamometrie gewidmet sein. Weiter werden die Techniken mittels Kompression der Arteria carotis communis, die Bestimmung der Kreislaufgeschwindigkeit des Blutes, die Messungen der abgeleiteten Werte der Durchblutung und die Phonangiographie der Arteria carotis zur Sprache kommen.

Besondere Aufmerksamkeit wird dabei dem diagnostischen Rendement von Kombinationen der verschiedenen Methoden und Vorschläge zur Erzielung einer screening Einheit gewidmet werden.

Im **Kapitel III** folgt eine ausführliche Behandlung der Theorie, der Methode und der Techniken der Ophthaldynamographie (ODG) und der Ophthalmodynamometrie (ODM). Besonders interessant sind hier die Treffsicherheit der Kombinationen dieser Methoden und die dem Zusammenhang der beiden Methoden gewidmeten Untersuchungen.

Dabei wird ausserdem über unsere eigene weitere Entwicklung der Ophthalmodynamographie berichtet.

Bei der Forschung der im Kapitel II beschriebenen Methoden legten wir uns die Frage vor ob nicht die ODG-Oszillationen mehr Auskunft erteilen würden als die Druckwerte und das Pulsationsvolumen. Wir wendeten darauf hin systematisch die graphische Analyse nach Best (1971) an.

Bei der Ophthalmodynamographie nach der bilateralen Methode werden jetzt ausser den Orbita-Oszillationen und den Korotkow-Geräuschen von links und rechts, das EKG mit einer Frequenz-Integration und die Herzschläge registriert. Dadurch können die Zeitverhältnisse dieser Parameter untersucht und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle berechnet werden. Von den ursprünglichen Kurven wird die Differenz registriert wie auch die erste Ableitung nach der Zeit (die die Änderung der Kurve bezeichnet). Die dazu benötigte Apparatur wurde von Dipl.-Ing. E. Diekema entwickelt.

Kapitel IV berichtet über die Ergebnisse einer klinischen Untersuchung der Anwendung der ODG und der ODM.

Untersucht wurden zwei Gruppen von Patienten. Zu der ersten Gruppe gehörten Patienten aus der eigenen Praxis des Autors. Bei allen Patienten mit Amaurosis fugax und cerebrovaskulären Anfällen wurden — soweit das vernünftigerweise möglich war — ODG- und ODM-Untersuchungen vorgenommen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen waren mitbestimmend für die Frage ob eine angiographische Untersuchung stattfinden würde oder nicht. Aufgrund der damals zur Verfügung stehenden Literatur haben wir geschätzt dass die Treffsicherheit der ODG und der ODM separat etwa 70% und kombiniert etwa 85% sein würde.

Wenn die ODG/ODM-Untersuchungen zu negativen Ergebnissen führten, wurde nur dann eine Angiographie vorgenommen wenn dennoch ein dauernder ernsthafter Verdacht auf ein extrakranielles Gefässleiden vorlag, und zwar mit Berücksichtigung aller sonstigen (besonders innermedizinischen) Aspekte. Wir bemühten uns die Indikation zur Angiographie, welche besonders für diese Kategorie von Patienten eine nicht ungefährliche Untersuchungsmethode ist, so genau wie möglich festzustellen. In dieser Beziehung erschien es nicht recht eine Kombination von Untersuchungsmethoden mit einer so grossen Treffsicherheit nicht in der Beschlussfassung hineinzuziehen.

Die zweite Gruppe betrifft von in Twente tätigen Kollegen (Augenarzt, Neurologen, Neuro-

chirurgen, Gefässchirurg und Kardiologe) verwiesene Patienten.

Die Befunde der ODG/ODM-Untersuchungen wurden dabei benutzt zur Unterstützung der Indikation zur Angiographie bzw. zur Ablehnung dieser Methode und zur Erwischung eines etwaigen fortschreitenden Verschlussprozesses in den Karotiden.

Ausserdem bemühten wir uns alle Patienten bei denen eine Desobstruktion vorgenommen worden war auch postoperativ mittels ODG und ODM zu untersuchen.

Anhand unserer Befunde haben wir ein Beurteilungsschema aufgestellt und aufgrund dieses Schemas die Ergebnisse der ODG und der ODM entgültig als positiv oder negativ klassifiziert. Alle Angiogramme wurden aufs neue studiert und von den gefundenen Stenosen wurden anhand der zur Verfügung stehenden Projektionen so genau wie möglich die Prozentsätze der Abschliessung berechnet. Ein Vergleich mit diesen angiographischen Daten führte zur Berechnung des Treffsicherheitsprozentsatzes der ODG und ODM bei unseren Patienten.

KAPITEL I

Grundlegendes über extra-kranielle Gefässobstruktionen aus der Literatur

A. Atheromatöse Degeneration der Karotiden

Obwohl man bei Verschlussprozessen in den Karotiden — besonders in höherem Alter — meistens mit atherosklerotischen Prozessen zu tun hat, ist es dennoch erforderlich mit der Möglichkeit nicht-atheromatöser Stenosen und Okklusionen zu rechnen.

Bei 7000 Karotisangiogrammen stellten Momose und New (1973) 140 dieser Fälle fest. Diese waren in sechs Gruppen zu verteilen: 1 - mechanische Kompression, 2 - Trauma am Schädel und Hals, 3 - Entzündung, 4 - Neoplasma, 5 - Embolie ungewöhnlicher Art, 6 - Verschiedenes.

1 - Die Ursache der mechanischen Kompression war meistens eine intrakranielle Blutung oder ein erhöhter intrakranieller Druck mit zerebralem Kreislaufstillstand.

2 - Das Trauma hatte meistens eine Fraktur durch den Karotiskanal oder eine direkte bzw. indirekte Verletzung der Arteria carotis interna zu Folge.

3 - Von den Entzündungen sind besonders die primären zu erwähnen, wobei nebst der Arteriitis temporalis und dem pulseless disease (Takayasu) die Karotisverschlüsse im Kindesalter (wohl oder nicht infolge einer Arteriitis) am zahlreichsten sind (siehe auch Shillito 1964 und Kramer 1968). Die Nishimotosche Krankheit (Moyamoya-Syndrom) lag im Patientenmaterial dieser Autoren nicht vor.

4 - Meningome der Schädelbasis in der parasellaren Gegend waren meistens die Ursache einer tumorösen Verengung des Karotissiphons.

5 - Es stellte sich später heraus, dass zweidrittel der unerwarteten Embolien auf ein kardiales Myxom zurückzuführen war.

6 - Unter Verschiedenes wurden Fälle einer fibromuskulären Dysplasie, Kinking, durch Bestrahlung verursachte Okklusion, und Hypoplasie der Arteria carotis interna aufgenommen.

Im ersten Dezennium der operativen Behandlung von extrakraniellen obstruierenden Gefässprozessen mit Symptomen einer zerebrovaskulären Insuffizienz, fand die hämodynamische Theorie Beifall. Im Kurzen erklärte diese Theorie den Nachlass der Gehirnfunktion mit ungenügender Durchblutung hinter einer Stenose, wenn der Perfusionsdruck (Blutdruck) geringer wurde. Man fühlte sich in dieser Meinung bestärkt durch die Tatsache dass sich bei einer Thrombosis cerebri manchmal kein Verschluss einer der intrakraniellen Arterien feststellen lässt. Dennoch wurde auch damals bereits die Meinung vertreten, dass arterioarterielle Embolien wohl eine wichtige pathogenetische Rolle spielen könnten. Diese würden dann zur Stelle der atheromatösen Plaque entstehen (z.B. bei der Karotisbifurkation) und sich in den kleineren intrakraniellen Arterien niederlassen.

Die genannten (Mikro-)Embolien werden jedoch abgebrochen, und hier fängt die Zeit an eine Rolle zu spielen. Es stellt sich nämlich heraus, dass bei frühzeitiger Arteriographie nach einem zerebrovaskulären Anfall mehr Gefässokklusionen sichtbar sind als bei später vorgenommener angiographischer Untersuchung (Castaigne c.s. 1970; Marshall 1970). Durch diese Feststellung wurde außerdem der obenerwähnte Stütz der hämodynamischen Theorie entkräftet — was jedoch nicht bedeuten soll, dass diese ganz widerlegt worden ist. Infolge dieser Ent-

wicklung verlegte sich die Aufmerksamkeit von dem **Mass** zu der **Form** der Stenose.

Was den erstgenannten Aspekt der Stenose anbelangt, muss man sagen dass die Literatur über den Wert, bei dem der Restradius (critical radius) bzw. der Restdurchschnitt (critical area) hämodynamisch effektiv wird, gar nicht eindeutig ist. Dieser hämodynamische Effekt kann sich durch eine Verringerung des Blutstroms und Druckabfall über die Stenose manifestieren. Ein genaues Urteil über einen Druckgradient wird aber beeinträchtigt von der Tatsache dass der Druck distal von der Stenose die Resultante ist von dem ursprünglich anwesenden Druck sowie von dem Druck der aus der Bildung eines Kollateralkreislaufs (back pressure) hervorgeht.

Delin c.s. (1968) stellte einen manifesten Druckgradient und Widerstand fest wenn der Radius der Arteria carotis interna $< 50\%$ des ursprünglichen Wertes war, während der Blutstrom eine Zunahme von max. 40% aufwies nach Entfernung von Stenosen welche gleichfalls mehr als 50% des Radius beanspruchten. Boysen c.s. (1970) mass eine signifikante Zunahme des Blutstromes nach Entfernung von Obstruktionen in Karotiden deren Stenose wenigstens 50% des Durchschnittes betrug.

Der Ansicht von Brice c.s. (1964) nach ist jedoch der absolute Restwert des Gefässdurchschnittes entscheidend und nicht dessen relative Verringerung. Wenn dieser geringer als 5 mm^2 wird erfolgt eine Verringerung des Blutstromes.

Keller und Baumgartner (1974) haben jedoch in den Endästen der Arteria ophthalmica mittels des Doppler-Verfahrens bei Karotisstenosen mit Restdurchschnitten von $8-12 \text{ mm}^2$ Störungen festgestellt.

Obwohl in den letzten Jahren verschiedene Verhandlungen über die Form der Stenose veröffentlicht wurden, machten bereits 1966 Faurel und Caron Unterschied zwischen glatten, kavernösen, und warzenförmigen Plaques.

Bei neulich durchgeföhrten Untersuchungen unterscheidet Schulze-Bergmann (1972) lokale oder ringförmige Plaques, streifenförmige Atheromatose, das kavernöse, ulzeröse und verruköse Atherom nebst der länglichen, am meisten entzündungsartigen Karotisstenose. Wiggli und Oberson (1973) beschreiben atheromatöse Ulzerationen, Mikroulzerationen, kleine dornartige Vorsprünge im Lumen und atypische Veränderungen. Roberson c.s. (1973) beschrieb 9 Patienten bei denen aufgrund der Angiographie die Anwesenheit eines von einem atherosklerotisch stenosierten Gefäss ausgehenden Thrombus vermutet wurde. Dieser Befund wurde 7mal operativ und einmal post mortem bestätigt. Das Röntgenbild zeigte die Anwesenheit der Kontrastflüssigkeit um einen glatt begrenzten intravasalen Körper herum. Selbstverständlich wachsen diese Thrombi viel schneller als eine atheromatöse Plaque, und die Gefahr eines völligen Gefässverschlusses ist deswegen auch viel grösser. Atheromatöse Veränderungen befinden sich in 85% der Fälle in der Nähe der Karotisbifurkation (Joint study 1968). Heutzutage wird betont, dass für eine sorgfältige Erforschung dieses Gebietes selektive Angiographie der Karotis unentbehrlich ist, dass Aufnahmen wenigstens in frontaler und lateraler Projektion gemacht werden sollen, und dass die Subtraktionstechnik benutzt werden kann. Ausserdem sollen die intrakraniellen Arterien sorgfältig untersucht werden, da häufig auch mehr periphere Gefässstenosen und Okklusionen sichtbar sind (Huber und Siegenthaler 1973, Kishore 1974, Roberson c.s. 1973, Schulze-Bergmann 1972).

Wiggli und Oberson (1973) meinen mit 'gezielter Exploration' die Herstellung von 2 oder 3 zusätzlichen Aufnahmen der Bifurkation unter verschiedenen Einfallswinkeln.

Kishore (1974) weist auf die Möglichkeit des Entstehens von Thrombi in einer poststenotischen Dilatation hin.

Schliesslich führten Moore und Hall (1968) bei 9 Patienten mit vorübergehender zerebrovaskulärer Insuffizienz eine Endarterektomie von 12 Karotiden durch. Sechs Patienten hatten

TIAs, drei zeigten nicht-lateralisierte Symptome. Die Angiographie wies 11mal eine ulzeröse und einmal eine glatte Plaque vor. Während der Operation wurde in allen 12 Arterien eine ulzerierte atheromatöse Plaque gefunden. Post-operativ zeigten sich während einer Observationsperiode von 2-18 Monaten bei keinem der Patienten weitere Symptome. Diese Autoren betrachten ihre Ergebnisse als eine Unterstützung der Embolie-theorie und schlagen vor, die Indikation zur Operation in dem Sinne zu ändern, dass Patienten mit TIAs im Gebiet einer Karotis mit unregelmässigen oder ulzerierten Atheromen auch dann operiert werden wenn keine signifikante Stenose nachweisbar ist.

B. Häodynamische Veränderungen im Circulus arteriosus Willisii bei Verschluss (eines) der vier Stämme

1. Modellstudien

Chao und Hwang (1972) entwarfen ein Computermodell des Circulus Willisii basiert auf den anatomischen Verhältnissen beim Hund. Dies ist das erste Modell, in dem Rücksicht genommen wird auf einen pulsierenden Blutstrom in elastischen Arterien. Selbstverständlich ist dieses Modell im Vergleich mit der Wirklichkeit vereinfacht, und hat man sich auf verschiedenen geschätzten Voraussetzungen basieren müssen. Dennoch sind die folgenden Ergebnisse bestimmt berichtenswert. An erster Stelle zeigte sich beim Verschluss der rechten Arteria carotis interna eine allgemeine Druckverringerung im Circulus Willisii — maximal beim Abzweig der rechten Arteria communicans posterior, übrigens jedoch merkwürdig uniform. Zweitens zeigten die flow-Kurven eine Zunahme des Blutstroms von dem vertebrobasilären System hinaus nach vorne, eine starke Zunahme des Stroms in der linken Arteria communicans anterior, und eine Umkehrung der Stromrichtung in der rechten Arteria communicans anterior.

2. Tierversuche

Iwabuchi und Himwich (1971) massen direkt den Druck in der Arteria communicans posterior von Hunden, bei denen die Zuführungsgefäße des Circulus Willisii gesperrt wurden.

Verschliessen des intrakraniellen Teils der Arteria carotis interna (übereinstimmend mit der Arteria carotis interna beim Menschen) ergab homolateral eine Blutdrucksenkung von 17,2% und heterolateral von 8%. Diese Senkungen waren grösser beim Verschliessen der Arteria carotis communis: homolateral 27,4% und heterolateral 12,8%.

Auch diese Daten weisen also auf eine allgemeine Auswirkung eines Verschlusses der Karotiden auf die Druckverhältnisse im Circulus Willisii.

Gonzales und Müller (1975) registrierten die Auswirkung eines isolierten und kombinierten Verschliessens der vier Stämme des Circulus Willisii bei 15 Makakusaffen mittels eines Doppler-flow-Messers mit peripheriellen transducers. Das Verschliessen eines Gefäßes ergab eine symmetrische Zunahme des Blutstroms in den übrigen Gefäßen, wobei der Einfluss der Karotiden grösser war als der der Arterien vertebrales, und bei kombinierten Verschlüssen die separaten Auswirkungen totalisiert wurden. Bei Anlegung von zunehmenden Massen von Stenosen der Arteria carotis interna (mit zunehmendem Druckgradient zwischen dieser und der Arteria carotis communis) bei 10 Versuchstieren entstand zuerst eine Senkung des systolischen Maximums im Strom der Arteria carotis communis ohne Beeinträchtigung des durchschnittlichen Blutstroms, später jedoch eine symmetrische Herabset-

zung auf der systolischen und diastolischen Ebene, und beim völligen Verschliessen der Karotis interna ein fast ganzes Verschwinden des diastolischen Stromkomponenten. Dieser Befund ist von grösster Bedeutung für die Deutung der transkutanen Doppler-flow-Ergebnisse.

3. Studium der Auswirkung einer Karotisunterbindung

Mittels eines bilateral eingesetzten elektromagnetischen flow-Messers ist es möglich die Reservekapazität der kontralateralen Arteria carotis interna festzustellen bei unilateralem Verschliessen dieser Arterie mittels einer Silverstone-Klemme. Eine derartige von Nornes (1973) vorgenommene Untersuchung hat gezeigt, dass diese Reserve von 14 bis 73% beträgt. Bei einer Reservekapazität bis zu 20% entsteht die Gefahr einer zerebralen Ischämie. Selbstverständlich muss man sich beim Anwenden der Doppler-flow-Untersuchung der Karotiden davon bewusst sein, dass an der heterolateralen Seite einer Stenose bzw. Thrombose der Strom sich bis zu 170% gesteigert haben kann.

4. Doppler-flow-Messung bei Karotiskompression

Tada c.s. (1975) hat die Zunahme des Blutstroms in der heterolateralen Karotis und in der Arteria vertebralis bei einseitiger digitaler Kompression der Arteria carotis communis prozentuell gemessen. Zehn junge gesunde Versuchspersonen zeigten eine Zunahme von 44,4 bzw. 42,9%.

Bei zehn Patienten mit einer Hypertonie war die Zunahme 25,9 und 25,9%, und bei zehn Patienten mit Symptomen einer zerebralen Ischämie wurde an der heterolateralen Karotis nur eine Zunahme von 17,5% gemessen und an der Arteria vertebralis eine Zunahme von 17,8%. Diese Unterschiede waren statistisch signifikant und das Ergebnis war in Übereinstimmung mit den obenerwähnten Untersuchungen.

5. Messung der 'back-pressure' während einer Karotis-Desobstruktion

Moore c.s. (1973) hat während 107 Karotis-Operationen bei 78 Patienten den Druck in der Arteria carotis interna distal von der zu entfernenden Stenose gemessen. Dabei wurden die Arteria carotis communis und die Arteria carotis externa abgeklemmt. Auf diese Weise wirkt die Karotis interna wie ein Manometer zur Registrierung des Druckes im Circulus Willisii und zeigt den Perfusionsdruck der homolateralen Hemisphäre aufgrund der kollateralen Zirkulation. Durchschnittlich betrug dieser Druck bei einer Okklusion der kontralateralen Arteria carotis interna 32 mm Hg, bei einer Stenose der kontralateralen Arteria carotis interna 41 mm Hg, bei Patienten mit vertebrobasilären oder intrakraniellen Gefässokklusionen 42 mm Hg, und bei ausschliesslich unilateraler Stenose an der Seite wo die Untersuchung stattfand 49 mm Hg. Bei bilateralen Stenosen welche beiderseitig operiert wurden, betrug die back-pressure bei der ersten Operation 43 mm Hg, bei der zweiten 54 mm Hg. Die Streuung der gefundenen Werte war jedoch erheblich: bei einem kontralateralen Verschluss variierten die Werte zwischen 25 und 40 mm Hg, bei einer kontralateralen Stenose oder vertebrobasilären bzw. intrakraniellen Okklusion zwischen 16 und 94 mm Hg, bei einer unilateralen Stenose zwischen 22 und 110 mm Hg, bei doppelseitigen Stenosen an der ersten Seite zwischen 20 und 57 und an der zweiten Seite zwischen 25 und 100 mm Hg. Ausser in der letzterwähnten Gruppe befanden sich in alle Kategorien Patienten mit einer back-pressure unterhalb 25 mm Hg, was von diesem Autor als eine Indikation zur Operation mit interner shunt betrachtet

wurde. Man muss sich jedoch davon bewusst sein, dass bei den obenbeschriebenen Messungen das kollaterale System über die Arteria carotis externa beseitigt wird, so dass man meinen könnte dass bei Patienten mit einem derartigen Kollateralkreislauf der Perfusionsdruck der Hemisphäre tatsächlich höher ist als während der Operation gemessen wurde.

C. Pathologisch-anatomische Untersuchungen bei Patienten mit obstruierenden Prozessen in den Karotiden

Es ist nicht die Absicht in diesem Absatz auf die zerebralen Infarkte einzugehen welche bei einem Karotisverschluss oder bei einer Karotisstenose entstehen können und welche zu einem persistenten neurologischen Ausfall Anlass geben können. Van der Drift und Kok (1972) haben die klinisch-pathologischen Korrelationen bei Patienten mit TIAs untersucht. Diese Autoren definieren jedoch den Begriff TIA in einem etwas weiteren Sinn als üblich ist und meinen damit zerebrale Ischämien mit klinischer Erholung innerhalb **48** Stunden. Bei 33 auf 44 Patienten mit TIAs wurden in jenen Gebieten des Gehirns Infarkte festgestellt, welche das klinische Bild erklären konnten. Diese waren in der Hemisphäre bis zu 12 mm gross, in den tieferen Strukturen bis zu 6 mm. Bei 23 auf 30 Patienten mit einem cerebrovaskulären Anfall und TIAs in der heterolateralen Hemisphäre lagen dieselbe Befunde vor.

Bei Patienten mit Amaurosis fugax (4) und Meningeomen (5) bzw. arteriovenösen Aneurysmen (3) mit TIAs wurde kein neuropathologisches Substrat festgestellt.

Nicht nur hämodynamische Faktore, sondern auch Mikroembolien können zur Infarzierung Anlass geben. Die Autoren ziehen die Schlussfolgerung dass die dadurch verursachte örtliche Vasospasme den Weg bereitet für weitere identische TIAs welche aus hämodynamischen Veränderungen hervorgehen.

D. Messungen der regionalen Gehirndurchblutung (rCBF) bei obstruierenden Prozessen an den Karotiden

Seit der Einführung der Methode nach Kety und Schmidt in 1948 ist es möglich die Gehirndurchblutung quantitativ zu messen. Übersicht der uns heute zur Verfügung stehenden Methoden geben u.a. Heiss (1971), Posner (1972), Mosmans (1974) und Herrschaft (1975). Diese Messungen sind bedeutend vereinfacht durch die Anwendung von in physiologischen Salzlösungen eingeführten radioaktiven Edelgasen (besonders Xenon¹³³), welche in die Karotis interna injiziert werden und deren Strahlung (bei Xenon¹³³: Gammastrahlung) extrakraniell gemessen wird. Die Desaturationskurve ist dabei massgebend für die Gehirndurchblutung. Mittels dieser Kurven kann die Gehirndurchblutung auf drei Weisen berechnet werden:

1. Die height-over area Methode.

Mittels dieser Methode wird die durchschnittliche Durchblutung berechnet.

2. Die bicompartimental Analyse.

Bei einer semilogarithmischen Wiedergabe stellt es sich heraus, dass die Auswaschungskurve aus zwei monoexponentiellen Funktionen aufgebaut ist. Allgemein wird angenommen, dass sie die Durchblutung der grauen bzw. weissen Substanz vertreten. Anhand der festgestellten Werte kann außerdem ihr Relativgewicht berechnet werden.

3. Die beiden obenerwähnten Methoden fordern eine Observationszeit von 10 Minuten.

Während der ersten zwei Minuten wird die semilogarithmische Kurve vom flow in der grauen Substanz dominiert und ist als geradezu monoexponentiell zu betrachten. Dies ermöglicht eine schnelle Feststellung der **initial-slope value**.

Wurde im Anfang die Aktivität der ganzen Hemisphäre gemessen, bald wurde die Anzahl der Detektoren vergrössert: von 4 auf 8 und auf 16 bzw. 32 oder 35. Heiss hat mittels einer Gammakamera die Aktivität kleiner Gehirngebiete ($12 \times 12 \text{ mm}$) gemessen.

Wie bereits oben erwähnt, fordern zuverlässige Techniken eine Punktion oder Katheterisierung der Arteria carotis interna, und wird auch häufig die Vena jugularis punktiert. Selbstverständlich bringt dies eine gewisse Gefahr mit sich — u.a. die Gefahr der Embolisation bei atheromatösen Prozessen an den Karotiden.

Ingvar und Lassen (1973) haben versucht die Gefahr der rCBF-Untersuchungen annährend zu berechnen und haben dazu Daten gesammelt von 18 Zentren in Europa und Amerika, wo die intra-arterielle Xenon¹³³-Technik verwendet wird.

Bei 3917 Patienten wurden 52 (1,3%) Komplikationen registriert. Eine Anzahl von 43 Patienten (1,1%) zeigte vorübergehende Komplikationen in der Form zeitweiliger ischämischer Symptome (Hemiparesen) oder vorübergehender Verschlimmerung bereits existierenden neurologischen Ausfallen. 3 Patienten erlitten einen epileptischen Insult. Bei 7 Patienten (0,2%) entstand ein dauernder Ausfall in der Form einer Hemiparese. Zwei Patienten (0,05%) starben.

In etwa der Hälfte dieser Zentren wurde die rCBF-Untersuchung kombiniert mit Gehirnangiographie, was also zu dem Prozentsatz der Komplikationen beigetragen haben wird. Sollte die Untersuchung nicht zusammen mit einer Angiographie durchgeführt werden, so wird sie weniger gefährlich sein als eine Angiographie. Es kann eine feinere Nadel benutzt werden wenn man nicht katheterisiert. Eine kleinere Menge Flüssigkeit (2-3 mL) wird unter einem niedrigeren Druck injiziert und es wird keine hypertone Kontrastflüssigkeit injiziert.

Man hat versucht die intra-arterielle Injektionsweise zu vermeiden durch Anwendung intravenöser Injektionen bzw. Inhalation des radioaktiven Indikators. Dies hat ausserdem den Vorteil, dass die Werte links und rechts direkt verglichen werden können. Die Schwierigkeit ist jedoch, dass dabei auch das Stromgebiet der Arteria carotis externa markiertes Blut enthält, was eine komplizierte 'threecompartmental' Analyse notwendig macht. Dieses Verfahren fordert eine Observationsdauer von 40 Minuten.

Obrist (1971) introduzierte eine vereinfachte Berechnungsweise, wobei nach einer Observationsdauer von 10 Minuten und einer 'bicompartimental' Analyse für den schnellen Komponenten (an der Strömung in der grauen Substanz relativiert) taugliche Werte gefunden wurden. Bis neulich wurden diese Techniken als nicht genügend zuverlässig betrachtet. Die Zuverlässigkeit erweist sich jedoch wie grösser als im Anfang angenommen wurde und beim letzten CBF-Symposion (Aviemore 1975) zeigten das Interesse und das Vertrauen eine steigende Tendenz.

Für ein gutes Verständnis der Ergebnisse der CBF-Untersuchung bei obstruierenden Prozessen an den Karotiden ist folgendes unentbehrlich. Die Regulierung der Gehirndurchblutung (CBF) beruht auf zwei Grundprinzipien. An erster Stelle erweist sich der CBF als abhängig von der arteriellen Kohlendioxyspannung (paCO_2): Hyperkapnie verursacht eine Zunahme, Hypokapnie eine Verringerung. Der arterielle Blutdruck kann innerhalb bestimmter Grenzen erheblichen Änderungen unterliegen ohne irgendeinen Einfluss auf die Gehirndurchblutung auszuüben. Dieses Phänomen ist bekannt als die Autoregulation. Anoxie macht die Autoregulation zu nichte und bei Hyperkapnie wird die Autoregulation herabgesetzt. Beide Mechanismen funktionieren auf der arteriären Ebene — die Reaktion auf die paCO_2 beruht auf pH-Änderungen

um den Arteriolen herum, die Autoregulation ist myogener Art. Zur Feststellung dieser Daten wurde von einer von Lassen und Skinhøj (1975) veröffentlichten Übersicht der regionalen Gehirndurchblutung und deren Regulation beim Menschen ausgegangen. Man hat versucht mittels Forschung der regionalen Gehirndurchblutung eine Einsicht in der Pathogenese vorübergehender Gehirnischämien (TIAs) zu gewinnen. Ausgehend von dem bekannten Zusammenhang zwischen diesen klinischen Phänomenen und den extrakraniellen Gefäßobstruktionen konzentriert sich die Probeaufstellung häufig auf die Frage: werden TIAs hämodynamisch oder aber mikroembolisch verursacht?

Sich ein Urteil über diese Angelegenheit zu bilden wird von dem Umstand erschwert, dass die Veröffentlichungen mit TIAs als Ausgangspunkt häufig zu wenig angiographische Daten enthalten oder aber über TIAs ohne angiographische Abweichungen handeln und weiter, dass in den Geschriften über Karotisstenosen manchmal klinische Daten fehlen oder Fälle mit persistenten oder vorübergehenden Phänomenen nicht unterschieden werden. Die hier zu behandelnden Untersuchungen können in die folgenden Kategorien verteilt werden.

Zuerst wurde untersucht ob im Intervall zwischen den TIAs Abweichungen der rCBF festgestellt werden — die Anwesenheit davon würde eher bei der hämodynamischen Theorie passen, da bei einer intakten Autoregulation etwaige Veränderungen im Perfusionsdruck sofort ausgeglichen werden. Zweitens wurde untersucht ob im mit dem klinischen Bild übereinstimmenden Gehirngebiet bei Steigerung der arteriellen CO₂-Spannung noch Zunahme des CBF möglich ist. Wenn dies der Fall wäre, so würde das ebenfalls eine Anweisung gegen eine hämodynamische Genese der TIAs sein. Man würde in diesem Fall nämlich annehmen müssen, dass in einem solchen Gebiet keine Autoregulation mehr möglich ist, da die Arteriolen maximal geöffnet sein würden, damit die Zirkulation gerade noch aufrecht erhalten bleibt. Es würde dann jedoch auch keine Reaktion auf eine Hyperkapnie mehr möglich sein. Drittens wurde untersucht ob operative Entfernung einer Stenose eine signifikante Verbesserung der Zirkulation in der bezüglichen Hemisphäre bewirkt. Dies würde wiederum auf eine hämodynamische Genese der Anfälle deuten.

Schliesslich hat man sich die Frage vorgelegt, ob ein Verschluss der Arteria carotis interna durante operatione eine Verringerung des rCBF verursacht — das Fehlen dieser Verringerung ist natürlich ein starkes Argument gegen die hämodynamische Theorie. Was die rCBF-Untersuchungen im **Interval** anbelangt, ist folgendes zu bemerken:

Skinhøj c.s. (1970) untersuchte 12 Patienten mit TIAs und stellt bei einem Patienten eine halbe Stunde nach dem Anfall einen hyperämischen Fokus mit eingestellter Autoregulation, bei einem Patienten 2½ Tag nach dem Anfall einen ischämischen Fokus, und bei einem Patienten 3 Monate nach dem Anfall eine leichte Störung der Autoregulation fest. Konkludiert wurde, dass bei TIA-Patienten der rCBF normal ist, ausgenommen gleich nach dem Anfall und dies spricht für eine thromboembolische Genese der TIAs. Wie aus den angiographischen Daten hervorging, war die homolaterale Arteria carotis entweder normal (1 x) oder arteriosklerotisch verändert mit (bei einem Patienten) einer Plaque in der Arteria carotis interna. Man kann hier bemerken, dass die stenotischen Anomalien bei diesen Patienten fehlen und dass auch die Schlussfolgerung möglich ist, dass gerade diese Fälle der TIAs sich wohl zu einer Erklärung mittels der thromboembolischen Theorie eignen.

Rees c.s. (1971) hat bei 10 Patienten, 14 bis 90 Tage nach dem letzten TIA mehr Anomalien festgestellt. Er weist darauf hin, dass seine 16 Detektoren stark regionalisiert sind. Die Befunde waren: 2 Patienten mit einem ischämischen Fokus und einer abnormalen Reaktion auf Hypokapnie, 2 Patienten mit einem hyperämischen Fokus, und 3 Patienten die ein verändertes Verhältnis der grauen zur weißen Substanz zeigten. Der Prozentsatz der festgestellten Abweichungen ist also 60 gegen 25 bei Skinhøj. Was die angiographischen Daten anbelangt

wird mitgeteilt, dass 4mal atheromatöse Anomalien angetroffen wurden — 3mal jedoch ohne abweichende Befunde bei der rCBF-Untersuchung. Bezuglich der **Reaktivität** der Gehirndurchblutung auf **Steigerung der arteriellen CO₂-Spannung** werden in der Literatur sich widersprechende Daten gefunden.

Wie schon oben erwähnt stellte Skinhøj c.s. (1970) eine einwandfreie Reaktion auf CO₂ fest, bei 5 Patienten wurde Hyperkapnie verursacht, bei 6 Hypokapnie mit den dabei zu erwartenden Ergebnissen.

Thompson (1971) verglich die proportionale Zunahme der Gehirndurchblutung in der einwandfreien und in der gestörten Hemisphäre bei 6 Patienten mit TIAs im Karotisgebiet und stellte keinen signifikanten Unterschied fest. Ausserdem gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen der Zunahme bei den TIA-Patienten und der bei 10 normalen Versuchspersonen. Das Bedenken, das man gegen diese Untersuchung haben könnte, ist dass von keinem der TIA-Patienten angiographische Daten zur Verfügung standen, dass die Gehirndurchblutung mittels einer intravenösen Technik gemessen wurde und dass keine paCO₂ festgestellt wurde. Wichtig ist, dass dieser Autor sich die Frage vorlegt ob es absolut notwendig ist, dass vorübergehende und persistente cerebrovaskuläre Insuffizienzen dieselbe Pathogenese haben.

Dijken (1972) untersuchte 3 Gruppen von Patienten mittels Techniken in der die Desaturation von Krypton⁸⁵ oder Argon gemessen wurde.

Diese Gruppen zählten 11 Patienten mit einer angiographisch festgestellten Okklusion von wenigstens einer Arteria carotis interna, 21 Patienten mit einem unvollständigen Verschluss und einem Gehirninfarkt, und 17 Patienten mit einem unvollständigen Verschluss und TIAs. Die Reaktion auf Einatmung von 5% CO₂ war bei den Patienten mit einem vollständigen Verschluss signifikant geringer als bei denjenigen mit einer Stenose. Dies wird erklärt mittels der Hypothese, dass in dem Versorgungsgebiet dieser Arterie ein grosser Teil funktioniert dank der maximalen Dilatation der Arteriolen.

Boysen (1973) meinte, dass die Reaktivität auf CO₂ bei ihren 62 Patienten unversehrt sei. Es zeigte sich nämlich eine lineare Korrelation zwischen der arteriellen CO₂-Spannung und der Gehirndurchblutung bevor, während des Desobstruktionseingriffes, die Arteria carotis abgeklemmt wurde.

Den von dem Team in Kopenhagen erzielten Ergebnissen, welche von Boysen (1973) und Engell (1973) zusammengefasst wurden, wurde folgendes über die **Gehirndurchblutung vor und nach der Endarterektomie** entnommen. Die klinischen Bilder der untersuchten Patienten variieren von TIAs über 'minor strokes' bis zum völligen Ausfall. An erster Stelle zeigte sich eine signifikante Zunahme der Strömung in der Arteria carotis interna, und zwar von 134 zu 200 ml pro Minute. Für die ganze Gruppe von 59 Patienten wurde eine signifikante Zunahme des rCBF gefunden von 40,3 zu 43,1 ml/100 g/Min. Bei Verteilung der Ergebnisse stellte es sich heraus, dass diese Zunahme nur bei der Gruppe Patienten mit Normo- und Hyperkapnie festgestellt wurde. Zu der Zunahme bei der normokapnischen Subgruppe hatte eine leichte Steigerung der CO₂-Spannung beigetragen. Der wichtigste hämodynamische Effekt der Operation ist eine Zunahme der von der behandelten Arteria carotis interna versorgten Menge Gehirngewebe von 326 zu 468 g.

Es gab jedoch 10 Patienten mit arteriographisch eine subtotale Stenose und bei der Operation eine nicht messbare (< 10 ml/Min.) Strömung in der Arteria carotis interna. Nach der Endarterektomie betrug diese 243 ml/Min. und war der rCBF um 50% gestiegen und zwar von 30,9 zu 45,3 ml/100 g/Min. Der Blutdruck und die CO₂-Spannung waren stabil. Vor der Operation hatten 7 Patienten eine progressing stroke, 3 frequente TIAs und 1 einen leichten bis mässigen neurologischen Ausfall. Nach der Operation besserten sich 5 schnell, 1 langsam

und bei 3 Patienten mit TIAs verschwanden diese. Ein Patient zeigte eine Verschlechterung. Sundt c.s. (1974) machte bei der Beurteilung des CBF gleichfalls einen Unterschied zwischen Patienten mit Stenosen < 90% und > 90%. Über Einzelheiten der klinischen Bilder wird jedoch nicht berichtet. Bei den 40 Patienten mit einer Stenose > 90% wurde nach der Okklusion und der Desobstruktion eine signifikante Zunahme des CBF festgestellt.

Waltz c.s. (1972) kommt was die durchschnittlichen Werte des rCBF vor und nach der Endarterektomie anbelangt zu der Schlussfolgerung dass kein signifikanter Unterschied anweisbar ist. Sein Patientenmaterial ist jedoch heterogen: nach 28 Endarterektomien waren die CBF-Werte 14mal zugenommen und 14 dieselben geblieben oder etwas niedriger als vorher. Die obenerwähnten Untersuchungsergebnisse beruhen auf der Anwendung der Xenon¹³³-Methode mit Injektion von radioaktivem Material distal von der Stenose durante operatione. Ausserdem weisen die Autoren darauf hin, dass für eine richtige Beurteilung der Auswirkung einer Endarterektomie follow-up Untersuchungen nach einigen Monaten erforderlich sind.

Christensen Lou und von Wovern (1969) untersuchten die Gehirndurchblutung vor und nach Endarterektomie bei 2 Patienten unter Hyperkapnie ($paCO_2$ 50 ± 1 mm Hg), das heisst mit starker Vasodilatation. Bei beiden wurde eine eindeutige Zunahme festgestellt — sowohl was den schnellen wie den langsamen Komponenten anbelangt. Auch bei dieser Untersuchung wurde die intraarterielle Xenon¹³³-Technik verwendet, und auch im Zusammenhang mit den Befunden von Boysen (1973) ist das Ergebnis des Angiogramms wichtig: beide Karotiden waren stenosiert bis zu einem Restlumen von etwa 1 mm².

Herrschart (1975) führte bei 9 Patienten eine postoperativ wiederholte Angiographie und CBF-Kontrolle durch 14-38 (durchschnittlich 24,7) Tage nach der Gefässoperation. Dabei wurde eine Verbesserung der durchschnittlichen Durchblutung festgestellt von > 100% bei 1 Patient, zwischen 50 und 65% bei 4 Patienten, von 15-25% bei 2 Patienten und von < 15% bei 2 Patienten. Die durchschnittliche Zunahme war zentrotemporal am grössten: 37-59%, frontal und occipital am geringsten: 25-30%. Alle diese Patienten hatten preoperativ eine oder verschiedene Gehirnschämmen erlitten welche einen leichten neurologischen Ausfall zurückgelassen hatten. Waltz c.s. (1972) und Boysen (1973) erwähnen, dass die durchschnittlichen Werte des CBF bei ihren Patienten während der Abklemmung der Arteria carotis interna im Laufe der Operation eine signifikante Senkung aufwiesen. Im erstgenannten Studium von 67,5 ml/100 g/Min. zu 33,3 ml/100 g/Min; im letztgenannten von 51 zu 30 ml/100 g/Min. Bei Waltz war dieser Befund konstant, bei Boysen nicht, und nach Engell (1973) zeigte dieser Rückgang sich bei zweidrittel der Patienten.

Die hier erwähnten Untersuchungen sind in Übereinstimmung mit denen von Agnoli c.s. (1971) und Pistoleze (1972). Von den 14 von diesen Autoren beschriebenen Patienten waren 10 TIA-Patienten. Bei der ersten Gruppe von 7 wurde während der Abklemmung eine Verringerung des durchschnittlichen CBF um 42% festgestellt, bei der zweiten Gruppe von 7 eine Senkung um 20%.

Wenn man versucht die heute zur Verfügung stehenden Daten zu überblicken und sich eine Meinung über die Pathogenese der transient ischaemic attacks zu bilden (hämodynamisch versus mikroembolisch), so erscheint uns die Bestätigung der von Marshall (1969) vertretenen Ansicht am redlichsten. Er meinte dass 'the two hypotheses are not mutually exclusive, however, and both mechanisms probably occur'.

Dies führt dazu, dass man sich die Frage vorlegen soll welche dieser beiden Theorien in jedem gesonderten Fall bevorzugt werden soll und ob alle Phänomene sich mittels derselben Theorie erklären lassen.

Im allgemeinen könnte man vorbehaltlich erwarten, dass bei Patienten mit einem (sub)totalen

Verschluss die hämodynamische, jedoch bei Patienten mit einer ulzerösen Plaque die mikroembolische Theorie bevorzugt werden sollte. Zu einer analogen Konklusion geriet auch Prosenz c.s. (1974), sei es dass er Okklusion und Stenose in einem vergleichenden Studium von rCBF-Messungen und angiographischen Befunden einander gegenüber stellt.

In der obenstehenden Übersicht wurden die klinischen Argumente pro oder kontra eine der beiden erwähnten Theorien über die Pathogenese zur Seite gelassen. Diese wurden noch neulich von Müller (1973) zusammengefasst in einem Artikel betitelt 'Pathogenese und Klinik der episodischen zerebralen Zirkulationsstörungen'. Darin kam jedoch nicht das Argument zur Sprache, dass vorübergehende auf zerebrale oder retinale Funktionsstörungen im Stromgebiet eines völlig verschlossenen Arteria carotis zurückzuführende Symptome, kaum anders als mittels der hämodynamischen Theorie zu erklären sind.

Worman (1973) beschreibt jedoch 5 derartige Patienten aus einer Reihe von 8 mit einem völligen Karotisverschluss. Zwei zeigten überhaupt keine Symptome und 1 zeigte nicht-vorübergehende Störungen. Auch vom Patientenmaterial beim 'Joint study' werden 30 beschrieben mit TIAs und Amaurosis fugax im Versorgungsgebiet der verschlossenen Arteria carotis interna (Fields und Lemak 1976).

Die hier berichteten Befunde unterstützen also die obenerwähnte Schlussfolgerung.

E. Anatomie und Radio-Anatomie der orbitalen Gefäße

Die Kenntnis der obenerwähnten Themas beruht vor allem auf die Arbeit von Hayreh und Mitarbeitern (1976) und Vignaud c.s. (1972). Die Arteria ophthalmica zweigt ab aus dem Karotissiphon, in weit den meisten Fällen nachdem dieser letzte den Sinus cavernosus verlassen hat. Nach Hayreh in 91%, nach Picard c.s. (1975) in 94,3% des zur Verfügung stehenden Materials.

Ein intrakavernöser Ursprung zeigt sich in einer kleinen Minderzahl: Hayreh 8%, Picard c.s. 0,3%. Noch seltener sind andere Ursprünge: aus der Arteria meningea media (2 auf 170 Fälle nach Hayreh), aus der Arteria cerebri anterior (1 Fall - Picard 1975).

An der Arteria ophthalmica werden unterschieden ein intrakranelles, ein intrakanalikuläres und ein intraorbitales Segment. Die Schädelhöhle wird verlassen durch den Canalis opticus, in 3% der Fälle durch einen eigenen knochigen Kanal und nur selten durch die Fissura orbitalis superior.

Das intraorbitale Segment besteht aus einem infraoptischen Teil, einem Teil der den Nervus opticus kreuzt und einem dritten Teil der die mediale Orbitawand medial aufwärts folgt. Hier entspringen die Arteria palpebralis interna superior und inferior und die Endzweige, die Arteria frontalis medialis (Arteria supratrochlearis) und die Arteria dorsalis nasi. Die Arteria ophthalmica kreuzt den Nervus opticus entweder oben oder unten.

Die supraoptische Variante kommt am meisten vor (82,6% der Fälle nach Hayreh, 73% nach Vignaud c.s.).

Bei der infraoptischen Variante unterscheidet Vignaud c.s. noch einmal zwei Typen. Von diesem Autor wurde von der supraoptischen Variante die Lage mittels Angiographien in lateraler und frontaler Projektion wie auch die Höhe des den Nervus opticus kreuzenden Teiles des Gefäßes untersucht. Für die desbezüglichen Abbildungen sei verwiesen auf die ursprüngliche Veröffentlichung. Der Meinung von Hayreh nach hat die Kreuzung über oder unter dem Nervus opticus Konsequenzen für die Reihenfolge des Entspringens der Abzweigungen der Arteria ophthalmica. Vignaud c.s. bespricht die Zweige insofern sie einen Querschnitt von wenigstens 0,3 mm aufweisen in der folgenden am häufigsten gefundenen Reihenfolge. Eine

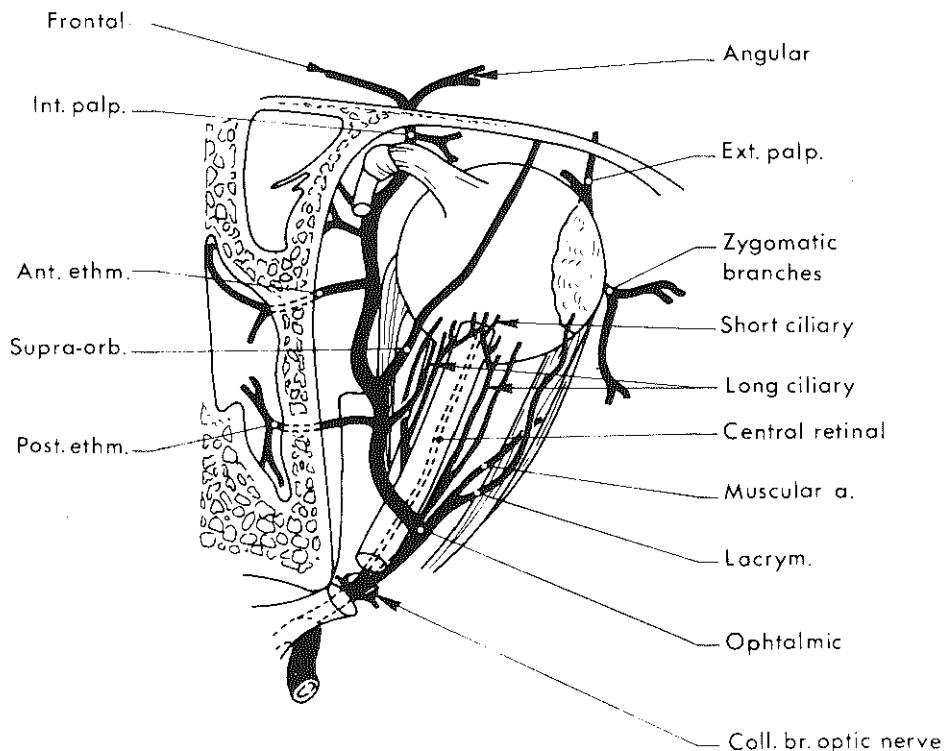


Abb. 1

Die A. ophthalmica und ihre wichtigsten Äste.

(Aus Vignaud J. c.s.: Radiologic Clinics of North America 10, 39, 1972).

schematisierte Übersicht der anatomischen Verhältnisse zeigt Abbildung 1.

Die **Arteria centralis retinae** zweigt mit einem scharfen Winkel ab vom infraoptischen Teil oder von der ersten Kurve der Arteria ophthalmica.

Die **Arteria lacrimalis** entsteht aus der ersten Kurve und verläuft nach der lateralen oberen Ecke der Orbita. Mittels der Arteria sphenoidalis steht sie in Verbindung mit der **Arteria meningea media**. Aus der Arteria lacrimalis entspringen die Arteriae palpebrales externae.

Die **Arteriae ciliares longae** zweigen oft von der Arteria ophthalmica ab im überquerenden Teil und folgen dann den Nervus opticus nach vorne.

Die **Arteria muscularis inferior** ist häufig ein Zweig des dritten Teiles der Arteria ophthalmica. Sie ist am niedrigsten lokalisiert, verläuft quer nach unten und lateral nach vorne und anastomosiert mit der **Arteria infraorbitalis**.

Die **Arteria supraorbitalis** stammt aus demselben Teil der Arteria ophthalmica. Sie ist in lateraler Projektion am höchsten lokalisiert und verläuft nach dem Foramen supraorbitale. Ihr Endzweig wird auch Arteria frontalis lateralis genannt. Schliesslich seien noch erwähnt die **Arteriae ethmoidales posterior und anterior**. Die erste entspringt von der zweiten Kurve, die letztere aus dem dritten Teil der Arteria ophthalmica. Beide verlaufen medial und verlassen durch den gleichnamigen Kahal die Orbita.

Was die Pathologie anbelangt, unterscheiden die Autoren: Ausbleiben der normalen Füllung

der Gefäße, abweichendes Kaliber und Dislokationen, wie auch das Sichtbarmachen von abnormalen Gefäßen. Im Rahmen dieses Studiums steht eine ausführliche Behandlung dieser Angelegenheit nicht zur Diskussion.

F. Kollaterale Zirkulation im Gehirn

Für eine Beschreibung der Möglichkeiten eines Kollateralkreislaufes zum Gehirn bei einem Verschluss der Arteria carotis interna und der Arteria carotis communis gründen wir uns an erster Stelle auf der Monographie von Fields, Bruetman und Weibel betitelt 'Collateral circulation of the Brain' (1965) und auf der Veröffentlichung von Weibel und Fields (1969) betitelt 'Atlas of Arteriography in Occlusive Cerebrovascular Disease'. Connolly c.s. (1973) gab zwei sehr deutliche schematische Zusammenfassungen dieser kollateralen Gefäßsysteme.

Röntgenbilder der kollateralen Zirkulation bei multipelen Gefäßverschlüssen findet man im Atlas von Weibel und Fields (1969) und u.a. bei Schmidt und Bragina (1969).

Die Kenntnis dieser Möglichkeiten ist heutzutage Gemeingut und wir möchten deswegen nur ausführlicher eingehen auf die anatomischen Verhältnisse und die pathophysiologischen Aspekte welche für unser Thema wichtig sind. Von den kollateralen Gefäßsystemen, welche bei einem Verschluss der Arteria carotis interna **proximal** von der Arteria carotico-tympanica in Wirkung treten können, möchten wir die folgenden erwähnen bzw. besprechen:

1) Extrakraniell situiert

- a) die carotico-tympanische Anastomose und die Arteria pterygoidea.
- b) die Anastomosen durch die Arteria ophthalmica.

2) Intrakraniell situiert

- a) die Anastomosen zwischen der Pars cavernosa des Karotissiphons und den Ästen der Arteria menigea media.
- b) das Rete mirabile, das die Karotis externa mit dem arteriellen System der Karotis interna an der Schädelbasis verbindet.
- c) der Circulus arteriosus Willisii.
- d) die leptomeningealen Anastomosen zwischen der Arteria cerebralis anterior, media und posterior.
- e) transdurale Anastomosen von der Arteria meningea media aus.
- f) Anastomosen zwischen der Arteria chorioidal anterior und posterior.
- g) Anastomosen vom Vertebrabasilar system aus mittels eines Netzwerkes von Gefäßen in den basalen Ganglien, im Thalamus und periventrikulär in den temporalen und parietalen Gebieten (Smith c.s. 1968), wie auch durch den Plexus tectalis (Gillilan 1974).

Bei einem Verschluss der Arteria carotis interna **distal** von der Arteria ophthalmica verfallen die unter 1) genannten Kanäle, wogegenüber die Arteria ophthalmica das Endgefäß der Arteria carotis interna wird.

Ad 1a.

Die Arteria carotico-tympanica anastomosiert mit zwei Ästen der Arteria carotis externa, nämlich der Arteria stylomastoidea (aus der Arteria auricularis posterior) und der Arteria tympanica anterior (Arteria maxillaris interna), und die Arteria pterygoidea mit der Arteria canalis pterygoidea (Arteria maxillaris interna).

Ad 1b.

Die folgenden Äste der Arteria ophthalmica haben kollaterale Verbindungen mit der Arteria carotis externa:

Die **Arteria frontalis medialis** mit dem Ramus frontalis (Arteria temporalis superficialis) und die **Arteria dorsalis nasi** mit der Arteria angularis (Arteria Facialis), der Arteria nasalis lateralis (Arteria facialis) wie auch der Arteria infraorbitalis (Arteria maxillaris interna).

Die **Arteria palpebralis superior** mit der Arteria zygomatico-orbitalis (Arteria temporalis superficialis) und die **Arteria palpebralis inferior** mit der Arteria transversa faciei (Arteria temporalis superficialis) und der Arteria angularis (Arteria facialis).

Die **Arteria lacrimalis** mit der Arteria meningea media (Arteria maxillaris interna) und der Arteria temporalis media (Arteria temporalis superficialis).

Die **Arteria muscularis inferior** mit der Arteria infraorbitalis (Arteria maxillaris interna).

Die **Arteria supraorbitalis** mit dem Ramus frontalis (Arteria temporalis superficialis).

Die **Arteriae ethmoidales** mit der Arteria sphenopalatina (Arteria maxillaris interna).

Zur Untersuchung der Pulsphänomene an den orbitalen Gefäßen ist es wichtig aus der vorgehenden Aufführung die folgenden Schlussfolgerungen zu ziehen. An erster Stelle kann der Kollateralblutstrom vom Gesicht (Externagebiet) aus retrograd die Arteria ophthalmica erreichen durch den Orbitaeingang und zwar von lateral und medial, von oben und unten und dann aus Ästen der Arteria temporalis superficialis, der Arteria facialis und der Arteria maxillaris interna. Zweitens gibt es ausserdem intraorbitale Anastomosen zwischen Ästen der Arteria ophthalmica und Ästen der Arteria maxillaris interna.

Die carotico-tympanische Anastomose, die Arteria pterygoidea und die intrakraniellen shunts zwischen dem Externa- und dem Internagebiet werden bewirken dass der Blutdruck im Karotissiphon an der Seite der Obstruktion soviel wie möglich aufrecht erhalten wird. Die leptomeningealen Anastomosen ermöglichen einen Kollateralkreislauf im peripheren Gefäßgebiet der Gehirnarterien und die Arteriae chorioideae wie auch das Netzwerk von Gefäßen durch den basalen Ganglien führen Blut vom vertebrobasilären System aus zum Karotisgebiet. Durch den Circulus arteriosus Willisi ist es mittels der Arteriae communicantes posteriores auch möglich, dass das vertebrobasiläre Gebiet eine kollaterale Funktion antritt. Dabei wird jedoch ein neues Prinzip eingeführt, da durch die Arteriae cerebri anteriores und die Arteria communicans anterior eine links-rechts Verbindung gebildet wird, so dass die eine Arteria carotis interna stellvertretend für die andere funktionieren kann. Dass dies Folgen hat für den Blutstrom und den Blutdruck wurde bereits bei den hämodynamischen Veränderungen im Circulus Willisi beim Verschluss eines der vier Stämme besprochen. Die Auswirkung war eine Zunahme des Blutstroms in der heterolateralen Arteria carotis interna und eine Drucksenkung im Circulus Willisi.

Bei einem Verschluss der **Arteria carotis communis** werden die folgenden kollateralen Systeme wirksam:

- a) links-rechts Verbindungen zwischen homologen Ästen der Arteria carotis externa, vor allem die Arteria thyreoidea superior.
- b) homolateral durch den Truncus thyrocervicalis und costocervicalis von der Arteria subclavia aus zu der Arteria carotis externa.
- c) gleichfalls homolateral von der Arteria vertebralis aus zu der Arteria carotis externa.

Zu dem **sub a** genannten System ist dasselbe zu bemerken als zu der links-rechts Verbindung

durch den Circulus arteriosus Willisi: ein unilateraler Verschlussprozess kann grundsätzlich eine bilaterale Auswirkung haben auf die Druckverhältnisse im Circulus arteriosus wo die Arteria ophthalmica als Manometer betrachtet werden kann.

G. Die Gefahren der Gehirnangiographie

Bei einer Behandlung der Gefahren der Gehirnangiographie ist mit zwei Aspekten zu rechnen: an erster Stelle, welche Gefahren kommen dabei vor und zweitens, welche Technik wird angewendet. Die angewendete Technik wird dabei auch wieder, wenigstens zum Teil, die Art der Gefahr bestimmen.

Uns kommt die von Feild c.s. (1972) und Vitek (1973) vorgeschlagene Einteilung der Gefahrenfaktore am übersichtlichsten vor: nämlich lokale, allgemeine und neurologische. Dabei kann man noch zwei andere Beurteilungsfaktore einführen, nämlich leicht oder ernst (z.B. Joint study 1968) und vorübergehend oder permanent (z.B. Perrett 1967).

Es wird klar sein, dass fatale Komplikationen zu der ernsten und permanenten Gruppe gehören.

Für die jetzt angewendeten Techniken werden in der rezenten Literatur die folgenden Komplikationsprozentsätze erwähnt.

1) Perkutane Karotisangiographie

Perrett und Caldicott (1967) registrierten nur die neurologischen Komplikationen von 783 Angiographien bei 661 Patienten. Die Anzahl der permanenten Komplikationen einschließlich Todesfälle (9 oder 1,4%) war 1,8%. Es wurden 0,9% vorübergehende Störungen festgestellt.

Feild c.s. (1972) berichtete die Anzahl Komplikationen bei 1000 Patienten bei denen 1099 perkutane Karotisangiographien durchgeführt wurden und 1202 Angiographien der Arteria brachialis. Die Komplikationen wurden verteilt in leicht, ernsthaft (Ausfall permanent) und fatal. Von den Karotisuntersuchungen wurden nur die Anzahl leichte (2,09%) und ernste (0,63%) pro untersuchte Arterie berechnet, erwähnt.

2) Angiographie mittels retrograder Katheterisation der Arteria brachialis

In derselben obenerwähnten Veröffentlichung gibt Feild c.s. (1972) die Ziffern über die brachialen Angiographien bekannt. Die Anzahl der leichten Komplikationen war 3,32%, die Anzahl schwerer 0,60% bei einer Mortalität von 0,21% (3 Patienten) — alles pro Angiogramm berechnet. Die Gesamtzahl der Komplikationen pro Patienten war 6,7%, von denen 0,3% mit tödlichem Ausgang. Aortenbogenangiographie durch die Arteria brachialis (156mal) und durch die Arteria femoralis (27mal) bei 160 Patienten ist die Basis der Übersicht von Eisenman c.s. (1972). Todesfälle taten sich dabei nicht vor, ebensowenig wie ernste Komplikationen. Es gab 4 (2,2%) Patienten mit leichten Komplikationen. Obwohl in keiner der beiden obenerwähnten Übersichten eine Verletzung des Plexus brachialis beschrieben wurde, ist dennoch das Vorkommen davon erwähnenswert. Kerdiles c.s. (1972) sah 6 derartige Fälle auf 300 Untersuchungen (2%).

3) Transfemorale selektive Katheterisation der Karotiden

Den mit dieser jetzt oft propagierten Untersuchungsmethode (Puylaert 1975) verbundenen Gefahren widmete Vitek (1973) ein Studium. Die Basis dafür bildeten 2000 bei ebensovielen Patienten abgenommene Angiogramme. Die Mortalität betrug 0,1% (2 Patienten). Fünfmal (0,25%) tat sich ein permanenter neurologischer Ausfall vor und 25mal (1,25%) war dieser vorübergehender Art und schliesslich zeigten sich noch 0,65% lokale Anomalien, so dass es sich insgesamt um 2,25% Komplikationsfälle handelt.

Der Bericht der Joint study (1968) ist kaum unter einer der drei obenerwähnten Kategorien einzuteilen. Mittels verschiedenartiger Techniken wurde bei 4748 Patienten versucht eine four-vessel Angiographie durchzuführen. Dies gelang bei 80%. Bei diesen Patienten wurde eine Mortalität von 0,7% (33 Patienten) und eine permanente Hemiparese bei 0,5% (23 Patienten) registriert. Die Frequenz der ernsten Komplikationen war am höchsten bei Patienten mit einem schweren neurologischen Ausfall und bei Katheterisation der Arteria brachialis. Die leichten Komplikationen wurden, nach Untersuchungstechnik unterverteilt, gemeldet. Bei der perkutanen Karotisangiographie gab es 5,3% Komplikationen, bei der Injektion in die Arteria brachialis (mit oder ohne Katheter) 7,1%, bei Injektion in die Arteria subclavia 5,5% und bei der Aortenbogenangiographie, entweder durch die Arteria brachialis oder durch die Arteria femoralis, 14,3%. Wenn eine Analyse der jährlichen Komplikationen-zahl gemacht wurde, stellte es sich heraus, dass die Zahl der ernsten Komplikationen, wie auch die Zahl der leichteren allmählich geringer wurde.

KAPITEL II

Atraumatische Methoden zur Analyse der Zirkulation im Karotisgebiet

In der Einleitung wurde bereits erwähnt, dass im Laufe der Jahre verschiedene Techniken entwickelt wurden zur Erforschung der Pulswelle, des Blutstroms und deren abgeleiteter Werte im Versorgungsgebiet der Karotiden und, insofern dies möglich war, im Gebiet des vertebrobasilären Systems.

Ausserdem wurde versucht mittels Echomethoden anatomische Auskünfte über die Lage der Karotiden zu erwerben.

Jede Systole verursacht das Einfließen einer bestimmten Menge Blut (Schlagvolumen) in das arterielle System. Ausser der Instandhaltung des Blutkreislaufs gibt dies Anlass zu einer pulsierenden Veränderung der Stromgeschwindigkeit (Strompuls), des intravasalen Drucks (Druckpuls) und des Durchschnittes der Gefäße (Volumpuls) (Wetterer und Kenner (1968): Grundlagen und Dynamik des Arterienpulses). Ausgehend von dieser physiologischen Analyse der Pulsphänomene wird versucht werden die zu besprechenden Methoden in Gruppen einzuteilen.

Es ist die Absicht der heutigen Lage mehr Aufmerksamkeit zu schenken als ihrer historischen Entwicklung.

Der Ophthalmodynamometrie und der Ophthalmodynamographie, welche methodologisch zu der Gruppe der Druckpulsstudien gehören, wird jedoch ein gesondertes Kapitel gewidmet werden.

A. Anatomische Methoden

1. Echotomographie des Halses

Olinger beschrieb 1969 die Methode zur Abbildung der Halsarterien durch Verwendung der B-scan Echotechnik. Wünscht man sich über die Lage im wichtigsten Gebiet, dem der Bifurkation, einen Urteil zu bilden, so ist selbstverständlich ein longitudinaler Durchschnitt erforderlich.

Bei 60 Patienten mit einem mittels 4-vessel Angiographie festgestellten extrakraniellen Gefäßleiden wurde eine Echoarteriographie durchgeführt und die Ergebnisse der beiden Bilder wurden mit einander verglichen.

Über die bei 26 Patienten gefundenen Ergebnisse wurde berichtet und man erwartete dass diese Methode sich zu einem einfachen ungefährlichen Screening und Follow-up-Verfahren entwickeln könnte.

Planiol c.s. (1972) behandelte die Echotomographie samt mehreren anderen atraumatischen Untersuchungsmethoden (u.a. Doppler-Verfahren und Gesichtsthermographie) und meinte dass sie bestimmt nicht unwichtig, jedoch immer noch beschränkt verwendbar ist.

Lunt c.s. berichtete 1975 über das Ergebnis eines vergleichenden Studiums der Messung des Durchschnitts der Arteria carotis communis mittels des B-scan und auf Basis der arteriographischen Bilder. Die Konklusion lautete, dass es jetzt möglich ist durch die Ultraschall-Methode den Durchmesser der Karotis zu messen mit einer Genauigkeit von $\pm 10\%$. Das bietet die Möglichkeit, kombiniert mit der Messung der Stromgeschwindigkeit mittels des Doppler-Verfahrens, auf atraumatische Weise die Stromstärke in den Karotiden zu berechnen.

2. Abbildung mittels der Doppler-Apparatur

Schliesslich stellt sich heraus dass die zervikalen Arterien mittels eines richtungsempfindlichen Doppler-flow-Messers abgebildet werden können.

Spencer c.s. (1974) fand mit dieser Methode die folgenden Ergebnisse. Die Beurteilung der Abbildungen der Arteria carotis communis, der Arteria carotis interna und der Arteria carotis externa stimmten in 100 auf 119 Gefässen bei 24 Patienten mit den Angiographien überein. Sieben Gefässen konnten mittels der Ultraschall-Methode nicht beurteilt werden und 6 wiesen ein Fehlergebnis auf. Bei 11 Gefässen wurde die erwartete Stenose von >50% bestätigt, bei 12 Gefässen war die Ultraschall-Untersuchung falsch positiv oder falsch negativ.

Es stellte sich also heraus dass diese Methode noch ungenügend Sicherheit bieten kann.

B. Physiologische Methoden

1. Von der Blutstromgeschwindigkeit abhängige Methoden

a. Feststellung der Arm-Retinazeit

I. mittels Stoppuhr

Bei diesem Verfahren wurde Fluorescein in die Vena cubiti injiziert und die bis zum Eintreffen dieser Flüssigkeit im Auge verlaufene Zeit festgestellt. Diese Methode wurde von Heyman (1961) eingeführt und wird im Übersicht der Fluoreszenz-Angiographie des Auges von Amalric (1967) beschrieben; Hørven c.s. (1971) berichtete über die Ergebnisse des Zeitverlaufs zwischen der Injektion und dem Eintreffen der Flüssigkeit bei 3 normalen Personen und 7 intrakraniellen Aneurysma-Patienten. Fünf davon wurden mit Abklemmung der Arteria carotis interna behandelt, was bei 2 eine leichte und bei 3 eine deutliche Stenose ergab.

Die normalen Personen, die preoperativen Fälle und die Patienten mit einer leichten Stenose nach einer Operation zeigten Zeitintervalle bis zu 0,3 Sek., die Patienten mit einer deutlichen postoperativen Stenose zeigten Verzögerungen von 0,8 bis 1,9 Sek.

II. mittels Fundus-Reflektometrie

Bei dieser von Beintema, Mook und Worst (1964) eingeführten Methode wird das Eintreffen des Farbstoffes photoelektrisch registriert und zwar dadurch dass Fluoreszenz oder eine Verringerung des von der Sklera reflektierten Lichtes hervorgerufen wird.

Oosterhuis und seine Mitarbeiter haben die Methode weiter entwickelt und angewendet bei einer Reihe Patienten mit Verschlussprozessen an den Karotiden. Eine Schwierigkeit bei der Verwendung von Fluorescein ist die schnelle Extravasation so dass die Senkung der Kurve sehr langsam verläuft. Dies gab Oosterhuis und Bakker (1971) Anlass von der Fluorographie auf Reflektographie umzuschalten, in welcher Methode Cardiogreen verwendet wird. Beintema c.s. verwendet Patentblau V.

Mittels der Methode nach Oosterhuis c.s. (1970) erwies es sich auch als möglich durch Registrierung mit einer höheren Empfindlichkeit ein Fundusplethysmogramm herzustellen. Es entstanden Oszillationen, welche die Form arterieller Pulsationen aufwiesen und deren Maximum (der minimalen Reflexion entsprechend) mit der Systole zusammentraf und deswegen mit der Maximalfüllung der Chorioidea und Retina.

Dies deutet darauf hin, dass bei der Fundusplethysmographie die Quantität des von der Skle-

ra reflektierten Lichtes gemessen wird.

Die Apparatur wird mittels Sektion von 30 cm Wasser (22 mm Hg) auf dem Auge fixiert und es ist klar dass dies das Entstehen arterieller Pulsationen gefördert hat. Außerdem erwies es sich als möglich durch Verwendung eines geeigneten Filters Veränderungen in der Blutoxygenation zu registrieren (Oosterhuis c.s. 1971). Bei 17 Patienten mit unilateralen Okklusionen der Arteria carotis communis, oder der Arteria carotis interna, wurde eine durchschnittliche Verzögerung von 1,6 Sek. festgestellt. Diese variierte von 0,5 (bei 2 Patienten) zu 4,0 Sek. und bei gesunden Personen wurden Werte < 0,5 Sek. gefunden (Oosterhuis c.s. 1973).

Von Posthumus Meyjes und de Wilde (1967) wurde diese Methode bei einer Gruppe von 101 Patienten, die auch angiographisch untersucht wurden, angewendet.

Bei 10 Patienten ohne extrakranielle Gefässanomalien wurde eine links-rechts Differenz von maximal 0,8 Sek. festgestellt. Eine Differenz von 1 Sek. oder mehr betrachten diese Autoren als pathologisch. 18 Patienten mit unilateralen Verschlüssen der Arteria carotis interna zeigten Verzögerungen bis zu 4,8 Sek. Bei 29 Patienten mit beiderseitigen Prozessen wurde 12mal eine Differenz > 1 Sek. festgestellt. Bei 17 Patienten wurde eine Desobstruktion durchgeführt. Wenn die Zeitdifferenz postoperativ > 1 Sek. war, beruhte dies meistens auf einer Rethrombosierung der Arteria carotis.

b. Fluorescenz-Angiographie des Gesichtes

Mäpstone and McBride (1975) zeigten, dass das verzögerte Eintreffen des Fluoresceins im Hautgebiet der Arteria ophthalmica auch sichtbar gemacht werden kann durch Fluorescenz-Angiographie des Gesichtes. Weitere Einzelheiten der Methode fehlen noch — die Autoren erwarten eine Zuverlässigkeit von 70-80%.

c. Serienszintiphographie des Schädel-, des Halsgebietes und des Aortenbogens

Bei der Serienszintiphographie wird etwa 10 mCi 99m Tc Pertechnetat als Bolus intravenös injiziert. Die Radioaktivität wird registriert mittels einer Gammakamera und deren Oszilloskopbild mittels einer Polaroidkamera.

So werden in den ersten 45-60 Sek. Aufnahmen gemacht mit einer Belichtungszeit von 3-5 Sek.

Auf diese Weise kann man den Verlauf der Radioaktivität in den Arterien und Venen verfolgen und dies verschafft gleichzeitig anatomische Auskünfte über die Lage dieser Gefäße. Die Serienszintiphographie des **Schädel- und Halsgebietes** wurde von Janeway, Maynard und Witcofski 1968 eingeführt und von Janeway am 7. 'Conference on Cerebral Vascular Diseases' (1970) mehr eingehend besprochen. Eine ausführliche Beschreibung davon gibt in der niederländischen Literatur die Dissertation von Hoencamp (1972). Der Ansicht dieses Autors nach weist eine Verringerung der Radioaktivität im Hals, kombiniert mit einer Perfusionssstörung der homolateralen Hemisphäre auf einen Obstruktionsprozess in der Arteria carotis hin. Bei 100 auf Anomalien der zervikalen Arterien untersuchten Patienten wurden 67 richtige Befunde gemacht. Die Anzahl (und auch der Prozentsatz) der falsch positiven Ergebnisse war 29, die Anzahl der falsch negativen Ergebnisse war 4.

Serienszintiphographie des oberen thorakalen Gebietes (**Gamma-aortographie**) wurde von Kramer c.s. (1973) empfohlen, besonders für Patienten bei denen an ein Aortenbogensyndrom gedacht werden könnte. Diese Autoren machten Polaroidbilder in den Perioden 0-20, 20-40, 40-60 und 60-80 Sek. nach der Injektion nebst Bildern auf einem Kodak plus X Film mit einer Nikon-F Kamera bei einer Belichtungszeit von 3 Sek.

Beschrieben wurden 11 Fälle bei denen angiographisch ein Aortenbogensyndrom diagnostiziert worden war. Gammaaortographie führte zu denselben Schlussfolgerungen, obwohl die Befunde, was die gesonderten Gefäße anbelangt, nicht völlig kongruent waren. Diese Methode kann auch nützen zur Beurteilung des Ergebnisses einer operativen Behandlung.

2. Untersuchung der pulsierenden Veränderungen der Blutstromgeschwindigkeit

Transkutane Doppler-flow-Messung

Bei dieser Methode wird ein Ultraschallbündel auf ein Blutgefäß gerichtet und dessen Echo wieder aufgefangen. Dadurch dass die reflektierenden Blutkörper in die Richtung des Tasters oder von dem Taster ab bewegen, entsteht eine Frequenzdifferenz zwischen eingestrahltem und reflektiertem Ultraschall (Doppler-Effekt). Diese Frequenzdifferenz kann hörbar gemacht oder registriert werden in Beziehung zu der Null-Linie, so dass die Stromrichtung abgelesen werden kann. Diese Entwicklung steht jedoch nur seit kurzem zur Verfügung. In der Apparatur nach Mol (1973) wird das Signal analysiert in einen Komponenten sich nähernden und einen Komponenten sich entfernenden Blutes. Bei einer idealen Registrierung ist einer der beiden Komponenten nahezu Null. Eine grosse Schwierigkeit bei der praktischen Verwendung dieser Methode ist die Tatsache, dass im Hals die Arteria carotis interna und externa nicht von einander unterschieden werden können, so dass nur die Untersuchung der Arteria carotis communis sinnvoll durchgeführt werden kann. Stenosierende Prozesse befinden sich jedoch meistens auf einer höheren Ebene und zwar bei der Bifurkation. Dies führte dazu dass die Aufmerksamkeit sich richtete auf die Arteria ophthalmica als einziger Zweig der Arteria carotis interna, welcher durch die Orbita den Schädel verlässt. Maroon c.s. (1969) nannte deswegen die von ihm empfohlene Untersuchung des Blutstromes in der Arteria ophthalmica die **Ophthalmosonometrie (OSM)**. Als Vorteil der Ophthalmodynamometrie (ODM) gegenüber, erwähnt er dass die OSM auch angewendet werden kann bei Trübung der brechenden Medien, Verschluss der Arteria centralis retinae und bei ungenügender Mithilfe des Patienten, wie auch bei Kontraindikationen gegen eine ODM.

In den meisten Fällen stimmten die Ergebnisse der ODM mit denen der OSM überein — falsch negative Ergebnisse der OSM gab es bei der Kollateralzirkulation von dem Externagebiet aus und hier entstand bereits ein Bedürfnis nach einer richtungsempfindlichen Doppler-Apparatur. Bei Kompression der Arteria temporalis superficialis verschwand das Signal dann aber völlig. In der Form einer Belauschung der Dopplertöne der Arteria supraorbitalis mit der (ungefährlichen) Kompression der Arteria temporalis superficialis kombiniert verfügt man jetzt über eine einfache ungefährliche bedside-Methode mit grosser Treffsicherheit (Brockenbrough 1970, Wise c.s. 1971, Machleder c.s. 1972, Machleder 1973, Hyman 1974).

Bei normalen Personen wird eine Verstärkung der Töne wahrgenommen, bei Kompression der homolateralen Arteria temporalis superficialis (obwohl dies zuweilen fehlen kann), aber wenn eine hämodynamisch signifikante Stenose in der Arteria carotis interna existiert, so nimmt die Stärke der Töne ab oder verschwinden sie sogar völlig. In einer Reihe von mehr als 150 angiographisch beglaubigten von Machleder (1973) festgestellten Fällen wurden 5 (3,3%) falsch positive und 9 (6%) falsch negative Proben gemeldet. Die falsch positiven Fälle beruhten häufig auf einer insuffizienten Technik, die falsch negativen Fälle sind zu erwarten wenn ein Kollateralkreislauf durch den Circulus Willisii oder die heterolaterale Arteria carotis externa entstanden ist.

Für die Hypothese, dass in diesem Fall auch die homolaterale Arteria carotis externa stenosiert sein sollte, liefert der Autor jedoch keinen Beweis.

Spencer c.s. (1974) stellt bei 6 auf 14 stenosierten Arteriae carotides internae eine normale

Stromrichtung fest. Zwei davon konnten aus einer akzidentellen Stenose der homolateralen Arteria carotis externa erklärt werden, bei den anderen 4 bestand ein Kollateralkreislauf von der heterolateralen Karotis aus.

Selbstverständlich können auch positive Ergebnisse erwartet werden bei Kompression von anderen Zweigen der Arteria carotis externa, z.B. Arteria maxillaris externa, Arteria facialis und Arteria infraorbitalis.

Hyman (1974) fand bei 53 angiographisch kontrollierten Fällen 8 (15%) falsch positive Ergebnisse und 1 (2%) falsch negatives Ergebnis. Auch dieser Autor erwähnt die Möglichkeit dass ein falsch negatives Ergebnis aus einer gleichzeitig stenosierten Arteria carotis externa hervor- gehen könnte. Die geringe Anzahl der falsch negativen Befunde ist wichtig in dem Sinne dass nur wenige Karotisobstruktionen nicht erwischt werden. Mitgeteilt wird dagegen, dass es manchmal unmöglich ist das Signal der Arteria supraorbitalis zu vernehmen. Als kennzeichnend für eine Karotisstenose wird erwähnt, dass bei einer Kompression der Arteria temporalis superficialis ein Signal höherer Frequenz aus der Arteria supraorbitalis aufgefangen werden kann. Keitzer c.s. (1972) beschreibt die kombinierte Verwendung, sowohl preoperativ in Übereinstimmung mit den obenerwähnten Prinzipien, wobei auch die Arteria carotis communis untersucht wird, wie auch durante operatione.

Der dann beabsichtigte Zweck ist eine Beurteilung der Läsion vor der Endarterektomie und eine nachträgliche Kontrolle auf die Durchgänglichkeit des Gefäßes.

Müller hat ausführlich das Doppler-Signal der Arteria ophthalmica mit der richtungsempfindlichen Apparatur untersucht.

Er bedient sich dabei des Titels 'Directional Doppler Sonography' (Müller 1972, Müller c.s. 1972, Müller 1973 und Müller 1973). Die Doppler-Untersuchung der Karotiden beschränkt sich s.E. auf die Arteria communis und bei dem Versuch das Doppler-Signal der Arteria vertebralis zu registrieren, weiss man nicht ob nicht vielleicht auch die occipitalen Äste der Arteria carotis externa getroffen werden. In seinem System wird versucht das aus der Arteria frontalis medialis stammende Signal zu registrieren. In diesem in der Nähe der 'Wasserscheide' zwischen Carotis interna und Carotis externa gelegenen Gefäß, kann häufig eine Umkehrung der Stromrichtung nachgewiesen werden. Dieser Kollateralkreislauf kann sich bis in die Orbita, oder sogar bis in den Schädel verbreiten, ist jedoch im allgemeinen nicht fähig zur Aufrechterhaltung einer genügenden Durchströmung in der Arteria cerebri media und anterior (Fogelholm und Vuolio 1969).

Von 37 Patienten mit Karotisokklusionen (5 bilateral) wurde bei 31 eine Umkehrung der Stromrichtung festgestellt. Bei 5 war keine oder kaum einige Strömung nachweisbar. Nur 1 Patient zeigte eine physiologische Strömungsrichtung in der Arteria ophthalmica. Die Erklärung dieses Befunds war eine anatomische Variation, denn sie entsprang aus der Arteria meningea media.

Zwei Patienten mit einem Verschluss der Arteria carotis communis zeigten eine umgekehrte Durchströmungsrichtung in der Arteria ophthalmica. Es gab 20 Patienten (5 bilateral) mit einer Stenose der Arteria carotis interna um mehr als 75%. Bei 9 war die Durchströmungsrichtung umgekehrt, bei 11 die Amplitude im Vergleich mit der gesunden Seite verringert und war der normal anwesende diastolische Komponent stark herabgesetzt oder aufgehoben. Genaue Werte dieser Verringerung erwähnte der Autor jedoch nicht. Sechs Patienten mit einer Internastenose wurden operiert und postoperativ konnte man feststellen, dass die normale Durchströmungsrichtung berichtigt worden war. Bei 21 der Fälle mit einem Totalverschluss der Arteria carotis interna wurden ausserdem Dopplerkurven der Arteria carotis communis gemacht. Achtzehnmal wurde eine Verringerung oder Einstellung des physiologischen diastolischen Flowkomponenten festgestellt. Man fand jedoch eine klare Anweisung dass bei chro-

nischen Verschlüssen mehr diastolische Strömung anwesend ist als bei akuten.

Bei der Kompression einer oder mehrerer Äste der Arteria carotis externa kann sich die normale Durchströmungsrichtung in der Arteria ophthalmica wieder herstellen. Dies deutet auf die Möglichkeit hin eines Kreislaufs durch den Circulus Willisii, und eine Kompression der kontralateralen Arteria carotis communis kann in diesem Fall zeigen ob diese letztere oder aber das vertebrobasiläre System die Quelle ist. Führt Müller nur selten eine Karotiskompression durch, das System zur Doppler-Untersuchung nach Keller c.s. (1973) ist darauf gerade zum grössten Teil basiert. Dieser Autor hat den Richtungsdetektor nicht benutzt, ist jedoch der einzige der das Doppler-Verfahren, mit der Ophthalmodynamographie kombiniert, verwendet hat. Durch Mittelwertbildung über 64 Herzaktionen wurde ein günstiges Signal-Rauschverhältnis erzielt, so dass die Auswirkung der Kompression sich besser beurteilen liess. In späteren Veröffentlichungen (Keller und Baumgartner 1974, Keller c.s. 1974) wurde die Richtungsempfindlichkeit der Apparatur aber benutzt.

Bei 350 Doppler-Untersuchungen, wobei, wenn dies zulässlich erschien, Kompression der Arteria carotis communis angewendet wurde, wurde 2mal das Erreichen einer TIA festgestellt. Versucht wurde ein Signal von der medialen Arteria supratrochlearis und der mehr lateral situierten Arteria supraorbitalis aufzufangen. Durch EKG-getriggerte Mittelwertbildung (über 30 Pulse) wird, wie bereits erwähnt, das Signal-Rauschverhältnis verbessert, so dass der Verlauf der Kurve besser studiert werden kann und ausserdem das Intervall zwischen der R-Zacke des EKG und dem Anfang der Oszillation bestimmt werden kann. Eine Verzögerung um mehr als 30 mSek. wird als pathologisch betrachtet. Dass gleiche gilt für eine Amplitudendifferenz der Oszillationen um 20% an der Arteria supratrochlearis und um 50% an der Arteria supraorbitalis. Müller (1973) hatte bereits festgestellt, dass bei umgekehrter Durchströmungsrichtung in der Arteria frontalis medialis meistens eine Verzögerung des Pulses um etwa 40 mSek. registriert wurde.

Untersucht wurden 350 Patienten und von dieser Anzahl wurde bei 92 eine angiographische Kontrolle durchgeführt. In 80% der Fälle stimmten die Ergebnisse der Doppler-Untersuchung mit denen der Angiographie überein. Es gab 9 falsch positive und 4 falsch negative Befunde. Angesichts der falsch negativen Ergebnisse ist der Autor der Meinung, dass wenn dafür eine klinische Indikation vorhanden sein sollte und wenn daran therapeutische Folgen verbunden sind, auch bei einer negativen Doppler-Untersuchung eine Angiographie auszuführen ist. Bei der Entwicklung eines Kollateralkreislaufs von der heterolateralen Arteria carotis oder aber vom vertebrobasilären System aus, so kann die Doppler-Untersuchung ein negatives Resultat aufweisen. Systematische Kompressionsproben können in diesem Fall die richtige Pathologie enthüllen. Bei der Behandlung der Karotiskompressionstonographie wird weiter über die Gefahr dieser Behandlung berichtet werden. Das Entstehen von Symptomen bei doppelseitigen Prozessen an der am wenigsten erkrankten Seite, wird vom Autor erklärt aus der Hypothese der Mikroembolien.

In einem zusammenfassenden Bericht, 'Etude de la circulation carotidienne par les méthodes ultrasoniques et la thermographie' von Planiol c.s. (1972) wird ausführlicher auf die Eigentümlichkeiten der an den Karotiden im Hals gemessenen Dopplerkurven berichtet. Es stellt sich heraus dass in der Arteria carotis communis und in der Arteria carotis interna während des ganzen kardialen Zyklus ein Blutstrom unterhalten wird, welcher während der Systole beschleunigt wird. Die Geschwindigkeit des Blutstroms während der Diastole ist umgekehrt proportional zu dem Widerstand stromabwärts. In der Arteria carotis communis ist die diastolische Geschwindigkeit 25-45% der maximalen Geschwindigkeit während der Systole. Bei einem Verschluss in der Arteria carotis communis ist darin, ebenso wenig wie in der Arteria carotis interna eine Durchströmung nachweisbar. In der Arteria ophthalmica

findet man eine retrograde Durchströmung. Bei einem Verschluss in der Arteria carotis interna proximal von der Arteria ophthalmica ist die diastolische Geschwindigkeit in der Arteria carotis communis null. Dasselbe kann der Fall sein in der Arteria ophthalmica, aber dort ist auch ein retrograder Strom möglich. In derartigen Fällen ist die (normalerweise geringe) diastolische Geschwindigkeit in der Arteria carotis externa grösser. Bei einer Stenose der Arteria carotis interna findet man eine Senkung der diastolischen Stromgeschwindigkeit in der Arteria carotis communis, einen systolischen Gipfel an der Stelle der Stenose und stromabwärts davon eine Senkung der systolischen und diastolischen Stromgeschwindigkeit. In der Arteria ophthalmica kann eine Umkehrung der Stromrichtung festgestellt werden. Wie aus einer Veröffentlichung aus 1974 hervorgeht hat Planiol in einer Untersuchungsbatterie Gammaangiographie, Doppler-flow-Messung und Thermographie kombiniert. Es werden von den 700 untersuchten Patienten einige Beispiele gegeben, jedoch fehlt eine systematische Kontrolle der Ergebnisse.

Wie schon erwähnt, wird in der Apparatur nach Mol (1973) das Signal analysiert in die Komponenten des sich nähernden und des sich entfernenden Blutes.

Bei einer idealen Registration ist einer der beiden Komponenten null, wenn nicht während einer bestimmten Phase des Herzzyklus eine Umkehrung der Strömungsrichtung stattfindet. Dieser Autor redet von der 'Doppler-hämatotachographischen Methode' und registrierte bei seinen normalen Versuchspersonen Dopplerkurven, wenn möglich von der Arteria carotis communis beiderseits und von der Arteria brachialis beiderseits. Außerdem wurde immer versucht ein HTG der Arteria vertebralis beiderseits zu registrieren. Bei den Patienten wurde ausserdem eine Kurve der Arteria ophthalmica aufgenommen. Von diesen Kurven wurden die folgenden Parameter gemessen: der systolische Wert, der mittlere und minimale Wert der Diastole in der Arteria carotis communis. Außerdem wurden folgende Verhältnisse berechnet: der Wert der Systole in der Arteria carotis communis im Vergleich zu dem in der Arteria brachialis (Sc/Sb Index), der Wert der Systole in der Arteria carotis communis im Vergleich zu dem durchschnittlichen diastolischen Wert (Sc/Dc Index), und der durchschnittliche diastolische Wert im Vergleich zum minimalen diastolischen Wert (DI/DII Index).

Zur Feststellung normaler Werte wurde bei 140 Probepersonen eine Amplituden-Altersgraphik aus den obenerwähnten Parametern und Verhältnissen hergestellt.

Mol betrachtet eine Asymmetrie des HTG um mehr als 30% als pathologisch. Es stellt sich heraus, dass dieses mit mehr als das Doppelte der gefundenen Standardabweichungen übereinstimmt. Einige bei pathologischen Prozessen gesammelten Befunde sollten in diesem Zusammenhang erwähnt werden. Findet man oben im Hals eine beträchtliche Blutströmung in der Arteria carotis interna und externa mit gegengesetzter Richtung, so ist dies eine Anweisung für einen Verschluss proximal von der Bifurkation — mit guter Durchgänglichkeit dieser letzteren. Bei einem partiellen Communisverschluss proximal von der Messungslokation tut sich eine Senkung der systolischen (und der diastolischen) Geschwindigkeit und eine Verlängerung der Gipfelzeit der systolischen Welle vor. Bei einer Anonymastenose bestehen ausser den obenerwähnten Abweichungen eine Senkung der systolischen Geschwindigkeit in der rechten Arteria brachialis, eine Verlängerung der Gipfelzeit an der rechten Seite und ein verzögertes Eintreffen der Geschwindigkeitspulsation rechts. Für einen doppelseitigen Prozess an den Karotiden spricht eine beiderseitige Amplitudenabnahme eines Karotis-HTG bei einem normalen Brachialis-HTG. Schliesslich verursachen Tumore manchmal eine Senkung der Stromgeschwindigkeit in der homolateralen Arteria carotis.

Hämatotachographische Untersuchungen bei 96 angiographisch kontrollierten Patienten ergeben die folgenden Resultate. Fünfzehn Patienten litten bestimmt nicht an ischämischen zerebrovaskulären Störungen. Es gab 3 falsch negative Ergebnisse (3,1%) und 2mal wurde

eine kontralaterale Stenose festgestellt, auf welche vorher kein Verdacht gefallen war. Es gab 2 falsch positive Ergebnisse (2,1%) bei Patienten bei denen nicht nur eine Karotisangiographie, sondern auch eine Aortenbogenangiographie durchgeführt worden war, und 5 möglicherweise falsch positive Ergebnisse (5,2%) bei Patienten bei denen nur ein Karotangiogramm (4) oder nur ein Aortenbogenangiogramm (1) gemacht wurde.

Eine sehr kritische Verhandlung über die Doppler-Strömungsmessung war 1974 von Busse c.s. veröffentlicht worden. Bei 2 Hunden wurden die Doppler-Ergebnisse mit der elektromagnetischen Strömungsmessung verglichen. Weiter wurden 8 gesunde Personen untersucht und 40 Patienten. Von diesen letzteren standen angiographische Kontrolldaten bei 20 zur Verfügung und davon gab es 9 mit einem unilateralen Verschluss oder einem stenosierenden Prozess an der Karotiden. Beurteilt wurden die folgenden Kriterien: an der Arteria carotis communis die maximale systolische Amplitude (Hs), das Verhältnis zwischen systolischer und diastolischer Amplitude (Hs/Hd), das Verhältnis der Oberfläche des pulsierenden Teiles der Strömung im Vergleich zu der Summe des pulsierenden und nicht-pulsierenden Teiles ($F_p/F_p + F_d$), und an der Arteria frontalis medialis die maximale systolische Amplitude und das Ergebnis einer Kompression der Arteria temporalis superficialis.

Keines der untersuchten Kriterien wies eindeutig auf die An- oder Abwesenheit einer Karotiststenose hin!

3. Untersuchung der Druckpulsationen

a. An der Karotis — Karotissphygmographie

Die Veröffentlichungen von Routier und Leuridan (1969) und Meijer — Heine c.s. (1972) sind besonders bedeutungsvoll wegen der Beschreibung von Beurteilungskriterien der Kurven. Unterschieden werden in der erstgenannten Veröffentlichung die Q-Oszillationszeit (temps de mise en tension), die Inzisurzeit (temps d'expulsion) und die Zeit in welcher 50% der Amplitude erreicht wird (demi-temps d'ascension systolique).

Die folgenden Einzelheiten aus der zweiten Veröffentlichung erscheinen wichtig: Messung der Zeit in welcher der Steigungswinkel konstant ist (montée systolique de pente uniforme), Dauer der dikroten Welle — folgend nach der Inzisur und das Quotient der Summe von Maximalamplitude plus Amplitude der dikroten Welle und ihre Differenz (indice des résistances périphériques). Der letzterwähnte Wert ist bei normalen Personen meistens < 10 , jedoch immer < 15 .

Uesu (1973) studierte die folgenden Werte der Karotispulskurve bei 22 Patienten mit häodynamisch signifikanten ($> 50\%$) Karotisverschlüssen, 21 Patienten mit Arteriosklerose und 18 Kontrollpersonen.

Diese Sphygmogramme wurden halbwegs zwischen der Mandibula und der Klavikula aufgenommen — also fast immer stromaufwärts von der Stenose.

Festgestellt wurden die Q-Oszillationszeit und die S2-Inzisurzeit, wie auch die 'percussion wave time' (a = Anfang der Oszillation bis zur anakroten Schulter), 'tidal wave time' (b = Anfang der Oszillation bis zum Maximum der Kurve) und 'incisural time' (c = Anfang der Oszillation bis zur Inzisur). Alle diese Zeitwerte wurden für die Herzfrequenz korrigiert indem sie geteilt wurden durch den Wurzel des R-R Intervalls des EKG. Außerdem wurden festgestellt die Quotienten von percussion wave time — incisural time (a/c), Maximum der Kurve — Amplitude nach percussion wave time (B/A), wie auch Amplitude nach incisural time — Amplitude nach percussion wave time (C/A).

Wichtig ist dabei dass nach der percussion wave time der Flow in der Aorta maximal ist.

Bekannt war bereits dass mit zunehmendem Alter, mit Arteriosklerose und Hypertonie die Q-Oszillationszeit und die S2-Inzisurzeit infolge der verringerten Elastizität der Arterien verkürzt sind und die Verhältnisse B/A und C/A der verringerten Elastizität der Arterienwand zufolge zugenommen haben. Bei der beschriebenen Untersuchung wurden dieselben Befunde gemacht. Dazu stellte es sich heraus dass a und a/c besonders von der Nähe des Karotisverschlusses beeinflusst werden und deswegen wahrscheinlich mit der lokalen peripheren Widerstand zusammenhängen. Bei bilateralen Karotisverschlüssen war die percussion wave time nicht nur absolut sondern auch proportional zur Inzisurzeit verkürzt. Eine percussion wave time $< 0,055$ Sek. kann auf einen bilateralen Verschlussprozess an den Karotiden deuten. Bei unilateralen Verschlüssen war die percussion wave time jedoch nicht mehr verkürzt als bei einer sklerotischen nichtverschlossenen Arterie. An der heterolateralen Seite wurde jedoch eine bemerkenswerte Verlängerung davon festgestellt — möglicherweise im Zusammenhang mit einer kompensatorischen Zunahme des Blutstroms an dieser Seite. Die obenerwähnten Befunde haben statistische Gültigkeit — die separaten Werte überschneiden sich aber derartig, dass die Messungen noch nicht klinisch verwendbar sind.

b. Am Auge

I. Die suction-cup Methode

Bei dieser Methode wird der intraokuläre Druck nach dem Kukanschen Prinzip vergrössert indem auf den temporalen Teil der Sklera eine Säugung ausgeübt wird. Proportional zu der Zunahme dieser Säugung nimmt auch der intraokuläre Druck zu und bei der Papille können die Kriterien des diastolischen und systolischen Ophthalmicablutdrucks auf dieselbe Weise sichtbar gemacht werden als bei der Kompressionsophthalmodynamometrie: der diastolische Wert bei dem ersten vollständigen Kollaps, der systolische Wert beim völligen Verschwinden der Pulsationen. Best, Galin und Mitarbeiter haben die Suktionsophthalmodynamometrie gründlich untersucht, ausführliche experimentelle Studien ausgeführt bei Kaninchen und schliesslich die Ergebnisse der Untersuchung der okulären Pulsationen bei Patienten mit verschliessenden Prozessen an den Karotiden, welche mit dem Komputer analysiert waren, bekanntgegeben (Best c.s. 1969, Best und Galin c.s. 1971, 1971, Best 1971, Galin und Best 1972, Best und Rogers 1974). Da unsere Methode der graphischen Analyse der ODG-Pulsationen zum Teil auf der Arbeit dieser Autoren basiert ist, werden wir diese Ergebnisse ausführlicher behandeln. Bei der **Suktions-ODM** wird die Friedman negative pressure-Linse benutzt. Diese besteht aus einem auf den temporalen Teil der Sklera anzubringenden suction-cup und eine Funduslinse nach Goldmann, welche es ermöglicht mit einer Spaltlampe den Fundus zu beobachten.

Die Ergebnisse der Untersuchung bei 30 normalen Probepersonen lauteten wie folgt.

Das durchschnittliche Verhältnis zwischen Ophthalmica und Brachialisblutdruck war diastolisch 0.66, systolisch 0.61. Der durchschnittliche links-rechts Unterschied war systolisch und diastolisch 3,6%. Es gab nur einen diastolischen Unterschied von 13% und einen systolischen Unterschied von 12%. Bei den 3 Patienten mit einseitigen Karotisverschlussprozessen war der kleinste links-rechts Unterschied diastolisch 23%, systolisch 20%.

Bei einer folgenden Stufe wurden eine Suktions-ODM und **Registrierung der okulären Pulsationen** durchgeführt bei Kaninchen mit und ohne Verschluss einer einzigen Arteria carotis communis. Es stellte sich heraus dass die Amplitude der Pulsationen vom intraokulären Druck abhängig war (maximal bei etwa 45 mm Hg), und dass der links-rechts Unterschied dabei für intraokuläre Druckwerte zwischen 26 und 70 mm Hg maximal 10% betrug. Die

Amplitude der okulären Pulsationen war maximal bei ungefähr die Hälfte des diastolischen Wertes. Außerdem war die durchschnittliche links-rechts Differenz zwischen den diastolischen und den systolischen Druckwerten kleiner als 6-7%.

Gleich nach Unterbindung und Durchtrennung der Arteria carotis communis waren die Druckwerte und die Amplitude der Pulsationen im Vergleich zu der anderen Seite signifikant verringert (diastolisch 19%, systolisch 22%, Amplitude 60%). Nach sechs Wochen waren die Druckwerte nicht mehr signifikant gesenkt, die Amplitude jedoch noch immer (diastolisch 12%, systolisch 12%, Amplitude 33%). Die Schlussfolgerung lautete, dass die Registrierung der okulären Pulsationen mit grösserer Signifikanz eine Karotisobstruktion bei Kaninchen zu zeigen vermag als eine (Suktions-) ODM.

Bei der **Graphischen Analyse** wurden ausser der Amplitude, der anakroten Winkel, der erste und zweite katakroten Winkel (bzw. zwischen dem Gipfel der Kurve und der Inzisur und von der Inzisur bis zum Fuss der Kurve), nebst dem Zeitverlauf von der R-Zacke des EKG bis zum Anfang der Oszillation, die crest time (vom Anfang zu dem Gipfel der Oszillation), die incisural time (vom Anfang zur Inzisur) und schliesslich die sämtliche Dauer der Oszillation festgestellt. Die Oszillationen wurden erzeugt mit einem negativen Druck der mit 40 cm physiologischer Salzlösung übereinstimmt. Es gab keinen Unterschied zwischen den Oszillationen links und rechts, ausser der Zeitdifferenz von durchschnittlich 0,014 Sek. zum Nachteil der linken Seite. Wiederum bei Kaninchen wurde untersucht welche Auswirkung verschiedene Masse eines unilateralen Verschlusses (100-80-70-55%) auf die obenerwähnten Parameter hatten. Dabei basierte man sich nicht auf den absoluten Werten sondern auf dem Verhältnis zwischen der wohl und der nicht-operierten Seite. Da die crest time und die incisural time sich als abhängig von der Herzfrequenz erwiesen, wurde davon der Prozentsatz der Zyklusdauer berechnet und verglichen. Es stellte sich heraus dass gleich nach dem Verschluss oder der Stenose die Amplitude, der anakroten Winkel und der erste katakroten Winkel signifikant gesenkt waren. Es blieben Unterschiede bemerkbar bei den vier Massen des Verschlusses. Bei völligem Verschluss verschwand die Inzisur und zeigte sich eine Verlängerung der crest time. Die Senkung der Amplitude war direkt abhängig von dem Mass des Verschlusses. Nicht nur die anakroten sondern auch die katakroten Winkel wurden kleiner wobei der erste katakroten Winkel bei höheren Verschlussmassen stärker veränderte. Die Wiederherstellung der Neigung des anakroten Winkels erfolgte schneller als die der Amplitude. Der Zeitraum ehe die Amplitude sich wieder hergestellt hatte war wieder abhängig vom Masse des Verschlusses — forderte bei einem völligen Verschluss fünf Monate.

Die Werte, bei der graphischen Analyse festgestellt, sind wesentlich dieselben als die bei der Oszillographie der Extremitäten und bei der Karotissphygmographie. Eine Analyse der okulären Pulsationen war bis dann auf diese Weise noch nicht gemacht worden.

Die obenbeschriebenen Veränderungen der okulären Pulsform gewinnen an Wert durch Korrelation mit der **Flow-Messung** in der Arteria carotis mittels eines elektromagnetischen Flowmessers. Auch dies wurde mittels Tierproben bei Kaninchen untersucht. Dabei wurde bei einigen Experimenten auch der Druck in der Arteria carotis und in der zentralen Ohrarterie blutig gemessen. Bei der Registrierung stellte es sich heraus dass der Gipfel und die Inzisur der okulären Pulskurve in Phase waren mit dem systolischen bzw. diastolischen Maximum des Flow. Wenn der Blutstrom sich um 25% gesenkt hat, fängt die Inzisur an sich zu ändern und tritt eine leichte Verzögerung des Gipfels auf. Eine Abrundung des Umrisses der Pulscurve zeigt sich bei einer Verringerung der Flow um 50 bis 60%. Bei völligem Verschluss der Arteria carotis communis sind die anakroten und katakroten Winkel bedeutend geringer, ist

die Inzisur verschwunden, die crest time verlängert und der Gipfel der Kurve abgerundet oder mit multipelen Gipfeln versehen. Zunehmende Verringerung der Strömung in der Arteria carotis ruft eine Amplitudenverringerung hervor bis ein Minimum von etwa 40% erreicht ist. Ein Verschluss der heterolateralen Karotis bewirkt eine weitere Senkung um 13%. Bei der Messung des Drucks in der zentralen Ohrarterie stellt es sich heraus, dass leichtere Masse einer Stenose der Arteria carotis eine grössere Auswirkung auf die Amplitude der okulären Pulsationen als auf den Druck in der genannten Arterie haben. Eine Amplitudensenkung um 25% korreliert z.B. mit einer Drucksenkung um 10%.

Ausserdem stellt es sich heraus dass eine Stenose den Flow in der Arteria carotis ungefähr 2mal soviel herabsetzt als den Druck in der zentralen Ohrarterie. Aufgrund der empirischen Feststellung, dass bei Stenosierung der Arteria carotis die Drucksenkung proportionell in allen ihren Zweigen ungefähr dieselbe ist (Bakay und Sweet 1952), so erfolgt daraus dass die Analyse der okulären Pulsationen möglicherweise empfindlicher ist für das Erwischen leichterer Masse der Stenosierung als Blutdruckmessungen in Ästen der Arteria carotis (wie z.B. Ophthalmodynamometrie).

Bei der Untersuchung der Patienten (6 mit unilateralen Stenosen von >50%, 2 mit bilateralen Abweichungen und 14 Kontrollen) war der graphischen Analyse noch eine Berechnung der Oberfläche der okulären Oszillationen hinzugefügt. Zur Erzeugung davon wurde ein negativer Druck von 60 cm Wasser (44 mm Hg) auf das Auge ausgeübt. Mittels eines Computers wurde der mittlere Wert von 25 Pulsen berechnet, abgedruckt und analysiert. Über die Ergebnisse der Untersuchung der Amplitude und der Oberfläche der Pulsationen wird Bericht erstattet. Bei den Patienten mit unilateralen Obstruktionen gab es durchschnittlich eine signifikante Differenz zwischen der erkrankten und der gesunden Seite: die Amplitude differierte 37,6% und die Oberfläche 40,9%. Die Untersuchung der okulären Pulsationen versprach ein normales Angiogramm bei 14 der 14 Kontrollen und bei 1 Patienten mit einer Karotisstenose. Ein abnormales Angiogramm wurde erwartet bei den 7 anderen Patienten mit Karotisstörungen. Der Gedanke liegt nahe dass eine Ergänzung der Analyse mit anderen Parametern die Zuverlässigkeit der Methode noch vergrössern wird. Zuerst wurde jedoch das Komputerprogramm mit einer **Fourier-Analyse** der okulären Pulsationen ausgebrettet. Bei Kaninchen wurde die Auswirkung verschiedener Prozentsätze einer Stenose an der Arteria carotis communis auf die Parameter der graphischen Analyse und die Fourier-Komponenten erforscht. Es stellte sich heraus dass eine Stenose von 50% eine signifikante Verringerung der Amplitude und der Oberfläche der Pulsationen verursachte. Bei der Fourier-Analyse jedoch zeigte die erste harmonische bereits eine signifikante Amplitudensenkung bei einer Stenose von 20%.

Die Inzisur war bei einer Stenose von 20% mehr oder weniger deutlich zu erkennen. Bei einer Stenose von 50% war der katakrote Winkel verringert, bei einer Stenose von 70% oder mehr war auch der anakrote Winkel signifikant verkleinert. Die Schlussfolgerung lautet, dass mittels der Fourier-Analyse bereits eine Stenose von 20% erwischt werden kann. Mit der graphischen Analyse sind Stenosen von 50% nachweisbar und es ist bekannt, dass Druck und Strom in der Arteria carotis bei Stenosen < 50% keine Veränderung zeigen. Es ist jedoch fraglich ob die hier beschriebene Veränderung in der Form der Pulswelle sich auch (auf dieselbe Weise) bei einer von atheromatöser Degeneration der Gefässwand verursachten Stenose manifestieren wird. Diese Degeneration ist physisch zu unterscheiden von einer mittels einer Klemme hervorgerufenen Stenose.

Früher, im Jahre 1970, hat Patterson über eine Untersuchung von 25 Patienten ohne und 31 mit verschliessenden Prozessen an den Karotiden berichtet. Die Oszillationen wurden dabei

erzeugt mittels einer Sektion von 40 cm Wasser (29,5 mm Hg) und laut der Bemerkung dass die Inzisur fehlte, war die Registrierung noch kaum als ideal zu betrachten. Die ersten Ergebnisse waren nicht ermutigend. Die durchschnittliche links-rechts Differenz der Amplitude war 8%, maximal 16%. Bei den 19 unilateralen Totalverschlüssen wurden eine durchschnittliche Amplitudensenkung festgestellt von 38%, bei 3 Patienten war die Differenz jedoch < 16%. Die durchschnittliche Amplitudensenkung bei den 12 Patienten mit einer Stenose > 50% war 21%, aber nur bei 5 Patienten war die Reduktion > 16%. Als screening method wurde die sogenannte Oculosphygmographie als untauglich betrachtet.

Wichtig erscheinen jedoch die Befunde der Endarterektomie und der Karotisligatur.

Nach Endarterektomie wurde 6mal eine Amplitudensteigerung wahrgenommen an der homolateralen Seite, aber in zwei dieser Fälle eine noch grössere an der heterolateralen Seite. Auch eine unilaterale Endarterektomie bei einem bilateralen Verschlussprozess verursachte häufig eine Zunahme der Pulsationen an der anderen Seite.

Bei 7 Patienten wurde die Arteria carotis abgeschlossen mittels einer Crutchfield-Klemme. Vier dieser Patienten vertrugen diese Behandlung gut und bei diesen war die Amplitude durchschnittlich um 28% herabgesetzt, 3 erlitten eine Hemiplegie und zeigten eine durchschnittliche Amplitudenverringerung um 75%.

Möglicherweise kann man also anhand der okulären Pulsationen die Reaktion auf einen therapeutischen Karotisverschluss voraussagen. Dieser Autor meint dass die chorioidalen Gefässen beim Entstehen der Pulsationen eine wichtigere Rolle spielen können als die retinalen Gefässen, da die Chorioidea nach der Meinung von Chao und Bettman (1957) 37mal soviel Blut enthält als die Retina. Dies könnte richtig sein wenn der hier angewendete Unterdruck einen intraokulären Druck hervorruft, der sich befindet in der Marge zwischen der diastolischen und der systolischen Druckhöhe in den chorioidalen Gefässen. Zur Begriffsbestimmung sei erwähnt, dass aus dem Studium von Best c.s. (1969) hervorgeht, dass ein Unterdruck von etwa 30 mm Hg einen intraokulären Druck erzeugt von 10 bis 40 mm Hg (bei Ausgangswerten von 8-23 mm Hg). Was auch davon sei, auch die chorioidalen Gefässen gehören zum Versorgungsgebiet der Arteria ophthalmica und geben in dieser Qualität eine Abspiegelung der Lage in der Arteria carotis interna.

Unter der Benennung '**ocular pneumo-plethysmography**' wurde von Gee c.s. (1974) eine Technik eingeführt wobei der Unterdruck pneumatisch erzeugt wird. Ein Vakuum von —300 mm Hg wurde dabei in 25 Sek. allmählich bis 0 reduziert und dabei wurden die im Auge entstehenden Oszillationen registriert. Die Apparatur ist für bilaterale Simultanuntersuchungen geeignet. Es war die Absicht dieser Untersucher einen Eindruck des Kollateralkreislaufs zu der von einer Karotistenose bedrohten Hemisphäre zu bekommen. Ein Mass dafür ist der back-pressure in der Arteria carotis interna. Bei 36 Patienten wurde durante operatione dieser back-pressure gemessen wie auch der dazu gehörende Sektions-bzw. Vakuumwert. Die so festgestellten (systolischen) Werte wurden korreliert und dies bot die Möglichkeit anhand eines bei Kompression der Arteria carotis communis festgestellten Vakuumwertes den zu erwartenden back-pressure abzulesen. Das Ergebnis dieser Proben dürfte u.E. jedoch nicht als identisch mit der unbeeinflussten Lage betrachtet werden, da bei Kompression der Arteria carotis communis und bei Messung des back-pressure das Kollateralsystem über die Arteria carotis externa beseitigt wird. Selbstverständlich ist diese Methode auch verwendbar beim Ausfindigmachen von (hämodynamisch signifikanten) Stenosen der Karotiden.

II. Ophthalmic Plethysmography

Bei dieser von Barnes c.s. (1967) beschriebenen Methode werden okuläre Pulsationen er-

zeugt durch leichte Kompression (20 mm Hg) des Auges durch Luft mittels von diesen Autoren entwickelten Augenkapseln. Gleichzeitig mit den Oszillationen von links und rechts werden das Karotissphygmogramm beiderseits, das EKG und die Respiration registriert. Bei einem Patienten mit einem rechtsseitigen Verschluss der Arteria carotis interna wurde eine Kurve mit rechts einer niedrigeren Amplitude und einem kleineren Steigungswinkel gefunden.

III. Methoden zur Untersuchung des 'corneal indentation pulse'

Die hier zu behandelnden Methoden haben gemein, dass die bei intraokulärer Druckmessung (Tonometrie) erzeugten Pulsationen registriert (Tonographie) und studiert werden.

Selbstverständlich legt man sich dabei die Frage vor, welche Auswirkung ein Verschlussprozess an der Arteria carotis auf den intraokulären Druck haben wird.

Bietti und Neuschüler (1968) haben dieses Problem untersucht bei 61 Patienten mit zerebrovaskulären Insuffizienzen und Verschlussprozessen an den Karotiden, wovon 12 Thrombosen. Bei 11 dieser 12 Thrombosen wurde eine Senkung des intraokulären Drucks festgestellt (zwischen 3 und 8 mm Hg), gleichzeitig mit einer mittels ODM festgestellten Druckdifferenz in der Arteria ophthalmica. Außerdem gab es 1 Karotisstenose mit identischen Befunden. Bei einem Patienten mit vollständigem Verschluss war jedoch keine Differenz bei ODM und Tonometrie anweisbar. Die Erklärung dieser Hypotonie könnte nach der Meinung der Autoren eine verringerte Produktion des Kammerwassers sein wie auch eine Drucksenkung in dem choroidalen Gefässgebiet.

aa. Ophthalmodynamo-Kardiographie

Castren und Lavikainen (1963) registrierten als erste die Pulsationen eines elektronischen Tonometers nach Müller, gleichzeitig mit dem EKG. Ihres Erachtens sind es besonders die Pulsationen der Chorioidea welche auf diese Weise sichtbar gemacht werden. Dies konnte später von Bynke und Schéle (1967) bestätigt werden. Die veröffentlichten Kurven sind noch lange nicht ideal — bei einem Patienten mit einer frischen links-seitigen Ligatur der Arteria carotis interna war deutlich eine Amplitudensenkung und eine Verzögerung des Gipfels im Vergleich zu dem EKG zu sehen.

bb. Oculosphygmographie

Bynke und Krakau beschrieben 1964 eine Apparatur mittels welcher die Pulsationen der Cornea zu einem piezoelektrischen Kristall geleitet wurden und auf diese Weise in elektrischen Potentialwechselungen verwandelt, graphisch registriert werden konnten.

Das Gesamtgewicht der Apparatur war 20 g — für Tierversuche bei Kaninchen konnte dieses Gewicht bis auf 9 g reduziert werden (Bynke 1968). Bei dieser Untersuchung wurde festgestellt dass unter dem Einfluss dieses Gewichtes der intraokuläre Druck sich allmählich senkt und dies ist korreliert mit einer Verringerung der Pulsationenamplitude. Ein Verschluss der Arteria carotis communis ergab eine grösitere Amplitudenverringerung — diese wurde signifikant bei einer Verringerung des Lumens um 50%. Wenn der Verschluss beseitigt wurde, zeigte sich ein rebound-Phänomen mit einer Vergrösserung der Pulsationenamplitude bis über den Ausgangswert hinaus.

Im klinischen Studium bei 50 Patienten mit Obstruktionen an den Karotiden, teilt Bynke (1968) die folgenden Ergebnisse mit. Eine Untersuchung bei 50 normalen Versuchspersonen, lieferte die folgenden Normalwerte (Bynke 1966): links-rechts Differenzen von 14, 18 oder 22% deuteten mit einer Wahrscheinlichkeit von bzw. $p = 0,05, 0,01$ und $0,001$

darauf hin dass diese noch innerhalb normaler Grenzen bleiben würden.

Bei den Patienten wurde der intraokuläre Druck und die Amplitude der Pulsationen untersucht.

18 Patienten mit einem unilateralen Verschluss der Arteria carotis interna zeigten eine gerade noch signifikante Senkung des intraokulären Drucks um durchschnittlich 1,1 mm Hg. Bei Patienten mit einer Stenose (24) oder mit doppelseitigen Prozessen (8) wurden keine signifikanten Werte festgestellt. Eine mögliche Erklärung dafür könnte nach der Meinung des Autors sein eine verringerte Durchblutung des Corpus ciliare mit einer verringerten Kammerwasserproduktion (Hoyt 1959). Bei den 42 Patienten mit einer unilateralen Stenose oder Thrombose wurde 32mal (76%) eine signifikante Senkung der Amplitude der Pulsationen festgestellt. Der Unterschied war bei den Okklusionen durchschnittlich grösser als bei den Stenosen und diese Tatsache liess sich nicht aus der okulären Hypotension erklären. In dem gegebenen Fall war es jedoch nicht möglich festzustellen ob eine Okklusion oder aber eine Stenose vorlag.

Bei den 8 Patienten mit bilateralen Verschlussprozessen wurde 3mal eine signifikante Amplitudenverringerung festgestellt an der Seite mit der stärksten Obstruktion. Der diagnostische Wert der Methode ist bei bilateralen Anomalien gering. Schliesslich erwies sich die Oculosphygmographie als deutlich wertvoll zur Beurteilung der Auswirkung von Endarterektomie und war keine Beziehung zwischen den bei dieser Untersuchung festgestellten Anomalien und dem neuroophthalmologischen Bild nachweisbar.

Raitta c.s. (1973) hat die **Form der oculosphygmographisch registrierten Oszillationen** und die Beziehungen zwischen diesen und der R-Zacke des EKG (Ableitung V₁) studiert. Bei 45 normalen Versuchspersonen erwies sich die Zeitdauer von der R-Zacke bis zum Anfang der Oszillation — t (R-f) — und bis zu dessen Maximum — t (R-p) — als am meisten konstant wie auch selbstverständlich die Differenz zwischen diesen beiden (crest time). Die letzterwähnte betrug 0,28 Sek. (\pm 0,03 Sek.). Die Amplitude und der Winkel der Steigung und der Senkung zeigten grosse intraindividuelle Unterschiede, die $\text{tg } \alpha \times$ Papiergeschwindigkeit war durchschnittlich 170,9 (\pm 57,1). Umgerechnet bei einer Papiergeschwindigkeit von 2,5 cm/Sek. ergibt dies einen Winkel von 81,6°.

Bei den Patienten mit hämodynamisch signifikanten Obstruktionsprozessen an den zervikalen Arterien wurde häufig eine Verlängerung der obenerwähnten Zeitparameter festgestellt. Es gab jedoch keine Beziehung mit der Lokalisierung des Prozesses, entweder in dem Karotis- oder in dem Vertebralisgebiet. Die Befunde sind streitig mit den Ergebnissen von Galin c.s. (1972), was auf die Technik zurückzuführen sein könnte. Ausserdem geht daraus jedoch hervor dass die Verfeinerung der Formanalyse bei dieser Methode für diagnostische Zwecke nicht verwendbar ist.

cc. Die dynamische Tonometrie

Hørven, Nornes, Tønjum und Mitarbeiter (1971) bedienten sich bei ihrem Studium der Oszillationen eines verbesserten elektronischen Tonometers, wobei nebst dem intraokulären Druck die Pulsationen der Cornea bei jeder Druckhöhe mit grössster Empfindlichkeit registriert werden können. Nach der Grösse der Oszillationen kann die Volumenwechselung des Auges in mm³ umgerechnet werden (ΔV) und mit der Pulsfrequenz multipliziert ergibt dies das Pulsationsvolumen pro Minute: ΔV (mm³/Min.). Eine Amplitudendifferenz von 15% oder mehr wird als pathologisch betrachtet. Der Wert dieser Methode wurde bestimmt anhand der Befunde bei 10 Patienten welche wegen eines Karotisaneurysmas einer graduellen Abklemmung der Arteria carotis interna mittels einer Silverstone-Klemme ausgesetzt werden mussten.

Die Oculosphygmographiebefunde (Bynke 1968) wurden bestätigt. Gleich nach dem Karotis-

verschluss zeigte sich nämlich homolateral eine Senkung des intraokulären Drucks der sich nach wenigen Stunden wiederherstellte. Ausserdem entstand eine significante Senkung der Amplitude der Oszillationen und des ΔV (mm³/Min.). Diese war nach dem völligen Verschluss signifikant auf dem 0,1% Niveau, nach 228 Tagen noch auf dem 5% Niveau.

Bei fortschreitendem Verschluss der Arteria carotis neigten die Oszillationen zur Wiederherstellung der Amplitude — offensichtlich der Entwicklung eines Kollateralkreislaufs zufolge. Bemerkenswerte Befunde waren eine leichte Erhöhung der Herzfrequenz und eine vorübergehende bilaterale Senkung der Amplitude. Die Autoren erwägen die Möglichkeit einer Beeinflussung des zervikalen Sympathicus oder aber des Nervus vagus. Nebst dieser experimentellen Untersuchung wurde die klinische Verwendbarkeit dieser Methode untersucht bei 45 Patienten mit verschiedenen Massen eines Arteria-carotis-interna-Verschlusses — entweder nach Behandlung mit der Silverstone-Klemme oder bei Atherosklerose (Nornes c.s. 1971).

Bei bilateralen Fällen wurde die für die klinischen Symptome verantwortliche Seite mit der anderen Seite verglichen. Als Untersuchungsbatterie dienten die dynamische Tonometrie, die Karotiskompressionstonographie und die Feststellung der Arm-Retinazirkulationszeit mittels Stoppuhr. Auch hier wurde wieder im allgemeinen eine Neigung zur intraokulären Hypotension an der erkrankten Seite festgestellt und hat sich durchschnittlich die Pulsationenamplitude und das ΔPV (mm³/Min) signifikant gesenkt (bei den unilateralen Fällen auf dem 0,1% Niveau, bei den Bilateralen auf dem 5% Niveau). Wie Bynke (1968) stellten auch diese Autoren manchmal eine Erhöhung des intraokulären Drucks an der erkrankten Seite fest. Nebst diesen allgemeinen und statistischen Befunden ist die Treffsicherheit dieser Methode besonders wichtig. Bei den Patienten mit schweren Stenosen oder vollständigen Verschlüssen (27) wurde in sämtlichen Fällen eine Amplitudendifferenz von mehr als 15% festgestellt. Bei einem Patienten zeigte sich keine Senkung, sondern eine Zunahme der Amplitude an der verschlossenen Seite, und eine Angiographie wies einen deutlichen Kollateralkreislauf durch die homolaterale Arteria carotis externa auf. Solche Befunde können auch bei der Ophthalmodynamographie gemacht werden (Brenner, Bettelheim 1966). Die Ergebnisse bei Patienten mit bilateralen Prozessen (12) waren: 8mal eine pathologische Amplitudensenkung und 2mal Amplitudenvergrösserung an der symptomatischen Seite. Bei einem der negativen Fälle war die Arm-Retinazirkulationszeit signifikant verlängert.

Da die meisten der bis jetzt beschriebenen Methoden einen Einfluss auf den intraokulären Druck und auf die Durchblutung im Auge ausüben und ausserdem nur in liegender Position mit vertikaler Augenachse und (deswegen) nur bei kooperativen Patienten verwendbar sind, wurde ein pneumatischer Tonometer entwickelt (Tønjum, 1971, 1972).

Anhand experimenteller Untersuchungen bei Kaninchen, Hunden und Menschen wurde glaubwürdig gemacht, dass die Messung des intraokulären Drucks mittels dieser Apparatur denselben Druck nur wenig steigert und dass die gemessenen Druckoszillationen ($2,9 \pm 0,9$ mm Hg) nicht viel von der tatsächlichen Druckoszillation im Auge abweichen.

Die Perspektive einer Verwendung dieser Methode erscheinen also günstig.

c. An der Arteria supraorbitalis

Wyatt c.s. beschrieb 1973 eine Apparatur mit der die Arteria supraorbitalis (einer der Äste der Arteria ophthalmica) gegen den Stirn allmählich komprimiert werden kann. Eingebaut ist ein Doppler-flow-Detektor und das gerade Verschwinden, bzw. bei abnehmender Kompression

gerade wieder Eintreten der Strömung in der Arteria ergibt den systolischen Druck in dieser Arterie. Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen links und rechts. Der Unterschied zwischen den Werten in liegender und sitzender Position war durchschnittlich 17 mm Hg, was mit 23 cm H₂O übereinstimmt — eine Differenz welche auf hydrostatischen Gründen zu erwarten war. Es stellte sich heraus dass der systolische Supraorbitalisblutdruck bei normalen Versuchspersonen 53% des systolischen Brachialisblutdrucks entsprach; bei Patienten mit einer Hypertonie 66% und bei Patienten mit Arteriosklerose, jedoch ohne ernste Hypertonie 29%. Auch aus der Ophthalmodynamometrie ist bekannt dass die Ophthalmicawerte bei Hypertonie relativ höher sind — siehe Kapitel ODM.

Über die günstigen Ergebnisse der Untersuchung bei Patienten mit Anomalien an den Karotiden hatten die Autoren eine Veröffentlichung in Vorbereitung.

4. Untersuchung der Volumenpulsationen

a. An der Karotis im Hals

Planiol c.s. (1972) hat die Wandpulsationen der Arteria carotis communis sichtbar gemacht durch Registrierung der mittels der B-scan Echotechnik erzeugten Bilder als Funktion der Zeit.

Die maximale Distension während der Systole ist bei jungen Erwachsenen 30-40%. Bei Arteriosklerose ist sie niedriger. Diese Methode ist jedoch noch nicht routinemässig verwendbar.

b. Am Karotissiphon

Freund c.s. (1971) hat die Wandbewegungen des Karotissiphons sehr schön registrieren können. Die Form der abgebildeten Oszillationen und die der ODG-Pulsationen von jugendlichen gesunden Versuchspersonen mit konstanter Kompression auf dem diastolischen Druckniveau (siehe Kapitel ODG) sind nahezu identisch. Bei 17 der 23 Patienten mit Karotisverschlüssen (74%) waren diese Pulsationen nicht oder nur noch abortiv vorhanden.

Kvist Kristensen c.s. (1971) benachdrückt dass auch Arteriosklerose die Wandpulsationen des Karotissiphons herabsetzen kann.

c. Des Gehirns

Bereits Leksell (1955) bemerkte dass bei der Echoencephalographie mit dem Herzschlag synchrone Pulsationen der Reflexionen wahrgenommen werden können. Diese Pulsationen zeigen sich in vertikaler und horizontaler Richtung.

Die Aufmerksamkeit hat sich in erster Linie auf die vertikalen Pulsationen gerichtet und es stellte sich heraus dass bei einem doppelten mid-line Echo diese oft eine 180° Phasendifferenz aufwiesen. Amplitudenwechseln müssen mit der Quantität reflektierter Energie zusammenhängen — de Vlieger und Ridder (1959) und ter Braak und de Vlieger (1965) machten plausibel dass dies mit Veränderungen der Krümmung der reflektierenden Oberflächen zusammenhängen könnte. Damit wäre also auch die Phasendifferenz des doppelten mid-line Echos erklärt.

Dies bedeutet ausserdem dass die genannten vertikalen Pulsationen des mid-Echos, jedoch auch die des Echos der Ventrikelwände mit den Volumenpulsationen des Gehirns zusammenhängen.

Später hat man sich auf die horizontalen Pulsationen konzentriert. Diese sind jedoch geringerer Grösse (0,1 - 0,2 mm) und erfordern besondere Techniken zur Registrierung und Analysierung (de Vlieger c.s. 1968, Meijer c.s. 1971). Eine Methode der Registration mit Hilfe eines counter-timers wurde neulich entwickelt (de Vlieger c.s. 1974). Bis jetzt wurde vor allem versucht ausfindig zu machen ob eine Erhöhung des intrakraniellen Druckes einen oder mehrere Parameter der Echopulsationen beeinflusst oder aber die Latenz im Vergleich mit der R-Zacke des EKG. Ausserdem wurden sie studiert bei arteriovenösen Aneurysmen (de Vlieger 1968), unregelmässiger Herzaktivität (de Vlieger c.s. 1971), Vena cava superior Syndrom (de Vlieger und Krull 1968) und paroxysmalen EEG-Anomalien (Fernandez c.s. 1971, de Vlieger und van Parijs 1972).

Dennoch dürfte eine Formanalyse der horizontalen mid-line Pulsationen bei Patienten mit extrazerebralen obstruierenden Prozessen an den Karotiden sinnvoll sein. Ein Vergleich der vertikal in Gegenphase pulsierenden Echos würde dann gleichzeitig einen links-rechts Vergleich enthalten. Insofern bekannt, werden in einer derartigen Richtung noch keine Untersuchungen durchgeführt.

C. Verschiedenes

1. Registrierung von Geräuschen an den Karotiden

Auskultation des Halses gehört heute zu den Routineuntersuchungen von all denjenigen die mit möglich an obstruierenden Prozessen in den Karotiden leidenden Patienten zu tun haben. Eine erhebliche Schwierigkeit dabei ist das Fehlen einer Registrierungsmethode zur sorgfältigen Analyse der Dauer und Frequenz der Geräusche und zur deren Vergleichung bei Wiederholung der Untersuchung. Diese Schwierigkeiten wurden beseitigt von Kartchner und McRae (1969), welche Apparatur entwickelten zur photographischen Wiedergabe der auf dem Oszilloskop sichtbar gemachten Gefässgeräusche.

Die Untersuchung wurde (zur Vermeidung venöser Geräusche) durchgeführt bei liegenden Patienten und zwar an 3 Stellen: niedrig im Hals, in der Nähe der Bifurkation, und so hoch wie möglich auf den Karotispulsationen. Selbstverständlich muss der Patient während der Untersuchung den Atem anhalten. Es tun sich auch bei normalen Versuchspersonen Geräusche vor. Dies ist aber besonders der Fall vor dem 35. Lebensjahr und die Kombination mit zerebrovaskulärer Insuffizienz und fortgeschrittenem Alter macht diese Fehlerquelle weniger frequent. Obwohl meistens angenommen wird, dass eine Verengung um 50% ein Geräusch verursacht, erzeugen dennoch auch geringere Stenosen leichtere Veränderungen, welche optisch wahrgenommen werden können. Unter normalen Umständen können die beiden Herzöte erkannt werden. Sollten sich am niedrigsten Punkt im Hals Geräusche vorfinden, so werden diese vom Herzen aus oder proximal aus der Nähe des Arcus aortae weitergeleitet. Das Fehlen des ersten Tones zur Stelle des höchsten Punktes im Hals spricht für einen völligen Verschluss der Arteria carotis interna. Eine Stenose um etwa 90% verursacht ein Geräusch mit Zunahme der hochfrequenten Komponente während der ganzen Systole, bei einer leichteren Stenose beschränkt sich das Geräusch auf dem Anfang der Systole. Beiweilen streckt es sich bis in die Diastole aus. Dies könnte deuten auf einen erheblichen Druckgradient über die Stenose. Selbstverständlich kann das ganze Bild maskiert werden von beikommenden Stenosen oder von der kompensierenden Zunahme des Blutstroms in der Arteria carotis externa. Für die Praxis wird die Phonoangiographie kombiniert mit der Oculoplethysmographie und eine ausführliche Übersicht der damit erreichten Ergebnisse gab

Kartchner c.s. 1973. An dieser Stelle werden wir nur die Zuverlässigkeit der Geräuscheregistration behandeln. Die Anzahl der falsch positive war 18 auf 260 (7%), die Anzahl der falsch negative 31 auf 100 (31%). Bei den falsch negativen handelte es sich meistens um Totalverschlüsse (14) und Stenosen > 80% (4). Mittels Phonoangiographie wurden 16 Totalverschlüsse der Karotiden diagnostiziert, welche bei normaler Auskultation negativ befunden worden waren. Dies deutet darauf hin, dass ein Geräusch mit hohem Masse der Wahrscheinlichkeit eine Karotistenose indiziert; bei einem negativen Ergebnis ist eine Okklusion oder eine ernste Stenose bestimmt nicht ausgeschlossen. Dafür ist jedoch die Oculoplethysmographie ein gutes Komplement, wie später noch zur Sprache kommen wird.

Im Jahre 1973 wurde ein Studium der Korrelation der Geräusche im Hals und der arteriosklerotischen Anomalien der Karotiden bei einem grossen Patientenmaterial von David c.s. veröffentlicht. Die An- oder Abwesenheit eines Geräusches wurde durch Auskultation festgestellt bei 417 Patienten, welche auch angiographisch untersucht wurden, was Abbildungen von 834 Karotiden zustande gebracht hat.

Bei 28% der angiographisch normalen Karotiden wurde ein Geräusch wahrgenommen. Bei einigen dieser Fälle war die kontralaterale Karotis völlig verschlossen, so dass man an einer kompensierenden Zunahme der Strömung an der gesunden Seite denken könnte. Laut der bereits besprochenen Untersuchung von Nornes (1973) kann diese Strömung um 70% zunehmen. 88% der mehr als 50% stenosierten Arteriae carotides internae und 70% von denen mit einer Stenose < 50% wiesen ein Geräusch auf.

Wenn die Arteria carotis communis verschlossen war wurde kein Geräusch wahrgenommen, dagegen war ein Geräusch anwesend bei 67% der völlig abgeschlossenen Arteriae carotides internae. Das Geräusch wurde dabei häufig von einer stenosierten Arteria carotis externa verursacht. Ein wichtiger Befund war weiter dass bei Patienten mit TIA 75% und bei Patienten ohne Symptome einer Gehirnischämie 65% der Geräusche auf eine Karotistenose deuteten.

2. Karotiskompressionstonographie

Die Registrierung einer Veränderung des intraokulären Drucks durch Kompression der Arteria carotis communis wurde zum ersten Mal von Rodriguez-Barrios und Solis beschrieben (1963 Zitat Solis c.s. 1972). Folgende Veröffentlichungen enthielten kasuistische Mitteilungen (z.B. Galin, Dodick und Best 1967) oder kleine arteriographisch kontrollierte Serien (z.B. Percival und Ridgway 1968). Im Jahre 1972 erschien ein ausführlicher Bericht von Solis, Zylberglajt und Rodriguez-Barrios, in dem sie erklärten bis dann 1500 Karotiskompressionsproben ausgeführt zu haben, ohne dass sich dabei Komplikationen manifestierten. Die Arteria carotis communis wurde komprimiert bis sich der intraokuläre Druck nicht länger senkte — jedoch nie länger als 12 Sek. Das Eintreten einer Bradycardie wurde als eine Indikation zur Einstellung der Kompression betrachtet — dies war nötig in 0,2% der Fälle. Eine Quelle der falschen Interpretation kann sein die Drucksenkung infolge des Karotis-Sinus-Reflexes, welche bilateral eintritt, an beiden Seiten dieselbe ist und nach Dekompression der Arteria carotis nur langsam verschwindet. Eine gewisse Verzögerung der Reaktionen zeigt sich jedoch auch bei Arteriosklerose. Untersucht wurden 35 Patienten mit Verschlussprozessen an den Karotiden und 31 mit vertebrobasilären Lokalisationen. Bei allen war four-vessel-Angiographie durchgeführt worden. Eine Anzahl von 33 auf 35 Patienten (94%) mit Verschlüssen der Arteria carotis interna zeigten Abweichungen: 19mal eine Senkung des intraokulären Drucks bei heterolateraler Kompression, 17mal abnormal starke Herabsetzung des intraokulären Drucks an der gesunden Seite, 15 mal eine verzögerte Wiederherstellung des Drucks nach homolateraler Kompression, 12mal keine Reaktion bei homolateraler Kompression, 11mal eine geringe

Reaktion homolateral, und 5mal einen gesenkten intraokulären Druck.

Bei den 31 Patienten mit vertebrobasilären Störungen wurden 14mal Abweichungen gefunden, 11mal bestehend aus bilateralen Drucksenkungen. Die übrigen 3 waren unilateral.

Nach der Meinung der Autoren deutet dieses Ergebnis darauf hin, dass die Karotiden die wichtigste Rolle spielen bei der Blutversorgung des Circulus arteriosus Willisii und dass derartige Befunde auch bei Stenosen der Arteriae communicantes zu erwarten sind.

Schliesslich darf angenommen werden dass der Mass der Reaktion bei der Kompressionsprobe umgekehrt proportional ist zu dem back-pressure in dieser Arteria carotis.

Pineda (1966) basiert auf einer analogen Argumentation die preoperative Untersuchung von Patienten mit Karotisstenosen. Von ihm wird eine vorsichtige, in Mass und Dauer zunehmende Karotiskompression so niedrig wie möglich im Hals durchgeführt, wobei er den Patienten zählen und mit den Armen die Barré-Probe ausführen lässt und wobei der Patient warnen soll sobald Parästhesien oder Taubheit eintreten. Es erweist sich als möglich auf diese Weise die Toleranz der Karotiskompression bis zu 3 Minuten zu erhöhen mit der Absicht während der Operation keine Anwendung von shunts zu brauchen.

Hørven c.s. (1971) bedient sich bei der Karotiskompressionstonographie eines mehr differenzierten Schemas. Komprimiert wird nur 4-6 Sek. und das Ergebnis wird in 3 Grade eingeteilt: + : (3-4 Schalenteile nach Schiötz), (+) : (weniger als 3 Schalenteile) und — : (keine Reaktion). Ausser dem Ergebnis der homo- und heterolateralen Kompression wird auch die Auswirkung der heterolateralen Dekompression berücksichtigt. Aufgrund davon wird versucht anzugeben was eine bestimmte Kombination von Befunden bedeuten kann für die Arteria carotis communis, die Arteria carotis interna, die Arteria carotis externa wie auch für die Arteria ophthalmica.

Im Zusammenhang mit der hier beschriebenen Methode ist es erwünscht die Gefahr der Komplikationen bei Karotiskompression zu berücksichtigen. Im Jahre 1961 beschrieben Calverly und Millikan 4 Patienten bei denen ein akuter Schlaganfall eintrat gleich nach der Manipulation an der Arteria carotis. Bei einem Patienten wurde Karotiskompression angewendet, bei einem anderen eine Palpation am Hals 6 Monate nach Lymphdrüsensenresektion im Hals, bei einem dritten entstand das Bild während der Operation wegen eines Tumors eines Glomus caroticum und bei dem letzteren während einer Massagebehandlung wegen eines steifen Halses.

Als mögliche pathophysiologische Mechanismen erwähnen die Autoren allgemeine und zerebrale Gefässreflexe und örtliche Traumata mit Thrombose, wie auch Emboliebildung aus einem lokalen Atherom.

Im Jahre 1963 berichteten Nelson und Mahru über eine fatale Komplikation der Karotiskompression.

Janeway behandelte am 6. Konferenz in Princeton über zerebrovaskuläre Erkrankungen die Ergebnisse der Karotiskompressionsprobe unter EEG-Kontrolle. Auf 2800 Tests bei 336 Patienten entstand einmal (0,3%) eine permanente Hemiparese. Da sich dabei retinale Embolien feststellten, ist dieses Ergebnis wohl auf eine Embolie atheromatösen Materials zurückzuführen. Während der Diskussion wozu dieser Vortrag Anlass gab, teilte Gurdjian folgendes mit.

Bei Karotiskompression unter EEG-Kontrolle bei 1500 Patienten zeigte sich 2mal eine vorübergehende Verschlimmerung des neurologischen Bildes, blieb 1 Patient hemiplegisch und starb 3 Monate später (0,2%). Gleichfalls während dieser Diskussion bemerkte Fischer dass ihm 3 Unfälle bekannt waren und dass er deswegen diesen Test nicht mehr empfehlen möchte. Schliesslich stellte Brockenbrough (Wise c.s. 1971) bei von 350 Patienten abgenommenen 3500 Karotiskompressionstonogrammen 2 TIA-Fälle (0,5%) fest.

Zusammenfassend ist also mit fatalen Komplikationen zu rechnen und insgesamt mit einer Komplikationsquote von 0,2 - 0,5%.

3. Thermometrie und Thermographie.

a. Thermometrie.

Diese Methode beruht auf der direkten Messung der Hauttemperatur frontal und periorbital – in von den Endästen der Arteria ophthalmica versorgten Gebieten: Arteria frontalis, Arteriae palpebrales internae und externae und Arteria supraorbitalis. Ein Vorteil im Vergleich mit der Thermographie ist die Tatsache dass die Apparatur beträchtlich weniger teuer ist.

Conrad c.s. (1969) misst diese Temperatur mittels Thermistoren an 4 Stellen: 3 über der Augenbraue und 1 über dem medialen Augenwinkel.

Samson c.s. (1968, 1973) untersucht mittels einer speziell entworfenen Apparatur denselben Gebiet, jedoch beiderseitig und an 31 Stellen. Dennoch kostet dies nur 10 Minuten gegen 20 Minuten beim System nach Conrad c.s. Die Empfindlichkeit des Thermistors ist $0,075^{\circ}\text{C}$, die der letzterwähnten Apparatur $< 0,1^{\circ}\text{C}$. Die Untersuchung findet statt unter standardisierten Umständen, namentlich was die Umgebungstemperatur (20° oder 22°C) betrifft in der der Patient 10-15 Minuten vor dem Anfang der Untersuchung gestellt wird. Conrad c.s. berechnete Normalwerte für die genannten 4 Stellen anhand der bei 6 Probenpersonen gemessenen Werte. Bei allen 14 Patienten mit obstruierenden Erkrankungen des Karotissystems wurden abweichende Thermogramme festgestellt. Die Temperatur in der Orbita war entweder herabgesetzt oder erhöht (bei guter Füllung der Arteria ophthalmica von den Externästen aus) und die Temperatur über dem lateralen Teil der Augenbrauen war, besonders homolateral, jedoch auch schon heterolateral, erhöht, ausgenommen bei Verschlüssen der Arteria carotis communis oder aber der homolateralen Arteria carotis externa. Über eine von Shapiro c.s. (1970) durchgeführte Untersuchung wobei die Thermometrie mit Ophthalmodynamometrie, Auskultation und Palpation der Karotiden kombiniert wurde, werden wir bei den kombinierten Probeaufstellungen nachträglich berichten. In seinem ersten Studium stellt Samson c.s. (1968) fest, dass unter normalen Umständen die Temperaturdifferenz zwischen 2 symmetrischen Stellen $< 0,25^{\circ}\text{C}$ ist. Da das untersuchte Hautgebiet von Endästen der Arteria ophthalmica versorgt wird, betrachten diese Autoren es als empfindlicher für Gefässtörungen als den mittels der Arteria centralis retinae ophthalmodynamometrisch festgestellten Druck im Stamm der Arteria ophthalmica.

Benachdrückt wurde, dass kein Verband zwischen dem Ernst der frontalen Hypothermie und dem Mass des Verschlusses, der Art des Kollateralkreislaufs oder dem Ernst des neurologischen Ausfalles nachweisbar war. Endarterektomie setzt die Hypothermie herab, lässt sie jedoch nicht gleich verschwinden. Es stehen nur noch 12 Fälle der Verschliessungsprozesse an den Karotiden zur Verfügung, deren Ergebnisse jedoch den im Jahre 1973 bei 38 gefundenen Daten entsprechen. Dabei erwies sich 29mal eine Hypothermie in einem dreieckigen Hautgebiet über dem homolateralen Auge, 'la zone supra-orbitale médiane de Wood'.

Oft findet man dort oben lateral ein Gebiet mit gesteigerter Temperatur, 'croissant hyperthermique supéro-externe'.

Zweimal wurde eine Hypothermie des ganzen untersuchten Gebietes festgestellt, nach Unterbindung der Arteria carotis communis entstanden, und zweimal zeigte sich eine Hyperthermie im Dreieck von Wood. Bei diesen zwei Patienten existierte ein Verschluss der Arteria carotis interna, distal vom Ursprung der Arteria ophthalmica.

In einer derartigen Lage ist die Arteria ophthalmica die direkte Fortsetzung der Arteria carotis interna und spiegelt die Hyperthermie die anwesende Hyperämie ab. Eine orbitale Hyper-

thermie wie von Conrad (1969) beschrieben, haben diese Autoren trotz der kollateralen Zirkulation mit retrograder Strömung in der Arteria ophthalmica offensichtlich nicht gefunden.

Die bei der umgekehrten Stromrichtung entstandene Hypothermie erklären die Autoren mittels der Hypothese, dass der Kollateralkreislauf wirkt wie eine arterielle shunt und demzufolge das Hautgebiet ischämisch macht. Alles zusammengenommen gab es also 5 falsch negative Fälle, was eine Treffsicherheit der Methode von 87% bedeutet.

In einer folgenden Veröffentlichung derselben Gruppe (Chomant c.s. 1973) werden 2 Kriterien weiter definiert:

- a) Hypothermie um mehr als $0,3^{\circ}\text{C}$ medial supraorbital an wenigstens 3 Stellen wobei eine Stelle wenigstens $0,5^{\circ}$ aufweisen soll.
- b) supraorbital eine Temperatur-Differenz von lateral zu medial von mehr als 1°C über eine Strecke von 5 cm.

Mit diesen Kriterien erwies es sich als möglich 28 der 31 unilateralen Verschlüssen der Arteria carotis interna (90%), 6 der 9 unilateralen Stenosen (67%), 4 Fälle einer bilateralen Interna-Stenose oder Thrombose, 2 Fälle einer Arteria-carotis-communis-Ligatur und 2 Fälle eines Arteria-carotis-interna-Verschlusses distal vom Abgang der Arteria ophthalmica zu prophezeien.

Es wurden 3 auf 60 (5%) falsch positive Ergebnisse festgestellt.

b. Thermographie.

Die Thermographie oder Infrarotphotographie wurde 1965 von Wood als eine bei extra-kraniellen Gefässobstruktionen zu verwendende Untersuchungsmethode eingeführt. Wie auch bei der Thermometrie ist eine Akklimatisierungsperiode von 20 Minuten erforderlich und soll die Untersuchung bei einer stabilen Temperatur von 21°C stattfinden. Als Diagnosticum gilt die 'cool-patch' auf dem Stirn, und auch eine lokale Temperaturerhöhung, 'bright eye sign', wird als bedeutungsvoll betrachtet.

Lance c.s. (1972) wie auch Capistrant und Gumnit (1973) legen jedoch dem 'luminous-nose sign' keine pathologische Bedeutung bei.

Allgemein wird eine Temperaturdifferenz von $0,7-0,75^{\circ}$ als pathologisch betrachtet. Da der Prozentsatz der richtigen Diagnosen sich als relativ niedrig erwies, wurden zwei Provokationstechniken vorgeschlagen. Die erste ist die mit der Klemme nach Capistrant und Gumnit (1970), mit der die Arteriae temporales superficiales zuerst vor dem Abnehmen des Thermogrammes fünf Minuten abgeklemmt werden. Auf diese Weise wird die Blutversorgung des medialen Teiles der Stirn mehr von der Arteria ophthalmica abhängig gemacht. Es kommt uns vor dass an dieser Methode bestimmt doch erhebliche Beschwerden haften. Erstens kann auf diese Weise eine wirksames kollaterales Gefäss abgeklemmt werden und zweitens erscheint die Gefahr einer traumatischen Thrombose dieser Arteria gar nicht imaginär, was dazu führen könnte, dass eine potenziell anwesende kollaterale Verbindung ausgeschaltet wird. Bei der zweiten Provokation wird die Stirn nach Karpman c.s. (1972) 4 Sek., nach Capistrant und Gumnit (1973) 30 Sek., mit schmelzendem Eis gekühlt. Demnächst wird festgestellt ob die Wiederherstellung der Temperatur symmetrisch verläuft. Zur Vermittlung eines Eindrucks der Zuverlässigkeit dieser Methode, folgen hier die von Capistrant und Gumnit (1973) erreichten Ergebnisse. 95 Patienten wurden mittels bilateraler Karotis- oder 4-vessel Angiographie untersucht. Dabei wurden 16 Thrombosen und 14 signifikante Stenosen ($> 50\%$) gefunden. Die Anwendung der Klemme steigerte die Anzahl der positiven Thermogramme von 75 zu 94% bei Verschlüssen und von 36 zu 71% bei Stenosen. Die Anwendung der Kühlung ergab eine Steigerung zu 93% bei Okklusionen und zu 67% bei

Stenosen. Routine-thermographie bei den 65 Patienten ohne Gefässokklusionen lieferte 5 falsch positive Ergebnisse, Anwendung der Klemme bei 59 Patienten zeigte 5 falsch positive Ergebnisse, wovon zwei dieselben als bei der Routineuntersuchung, und Anwendung der Kühlung ergab bei 61 untersuchten Kontrollpatienten 10 (16%) falsch positive Ergebnisse.

Die kombinierte Anwendung von Routine und Abklemmung ergab 79% der Stenosen und 100% der Okklusionen an bei 12% falsch positiven Ergebnissen. Nach der Meinung der Autoren ist die Thermographie mit Abklemmung vor allem wertvoll bei screening von asymptatischen Fällen mit einer erhöhten Gefahr der Atherosklerose und beim Selektieren von Patienten mit einer 'border-line' Indikation für Arteriographie.

Aus dem St. Elisabeth Krankenhaus in Tilburg wurden aber Trefferquoten von 83% (Aarts 1969) und 80% (Jacobs c.s. 1970) gemeldet.

Diese Befunde stimmen überein mit denen anderer Autoren.

Dort verbleiben die Patienten während 10 Minuten in einem Raum wo eine Temperatur von 18°C. herrscht und wird eine Temperatur-Differenz von 0.5°C. als pathologisch beurteilt.

Schulte c.s. (1975) benachdrückte den Wert der Thermographie für den post-operativen Follow-up.

D. Kombination von Untersuchungsmethoden.

In den letzten Jahren wurden mehrere Vorschläge gemacht zur Aufstellung einer Untersuchungsbatterie zur Erzielung einer höchstmöglichen Treffsicherheit durch Kombinierung von Methoden. In der Tabelle findet man diese in chronologischer Reihenfolge.

1. Shapiro c.s. 1970 Palpation, Auskultation, Thermometrie, ODM.
2. Hørven c.s. 1971 Fluoresceinzeit, Dynamische Tonometrie, Karotiskompressionstonographie.
3. Wise c.s. 1971 Serienszintiphographie, Doppler-flow-Messung, Auskultation, Karotiskompressionsplethysmographie, ODM.
4. Planiol c.s. 1972 Doppler-flow-Messung, Thermographie.
5. Karpman c.s. 1972 Anamnese, Ophthalmoskopie, Auskultation, Thermographie, ODM.
6. Galin c.s. 1972 Fluoresceinzeit, Graphische Analyse des Augenpulses, Karotiskompressionstonographie, ODM (mittels Kompression und Unterdrucks).
7. Kartchner c.s. 1973 Oculoplethysmographie, Phonoangiographie.
8. Keller c.s. 1973 Doppler-flow-Messung, ODG.

Die Methoden wurden in derselben Reihenfolge angeordnet wie sie in diesem Kapitel behandelt werden. Von der Ophthalmodynamometrie (ODM) und der Ophthalmodynamographie (ODG), wie auch von der Kombination dieser beiden, wird im nächsten Kapitel die Rede sein. Einige Autoren (2, 4, 5, und 6) beschränken sich darauf eine gewisse Kombination zu empfehlen, welche methodologisch behandelt wird, andere (1, 3, 7 und 8) liefern außerdem eine Kontrolle der Ergebnisse. Obwohl man annehmen darf dass die in allen Veröffentlichungen behandelten Patienten völlig untersucht worden sind, wobei Palpation und Auskultation des Halses als bedside routine betrachtet werden dürften, nehmen Shapiro c.s. (1970) und Wise c.s. (1971) die dabei erzielten Befunde systematisch in ihren Ergebniskontrollen auf.

Karpman c.s. (1972) beschreibt die Aufstellung eines Potential Stroke Screening Unit (PSU) zur Entdeckung von high-risk Fällen mittels atraumatischer Methoden ehe ein Schlaganfall stattgefunden hat. Dabei wird ausdrücklich auf die Erforderlichkeit einer gerichteten

Anamnese eingegangen, besonders was Hypertonie, Diabetes, Hyperlipämie, Atherosklerose in anderen Teile des Gefäßsystems und Anhaltspunkte für vorübergehende Ischämien anbelangt. Es könnte nützen hier zu bemerken dass diese nicht nur das Gehirn, sondern auch die Retinae betreffen können.

Dieser Autor betont auch die Wichtigkeit der Fundusuntersuchung wobei zwar Arteriosklerose, Hypertonie und Diabetes erwähnt werden, jedoch nicht die retinalen Mikroembolien. Für die Verarbeitung aller gesammelten Daten wird ein Komputersystem als unentbehrlich betrachtet.

Nach diesen einführenden Bemerkungen folgt eine Übersicht der mittels der verschiedenen Kombinationen erzielten Ergebnisse. **Shapiro c.s.** (1970) bedient sich der Thermometrie auf die folgende Weise: Die Temperatur wird beiderseitig an 3 Stellen gemessen, und zwar über dem medialen und dem lateralen Augenwinkel wie auch an der lateralen Seite der Nase. Aufgrund von Messungen bei Kontrollgruppen wurden durchschnittliche Normalwerte mit Standardabweichungen berechnet.

Die bei 23 klinischen Patienten, jedoch ohne neurologische Krankheiten, festgestellten Werte wurden in diesem Studium als Norm gehandhabt. Abweichungen, sowohl nach oben als nach unten, werden als pathologisch betrachtet.

Untersucht wurden 27 Patienten, von denen 25 sich einer Aortenbogenangiographie unterworfen hatten. Bei einem war die Arteria carotis interna unterbunden, bei einem anderen wurde eine Punktionsangiographie der Karotis durchgeführt und konnte die Erkrankung operativ bestätigt werden. Für ein positives ODM-Ergebnis wurde eine links-rechts Differenz von 20% zwischen den diastolischen oder systolischen Werten als signifikant betrachtet. Die Thermometrie war bei 20%, die ODM bei 25% der Patienten falsch negativ. Beide lieferten 8% falsch positive Ergebnisse. Die Thermometrie hatte jedoch nur geringen Erfolg was die richtige Lateralisation anbelangt: nur 38,5%. Die Dynamometrie war hier offensichtlich überlegen: 91%. Palpation war irreführend: 60% falsch positive Ergebnisse und 75% falsch negative. Wenn jedoch eine Differenz festgestellt wurde, geschah dies in 83,4% der Fälle tatsächlich an der richtigen Seite. Auch Auskultation war wenig zuverlässig: 33% falsch positiv und 40% falsch negativ. Eine Erklärung dieser falsch positiven Ergebnisse könnte sein, dass eine kleine Plaque eine Turbulenz erzeugen kann, welche zwar eine Geräusch verursacht, jedoch keine hämodynamische Auswirkung hat. Sowohl die Thermometrie als auch die ODM, nebst der Palpation und der Auskultation, waren erfolgreich in 100% der Fälle. Dasselbe Ergebnis wurde erzielt wenn diese Methoden kombiniert wurden.

Wise c.s. (1971) betrachtet eine Doppler-Untersuchung der Arteria supraorbitalis als positiv wenn das Signal bei Kompression der Arteria temporalis superficialis abnimmt oder verschwindet. Für die Beurteilung des Serienszintigrammes des Halses handhabt dieser Autor das Kriterium einer Differenz in Radioaktivität während der ersten 6 Sek. und für die ODM eine diastolische Differenz von 15% und zwar in Skalenteilen ausgedrückt. Dieser Autor untersuchte 13 Patienten mit obstruierenden Prozessen (> 50%) an den Karotiden, 21 Patienten mit keinen bzw. minimalen Stenosen und einen Patienten mit einer 90% Stenose der Arteria carotis interna, gerade unterhalb des Sinus cavernosus. Von allen wurde ein Aortenbogenangiogramm gemacht, gegebenenfalls ergänzt mit einer Punktionsangiographie der Arteria carotis.

Die Ergebnisse waren: Doppler-Untersuchung 12/13 positiv; Karotiskompressionsplethysmographie 12/13 positiv; Serienszintiphographie 10/13 positiv; Auskultation 8/13 positiv, und ODM 5/9 positiv. Bei 2 Patienten war keine ODM gemacht, bei 2 war das unmöglich.

Bei dem Patienten mit distaler Karotisstenose waren die Doppler-Untersuchung, die Karotis-

kompression und die ODM positiv. Falsch positiv waren 2/21 Doppler-Untersuchungen, 0/21 Karotiskompressionsplethysmographien, 2/21 Serienszintigramme, 4/21 Geräusche und 3/21 ODM.

In dem von **Galin c.s.** (1972) veröffentlichten Aufsatz wurde zwar erwähnt dass die graphische Analyse einmal und die ODM 2mal bei 8 Patienten mit Karotisobstruktionen ein falsch negatives Ergebnis zeigte, jedoch nicht das Ergebnis einer kombinierten Anwendung.

Die Oculoplethysmographie, welche von **Kartchner c.s.** (1973) kombiniert mit Phonoangiographie angewendet wird, stimmt überein mit der suction-cup-Methode. Von den Oszillationen von links und rechts wird ausserdem die Differenzkurve geschrieben. Ausser einer Verringerung der Amplitude (um wenigstens 30%) an der Seite der Erkrankung legt dieser Autor grossen Wert auf eine Verzögerung der Oszillationen. Eine Zeitdifferenz von 0,01 Sek. wird als signifikant betrachtet.

Der Meinung dieses Autors nach, ist die anhand des Arteriogrammes gefundene Stärke der Verengung meistens grösser als der tatsächliche Wert. Deswegen betrachtet er einen Prozentsatz von 40% Stenose als hämodynamisch signifikant — dieser Wert stimmt überein mit einer flow-Senkung um 20%. Zur Beurteilung der Treffsicherheit der beiden Methoden bediente man sich mittels mehrerer Methoden erworbener angiographischer Bilder von 460 Arterien bei 208 Patienten.

Oculoplethysmographie zeigte 24% falsch negative und 3% falsch positive Ergebnisse. Mittels Phonoangiographie wurden 31% falsch negative und 7% falsch positive Ergebnisse eingeholt. Es stellte sich heraus dass die Phonoangiographie besonders nachliess bei totalen oder subtotalen (> 80%) Verschlüssen (18 auf 31) — bei diesen war jedoch die Treffsicherheit der Oculoplethysmographie 100%. Letztere Methode liess insbesondere nach bei bilateralen Verschlüssen: 10 auf 24. Auf diesem Gebiet ist dagegen die Geräuschregistrierung gerade überlegen.

Bei 66 Patienten wurden 69 stenosierende Erkrankungen operiert und dies ermöglichte intraoperative flow-Messung, d.h. vor und nach der Endarterektomie. Untersucht wurde in welchem Mass Angiographie, Oculoplethysmographie und Phonoangiographie dazu geeignet waren eine Blutstromsenkung um 20% zu diagnostizieren. Die Arteriographie zeigte 6% falsch negative und 33% falsch positive Ergebnisse. Bei der Oculoplethysmographie waren diese Prozentsätze 14 und 10 und die Phonoangiographie zeigte 27% falsch negative und 29% falsch positive Ergebnisse.

Diese Autoren sind der Meinung, dass die beiden untersuchten Methoden die Angiographie ergänzen. Namentlich sind sie wertvoll zur Beurteilung der hämodynamischen Bedeutung z.B. eines Kinkings und einer fibromuskulären Dysplasie, zur periodischen Beurteilung asymptomatischer Geräusche und zur Beurteilung der Ergebnisse eines operativen Eingriffs. Angesichts des geringen Prozentsatzes der falsch positiven Fälle ist ein positives Ergebnis ein wichtiges Datum, was Überwägung einer angiographischen Untersuchung erforderlich macht.

Während der Diskussion betonte Moore, dass ulzerierte Plaques, welche eine Quelle der Mikroembolien sind, mittels dieser Methode nicht erwischt werden können wenn sie kein Geräusch oder keine signifikante Stenose verursachen.

Wie während der Besprechung der transkutanen Doppler-flow-Messung bereits erwähnt wurde, untersucht **Keller c.s.** (1973) das Signal der Arteria supraorbitalis bei Kompressionen der Arteria temporalis superficialis und der homo- und heterolateralen Arteria carotis. Die letzterwähnte Kompression wird nicht länger als 3-5 Sek. angehalten.

Ausserdem haben sie diese Technik mit der ophthalmodynamographischen Methode kombiniert. Die folgenden Ergebnisse wurden erzielt. 35 negative Befunde wurden angiographisch

bestätigt. Dagegen gab es 12 falsch positive Beurteilungen (12 bei der Doppler-Untersuchung allein, 6 bei der ODG allein und 12 bei Kombination dieser Methoden). Dabei waren 5 Patienten mit einem Kinking-syndrom, 3 mit allgemeinen degenerativen Gefässverwandlungen und 1 Patient mit einem orbitalen Trauma.

Von den 8 völlig Verschlüssen wurden alle 8 mittels des Doppler-Verfahrens erwischt (100%), 4 mittels der ODG (50%). Von den 55 Stenosen wurden 47 gefunden mittels des Doppler-Verfahrens (85%), 32 mittels der ODG (58% und alle 55 (100%) mittels einer Kombination der beiden Techniken.

Die Schlussfolgerung, dass die hier angewendeten Methoden einander in günstiger Weise ergänzen, kann man nur bestätigen.

KAPITEL III

A. Ophthalmodynamometrie

1. Einleitung

Das Grundprinzip der Ophthalmodynamometrie, nämlich die Messung des Blutdrucks am Auge anhand der Steigerung des intraokulären Drucks mittels dosierter auswendiger Kompression und Beobachtung der arteriellen Pulsationen bei der Papilla nervi optici stammt von Baillart, der das Verfahren im Jahre 1917 beschrieb. Für die Beschreibung der Theorie, der Technik, der Interpretierung und der Beurteilung der ODM wird von der 1962 von Weigelin und Lobstein veröffentlichten Monographie ausgegangen. Im Jahre 1964 erschien ein ergänzender Artikel von Weigelin, Iwata und Halder betitelt 'Fortschritte auf dem Gebiet der Blutdruckmessung am Auge', und 1961 war bereits von de Laet eine zusammenfassende Übersicht veröffentlicht betitelt 'La Pratique de l'Ophthalmodynamometrie' in dem selben Sinne wie die Methode von Weigelin und Lobstein.

Verhandlungen über die ODM finden wir, mehr neulich, in 'Die zerebralen Durchblutungsstörungen des Erwachsenenalters' (1969) von Fischbach und Harrer (s. S. 279) und Heydenreich (s. S. 359).

Der meist wesentliche Wert der Ophthalmodynamometrie nach diesen Prinzipien ist, dass der auf das Auge ausgeübte Druck so genau wie möglich in mm Hg umgerechnet wird, so dass die gefundenen Blutdruckwerte in der Arteria ophthalmica verglichen werden können und auch sollen mit dem Druck in der Arteria brachialis, gemessen mittels der Methode von Riva-Rocci. Man kann sagen, dass nur dank der strengen Standardisierung der Technik und Handhabung normalisierte Werte vergleichbare und zuverlässige Ergebnisse erzielt werden können. In der modernen amerikanischen Literatur (z.B. Kobayashi, Hollenhorst und Sundt 1971) werden grundsätzlich dieselben Anforderungen bezüglich der Zuverlässigkeit der ODM gestellt d.h. Beurteilung der absoluten Werte, im Verhältnis zum Brachialblutdruck betrachtet, nebst der Bestimmung der prozentualen links-rechts Differenzen und Messung des intraokulären Drucks. Umrechnung in mm Hg wird jedoch unterlassen und empirisch festgestellte Normalwerte werden nicht benutzt. Ein Nachteil der Ophthalmodynamometrie ist, dass alle Messungen nach einander stattfinden, so dass Änderungen im Blutdruck und im peripheren Widerstand scheinbare Asymmetrien hervorrufen können.

Was die Anwendung der ODM anbelangt, werden wir uns beschränken auf die Diagnostik der verschliessenden Prozesse der Karotiden, bzw. der Arteria anonyma. Die übrigen Anwendungen werden wir übergehen — teils da diese nicht auf dem neurologischen Gebiet liegen, teils weil dafür andere und bessere Techniken entwickelt wurden, bzw. wegen der gegenstreitigen Art der Ergebnisse.

2. Technik

Für die Feststellung der dynamometrischen Werte begibt der Patient sich in eine bequeme sitzende Stellung. Die Pupille wird mittels eines kurz wirksamen Mydriaticums erweitert und die Cornea und Conjunctiva mit einem kurz wirksamen Lokalanästheticum betäubt. Selbstverständlich ist Glaukom eine Kontraindikation zur Erzeugung einer Mydriasis. Der intraokuläre Druck wird bestimmt mittels eines geeichten Schiötztometers oder mittels des Applanationstonometers nach Goldmann.

Bei den eigenen Patienten wurde auf jeden Fall die Applanationstonometrie verwendet, wenn

die Belastung des Schiötztometers mit 5.5 bzw. 10 g Anweisungen einer abweichenden Sklerarigidity ergab. Für die eigentliche Dynamometrie stehen zwei Apparate zur Verfügung: der Dynamometer nach H.K. Müller und der Angiotonometer nach Baurman. Der ersterwähnte Apparat, der am meisten Verwendung findet, hat eine konvexe Fussplatte mit einem Durchmesser von 7.3 mm und einem Krümmungsradius von 10.5 mm. Es gibt zwei Ausführungen: eine mit Federspannung 1 und 2 (laufend von 0-150 g) und eine mit Federspannung 3 und 4 (laufend bis 210 bzw. 280 g). Die beiden Instrumente können entweder oder nicht mit einer Arretiervorrichtung versehen sein. Mit dem Apparat wird eine Eichtabelle geliefert

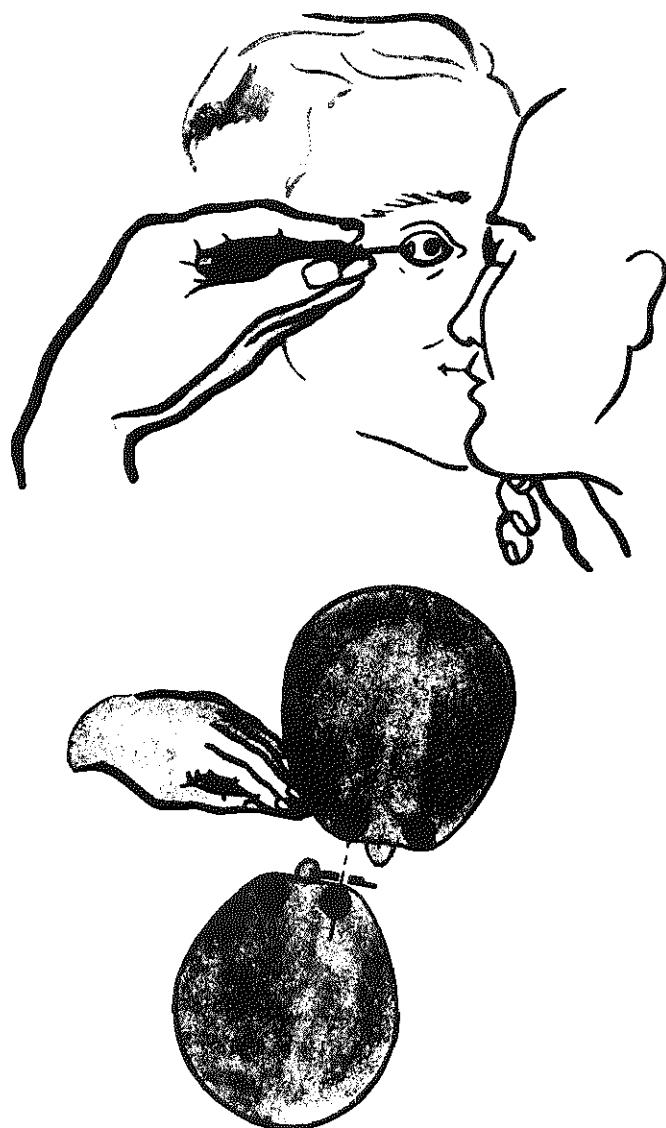


Abb. 2 Darstellung und Schema der Ophthalmodynamometrie. (Aus De Laet H.: *Bulletin de la Société Belge d'Ophthalmologie* 127, 1961).

welche angibt wieviel Gramm Gewichtsbelastung mit dem abgelesenen Wert übereinstimmt. Der Angiotonometer ist zusammengestellt aus einem Manometer, verbunden mit einem Ballon mit einem Durchmesser von 13.5 mm, dessen Wanddicke und Elastizität soviel wie möglich mit der Dicke und der Elastizität der Sklera übereinstimmen soll. Dieser Ballon wird auf das Auge gedrückt und auf dem Manometer kann man den intraokulären Druck gleich ablesen. Bei seinen eigenen Untersuchungen bediente der Autor sich eines Müller-Dynamometers mit Arretiervorrichtung und Federspannung 1 und 2. Anwendung höherer Federspannungen wurde unterlassen zur Vermeidung der Gefahr der von zu starker Deformation des Bulbus oculi verursachten Komplikationen (Polykranos 1963).

Wenn der systolische Druckwert über den Messbereich des Apparates hinausging, wurde die ODM nach der Formel IV (s. Berechnung der Blutdruckwerte usw.) berechnet.

Für die eigentliche Messung wird der Dynamometer seitlich auf das Auge des Patienten gestellt. Der Untersucher beobachtet die Papilla nervi optici mit einem elektrischen Augenspiegel im direkten Bild (Abb. 2, der Veröffentlichung von de Laet (1961) entnommen).

Oft wird behauptet, dass die besten Ergebnisse erzielt werden, wenn die Untersuchung von zwei geschulten Personen durchgeführt wird — die Bedienung des Dynamometers von einem Assistenten oder einer Assistentin, das Augenspiegeln vom Arzt. Unseres Erachtens ist die von einem einzigen (geübten) Untersucher durchgeführte Dynamometrie sehr wohl möglich — vorausgesetzt, dass das Haupt des Patienten gestützt wird, ein richtiger Fixationspunkt angegeben wird und ein Assistent oder eine Assistentin, wenn erforderlich, die Aufstellung des Apparates kontrollieren kann.

Jetzt wird zuerst der Druck gleichmäßig erhöht. Der erste völlige Kollaps der Arteria centralis retinae an der Stelle der Papille gilt als diastolisches Kriterium. Für die Bestimmung des systolischen Wertes erhöht man schnell den intraokulären Druck bis reichlich über dem völligen Verschwinden der Pulsationen. Demnächst wird allmählich der Druck herabgesetzt und beim ersten Einfluss von Blut ins Auge ist der systolische Wert erreicht. Gleich darauf wird mittels eines normalen Blutdruckmessers beiderseitig der allgemeine Blutdruck an dem Oberarm gemessen. Als Reaktion auf die Dynamometrie wird meistens an der lateralen Seite der Pupille eine leichte konjunktivale Gefässinjektion wahrgenommen, und zuweilen tritt eine subkonjunktivale Blutung ein. Kontraindikationen werden selten gemeldet.

Nach der Meinung von Higgs und Bullington (1970) sollte diese Untersuchungsmethode nach rezenten intraokulären Operationen unterlassen werden. Hollenhorst (1976) betrachtet ODM als kontraindiziert bei der Gefahr für Ablatio retinae, Aphakie und Gefässneubildung.

Die Marge der Messfehler ist gering. Bei Verwendung eines geeichten Schiötztometers ist diese für den intraokulären Druck unterhalb ± 5 mm Hg. Der durchschnittliche Fehler beim diastolischen Wert liegt bei einem Untersucher um 1.14 mm Hg und bei zwei Untersuchern um 1.74 mm Hg. Der durchschnittliche Fehler beim systolischen Wert beträgt bei einem Untersucher um 1.60 mm Hg und bei zwei Untersuchern um 2.97 mm Hg (Müller, Niesel und Wüsten — Zitat von Weigelin und Lobstein 1962).

3. Berechnung der Blutdruckwerte und der normalen ophthalmobrachialen Verhältnisse

Die erste Frage, welche man sich bei der Berechnung der Blutdruckwerte vorlegt ist welcher intraokuläre Druck mittels einer gewissen Gewichtsbelastung des Auges mit dem Dynamometer erreicht wird. Dieser intraokuläre Druck (Tdy) erweist sich als abhängig, nicht nur von der Gewichtsbelastung (g) jedoch auch vom intraokulären Druck. Für jeden Ausgangswert des intraokulären Drucks muss eine bestimmte Korrektur angebracht werden (T/Korr.). Außerdem sind Korrekturen erforderlich bei ernsten Fällen der Myopie (> -6

Dioptrien). Dieses Verhältnis kann auf die folgende Weise ausgedrückt werden:

$$Tdy = 0.87 g + T \text{ Korr.}$$

Es bleibt außerdem innerhalb ziemlich engen Grenzen ein festes Verhältnis bestehen zwischen dem Brachialblutdruck (Pbrach) und dem Ophthalmicablutdruck (Popht), welche gleichfalls abhängig ist von dem intraokulären Druck.

Weigelin und Lobstein haben dieses Verhältnis untersucht für den diastolischen (Pmin) und für den mittleren Blutdruck (Pm).

Der mittlere Blutdruck (Pm) oder der effektive Blutdruck wird dabei definiert als der Blutdruck der bei konstantem Blutstrom dasselbe Minutenvolumen erzeugen würde als unter den gegebenen Blutdruckverhältnissen existiert.

Dieser wird berechnet indem man den diastolischen Blutdruck um 42% des Pulsdruckes vermehrt (Formel nach Böger und Wezler). Für die diastolischen Blutdrücke wurde die folgende Formel gefunden:

$$Pmin \text{ ophth} = 0.63 (Pmin \text{ brach} - T) + T \text{ (Form. IV)}$$

Für den mittleren Blutdruck gilt:

$$Pm \text{ ophth} = 0.73 (Pm \text{ brach} - T) + T \text{ (Form. II)}$$

Der Korrelationskoeffizient ist 0.9 und die Standarddeviation beträgt hier etwa 4.5 mm Hg. Werte außerhalb der 2 sigma Grenze sind höchstwahrscheinlich, außerhalb der 3 sigma Grenze praktisch bestimmt pathologisch.

Spätere Untersuchungen zeigten, dass der Einfluss des intraokulären Drucks gering ist und 1963 schlugen Iwata und Weigelin für Patienten mit normalem intraokulärem Druck die Formel

$$Pm \text{ ophth} = 0.77 Pm \text{ brach} - 3.1 \text{ mm Hg}$$

vor.

Bei Hypertonie jedoch ist das Verhältnis zwischen Brachialblutdruck und Ophthalmicablutdruck gestört. Der Ophthalmicablutdruck liegt hier durchschnittlich höher, was zum Ausdruck kommt in der folgenden Formel:

$$Pm \text{ ophth} = Pm \text{ brach} - 18.5 \text{ mm Hg.}$$

Die Formeln I und III nach Weigelin und Lobstein sind im Rahmen dieser Besprechung ohne Bedeutung. Formel I betrifft ein aufgrund früherer Eichungskurven festgestelltes Verhältnis zwischen dem mittleren Ophthalmica- und Brachialblutdruck; Formel III eine Schätzung der systolisch-diastolischen Kaliberänderungen der Arteria carotis.

In einem Studium aus 1968 weisen Kaskel und Weigelin darauf hin, dass eine Korrelation existiert zwischen der prozentualen Abweichung (meistens Senkung) des mittleren Ophthalmicablutdrucks (% Δ Pm) und der prozentualen Abweichung (auch meistens Senkung) des Pulsdruckes (% Δ P Diff) bei 21 Patienten mit Verschlussprozessen an der Arteria carotis. Sie fanden dafür die Formel:

$$\% \Delta P \text{ Diff} = 1.69 \% \Delta Pm + 4.95.$$

4. Messpunkt bei der ODM

Bei der Ophthaldynamometrie wird im Gegensatz zu der Ophthaldynamographie immer der Blutdruck in der Arteria ophthalmica gemessen. Die einzige Voraussetzung dabei ist dass die Arteria centralis retinae unverletzt ist. Diese funktioniert als Manometer für die Arteria ophthalmica und wenn sie gesperrt ist, so nützt das Ergebnis nicht mehr. Wenn man nämlich in einem bestimmten Teil des arteriellen Kreislaufes den Widerstand erhöht (z.B. mittels Kompression), so erhöht sich stromaufwärts von diesem Widerstand der Blutdruck bis der an einer höher situierten grösseren Bifurkation herrschende Druck erreicht worden ist.

Wird der Druck noch immer höher, so fliesst das Blut in diese Abzweigung ab.

Auf das Auge bezogen bedeutet dies, dass bei der Kompression des Auges, welche eine Erhöhung des intraokulären Drucks bewirkt, der Druck in der Arteria centralis retinae sich steigert bis zur Höhe des Drucks im Stamm der Arteria ophthalmica. In diesem Zusammenhang bleibt einen Augenblick die komplizierende Wirkung etwaiger Zweige der Arteria centralis retinae und der intraokulären Kompression anderer Zweige der Arteria ophthalmica als die Arteria centralis retinae ausser Betracht. Diese erscheinen für die betreffende Auseinandersetzung nicht von wesentlicher Bedeutung.

5. Experimenteller Grund der ODM

Im Jahre 1952 zeigten Bakay und Sweet, dass ein Verschluss der Arteria carotis communis im Hals in allen deren Zweigen eine proportionell identische Drucksenkung verursacht. Diese Regel gilt für Arterien mit einem Durchmesser bis 0.4 mm und dazu gehört bestimmt auch die Arteria ophthalmica mit ihrem Durchmesser von 0.5 - 1 mm. Die Messung des Blutdrucks in der Arteria ophthalmica kann also dienen zur Beurteilung des Blutdrucks in der Arteria carotis interna.

Hedges c.s. (1965) bestimmte sowohl direkt als dynamometrisch bei Rhesusaffen den Blutdruck in der Arteria ophthalmica. Die Dynamometrie wurde durchgeführt nach den Prinzipien von Weigelin und Lobstein und die direkte Druckmessung mittels retrograder Katheterisation der Arteria ophthalmica. Außerdem wurde der allgemeine Blutdruck durch die Arteria femoralis bestimmt. Es stellte sich heraus, dass der nach beiden Methoden gemessene Blutdruck in der Arteria ophthalmica auf dem systolischen, diastolischen und mittleren Niveau kaum abwich. Das Ophthalmicablutdruckniveau war 16-25 mm Hg niedriger als das in der Arteria femoralis gemessene. Ein wichtiger Befund bei der Untersuchung war weiter noch, dass, wenn der Dynamometer nicht genau seitlich auf das Auge gestellt wurde, eine Drucksenkung in der Arteria ophthalmica durch mediale und hinterwärtse Versetzung des Augapfels erfolgen konnte.

Bei einer analogen von Borras c.s. (1969) durchgeführten Untersuchung wurde bei 10 Patienten keinen signifikanten Unterschied zwischen den dynamometrisch und den direkt gemessenen Blutdruckwerten auf diastolischem und mittlerem Niveau gemessen. Auf systolischem Niveau war der direkt gemessene Druck, $0.51 \times$ der dynamometrisch gemessene Druck + 41.26 mm Hg, d.h., dass ab 85 mm Hg der dynamometrisch festgestellte Druck grösser ist als der direkt gemessene. Mehrere Faktoren werden zur Erklärung dieses Phänomens erwogen.

Weigelin und Lobstein (1962) gelang es zu beweisen, dass der blutig gemessene Druck in der Arteria carotis interna und der dynamometrisch festgestellte Druck in der Arteria ophthalmica direkt proportionell mit einander zusammenhängen (Abb. 3). Zwischen diesen Werten, gemessen vor und nach der Unterbindung der Arteria carotis communis oder interna, wurde ein Korrelationskoeffizient von 0.95 festgestellt.

Was den ophthalmobrachialen Zusammenhang betrifft, stellten Hayreh und Edwards (Zitat Hayreh 1976) bei Rhesusaffen mittels Katheterisation der Aorta und der Arteria ophthalmica folgende Formeln fest:

systolischer Ophthalmicablutdruck = 0.80 systolischer Blutdruck — 8.63 mm Hg \pm 3.8 mm Hg

diastolischer Ophthalmicablutdruck = 0.80 diastolischer Blutdruck + 6.95 mm Hg \pm 3.4 mm Hg.

Experimentelle Stütze der von den meisten Autoren als signifikant betrachteten links-rechts

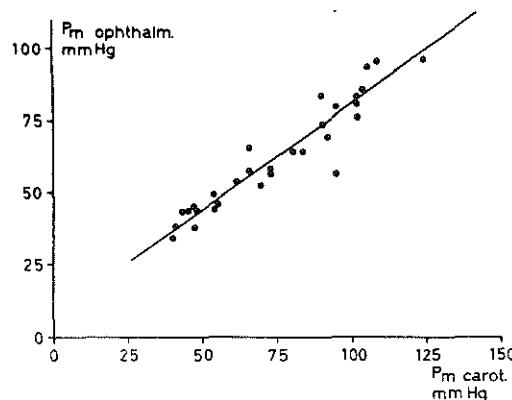


Abb. 3 Beziehung zwischen manometrisch gemessenem Blutdruck in der A. carotis interna (Pcarot) und dynamometrisch bestimmtem Ophthalmicabutdruck (Popht). (Aus Weigelin E., Lobstein A.: *Ophthalmodynamometrie*. S. Karger, Basel, New York 1962).

Differenz von 15-25% könnte in den Befunden von Sven und Hollenhorst (1956) gefunden werden. Diese Autoren stellten nach einer Ligatur der Arteria carotis interna dynamometrisch eine diastolische Drucksenkung um 22-71% in der Arteria ophthalmica fest.

Nach $\frac{1}{2}$ - 10 Jahren wurden noch immer Unterschiede zwischen 25 und 52% registriert. Innerhalb sechs Wochen nach einer Ligatur der Arteria carotis communis wurden Drucksenkungen von 30-60% festgestellt, nach einiger Zeit (4 Monate bis $3\frac{1}{2}$ Jahr) wurden die Unterschiede jedoch zu nicht oder kaum signifikanten Werten reduziert. Laut einer Untersuchung von Tindall c.s. (1966) blieb geraume Zeit nach einem derartigen Verschluss noch eine Differenz von 30% systolisch und 23% diastolisch zurück.

Eine andere Betrachtungsmethode ist der Vergleich der dynamometrisch festgestellten Werte vor und nach der Endarterektomie der Arteria carotis (Kobayashi, Hollenhorst und Sundt 1971).

Dabei stellte es sich heraus dass die präoperativ festgestellten Werte systolisch und diastolisch um denselben Prozentsatz herabgesetzt worden waren. Es gab keine Beziehung zwischen dem Mass der Drucksenkung und der Dauer der Symptome. Operative Behandlung verursachte durchschnittlich eine Steigerung um 76% des systolischen und um 88% des diastolischen Ophthalmicadrucks. Eine signifikante Steigerung des Ophthalmicadrucks nach der Operation wurde festgestellt bei 79% der Patienten. Bei 47% zeigte sich auch heterolateral eine signifikante Steigerung. Letzteres Phänomen zeigte sich vor allem bei Patienten mit auch heterolateral einem schlimmeren stenosierenden Prozess. Dies muss nach der Meinung der Autoren mit Erhöhung des Perfusionsdrucks im Circulus arteriosus Willisii zusammenhängen.

6. Bedeutung der festgestellten Abweichungen

Für die Beurteilung der Bedeutung eines abweichenden Ophthalmicabutdrucks verteilen Weigelin und Lobstein das Stromgebiet der Arteria carotis in 2 Teile. Der erste Teil fängt an bei der imaginären Isobare welche Stellen gleichen Drucks in der Arteria brachialis und im Anfang der Arteria carotis (communis) mit einander verbindet und bis zur Arteria ophthalmi-

ca verläuft. Der zweite Teil läuft von der Arteria ophthalmica bis zum Ende der Zirkulation wo der Druck ungefähr 0 ist.

Wenn hier das Gesetz

$$V_t = \frac{P}{W}$$

gilt, wobei V_t = Minutenvolumen

P = Druckdifferenz

und W = Widerstand,

so muss für die beiden Teile gelten, dass

$$\frac{P_1}{W_1} = \frac{P_2}{W_2} \text{ oder } \frac{P_1}{P_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

Wobei P_1 = P brach — P ophth

W_1 = Widerstand in der Arteria carotis zu der Arteria ophthalmica

P_2 = P ophth

und W_2 = Widerstand von der Arteria ophthalmica bis zum Ende der Zirkulation.

Hieraus geht ausserdem hervor, dass die Druckverhältnisse eine Abspiegelung der Widerstandsverhältnisse darstellen. Dieser Widerstand ist abhängig von der Länge, vom Radius und von der Elastizität des Blutgefäßes und der Viskosität des Bluts.

Vorausgesetzt dass die Länge und die Elastizität des Gefäßes wie auch die Viskosität des Bluts sich nicht stark ändern, so wird der Widerstand vor allem vom Radius bestimmt. Störende Faktoren können also sein eine schwere Anämie oder eine Polyglobulie.

Die Gefässgebiete der Retina und der Orbita sind im Verhältnis zu dem Gehirn so geringer Bedeutung, dass Widerstandsänderungen darin vernachlässigt werden können.

Bei gesteigertem intraokulärem Druck und gesteigertem intrakraniellem Druck gelten die erwähnten Verbindungen nicht, und weiter kann eine unregelmässige Herzirkulation zu falschen Beurteilungen Anlass geben.

Eine relative Reduktion des Ophthalmicablutdrucks kann zusammenhängen mit:

1. Einer Steigerung des Widerstandes stromaufwärts — also vom Aortenbogen bis zu der Arteria ophthalmica.
2. Einer Herabsetzung des peripheren Widerstandes — z.B. bei zerebralen Angiomen.

Eine relative Steigerung des Ophthalmicablutdrucks könnte beruhen auf:

1. Verringerung des Widerstandes stromaufwärts, jedoch auch auf einer Isthmusstenose der Aorta.

2. Steigerung des peripheren (zerebralen) Widerstandes jedoch auch auf Thrombose im Karotissiphon jenseits der Arteria ophthalmica.

Selbstverständlich verursacht ein Verschluss der Arteria ophthalmica vor der Abzweigung der Arteria centralis retinae gesenkte Druckwerte. Ein Schema und eine Übersicht, der Veröffentlichung Weigelins und Lobsteins entnommen, geben eine Zusammenfassung der hier erwähnten Möglichkeiten (Abb. 4 und 5).

Besonderer Bedeutung erscheint es, angesichts des verhältnismässig oft Vorkommens der doppelseitigen Störungen, das Folgende zu betonen.

Bei derartigen Patienten werden keine signifikanten links-rechts Unterschiede, dagegen aber doppelseitige Abweichungen der ophthalmobrachialen Verhältnisse festgestellt (Aly, Weigelin und Betz 1966).

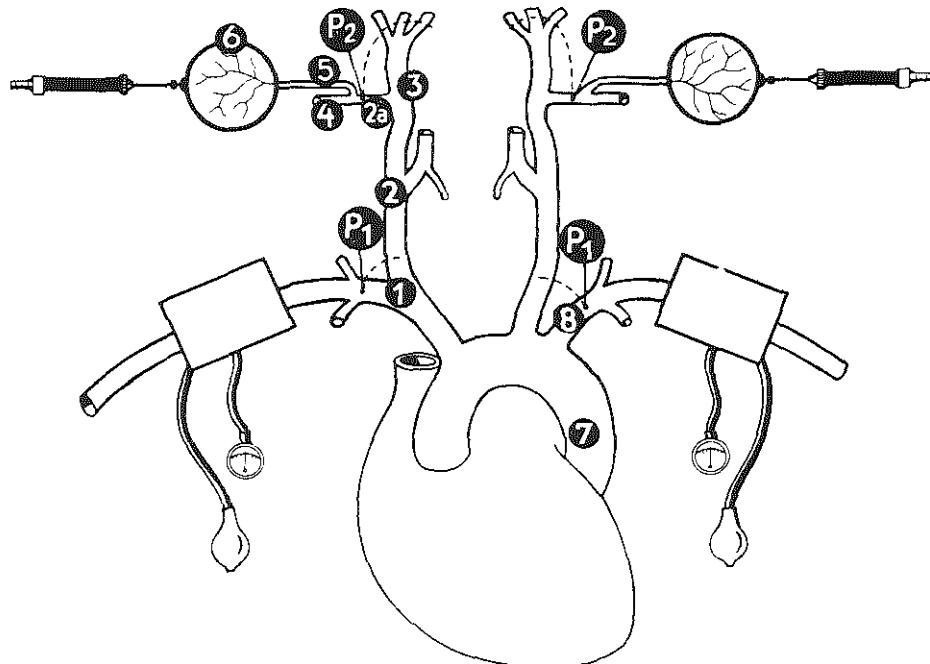


Abb. 4 Arterielle Gefässverschlüsse oder Stenosen und ihre Auswirkung auf Oberarm- und Ophthalmicabutdruck. P_1, P_2 : Blutdruckmessstellen. 1-8: siehe Abb. 5 (Aus Weigelin E., Lobstein A.: Ophthalmodynamometrie. S. Karger, Basel, New York 1962).

Aus theoretischen Gründen ist schliesslich noch ein störender Faktor zu erwarten. Wenn sich bei einem unilateralen Verschlussprozess ein Kollateralkreislauf über den Circulus Willisii entwickelt, so kann dies für die heterolaterale Seite eine Herabsetzung des peripheren Widerstandes mit einem starken Druckabfall in der Arteria carotis und einer Drucksenkung in der Arteria ophthalmica bedeuten.

So könnte eine einseitige Abweichung eine beiderseitig gestörte ODM hervorrufen. Hierfür sprechen auch die schon erwähnten Befunde von Kobayashi c.s. (1971).

7. Einige neuartige Veränderungen der ODM

Die hier besprochenen Techniken haben gemein, dass eine axiale anstatt einer transversalen Kompression auf den Augapfel ausgeübt wird. Dies bedeutet, dass der Augapfel an den retroorbitalen Strukturen zusammengedrückt wird, was nach Hedges (1965) zu einer Drucksenkung in der Arteria ophthalmica führen kann. Es ist also möglich, dass man mit zwei verschiedenen Prozessen zu tun hat, nämlich mit Steigerung des intraokulären Drucks und indirekter Kompression der Arteria ophthalmica. Zwar wirken diese in dieselbe Richtung, aber dennoch ist dies als eine grundsätzliche Schwierigkeit zu betrachten, da das Überblicken der pathophysiologischen Mechanismen bei der üblichen Ophthalmodynamometrie bereits schwierig genug ist.

Abbildung 5 (siehe Abb. 4)
 (Aus: Weigelin E., Lobstein A.: Ophthalmodynamometrie.
 S. Karger, Basel, New York 1962).

Sitz des Strömungshindernisses	Erkrankte Seite	
	P_1 (Oberarmblutdruck)	P_2 (Ophthalmicablutdruck im Verhältnis zu P_1 und zur Gegenseite)
1 Truncus brachio-cephalicus	erniedrigt seitendifferent	erniedrigt seitendifferent
2 A. carotis communis — interna (bis zur Abgangsstelle der A. ophthalmica)	— —	erniedrigt seitendifferent
2a A. ophthalmica (vor Abgangsstelle der A. centralis retinae)	—	erniedrigt seitendifferent (Carotisfüllung bei Arteriographie normal)
3 A. carotis interna (nach der Ab- gangsstelle der A. ophthalmica)	—	erhöht seitendifferent
4 A. ophthalmica (nach Abgangs- stelle der A. centralis retinae)	—	nicht signifikant erhöht
5 A. centralis retinae	—	Messung unmöglich
6 Netzhautarterien	—	normal in Beziehung zu P_1
7 Aortenisthmusstenose	erhöht	erhöht
8 A. subclavia (Anfangsteil)	erniedrigt	normal in Beziehung zu P_1 , der Gegenseite
Aortenbogen (Pulseless disease)	erniedrigt	erniedrigt

a. Ophthalmodynamometrie mit dem AO-Dynoptor nach Sisler (1972)

Der OA-Dynoptor ist ein Hilfsgerät bei der Spaltlampe, zusammengestellt aus einer kleinen Kontaktlinse von —60 D, welche mit einer Kraft von 0-150 g an die Cornea gedrückt wird und durch welche die Papille beobachtet werden kann. Als Kriterien des diastolischen und systolischen Ophthalmicablutdrucks gelten dieselben Gefässkollapse als bei der üblichen ODM. Die Vorteile dieser Methode sind, dass man keinen Ophthalmoskop braucht, die Untersuchung von einer Person durchgeführt werden kann, die Achse der Kompression dieselbe ist als die optische Achse des auf die Papille des Untersuchten gerichteten Auges des Untersuchers, und dass das Auge nur wenig deformiert wird.

b. Die 'Arteria-ophthalmica-Tonometrie' nach Stepanik (1973, 1974)

Der Ausgangspunkt dieser Methode ist die Erwünschtheit den intraokulären Druck zu messen zur Zeit wenn die Gefässphänomene stattfinden: der erste völlige Kollaps auf dem diastolischen Niveau und das Verschwinden der Pulsationen auf dem systolischen Niveau. Dazu wird die Sonde des elektronischen Tonometers nach Mackay und Marg seitlich in einem Kontaktglas eingebaut. Dieses Glas kann auf genau dosierte Weise den Augapfel

des Patienten komprimieren, während die Papille mittels des Mikroskopes der Spaltlampe beobachtet werden kann. Bei einem Versuch an einem Leichenauge lieferten ein Elektromanometer und der Tonometer nach Mackay und Marg ganz richtig übereinstimmende Werte. Ein klinisches Studium an 40 Augen bei 26 Versuchspersonen ergab, was den Druck in der Arteria ophthalmica anbelangt, Werte welche 18-20% niedriger waren als der Brachialblutdruck.

c. Die Ultraschallophthalmodynamometrie nach Bauer (1973)

Bei dieser Methode benützt man die Möglichkeit mittels des Doppler-Verfahrens arterielle Pulsationen nachzuweisen. Das Beobachten der Arteria centralis retinae mittels eines Augenspiegels wurde hier ersetzt von den mittels einer Doppler-Apparatur hörbar gemachten Pulsationen dieser Arterie. Zu diesem Zweck wurde eine Sonde entwickelt die auf dem Ophthalmodynamometer nach Müller montiert werden kann. Der auf diese Weise angepasste Dynamometer wird nicht seitlich sondern senkrecht auf das Auge gestellt, mit dem Strahlenbündel auf die Papilla nervi optici gerichtet. Bei zunehmender Kompression verschwindet der pulsierende Ton und am jenen Augenblick wird die Feder arretiert und wird der erreichte Wert abgelesen. Dieser Wert kann auf die bekannte Weise in mm Hg intraokulären Drucks umgerechnet werden. Nach der Meinung von Bauer findet man auf diese Weise den mittleren arteriellen Blutdruck. Budai (1974) konnte feststellen, dass mittels der hier beschriebenen Methode die laut der Formel II von Weigelin und Lobstein zu erwartenden Werte bedeutend besser annähernd berechnet werden könnten als mittels der üblichen Methode. Die letzteren zeigten eine bedeutend positive Abweichung von den Normwerten.

Die Doppler-Ophthalmodynamometrie hat jedoch besondere Bedeutung da mittels dieses Verfahrens nicht die Druckpulsationen in der Arteria centralis retinae (und dadurch in der Arteria ophthalmica), sondern die pulsierenden Veränderungen der Stromgeschwindigkeit des Bluts in der Arteria centralis retinae untersucht werden.

Wenn der pulsierende Ton verschwindet ist der Kompressionsdruck erreicht worden, wobei während der Systole keine Strömung im Gefäß mehr existiert. Zur richtigen Beurteilung dieser Befunde ist das Verhältnis zwischen dem Druck in den afferenten Arterien und der Strömung im Gefäßbett zu betrachten. Eine Erklärung für die Befunde Bauers, nämlich dass das Verschwinden der Strömung während der Systole mit dem durchschnittlichen Ophthalmica-blutdruck proportional übereinstimmt, ist nicht ohne weiteres zu geben. Dagegen erscheint diese Methode eine annähernde Berechnung der 'critical closing pressure' des Blutkreislaufs im Auge zu ermöglichen.

8. Das Verhältnis zwischen Druck und Strom im okulären Gefäßgebiet

Im klassischen Studium 'On the physical Equilibrium of small Bloodvessels' hat Burton (1951) begründet, dass bei Verringerung des Perfusionsdrucks bis auf ein bestimmtes Minimum (critical closing pressure) die präkapillären Arteriolen sich plötzlich schliessen so dass die Strömung im betreffenden Gefäßgebiet hält.

Die Höhe des aktiven Tonus der Gefäßwand spielt dabei eine wichtige Rolle und die critical closing pressure wird also direkt mit dem Vasomotorentonus zusammenhangen.

Tierexperimentelle Untersuchungen sowohl mittels Katheterisierung der Arteria ophthalmica (Best und Blumenthal 1972, Best c.s. 1973), der Arteria ciliaris posterior longa (Best c.s. 1973), wie auch mittels clearance von ⁸⁵Krypton (Strang 1974, 1976 und Wilson c.s. 1976), haben das Existieren einer critical closing pressure, wenigstens insofern es den choroidalen

Kreislauf bei den untersuchten Tierarten anbelangt, plausibel gemacht. Sie nahm bei Steigerung des Vasomotorentonus zu. Ausserdem zeigen diese Experimente Anweisungen des Existierens eines autoregulatorischen Mechanismus d.h. dass der Blutstrom gleichmaessig gehalten wird, wenn der Perfusiondruck innerhalb bestimmter Grenzen variiert. Der Mechanismus hat jedoch beim Gehirnkreislauf eine Verspätung von 15 Sek. und wenn dies auch beim Auge der Fall wäre, brauchte man diese Autoregulation bei Experimenten innerhalb dieser Zeitmarge nicht zu berücksichtigen.

Early c.s. (1974) und Dewey c.s. (1974) haben das Verhältnis zwischen Strömung und Druck im Gehirnkreislauf bei konstantem Vasomotorentonus bei Rhesusaffen untersucht. Aufgrund der schematisch dargestellten Veränderungen der Gehirndurchblutung unter dem Einfluss des Blutdrucks, der critical closing pressure und des intrakraniellen Drucks, ist es möglich eine Hypothese aufzustellen über die Änderungen des retinalen Kreislaufs bei Steigerung des intraokulären Drucks.

Es gibt kaum einen Grund anzunehmen, dass der retinale Kreislauf andere grundsätzliche Kennzeichen aufweisen würde als der chorioidale Kreislauf, während das Auge auf dieselbe Weise wie der Schädel einen geschlossenen Raum bildet.

Steigerung des intraokulären Drucks verursacht also eine Herabsetzung des Perfusionsdrucks in der Arteria centralis retinae. Bei einem bestimmten Grenzwert (critical closing pressure) hält der Blutstrom und schliessen sich die peripheren Arteriolen. Bei weiterer Steigerung des Augeninnendrucks wird letzten Endes auch der intravaskuläre Druck im Stamm der Arteria centralis retinae überstiegen, so dass dieser kollabiert. Dabei spielt auch der Tonus in der Gefässwand der Arteria centralis retinae eine Rolle, welcher gerade wie die critical closing pressure des retinalen Gefässbettes, unbekannt ist.

Alle vorhergehende experimentelle Beobachtungen wie auch die oben aufgestellte Hypothese basieren sich auf dem mittleren arteriellen Blutdruck. Man soll sich jedoch davon bewusst sein, dass es sich hier um einen theoretischen Wert handelt, der aus einem systolischen Maximum und einem diastolischen Minimum abgeleitet wird.

Die — vorausgesetzten — Ereignisse lassen sich, auf diese Weise weiter präzisiert, wie folgt beschreiben.

Bei Erhöhung des intraokulären Drucks entsteht zuerst ein Stillstand des Stromes in der Diastole, angenommen dass es eine diastolische flow-Komponente gibt. Demnächst wird während der Diastole der proximale Stamm der Arteria centralis retinae einen Augenblick abgekniffen. Dieser Punkt kann mittels der üblichen ODM beobachtet werden. Eine weitere Steigerung des Drucks verursacht eine Stillstand des Stromes auch während der Systole.

Dieser Punkt ist mittels der Doppler-Ophthalmodynamometrie festzustellen.

Schliesslich verursacht der intraokuläre Druck auch während der Systole einen Kollaps der Arteria centralis retinae. Auch dieser Punkt kann mittels der üblichen ODM festgestellt werden. Bei Gefässkollapsen während der Systole und der Diastole spielt dann auch der Tonus der Arteria centralis retinae eine Rolle.

Aus dem Obenstehenden geht hervor, dass der systolische Wert der critical closing pressure (CCP) aus der folgenden Formel abgeleitet werden kann:

$$P_{\text{syst}} + T_{\text{centr. ret.}} = P_{\text{Doppler}} + CCP_{\text{syst.}}$$

in welcher P_{syst} = mittels üblicher ODM festgestellter systolischer Wert.

$T_{\text{centr. ret.}}$ = aktiver Tonus der Wand der Arteria centralis retinae.

P_{Doppler} = Wert der Doppler ODM

CCP_{syst} = systolischer Wert der critical closing pressure.

Bleibt uns noch die Frage übrig, ob das Verschwinden der Doppler-Pulsationen tatsächlich

auf das Halten der Strömung im retinalen Gefässgebiet und nicht im choroidalen Gefässgebiet zurückzuführen ist. Blumenthal c.s. (1971) hat jedoch mittels Fluoreszenz-Angiographie unter mittels suction cup gesteigertem intraokulärem Druck bewiesen, dass der Blutstrom in der Arteria chorioidea auf einem erheblich niedrigeren Niveau des intraokulären Drucks hält als der retinale Kreislauf.

B. Ophthalmodynamographie

1. Einleitung

Die Ophthalmodynamographie wurde ab 1956 von Hager in der Universitätsaugenklinik zu Tübingen entwickelt (Hager 1958). Die Apparatur — der Infraton-Ophthalmodynamograph nach Hager-Otto — wurde bei der Firma Boucke gebaut mit Anwendung des Infratonsystems nach Brecht und Boucke zur Verwandlung der Druckschwankungen in elektrische Potentialschwankungen. Als zusammenfassende Veröffentlichungen seien erwähnt von Hager 'Diagnostische Möglichkeiten der Ophthalmodynamographie' (1966) und 'Ophthalmodynamographie' (1976) wie auch von de Marées und Hager 'Zur Beurteilung ophthalmodynamographischer Messergebnisse' (1970).

Finke veröffentlichte seine Monographie 'Ophthalmodynamographie in Neurologie und Psychiatrie' (1966), zusammen mit Buchtal ein Studium 'Aussagewert des Ophthalmodynamogramms (ODG) bei zerebralen Zirkulationsstörungen: Eine Zwischenbilanz' (1973), und 1974 die Ergebnisse des II. Internationalen Symposiums über Ophthalmodynamographie — Stuttgart 1972.

Bettelheim veröffentlichte vergleichende Verhandlungen der Ophthalmodynamographie und Ophthalmodynamometrie — 1969 in der Form eines Fortbildungsreferats und 1972 als ein Studium 'Der praktische Wert der Ophthalmodynamometrie und der Ophthalmodynamographie'. Derselbe Autor introduzierte die ODG in die englische und französische Literatur (1967, 1969 und 1970). In 'Die zerebralen Durchblutungsstörungen des Erwachsenenalters' widmeten Fischbach und Harrer (s.S. 279) der Ophthalmodynamographie eine Besprechung, 1972 erschien ein Übersichtsartikel 'Ophthalmodynamographie' von Meijer-Erkelenz und Ksinsik und schliesslich 1974 'Dynamographie' von Follmann.

2. Grundprinzipien

Bei der ODG wird von den Pulsationen des Orbitainhalts (einschliesslich des Bulbus oculi) ein Oszillogramm geschrieben. Wenn man den Orbitainhalt komprimiert mit einem Druck höher als der systolische Blutdruck und man setzt diesen Druck allmählich herab, so entstehen Oszillationen einer zuerst zunehmenden Amplitude und wenn die Kompression ungefähr das diastolische Blutdruckniveau erreicht hat einer sinkenden Amplitude. Die Gipfel der Oszillationen sind spitz, die Fusspunkte im Anfang rund, dennoch wenn die Amplitude sich senkt werden diese gleichfalls scharf.

Nebst dieser **dynamischen** Registrierung, meistens bei geringer Papiergeschwindigkeit (0.5 cm/Sek.), welchem Verfahren das Ophthalmodynamogramm seinen Namen entnimmt, gibt es auch die Möglichkeit einer **statischen** Registrierung, d.h. bei konstanter Kompression und zwar meistens auf dem Niveau des diastolischen Wertes (Herrschart und Neelsen 1967, Derka 1971). Eine solche Technik wird oft verwendet bei Durchführung der Kompressions-
test (Arteria carotis communis — Arteria facialis). Wenn bei der statischen Registrierung

höhere Papiergeschwindigkeiten gewählt werden (2.5-5-10 cm/Sek.), so stellt es sich heraus, dass die Oszillationen die typischen Kennzeichen der zentralen arteriellen Druckpulsationen zeigen und kaum von z.B. dem Karotispuls zu unterscheiden sind (Strik 1974).

Freund c.s. (1971) registrierte Kurven der Wandbewegungen der Arteria carotis interna in der Siphonstrecke mittels des Ultraschallreflexionsverfahrens. Auch diese spontanen Wandoszillationen und die ODG-Pulsationen mit diastolischer Kompression sind nahezu identisch.

Gleichzeitig mit der Registrierung der Bulbus-orbita-Oszillationen wird der Brachialblutdruck gemessen: die Gefässgeräusche in der Arteria brachialis werden zu diesem Zweck mittels eines kleinen Mikrofons aufgenommen und gleichfalls registriert. Selbstverständlich gilt dafür die Voraussetzung dass in den Augenkapseln und in den Armmanschetten fortwährend derselbe Druck herrscht. Auf dieselbe Weise ist es möglich den Brachialblutdruck und die genannten Oszillationen zu vergleichen.

Hager (1964) erklärt das Entstehen des Ophthalmodynamogramms auf die folgende Weise (s. Abb. 6). Bei einem suprasystolischen Druck in der Orbita ist die Arteria ophthalmica völlig zugekniffen. Man beobachtet dann höchstens geringe nicht-spitze Oszillationen welche von der Reflexion der Pulswelle an der Obstruktion erzeugt werden. Sobald der systolische Wert des Ophthalmicablutdrucks erreicht worden ist, wird das Blutgefäß während der Systole kurz geöffnet und entsteht eine spitze Oszillation. Während der Senkung des Kompressionsdrucks nehmen die Oszillationen bis zu einem Maximum bei der Diastole zu.

Auf diesem Druckniveau folgt die Gefässwand maximal den intravasalen Druckschwankungen. Die Fusspunkte der Kurve sind deswegen gleichfalls spitz geworden. Bei weiterer Verringerung der Kompression werden die Oszillationen auch offensichtlich geringer, verschwinden jedoch nicht. Man kann sich die Frage stellen, wo der Ursprung der Restpulsationen liegt. Es sieht aus als ob diese stammen aus Gefässgebieten in denen ein niedrigerer Druck herrscht. Eine Gewichtsbelastung des Auges um 5.5 gm mittels des Schiötztometers ruft z.B. schon deutliche Pulsationen hervor (s. auch Kapitel II). Weiter ist es möglich dass ein Teil der Pulsationen von spontanen Volumenpulsationen des Orbitainhalts erzeugt wird.

Unter normalen Zirkulationsverhältnissen wird in der Orbita der Blutdruck in der Arteria ophthalmica am höchsten sein, so dass die obenerwähnte Theorie von Hager mit der Wirklichkeit übereinstimmt.

Dies wurde bestätigt von Vetter und Nungesser (1965). Es stellt sich nämlich heraus, dass bei Angiographie mit einer suprasystolischen Kompression des Orbitainhalts die Füllung der Arteria ophthalmica nachlässt. Dies bedeutet ausserdem, dass mittels der ODG der Druck in der Arteria ophthalmica bestimmt werden kann und dass für die Beurteilung dieser Druckwerte dieselben Regeln anwendbar sind als bei der Ophthalmodynamometrie.

Unter pathologischen Umständen ist es jedoch möglich, dass der Druck in anderen Gefässen am höchsten ist. Dies ist z.B. der Fall bei einem Verschlussprozess in der Arteria carotis interna mit einem Kollateralkreislauf vom Externagebiet aus und mit retrograder Strömung in der Arteria ophthalmica (Brenner 1966, Bettelheim 1966) sowie bei einer Karotis-Sinus-cavernosus-Fistel. Unter diesen Umständen wird der Druck in den Ästen der Arteria carotis externa bzw. der Vena ophthalmica gemessen.

Im Anfang dieses Abschnittes haben wir nach dem Vorbild anderer Autoren den Ausdruck Bulbus-orbita-Oszillogramm gebraucht. Genau genommen ist jedoch das ODG ein **Plethysmogramm** des Orbitainhalts. Ein kennzeichnender Unterschied zwischen ODG und der Oszillographie z.B. des Unterarmes oder des Unterbeines ist die Tatsache, dass das Blut die Stelle der Untersuchung nicht durchläuft, sondern in der Orbita gesammelt wird. Es ist also zu er-

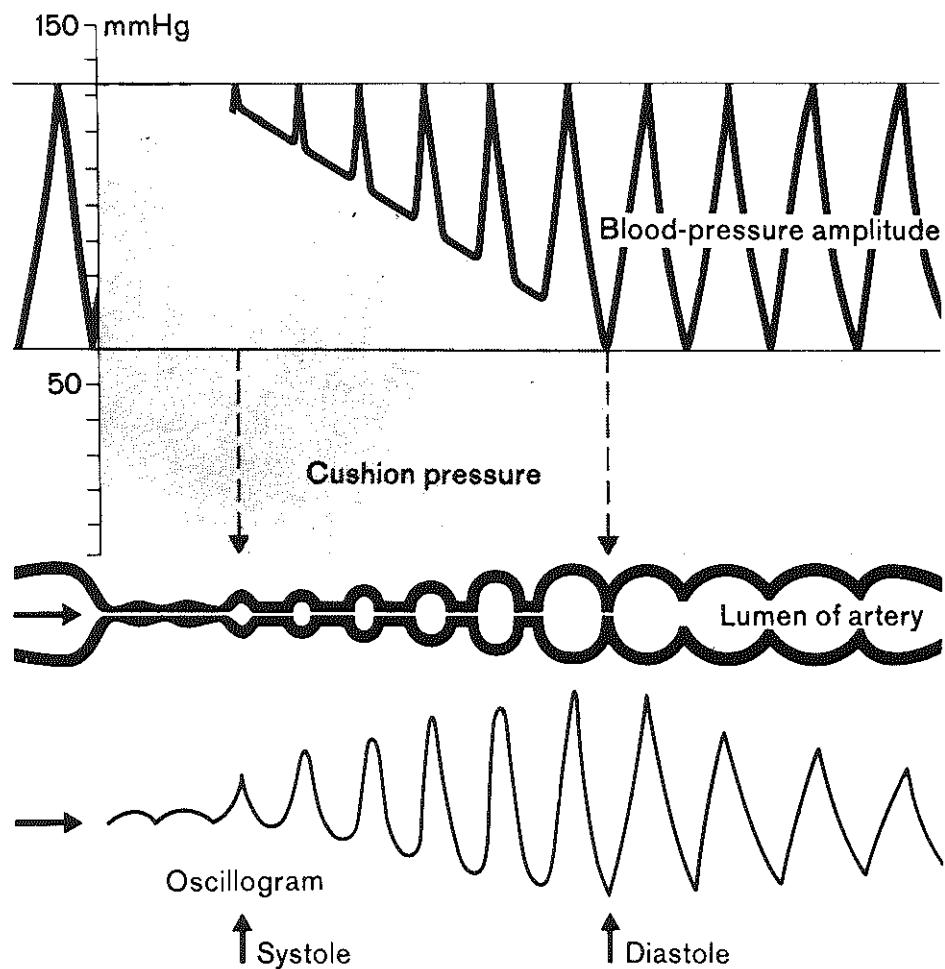


Abb. 6 Schematische Darstellung des Oszillogrammes und der Kriterien für den systolischen und diastolischen Ophthalmicblutdruck. (Aus Hager H.: Triangel, Sandoz-Zeitschrift für medizinische Wissenschaft, 7/6, 1964).

warten dass eine zunehmende Füllung des orbitalen Gefässgebietes die Form der Oszillationen beeinflussen wird. Darüber ist jedoch noch nichts bekannt. Dagegen kann bereits die Schlussfolgerung gezogen werden, dass besonders bei Patienten mit verletzlichen (retinalen) Gefässen, die Phase in der die Venen wohl, die Arterien jedoch nicht verschlossen sind, so kurz wie möglich gehalten werden soll.

3. Methodik

Bei der Ophthalmodynamographie werden mittels Adaptationsringe Kapseln auf die Orbitaeingänge gestellt und zwar derartig dass diese ganz verschlossen werden.

An den Kapseln sind dünne Gummiballone befestigt, welche sich bei erhöhtem Druck an die

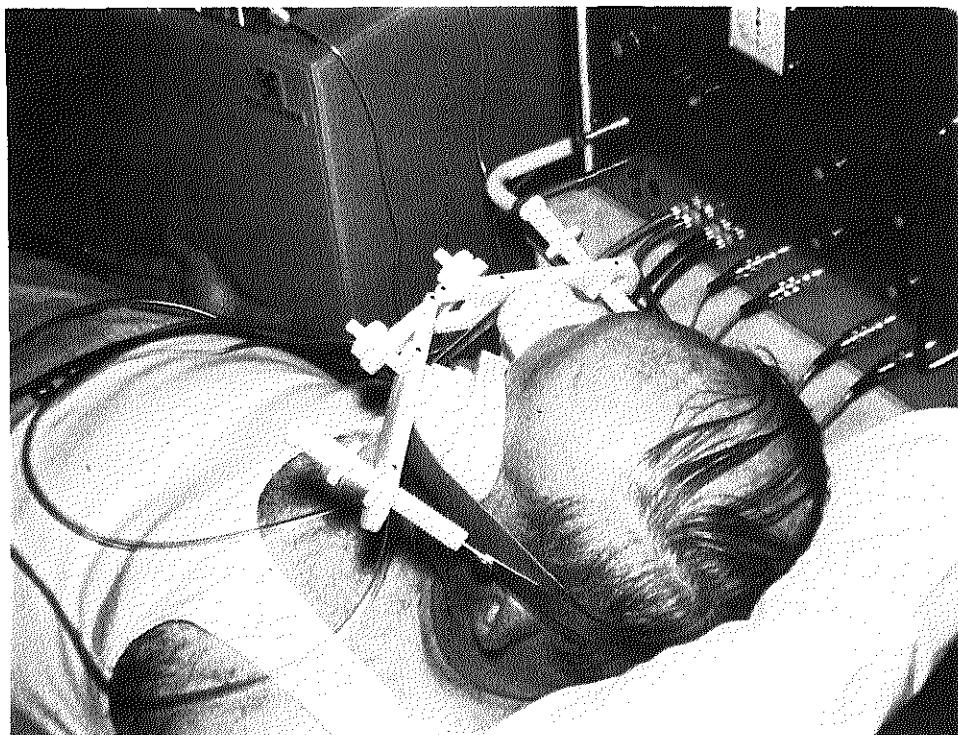


Abb. 7 Ophthalmodynamographie (Übersicht). Druckkammer auf beiden Augen. Stahlbandfixation. Rechts oben ODG-22, links oben Schwarzer-varioscript 822.

Augenlider und an die Adaptationsringe legen und auf diese Weise dem Ausströmen der Luft vorbeugen werden. Die beiden Kapseln werden zuerst mittels eines Gummibandes über den Hinterkopf *in situ* gehalten. Mittels eines Kunststoffbügels mit einem Metallband das gleichfalls über den Hinterkopf gelegt wird, werden die Kapseln endgültig fixiert. Mittels Stellschrauben kann die Kraft mit der die Adaptationsringe auf den beinigen Orbitarand gedrückt werden, von 1-3 kg variiert werden. Schliesslich befinden sich beiderseits des Bügels Gegen schrauben, so dass, wenn einmal mit einer bestimmten Kraft angedrückt, die Apparatur nicht mehr vom Haupt des Patienten aufgehoben werden kann. Das sorgfältige Anlegen dieser Apparatur ist von grösster Bedeutung — damit steht oder fällt die Zuverlässigkeit der Regis trierung. Um den Oberarm wird eine 13 cm breite Blutdruckmanschette angelegt; darunter befindet sich ein kleines Mikrophon das demselben Zweck dient als der Stethoskop bei normaler Blutdruckmessung. Die Augenkapseln, Manschetten und Mikrophone werden an die mit einem Registriergerät verbundene ODG-Apparatur angeschlossen. Die folgende Figur zeigt die Aufstellung der Apparatur und das Anlegen der Augenkapseln (Abb. 7). Das Eindrücken des zutreffenden Knopfes erhöht jetzt maschinal den Luftdruck in den Augenkapseln und Blutdruckmanschetten bis über den systolischen Blutdruck. Mittels des Eindrückens des Messknopfes wird dieser Druck allmählich jedoch continu herabgesetzt, wobei automatisch die Höhe des Druckes auf dem Streifen registriert wird. Gleichzeitig werden jetzt die Ge

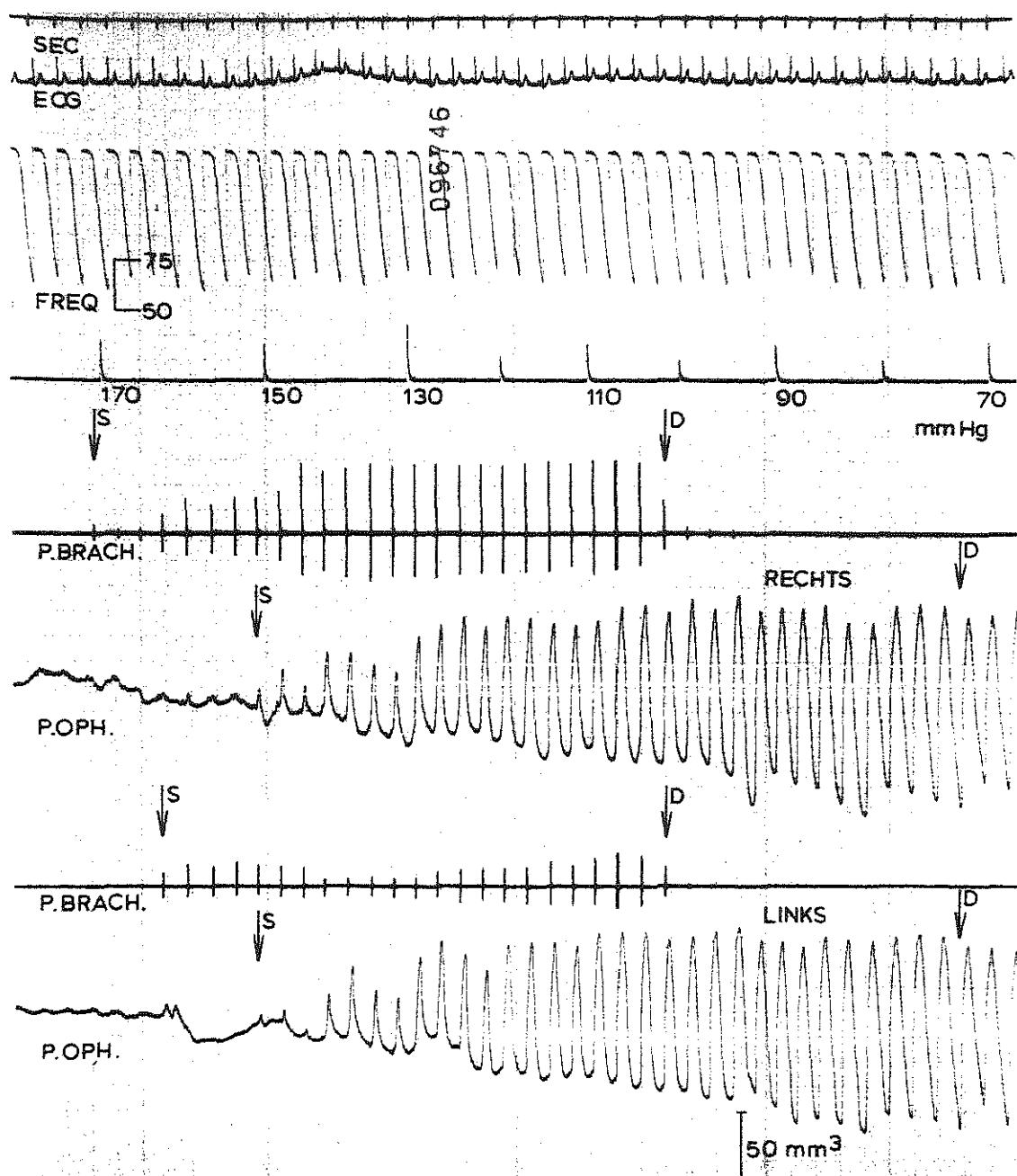


Abb. 8 Normales Ophthalmodynamogramm Von oben nach unten: Zeitmarkierung (sec), Elektrokardiogramm (ECG), Herzfrequenzintegration (Freq), Druckabfallmarken (mmHg), Korotkow-Geräusche rechts (Pbrach), Orbita-Oszillogramm rechts (Poph), Korotkow-Geräusche links (Pbrach) und Orbita-Oszillogramm links (Poph). S = systolischer Druck, D = diastolischer Druck. Eichung: 15 mm = 50 mm³. Papiergehwindigkeit: 0.5 mm/sek.

fässgeräusche in den Arteriae brachiales und die Bulbus-orbita-Oszillationen registriert. Abb. 8 zeigt ein auf diese Weise aufgenommenes normales ODG. Als Papiergeschwindigkeit wird meistens 0.5 cm/Sek. gewählt, der Abfall des Kompressionsdrucks ist meistens eingestellt auf 10 mm Hg/0.5 Sek. Zur Vergleichung des Grösse der Bulbus-orbita-Oszillationen gibt es die Möglichkeit einen Eichimpuls von 50 mm³ zu erzeugen. Die beiden zutreffenden Kanäle werden identisch eingestellt, so dass die Eichung einem Ausschlag von 10 oder 15 mm entspricht. Daraus kann das Pulsationsvolumen in mm³ berechnet werden. Für die Aufnahme des statischen ODG gibt es die Möglichkeit das Ventil das die Drucksenkung bestimmt völlig zu schliessen. Für die Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle kann bei hoher Papiergeschwindigkeit (100-200 mm/Sek.) nebst dem ODG ein Karotissphygmogramm registriert werden.

Seit 1956 wurden die Apparatur und die Augenkapsel erheblich verbessert (Otto 1974). Der erste ODG-Apparat bot nur die Möglichkeit die Bulbus-orbita-Oszillationen und die Korotkowtöne einseitig zu registrieren. Dies hatte den Nachteil, dass zwischen den Messungen rechts und links die physiologische Lage des Patienten wechseln konnte, so dass sich anscheinend Differenzen zwischen links und rechts ergeben könnten.

Beer und Strätz (1969) wiesen darauf hin, dass unter dem Einfluss des oculokardialen Reflexes sich zuerst eine Vergrösserung des Pulsationsvolumens zeigen kann, wonach — besonders bei Vagotonie — eine Bradykardie erfolgen kann. Dieser störende Faktor kann beseitigt werden indem man zwischen 2 Messungen wenigstens 5 Minuten Zeit nimmt.

Mittels des ODG-22 kann jedoch gleichzeitig das ODG links und rechts wie auch die Korotkowtöne links und rechts registriert werden. Dies ermöglicht einen Vergleich der Zeitbeziehungen dieser vier Grössen. Die Zeitkonstante des ODG-Apparates war — der Wichtigkeit des Charakteristikums der spitzen Fusspunkte wegen — kurz gehalten (0.5 Sek.). Zur Registrierung der Oszillationen bei konstanter Kompression und grosser Papiergeschwindigkeit und in der Absicht die Kurven formcharakteristisch zu analysieren, erwies sich eine längere Zeitkonstante als erwünscht (Otto und Barbey — Diskussionsbemerkungen in Finke 1974). Wir verfügen jetzt über einen ODG-22 bei dem, zur erwähnten Registrierung, eine längere Zeitkonstante (1.2 Sek.) eingeschaltet werden kann. Ausserdem musste bei der ersten Ausführung des ODG-Apparates der Luftdruck mit der Hand erhöht werden, wozu bei späteren Ausführungen eine Pumpe eingebaut wurde welche eine gleichmässige Druckerhöhung ermöglicht.

Was die Anpassung der Kapsel an den Eingang der Orbita betrifft, verfügen wir jetzt über vier Adaptationsringe verschiedener Form, so dass für praktisch jede Gesichtsform eine ideale Adaptationsmöglichkeit vorhanden ist. Im Anfang wurden die Augenkapseln fixiert mittels eines Leinenbandes welches mit der Hand angezogen werden musste. Dies hatte zwei Nachteile: erstens war das Material einigermassen elastisch und zweitens konnte die Kraft der Befestigung nicht dosiert werden. Jetzt wird ein Bügel mit Stahlband benutzt wobei die Kraft des Anlegens von einer eingebauten auf 1, 2 und 3 kg einstellbaren Federvorrichtung bestimmt wird. Ausserdem ist der Bügel mit einer Kontrafixation versehen, so dass nach Einstellung die Apparatur nicht mehr abgehoben werden kann.

Dank allen diesen Massnahmen ist die Zuverlässigkeit der Druckankopplung stark vergrössert. Für den Patienten ist die Beschwerde verringert indem der Druck gleichmässig über dem ganzen Orbitaeingang beiderseitig verteilt ist. Die Untersuchung wird im allgemeinen gut ertragen, und das subjektive visuelle Empfinden der kurzen Ischämie der Retina lenkt die Aufmerksamkeit von der auf die Orbita ausgeübten Kompression ab. Obwohl bis jetzt keine Komplikationen der ODG beschrieben wurden erscheint es dennoch vernünftig gewisse Umstände als Kontraindikationen zu betrachten. Als solche erwähnen wir: Status nach intraoku-

lären Eingriffen, ulzerierende Entzündungsprozesse, schwere Formen der Myopie und Disposition zu oder schon existierende Ablatio retinae.

Nach der Meinung von Henkes (persönliche Mitteilung) bilden die letzteren zwei jedoch keine Kontraindikation, ebensowenig wie Blutungen in Retina oder Kammerwasser, ausgenommen bei einem Verschluss der Vena centralis retinae.

Junge (persönliche Mitteilung) gibt eine Warnung gegen ODG-ODM-Untersuchungen bei Retinopathien mit Gefässneubildung. Nach der Meinung von Fischbach und Harrer (1969) ist Vorsicht zu empfehlen bei Stauungspapillen und Ödem der Retina. Wir betrachten zum Schluss Anweisungen einer gestörten Reizleitung im EKG als eine Kontraindikation.

4. Eigene Aufstellung

Ein ODG wird meistens hergestellt bei Patienten bei denen man denkt an verschliessende Prozesse der extrakraniellen afferenten Arterien. Häufig erleiden sie ausserdem eine Atherosklerose in anderen Teilen des Körpers und namentlich liegt häufig eine Koronarsuffizienz vor. Grundsätzlich darf man erwarten, dass eine Kompression der Augen bis zu 200 mm Hg zu einem tüchtigen oculokardialen Reflex Anlass geben kann. Nach der Meinung von Klaiber (1969) führt die Behandlung unter der Belastung des ODG beiweilen zu einer Pulsverzögerung, jedoch nicht zu einer Blutdrucksenkung. Meistens nimmt der Blutdruck während des ODG mässig zu, so dass man ihn nicht als Ruhewert betrachten darf. Eine starke Blutdrucksteigerung während der Untersuchung deutet wohl auf eine (Neigung zur) labile(n) Hypertonie hin.

Derka (1973) zog eine analoge Schlussfolgerung: bei 61% seiner 150 Patienten nahm der systolische Blutdruck während des ODG um maximal 45 mm Hg zu, bei 14% der Untersuchten senkte sich der Druck um maximal 20 mm Hg, bei 25% blieb er unverändert. Bei 497 ODGen, zwischen 1968 und 1973 mittels der unilateralen Methode hergestellt, stellten wir einmal eine vorübergehende Bradykardie von 30/Min. fest. Wir haben deswegen die Regel gestellt, dass wenn Anamnese oder Untersuchungen dazu Anlass geben sollten, zuerst ein Internist befragt wird. Ausserdem wurde, als im September 1973 die bilaterale Methode eingeführt wurde, eine Aufstellung gewählt wobei eine Ableitung des EKG und eine Frequenzintegration davon mitregistriert werden, so dass der Frequenzverlauf und das EKG unmittelbar kontrolliert werden können. Von den 3 Standardableitungen des EKG wird diejenige Ableitung gewählt in der die Q-Zacke (Anfang der Depolarisation des Myokards) sich am deutlichsten zeigt.

Die Mitregistrierung des EKG bietet noch die folgenden zwei Möglichkeiten: bei der Registrierung mit hoher Papiergeschwindigkeit (10 cm/Sek.) kann man eine Zeitdifferenz zwischen dem Eintreten der Korotkowgeräusche (oder dem Eintreffen der Pulswelle in der Arteria brachialis) aufspüren. Kombiniert mit einer Senkung des Brachialblutdrucks an der verzögerten Seite, kann dies deuten auf einen Subclaviaverschluss und das kann wieder ein Zeichen der Anwesenheit eines Subclavian-Steal-Syndroms sein. Wenn man jedoch die Zeitdifferenz zwischen dem Eintreten der Q-Zacke des EKG und dem Korotkowton (Q-Korotkowzeit) feststellt und die Entfernung der Aortaklappen von der Fossa cubiti durch diese Differenz teilt, so wird das so festgestellte Verhältnis Entfernung/Latenz mit dem der anderen Patienten vergleichbar sein.

Demselben Gedankengang kann bei der Latenz zwischen der Q-Zacke des EKG und dem Eintreffen der Pulswelle in der Orbita (Q-Oszillationszeit) gefolgt werden. Eine Verzögerung an einer Seite kann deuten auf einen Verschlussprozess in den Karotiden. Die Berechnung des Verhältnisses zwischen der Entfernung und der Latenzzeit von den Aortenklappen bis zum

Orbitaeingang macht die festgestellten Werte wieder mit einander vergleichbar.

Schliesslich nehmen wir zur Bestimmung der genauen Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle im Karotisgebiet die Herztones auf. Die genannte Fortpflanzungsgeschwindigkeit wird berechnet indem man die Entfernung zwischen Aorta und Orbitaeingang durch die Zeitdifferenz zwischen dem Anfang des zweiten Herztones und der Inzisur der ODG-Pulsationen teilt.

Nach der Meinung von Meijer-Erkelenz und Ksinsik (1972) muss man bei diesen Bestimmungen mit einem Verspätungsfaktor (T_e) der Apparatur rechnen. Der wichtigste Teil davon wird sich im pneumatischen System befinden. Wenn man ausgeht von der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Druckwellen in atmosphärischer Luft (332 m/Sek.) entspricht dies bei einer Schlauchlänge von 1 m nur eine Dauer von 0.003 Sek., die zu vernachlässigen ist. Die Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle auf die obenerwähnte Weise erscheint uns grundsätzlich zu bevorzugen vor der aus der Entfernung Arteria carotis communis — Arteria ophthalmica und der Zeitdifferenz zwischen den Fusspunkten eines Karotissphygmogrammes und den ODG-Pulsationen abgeleiteten Berechnung. Dabei macht man das Karotissphygmogramm ungefähr am Ort wo sich meistens die Stenose befindet (bei der Bifurkation).

Bei der von uns bevorzugten Methode befindet der Verschlussprozess sich jedoch meistens ungefähr halbwegs im Messbereich. Da jedoch bei pathologischen Oszillationen die Inzisur meistens fehlt, so wird man in solchen Fällen dennoch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle aus der Differenz der Fusspunkte berechnen oder aber die Q-Oszillationszeit messen müssen.

Eine Übersicht der obenbesprochenen Zeitbeziehungen gibt Abb. 9.

Für die statische Registrierung angesichts der Formanalyse der Kurven wird gleich nach dem Aufnehmen des klassischen ODG das Ventil das eine ständige Drucksenkung in der Armmanschette und Augenkapsel hervorruft, geschlossen. Der Druck in der Augenkapsel wird auf dem Niveau des diastolischen Ophthalmicadrucks (erkennbar an den maximalen Ausschlägen und den spitzen Fusspunkten) eingestellt und die Pulsationen werden registriert bei einer Papiergeschwindigkeit von 2.5-5 und 10 cm/Sek. Von den Initialkurven haben wir zugleich die Subtraktion sowie deren erste Ableitung nach der Zeit (Differentiation) geschrieben. Die elektronische Apparatur dazu wurde von Dipl. Ing. E. Diekema gebaut. Über diese Aufstellung wurde schon anderswo eine vorläufige Mitteilung getan (Strik 1975, 1976).

Ein Bild dieser Kurven bei einer normalen Versuchsperson zeigt Abb. 10. Eine Erläuterung fordert an erster Stelle die Wahl des diastolischen Ophthalmicawertes zur Kompression. Diese ist basiert auf dem Gedanken, dass bei einer Kompression auf diastolischem Niveau die Gefässwand den intravasalen Druckschwankungen maximal folgt. Beschränkende Faktoren sind hier selbstverständlich der Verlust der Elastizität der Gefässwand und der Elastizitätsgrad des Gewebes in dem sich die Arterie befindet. Ein Vorteil dieser Wahl des diastolischen Druckniveaus ist weiter, dass sie die graphische Analyse ermöglicht bei Patienten mit ernsteren Formen der Hypertonie, bei denen die systolischen Ophthalmicawerte nicht festgestellt werden können.

An der ursprünglichen Kurve können folgende Eigentümlichkeiten festgestellt werden. Der ansteigende (anakrote) Schenkel der Kurve besteht aus zwei Teilen. Während einer kurzen Zeit (percussion wave time) zeigt die Kurve einen steilen Steigungswinkel. Demnächst nimmt die Steilheit der Steigung ab bis der Gipfel der Kurve erreicht worden ist. Die ganze Dauer bis der Gipfel erreicht ist, nennt man crest time oder tidal wave time. Daraufhin senkt sich die Kurve, welche Senkung von der Inzisur unterbrochen wird. Die Zeit welche bis zum Eintreten der Inzisur verläuft, wird incisural time genannt. Daraufhin fällt die Kurve allmählich ab bis

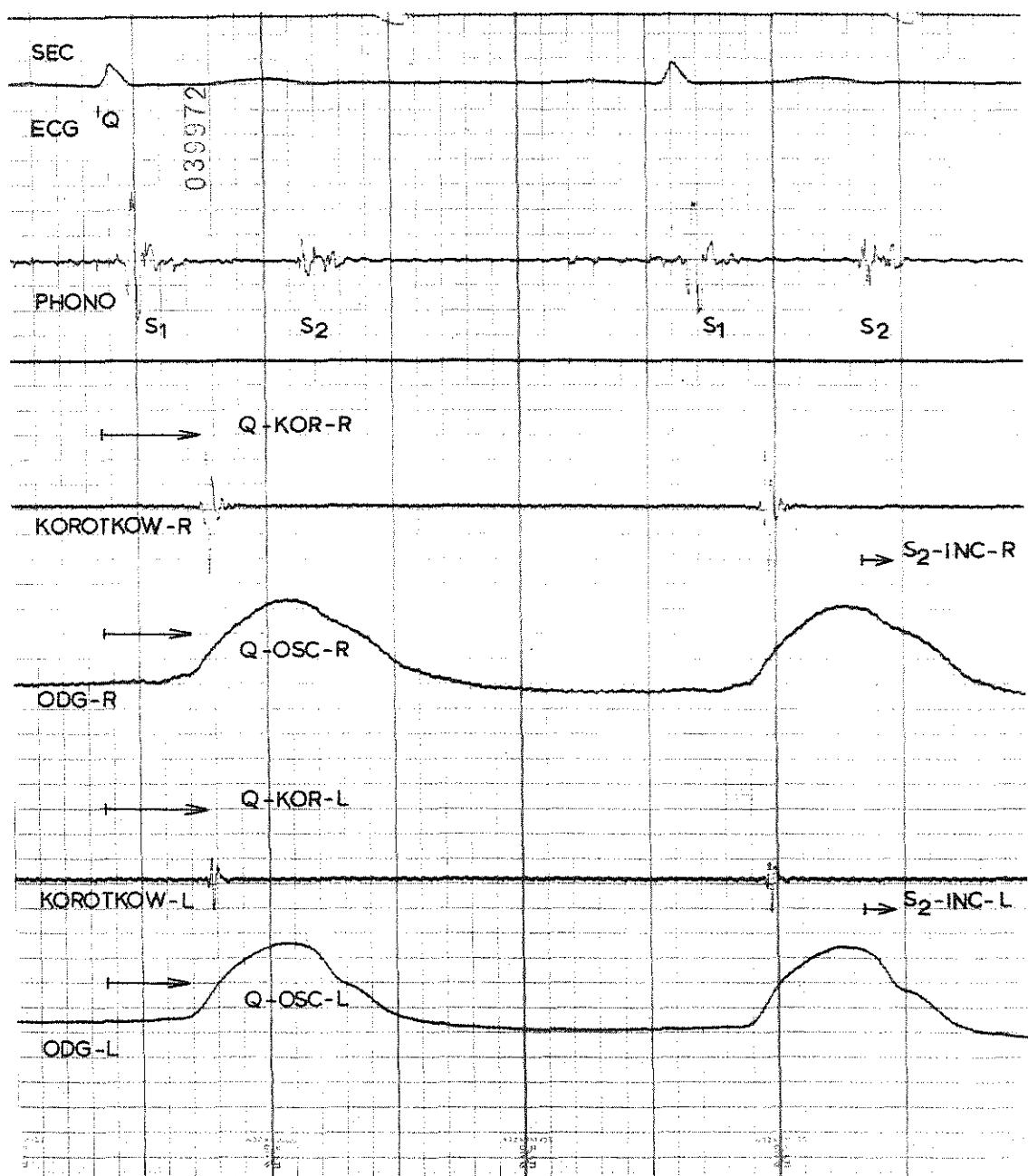


Abb. 9 Zeitliche Zusammenhänge von EKG, Phonokardiogramm, Korotkow-Geräusche rechts und links und ODG-Pulsationen rechts und links.

Angegeben sind: die Q-Zacke vom EKG, der erste (S_1) und zweite (S_2) Herztон, Q-Korotkow-zeit rechts und links, Q-Oszillationszeit rechts und links, S_2 -Inzisurzeit rechts und links. Papiergeschwindigkeit 10 cm/sek.

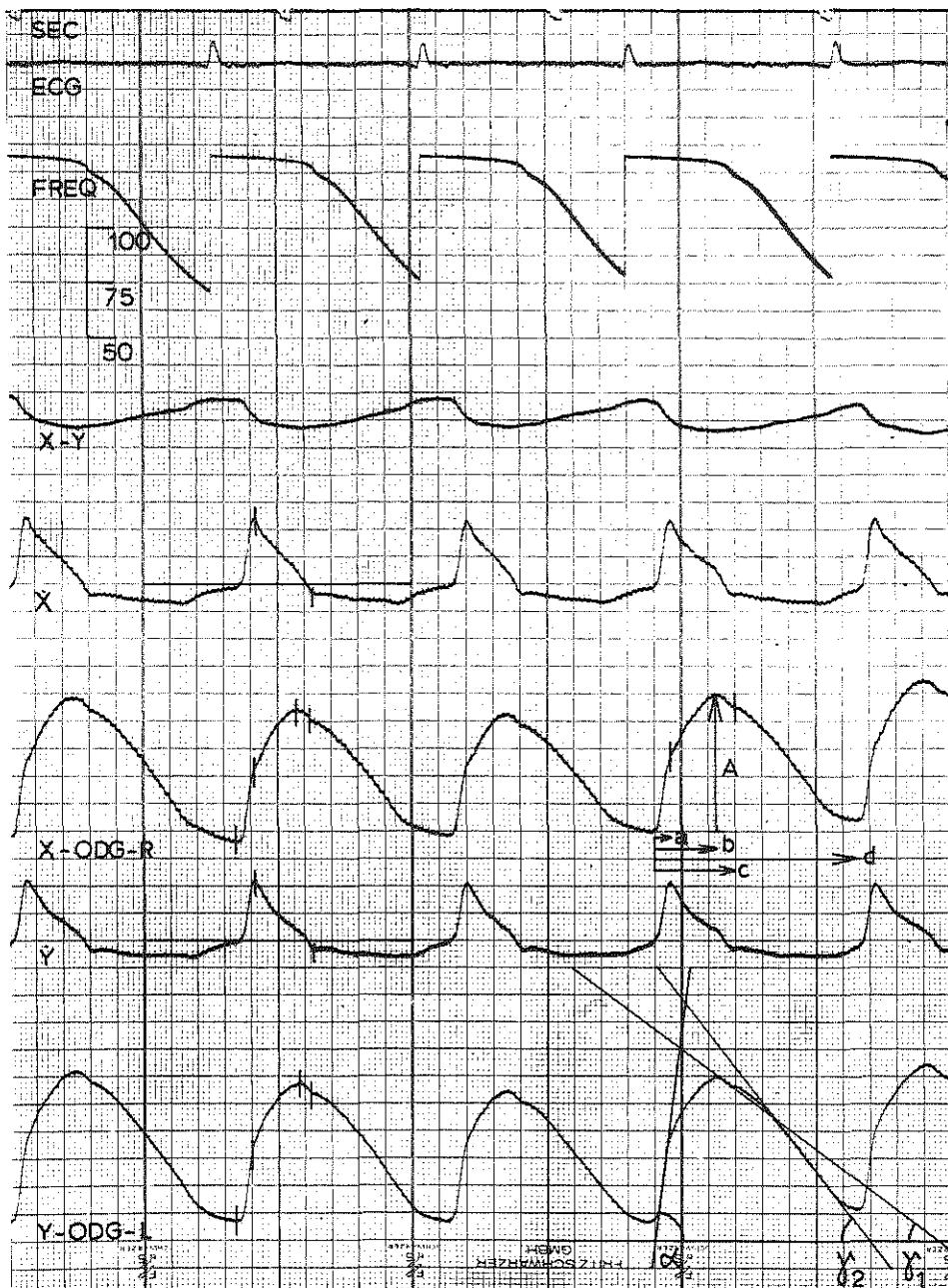


Abb. 10 Statisches ODG Normalfall. Kompression in der Höhe des diastolischen Ophthalmica-wertes. Von oben nach unten: Zeitmarkierung (sec), Elektrokardiogramm (ECG), Herzfrequenzintegration (Freq), Subtraktionskurve (x-y) ODG-rechts minus ODG-links, Differentiation der ODG-Pulsationen rechts (\dot{x}), ODG-Pulsationen rechts (x-ODG-R), Differentiation der ODG-Pulsationen links (\dot{y}) und ODG-Pulsationen links (y-ODG-L). ODG-Pulsation = Orbita-Oszillogramm. A = Amplitude, a = 'Percussion wave time', b = Gipfelzeit, c = Inzisuralzeit, d = Gesamtdauer der Pulswelle. α = Anakroter Winkel, γ_1 = erster katakroter Winkel, γ_2 = zweiter katakroter Winkel. Papiergeschwindigkeit 5 cm/sek.

zum Anfang der nächsten Oszillation. Es können also zwei katakrote Winkel unterschieden werden: der steilste Senkungswinkel zwischen dem Kurvengipfel und der Inzisur und der steilste Senkungswinkel von der Inzisur bis zur folgenden Oszillation.

In der ersten Abgeleiteten kommen diese Abschnitte wie folgt zum Ausdruck. Nach dem Durchlaufen der Null-Linie steigt die Kurve während der percussion wave time steil an zu einem Maximum. Von diesem Punkt ab bis zum Überqueren der Null-Linie, gleichzeitig mit dem Gipfel der ursprünglichen Kurve (nach der tidal wave time) ist eine allmähliche Senkung wahrnehmbar.

Diese setzt sich durch unterhalb der Null-Linie bis ein erstes Minimum erreicht worden ist, das mit dem ersten katakroten Winkel übereinstimmt. Die Inzisur kennzeichnet sich durch eine kurze Unterbrechung der abfallenden Linie, worauf ein zweites Minimum erreicht wird, das mit dem zweiten katakroten Winkel übereinstimmt. Die Form dieser ersten abgeleiteten Kurve stimmt mit den Formveränderungen der ursprünglichen Kurve qualitativ überein. Quantitative Schlussfolgerungen darf man daraus jedoch nicht ziehen. Den Beurteilungskriterien voreiligend kann man jetzt bereits sagen, dass bei pathologischen Prozessen die erste abgeleitete Kurve sogar noch deutlicher als die ursprüngliche Kurve die normalen Eigentümlichkeiten verliert. Nach dieser allgemeinen Beschreibung der Form der Kurve möchten wir auf einige Einzelheiten noch weiter eingehen. Wir gründen uns dabei auf 'Grundlagen und Dynamik des Arterienpulses' von Wetterer und Kenner 1968, 'Non-Invasive Technics in Cardiology' von Wayne 1973, 'The Left Ventricular Ejection Time in Elderly Subjects' von Willem c.s. 1970 und 'Systolische Tijdsintervallen' von Vonk und Clerens 1974. Nach dem Durchlaufen der percussion wave time ist die anakrote Schulter erreicht. Diese könnte wohl den Gipfel des primären Druckpulses vertreten, an welcher Stelle auch die Stromgeschwindigkeit am höchsten ist. Wenn dieses Formcharakteristikum verschwindet, kann der anakrote Winkel kleiner werden ohne dass noch die Amplitude der Oszillation sich senkt oder die crest time länger wird.

Die — u.a. auf den peripheren Widerstand — reflektierten Druckwellen bestimmen den Gipfel der Oszillation welche nach dem Durchlaufen der crest time eintritt. Bei Erhöhung des peripheren Widerstandes tritt das Druckmaximum später ein. Ob und wie die crest time der durch kollaterale Verbindungen entstehenden Oszillationen bei stenosierenden Prozessen sich ändert ist noch nicht zu sagen. Die Inzisurzeit (incisural time) wird an der Austreibungszeit des linken Ventrikels (LVET - left ventricular ejection time) relativiert und diese ist an erster Stelle abhängig von der Herzfrequenz und dem Alter des Patienten (je niedriger die Herzfrequenz und je höher das Alter, um so länger ist die LVET). Außerdem spielen hier die vier Faktoren welche die 'isovolumetrische Kontraktionsphase' bestimmen, nämlich Faserausgangslänge, Widerstand gegen den das Blut ausgeworfen wird, Myokardkontraktilität und Synergie der Ventrikelkontraktion auch eine Rolle. Die schnelle Veränderung der Kurve, welche die Inzisur vertritt, wird stärker gedämpft als die langsameren Veränderungen und zwar besonders unter dem Einfluss des Elastizitätsverlustes der Gefässwand und der Fortpflanzungsstrecke. Der katakrote Teil der Oszillation wird am meisten vom peripheren Widerstand bestimmt. Es wird klar sein dass die Stelle der Inzisur im katakroten Schenkel der Pulsation von multipelen Faktoren, je mit seiner eigenen Variabilität, bestimmt wird.

5. Beurteilungskriterien der Kurven

Wie in den vorgehenden Abschnitten bereits besprochen wurde, können aus den Kurven die Druckwerte (systolischer und diastolischer Ophthalmicablutdruck) und das Pulsationsvolumen abgeleitet werden und kann auch die Form der Kurven weiter analysiert werden.

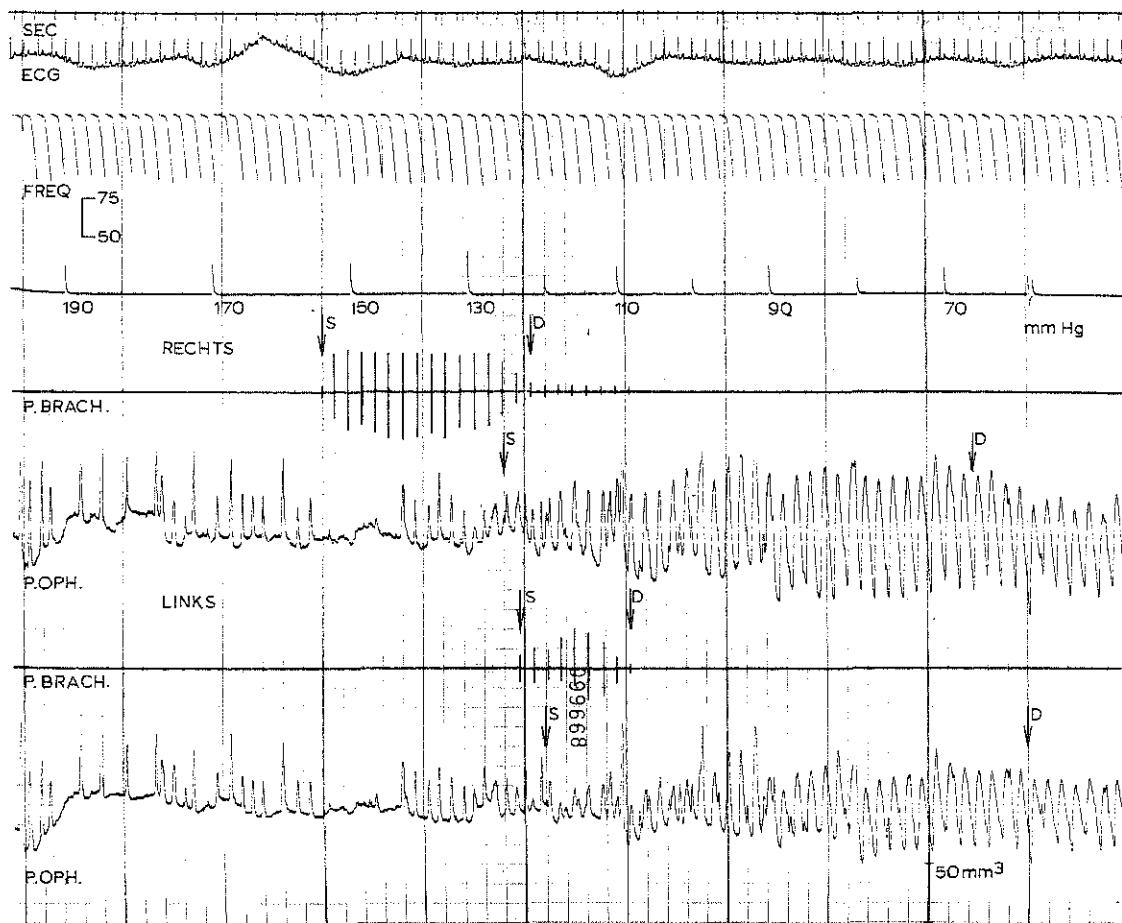


Abb. 11 Ophthalmodynamogramm mit Zwinker-Artefakten. Von oben nach unten: Zeitmarkierung (sec), Elektrokardiogramm (ECG), Herzfrequenzintegration (Freq), Druckabfallmarken (mm Hg), Korotkow-Geräusche rechts (Pbrach), Orbita-Oszillogramm rechts (Poph), Korotkow-Geräusche links (Pbrach) und Orbita-Oszillogramm links (Poph). S = systolischer Druck, D = diastolischer Druck. Eichung: 15 mm = 50 mm³. Papiergeschwindigkeit 0.5 cm/sek.

Der **systolische Wert** wird von dem ersten spitzen Ausschlag (1. systolischen Kriterium) angegeben. In Einzelfällen (namentlich bei stark sklerotischen Gefäßen) werden gelegentlich suprasystolische kleine spitze Oszillationen wahrgenommen, welche bei Verringerung der Kompression im Umfang zunehmen. Zur Bestimmung des systolischen Ophthalmicabluiddrucks wird dann eine Tangente an den Gipfeln der Oszillationen gezogen und eine über den Gipfeln der Restpulsationen. Wo diese Linien einander schneiden befindet sich der systolische Wert (2. systolisches Kriterium - Hager und Horch 1963).

Augenblinzelnartefakte können auf sehr betrügerische Weise ODG-Oszillationen im subsystolischen Gebiet ähnlich sehen. Abb. 11 gibt davon ein Beispiel. Die Spitzen bei einer Kompression zwischen 190 und 150 mm Hg sind leicht als Artefakte zu erkennen.

Bei oberflächlicher Beurteilung würde man den systolischen Ophthalmicablutdruck in der Nähe von 140 mm Hg lokalisieren. Genauere Beobachtung lehrt jedoch, dass nur vom mit dem Pfeil S angegebenen Druck aus ein festes Verhältnis zwischen dem EKG, den Korotkowtönen und den Orbitaoszillationen besteht, so dass an dieser Stelle der systolische Wert abgelesen werden soll.

Für den **diastolischen Ophthalmicablutdruck** gelten gleichfalls zwei Kriterien. Das erste ist das Spitzwerden der Fusspunkte, das zweite das Geringerwerden der Oszillationen. Oft treten diese Kriterien auch in dieser Reihenfolge auf und ist eine gewisse Druckdifferenz zwischen ihnen nachweisbar. In pathologischen Fällen werden die Fusspunkte oft schnell nach den ersten Oszillationen spitz und behalten sie diese Form, während die Pulsationen dieselbe Amplitude behalten. Bei diesen Kurven ist der diastolische Wert schwerlich zu bestimmen. Wie auch bei der Ophthalmodynamometrie wird der mittlere Ophthalmicablutdruck berechnet indem man den diastolischen Wert mit 42% des Pulsdrucks vermehrt.

Der Brachialblutdruck wird anhand der Korotkowtöne wie folgt bestimmt. Der systolische Wert befindet sich auf derjenigen Höhe wo sich das erste Geräusch vortut. Wenn das Geräusch plötzlich geringer wird oder verschwindet, ist der diastolische Wert erreicht worden. Die ophthalmobrachiale Relation (Finke 1966) kann rein deskriptiv als Isotonie, relative cephale Hypertonie und relative cephale Hypotonie bezeichnet werden.

Nach der Meinung von Hager und Horch (1963) gibt es eine enge Korrelation zwischen dem Ophthalmica- und dem Brachialblutdruck. Der Korrelationskoeffizient war 0.985 und für die mittleren Werte wurde das folgende Verhältnis festgestellt:

$$Pm\text{ ophth} = 1.011 Pm\text{ brach} - 2.46 \text{ mm Hg}$$

Das normale ophthalmobrachiale Verhältnis wird überschritten wenn der Ophthalmicablutdruck systolisch mehr als 9 mm Hg grösser ist oder 12 mm Hg niedriger als der Brachialblutdruck. Für den diastolischen Blutdruck gelten als Grenzen +5 und -8 mm Hg und für den mittleren Blutdruck +4 und -7 mm Hg. Man hat jedoch den Eindruck, dass diese Grenzen zu eng sind (Strik 1972).

Für die Berechnung des Pulsationsvolumens (PV) wird zuerst der mathematische mittlere Wert der 6 grössten Ophthalmicaoszillationen (Ap) festgestellt. Eine Vergleichung dieses Wertes mit der Grösse des Eichimpulses (Ae) bei einem bekannten Eichvolumen (PVe) ergibt also das Pulsationsvolumen nach der Formel:

$$PV = \frac{Ap}{Ae} \times PVe \text{ (mm}^3\text{).}$$

Es hat sich herausgestellt, dass der absolute Wert des Pulsationsvolumens erheblich weniger relevant ist als dessen rechts-links Verhältnis.

Dieses Verhältnis, der Quotient des Pulsationsvolumens (PVQ) wird, nach Hager und Seitz (1964), wie folgt berechnet:

$$PVQ = \frac{PV \text{ rechts}}{PV \text{ links}}$$

Durchschnittlich beträgt dieser PVQ 0.99 (± 0.11). Werte niedriger als 0.66 und höher als 1.32 werden eindeutig als pathologisch betrachtet.

Auch nach der Meinung von Finke und Buchtal (1973) und Finke (1974) sollte bei der Beurteilung des ODG der Beschaffenheit der bei erhöhter Papiergeschwindigkeit registrierten Pulsationen Rechnung getragen werden. Eine Methode der Formanalyse sowie Normen werden von diesen Autoren jedoch nicht angegeben.

Zur Untersuchung der Beschaffenheit der Oszillationen haben wir diese zuerst bei einer Papiergeschwindigkeit von 2.5 cm/Sek. registriert. Diese Geschwindigkeit genügt jedoch nicht zur Feststellung etwaiger Unterschiede in percusion wave time und incisural time. Zur

genauen Bestimmung der verschiedenen Zeitpunkte und der Grösse der anakroten und katakroten Winkel ist die Differenzierung der Kurven äusserst wichtig. Wir haben die ODG-Pulsationen **graphisch analysiert** in der von Best c.s. (1971) beschriebenen Weise.

Im Tierversuch wurde von diesem Autor festgestellt, dass bei geringer Stenosierung der Karotis die **Form** der Pulskurve im Strombereich der Arteria ophthalmica bereits Veränderungen zeigt, ehe die Druckwerte sich signifikant gesenkt haben. Dies könnte bedeuten dass für leichte Stenosen die graphische Analyse empfindlicher ist als die Bestimmung der Druckwerte. Siehe in diesem Zusammenhang auch Kapitel II.

Bei den Pulsationen wird an erster Stelle notiert ob eine Inzisur vorliegt. Demnächst wird die Dauer (in Sek.) festgestellt, die crest time (in Sek.) und die Amplitude (in mm).

Weiter werden Tangenten angelegt an den ansteigenden Schenkel der Kurve und an die zwei von der Inzisur von einander abgetrennten Teile des abfallenden Schenkels. Die Winkel welche diese Tangenten mit der Grundlinie machen werden gemessen. Der anakrote Winkel wird mit α bezeichnet, die zwei katakroten Winkel mit γ_1 und γ_2 .

Nebst den Werten von links und rechts (insofern diese sinnvoll verwendbar sind) wird immer das Verhältnis zwischen rechts und links (OD/OS) berechnet. In der Absicht einen Eindruck der normalen Werte der obenerwähnten Kriterien bei den von uns gebrauchten Apparatur und Verstärkung zu bekommen, wurden 24 Versuchspersonen (aus allen Jahrfünften zwischen 15 und 75 Jahren je 1 Mann und 1 Frau) untersucht. Diese waren entweder gesunde Freiwillige oder Patienten mit verschiedenen neuropsychiatrischen Krankheiten, jedoch ohne Anweisungen der zerebrovaskulären oder kardialen Störungen und ohne Einnahme irgendwelcher Psychopharmaka.

Die gefundenen Ergebnisse mit Standardabweichungen waren:

	absoluter Wert	Verhältnis OD/OS
Dauer		1.00
crest time	0.24'' ($\pm 0.04''$)	1.01
Amplitudenverhältnis		1.04
α = anakroter Winkel	82.07° ($\pm 2.68°$)	1.00
γ_1 = 1° anakroter Winkel	68.34° ($\pm 5.38°$)	1.02
γ_2 = 2° katakroter Winkel	60.80° ($\pm 5.76°$)	1.01

Nur bei einer Versuchsperson fehlte rechts die Inzisur. Bei fortschreitender Erfahrung liessen sich zwei pathologische Oszillationstypen unterscheiden:

Typ I:

mit der Form eines recht- zu stumpfwinkligen Dreiecks, einer signifikant gesenkten Amplitude, zu kleinen anakroten (und katakroten) Winkeln und einer nicht zu unterscheidenden anakroten Schulter bzw. Inzisur.

Typ II:

mit der Form eines scharfwinkligen Dreiecks dessen Gipfel oft abgerundet ist, einer normalen oder im Vergleich zu der gesunden Seite sogar erhöhten Amplitude, und trotz des Fehlens der anakroten Schulter und der Inzisur mit einem innerhalb normaler Grenzen bleibenden anakroten Winkel.

Bei beiden Typen verwandelt sich die erste abgeleitete Kurve in eine aspezifische Rundung.

Zur Erläuterung dürften folgende Figuren dienen:

Abb. 12 zeigt an der linken Seite ein normales Bild, jedoch an der rechten Seite zu einer Anonymastenose gehörende Abweichungen d.h. einen gesenkten Brachialblutdruck, einen gesenkten systolischen Wert nebst einem nicht zu bestimmenden diastolischen Wert des Ophthalmicablutdrucks und eine verringerte Amplitude der Pulsationen.

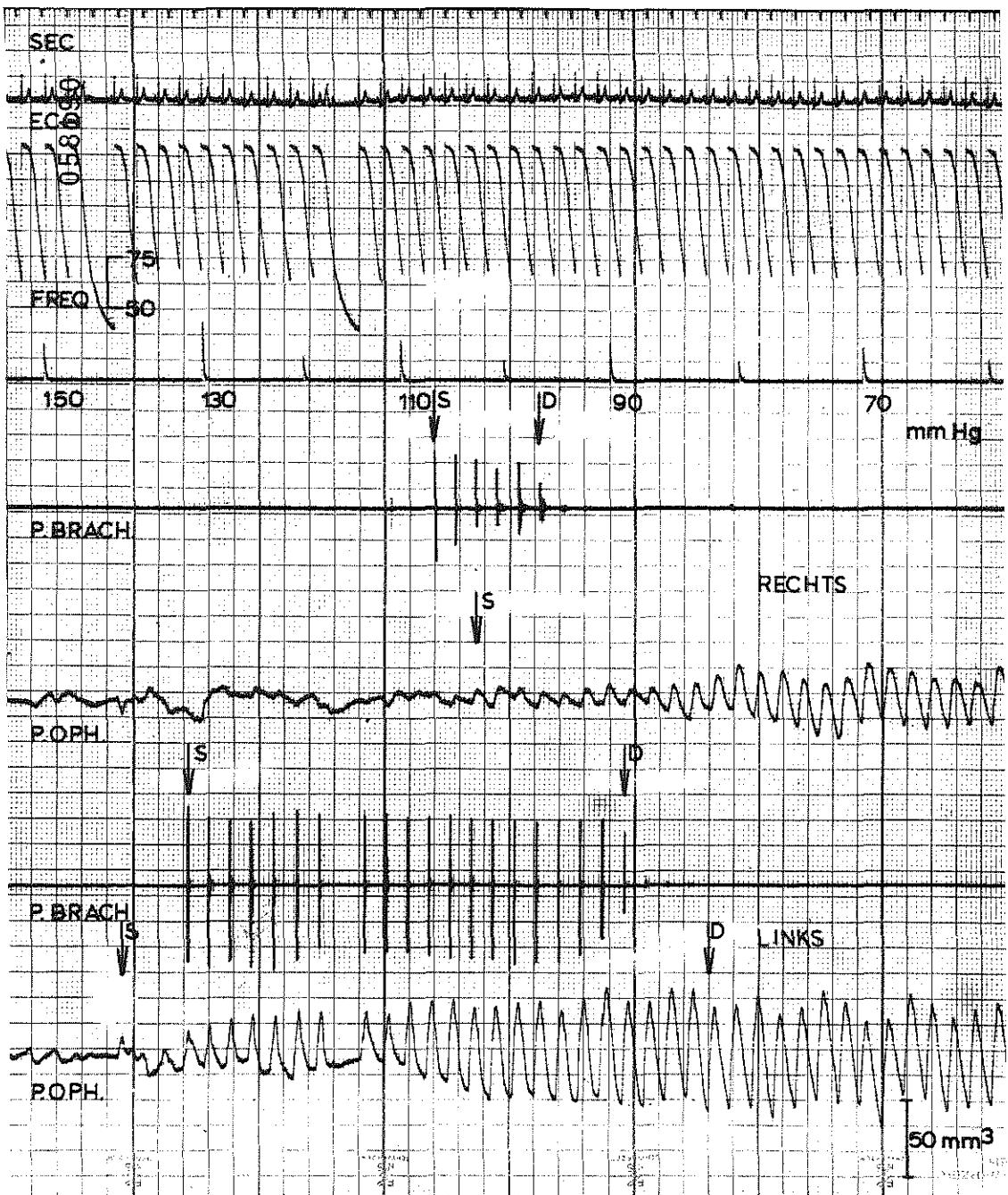


Abb. 12 Ophthalmodynamogramm bei Anonyma - Stenose. Von oben nach unten: Zeitmarkierung (sec), Elektrokardiogramm (ECG), Herzfrequenzintegration (Freq), Druckabfallmarken (mmHg), Korotkow-Geräusche rechts (Pbrach), Orbita-Oszillogramm rechts (Poph), Korotkow-Geräusche links (Pbrach) und Orbita-Oszillogramm links (Poph). S = systolischer Druck, D = diastolischer Druck. Eichung: 15 mm = 50 mm³. Papiergeschwindigkeit 0.5 cm/sek.

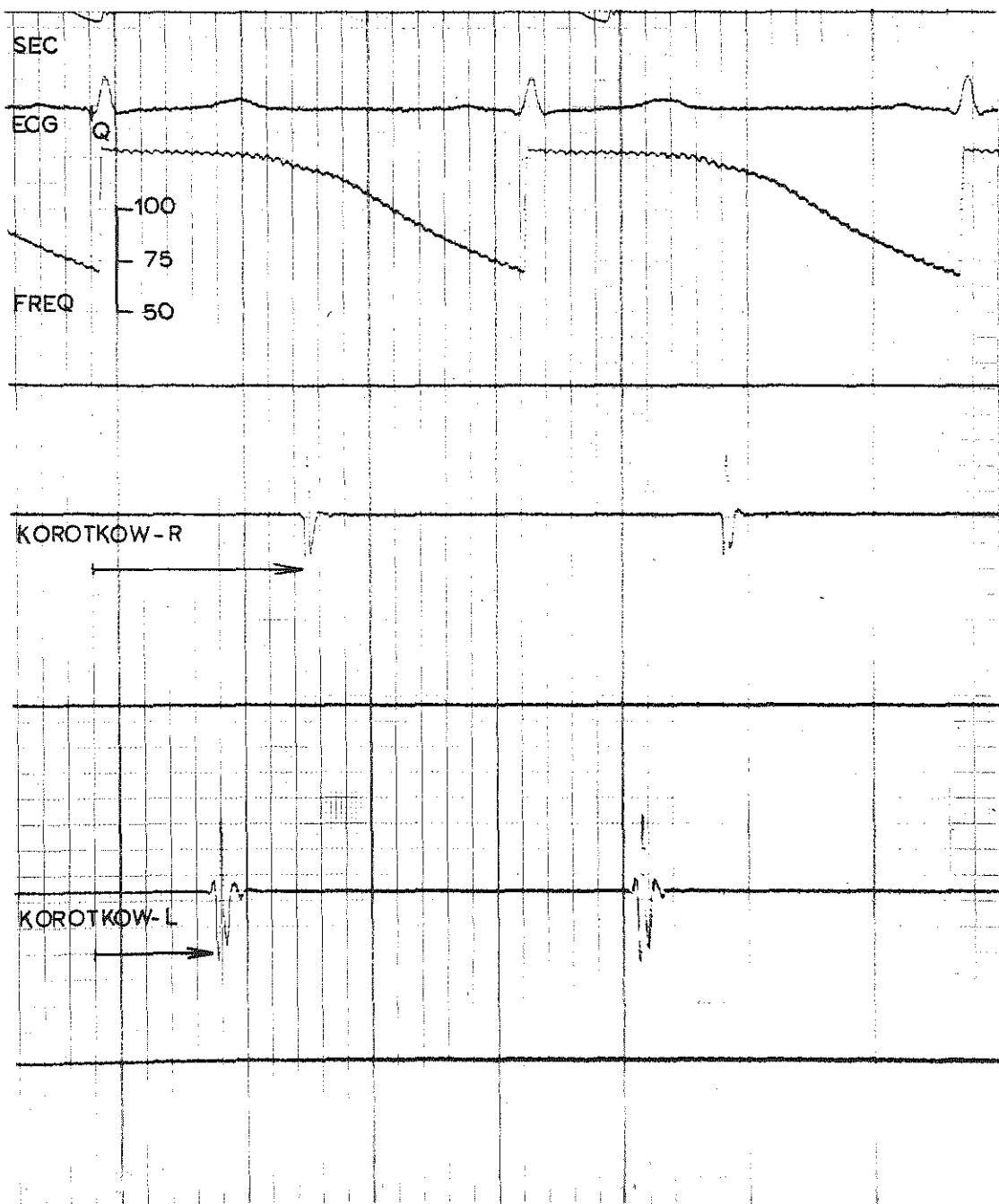


Abb. 13 Anonyma-Stenose. Verspätetes Eintreffen der Korotkow-Geräusche rechts. Von oben nach unten: Zeitmarkierung (sec), Elektrokardiogramm (ECG), Herzfrequenzintegration (Freq), Korotkow-Geräusche rechts (Korotkow-R) und Korotkow-Geräusche links (Korotkow-L). Angegeben sind die Q-Korotkowzeiten rechts und links (Pfeile). Papiergeschwindigkeit 10 cm/sek.

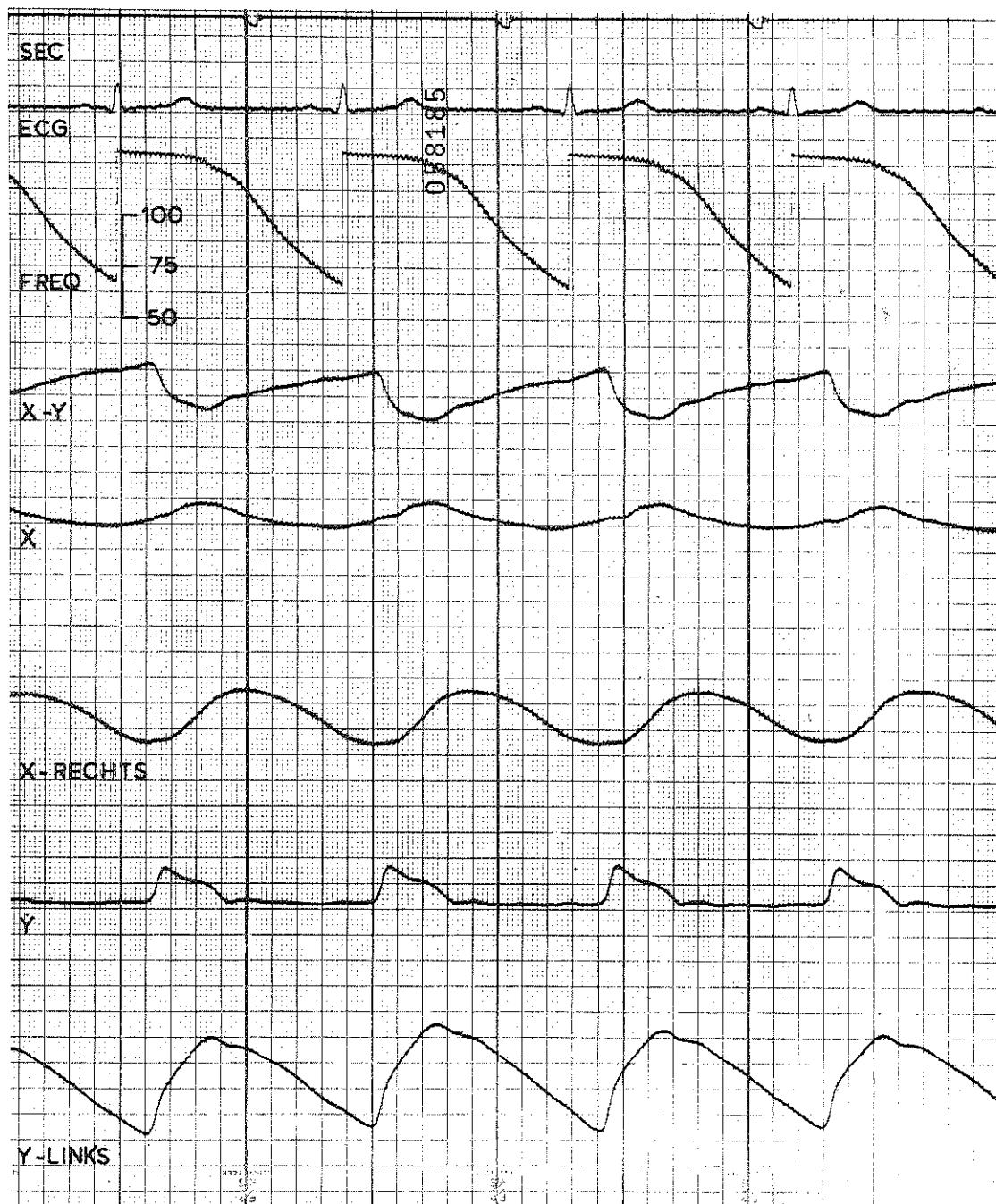


Abb. 14 Statisches ODG bei Anonyma-Stenose Von oben nach unten: Zeitmarkierung (sec), Elektrokardiogramm (ECG), Herzfrequenzintegration (Freq), Subtraktionskurve (x-y) ODG-rechts minus ODG-links, Differentiation der ODG-Pulsationen rechts (\dot{x}), ODG-Pulsationen rechts (x), Differentiation der ODG-Pulsationen links (\dot{y}) und ODG-Pulsationen links (y -links). Papiergeschwindigkeit 5 cm/sek.

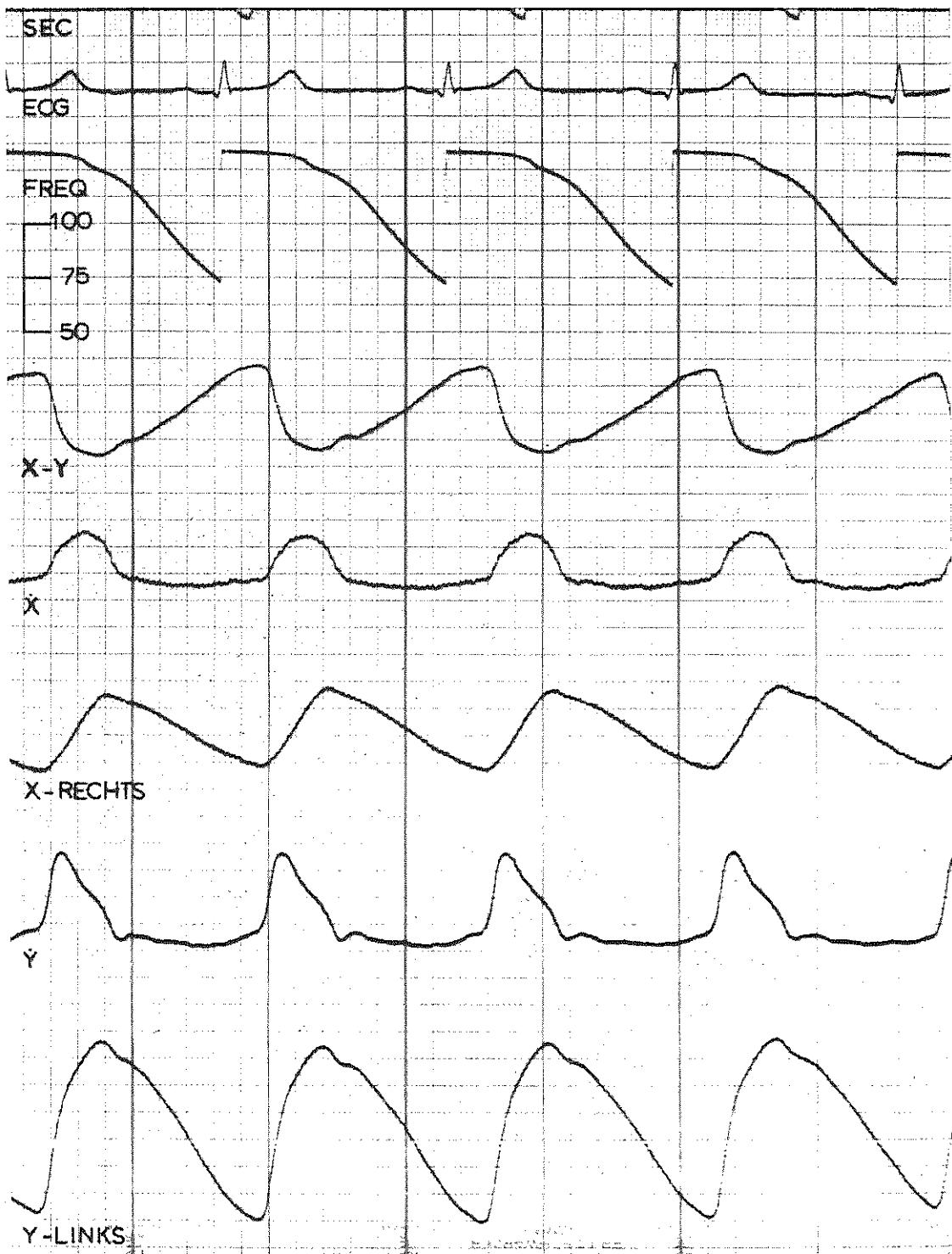


Abb. 15 Deformation der Pulswelle bei 96% Stenose der A. Karotis int. rechts Von oben nach unten: Zeitmarkierung (sec), Elektrokardiogramm (ECG), Herzfrequenzintegration (Freq), Subtraktionskurve (x-y) ODG-rechts minus ODG-links, Differentiation der ODG-Pulsationen rechts (x), ODG-Pulsationen rechts (x-rechts), Differentiation der ODG-Pulsationen links (y) und ODG-Pulsationen links (y-links). Papiergeschwindigkeit 5 cm/sek.

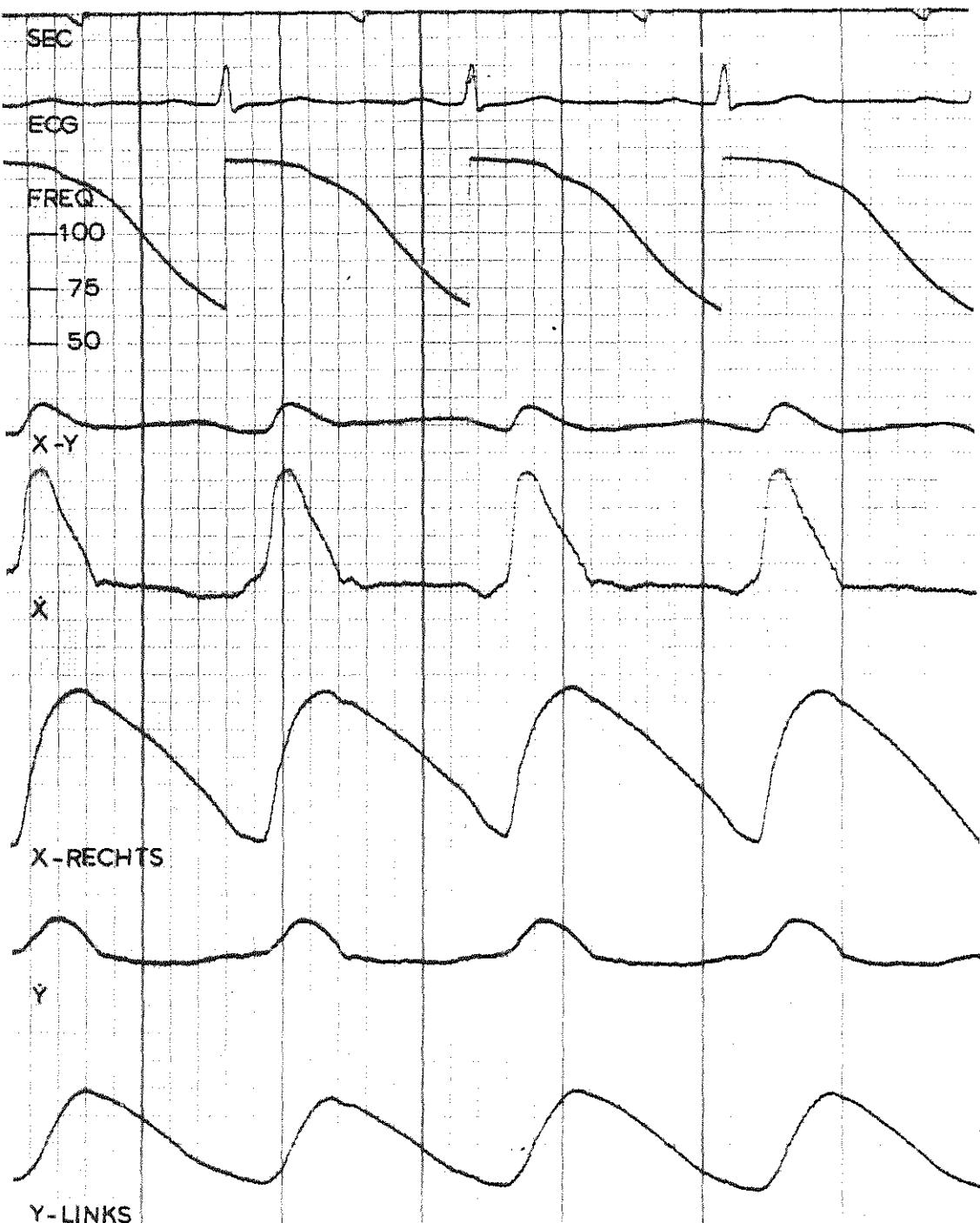


Abb. 16 Deformation der Pulswelle bei 96% Stenose der A. Karotis int. links. Von oben nach unten: Zeitmarkierung (sec), Elektrokardiogramm (ECG), Herzfrequenzintegration (Freq), Subtraktionskurve ($x-y$) ODG-rechts minus ODG-links, Differentiation der ODG-Pulsationen rechts (\dot{x}), ODG-Pulsationen rechts (x-rechts), Differentiation der ODG-Pulsationen links (\dot{y}) und ODG-Pulsationen links (y-links).

Papiergeschwindigkeit 5 cm/sek.

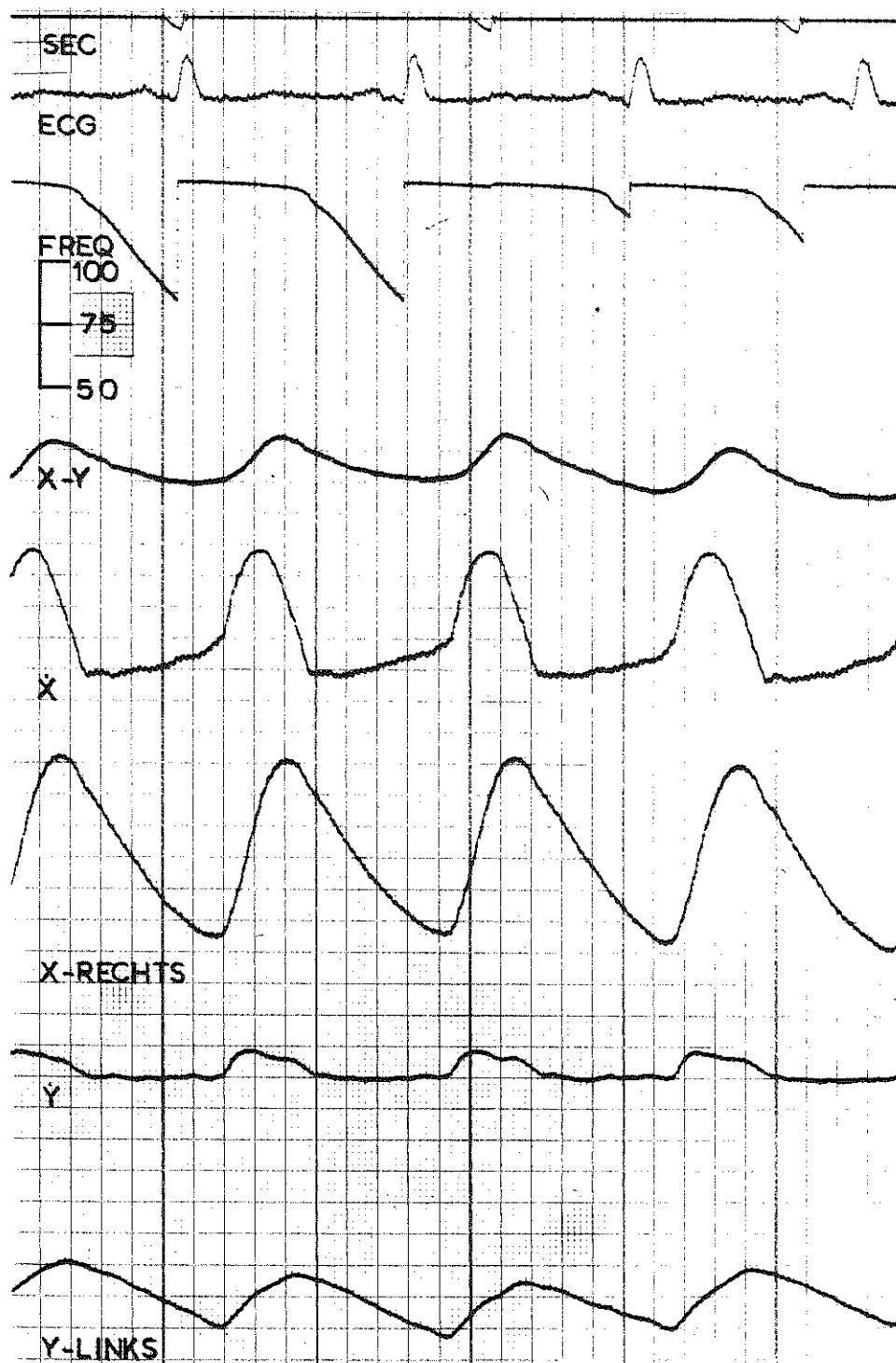


Abb. 17 Doppelseitiger Prozess: rechts 84% Stenose der A. Karotis int. und links Verschluss der A. Karotis int. Zwei Typen pathologischer Oszillationen.

Von oben nach unten: Zeitmarkierung (sec), Elektrokardiogramm (ECG), Herzfrequenzintegration (Freq), Subtraktionskurve (x-y) ODG-rechts minus ODG-links, Differentiation der ODG-Pulsationen rechts (x), ODG-Pulsationen rechts (x-rechts), Differentiation der ODG-Pulsationen links (y) und ODG-Pulsationen links (y-links). Papiergeschwindigkeit 5 cm/sek.

Abb. 13 zeigt die bei hoher Papiergeschwindigkeit (10 cm/Sek.) ersichtliche Verspätung des Eintreffens der Pulswelle in der Arteria brachialis rechts (derselbe Patient).

Abb. 14 zeigt eine statische Registrierung der Orbita-Oszillationen bei Kompression auf diastolischem Niveau und bei einer Papiergeschwindigkeit von 5 cm/Sek. Augenfällig ist die starke Deformation sowohl der ODG-Pulsationen rechts als deren erster Ableiteten: \dot{x} . (derselbe Patient).

Abb. 15 und 16 zeigen in derselben Weise die Deformation der Pulswelle bei einer Karotis interna-Stenose rechts bzw. links. Die Differenzkurven (x-y) sehen am meisten einem Sägezahn ähnlich mit der kürzeren Seite rechts bei einer Störung rechts und der kürzeren Seite links bei einer Störung links.

Abb. 17 schliesslich wurde abgeleitet bei einem Patienten mit bilateralen Störungen. An der linken Seite zeigt sich der Typ I der pathologischen Oszillationen, an der rechten Seite Typ II.

Follmann c.s. (1976) hat sich eines Computers bedient zur Erzielung einer mehr avancierten mathematischen Analyse der ODG-Oszillationen. Zu diesem Zweck wurden die Kurven zuerst auf das Band aufgenommen und nach Analogdigitalkonversion in den Computer eingeführt und in die zusammensetzenden Gauss-Kurven zerlegt.

Es kommt uns vor, dass hier noch ein versprechendes Gebiet brachliegt.

6. Experimentelle Basisdaten

Sayegh und Odwarka (1969) haben die Feststellung der Ophthalmicadrückwerte kritisch beobachtet. Der Grundsatz ihrer Untersuchung ist die theoretische Betrachtung, dass eine ungenügend genaue Anschliessung an den Orbitaeingang mit der Anwesenheit eines Ventils zu vergleichen ist (Abb. 18). Bei einem teilweise geöffneten Ventil werden die Druckwerte zu hoch und das Pulsationsvolumen zu niedrig registriert. Als solche Unvollkommenheiten sind zu betrachten ein zu geringer Anlegedruck und eine zu geringe Länge des Ballons.

Bei Versuchspersonen mit normalem Blutdruck ergaben Anlegedrücke von 1,2 und 3 kg systolische Ophthalmicawerte von durchschnittlich 111,7, 106,7 bzw. 106 mm Hg. Die diastolischen Werte waren 66,9, 64 und 66 mm Hg und die Amplituden 20,2, 23,5 und 23,5 mm.

Verschiedene Länge des Ballons (Membran, 3,5 und 5 cm) lieferten systolische Werte von 132,3, 112,4 bzw. 107,3 mm Hg, diastolische Werte von 94,9, 74,7 und 70,1 mm Hg und Amplituden von 19,8, 24,5 und 24,5 mm.

Da die gemessenen Werte bei Anlegedrücken von 2 und 3 kg nicht mehr verändern, soll der Anlegedruck bei normalem Blutdruck wenigstens 2, bei Hypertonie 3 kg betragen.

Im Abschnitt über die Methodik wurde bereits betont, dass das sehr genaue Anlegen der Adaptationsringe äusserst wichtig ist. Auch wenn der Orbitaeingang nicht vollkommen abgeschlossen ist, entsteht ein Druckverlust und Abb. 19 illustriert die anscheinende Isotonie an der linken Seite, während aus der Kurve an der rechten Seite hervorgeht dass tatsächlich eine relative cephale Hypotonie von 25 mm Hg vorliegt.

Abb. 20 zeigt an der linken Seite die von einem undichten Ballon verursachte Deformation der Kurve.

Das nächste Problem ist ob der mit der Augenkapsel auf die Orbita ausgeübte Druck direkt die Arteria ophthalmica komprimiert oder aber dass mit Druckverlusten zu rechnen ist. Eine Aufklärung darüber kann ein Vergleich des dynamographisch gemessenen Drucks mit dem intravasalen Druck in der Arteria carotis interna geben. Die Auskünfte in dieser Hinsicht sind nicht eindeutig. Nach der Meinung von einigen Untersuchern (Vetter und Nungesser 1965) ist der erstgenannte Druck grösser als der zweite, nach der Meinung anderer Autoren (Garbsch, Kargel, Klein und Siedek 1966) jedoch nicht.

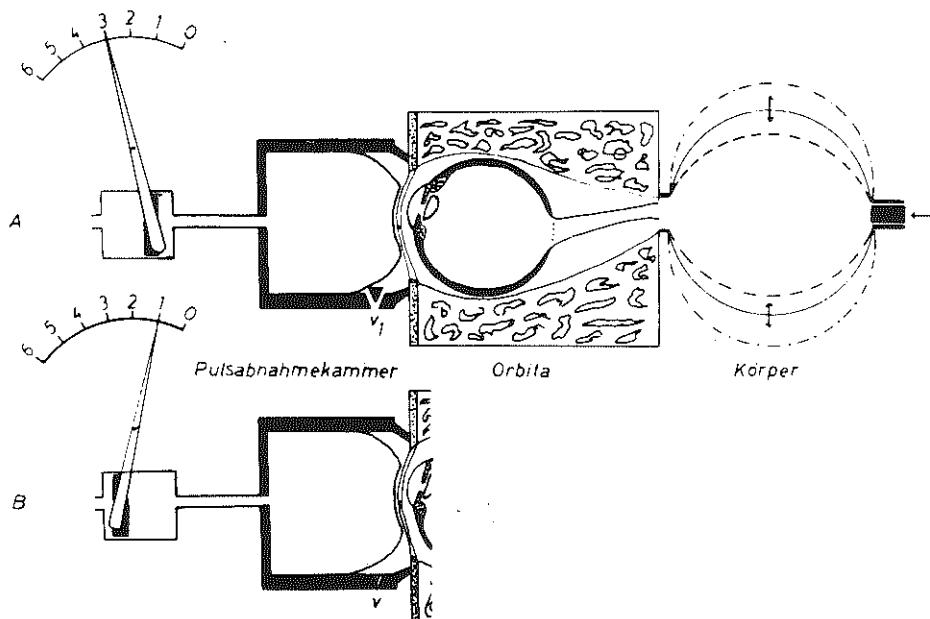


Abb. 18 Schematische Darstellung des Kopplungsmechanismus bei der Ophthalmodynamographie. a Zu locker angelegte Pulsabnahmekammer: Ventil V, halb geschlossen. b Exakt fixierte Pulsabnahmekammer: Ventil V geschlossen. (Aus: Sayegh F., Odwarka H.: Bericht d. Ophthalm. Ges. 70. Verlag J.F. Bergmann, München 1970).

De Marées, Barbey und Hager (1969) kamen dazu anzunehmen, dass mit grosser Wahrscheinlichkeit ein Druckverlust zwischen der Kapsel und der Tiefe des Orbitatrichters stattfindet. Laut einer von de Marées (1969) durchgeföhrten Untersuchung spielt beim Menschen der Tonus der quergestreiften Augenmuskulatur nebst der Elastizität der intraorbitalen Strukturen eine Rolle. Bei 8 Patienten mit normalem Blutdruck wurde in liegender Stellung eine ophthalmobrachiale Differenz von systolisch + 16.0 (± 8.9) mm Hg und diastolisch + 7.5 (± 10.2) mm Hg festgestellt. Man sollte sich jedoch davon bewusst sein, dass in sitzender Stellung aufgrund hydrostatischer Faktoren der Ophthalmicablutdruck etwa 15 mm Hg niedriger sein muss als der Brachialblutdruck. Bei Narkose mit volliger Muskelrelaxation sank die Differenz zu systolisch -0.1 (± 8.8) mm Hg und diastolisch -5.6 (± 8.1) mm Hg. Die Differenz ist systolisch 16.1 (± 6.2) mm Hg und diastolisch 13.1 (± 7.6) mm Hg statistisch signifikant verringert. Kaskel c.s. (1971) konnte diese Befunde bestätigen anhand der erreichten Ergebnisse bei 10 Patienten mit Evipan-D. tubocurarin und bei 24 Patienten mit Evipan-succinyl-bis-cholin.

Aufgrund einer ausgedehnten mathematischen Ableitung kommt de Marées ausserdem dazu zu konkludieren, dass die Messung des Pulsdrucks in dem ODG zuverlässiger stattfinden kann als die Messung der systolischen und diastolischen Werte. Laut einer Untersuchung von Bettelheim und Kessaris (1969) beeinflusst die Ausschaltung des Musculus orbicularis oculi allein (durch Blockierung der innervierenden Fazialzweige mittels Procain) die Druckwerte des ODG nicht.

Bemerkenswert ist jedoch, dass das obenstehende gilt für mit Fixierung der Augenkapsel

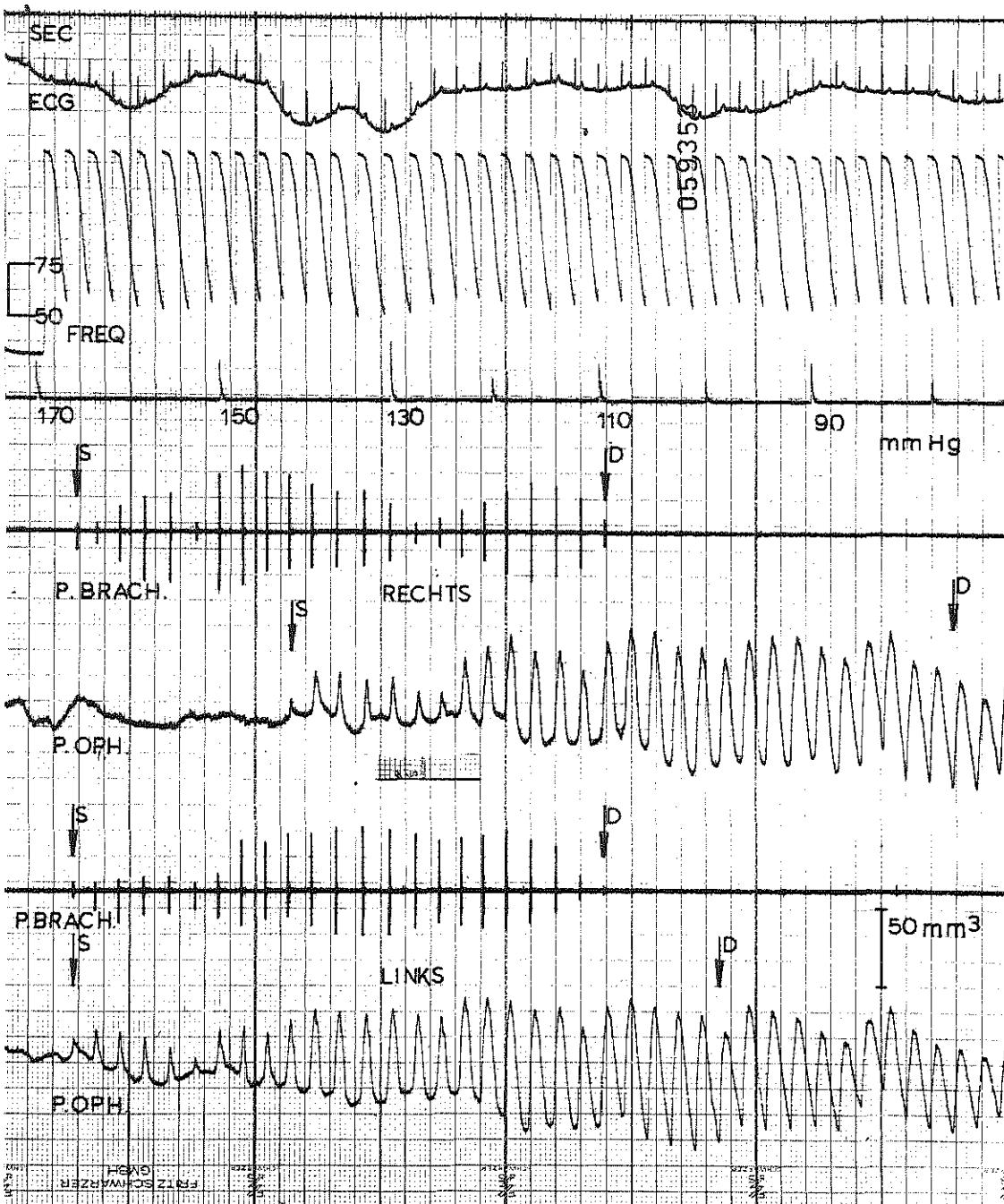


Abb. 19 Mangelhafte Anpassung der Druckabnahmekammer links: scheinbare ophthalmobrachiale Isotonie links.

Von oben nach unten: Zeitmarkierung (sec), Elektrokardiogramm (ECG), Herzfrequenzintegration (Freq), Druckabfallmarken (mmHg), Korotkow-Geräusche rechts (Pbrach), Orbita-Oszillogramm rechts (Poph), Korotkow-Geräusche links (Pbrach) und Orbita-Oszillogramm links (Poph). S = systolischer Druck, D = diastolischer Druck. Eichung: 15 mm = 50 mm³. Papiergeschwindigkeit 0.5 cm/sek.

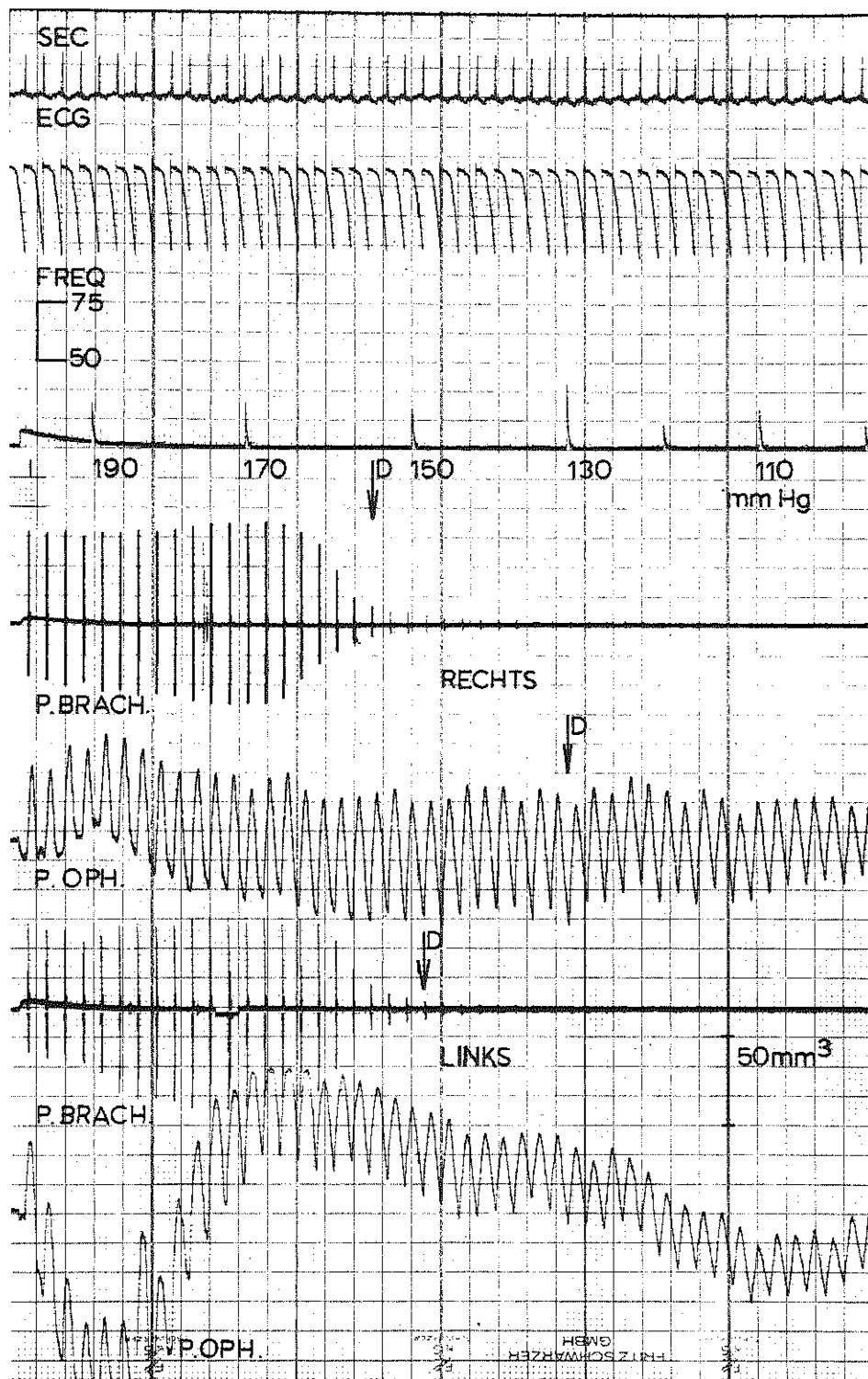


Abb. 20 Artefakt durch einen leckenden Ballon links. Von oben nach unten: Zeitmarkierung (sec), Elektrokardiogramm (ECG), Herzfrequenzintegration (Freq), Druckabfallmarken (mmHg), Korotkow-Geräusche rechts (Pbrach), Orbita-Oszillogramm rechts (Poph), Korotkow-Geräusche links (Pbrach) und Orbita-Oszillogramm links (Poph). D = diastolischer Druck. Eichung: 15 mm = 50 mm³. Papiergeschwindigkeit 0.5 cm/sek.

mittels Leinenbands registrierte ODGs. De Marées und Kaskel c.s. erwähnen in ihren Veröffentlichungen nicht, wie die Kapsel fixiert wird. Wahrscheinlich hat die Fixierung mittels Stahlbands die Druckankopplung erheblich verbessert.

Die Zuverlässigkeit der Interpretation des ODG wurde von Sayegh und Odwarka (1969) geprüft indem sie von einem Untersucher 2 Registrierungen beurteilen liessen und eine Kurve von 2 Untersuchern beurteilen liessen. Die Reproduzierbarkeit erwies sich wie richtig: die Werte des zweiten, 2 Minuten nach dem ersten registrierten ODG zeigten nur Differenzen von -0.5 zu $+1.5$ mm Hg mit Standardabweichungen zwischen 3.9 und 5.6 mm Hg. Die Amplitude war bei der zweiten Messung 1.1 mm grösser. Die Differenz zwischen den systolischen Ophthalmicawerten, von 2 Untersuchern festgestellt, war 0.5 (± 2.1) mm Hg; zwischen den diastolischen Werten 2.1 (± 4.4) mm Hg.

Bezüglich des Pulsationsvolumens wurden sehr verschiedene Werte angegeben und die Frage welche Faktoren hier von Bedeutung sind, wurde von Derka (1972) behufs einer Kombination des monokulären ODG 2 — Hellige Multiscriptor 9400 T studiert. Die wirkliche Grösse davon lässt sich messen indem man die Augenkapsel mit Wasser füllt und das Wasser in einem senkrecht gehaltenen kalibrierten Steigrohr unter Luftdruck des diastolischen Niveaus pulsieren lässt. Dabei findet man Werte zwischen 25 und 50 mm³.

Solange die übrigen Faktoren unverändert bleiben, bleibt auch das PV = Pulsationsvolumen sehr konstant: es zeigt nur Abweichungen um $\pm 6.56\%$ im Vergleich zum Mittelwert.

Derka unterscheidet 3 Gruppen von beeinflussenden Faktoren:

- I Hämodynamische Faktoren
- II Faktoren welche von der Apparatur abhängig sind, und
- III Faktoren welche von der Eichung abhängig sind.

Ad I.

Gefässdilatation und Blutdruckerhöhung ergeben ein erhöhtes PV und umgekehrt.

Ad II.

Zur Bestimmung des Einflusses dieser Faktoren wurde geeicht und wurde ein statisches ODG registriert bei einer Kompression von 70 mm Hg. Der Einfluss der in der Apparatur vorgenommenen Änderung wurde untersucht indem man die Prozentualdifferenz im Vergleich zum Ruhewert berechnete.

Von Bedeutung sind hier: der Inhalt des pneumatischen Systems zwischen ODG-Apparat und Patienten, der Anlegedruck der Augenkapsel (die dabei festgestellte Veränderung stimmt zu dem von Sayegh und Odwarka (1969) erzielten Ergebnis), die Anwendung verschiedener Adaptationsringe, das Ein- und Ausschalten der Apparatur für die Messung des Brachialblutdrucks, das Messen mit ständiger oder abnehmender Kompression und wechslernder Empfindlichkeit der Registrationsapparatur. Eine Übersicht der Auswirkung dieser Faktoren gibt Abb. 21.

Ad III

Hier sind zwei Fehlerquellen vorhanden. Erstens wird die Eichung durchgeführt bei konstantem Druck und wird das PV bestimmt anhand der bei senkender Kompression registrierten Oszillationen. Zweitens können Schwankungen entstehen wenn man sich beschränkt auf

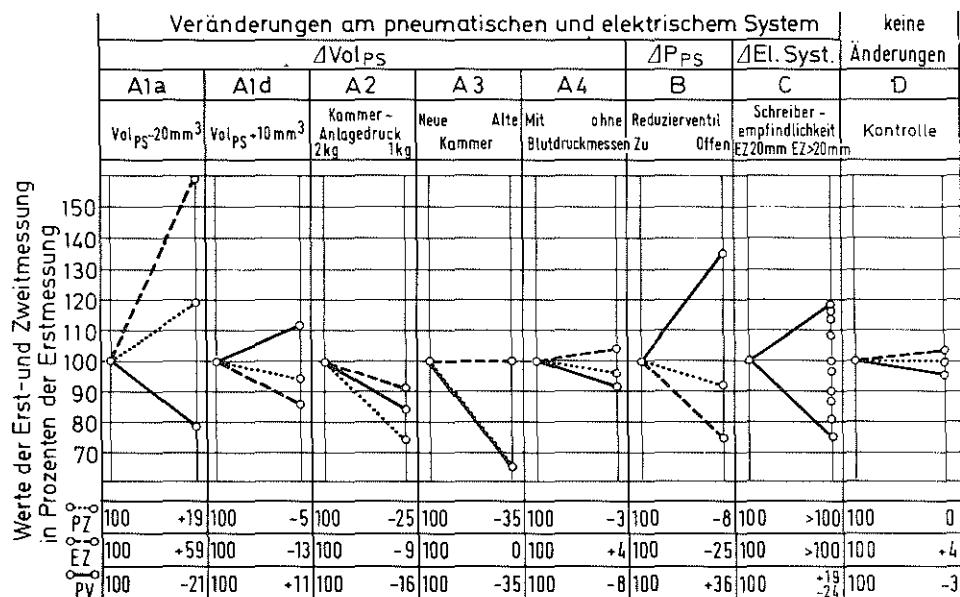


Abb. 21 Veränderungen von Pulszacken, Eichzacken und Pulsvolumen nach Änderung der Abnahmebedingungen. Vol PS = Volumen des pneumatischen Systemes, P PS Druck im pneumatischen System, El. Syst. Elektrisches System, PZ Pulszacke, EZ Eichzacke; PV Pulsvolumen in Kubikmillimetern. (Aus: Derka H.: Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthalm. 184, 167, 1972).

Eichung nach der ganzen Untersuchung beim unilateralen ODG 2. Diese Fehlerquelle gibt es beim bilateralen ODG 22 nicht mehr. Zusammenfassend geht aus dieser Untersuchung hervor, dass den absoluten Werten des PV wenig Bedeutung beigelegt werden kann – wohl dagegen dem rechts-links Verhältnis (PVQ), vorausgesetzt dass die Abnahmeverhältnisse für rechts und links vollkommen identisch sind.

Änderung in diesem Verhältnis kann Abweichungen bis zu $\pm 33\%$ im PV hervorrufen, wodurch der Verdacht einer Karotisstörung aufkommen könnte. Es ist jedoch nicht zu erwarten dass die Form der Oszillationen sich ändern wird, so dass die graphische Analyse hier helfen kann etwaige Irrtümer zu beseitigen.

Pach c.s. (1971) stellt jedoch aufgrund einer bei 50 normalen Versuchspersonen vorgenommenen Untersuchung fest, dass es keine statistisch signifikante Beziehung gibt zwischen dem absoluten Wert des PV und dem rechts-links Unterschied (Δ PV), und er meint deswegen dass der PVQ keine zuverlässige Norm ist. Er berechnet dass Δ PV-Werte über 13 mm³ mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% pathologisch sind, dass niedrigere Werte jedoch Pathologie bestimmt nicht ausschliessen.

Hager hat sich bereits 1957 befasst mit den Formveränderungen der Pulsationen bei degenerativen Gefässerkrankungen. Als solche beschrieb er den Verlust der Dikrotie, das Phänomen der suprasystolischen Restpulsationen im ODG, verspätete Amplitudenzunahme nach dem Vorübergehen des systolischen Ophthalmicdrucks und links-rechts Differenzen in Druckwert und Pulsationsvolumen.

Biniuk hat 1973 daselbe Thema wieder aufgenommen zusammen mit von Pein und Sturm.

Als Indizes der Sklerose fügten sie noch hinzu: das vorübergehende Verschwinden der Oszillationen ('oszillatorische Lücke'), links-rechts Differenzen in der Gipfelzeit und Veränderungen der Steig- und Sinkgeschwindigkeit der Oszillationen. Die Untersuchungen wurden vorgenommen bei 95 männlichen und 136 weiblichen Patienten einer psychiatrischen Klinik, zum grössten Teil zwischen 50 und 80 Jahren alt. Die endgültige Schlussfolgerung lautet, dass Restpulsationen, verspätete Amplitudenzunahme der ODG-Pulsationen, Verlust der Dikrotie und grössere Steilheit der Steigung in erster Linie als Symptome der Gefässsklerose betrachtet werden sollen.

Links-rechts Unterschiede dagegen sollen gleich als Hinweisungen auf obstruierende atherosklerotische Vorgänge interpretiert werden.

Sowohl Derka und Jenkner (1973-2x) als auch Bergmann c.s. (1973) haben den Einfluss der Veränderung der arteriellen O_2 - und CO_2 -Spannung auf das ODG untersucht.

Bergmann c.s. machte dabei ein traditionelles ODG, Derka und Jenkner registrierten ein statisches ODG bei diastolischer Kompression und ausserdem ein REG (Rheoencephalogramm). Die (statistisch signifikanten) Ergebnisse dieser Untersuchungen stimmen nicht mit einander überein: Bergmann c.s. fand bei Erhöhung der arteriellen O_2 - und CO_2 -Spannung eine Zunahme des mittleren Ophthalmicablutdrucks und des Pulsationsvolumens, Derka und Jenkner jedoch massen bei Erhöhung der arteriellen O_2 -Spannung ein kleineres Pulsationsvolumen. Diese Autoren stellten ausserdem eine Verlängerung der Gipfelzeit des ODG um 0.03 Sek. und eine Erhöhung der Amplitude des REG um 12% fest. Hieraus sollte man jedoch nicht ohne weiteres die Schlussfolgerung ziehen dass eine Zunahme der Gehirndurchblutung stattfindet. Diese hängt auf eine bedeutend kompliziertere Weise mit der Beschaffenheit der REG-Kurve zusammen, wobei besonders die Steilheit des anakrotischen Teils der Kurve wichtig ist (Jacquy c.s. 1974).

Schliesslich haben Jenkner und Derka (1973) die Zeitbeziehungen der ODG und REG-Kurven untersucht. Das Signifikanzniveau der verschiedenen Befunde ist jedoch niedrig und die Standardabweichungen sind gross, so dass die Bedeutung der beschriebenen Befunde schwierig zu beurteilen ist. Die Schlussfolgerung — wie die Autoren sie ziehen — dass die Arteria carotis externa bei der Erzeugung des normalen ODG eine dominierende Rolle spielt, erscheint vorläufig noch ungenügend fundiert.

Zur Beurteilung der Zuverlässigkeit der graphischen Analyse der ODG-Pulsationen haben wir diese vorgenommen bei Patienten von denen bekannt war, dass sie einen hämodynamisch signifikanten Verschlussprozess der Karotiden erlitten (Strik 1974).

Im Jahre 1972 verfügten wir über die betreffenden Ergebnisse bei 14 Patienten. Von 7 Patienten mit einem **unilateralen** Prozess und einem Kollateralkreislauf durch den Circulus Willisii konnte bei 6 ein starker Verdacht ausgesprochen werden. Bei 4 Patienten mit einer **doppelseitigen** Störung fehlte beiderseits die Inzisur. Aufgrund der Werte der Winkel α und γ_2 konnte ein Verdacht der Doppelseitigkeit bei einem Patienten angegeben werden, bei den anderen 3 deutete die graphische Analyse auf die völlig verschlossene Seite hin.

Bei 3 Patienten mit einseitigem Verschluss und einem Kollateralkreislauf vom Externagebiet aus wurden streitige Ergebnisse erzielt oder deutete die graphische Analyse auf die gesunde Seite hin. Auch das klassische ODG ergab keinen eindeutigen Hinweis auf Abweichungen. Die ODM jedoch zeigte ausserordentlich niedrige Werte an der Seite der thrombosierten Arteria carotis interna.

Heute würden wir die Kurven als Typ II der pathologischen Oszillationen interpretieren.

Diese Kombination von Befunden wird noch später beim Abschnitt 'Beurteilung des Ophthalmodynamogrammes' besprochen werden. Bemerkenswert war die Tatsache dass die crest time nur 3mal Abweichungen geringerer Grösse als die anderen Parameter zeigte, und zwar

2mal eine Verlängerung und einmal eine Verkürzung. Aufgrund der im Abschnitt Beurteilungskriterien der Kurven gemeldeten theoretischen Erwägungen war dies zu erwarten.

Im Vergleich zu der ODM hat das ODG den Vorteil dass eine Untersuchung auch möglich ist bei starker Miöse, Trübung der brechenden Medien und wenn der Patient nicht einer gewissensmassen redlichen Fixierung gewachsen ist.

Bettelheim (1969) hat untersucht ob die An- oder Abwesenheit des Bulbus oculi einen Einfluss auf das ODG hat. Dazu wurden 22 Patienten mit postoperativer Anophthalmie — 11 rechts und 11 links — untersucht.

Was die Operationstechnik anbelangt wurden im allgemeinen nur die Arteriae centrales retinae und die Arteriae ciliares durchschnitten. Alle übrigen Äste der Arteria ophthalmica wurden grundsätzlich geschont.

Die gefundenen Werte waren durchschnittlich an der gesunden Seite: Pm 108.2 mm Hg bei einem PV von 103.4 mm³. An der operierten Seite war die Pm 111.6 mm Hg und das PV 101.9 mm³. Der PVQ war durchschnittlich 0.99 mit einem Maximum von 1.31 und einem Minimum von 0.83.

Bettelheim konkludiert deswegen dass das Gefässgebiet des Bulbus oculi keine nennenswerte Bedeutung für die Erzeugung des ODG hat. Der PVQ liegt reichlich innerhalb der von Seitz und Hager (1964) gestellten Grenzen. Andererseits ist das ODG auch bei postoperativer Anophthalmie zu verwenden zur Beurteilung der Zirkulationsverhältnisse im Stromgebiet der Karotiden. Bettelheim bemerkte schon dass nach Enukleation eines Auges mehr Raum zur Verfügung kommt und aufgrund der Untersuchung von Derka (1972) dürfte dies eine ansehnende Vergrösserung des Pulsationsvolumens mit sich bringen. Gross kann dieser Faktor jedoch nicht sein, da laut Abb. 21 eine Volumenzunahme des pneumatischen Systems um 10 ml eine Zunahme des PV um 10% verursacht.

In Kapitel I und II war bereits die Rede von der doppelten Gefässversorgung der Orbita, nämlich von der Arteria carotis interna und der Arteria carotis externa aus, und von der wichtigen Rolle welche Äste der Arteria carotis externa spielen werden, wenn bei einem Verschluss der Arteria carotis interna sich ein Kollateralkreislauf entwickelt von dem Externagebiet aus zu dem Circulus Willisii mit retrograder Strömung in der Arteria ophthalmica.

Bettelheim (1966) hat versucht das Mass des Anteils der Arteria carotis externa an der Erzeugung des ODG zu bestimmen. Dazu wurden 2 Patienten untersucht die sich am Kiefer operieren lassen mussten, wobei Abklemmung bzw. Unterbindung der Arteria carotis externa nötig war. Bei einem Patienten änderte sich das ODG im Vergleich zu dem Ausgangswert nicht, bei dem zweiten Patienten senkte sich der Ophthalmicadruck von 96/65 mm Hg zu 85/62 mm Hg und wurde das Pulsationsvolumen von 25 zu 15.6 mm³ herabgesetzt.

Unseres Erachtens genügt dieses Ergebnis nicht zum Ziehen eindeutiger Schlussfolgerungen. Eine Wiederholung dieser Untersuchung bei einer grösseren Gruppe Patienten und mit Verwendung moderner Apparatur erscheint sehr erwünscht.

Derka (1969, 1971) hat das Problem auf eine andere Weise angefasst. In der ersten Veröffentlichung wurde über 4 Patienten berichtet (3 mit einem Verschluss und 1 mit einem Kinkingsyndrom der Arteria carotis interna), in der zweiten Veröffentlichung über 15 Patienten. Bei insgesamt 19 Patienten wurde durante operatione ein statisches ODG hergestellt und die Auswirkung der Kompression der freigelegten Gefässer beobachtet. Die Auswirkung dieser Kompression wurde in einem Prozentsatz des maximalen Pulsationsvolumens ausgedrückt.

Sechzehn der 19 Patienten (3 aus der ersten, 13 aus der zweiten Veröffentlichung) waren Patienten mit Verschlussprozessn der Karotiden bzw. der Arteria anonyma, und die Abdruck-

proben zeigen die bekannten Typen eines Kollateralkreislaufs. Ein Patient zeigte ein Kinking-syndrom der Arteria carotis interna mit heterolateralen Hemisymptomen. Der Anteil der Karotis interna am PV war 58%, der Karotis externa 42%.

Bei 2 Patienten wurde eine Unterbindung der Arteria carotis interna durchgeführt. Bei dem ersten Patienten entwickelte sich ein Kollateralkreislauf, zu 71% von dem Circulus arteriosus aus gespeist und zu 29% von der homolateralen Arteria carotis communis aus durch die Arteria carotis externa, und bei dem zweiten Patienten war der Anteil des Circulus arteriosus 10% und der Anteil der Arteria carotis externa von der Karotis communis aus 90%.

Wenn schon diese Untersuchung die Wichtigkeit der Arteria carotis externa als Quelle des Kollateralkreislaufs betont, so löst sie nicht die Frage wiefern unter normalen Umständen die Arteria carotis externa bei der Gefäßversorgung der Orbita eine Rolle spielt.

Weiter hat Derka (1975) ein ODG bei einem Patienten mit einer völlig leeren Orbita vor und nach plastischchirurgischer Gewebetransplantation zum Einsetzen eines Kunstauges herstellen können. Das Pulsationsvolumen war im Vergleich zu der gesunden Seite von 1/20 bis 1/3 gestiegen.

Schliesslich stellte dieser Autor (1975) das Relativvolumen des Gewebes vor und hinter dem Septum orbitale bei 4 Leichen-Orbitae fest zwecks Feststellung des Anteils dieser Volumina an der Erzeugung des Pulsationsvolumens des ODG.

Der Anteil der Augenlider war 24% des gesamten Orbitainhalts. Da der Bulbus oculi keinen Einfluss auf die Erzeugung des ODG hat, würde man dessen Volumen (27%) von dem Orbitainhalt abziehen müssen. Man kommt also zu einem Anteil von 32% für die Augenlider, sowohl was das Volumen der Orbita als auch was das Pulsationsvolumen des ODG betrifft. Nun gehören die Augenlider zu dem Externagebiet und wenn man annimmt, dass die Karotis externa eine gleiche Menge Blut abgibt in die Orbita als die Karotis interna in die Augenlider, so kommt man zu einem Anteil der Karotis externa an dem PV von einem Drittel.

Unseres Erachtens dürfte man diese Schlussfolgerung nur ziehen wenn der diastolische Blutdruck im Externagebiet ungefähr derselbe ist als im Internagebiet. Vermutlich ist das jedoch nur der Fall, wenn sich bei einem Verschlussprozess an der Karotis interna ein Kollateralkreislauf durch das Externagebiet zu der Arteria ophthalmica entwickelt.

7. Verhältnis ODG-ODM

Sayegh (1970) und Sayegh, Kaskel und Weigelin (1970) untersuchten die dynamometrisch und dynamographisch gefundenen Druckwerte bei 100 normalen Versuchspersonen, wie auch die gegenseitigen Verbindungen dieser beiden Werte. Das Verhältnis des Ophthalmicablutdrucks zum Brachialblutdruck war geradezu dasselbe als das vom Weigelin und Lobstein genannte (s. Ophthalmodynamometrie).

Es gab auch eine deutliche positive Verbindung zwischen dem Brachialblutdruck und den dynamographisch gefundenen Werten. Der Korrelationskoeffizient war systolisch 0.71, diastolisch 0.68 und für den mittleren Wert 0.72.

Das Verhältnis des auf diese Weise gemessenen Ophthalmicablutdrucks im Vergleich zu dem Brachialblutdruck lässt sich in den folgenden Formeln ausdrücken:

$$\begin{aligned} P_{\text{ syst ODG}} &= 0.806 \text{ Ps brach} + 13.8 \text{ mm Hg} \\ P_{\text{ diast ODG}} &= 0.788 \text{ Pd brach} + 9 \text{ mm Hg} \\ P_m \quad ODG &= 0.883 \text{ Pm brach} + 2.4 \text{ mm Hg} \end{aligned}$$

Schliesslich wurde eine positive Korrelation festgestellt zwischen den dynamometrisch und

den dynamographisch gefundenen Werten. Für die systolischen Werte war der Korrelationskoeffizient 0.70, für die diastolischen Werte 0.69 und für den mittleren Blutdruck 0.75.

Die gegenseitigen Beziehungen liessen sich wie folgt ausdrücken:

$$P_{syst\ ODG} = 0.854 \quad P_{syst\ ODM} + 32.9 \text{ mm Hg}$$

$$P_{diast\ ODG} = 1.022 \quad P_{diast\ ODM} + 16.5 \text{ mm Hg}$$

$$P_m\ ODG = 0.995 \quad P_m\ ODM + 18.2 \text{ mm Hg}$$

Aus dieser Untersuchung geht hervor, dass im allgemeinen die Korrelationen zwischen ODM und Brachialblutdruck enger sind und die Standardabweichungen geringer als zwischen ODG und Brachialblutdruck.

8. Beurteilung des Ophthalmodynamogrammes

Im Anfang wurde nach dem Vorgang Hagers das Dynamogramm auf dieselbe Weise beurteilt als die Dynamometrie, d.h. die in der Arteria ophthalmica gefundenen Druckwerte wurden mit denen in der Arteria brachialis verglichen. Außerdem wurde das Pulsationsvolumen an der einen Seite verglichen mit dem der anderen Seite und wurde auch die absolute Grösse davon berücksichtigt.

Bettelheim berichtete z.B. (1967) die Ergebnisse der Ophthalmodynamographie und der Ophthalmodynamometrie bei 55 Patienten mit angiographisch festgestellten Abweichungen der Karotiden und gibt die nachfolgenden Kriterien für ein positives ODG: eine Differenz grösser als -12 mm Hg zwischen dem mittleren Ophthalmicablutdruck und dem mittleren Brachialblutdruck und ein Pulsationsvolumen niedriger als 70 mm^3 . Dieser Autor hat immer betont dass es wichtig ist die Ophthalmodynamographie und die Ophthalmodynamometrie beide anzuwenden. Finke (1966, 1967) benachdrückte bereits dass ein Pulsationsvolumen ausserhalb der Grenzen der im allgemeinen festgestellten Werte beurteilt werden soll im Zusammenhang mit den anderen dynamographischen Befunden (namentlich Pulsfrequenz und Pulsdruk). Abweichungen nach unten sind dabei s.E. eher pathologischer Bedeutung als Abweichungen nach oben.

Herrschart und Neelsen haben (1967) die Untersuchung erweitert mit Karotiskompression bei statischer Registrierung der Bulbus-orbita-Oszillationen und Bestimmung der Pulswellenanstiegzeit (crest time) bei einer Papiergeschwindigkeit von 50-100 mm/Sek. Der Kompressionstest wurde beurteilt nach seiner Auswirkung auf die homolateralen oder heterolateralen Oszillationen. Bei Anwendung dieses Tests stieg die Anzahl positiver Ergebnisse von 8 auf 12 bei 14 Patienten mit angiographischen Abweichungen. Bei 11 unilateralen Abweichungen wurde 3 mal eine Verkürzung der crest time festgestellt (5, 10, 20 m/Sek.) und 5 mal eine Verlängerung (16 zu 40 m/Sek.). Wahrscheinlich auch unter dem Einfluss des Aufgekommenen Zweifels an der Zuverlässigkeit des Druckankoppelns, wurden in späteren Veröffentlichungen die Druckwerte als Kriterium ausgelassen.

Bettelheim, Schuster, und Tschabitscher (1971) geben in einer vergleichenden Übersicht von ODG, ODM und Angiographie bei 49 Patienten die nachfolgenden Kriterien zur Beurteilung des ODG. Als pathologisch wird die Kurve betrachtet bei einem PVQ grösser als 1.32 oder kleiner als 0.66 und wenn sich eine doppelseitige Senkung des PV zeigt bei Werten $< 60 \text{ mm}^3$.

Psilas und Felgenhauer (1972) berücksichtigen bei der Beurteilung des ODG nur das PV und betrachten eine Differenz von 20% als pathologisch. Sie untersuchten 30 Patienten mit Karotisabweichungen und 49 Kontrollpersonen.

Pach, Dornsdorf und Gänshirt (1971) berichten dass bei 26 ihrer 52 Patienten mit obliterie-

renden Prozessen an den Karotiden die Druckwerte nicht mit Sicherheit festgestellt werden konnten — was bestimmt als ein sehr hoher Prozentsatz zu betrachten ist.

Brunner c.s. (1974) ist aufgrund seiner Erfahrung mit 323 angiographisch kontrollierten ODG-Befunden der Meinung dass das ophthalmobrachiale Verhältnis bei der Beurteilung des ODG nicht verwendbar ist. Eine hämodynamisch signifikante Karotisabweichung wird bei einer Druckdifferenz in den Orbitaoszillogrammen > 20 mm Hg bzw. einer Differenz im Pulsationsvolumen $> 1/3$ vorausgesetzt.

De Marées und Hager (1970) erwähnen in ihrer Besprechung 'Zur Beurteilung ophthalmodynamografischer Messergebnisse' zwar Eigentümlichkeiten der dynamisch registrierten Kurven (Druckwerte und oszillometrisches Indiz), behandeln jedoch ausführlicher die qualitative Diagnostik.

Wenn bei Karotiskompression nicht eine Verkleinerung der Oszillationen erfolgt, so spricht dies für einen homolateralen Verschlussprozess. Hat dagegen die heterolaterale Karotiskompression tatsächlich eine Auswirkung, so liegt ein Kollateralkreislauf von dieser Karotis aus durch den Circulus Willisii zu der Arteria ophthalmica vor, und lässt diese Auswirkung nach so hat sich gleichfalls ein Kollateralkreislauf durch den Circulus Willisii entwickelt, jedoch vom vertebrobasilären System aus.

Entsteht jedoch bei Kompression einer Arteria carotis communis eine Verringerung der ODG-Oszillationen, so ist ein verschliessender Prozess der Karotis interna nicht ausgeschlossen. Bei einem Kollateralkreislauf durch das Externagebiet wird doch bei Kompression der Arteria carotis communis auch die Durchblutung in der Arteria carotis externa behindert. In einem derartigen Fall kann man erwarten dass Kompression der Arteria facialis an dem Kieferwinkel oder Kompression der Arteria temporalis superficialis eine Herabsetzung der Bulbus-orbita-Oszillationen verursacht.

Im Jahre 1966 äusserten Bettelheim und auch Brenner eine neue Ansicht betreffs der Beurteilung der Ergebnisse des ODG. Wesentlich dabei ist die Tatsache dass die endgültige Schlussfolgerung begründet wird auf den Befunden bei der Ophthalmodynamographie und -dynamometrie beider.

Dazu wurde ausgegangen von den sehr verschiedenen hämodynamischen Verhältnissen welche abhängig von der Art des Kollateralkreislaufs bei einem Verschlussprozess an der Karotis (interna) entstehen können und weswegen die Karotisthrombose beim einen Patienten gar nicht immer ähnlich der bei einem anderen Patienten gefundenen Thrombose ist. Beide Autoren berücksichtigen in ihren Betrachtungen die wichtigsten Systeme der kollateralen Gefässversorgung, nämlich die durch den Circulus arteriosus Willisii und die durch die Arteria carotis externa mit retrograder Stromrichtung in der Arteria ophthalmica. Bei der von ihnen gegebenen Auseinandersetzung kann das Kollateralsystem durch die caroticotympanischen Anastomosen unter den Circulus arteriosus Willisii eingereiht werden.

Brenner berücksichtigt dabei außerdem noch eine primäre oder sekundäre Fortsetzung der Thrombose bis in den Karotissiphon und bemüht sich aufgrund theoretischer Erwägungen atypische Befunde beim ODG zu erklären.

Bettelheim (1966, 1967) behauptet dass bei einem Kollateralkreislauf durch das Externagebiet der Messpunkt des ODG zu wählen ist in den grossen Ästen der Arteria carotis externa (Arteria meningea media, Arteria temporalis profunda, Arteria facialis und Arteria temporalis superficialis), welche in dieser Hinsicht von Bedeutung sind und er zieht die Schlussfolgerung dass aufgrund der auf diese Weise gefundenen Ergebnisse eine Aussprache gemacht werden kann über die vermutliche Art des Kollateralkreislaufs.

Eine schematische Wiedergabe dieser Messpunkte zeigt Abb. 22.

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der von Brenner angestellten Überlegungen gibt Abb.

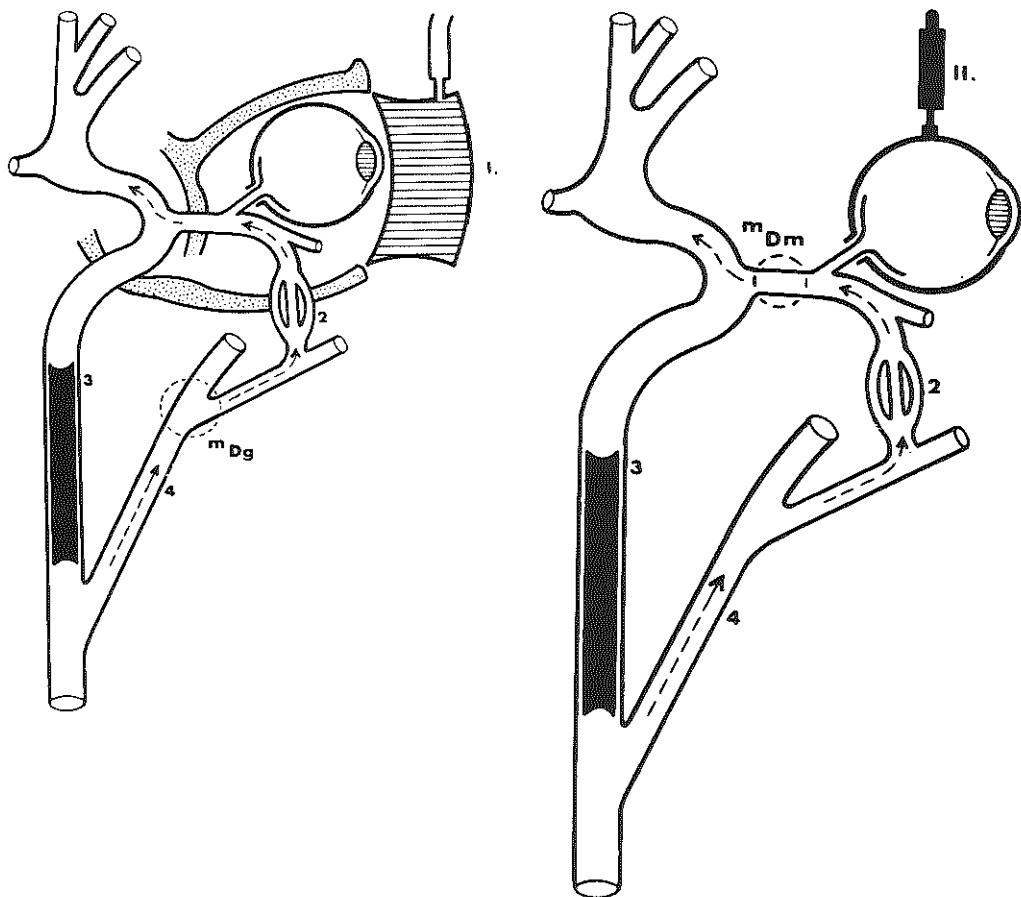


Abb. 22 Schematische Wiedergabe der ophthalmodynamografischen (m DG) und ophthalmodynamometrischen (m Dm) Messpunkte bei einem Verschluss der A. Karotis interna (3) mit Kollateralkreislauf über die Externagefäße (4 und 2) und A. ophthalmica. I = Pulsabnahmekammer, II = Ophthalmodynamometer. (Aus Bettelheim H.: American Journal of Ophthalmology 64, 689, 1967).

23. Das Wesen seiner Gedankenfolge ist dass die Bildung eines Kollateralkreislaufs durch das Externagebiet die Arteria ophthalmica qua Funktion in eine Gehirnarterie verwandelt. In intrakranielle Richtung ist der Widerstand niedrig und es wird also ein starker Druckgradient entstehen. Dazu kommt dass die Arteria centralis retinae jetzt mit einem stumpfen Winkel anstatt eines spitzen aus der Arteria ophthalmica tritt.

Auch dem damit zusammenhängenden Piezometerprinzip zufolge wird der Druck in der Arteria ophthalmica (der mittels der ODM gemessen wird) sehr niedrig sein. Die Quellen des Kollateralkreislaufs werden der funktionellen Belastung zufolge hypertrophieren und auf diese Weise können die Druckwerte und das Pulsationsvolumen des ODG zu normalen oder sogar höheren Werten steigen. Die am meisten bemerkenswerten Ergebnisse dieses Gedankengangs sind die folgenden.

ODM-Druckwerte	ODG-Druckwerte	ODG Amplitudenh.	
normal	normal	normal	a) Suffiziente Kollateralversorgung der intrakraniellen Karotis über den C. Willisii. b) Spätes Stadium einer sekundären Syphonthrombose nach vorheriger Kollateralfunktion der A. ophthalmica.
normal	normal	↓	Nicht ganz genügende Kollateralversorgung der intrakraniellen Karotis über den Willisschen Zirkel
normal	↓	↓	a) Insuffiziente Kollateralversorgung der intrakraniellen Karotis (Hager) b) Mangelnde Strömungsrichtung in der A. ophthalmica
↓	↓	↓	a) Insuffiziente Versorgung der intrakraniellen Karotis, keine nennenswerte Beteiligung der A. ophthalmica b) Primäre Thrombose des Karotissiphons c) Sekundäre Thrombose des Karotissiphons ohne vorherige Kollateralfunktion der A. ophthalmica
↓	normal	normal	Ausgeprägte Kollateralfunktion der A. ophthalmica mit zusätzlichen intrakraniellen Anastomosen
↓	normal	↑	Ausgeprägte Kollateralfunktion der A. ophthalmica bei insuffizientem Willisschem Zirkel
↓	↑	normal	Ausgeprägte Kollateralfunktion der A. ophthalmica mit zusätzlicher Versorgung der Hirnkarotis über die Orbitagefäße
↑	↑	↑	Akutes Stadium einer sekundären Syphonthrombose nach vorheriger Kollateralfunktion der A. ophthalmica
↑	normal	normal	Subakutes Stadium einer sekundären Syphonthrombose nach vorheriger Kollateralfunktion der A. ophthalmica

Abb. 23 *Ophthalmodynamometrische und -dynamographische Befunde bei Verschlusskrankheiten der A. Karotis int. (Aus: Brenner H.: Wiener klinische Wochenschrift 78, 117, 1966).*

Bei einer genügenden kollateralen Versorgung der intrakraniellen Arteria carotis durch den Circulus Willisii können das ODG und die ODM beide normale Ergebnisse zeigen. Bei einem deutlichen Kollateralkreislauf durch das Externagebiet sind die Druckwerte bei der ODM stark herabgesetzt, die beim ODG normal und kann das PV sogar gesteigert sein an der pathologischen Seite.

Schliesslich erzeugt sekundäre Thrombose des Karotissiphons nach einem Kollateralkreislauf durch das Externagebiet gesteigerte Druckwerte bei ODM und ODG und ein normales PV. In dieser Lage ist nämlich der Druckabfall beseitigt worden, da der Widerstand in die Richtung des Gehirns unendlich gross geworden ist. Aufgrund eines analogen Gedankengangs entschliesst sich Bettelheim zu denselben Charakteristiken zur Unterscheidung eines Kollateralkreislaufs durch den Circulus arteriosus und durch die Arteria carotis externa. Eine experi-

mentelle Unterstützung dieser Theorien verschafft der von ihm beschriebenen Patient mit einem beiderseitigen Verschluss der Arteria carotis interna gerade an der Bifurkation vorbei. Die Dynamometrie ergab die folgenden Abweichungen: rechts eine Differenz um —8 von der Formel II nach Weigelin und links eine Differenz um —37.

Die Dynamographie zeigte einen Brachialblutdruck rechts von 154/90 mm Hg und links von 160/92 mm Hg. Der Ophthalmicablutdruck war rechts aus den Kurven nicht abzulesen und links 160/85 mm Hg. Das Pulsationsvolumen war rechts 27 mm³ und links 75 mm³. Aufgrund dieser Befunde konnte der Verdacht ausgesprochen werden, dass beiderseitig eine Karotistörung vorläge mit einem Kollateralkreislauf rechts durch den Circulus arteriosus und links durch das Externagebiet.

Es ist zu erwarten, dass Kompression der Arteria carotis communis rechts keinen Einfluss auf das Bulbus-orbita-Oszillogramm haben wird, links jedoch eine deutliche Veränderung hervorrufen soll. Die Anwendung des Karotiskompressionstests ergab tatsächlich die erwarteten Auswirkungen, wobei noch zu erwähnen ist, dass während der Kompression links der Patient sich schwindlig und dösig fühlte und Zuckungen in der rechten Hand zeigte.

Wir selber konnten das völlige Verschwinden der ODG-Pulsationen bei Karotiskompression beobachten bei einem Patienten mit einer completed stroke links, folgend auf einen Totalverschluss der Arteria carotis interna rechts gerade an der Bifurkation vorbei und eine arteriographisch geprüfte Füllung des Karotissiphons und der Arteria cerebri media durch die Arteria ophthalmica. Bei diesem 49-jährigen Mann war bei der ODM die Abweichung von Formel II rechts —62, links —13.

Das ODG zeigte einen Brachialblutdruck rechts von 150/95 mm Hg und einen Ophthalmicablutdruck von 150/87 mm Hg. Links war der Brachialblutdruck 140/89 mm Hg und der Ophthalmicablutdruck 137/82 mm Hg. Das PV war rechts 136 mm³ und links 79 mm³ was einen PVQ von 1.72 ergab. Karotiskompression rechts tat die Oszillationen völlig verschwinden. Bei der graphischen Analyse stellte es sich heraus dass die Inzisur rechts völlig fehlte. Die Oszillationen wiesen eine scharfunkige Dreieckform auf (Typ II) und sahen aus wie die bei einem Kollateralkreislauf durch Anastomosen mit einem grösseren Durchmesser beschrieben (Kappert 1969).

Zur Unterstützung der Richtigkeit der hier besprochenen Ansicht kann zum Schluss noch gemeldet werden, dass auch mittels einer anderen Methode zur Registrierung der Druckoszillationen im Ophthalmicagebiet, nämlich mittels der dynamischen Tonometrie, gesteigerte Pulsationen an der Seite einer völlig verschlossenen Arteria carotis interna mit einem Kollateralkreislauf durch das Externagebiet festgestellt wurden (Nornes c.s. 1971). In den bis jetzt erwähnten Erwägungen wurde jedoch ein komplizierender Faktor noch nicht berücksichtigt. Wenn nämlich mittels eines genau abschliessenden Adaptationrings die extra-orbitalen kollateralen Verbindungen vom Externagebiet aus zu der Orbita abgeklemmt werden, so wirkt dies einerseits als eine Provokationsmethode (wie z.B. die Klemme nach Capstrant und Gumnit 1970, 1973 — in der Thermographie) mittels welcher die Anzahl der positiven Ergebnisse der ODG gesteigert werden kann. Andererseits besteht in diesem Fall keine Übereinstimmung mehr mit dem etwaig arteriographisch gezeigten Kollateralkreislauf.

Auch Hager (1976) betont, dass derartige beim ersten Anblick irreführende Kurven registriert werden bei einem Kollateralkreislauf durch das Externagebiet, insofern diese Gefäße nicht an dem Orbitaeingang abgeklemmt werden. Anstatt Kompression der Arteria carotis communis empfiehlt er Abklemmung der Arteria maxillaris externa an dem Kieferwinkel, worauf die Oszillationen verringern oder verschwinden können.

Unseres Erachtens haben die obenbeschriebenen Ansichten den Weg bereitet zu einer

viel adäquateren Beurteilung des Ophthalmodynamogrammes. Dies hat jedoch die Notwendigkeit zur Folge, ODG und ODM zu kombinieren zur Erzielung optimaler Ergebnisse auf dem Gebiet der unblutigen Diagnostik der Verschlussprozesse an den Karotiden. Die Möglichkeit, dass bei genügendem Kollateralkreislauf durch den Circulus arteriosus ODG und ODM beide negativ sind, macht eine fast 100%ige Treffsicherheit der Kombination dieser Methoden unwahrscheinlich. Vielleicht kann die Treffsicherheit einer Untersuchungsbatterie noch gesteigert werden durch Ergänzung mit einer Methode welche sich auf andere Aspekte der Pulswelle richtet. Dafür kommt u.E. die Doppler-flow-Messung als erste in Betracht.

In unserem **eigenen Beurteilungsschema** ziehen wir unsere endgültige Schlussfolgerung aufgrund der hier angegebenen pathophysiologisch fundierten Kategorien.

Wir beurteilen ein Ophthalmodynamogramm nach dem Beispiel von Bettelheim (1969) aufgrund

- 1) dynamometrischer und
- 2) oszillographischer Kriterien.

Was die **dynamometrischen** Kriterien betrifft, stehen wir von dem Problem, dass Hager und Horch (1963) angeben, dass die normale ophthalmobrachiale Beziehung praktisch ein 1:1 Verhältnis sei mit verschiedenen Standardabweichungen bei den systolischen, diastolischen und mittleren Werten (s. Abschnitt: Beurteilungskriterien der Kurven).

Nach der Meinung von Sayegh (1970) ist das Verhältnis jedoch erheblich komplizierter (s. Abschnitt: Beziehungen ODG-ODM). Solange nun keine grössere Sicherheit über die hier zu handhabenden Normen besteht, haben wir Differenzen zwischen den systolischen Werten des Brachial- und des Ophthalmicablutdrucks um mehr als 20% eine pathologische Bedeutung beigelegt und zwar aufgrund der nachfolgenden Argumente.

Wenn das ophthalmobrachiale Verhältnis tatsächlich 1:1 ist, so deutet laut der experimentellen Daten von Svien und Hollenhorst (1956), sowie Tindal c.s. (1966) eine Drucksenkung um mehr als 20% auf einen homolateralen Karotisverschluss hin. Liegt der dynamographisch gemessene Ophthalmicablutdruck relativ niedriger (wie die Daten von Sayegh (1970) vermuten lassen), so bleibt man mit einem Grenzwert von 20% an der sicheren Seite und wird eine zu grosse Menge falsch negativer Ergebnisse vermieden.

Da die Feststellung des diastolischen Wertes des Ophthalmicablutdrucks (und mit ihr die Berechnung des mittleren Wertes) viel weniger eindeutig ist, haben wir die gefundenen Ergebnisse anhand der Angiogramme weiter studiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden im Kapitel IV ausführlicher besprochen. Man kann sagen, dass die Feststellung des diastolischen Wertes des Ophthalmicablutdrucks mittels ODM viel sicherer vor sich gehen kann als mittels der ODG. Für links-rechts Differenzen haben wir aufgrund obenerwähnter Literaturdaten gleichfalls 20% als Norm gehandhabt. Diese Daten sind ausführlicher verzeichnet im Abschnitt Experimenteller Grund der ODM, wie auch die von Kobayashi, Hollenhorst und Sundt (1971) gemeldeten Ergebnisse. Diese unterstützen die theoretische Erwägung, dass ein unilateraler Prozess eine bilaterale relative cephale Hypotonie verursachen kann durch relative Herabsetzung des peripheren Widerstandes für die funktionell unversehrte Karotis. Man dürfte hier, bei graphischer Analyse, an der gesunden Seite eine normale Form der Oszillationen erwarten gegen eine pathologische Form an der erkrankten Seite. Bis jetzt haben wir eine solchen Befund noch nicht gemacht.

Was die **oszillographischen** Kriterien anbelangt, haben wir die Beurteilung des PVQ nach den Normen von Hager und Seitz (1964) einer weiteren Betrachtung unterworfen. Bei der graphischen Analyse legen wir der fehlenden Inzisur grossen Wert bei. Von den anderen Parametern kommt der grösste Diskriminationswert dem anakroten Winkel und den rechts-links

Verhältnissen zu. Eine Abweichung von den von uns festgestellten durchschnittlichen Werten um mehr als 3mal die Standardabweichung, betrachten wir als pathologisch (s. Abschnitt: Beurteilungskriterien der Kurven). Den im Kapitel IV besprochenen Ergebnissen vorgreifend können wir bereits sagen, dass eine Differenz in der Laufzeit der Pulswelle von 0.02 Sek. oder mehr auf eine Karotisabweichung an der Seite der Verzögerung deutet. Auf Karotiskompressionsteste haben wir völlig verzichtet, da es unsere Absicht war zu versuchen die Indikation zur angiographischen Untersuchung — welche bei Patienten mit zerebrovaskulären Störungen bestimmt nicht ohne Gefahr ist — genauer festzustellen und die Durchführung derartiger Teste die Einführung zusätzlicher Gefahren bedeuten würde.

9. Ergebnisse der Ophthalmodynamographie (und der Ophthalmodynamometrie) bei Verschlussprozessen an den Karotiden

Wie bereits im Abschnitt über die Beurteilung des Ophthalmodynamogrammes besprochen wurde, gehört ein abschliessender Urteil über den Wert des ODG noch nicht zu den Möglichkeiten. Teilweise ist dies eine Folge der fortschreitenden Entwicklung der Technik und der Methodik, teilweise auch von Veränderungen in den Kriterien zur Beurteilung des ODG. Einerseits wurden in früheren Studien Kriterien gehandhabt welche heute nicht mehr gelten, andererseits werden in neueren Veröffentlichungen Kriterien beseitigt welche — mittels neuerer Techniken festgestellt und auf die richtige Weise interpretiert — dennoch wertvoll hätten sein können.

Schliesslich wurde bis jetzt kaum die Form der Oszillationen berücksichtigt, obwohl eine der Schlussfolgerungen des 2. Internationalen Symposions über das ODG (Stuttgart 1972) lautete, dass man diese doch bestimmt auch mit in die Beurteilung hineinziehen sollte.

Alle diese Erwägungen in Betracht nehmend, werden wir dennoch die wichtigsten bis jetzt veröffentlichten Ergebniskontrollen besprechen, damit auf diese Weise einen Eindruck der Treffsicherheit dieser Methode erzielt werden kann.

Den grössten Wert legen wir auf Studien in denen die Ophthalmodynamographie und -dynamometrie beide verwendet wurden und wobei eine völlige angiographische Dokumentierung zur Verfügung stand. Eine ausführlichere Besprechung der Treffsicherheit der Ophthalmodynamometrie möchten wir hier unterlassen — im allgemeinen wird diese auf 70-80% geschätzt (Weigelin und Lobstein 1962, Weigelin c.s. 1964, Babel c.s. 1969, Bettelheim 1969, 1969, 1970, Higgs und Bullington 1970, Young 1972, Man 1973, Blake und Kelly 1975).

Bettelheim berichtete 1967 die Ergebnisse einer Untersuchung von 53 Patienten mit Verschlussprozessen an den Karotiden und von 2 mit einem Mediaverschluss (37 Thrombosen, 14 Stenosen und 4 Patienten mit an der einen Seite einer Stenose und an der anderen Seite einem Verschluss).

Die Beurteilungskriterien waren: bei der ODM eine Abweichung grösser als — 10 mm Hg von Formel II, beim ODG eine Differenz zwischen dem durchschnittlichen Ophthalmica- und Brachialblutdruck um mehr als — 12 mm Hg oder ein PV < 70 mm³.

Bei den unilateralen Abweichungen erwies sich die ODM als positiv in 90%, die ODG in 78% und die Kombination der beiden in 93% der Fälle. Von den bilateralen Abweichungen konnte mittels der Kombination ODM-ODG 92% diagnostiziert werden. Herrschaft und Neelsen (1967) verwendeten, ausser dem normalen ODG, Karotiskompression bei 22 Patienten von denen 14 mit Verschlussprozessen an den Karotiden. Acht davon (57%) konnten gleich erwischt werden und Kombinierung mit dem Karotiskompressionstest erhöhte die Anzahl der positiven Fälle auf 12 (86%). Viel weniger günstig äusserte sich Pach c.s. (1971) über den Wert der Ophthalmodynamographie. Er untersuchte 57 Patienten mit angiographisch festge-

stellten Abweichungen an den Karotiden: 41 Thrombosen (wovon 1 bilateral), 5 Verschlüsse an der einen und Stenosen an der anderen Seite, 10 Stenosen und 1 Anonymaverschluss.

Aufgrund einer statistischen Untersuchung gehen diese Autoren davon aus, dass eine Differenz im PV um mehr als 13 mm^3 mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% als pathologisch zu betrachten ist. Eine solche Differenz lag bei 68% ihrer Patienten vor. Nur bei 32% der Patienten wurde gleichzeitig eine relative cephale Hypotonie festgestellt und bei 50% der Patienten war es unmöglich die Druckwerte aus den Kurven abzulesen. Konkludiert wird, dass die Ophthalmodynamographie Auskünfte erteilen kann, welche wertvoll sind bei der Diagnostik der extrakraniellen Karotisverschlüssen, jedoch unbrauchbar als Screening Methode.

Ohne genau einzugehen auf die gehandhabten Kriterien jedoch mit Verwendung der von ihm und Brenner entwickelten Ansichten, was die Abhängigkeit von dynamographischen und dynamometrischen Befunden bezüglich der Art des Kollateralkreislaufs betrifft, berichtet Bettelheim (1969) über fast 100 Fälle von Karotisstörungen. Dabei war die Dynamographie bei 72% der Patienten positiv, die Dynamometrie bei 80% und ermöglichte eine Kombination von beiden Methoden in 87% eine richtige Diagnose.

Im Jahre 1971 berichtete derselbe Autor, zusammen mit Schuster und Tschabitscher, über die mit ODG und ODM erzielten Ergebnisse bei 49 Patienten mit angiographisch festgestellten Verschlussprozessen an den Karotiden welche von 1969 bis zu 1971 untersucht wurden. Die ODM-Kriterien waren: Senkung des mittleren Ophthalmicablutdrucks im Vergleich zu der Norm (Formel II) um mehr als 9 mm Hg und stärkere Abweichungen des mittleren Ophthalmicablutdrucks von der Norm als die des diastolischen Blutdrucks (Formel IV). Das ODG wurde als positiv beurteilt bei einem PVQ kleiner als 0.66 oder grösser als 1.32 und bei doppelseitigen Abweichungen bei einem $\text{PV} < 60 \text{ mm}^3$. Bei sämtlichen Patienten wurde beiderseits Karotangiographie durchgeführt, bei 8 Patienten verfügte man ausserdem über ein Vertebralangiogramm und bei 17 Patienten war eine Aortographie vorgenommen worden. Das Ergebnis bei 40 Patienten mit unilateralen Abweichungen (32 Thrombosen und 8 Stenosen) war: ODM positiv 52.5%, ODG positiv 62.5%; die Kombination beider Methoden ergab 75% positive Fälle.

Bei den 9 Patienten mit bilateralen Abweichungen wurde folgendes festgestellt:

Bei 2 Patienten wurden beiderseits Abweichungen gefunden (einmal mittels ODG und ODM und einmal nur mittels ODM). Bei 3 Patienten deuteten die ODG- und ODM-Befunde auf eine unilaterale Abweichung und bei 4 Patienten liessen die beiden Methoden nach. Ohne auf alle Einzelheiten einzugehen möchten wir hier dennoch erwähnen dass die Studierung des überwiegend vorkommenden Art des Kollateralkreislaufs folgendes lehrte.

Fehlen der cross-flow über den Circulus arteriosus korrelierte mit positiven ODG- und ODM-Ergebnissen und wenn cross-flow vorlag zeigte sich auch häufig ein positives ODG, jedoch eine normale ODM. Ein deutlicher Zusammenhang zwischen positiver ODM, negativem ODG und Kollateralkreislauf durch das Externagebiet wurde festgestellt bei 2 der 5 Patienten. Die von Bettelheim und Brenner vertretene Ansicht darüber wurde also nicht eindeutig bestätigt. Die Untersuchung von Psilas und Felgenhauer (1972) ist besonders wertvoll, weil sie die falsch negativen und die falsch positiven Fälle beide erwähnen. Von diesen Autoren wurde berichtet über die Ergebnisse bei 79 Patienten bei denen der Verdacht zerebrovaskulärer Störungen vorlag. Bei 30 wurde mittels Karotangiographie oder Arcographie eine Thrombose oder Stenose $> 50\%$ an einer der beiden Karotiden erwischt, 49 zeigten keine Abweichungen oder Stenosen $< 50\%$.

Bei diesen Patienten wurde eine ODM nach der Methode von Weigelin und Lobstein durchgeführt, wie auch ein ODG. Die Autoren betrachten eine Abweichung im PV um 20% oder mehr als pathologisch, berücksichtigen jedoch bei der Beurteilung nicht die Druckwerte. Bei

den Patienten mit Abweichungen im Arteriogramm war die ODM positiv bei 60%, das ODG bei 66.6% und ergab die Kombination der Methoden einen Trefferprozentsatz von 87.

Bei den Patienten ohne angiographische Abweichungen war die ODM negativ in 92%, das ODG in 90% und beide Methoden in 84% der Fälle.

Zusammenfassend wurden also bei der Kombination ODG-ODM 13% falsch negative und 16% falsch positive Fälle registriert. Die Analyse der Diskordanzen zwischen ODG und ODM anhand der Angiographien unterstützt die Ansicht von Bettelheim und Brenner über den Einfluss der die Art des Kollateralkreislaufs auf das Ergebnis des ODG oder der ODM hat. Die falsch positiven Fälle sind schwierig zu erklären — bei 2 Patienten befand sich in der homolateralen Hemisphäre ein Tumor cerebri und bei derartigen Patienten kann auch die Arm-Retinaumlaufzeit verlängert sein.

Die neueste uns zur Verfügung stehende Übersicht ist die von Derka (1974). Dieser Autor verglich die durchschnittlichen Werte des systolischen Ophthalmicablutdrucks, des Pulsationsvolumens und der Gipfelzeit an der pathologischen Seite bei 43 Patienten mit obstruierenden Prozessen der extrakraniellen Gefäße mit den bei 20 Patienten ohne solche Abweichungen gemessenen Werten. Es stellte sich heraus dass diese statistisch identisch waren.

Die 43 Patienten wurden in Subgruppen aufgeteilt: Plaque in oder Stenose von der Arteria carotis interna bis 50% (15), schwere Stenose der Arteria carotis interna (7), Verschluss der Arteria carotis interna (14), der Arteria carotis communis (5) und der Arteria anonyma (2).

Nur die Subgruppen: Verschluss der Arteria carotis communis (5) und der Arteria anonyma (2), entsprachen den Normen nach Hager, nämlich eine ophthalmobrachiale Differenz von wenigstens 10 mm Hg und eine Differenz im Pulsationsvolumen von wenigstens 30%. Keine der Gruppen zeigte eine Gipfelzeit > 0.24 Sek. Bei konsequenter Anwendung der genannten Normen hätte dieser Autor nur 4 Fälle der Internastenosen und Verschlussprozesse diagnostizieren können.

Aus der zunehmenden Senkung des Ophthalmicablutdrucks und des Pulsationsvolumens je nach der Anzahl der verschlossenen Gefäße (Arteria carotis interna, Arteria carotis externa und Arteria vertebralis) wird konkludiert, dass eine multiple arterielle Versorgung der Orbita und ein Kollateralkreislauf von der homolateralen Seite aus vorliegen müssen.

Diese Untersuchung beweist u.E. ausserdem klar dass, besonders für Stenosen und Okklusionen der Arteria carotis interna, eine mehr differenzierte Interpretation aufgrund der Ansichten von Bettelheim und Brenner, unterstützt von den Befunden der ODM und der Formanalyse der Kurve zur Erzielung eines anständigen Trefferprozentsatzes erforderlich ist.

10. Ophthalmodynamographie bei Gefässchirurgie im Hals

Derka (1973) hat die Möglichkeit angegeben sowohl die statische als auch die dynamische Registrierung der Bulbus-orbita-Oszillationen durante operatione durchzuführen.

Mittels der klassischen Ableitung des ODG ist es möglich die Herzfrequenz und den Ophthalmicablutdruck unblutig festzustellen. Mittels der statischen Registrierung kann der Einfluss des Schädelstandes (z.B. beim Kinkingsyndrom der Karotis), der Anwendung einer internen oder externen shunt, des Abklemmens der Arteria carotis interna sowie der Einfluss einer Endarterektomie festgestellt werden. Die Ausübung einer grossen Kraft der Fixation (2.5 kg) während einer längeren Zeit gab bei 2 Patienten Anlass zum Entstehen einer Druckläsion des Nervus frontalis. Man kann einen geringeren Anlegedruck wählen oder zwischen den Messungen die Stellschrauben lösen.

Weiter sollte aufgrund der Tatsache dass bei einer Kompression in Höhe des diastolischen Blutdrucks das Blut zwar in die Orbita und in das Auge eintritt, diese jedoch nicht wieder verlassen kann, gewarnt werden gegen eine allzu lange Kompression.

KAPITEL IV

Klinische Anwendung der Ophthalmodynamographie und Ophthalmodynamometrie

A. Übersicht des klinischen Materials

Von September 1973 bis September 1975 wurden ODG-ODM-Untersuchungen bei 200 Patienten (119 Männern und 81 Frauen) vorgenommen.

Abb. 24 gibt eine Aufteilung nach verschiedenen Altern. Der grösste Teil dieser Patienten war zwischen 55 und 75 Jahren alt (67%).

117 Patienten wurden von Kollegen in Twente zur Untersuchung an uns verwiesen und 83 Patienten stammten aus unserer eigenen Praxis.

Der Ursprung der Verweisungen war:

Augenarzt	16
8 Neurologen	92
2 Neurochirurgen	4
Kardiologe	1
Gefässchirurg	4
	<hr/>
	117

Wenn in den folgenden Zeilen die Rede sein wird von einer cerebralen Durchblutungsstörung so wird damit gemeint ein ischämischer zerebraler Gefässprozess.

Von den Patienten aus der eigenen Praxis erlitten

und wurde bei	70 eine cerebrale Durchblutungsstörung im Karotisgebiet oder einen	
	Amaurosis fugax	(Gruppe II)
	13 eine andere Diagnose gestellt	(Gruppe II)
	83	

Weiter wurden in

derselben Periode noch 39 Patienten wegen einer cerebralen Durchblutungsstörung untersucht (Gruppe III)

bei denen keine ODG-ODM durchgeführt wurde.

Die zerebralen Gefässprozesse haben wir nach der Entstehensweise aufgeteilt wie dies jetzt üblich ist.

Dabei werden unterschieden:

acute strokes — Patienten bei denen der neurologische Ausfall in kurzer Zeit in völliger Stärke manifest ist;

progressing strokes — wobei der Ausfall allmählich oder stufenweise im Laufe weniger Tage entsteht;

completed strokes — wovon die Rede ist wenn die beiden obenerwähnten Bilder 2 x 24 Stunden gedauert haben;

TIAs — transient ischaemic attacks, d.h. vorübergehende Ausfälle welche innerhalb 24 Stunden völlig verschwunden sind und

RINDs — reversible ischaemic neurologic deficits — gleichfalls völlig oder zum grössten Teil vorübergehende Ausfälle deren Wiederherstellung jedoch mehr als 24 Stunden fordert.

Als Amaurosis fugax klassifizierten wir meistens kurze Anfälle des Visusverlustes an einem

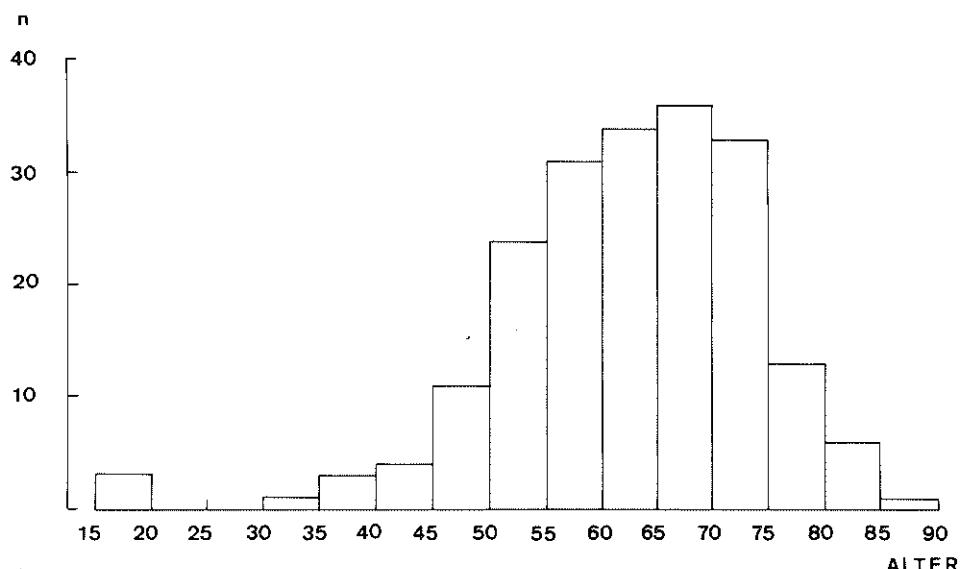


Abb. 24 Altersverteilung der 200 Patienten (n = Zahl der Fälle).

Auge. Dieser Verlust des Sehens fängt oft peripher an und setzt sich in zentrale Richtung durch und wird von den Patienten oft beschrieben als senke oder hebe sich eine Gardine vor dem Auge. Weitere unilaterale weniger typische Visusbeschwerden haben wir gesondert registriert.

Die Aufteilung nach **Geschlecht** bei den obenerwähnten 3 Gruppen war:

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III
Männer	34	7	19
Frauen	36	6	20
	70	13	39

Der **Altersaufbau** war:

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III
16 bis einschl. 20	1		
21 25			
26 30			
31 35			1
36 40	1		
41 45	1		
46 50	1		1
51 55	7		1
56 60	7	3	
61 65	9		5
66 70	17	6	4
71 75	12	3	6
76 80	8	1	13
81 85	5		5
86 90	1	—	3
	70	13	39

Bemerkenswert war das hohe Lebensalter der Gruppe III: 54% der Patienten war über 75 Jahre alt.

Bei den Patienten aus **Gruppe II** wurden folgende klinische Bilder festgestellt:

1. Geräusche an der Karotis rechts ohne klinische Symptome.
2. Kollaps, vasomotorische Kopfschmerzen links und Geräusche rechts supraklavikulär.
3. Kollaps, Pulsationen der Karotiden li. < re.
4. Kollaps bei orthostatischer Hypotonie.
5. Vertigo und Geräusche an der Karotis rechts.
6. Basilaris-TIA mit EEG-Abweichungen links temporal.
7. Multiple vaskuläre Störungen, gleichfalls im Versorgungsgebiet der Arteria basilaris.
8. Fokal-epileptische Symptome rechts, 10 Jahre nach einem TIA links.
9. Beiderseitige retinale Ischämie.
10. Linksseitige Sensibilitätsstörungen bei normalem EEG.
11. Kopfschmerzen rechts und EEG-Abweichungen links temporal.
12. Arteritis temporalis mit Augenmuskelparese rechts.
13. Periarteritis nodosa mit Augenmuskelparese rechts, Iridocyclitis und EEG-Abweichungen links.

Bei den Patienten aus **Gruppe III** lagen folgende **Diagnose** und weitere **klinische Daten** vor.

Acute Stroke mit tödlichem Abgang - 23 Patienten.

- alte Leute
- Komplikationen (Diabetes, Pneumonie, Lungenkarzinom, Trauma mit multipelen Frakturen)
- einige aufgrund einer Embolia cerebri
- keine redliche Möglichkeit zur ODG-ODM-Untersuchung
- keine Besserung
- führend zum Exitus.

Acute Stroke — 3 Patienten.

- deplorable allgemeine Lage
- ungenügende Mitwirkung
- bei einem Patienten wurde Karotisangiographie durchgeführt. Es zeigte sich ein Verschluss eines Media-Astes.

Progressing Stroke — 4 Patienten.

- klinisches Bild wie oben
- bei einem Patienten wurde Karotisangiographie durchgeführt. Es zeigte sich ein Totalverschluss der Arteria carotis interna.
- bei einem Patienten wurde eine Obduktion vorgenommen. Dabei wurde ein Totalverschluss der Arteria carotis interna von einem Atherom mit Thrombusbildung bei der Bifurcation festgestellt.

Die beiden letzteren Patienten zeigten heterolateral von der Hemiparese eine erweiterte licht-

starre Pupille und bei Echoenzephalographie eine Verschiebung der medianen Strukturen nach der Seite der Hemiparese.

Completed Stroke — 2 Patienten.

- 1 Patient war apathischer Störungen zufolge ungenügend kooperativ.
- der andere Patient war in zu schlimmer allgemeiner Lage.

RIND — 5 Patienten.

- bei 1 Patienten war ODG-ODM kontraindiziert wegen Ablatio retinae. Die Karotisangiographie zeigte beiderseitig keine Abweichungen.
- Bei 2 Patienten bestand der Verdacht eines Tumors cerebri. Die Karotisangiographie erwies sich jedoch als negativ.
- 2 Patienten entzogen sich den fortgesetzten Untersuchungen.

TIA — 2 Patienten.

- beide Patienten wurden nicht weiter untersucht wegen ihrer deplorablen allgemeinen Lage.

Bei den Patienten mit einer cerebralen Durchblutungsstörung aus unserer eigenen Praxis (Gruppe I und III, insgesamt 109 Patienten) war die Mortalität 23 (21%). Dies hebt sich nicht ungünstig ab von der grossen Statistik nach Julich c.s. (1969 — in 'Die zerebralen Durchblutungsstörungen des Erwachsenenalters'). Julich fand eine Mortalität von 30% durch Enzephalomalazien und Embolien. Laut der von der Stichting Medische Registratie zur Verfügung gestellten Daten wiech die Mortalität der aufgenommenen Patienten nicht signifikant von der Mortalität bei entsprechenden Erkrankungen im gesammten Patientenmaterial ab. Dagegen war die Anzahl der aufgenommenen Patienten älter als 65 Jahre signifikant grösser als die zu erwartende Anzahl ebenso wie die Anzahl der cerebralen Durchblutungsstörungen.

B. Ergebnisse der angiographischen Untersuchungen

Diese Untersuchung war zusammengestellt aus einer uni- oder bilateralen perkutanen Karotisangiographie — wenn nötig ergänzt mit einer Aortenbogenangiographie mittels eines Seldinger-Katheters durch die Arteria femoralis und gegebenenfalls mit selektiver Katheterisierung der Karotiden.

Die Angiogramme wurden hergestellt bei der radiologischen Abteilung des Krankenhauses 'De Stadsmaten' (Kollegen: Th.K. Tjia, K. Pospisil und Ph. Wüstefeld) und des Krankenhauses 'Ziekenzorg' (Kollegen: A.M.C. van de Broek, G. Dornseiffen und N. v.d. Meulen) in Enschede.

Bei 200 Patienten wurden 212 Diagnosen gestellt.

- 12mal ergab sich eine doppelte Diagnose, nämlich
- 3mal cerebrale Durchblutungsstörung und Amaurosis fugax
- 8mal cerebrale Durchblutungsstörung rechts und links
- 1mal cerebrale Durchblutungsstörung und Ophthalmicaverschluss.

Wenn nicht anders angegeben, wird mit einer positiven Angiographie gemeint, dass dabei ein obstruierender Prozess festgestellt wurde. Die Angiographien von 3 Patienten mit einem Gehirntumor werden also als **negativ** aufgeführt.

Die Gesamtzahl der angiographisch untersuchten Patienten war 58 (29%). Bei 17% der gestellten Diagnosen erwies sich die angiographische Untersuchung als positiv, bei 13% der gestellten Diagnosen als negativ.

Eine Liste der Diagnosengruppen und angiographischen Befunde zeigt die folgenden Daten:

Diagnose	Anzahl	Angiographie	
		positiv	negativ
1. Amaurosis fugax	7	4	
2. TIA	50	13 + 1 coiling	6
3. RIND	41	8 + 1 kinking	7
4. Acute Stroke	15		2
5. Progressing Stroke	6		
6. Completed Stroke	6		
7. Verschiedenes, nicht näher umschrieben	36	1 coiling	7
8. Atypische Visusbeschwerden — Verdacht des Amaurosis fugax	13		
9. Verschluss der Arteria centralis retinae und Karotisgerausch	1	1	
10. Verschluss der Arteria ophthalmica	1	1	
11. Hemisyndrom e.c.i.	6	2	1
12. Akute Aphasie	3		1
13. Subjektive oder objektive Sensibilitätsstörungen	8		3
14. Karotisgerausch ohne neurologischen Ausfall	3		1
15. Palpatorischer Unterschied zwischen den Karotiden	4	1 kinking	
16. Symptome vertebrobasilärer Insuffizienz	6		
17. Kollaps	1		
18. Arteritis temporalis, Periarteritis nodosa	2		
19. Karotis-Sinus-cavernosus-Fistel	1	1	
20. Arteriovenöses Angiom	2	2	
	212	32 + 2 coiling* + 2 kinking**	28

* Mit **coiling** wird gemeint ein sich stark schlängelndes Gefäß mit Bildung eines Siphons oder einer zusätzlichen Schleife.

** Von **kinking** ist die Rede wenn sich in einem Gefäß ein Knick bildet.

Klinische und hämodynamische Studien wie auch Untersuchungen des rCBF sprechen für eine Korrelation zwischen Kinking und dem Eintreten zerebraler Durchblutungsstörungen. (Herrschaft 1968, 1975; Müller und Waigand 1974).

Bei den 70 Patienten aus der eigenen Praxis wurden 75 Diagnosen gestellt.

5mal ergab sich eine doppelte Diagnose, nämlich

1mal cerebrale Durchblutungsstörung mit Amaurosis fugax

3mal cerebrale Durchblutungsstörung rechts und links
 1mal cerebrale Durchblutungsstörung und Ophthalmicaverschluss.

Die Gesamtzahl der angiographisch untersuchten Patienten war 14 (20%).
 Bei 16% der gestellten Diagnosen erwies sich die angiographische Untersuchung als positiv, bei 8% der gestellten Diagnosen als negativ.

Die folgende Liste zeigt die verschiedenen Diagnosengruppen.

Diagnose	Anzahl	Angiographie	
		positiv	negativ
1. Amaurosis fugax	3	2	
2. TIA	22	4	3
3. RIND	21	3 + 1 kinking	2
4. Acute Stroke	9		
5. Progressing Stroke	4		
6. Completed Stroke	6		
8. Atypische Visusbeschwerden			
Verdacht des Amaurosis fugax	2		
10. Verschluss der Arteria ophthalmica	1	1	
11. Hemisyndrom e.c.i.	1	1	
12. Akute Aphasie	3		1
13. Subjektive oder objektive Sensibilitätsstörungen	3		
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	75	11 + 1 kinking	6

Die Literatur verschafft uns wenig Vergleichsmöglichkeiten zu den hier angegebenen Zahlen.

Wie bereits oben erwähnt wurden im R.K. Krankenhaus in Oldenzaal — einem Regionalkrankenhaus mit 233 Betten — in einer Periode von 3 Jahren 109 Patienten mit einer cerebralen Durchblutungsstörung bzw. Amaurosis fugax beobachtet. Von diesen Patienten wurden 70 (64%) mittels ODG untersucht und bei 60 (55%) erwies sich die Kombination ODG-ODM als möglich.

Bei 14 (13%) wurde eine angiographische Untersuchung vorgenommen.

Young (1972) berichtete dass in einem 'general hospital' mit 200 Betten in 8 Monaten 168 Patienten mit symptomatischen zerebrovaskulären Insuffizienz beobachtet wurden.

Von diesen wurden 74 (44%) weiter ausführlich untersucht — u.a. mittels Ophthalmodynamometrie.

Bei 15 Patienten (9%) wurde zu einer angiographischen Analyse entschlossen. Der Prozentsatz der Patienten welche schliesslich für Angiographie in Betracht kamen, weicht also nicht so viel von unseren Befunden ab.

Harrison und Marshall (1975) gaben eine Analyse von 211 angiographisch untersuchten Patienten, von denen 19 (9%) einen Amaurosis fugax, 162 (77%) TIAs und 30 (14%) beide Störungen zeigten. Von den Angiogrammen erwiesen sich 91 (43%) als negativ und 32 Patienten (15%) wurden operativ behandelt.

Bei unserem Patientenmaterial wurde 57mal die Diagnose TIA oder Amaurosis fugax gestellt, 4mal (7%) nur Amaurosis fugax, 50mal (88%) nur TIA und 3mal (5%) beide.

24mal wurde eine Angiographie vorgenommen, welche 7mal (29%) ein negatives Ergebnis zeigte. Von den 57 Patienten wurden 6 Patienten (11%) operativ behandelt, eine Anzahl die 25% der angiographisch untersuchten Patienten entspricht.

Vorbehaltlich wegen der geringen Anzahl Patienten und möglicher Abweichungen im Selektionsverfahren, kann man sagen, dass unser Prozentsatz der negativen angiographischen Befunde geringer ist, unser Gesamtprozentsatz der operierten Patienten einigermaßen zurückbleibt, jedoch bei den angiographisch untersuchten Patienten grösser ist als bei der obenerwähnten Untersuchung.

Die Berücksichtigung der ODG- und ODM-Ergebnisse bei der Indikation zur Arteriographie erscheint also zu einer Verringerung der Anzahl negativer angiographischer Ergebnisse zu führen.

C. Ophthalmodynamographie und Ophthalmodynamometrie bei den untersuchten Patienten

1. Anwendbarkeit

Bei 1 Patienten (0.5%) konnte keine nützende ODG-Kurve abgeleitet werden. Dies ist bedeutend weniger als die von Hager (1966) erwähnte 15%. Wahrscheinlich spielt hier die Verbesserung der Adaptationsringe und die doppelseitige Ableitung eine wichtige Rolle.

Bei 70 Patienten (35%) stiegen ein oder mehrere systolische Werte über den Messbereich der Aufstellung hinaus — wir haben als oberste Grenze der zulässlichen Kompression 200 mm Hg angehalten. In der Literatur der ODG wird öfters behauptet dass es nicht verantwortet sei die Kompression über 170-190 mm Hg zu erhöhen (Bettelheim 1969, Fischbach und Harrer 1969, Finke 1974). Von diesen ODGn wurden wohl die diastolischen Druckwerte, das Verhältnis der Pulsationsvolumina (PVQ) und die Parameter der Formanalyse beurteilt.

Bei 18 Patienten (9%) erwies sich die ODM als völlig unmöglich. Bei 61 (34%) der mittels ODM untersuchten Patienten konnten die Blutdruckwerte der Arteria ophthalmica doppelseitig nur auf dem diastolischen Niveau bestimmt werden.

Bei 12 Patienten (7%) konnten diese Werte unilateral nur auf dem diastolischen Niveau festgestellt werden. Bei 59% dieser Patienten war eine Beurteilung der ODM nach Formel II und IV möglich.

Wir beschränkten uns zur Vermeidung von Komplikationen wegen zu starker Deformierung des Bulbus oculi auf die Anwendung eines Ophthalmodynamometers mit Federspannung I und II (maximale Kompression 150 g).

Bei der Ophthalmodynamographie wurde keine einzige Komplikation wahrgenommen, die Ophthalmodynamometrie gab bei 1 Patienten Anlass zum Entstehen einer kleinen subkonjunktivalen Blutung zur Stelle der Kompression. Insgesamt wurde bei 181 der 200 Patienten (90.5%) eine ODG- und eine ODM-Untersuchung vorgenommen.

2. Relative cephal Hypertonie

Untersucht wurde ob bei unserem Patientenmaterial eine positive Ophthalmobrachialdruckdifferenz nachweisbar war. Dabei ist der aufgrund der ODG-Kurve festgestellte systolische Wert des Blutdrucks in der Arteria ophthalmica höher als der anhand der Korotkowtöne bestimmte systolische Wert in der Arteria brachialis.

Dies war der Fall bei 39 Patienten (19.5%) und zwar bei 15 (7.5%) bilateral, bei 3 (1.5%) unilateral rechts und bei 21 (10.5%) unilateral links.

Dieser Unterschied zwischen rechts und links ist statistisch noch signifikant (Chi-Quadrat-Test - $p < 0.1\%$).

Das Dominieren der linksseitigen positiven ophthalmobrachialen Druckdifferenz liesse sich wohl erklären durch die Weise in der die Kapsel angelegt wird. Der Untersucher befindet sich dabei an der linken Seite des Patienten und die Kontrolle der Adaptation am Orbitaeingang ist rechts bequemer als links. Ungenügende Adaptation kommt, wie bereits früher besprochen, zum Ausdruck in zu hohen Druckwerten (Sayegh und Odwarka, 1969). Die Höhe des Brachialblutdruckniveaus wobei eine positive Ophthalmobrachialdruckdifferenz festgestellt wird, ist aus der folgenden Tabelle ersichtlich.

Blutdruckniveau	Anzahl der Patienten mit positiver ophthalmobrachialer Druckdifferenz	
131 bis einschl. 140 mm Hg	2	3.7%
141 „ „ 150 mm Hg	5	9.3%
151 „ „ 160 mm Hg	4	7.4%
161 „ „ 170 mm Hg	9	16.7%
171 „ „ 180 mm Hg	11	20.4%
181 „ „ 190 mm Hg	16	29.6%
>190 mm Hg	7	13.0%
Insgesamt	54	100 %

Bei einem Blutdruckniveau höher als 190 mm Hg wurde 7mal eine positive ophthalmobrachiale Differenz gemessen.

Eine unbekannte Anzahl befindet sich jedoch oberhalb der Grenze der maximal zulässlichen Kompression.

Die Anzahl der Patienten mit einer relativen cephalen Hypertonie nimmt offensichtlich zu wenn sich das brachial gemessene Blutdruckniveau steigert. Dies deutet darauf hin, dass eine weniger einwändfreie Adaptation bei höheren Massen der Kompression vielleicht auch eine Rolle spielt.

Bei 4 Patienten wurde bilateral eine positive ophthalmobrachiale Druckdifferenz festgestellt > 10 mm Hg und zwar:

ophthalmobrachiale Druckdifferenz (mm Hg)		
	rechts	links
Patient 167	+ 13	+ 13
Patient 97	+ 14	+ 14
Patient 186	+ 26	+ 36
Patient 99	> + 12	> + 18

Narkose mit völliger Muskelerschlaffung gibt laut de Marées (1969) eine Senkung des durch ODG gemessenen systolischen Ophthalmicabluptrucks um 16 (± 6) mm Hg.

Die meisten der festgestellten Druckdifferenzen liegen innerhalb dieser Variationsbreite — sogar wenn man sie zur Berücksichtigung der halbsitzenden Stellung des Patienten um 7.5 mm Hg vermehrt.

3. Das ODG-ODM-Verhältnis im Zusammenhang mit der Art des Kollateralkreislaufs

Laut der Argumentation von Bettelheim und Brenner, wie besprochen im Abschnitt über die Beurteilung des Ophthalmodynamogramms, könnten bei einem Verschlussprozess an der

Arteria carotis interna mit der Entwicklung eines Kollateralkreislaufs durch das Externagebiet bei der Ophthalmodynamographie die Druckwerte und das Pulsationsvolumen sich normalisieren, während man bei der Ophthalmodynamometrie äusserst niedrige Werte messen würde. Selbst haben wir in diesen Fällen festgestellt dass die Form der Oszillationen sich in dem Sinne geändert hatte, dass die anakrote Schulter und die Inzisur nicht mehr erkennbar waren, die Pulsationen eine scharfwinklige Dreieckform aufwiesen und die erste abgeleitete Kurve (Differentiation) sich in eine aspezifische Rundung, bzw. Sägezahnform verwandelte (Typ II). Konkordanz der Druckwerte bzw. des PVQ von ODM und ODG würde dann passen zu einem Kollateralkreislauf durch den Circulus Willisii. Diskordanz dagegen würde sprechen für einen Kollateralkreislauf durch das Externagebiet.

Zur Prüfung dieser Hypothese haben wir die Korrelation zwischen einer signifikanten Drucksenkung mittels ODM (Formel II) und der mittels ODG bzw. PVQ festgestellt. Außerdem haben wir berechnet ob es eine Differenz gibt zwischen den konkordanten und den diskordanten ODM-Werten und zwar alles bei Patienten mit angiographisch festgestellten obstruierenden Prozessen an den Karotiden.

Die Ergebnisse dieser Berechnung sind ersichtlich aus der folgenden Tabelle.

	konkordant	diskordant
Druckwerte ODM im Vergleich zu		
Druckwerten und PVQ ODG	5	17*

* Bei den diskordanten Werten wurde 4mal ein Kollateralkreislauf durch das Externagebiet angiographisch festgestellt. Bei den konkordanten Werten wurde dies nicht einmal wahrgenommen. In der diskordanten Gruppe wurde 7mal der Typ II der pathologischen Oszillationen wahrgenommen — in der konkordanten Gruppe jedoch nicht einmal.

Die durchschnittlichen konkordanten ODM-Werte waren -27 ± 13 mm Hg. Die durchschnittlichen diskordanten ODM-Werte waren -35 ± 14 mm Hg.

Die Differenz zwischen diesen durchschnittlichen Werten ist statistisch noch signifikant (Chi-Quadrat-Test — $p < 0.1\%$). Die hier gemachten Befunde erscheinen also die Hypothese von Bettelheim und Brenner zu unterstützen.

4. Beurteilungskriterien ODM und ODG

a. Ophthalmodynamometrie

An erster Stelle wurden alle gefundene Werte des mittleren Ophthalmicablutdrucks mit den nach Formel II von Weigelin und Lobstein zu erwartenden Werten verglichen. Eine Abweichung um mehr als -13.5 mm Hg (3 SD) wurde als positiv betrachtet.

Außerdem wurde ein ODM-Ergebnis als pathologisch gekennzeichnet bei einer Differenz der systolischen bzw. diastolischen Ophthalmicablutdruckwerte um mehr als 20%. Für die Begründung dieser Meinung möchten wir auf das Kapitel über die Ophthalmodynamometrie verweisen.

Die Gesamtzahl der signifikanten Abweichungen von dem Formel II-Wert war 30. Diese Daten wurden aufgrund signifikanter Druckdifferenzen mit noch 3 positiven Ergebnissen ergänzt.

b. Ophthalmodynamographie

Aus den ophthalmodynamographisch registrierten Kurven notierten wir folgende Einzelheiten:

- den Prozentsatz der Druckdifferenz in der Arteria ophthalmica zwischen links und rechts und zwar auf systolischem, diastolischem und mittlerem Niveau.
- wenn der diastolische Ophthalmicablutdruck nicht aus den Kurven abgelesen werden konnte, wurde dies separat angezeichnet.
- den Prozentsatz der Druckdifferenz zwischen der Arteria brachialis und Arteria ophthalmica, sowohl links als auch rechts, auf systolischem, diastolischem und mittlerem Niveau; im vorhergehenden ophthalmobrachiales Verhältnis genannt.
- das Verhältnis der Pulsationsvolumina, d.h. den PVQ.
- ein gegebenenfalls verzögertes Eintreffen der Pulswelle in der Orbita.
- bei der graphischen Analyse wurden das Fehlen der Inzisur, der absolute Wert des anakroten Winkels (α) und das Verhältnis der anakroten Winkel rechts und links berücksichtigt.
- schliesslich wurden auch aufgrund der Beschaffenheit der 1. abgeleiteten Kurve die pathologischen Oszillationen als Typ I oder Typ II klassifiziert.

Von verschiedenen dieser Parameter haben wir anhand unserer angiographischen Befunde versucht die Spezifität festzustellen.

I. Der Prozentsatz der Druckdifferenz in der Arteria ophthalmica

Wie bei der Ophthalmodynamometrie haben wir eine links-rechts Differenz $> 20\%$ als pathologisch betrachtet.

II. Die diastolischen Ophthalmicawerte abgeleitet aus der ODG-Kurve

Wie bereits im Kapitel über die Ophthalmodynamographie besprochen wurde, stehen zur Beurteilung des diastolischen Wertes zwei Kriterien zur Verfügung: das von rund in eckig verwandeln der Fusspunkte (Kriterium I — die 'spitze Kerbe') und das Verringern der Pulsationen (Kriterium II).

Diese zwei Kriterien sind nicht immer gleichzeitig vorhanden — Kriterium I meistens bei höheren Druckwerten als Kriterium II.

Dieser Unterschied war bei 135 zu diesem Zweck untersuchten normalen Kurven durchschnittlich $9 (\pm 7)$ mm Hg. Nur 2mal war die Reihenfolge umgekehrt und waren diese Druckdifferenzen 7 und 10 mm Hg. Die positiven Differenzen sind in der Abb. 25 dargestellt. 64% der Differenzen ist < 10 mm Hg, 81% < 15 mm Hg. Wir haben bei unserer Beurteilung den diastolischen Wert, bestimmt mit Kriterium II verwendet.

Es stellte sich heraus dass alle angiographisch kontrollierte ODG-Kurven aus welchen wegen des Fehlens des Kriteriums II der diastolische Wert nicht abgelesen werden konnte, zu den Karotisobstruktionen gehörten.

III. Die ophthalmobrachiale Relation

Wie bereits im Kapitel über die Ophthalmodynamographie erwähnt wurde, hatten wir den Eindruck dass die Grenzen der ophthalmobrachialen Relation, wie von Hager und Horch (1963) angegeben, für die Bestimmung eines pathologischen Verhältnisses zu eng sind. Wir haben deswegen anhand unseres Patientenmaterials untersucht wie häufig eine Differenz $>$

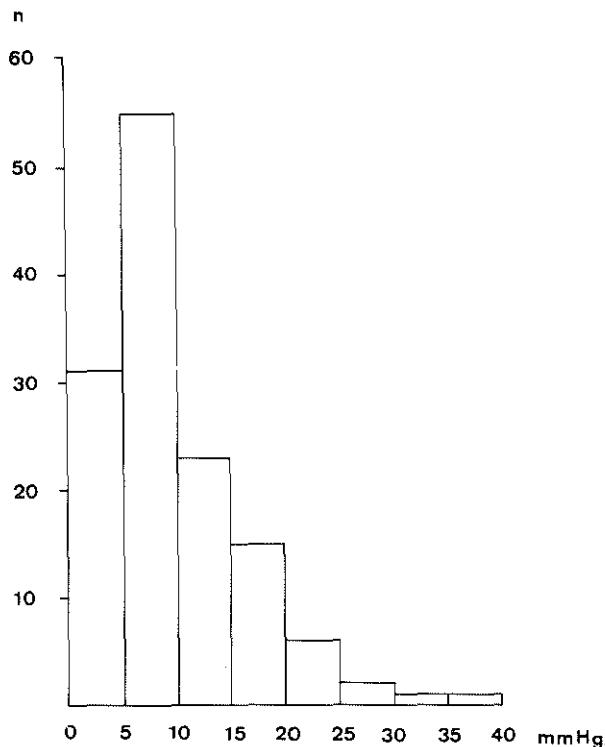


Abb. 25 Die Differenz zwischen beiden diastolischen Kriterien. (mmHg = diastolischer Ophthalmicawert nach Kriterium I (spitze Kerbe) minus denselben nach Kriterium II (Verkleinerung der Pulsationen). n = Zahl der Fälle.

20% auf dem systolischen, mittleren und diastolischen Niveau gefunden wurde und wieviel Male diese Differenz, wie aus der angiographischen Kontrolle hervorgeht, mit einer Karotisobstruktion stimmte. Die Befunde sind aus der untenstehenden Tabelle ersichtlich.

> 20% Differenz bei

ophthalmobrachialer Relation	Anzahl	falsch pos.	Karotisabw.
systolisch	19	3 (16%)	4 (21%)
Pm	43	6 (14%)	3 (7%)
diastolisch	182	26 (14%)	20 (11%)

Es stellt sich heraus dass die Prozentsätze der falsch positiven Ergebnisse auf systolischem, mittlerem und diastolischem Druckniveau ungefähr identisch sind. Eine Druckdifferenz von mehr als 20% auf dem systolischen Niveau stimmte bei 21% der Patienten mit einer Karotisabweichung gegen 7% auf dem mittleren und 11% auf dem diastolischen Niveau. Wir haben deswegen bei unserer endgültigen Beurteilung eine Differenz > 20% zwischen Ophthalmic- und Brachialblutdruck auf dem systolischen Niveau als eine Anweisung einer Karotisstörung betrachtet. Die durchschnittliche Differenz im ophthalmobrachialen Verhältnis war bei den Karotisabweichungen —34%, bei den falsch positiven Ergebnissen —24%.

Eine Differenz über 20% auf diastolischem oder mittlerem Niveau erscheint uns ungenügend zuverlässig.

IV. Das Verhältnis der Pulsationsvolumina

Hager und Seitz (1964) stellten bei 200 untersuchten Versuchspersonen einen durchschnittlichen PVQ von 0.99 mit einer Standardabweichung von 0.11 fest. Bis jetzt wurde daraus in der Literatur die Schlussfolgerung gezogen, dass ein $PVQ < 0.66$ so gut wie sicher auf eine rechtsseitige Störung deutet und ein $PVQ > 1.32$ auf eine linksseitige (Bettelheim 1969; Finke 1966, 1973; Fischbach und Harrer 1969).

Andere Autoren haben eine Differenz des Pulsationsvolumens von 20% (Psilas und Felgenhauer 1971), von 33% (Brunner, Schiller und Pieroth 1974) oder von 50% (Meijer-Erkelenz und Ksinsik 1972) als signifikant betrachtet.

Die Handhabung von 3 Sigmagrenzen ergibt hier jedoch wahrscheinlich Normen welche für links und rechts nicht identisch sind. Der PVQ kan nämlich bei einem kleineren Pulsationsvolumen rechts variieren zwischen 0 und 1, bei einem kleineren Pulsationsvolumen links jedoch von 1 zu ∞ und die Aufteilung des PVQ is deswegen höchstwahrscheinlich nicht nach Gauss verhalten.

Die genannten Autoren geben jedoch in ihren Veröffentlichungen auch das bei 200 Versuchspersonen festgestellte durchschnittliche Pulsationsvolumen an und das beträgt 99 mm^3 . Die links-rechts Differenz ist durchschnittlich 0 mm^3 mit einer Standardabweichung von 13 mm^3 und die Aufteilung der Differenzen ist symmetrisch nach einer Gauss-Kurve. Durchschnittlich deutet also ein Pulsationsvolumen von 60 mm^3 auf eine Störung hin. Ist dies der Fall an der rechten Seite, so ergibt sich ein PVQ von $0.61 (\frac{60 \text{ mm}^3}{99 \text{ mm}^3})$, links wird in diesem Fall der PVQ $1.65 (\frac{99 \text{ mm}^3}{60 \text{ mm}^3})$.

Derka (1972) hat geprüft, dass die absoluten Werte des Pulsationsvolumens nur geringe Bedeutung haben. Wir haben deswegen die laut dieser Argumentation veränderten Normen für den PVQ verwendet und einen $PVQ < 0.61$ und > 1.65 als pathologisch betrachtet.

V. Ein verzögertes Eintreffen der Pulswelle in der Orbita

Bei der heutigen von uns angewendeten Aufstellung werden gleichzeitig das EKG und das Phonokardiogramm, die Korotkowtöne und das Bulbus-orbita-Oszillogramm rechts und links registriert. Dies ermöglicht die Ablesung der gegenseitigen Zeitverhältnisse dieser Parameter. Aus der Zeitdifferenz zwischen dem Anfang des zweiten Herztones und der Inzisur kann die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle berechnet werden. Sowohl der zweite Herzton als auch die Inzisur der arteriellen Oszillationen ist nämlich auf das Zuschliessen der Aortenklappen zurückzuführen und wenn man die Entfernung der Aortenklappen von dem Ort der Ableitung der arteriellen Pulsation durch die Zeitdifferenz zwischen diesen beiden teilt, so findet man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle. Wir haben die Entfernung der Aortenklappen von dem Orbitaeingang annähernd berechnet, indem wir die Entfernung: 3. Interkostalraum-Jugulum, Jugulum-Ohrtrumpe und von der äusseren Ohrtrumpe gerade nach vorne soweit die Cornea reicht, zusammengezählt haben.

An erster Stelle haben wir untersucht ob es einen Unterschied gibt zwischen den Q-Oszillationszeiten bei Patienten mit oder ohne Karotisstörungen.

Bei 117 Patienten mit einem normalen ODG messen wir rechts und links eine durchschnittliche Oszillationszeit von 0.14 Sek. mit einer Standardabweichung von 0.02 Sek. Eine Über-

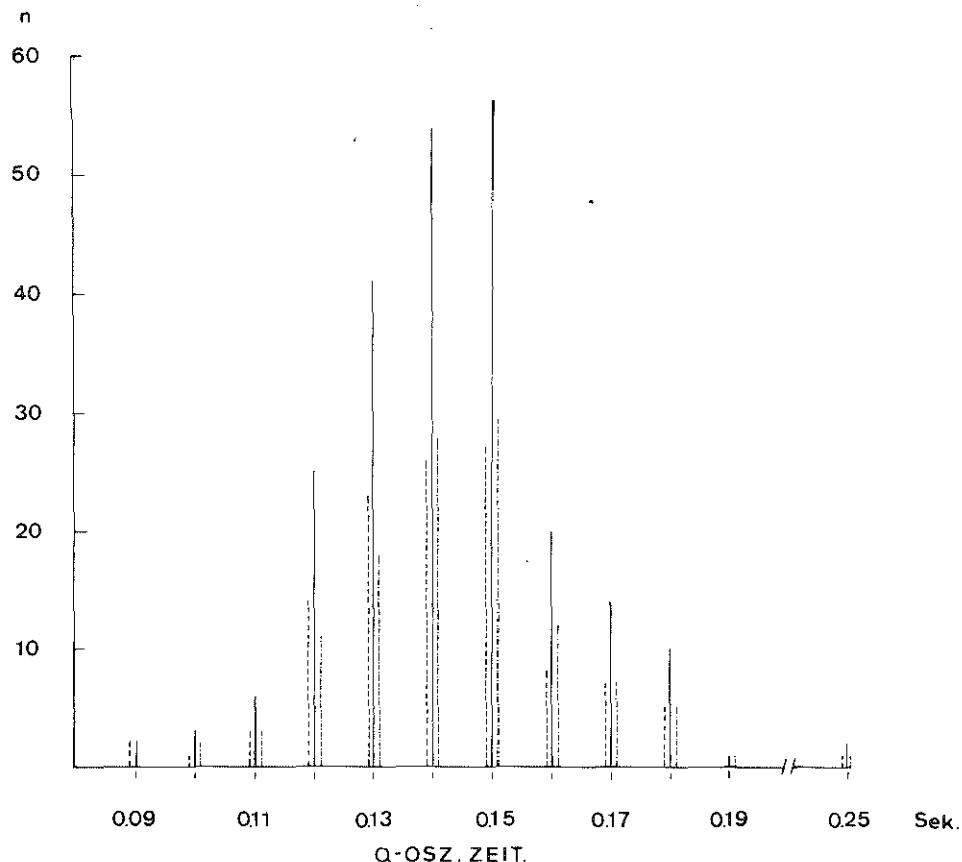


Abb. 26 Q-Oszillationszeiten bei 117 Patienten mit einem Normalen ODG. Gezogene Linie: Gesamtzahl der Fälle (n). Gestrichelt: Zahl der Fälle links. Strich-Punkt: Zahl der Fälle rechts.



Abb. 27 Q-Oszillationszeiten auf der kranken Seite bei 28 Patienten mit einer hämodynamisch signifikanten Karotisstenose oder -thrombose. (n = Zahl der Fälle).

sicht der gemessenen Zeiten zeigt Abb. 26. 88% der gemessenen Zeiten war < 0.17 Sek. Bei 28 Patienten mit angiographisch festgestellten hämodynamisch signifikanten Karotisabweichungen fanden wir eine durchschnittliche Q-Oszillationszeit von 0.15 Sek. mit einer Standardabweichung von gleichfalls 0.02 Sek. 86% der gemessenen Zeiten war < 0.17 Sek. Abb. 27 gibt eine Übersicht der bei diesen Patienten gemessenen Zeiten.

Aufgrund der absoluten Q-Oszillationszeit kann man diese Gruppen also nicht von einander unterscheiden.

Wir haben ausserdem noch erwogen, dass man die Entfernung der Aortenklappen von dem Orbitaeingang berücksichtigen sollte. Wir stellten jedoch fest, dass keine Korrelation zwischen diesen Entfernungen und den Q-Oszillationszeiten nachweisbar ist (Abb. 28, 29 und 30).

Zum nachfolgenden Gedankengang entnahmen wir dem Buch 'Non-invasive technics in cardiology' (Wayne 1973) die erforderliche Basiskenntnis.

Die Q-Oszillationszeit ist aus den folgenden Elementen zusammengesetzt:

- 1) elektromechanisches Intervall +
- 2) richtige isovolumetrische Kontraktionsphase +
- 3) Laufzeit der Pulswelle.

1) und 2) zusammen bilden die Präejektionsperiode (PEP)

$$3) \text{ die Laufzeit der Pulswelle} = \frac{\text{Entfernung Aorta-Orbita}}{\text{Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle}}$$

Sek.

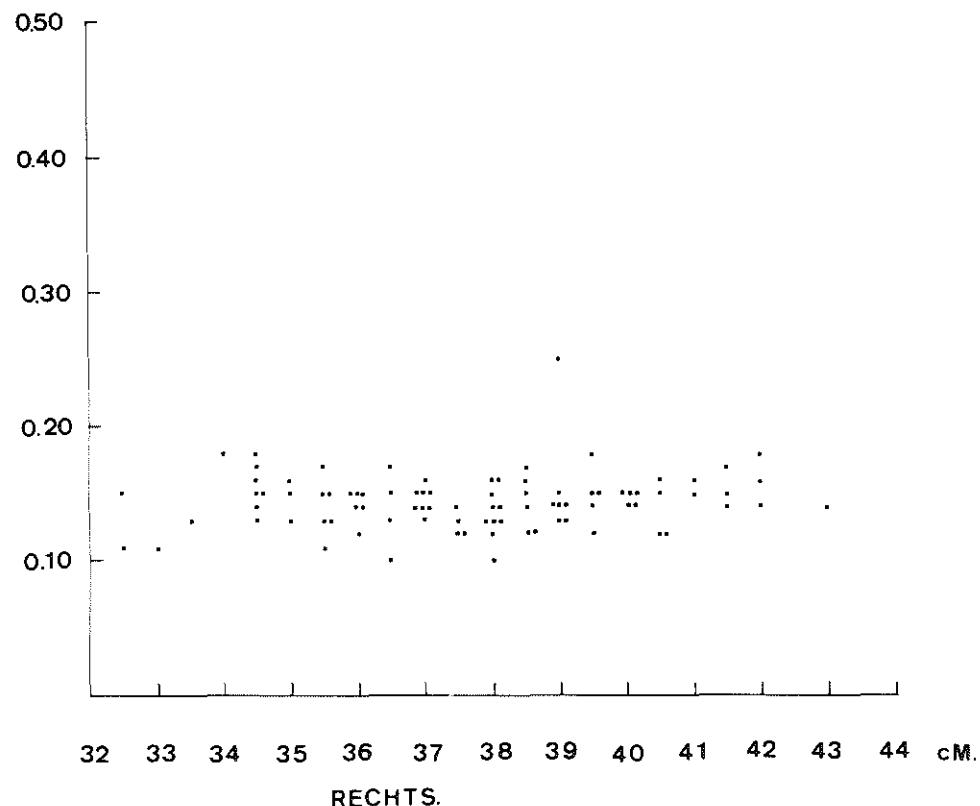


Abb. 28 Q-Oszillationszeiten (Sek) rechts in Relation zum Abstand Aorta-Orbita (cM).

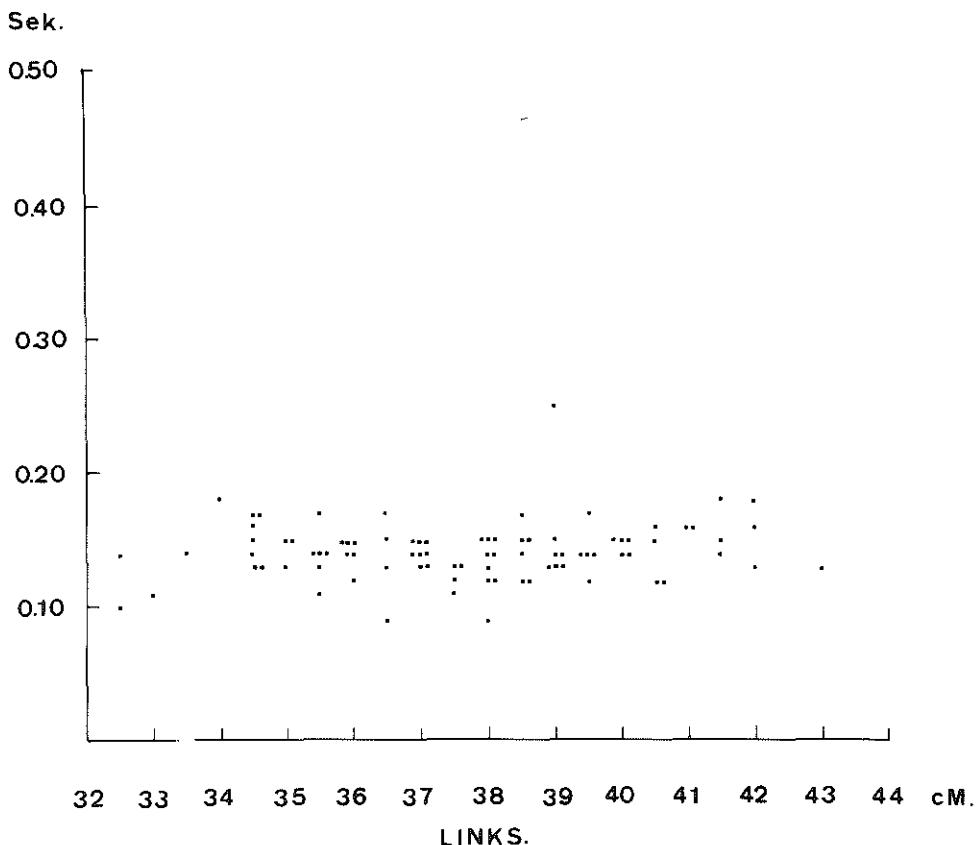


Abb. 29 *Q-Oszillationszeiten (Sek) links in Relation zum Abstand Aorta-Orbita (cM).*

Die Differenz zwischen den gemessenen Entfernungen der Aorta von der Orbita ist maximal 10 cm. Bei einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle in Höhe von z.B. 600 cm/Sek. bedeutet dies eine Laufzeitdifferenz um 0.017 Sek. Diese Differenz ist offenbar im Vergleich zu anderen Variablen zu vernachlässigen.

Eine dieser Variablen ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle. Wir haben diese berechnet bei 74 Patienten mit einem normalen ODG und fanden die in Abb. 31 gegebenen Werte. Deutlich erkennbar ist die erhebliche Streuung welche man dabei findet: nur 60% der festgestellten Werte liegt zwischen 450 und 750 cm/Sek, 11% ist < 450 cm/Sek. und 29% > 750 cm/Sek. Da die Inzisur bei pathologischen Kurven meistens fehlt, ist die beschriebene Methode bei diesen Kurven nicht verwendbar.

Als viel wertvoller als die absoluten Werte der Q-Oszillationszeit erweisen sich deren links-rechts Differenzen.

Bei 117 Patienten mit normalem ODG fanden wir eine durchschnittliche Differenz der Q-Oszillationszeit in Höhe von 0.004 Sek. (± 0.005 Sek.) Eine Übersicht der Differenzen gibt Abb. 32. 100% der Differenzen war < 0.02 Sek.

Die Verteilung ist jedoch asymmetrisch. Häufiger kann man beobachten, dass die Q-Oszillationszeit rechts 0.01 Sek. länger ist als links — man könnte dies wohl erklären aus der

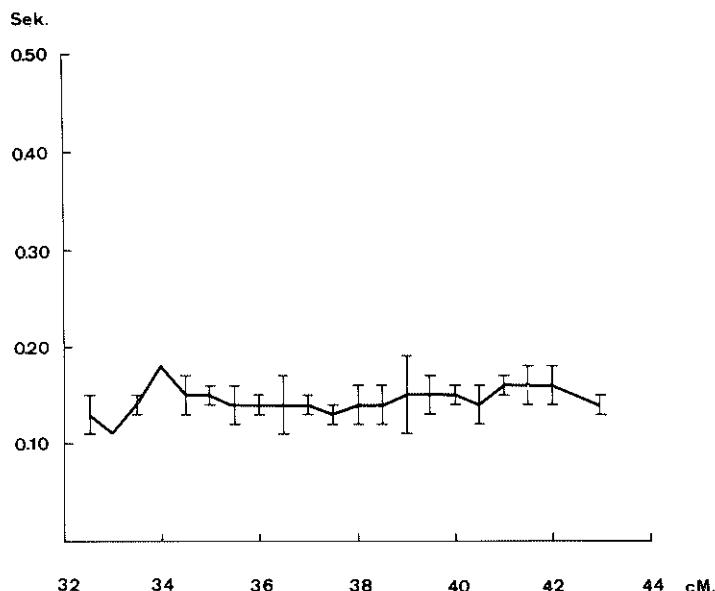


Abb. 30 Mittlere Q-Oszillationszeiten ± 1 SD (Sek) rechts und links in Relation zum Abstand Aorta-Orbita (cM).

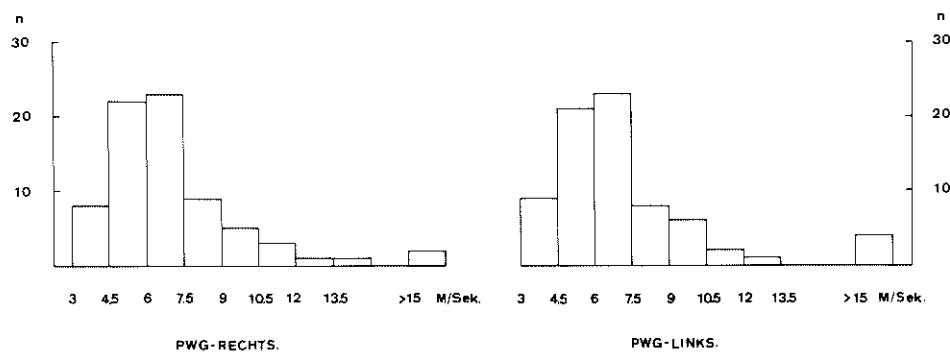


Abb. 31 Pulswellengeschwindigkeit (PWG) in M/sek rechts bzw. links bei 74 Patienten mit einem normalen ODG. (n = Zahl der Fälle).

Tatsache dass sich rechts die Arteria anonyma zwischen dem Arcus aortae und der Arteria carotis communis befindet. Dabei stimmt die Feststellung, dass das Verhältnis Entfernung/Q-Oszillationszeit viel häufiger rechts geringer ist als links (s. Abb. 36).

Bei 21 Patienten mit einer unilateralen hämodynamisch signifikanten Karotisstenose oder -thrombose stellte.. wir 20mal eine durchschnittliche Verzögerung von 0.01 Sek. (± 0.01 Sek.) und einmal eine Beschleunigung um 0.01 Sek. fest.

Von den Verzögerungen betrugen 6 (30%) 0.02 Sek. oder mehr. Abb. 33 zeigt diese Differenzen.

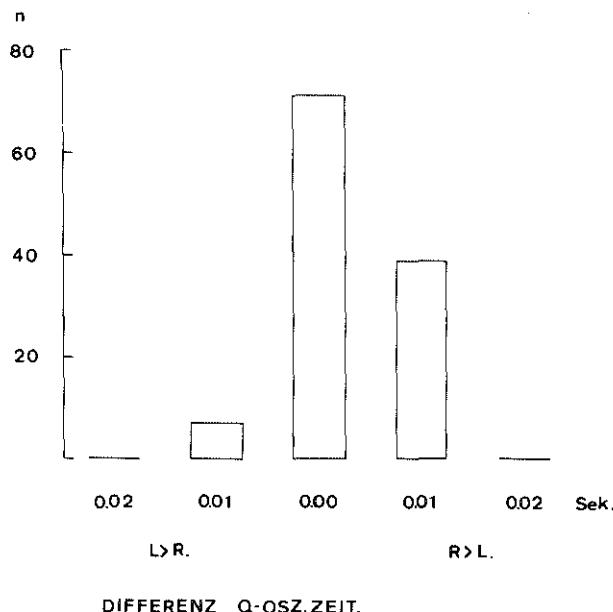


Abb. 32 Links-rechts Differenzen der Q-Oszillationszeiten bei 117 Patienten mit einem normalen ODG. (n = Zahl der Fälle).



Abb. 33 Differenzen der Q-Oszillationszeiten bei 21 Patienten mit einer unilateralen, häodynamisch signifikanten Karotisstenose oder -thrombose. (kranke Seite minus gesunde Seite; n = Zahl der Fälle).

Die Schlussfolgerung lautet dass eine Differenz in der Q-Oszillationszeit ≥ 0.02 Sek. mit grösster Wahrscheinlichkeit auf eine Karotisstenose oder -thrombose deuten wird. Eine Differenz der Q-Oszillationszeit < 0.02 Sek. schliesst diese jedoch keinesfalls aus. (Strik 1976)

Nach der Meinung von Keller c.s. (1974) deutet eine mittels des Doppler-Verfahrens gefundene Verspätung von 0.03 Sek. auf einen Karotisverschluss.

Die Ophthalmodynamographie ist in dieser Hinsicht also deutlich empfindlicher.

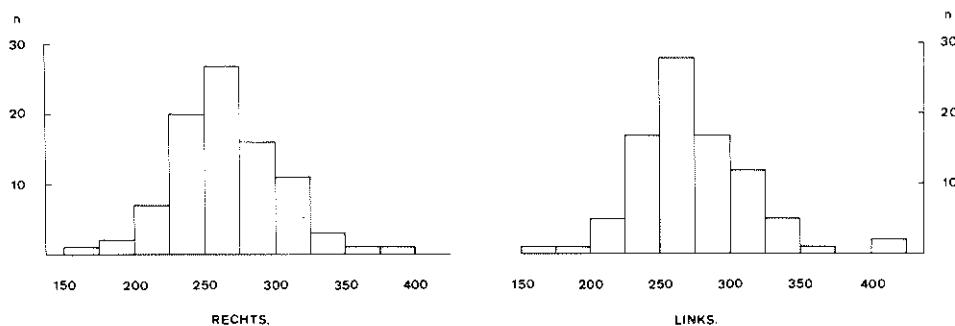


Abb. 34 Verhältnis $\frac{\text{Abstand Aorta-Orbita}}{\text{Q-Oszillationszeit}}$ rechts und links bei 89 Patienten mit einem normalen ODG. (n = Zahl der Fälle).

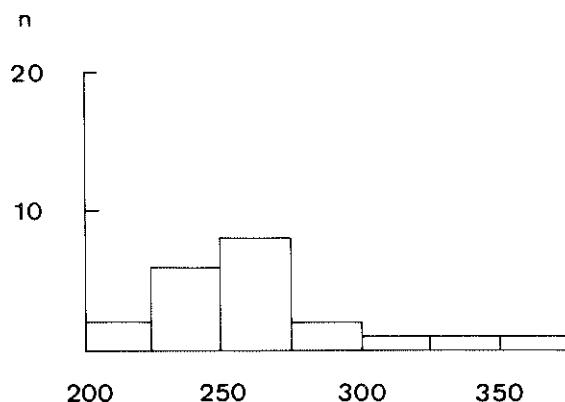


Abb. 35 Verhältnis $\frac{\text{Abstand Aorta-Orbita}}{\text{Q-Oszillationszeit}}$ auf der kranken Seite bei 21 Patienten mit einer unilateralen hämodynamisch signifikanten Karotisstenose oder -thrombose (n = Zahl der Fälle).

Wir haben ausserdem noch versucht die zwischen den Patienten bestehenden Unterschiede in der Aorta-Orbita-Entfernung zu beseitigen durch Berechnung des Verhältnisses Entfernung Q-Oszillationszeit. Bei 89 Patienten mit normalem ODG stellten wir rechts ein durchschnittliches Verhältnis von 266 mit einer Standardabweichung von 37 und links ein durchschnittliches Verhältnis von 272 mit einer Standardabweichung von 42 fest.

Diese Verhältnisse sind ersichtlich aus Abb. 34. Von diesen Verhältnissen war 90% > 224. Bei 21 Patienten mit einer angiographisch festgestellten hämodynamisch signifikanten Karotisstenose oder -thrombose fanden wir ein durchschnittliches Verhältnis von 263 mit einer Standardabweichung von 42. Abb. 35 zeigt diese Verhältnisse; 90% davon war > 224. Auch aufgrund dieser Verhältnisse kann man die beiden Gruppen nicht von einander unterscheiden. Wir haben auch hier die links-rechts Unterschiede der Verhältnisse untersucht. Bei

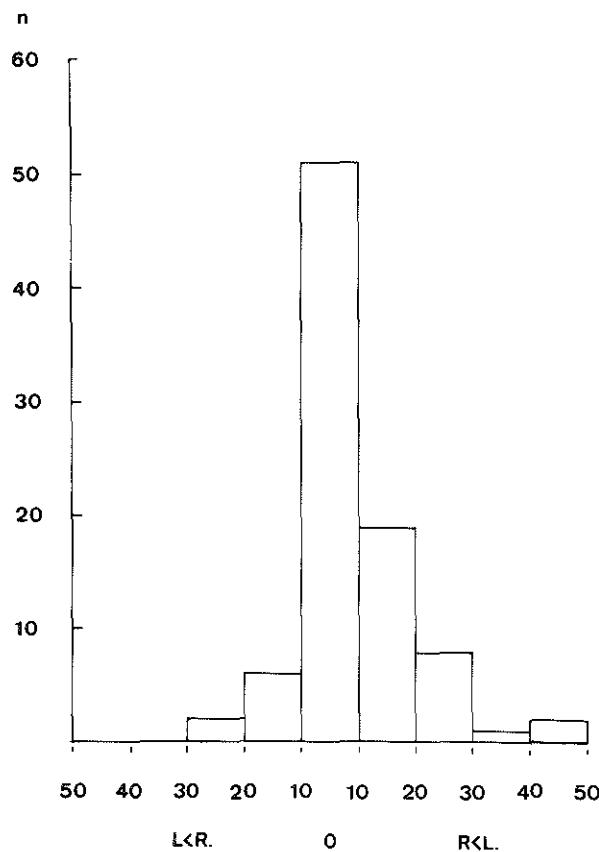


Abb. 36 Links-rechts Differenzen der Verhältnissen (wie Abb. 35) bei 89 Patienten mit einem normalen ODG. (n = Zahl der Fälle).

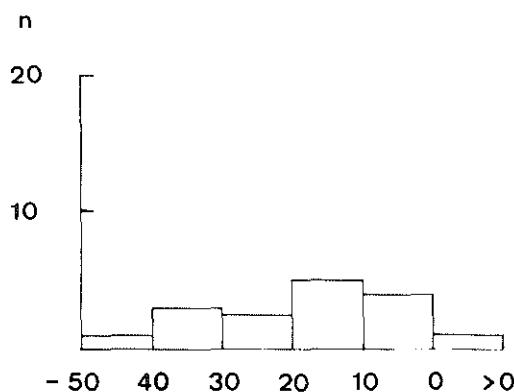


Abb. 37 Differenzen der Verhältnissen (wie Abb. 35) bei 16 Patienten mit einer unilateralen, hämodynamisch signifikanten Karotisstenose oder -thrombose (kranke minus gesunde Seite; n = Zahl der Fälle).

89 Patienten mit normalem ODG fanden wir durchschnittlich einen Unterschied von 8 mit einer Standardabweichung von 11. Abb. 36 zeigt diese Unterschiede. 85% davon war < 20 . Bei 16 Patienten mit einer unilateralen hämodynamisch signifikanten Karotisstenose oder -thrombose fanden wir 15mal eine negative Differenz von durchschnittlich 19 mit einer Standardabweichung von 15 und einmal eine positive Differenz von 36. Diese Unterschiede zeigt die Abb. 37. 40% der Unterschiede war > 20 . Die Differenz in der Q-Oszillationszeit unterscheidet besser als die Differenz in den Verhältnissen, so dass wir bei der Beurteilung des ODG vom ersten Datum ausgegangen sind.

VI. Die graphische Analyse der ODG-Pulsationen

Aufgrund früherer Befunde, welche bereits im Kapitel über die Ophthalmodynamographie erwähnt wurden, haben wir das Fehlen der Inzisur als ein pathologisches Kennzeichen betrachtet. Ebenfalls wurde als pathologisch betrachtet ein anakroter Winkel kleiner als der bei 24 Versuchspersonen festgestellte durchschnittliche Wert (82.07°) weniger 3mal die Standardabweichung (2.68°), also 74.03° .

Für die Berechnung des Verhältnisses der anakroten Winkel (welches normalerweise durchschnittlich 1.00 beträgt), wurde derselbe Gedankengang gefolgt wie bei der Bestimmung der Grenzen des PVQ.

Ein Verhältnis kleiner als 0.90 ($\frac{74.03^\circ}{82.07^\circ}$) deutet auf eine Störung rechts, ein Verhältnis grösser als 1.11 ($\frac{82.07^\circ}{74.03^\circ}$) auf eine Störung links.

Wir fanden insgesamt nur bei einem Patienten eine doppelseitige Verkürzung der Gipfelzeit von > 2 sigma. Eine Angiographie dabei liegt nicht vor.

Verlängerungen der Gipfelzeit um > 2 sigma wurden nicht festgestellt.

Letzten Endes kommen wir auf die folgenden 14 **Beurteilungskriterien** für ODG und ODM.

ODG

- a. % Unterschied Brachialblutdruck-Ophthalmicablutdruck.
 1. ophthalmobrachiale Relation auf systolischem Niveau $> -20\%$.
- b. % links-rechts Differenz des Ophthalmicablutdrucks.
 2. auf systolischem Niveau mehr als 20% Unterschied.
 3. auf mittlerem Niveau mehr als 20% Unterschied.
 4. auf diastolischem Niveau mehr als 20% Unterschied
 - ausgenommen wenn der Unterschied auf systolischem Niveau $< 20\%$ ist.
 5. diastolischer Ophthalmicawert nicht messbar.
- c. Verhältnis der Pulsationsvolumina ($\frac{PV \text{ rechts}}{PV \text{ links}}$)
 6. $0.61 < PVQ < 1.65$
- d. Graphische Analyse.
 7. Fehlen der Inzisur.
 8. anakroter Winkel $< 74.03^\circ$
 9. Verhältnis der anakroten Winkel ($\frac{\alpha \text{ rechts}}{\alpha \text{ links}}$)

$$0.90 < \frac{\alpha R}{\alpha L} < 1.11$$
 10. Verspätung der Q-Oszillationszeit ≥ 0.02 Sek.
 11. pathologische Form der Oszillation Typ II.

ODM

12. Formel II-Werte um mehr als 13.5 mm Hg niedriger als die berechneten Werte.
13. % links-rechts Differenz auf systolischem Niveau > 20%.
14. % links-rechts Differenz auf diastolischem Niveau > 20%, ausgenommen wenn die Differenz auf systolischem Niveau < 20% ist.

5) Ergebnisse der ODG-ODM-Untersuchung bei Patienten mit obliterierenden Prozessen an den Karotiden

Die Ergebnisse der Anwendung der beiden Untersuchungsmethoden können auf verschiedene Weisen klassifiziert werden. Für die erste, nachfolgende Übersicht haben wir untersucht wie häufig die ODG bzw. ODM bei einem angiographisch festgestellten Verschlussprozess an einer Arteria carotis interna, Arteria ophthalmica oder Arteria anonyma ein positives Ergebnis zeigten. Erkrankungen der Arteria carotis communis fehlten in unserem Patientenmaterial. Bei 1 Patienten mit einer Karotis-sinus-cavernosus-Fistel zeigte das ODG die typische 'post-diastolic spindle' (Bettelheim 1968, Verzella 1971). s. Abb. 38.

Angiographie	Anzahl	ODG pos.	ODM pos.	Beide neg.
Karotisobstruktion L	9	5	5	4 a
Ophthalmicaverschluss L	1	1	1	—
Karotisobstruktion R	5	5	4	—
Anonymastenose	1	1	—	— b
Anonymaverschluss und	1	1	1	—
Karotis-interna-Stenose L		1	1	—
Karotisstörung L	8	3	3	4 c
und R		5	5	2 d
Karotisobstruktion L	1	1	1	—
und R keine Angiographie		(1)	(1)	—
insgesamt	35	23	21	10

a) Es gab 4 Patienten mit einer Karotisabweichung links und einer negativen ODG-ODM-Untersuchung.

Patient 134 3 Jahre vor der ODG-ODM zeigte die Angiographie einen Verschluss der linken Arteria carotis interna.

Patient 174 hatte links eine 84%-ige Internastenose.

Patient 150 bei diesem Patienten war das ODG negativ, konnte die ODM nicht beurteilt werden und lag links eine 61%-ige Internastenose vor.

Patient 104 bei diesem Patienten war das ODG nicht beurteilbar, war die ODM negativ und lag links eine 89%-ige Internastenose vor.

b) Patient 152 zeigte eine Anonymastenose von wenigstens 50%.

c) + d) Diese 4 Patienten wiesen ausser heterolateralen Abweichungen die folgenden Störungen auf.

Patient 125 eine 98%-ige Internastenose links

Patient 22 eine 56%-ige Internastenose links

Patient 117 eine 49%-ige Internastenose links

Patient 88 multiple Internastenosen links maximal 74%

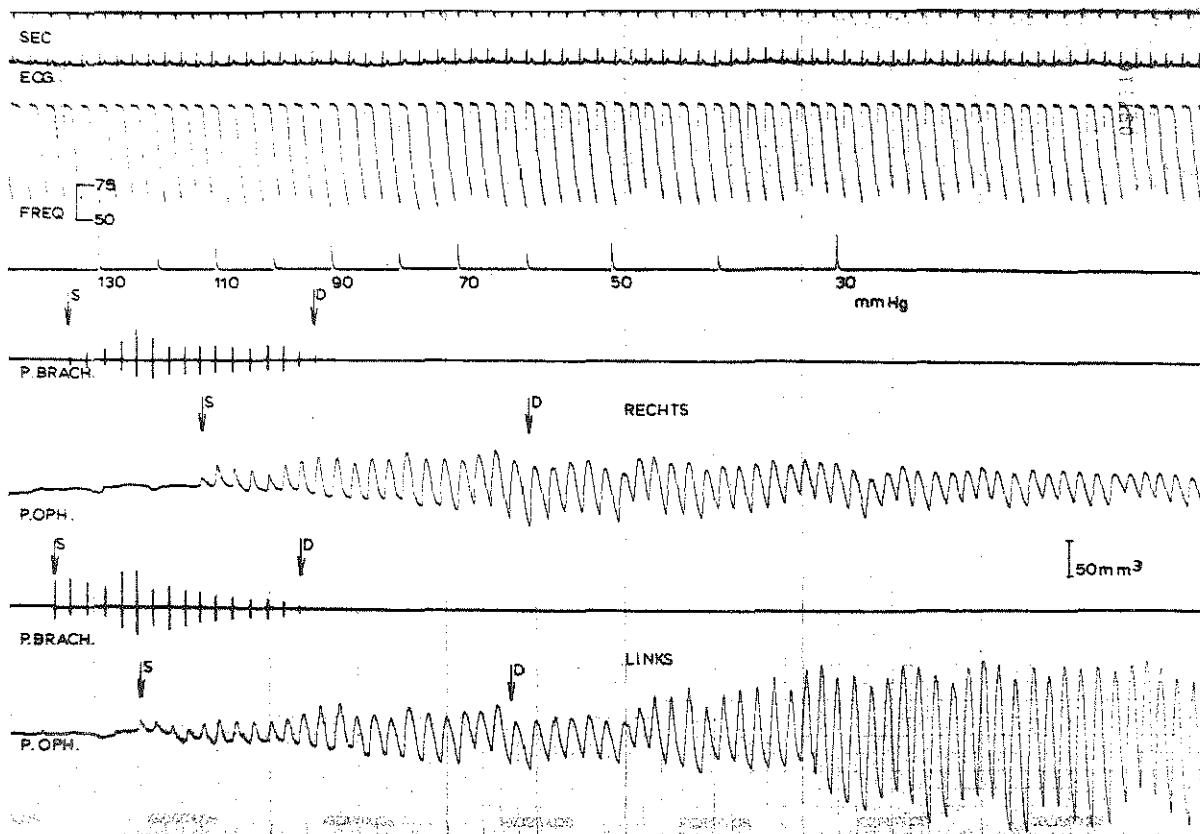


Abb. 38 Carotis — Sinus-cavernosus-Fistel mit einer sub-diastolischen Spindel links. Von oben nach unten: Zeitmarkierung (sec), Elektrokardiogramm (ECG), Herzfrequenzintegration (Freq), Druckabfallmarken (mmHg), Korotkow-Geräusche rechts (Pbrach), Orbita-Oszillogramm rechts (Poph), Korotkow-Geräusche links (Pbrach) und Orbita-Oszillogramm links (Poph). S = systolischer Druck, D = diastolischer Druck. Eichung: 10 mm = 50 mm³. Papiergeschwindigkeit: 0.5 cm/sek.

Patient 125 eine 89%-ige Internastenose rechts

Patient 88 rechts eine 89%-ige Siphonstenose nebst einer proximalen 64%-ige Internastenose.

Beim letzterwähnten Patienten kann man eine komplizierte hämodynamische Lage beobachten. Der Siphonstenose zufolge wirkt der völlige Druck der Arteria carotis interna auf die Arteria ophthalmica aus, der proximalen Stenose zufolge wird jedoch der Druck in der Arteria carotis interna herabgesetzt. Es gab 2 Arterien mit einer Stenose von etwa 50% (Patienten 22 und 117) — in diesem Fall dürfte man kaum hämodynamische Abweichungen erwarten während die Feststellung von dem Mass der Stenose aufgrund der angiographischen Bilder nur eine annähernde Bedeutung hat. Diese Angiogramme wurden schliesslich als negativ betrachtet, so dass insgesamt 33 Arterien mit Verschlüssen > 50% übrigblieben.

Bei 7 Arterien wurde ein falsch positives Ergebnis festgestellt auf eine Gesamtzahl von 49 Karotiden, bei denen eine angiographische Untersuchung keine oder eine nicht-signifikante Stenose erwischte. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

Angiographie	ODG-ODM		insgesamt
	pos.	neg.	
pos.	25	8	33
neg.	7	42	49
insgesamt	32	50	82

Richtig beurteilt wurden 67 der 82 Arterien = 82%.

Falsch negativ waren 8 Ergebnisse = 10%.

Falsch positiv waren 7 = 8%.

Eine Übersicht der falsch positiven Ergebnisse zeigt die folgende Liste.

Bei 1 Patienten (89) ohne angiographische Abweichung wurde ein signifikant abweichender PVQ festgestellt.

Bei 1 Patienten (124) mit Kinking an einer Seite wurde homolateral ein signifikant zu geringer anakroter Winkel registriert.

Bei 1 Patienten (171) mit coiling zeigte sich heterolateral systolisch eine relative cephale Hypotonie um 22%.

Bei 1 Patienten (163) mit coiling beiderseits wurde unilateral systolisch eine relative cephale Hypotonie um 29% festgestellt.

Bei 1 Patienten (39) mit einem Tumor cerebri wurde homolateral systolisch eine relative cephale Hypotonie um 22% wie auch eine signifikante Differenz im PVQ festgestellt.

Bei 1 Patienten (157) mit einem Tumor cerebri zeigte sich heterolateral ein signifikant gestörtes Verhältnis der anakroten Winkel.

Bei 1 Patienten (118) mit einem Tumor cerebri zeigte sich heterolateral eine signifikante Senkung des FII Wertes der ODM.

In den folgenden zwei Übersichten wird über die Ergebnisse der ODM-bzw. ODG-Untersuchungen bei obliterierenden Prozessen an den Karotiden berichtet und zwar im Zusammenhang mit dem gesamten Patientenmaterial.

Eine angiographische Untersuchung welche zu einer anderen Diagnose führte, wurde als negativ klassifiziert.

Ophthalmodynamometrie bei obliterierenden Prozessen an den Karotiden.

ODM	Angiographie		n.v.	insgesamt
	pos.	neg.		
	unilat.	bilat.		
pos.				
unilat.	10	2	1	8
bilat.	1*	4	—	1
neg.	5	3	31	116
n.v.	1	—	—	17
insgesamt	17	9	32	142
				200

* = unilaterale Angiographie vorgenommen und positiv.

n.v. = nicht vorgenommen.

Ophthalmodynamographie bei obliterierenden Prozessen an den Karotiden

ODG	Angiographie		neg.	n.v.	insgesamt
	pos.	unilat.			
pos.					
unilat.	12	4	6	19	41
bilat.	1*	3	—	6	10
neg.	3	2	26	117	148
n.v.	1	—	—	—	1
insgesamt	<u>17</u>	<u>9</u>	<u>32</u>	<u>142</u>	<u>200</u>

* = unilaterale Angiographie vorgenommen und positiv.

n.v. = nicht vorgenommen.

Es gab 28 Patienten bei denen die ODG-ODM-Untersuchung ein positives Ergebnis aufwies, jedoch keine Angiographie vorgenommen wurde. Die Befunde dabei lauteten:

ODG	ODM		
	pos.	neg.	n.v.
pos.	25	6	15
neg.	3	3	—
insgesamt	<u>28</u>	<u>9</u>	<u>15</u>

n.v. = nicht vorgenommen.

6) Die relative Wichtigkeit der Beurteilungskriterien bei ODG und ODM

Zur Gewinnung eines Eindrucks der obenerwähnten Problemstellung haben wir an erster Stelle untersucht wie oft sich eine gewisse Anzahl positiver Merkmale bei Patienten mit einem positiven Angiogramm zeigte im Vergleich zu Patienten ohne angiographische Kontrolle.

Ausserdem registrierten wir wie häufig ein bestimmtes Merkmal gleichfalls bei Patienten mit einem positiven Angiogramm wahrgenommen wurde im Vergleich zu Patienten ohne angiographische Kontrolle.

Schliesslich untersuchten wir welche positiven ODG-Merkmale festgestellt worden waren bei den 4 Patienten mit negativer ODM jedoch mit abweichendem Angiogramm.

Anzahl der positiven Merkmale

ODG-ODM	Anzahl Patienten mit positivem Angiogramm	Anzahl Patienten ohne Angiogramm		insgesamt
		11	11	
1	—	11	11	
2	3	9	12	
3	4	2	6	
4	2	—	2	
5	2	3	5	
6	3	—	3	
7	2	1	3	
8	2	—	2	
9	—	—	—	
10	—	2	2	
11	1	—	1	
12	1	—	1	
	<u>20</u>	<u>28</u>	<u>48</u>	

Bei 85% der angiographisch untersuchten Patienten zeigten sich mehr als 2 positive Merkmale, und bei 71% der nichtangiographisch untersuchten Patienten 1 oder 2 positive Kennzeichen.

Man kann hieraus konkludieren, dass bei Patienten mit einer kleinen Anzahl positiver Merkmale die Indikation zur Angiographie weniger vorhanden war. Die Tatsache, dass von den 7 falsch positiven Beurteilungen 6 ein und 1 zwei positive Kennzeichen aufwiesen, spricht für die Richtigkeit dieser Meinung.

Frequenz der verschiedenen Merkmale

Merkmale	Frequenz bei		
Nummer	Pat. mit pos. Angiogramm	Pat. ohne Angiogramm	insgesamt
1	4	12	16
2	4	2	6
3	1	1	2
4	5	4	9
5	10	5	15
6	10	10	20
7	19	14	33
8	8	8	16
9	11	5	16
10	7	5	12
11	7	2	9
12	20	9	29
13	1	1	2
14	1	—	1

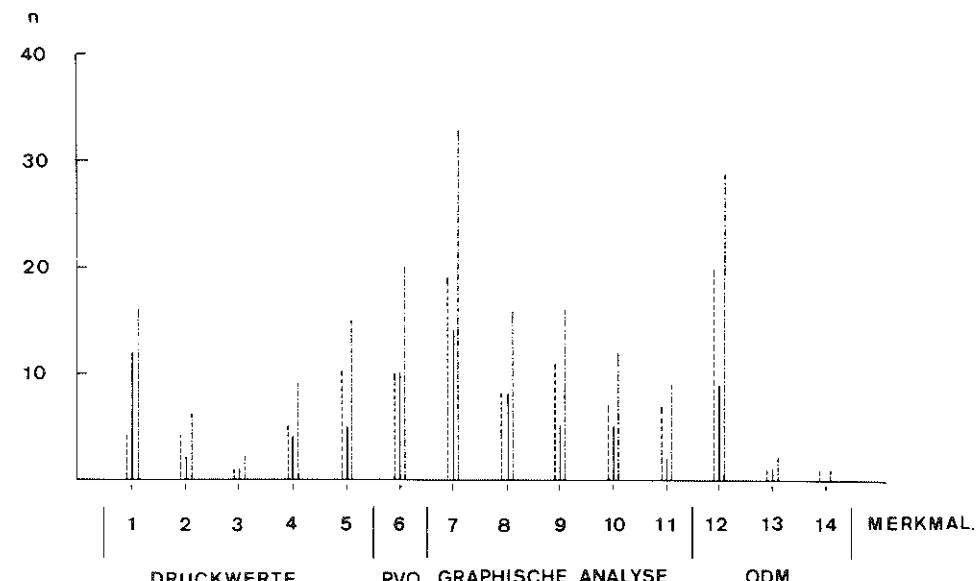


Abb. 39 Graphische Wiedergabe der Häufigkeit von positiven ODG und ODM-Merkmalen. Beschreibung der Merkmale auf Seite 123 und 124. Gestrichelte Linie: positive Angiographie. Gezogene Linie: keine Angiographie. Strich-Punkt Linie: Gesamtzahl der Fälle (n).

Für eine Beschreibung jedes Kennzeichens s.S. 123 und 124.

Diese Frequenzen werden in Abb. 39 graphisch dargestellt. Ausser dem 1. Merkmal (Ophthalmobrachiale Relation auf systolischem Niveau) liegen die Frequenzen bei den nicht angiographisch untersuchten Patienten niedriger als die der angiographisch positiven Fälle. Die Kennzeichen 5 bis einschliesslich 9 (nicht-messbarer diastolischer Ophthalmicawert, PVQ, Fehlen der Inzisur, zu geringer anakroter Winkel und Verhältnis der anakroten Winkel) wie auch Merkmal 12 (signifikante Abweichung des berechneten ODM-Wertes) zeigten die höchste Frequenz.

Bei der Ophthalmodynamographie werden also vor allem positive oszillographische Kriterien gefunden, während für die Druckwerte die Ophthalmodynamometrie überlegen ist.

Positive ODG-Merkmale bei Patienten mit angiographisch festgestellten Karotisstörungen und negativer ODM

Kennzeichen	Pat. I (152)	II (101)	III (149)	IV (117)
1. Ophthalmobrachiale Relation auf systolischem Niveau $> -20\%$	+			
2. links-rechts Differenz des Ophthalmicablutdrucks auf systolischem Niveau $> 20\%$	+	+		
5. diastolischer Ophthalmicawert nicht festzustellen	+	+	+	
6. pathologischer PVQ	+	+	+	+
7. Fehlen der Inzisur	+	+		+
8. zu geringer anakroter Winkel	+	+	+	
9. pathologisches Verhältnis der anakroten Winkel	+	+	+	
10. Differenz Q-Oszillationszeit ≥ 0.02 Sek.	+	+		
	8	7	4	2

An erster Stelle stellte es sich heraus dass diese Tabelle nur bei einem Patienten 2 positive Merkmale ergab, die anderen drei hatten bzw. 4, 7 und 8. Zweitens sind auch bei diesen 4 Patienten die Kennzeichen 5 bis einschliesslich 9 am stärksten vertreten.

7) ODG- und ODM-Untersuchung vor und nach desobstruierenden Operationen

Bei 9 Patienten wurden 10 Arterien desobstruiert.

Eine Zusammenfassung der prä-und postoperative ODG und ODM-Ergebnisse wie auch der Befunde bei der Angiographie folgt nachstehend.

Pa- tient	Diagnose		präoperativ	Angiographie	Desob- str.	postoperativ	
	ODG	ODM				ODG	ODM
125	R—	—		88% Int. sten. R	R	+	—
TIA rechts	L—	—		98% Int. sten. L	L	—	—
88 TIA links	R—	—		prox. + dist. Int. sten. R	—	—	—
	L—	—		74% Int. sten. I	L	—	—
150 Verschluss							
A. centr. ret. L	—	nzb		61% Int. sten. L	L	—	nzb
104 TIA links	nzb	—		89% Int. sten. L	L	verschieden	

117 Am. Fug. rechts	R +	—	94% Int. sten. R	R	—	—
	L—	—	49% Int. sten. L	—	—	—
23 RIND links	R +	R +	96% Int. sten. R	R	—	—
67 TIAs links	R +	R +	94% Int. sten. R	R	—	—
62 Am. Fug. links	L +	L +	96% Int. sten. L	L	—	—
52 Steal-Syndrom	R +	R—	50% Anonymasten.	A.an.	—	—

Bei 5 Patienten war postoperativ das ODG normalisiert wie auch die 3 dabei festgestellten abweichenden ODM-Werte. Bei 1 Patienten war vor und nach der Operation das ODG negativ, die ODM nicht zu beurteilen.

Bei 1 Patienten war präoperativ die ODG-ODM-Untersuchung beiderseits negativ, wie auch nach Desobstruktion links. Bei 1 Patienten war präoperativ die ODG-ODM-Untersuchung beiderseits negativ, postoperativ das ODG rechts dagegen abweichend. Dies bildet eine Indikation für Kontrollangiographie.

1 Patient war gestorben, so dass ODG-ODM-Kontrolle unmöglich war.

Von einer Serie von 36 Patienten bei denen Endarterektomie vorgenommen worden war, meldeten Blake und Kelly (1975), dass 50% der Patienten okuläre Symptome zeigten und dass diese bei 22% der Patienten die einzigen Symptome waren. Auch bei unserem Patientenmaterial zeigten 3 der operierten Patienten (33%) ausschliesslich okuläre Symptome.

Zusammenfassung

Extrakranielle Gefässobstruktionen beruhen häufig auf atheromatöser Degeneration der Karotiden bzw. der Arteriae vertebrales. Man muss jedoch in etwa 2% der Fälle mit mehreren Prozessen anderer Art rechnen.

Zur Erwerbung vollständiger anatomischer Auskünfte ist eine angiographische Untersuchung noch immer notwendig. Dies bringt bei allen zur Verfügung stehenden Techniken (perkutane Karotisangiographie, Angiographie mittels retrograder Katheterisierung der Arteria brachialis und transfemoraler selektiver Katheterisierung der Karotiden) gewisse Gefahren mit sich: man soll mit einer Mortalität von 0.1-1% und einem vorübergehenden oder dauernden neurologischen Ausfall von 1-10% rechnen.

Diese Daten benachdrücken den Belang der Entwicklung atraumatischer Methoden zur Erweiterung extrakranieller Gefässobstruktionen. Sie können zur Kenntnis der Physiologie und Pathophysiologie des Gehirnkreislaufs beitragen. Bei einem positiven Ergebnis können sie die Indikation zur Angiographie unterstützen. Sie können benutzt werden zur Beurteilung der hämodynamischen Auswirkung einer Stenose, während und nach der Operation zur Kontrolle des Ergebnisses einer Desobstruktion und der Zweckmässigkeit einer Karotisligatur. Schliesslich könnten sie bei genügender Zuverlässigkeit als screening Methode bei Patienten mit gesteigerter Disposition zur Atherosklerose benutzt werden.

Operative Behandlung extrakranieller Gefässstenosen gibt die besten Aussichten im Stadium der vorübergehenden zerebralen und retinalen Ischämien. Diese klinischen Phänomene können aus hämodynamischen und thromboembolischen Prozessen erklärt werden. Für beide Theorien kann man klinische Argumente anführen, wie auch die bei angiographischen Erforschungen und Messungen der regionalen Gehirndurchblutung gemachten Befunde. Möglicherweise sind die Theorien nicht gegenseitig verwechselbar und dies bringt mit sich dass man sich bei jedem Patienten die Frage vorlegen soll ob die eine oder andere Erklärung bevorzugt werden soll und ob alle Symptome mittels derselben Theorie zu erklären sind. Im allgemeinen könnte man vorbehaltlich erwarten dass bei Patienten mit einem (sub) totalen Verschluss die hämodynamische, bei Patienten mit einer ulzerösen Plaque die mikroembolische Theorie zu bevorzugen ist. Weiter deuten pathologisch-anatomische Untersuchungen auf die Möglichkeit, dass eine erste TIA eine lokale Vasoparalyse verursacht, was den Weg bereitet für folgende identische TIAs hämodynamischer Veränderungen zufolge. Modellstudien, tierexperimentelle Untersuchungen und klinische Beobachtungen haben bewiesen, dass in dem Circulus Willisii deutlich erkennbare Veränderungen entstehen nach dem Verschluss (eines) der vier Stämme. Es entsteht eine generalisierte Drucksenkung welche um so stärker ist je nachdem mehrere Stämme am Prozess beteiligt sind. Der Blutstrom nimmt kompensatorisch symmetrisch zu, heterolateral von einem einseitigen Karotisverschluss um z.B. maximal 70%.

Selbstverständlich geben solche Veränderungen Anlass zu der Erzeugung kollateraler Gefässsysteme. Diese unterscheiden sich abhängig von der Höhe des Karotisverschlusses, d.h. proximal oder distal von der Bifurcation bzw. der Arteria caroticotympanica und der Arteria ophthalmica, und dies hat wieder Folgen für die Beurteilung der Befunde bei mehreren atraumatischen Untersuchungsmethoden. Für die Ophthalmodynamographie ist es weiter noch wichtig ob bei einem Kollateralkreislauf durch das Externagebiet, mit retrograder Strömung in der Arteria ophthalmica, die kollateralen Verbindungen sich ausserhalb oder innerhalb der Orbita befinden.

Die atraumatischen Methoden zur Analyse der Kreislaufs im Karotisgebiet sind in anatomische und physiologische aufzuteilen. Die physiologischen Methoden studieren Aspekte

der Kreislaufgeschwindigkeit des Blutstroms, die pulsierenden Schwankungen der Stromgeschwindigkeit und des Blutdrucks wie auch die Volumenpulsationen der Karotiden und des Gehirns. Die Gehirnpulsationen sind jedoch, insofern uns bekannt, bis jetzt nicht von dem Gesichtspunkt der Obstruktion afferenter Gefäße aus untersucht worden. Methodologisch gehören die Ophthalmodynamometrie (ODM) und die Ophthalmodynamographie (ODG), welche in einem gesonderten Kapitel ausführlicher besprochen werden, zu der Gruppe von Studien des Druckpulses. Unter der Überschrift 'Verschiedenes' haben wir die Registrierung der Geräusche, die Karotiskompressionstonographie und die Thermometrie bzw. Thermographie eingeteilt.

Da von einer Kombination von vorzugsweise von einander unabhängigen Methoden ein maximaler diagnostischer Nutzeffekt zu erwarten ist, haben wir den in der Literatur erwähnten Kombinationen eine separate Betrachtung gewidmet. Besondere Aufmerksamkeit verdient die Beschreibung von Karpman c.s. (1972) über die Aufstellung einer Potential-stroke Screening Unit (PSU).

Karotis-Kompressionsteste haben den grossen Nachteil, dass während man sich bemüht die Indikation zur Angiographie genauer zu begrenzen, den ursprünglichen Gefahren gerade noch eine Gefahr zugesetzt wird. Es ist mit fatalen Komplikationen zu rechnen und insgesamt mit einer Komplikationsquote von 0.2-0.5%.

Es gibt eine eindeutige Korrelation zwischen dem Eintreten der Geräusche und atheromatöser Degeneration der Karotiden, obwohl das Fehlen eines Geräusches die Anwesenheit einer Stenose keinesfalls ausschliesst. Wenn das Erzielen eines guten Prozentsatzes positiver Ergebnisse bei der Thermographie Provokationsmethoden (wie z.B. Kühlung, Verwendung der Klemme nach Capistrant und Gumnit) fordert, erreicht die Thermometrie einen Prozentsatz von mehr als 80. Kombinierung mit ODM wie auch mit Palpation und Auskultation der Karotiden führte bei Shapiro c.s. (1970) zur Feststellung sämtlicher Abweichungen. Von den auf der Kreislaufgeschwindigkeit des Blutstroms basierten Methoden hat die Fundusreflektometrie, was die unilateralen Störungen anbelangt, grossen Erfolg erzielt. Die Serienszintiphotographie des Kopf-Halsgebietes hat jedoch, nebst einem günstigen Prozentsatz der Störungen, eine hohe Anzahl falsch positiver Ergebnisse aufgewiesen. Bei der Doppler-flow-Messung wurden manchmal Trefferprozentsätze über 90 gemeldet. Mittels Kombinierung dieser Methode mit der Ophthalmodynamographie gelang es Keller c.s. (1973) sämtliche Stenosen und Okklusionen richtig vorauszusagen. Die von Bettelheim (1966) und Brenner (1966) entwickelte Ansicht hat es klar gemacht dass es unerlässlich ist ODG und ODM zu kombinieren. Auf diese Weise können 75-90% positive Ergebnisse erreicht werden. Der kombinierten Anwendung von Ophthalmodynamographie und Ophthalmodynamometrie in der neurologischen Praxis wurde dieses Studium gewidmet.

Die Ophthalmodynamometrie wurde laut des Prinzips nach Weigelin und Lobstein (1962) vorgenommen. Die Ophthalmodynamographie leitet ihren Namen von der dynamischen Registrierung der Druckoszillationen des Orbitainhalts her, d.h. dass diese registriert werden bei einem sich ständig senkenden Druck in den Augenkapseln und Armmanschetten. Dies ermöglicht die Bestimmung der systolischen und diastolischen Werte des Blutdrucks in der Arteria ophthalmica und die Berechnung des Pulsationsvolumens.

Ausserdem wurde jedoch eine statische Methode der Registrierung entwickelt, indem der Orbitainhalt unter einem ständigen Druck in Höhe des diastolischen Wertes des Ophthalmicablutdrucks komprimiert wird. Bei Steigerung der Papiergeschwindigkeit von 0.5 auf 2.5, 5 bzw. 10 cm/Sek. wird eine Formanalyse der Kurven möglich.

Bei der heutigen von uns angewendeten Aufstellung werden das EKG und Phonokardiogramm, die Korotkowtöne und das Bulbus-orbita-Oszillogramm links und rechts

registriert. Dies ermöglicht die Ablesung der gegenseitigen Zeitverhältnisse. Aus der Zeitdifferenz zwischen dem Anfang des 2. Herztons und der Inzisur des Oszillogramms kann die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle im Karotisgebiet berechnet werden. Während der dynamischen Registrierung wird mittels einer Frequenzintegration fortwährend die Herzfrequenz aufgezeichnet. Bei der statischen Registrierung wird von den ursprünglichen Kurven ausserdem die Subtraktion und eine Differentiation geschrieben. Bei der Analyse der Form der ODG-Pulsationen haben wir uns basiert auf den bei der Karotissphygmographie und der graphischen Analyse der Okulärpulsationen nach Best, Galin und Mitarbeitern gesammelten Daten. Bei tierexperimentellen Untersuchungen wurde von diesen Autoren festgestellt dass eine Karotistenose von 50% (welche noch keine Veränderung der Strom- und Druckwerte herbeiführt) doch mittels der graphischen Analyse erwischt werden kann. Bei einer Fourier-Analyse stellte es sich heraus, dass die erste Harmonische bereits bei einer Stenose von 20% eine signifikante Amplitudensenkung zeigte.

Ausdehnung der diagnostischen Möglichkeiten ist u.E. zu erwarten von automatischer Analyse der Kurven mittels eines Computers, wie von den obenerwähnten Autoren angegeben. Ausserdem wird es dann möglich sein, dabei kompliziertere mathematische Techniken zu benutzen wie z.B. die Fourier-Analyse, und die Zerlegung in Gauss-Komponenten (Follmann 1976) und in E-Potenzen.

Wir stellten 2 verschiedene Typen pathologischer Oszillationen fest:

Typ I:

In der Form eines recht- oder stumpfwinkligen Dreiecks mit herabgesetzter Amplitude, zu geringen anakroten und katakroten Winkeln und einer anakroten Schulter bzw. einer Inzisur, welche nicht zu unterscheiden waren.

Typ II:

In der Form eines scharfwinkligen Dreiecks, dessen Gipfel häufig abgerundet ist, eine normale oder im Vergleich zu der gesunden Seite sogar gesteigerte Amplitude und ein, trotz des Fehlens der anakroten Schulter und der Inzisur, wieder innerhalb normaler Grenzen liegender anakroter Winkel.

Von September 1973 bis September 1975 wurde eine ODG-ODM-Untersuchung vorgenommen bei 200 Patienten (119 Männern und 81 Frauen). Die grösste Anzahl war zwischen 55 und 75 Jahren alt (67%). 117 Patienten wurden von Kollegen in Twente für diese Untersuchungen an uns verwiesen und 83 Patienten stammten aus der eigenen Praxis des Autors.

Von diesen 83 erlitten 70 eine cerebrale Durchblutungsstörung im Karotisgebiet oder eine Amaurosis fugax (Gruppe I), bei 13 wurde eine andere Diagnose gestellt (Gruppe II). Ausserdem wurden in diesen zwei Jahren noch 39 Patienten wegen einer cerebrale Durchblutungsstörung beobachtet, bei denen aus mehreren Gründen keine ODG-ODM-Untersuchung vorgenommen wurde (III).

Aufmerksamkeit bei der letzteren Gruppe war das hohe Alter: 54% der Patienten war über 75 Jahre alt. Die Mortalität in den Gruppen I und III, insgesamt 109 Patienten aus der eigenen Praxis des Autors, war 23 (21%). Dies sticht nicht ungünstig gegen die in der Statistik von Julich c.s. (1969) erwähnte Mortalität von 30% ab.

Laut von der Stichting Medische Registratie zur Verfügung gestellten Daten differierte die Mortalität der aufgenommenen Patienten auch nicht signifikant von der Mortalität bei entsprechenden Patienten im gesammten (holländischen) Patientenmaterial.

Bei den 200 mittels ODG und ODM untersuchten Patienten wurden 212 Diagnosen gestellt. 58 Patienten (29%) wurden angiographisch untersucht. Diese Untersuchung erwies sich als positiv bei 17% der Diagnosen, als negativ bei 13%. Bei den 70 Patienten mit zerebralen oder reti-

nalen Ischämien aus der eigenen Praxis welche mittels ODG und ODM untersucht waren, wurden 75 Diagnosen gestellt. 14 Patienten (20%) wurden angiographisch untersucht. Diese Untersuchung zeigte ein positives Ergebnis bei 16% der gestellten Diagnosen, ein negatives Ergebnis bei 8%.

Bei dieser Gruppe Patienten war das Ergebnis der ODG-ODM Untersuchung mitbestimmend für die Frage ob eine angiographische Untersuchung vorzunehmen war oder nicht. Wir hatten die Treffsicherheit der Kombination aufgrund der zur Verfügung stehenden Literatur auf 85% geschätzt und es erschien also nicht verantwortet sie nicht auch bei der Entschlussfassung zu beziehen.

Wenn ein negatives Ergebnis vorlag und dennoch ein ernster Verdacht eines extrakraniellen Gefäßleidens bestehen blieb, wurde trotzdem eine Angiographie vorgenommen.

Wie bereits erwähnt wurden im R.K. Krankenhaus Oldenzaal — einem regionalen Krankenhaus mit 233 Betten — während einer Periode von 2 Jahren 109 Patienten mit einer cerebralen Durchblutungsstörung bzw. Amaurosis fugax beobachtet. 70 dieser (64%) wurden mittels ODG untersucht und bei 60 (55%) erwies sich die Kombination ODG-ODM als ausführbar. Bei 14 (13%) wurde eine angiographische Untersuchung vorgenommen. Diese Zahlen befinden sich in derselben Größenordnung als die von Young (1972) festgestellten. Weiter haben wir unsere Ergebnisse noch mit denen von Harrison und Marshall (1975) verglichen. Vorbehaltlich, wegen der geringen Anzahl Patienten, erscheint die Berücksichtigung der ODG- und ODM-Ergebnisse bei der Indikation zur Arteriographie zu einer geringeren Anzahl negativer angiographischer Erfolge zu führen.

Anhand der von uns untersuchten 200 Patienten haben wir uns bemüht, uns ein Urteil über die folgenden Punkte zu bilden. Zuerst über die Verwendbarkeit.

Nur bei 1 Patienten (0.5%) konnte keine brauchbare ODG-Kurve abgeleitet werden. Bei 70 Patienten (35%) lagen ein oder mehrere systolische Werte über was wir als die Obergrenze des Messbereiches der Aufstellung betrachteten, nämlich 200 mm Hg.

Bei 18 Patienten (9%) erwies die ODM sich als völlig unmöglich.

Bei 59% der mittels ODM untersuchten Patienten erwies sich eine Beurteilung der Ophthalmicawerte auf mittlerem oder diastolischem Niveau möglich (Formeln II und IV nach Weigelin und Lobstein).

Insgesamt wurde bei 181 der 200 Patienten (90.5%) eine ODG und ODM-Untersuchung durchgeführt. Bei ODG begegneten wir keiner einzigen Komplikation, die ODM rief bei einem Patienten eine leichte subkonjunktivale Blutung hervor.

Zweitens haben wir untersucht ob bei unserem Patientenmaterial bei der ODG eine positive ophthalmobrachiale Druckdifferenz festgestellt wurde.

Dies war der Fall bei 39 Patienten (19.5%) und zwar bei 15 (7.5%) bilateral, bei 3 (1.5%) unilateral rechts und bei 21 (10.5%) unilateral links. Das Dominieren der linksseitigen positiven ophthalmobrachialen Druckdifferenz wäre wohl zu erklären durch die Weise in der die Kapsel angelegt wird. Die Anzahl der Fälle sogenannter relativer céphalischer Hypertonie nimmt mit dem brachial gemessenen Blutdruckniveau offensichtlich zu. Dies könnte darauf deuten dass weniger gute Adaptation bei höheren Kompressionswerten auch eine Rolle spielt. Die gefundenen bilateralen positiven ophthalmobrachialen Differenzen können auch erklärt werden aus dem Tonus der quergestreiften Augenmuskulatur (de Marées 1969). Drittens haben wir feststellen können, das bei Diskordanz zwischen den Druckwerten bei ODM und Druckwerten sowie PVQ bei ODG 4mal ein Kollateralkreislauf durch das Externagebiet angiographisch nachgewiesen werden konnte; 7mal wurden pathologische Oszillationen des Types II wahrgenommen. In der konkordanten Gruppe war dies kein einziges Mal der

Fall. Die durchschnittlichen diskordanten ODM-Werte waren $-35 (\pm 14)$ mm Hg, die durchschnittlichen konkordanten $-27 (\pm 13)$ mm Hg. Diese Befunde scheinen die Hypothese von Bettelheim (1966) und Brenner (1966) zu unterstützen.

Von mehreren Beurteilungskriterien der ODG haben wir versucht die Spezifität zu beurteilen und andere wurden kritisch beobachtet. Es stellte sich heraus, dass von den zwei Kriterien zur Bestimmung des diastolischen Ophthalmicawertes das erste (die 'spitze Kerbe') meistens (bei 133 der 135 zu diesem Zweck untersuchten normalen Kurven) bei einem höheren Druckniveau eintritt als das zweite (das Geringerwerden der Pulsationen). Die Differenz war durchschnittlich $9 (\pm 7)$ mm Hg und 64% der Differenzen war < 10 mm Hg, 81% < 15 mm Hg. Es erwies sich, dass alle angiographisch kontrollierte ODG-Kurven, aus welchen durch das Fehlen des zweiten Kriteriums der diastolische Wert nicht abgelesen werden konnte, zu Karotisobstruktionen gehörten.

Eine Ophthalmobrachialdifferenz von mehr als -20% wurde auf diastolischem Niveau 182mal, auf mittlerem Niveau 43mal und auf systolischem Niveau 19mal festgestellt. Die durchschnittliche Differenz auf systolischem Niveau bei den Patienten mit einer Karotisabweichung war 34%, bei den falsch positiven 24%.

Wir zogen die Schlussfolgerung dass ein Verhältnis der Pulsationsvolumina (PVQ) < 0.61 deutet auf eine Störung rechts und > 1.65 auf eine Störung links.

Aufgrund des absoluten Wertes der Q-Oszillationszeit kann man Patienten mit und ohne Karotisabweichung nicht von einander unterscheiden — auch nicht wenn man der Entfernung der Aortenklappen von dem Orbitaeingang Rechnung trägt. Einer der variablen Werte welche diese Q-Oszillationszeit bestimmen ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Pulswelle. Wir haben diese bei 74 Patienten mit normalem ODG berechnet und stellten eine erhebliche Streuung fest: nur 60% der festgestellten Werte war zwischen 450 und 750 cm/Sek. Es stellte sich jedoch heraus, dass eine links-rechts Differenz der Q-Oszillationszeit ≥ 0.02 Sek. mit grösster Wahrscheinlichkeit auf eine Karotistenose oder -thrombose deutet. Ein Unterschied < 0.02 Sek. schliesst jedoch ein solcher Verschlussprozess keinesfalls aus. Die ODG ist in dieser Hinsicht empfindlicher als das Doppler-Verfahren.

Bei der graphischen Analyse der Kurven haben wir einen anakroten Winkel $< 74.03^\circ$ und ein rechts-links Verhältnis < 0.90 oder > 1.11 als pathologisch betrachtet.

Letzten Endes gerieten wir zu 14 Beurteilungskriterien für ODG und ODM, aufgrund deren die Ergebnisse endgültig als positiv oder negativ bezeichnet wurden.

Was das Ergebnis der Anwendung von Ophthalmodynamographie und Ophthalmodynamometrie bei unseren Patienten anbelangt, erzielten wir auf diese Weise 82% richtige Ergebnisse bei 10% falsch negativen und 8% falsch positiven Beurteilungen.

Bei 85% der angiographisch untersuchten Patienten lagen mehr als 2 positive Kennzeichen vor, bei 71% der nicht-angiographisch Untersuchten dagegen 1 oder 2. Die Tatsache dass von den 7 falsch positiven Beurteilungen 6 ein und 1 zwei positive(s) Kennzeichen ergab, ist als eine Unterstützung der Ansicht zu betrachten dass man eine Angiographie vornehmen soll wenn mehr als 2 dieser Kennzeichen vorliegen. Bei der Ophthalmodynamographie wurden vor allem positive oszillographische Kriterien gefunden und für die Druckwerte erwies sich die Ophthalmodynamometrie als überlegen.

Von den 5 Patienten welche präoperativ ein abweichendes ODG- oder ODM-Ergebnis zeigten, erwies sich das postoperative Ergebnis als normalisiert. Bei 1 Patienten war ein präoperativ negatives ODG postoperativ positiv. Dies ist u.E. eine Indikation zur Kontrollangiographie.

Summary

Extracranial vascular obstructions are often based on atheromatous degeneration of the carotid or vertebral arteries. In about 2% of cases, however, the possibility of various other processes should be taken into account.

Angiographic examination is still indispensable as a means to obtain definitive anatomical information. However, all angiographic techniques (percutaneous carotid angiography, angiography by means of retrograde catheterization of the brachial artery, and transfemoral selective catheterization of the carotid arteries) entail certain risks. One has to expect a mortality of 0.1-1%, and transient or permanent neurological dysfunction in 1-10% of cases.

These data emphasize the importance of the development of atraumatic methods to detect extracranial vascular obstructions. These can contribute to our knowledge of the physiology and pathophysiology of the cerebral circulation and, if positive results are obtained, they can support the indication for angiography. They can be used in evaluation of the haemodynamic effect of a stenosis and, during and after operation, in evaluation of the result of deobstruction and of the efficacy of a carotid ligation. Given sufficient reliability, moreover, they can be used in screening patients with an increased predisposition to atherosclerosis.

Operative treatment of extracranial vascular stenoses gives the best results in the stage of transient cerebral and retinal ischaemias. These clinical phenomena can be explained on the basis of haemodynamic and thrombo-embolic processes. Clinical arguments as well as angiographic findings and determinations of regional cerebral blood flow can be used in support of both theories. It is possible, however, that these theories are not interchangeable and that, consequently, the question arises in each individual case whether the one or the other explanation is to be preferred, and whether all the phenomena observed can be explained by the same theory. With some reservations it might generally be expected that the haemodynamic theory is to be preferred for patients with (sub)total obstruction, while the micro-embolic theory is preferable for patients with an ulcerated plaque. Pathological-anatomical findings, moreover, seem to suggest that a first TIA causes local vasoparesis, which paves the way for subsequent, identical TIAs as a result of haemodynamic changes.

Model studies, animal experiments and clinical observations have shown that unmistakable changes occur in the circle of Willis as a result of obstruction of (one of) the four arterial trunks. A generalized decrease in pressure results, which is the more marked as more trunks are involved in the process. The blood flow shows a symmetrical compensatory increase (e.g. by a maximum of 70% contralateral to a unilateral carotid obstruction). Such changes of course lead to functional activity of collateral vascular systems. Which collaterals are activated depends on the level of the carotid obstruction (proximal or distal to the bifurcation, the caroticotympanic or the ophthalmic artery); and this has its consequences for evaluation of the results obtained by various atraumatic methods of investigation. For ophthalmodynamography (ODG), the additional question of importance is whether, given a collateral circulation via the external carotid region with retrograde flow in the ophthalmic artery, the collaterals are localized within or outside the orbit.

Atraumatic methods of analysing the circulation in the carotid region can be divided into anatomical and physiological methods. The physiological methods focus on aspects of the blood circulation rate, the pulsating changes of the flow rate, and the pressure and volume pulsations of the carotids and the cerebrum. So far as we know, however, the cerebral pulsations have not hitherto been studied with a view of obstruction of the afferent vessels.

Methodologically, ophthalmodynamometry (ODM) and ophthalmodynamography (ODG), which are discussed in detail in a separate chapter, belong in the group of pressure pulse

studies. Under the heading 'miscellaneous' this study discusses: registration of bruits, carotid compression tonography, thermometry and thermography. Since a maximal diagnostic efficacy can be expected from a combination of preferably not interdependent methods, the combinations mentioned in the literature are separately discussed. Special attention is focused on the description which Karpman et al. (1972) gave of the design of a Potential Stroke Screening Unit (PSU).

The great disadvantage of carotid compression tests is that their use in order to ensure a more precise indication for angiography introduces another risk. Fatal complications have been described, and the total rate of complication amounts to 0.2-0.5%.

There is an unmistakable correlation between the presence of bruits and atherosomatous degeneration of the carotids, but absence of bruits does not necessarily exclude stenosis.

In thermography, provocation (cooling, application of the clamp of Capistrant and Gumnit) is required in order to obtain a fair percentage of positive results, but in thermometry a percentage in excess of 80 is obtained. Shapiro et al. (1970) obtained 100% positive results by combining with ODM as well as with palpation and auscultation of the carotids.

Of the methods based on the blood circulation rate, fundus reflectometry scores high in unilateral affections; serial scintiphotography of the head-neck region, however, produces many false positive results along with a large percentage of positive results. Doppler flowmetry reportedly has a success rate of over 90%. By combining this with ODG, Keller et al. (1973) scored 100% in predicting stenoses and occlusions.

The concept developed by Bettelheim (1966) and Brenner (1966) demonstrated the necessity of combining ODG with ODM; in this way, positive results can be obtained in 75-90% of cases.

The combined use of ODG and ODM in neurological practice is the subject of this study. Ophthalmodynamometry was carried out according to the principles defined by Weigelin and Lobstein (1962). Ophthalmodynamography is the dynamic registration of the oscillations in the pressure of the orbital contents; these are registered at a continuously decreasing pressure in the eye capsules and arm cuffs. This makes it possible to determine the systolic and the diastolic value of the blood pressure in the ophthalmic artery, and to calculate the pulsation volume.

In addition, however, a static method of registration has been developed, in which the orbital contents are compressed with a constant pressure which equals the diastolic value of the blood pressure in the ophthalmic artery. Analysis of the curves becomes possible when the paper speed is increased from 0.5 to 2.5, 5 or 10 cm/sec.

The set-up used in this study involves registration of ECG and phonocardiogram, Korotkow sounds and bulbo-orbital oscillogram left and right. This makes it possible to determine differences in time. The rate of propulsion of the pulse wave in the carotid region can be calculated from the time difference between the onset of the second heartsound and the incisura in the oscillogram.

During dynamic registration, the heart rate is continuously indicated by means of frequency integration. During static registration, the difference between and differentiation of the original curves are also plotted. Our analysis of the shape of the ODG-pulsations was based on data obtained by carotid sphygmography and graphic analysis of the ocular pulsations according to Best, Galin and co-workers. The latter found in animal experiments that a carotid stenosis of 50% (which causes no change in flow and pressure values) can indeed be demonstrated by graphic analysis. A Fourier analysis revealed that the first harmonic already showed a significant decrease in amplitude at only 20% stenosis.

We believe that diagnostic possibilities can be expanded by automatic analysis of the cur-

ves with the aid of a computer, as indicated by the abovementioned authors. This will also make it possible to apply more complex mathematical techniques such as Fourier analysis, resolving in E-powers and Gaussian deconvolution (Follmann 1976).

We were able to distinguish pathological oscillations of two different types:

Type I in the form of a right-angled to obtuse triangle with decreased amplitude, too sharp anacrotic and catacrotic angles, and an indistinguishable anacrotic shoulder and incisura.

Type II in the form of a sharp-angled triangle with an often rounded apex, an amplitude which is normal or even increased as compared with the unaffected side, absence of the incisura, and an anacrotic angle which is within normal limits despite the absence of anacrotic shoulder.

From September 1973 to September 1975, a combined ODG/ODM examination was made in 200 patients: 119 men and 81 women of whom the majority (67%) were aged between 55 and 75. Of the total group, 117 patients were referred to us by colleagues in the region, and 83 patients presented in the author's neurological practice. Of the latter group, 70 had suffered a CVA in the carotid region or showed amaurosis fugax (group I), and in 13 a different diagnosis was made (group II). In the course of the same period of 2 years 39 patients presented in the author's practice because of a CVA but, for various reasons, were not examined by ODG/ODM (group III). An outstanding feature of the last group was the high average age: 54% of these patients were over 75.

The mortality in groups I and III (a total of 109 patients from the author's practice) was 23 (21%), which does not compare unfavourably with the 30% mortality in the statistics published by Julich et al. (1959). According to data provided by the Foundation for Medical Registration, the mortality in the hospitalized patients did not significantly differ from that in corresponding cases in the pooled (Dutch) material.

In the 200 patients examined by ODG/ODM, 212 diagnoses were made. Angiography was carried out in 58 cases (29%) and was positive in 17% and negative in 13% of the diagnoses. In the 70 personal patients with cerebral or retinal ischaemias examined by ODG/ODM, 75 diagnoses were made. Angiography was carried out in 14 (20%) of these cases, and was positive in 16% and negative in 8% of the diagnoses. In this group of patients the ODG/ODM results were factors in the decision to carry out or omit angiography.

On the basis of the available data, we had estimated the reliability of the combination at 85%, and it seemed unjustifiable not to take this into account in making decisions. If this was negative but a serious suspicion of an extracranial vasopathy persisted, then angiography was nevertheless carried out.

As already mentioned, 109 patients with a CVA or amaurosis fugax were seen over a period of 2 years in the Roman Catholic Hospital at Oldenzaal — a regional hospital with 233 beds. Of these patients, 70 (64%) were examined by ODG, and combined ODG/ODM was found feasible in 60 (55%). Angiography was carried out in 14 cases (13%). These figures are of the same order as those published by Young (1972). We also compared our figures with those of Harrison and Marshall (1975). With all reservations in view of the small number of patients it seems justifiable to conclude that consideration of ODG and ODM results in determining the indication for arteriography seems to reduce the number of negative angiographic examinations.

On the basis of the findings obtained in our 200 patients, we attempted to evaluate the following points.

To begin with, we considered applicability. In only one case (0.5%) was it impossible to

obtain a usable ODG curve. In 70 patients (35%) one or several systolic values exceeded what we regarded as the upper limit of the measurable range in our set-up: 200 mm Hg. ODM was found to be quite impossible in 18 patients (9%).

In 59% of the patients examined by ODM, evaluation of the ophthalmic artery values (mean and diastolic) was feasible (equations II and IV according to Weigelin and Lobstein). A combined ODG/ODM examination was made in a total of 181 of the 200 patients (90.5%). ODG caused no complications; ODM caused a minor subconjunctival haemorrhage in one patient.

Secondly we considered the question whether a positive ophthalmobrachial pressure gradient was found at ODG in our material. This proved to be the case in 39 patients (19.5%) and was bilateral in 15 (7.5%), right-sided in 3 (1.5%), and left-sided in 21 (10.5%). The predominance of the left-sided positive ophthalmobrachial pressure gradient can perhaps be explained on the basis of the procedure of applying the capsule. The number of cases of so-called relative cephalic hypertension showed an unmistakable increase with the brachially measured pressure level. This may indicate that less adequate adaptation at high degrees of compression also plays a role. The bilateral positive ophthalmobrachial pressure gradients can in part be explained by the tonus of the striated ocular musculature (De Marées 1969).

Thirdly, we observed that — given discordance between the pressure values at ODM and pressure values and pulsation volume quotient (PVQ) at ODG — a collateral circulation via the external carotid region was angiographically demonstrable in 4 cases, while type II pathological oscillations were observed in 7 cases. In none of the cases in the concordant group was this observed. The average discordant ODM values were $-35 (\pm 14)$ mm Hg, and the average concordant ODM values were $-27 (\pm 13)$ mm Hg. These findings would seem to support the hypothesis advanced by Bettelheim (1966) and Brenner (1966).

We tried to assess the specificity of several criteria of ODG evaluation, and submitted others to a critical analysis. Of the two criteria used in determining the diastolic value of the ophthalmic artery, the first (the 'apical notch') proved usually (in 133 of the 135 cases examined) to occur at a higher pressure level than the second (the diminution of the pulsations). The difference averaged $9 (\pm 7)$ mm Hg; 64% of the differences were < 10 mm Hg, and 81% were < 15 mm Hg.

We found that all angiographically verified ODG curves from which the diastolic value could not be read owing to absence of the second criterion, were associated with carotid obstructions. An ophthalmobrachial gradient exceeding -20% proved to exist at a diastolic level in 182 cases, at a mean level in 43, and at a systolic level in 19 cases. The average difference at the systolic level in patients with a carotid abnormality was 35%, while that in the false positive cases was 24%.

We reached the conclusion that a ratio of the pulsation volumes (PVQ) of less than 0.61 indicates a right-sided disorder, while a PVQ exceeding 1.65 indicates a left-sided one.

On the basis of the absolute value of the Q-oscillation time, patients with and those without a carotid obstruction cannot be distinguished; not even when the distance from aortic valves to orbital inlet is taken into account. The rate of propulsion of the pulse wave is one of the variables which determine this Q-oscillation time. We calculated this in 74 patients with a normal ODG, and found a considerable range: only 60% of the observations were within 450-750 cm/sec. However, it was established that a left-right difference in Q-oscillation time of $0.02''$ or more indicates the strong probability of a carotid obstruction; on the other hand, a difference of less than $0.02''$ does not exclude such an obstruction. In this respect the ODG is more sensitive than the Doppler technique.

The graphic analysis of the curves, we regarded as pathological an anacrotic angle of less than 74.03° and a right: left ratio of less than 0.90 or more than 1.11.

We ultimately accepted 14 criteria of ODG and ODM evaluation, on the basis of which the results were definitely described as positive or negative. In this way we found that combined ODG/ODM examination in our patients produced correct results in 82%, false negative results in 10%, and false positive results in 8%.

In 85% of the angiographically examined patients there were more than two positive characteristics, while one or two existed in 71% of those not angiographically examined. The fact that, of the 7 false-positive evaluations, 6 involved one positive characteristic and 1 involved two, confirms the correctness of the decision not to resort to angiography unless more than two positive characteristics are found. At ophthalmodynamography, it was mainly positive oscillographic criteria that were encountered, whereas ophthalmodynamometry proved to be superior for pressure values.

Of the 5 patients with preoperative ODG/ODM abnormalities, all showed postoperative normalization. In one patient a negative preoperative ODG became positive after operation. In our opinion this is an indication for control angiography.

Samenvatting

Extra-craniële vaatobstructies berusten vaak op atheromateuze degeneratie van de carotiden resp. aa. vertebrales.

Men moet echter in \pm 2% van de gevallen rekening houden met diverse processen van andere aard.

Voor het verkrijgen van definitieve anatomische informatie is nog steeds angiografisch onderzoek noodzakelijk. Dit brengt bij alle technieken (percutane carotisangiografie, angiografie door middel van retrograde catheterisatie van de a. brachialis en transfemorale selectieve catheterisatie van de carotiden) bepaalde risico's met zich mee: men moet rekening houden met een mortaliteit van 0.1-1% en een passagère of blijvende neurologische uitval van 1-10%.

Deze gegevens onderstrepen het belang van de ontwikkeling van atraumatische methoden ter opsporing van extra-craniële vaatobstructies. Deze kunnen bijdragen tot de kennis van de fisiologie en pathophysiologie van de cerebrale circulatie. Bij een positieve uitslag kunnen ze de indicatie tot een angiografie steunen. Zij kunnen gebruikt worden ter beoordeling van het haemodynamisch effect van een stenose, gedurende en na de operatie ter controle van het resultaat van een desobstructie en van de effectiviteit van een carotisligatuur. Tenslotte zouden ze, bij voldoende betrouwbaarheid, kunnen worden toegepast als screening-methode bij patiënten met een verhoogde dispositie voor athero-sclerose.

Operatieve behandeling van extra-craniële vaatstenosen biedt de beste vooruitzichten in het stadium van de passagère cerebrale en retinale ischaemieën. Deze klinische verschijnselen kunnen worden verklaard met haemodynamische en thrombo-embolische processen. Voor beide theorieën zijn klinische argumenten aan te voeren alsmede bevindingen bij angiografische exploratie en metingen van de regionale cerebrale doorbloeding. Mogelijk zijn de theorieën niet onderling verwisselbaar en de consequentie hiervan is dat men zich bij iedere patiënt af moet vragen of de een of de andere verklaring de voorkeur verdient en of alle verschijnselen met dezelfde theorie kunnen worden verklaard. In het algemeen zou men, met het nodige voorbehoud, kunnen verwachten dat bij patiënten met een (sub)totale afsluiting de haemodynamische, bij patiënten met een geulcereerde plaque, de micro-embolische theorie de voorkeur verdient. Verder wijst pathologisch anatomisch onderzoek in de richting van de mogelijkheid dat een eerste TIA locale vasoparalyse veroorzaakt, wat de weg vrijmaakt voor volgende, identieke TIA's ten gevolge van haemodynamische veranderingen.

Modelstudies, dierexperimenteel onderzoek en klinische observaties hebben aangetoond dat in de circulus Willisii duidelijke veranderingen optreden bij afsluiting van (een van de) vier stammen. Er ontstaat een gegeneraliseerde drukdaling welke ernstiger is naarmate meerdere stammen bij het proces zijn betrokken. De bloedstroom neemt compensatoir symmetrisch toe, heterolateraal van een éénzijdige carotisafsluiting met bijv. max. 70%. Uiteraard geven dergelijke veranderingen aanleiding tot het in functie treden van collaterale vaatsystemen. Deze verschillen afhankelijk van de hoogte van afsluiting van de carotis: proximaal of distaal van resp. de bifurcatie, de a. caroticotympanica en de a. ophthalmica, en dit heeft weer consequenties voor de beoordeling van de bevindingen bij de diverse atraumatische onderzoeksmethoden. Voor de ophthalmodynamografie is dan nog weer belangrijk of bij een collaterale circulatie over het externa-gebied met retrograde stroom in de a. ophthalmica de collaterale verbindingen zich extra- of intraorbitaal bevinden.

De atraumatische methoden ter analyse van de circulatie in het carotisgebied laten zich indelen in anatomische en fisiologische. De fisiologische methoden bestuderen aspecten van de circulatie-snelheid van het bloed, de pulserende veranderingen van de stroomsnelheid en

de druk, als ook de volume-pulsaties van de carotiden en het cerebrum. De cerebrale pulsaties zijn echter, voor zover ons bekend, tot nu toe niet onderzocht vanuit het gezichtspunt van obstructie van de afferente vaten.

Methodologisch horen de ophthalmodynamometrie en de ophthalmodynamografie, welke in een afzonderlijk hoofdstuk gedetailleerd worden besproken, thuis bij de groep van studies van de drukpols. Onder een hoofd diversen hebben wij gegroepeerd de registratie van souffles, de carotis-compressietonografie en de thermometrie en thermografie.

Aangezien van de combinatie van, liefst van elkaar onafhankelijke methoden, een maximaal diagnostisch rendement mag worden verwacht, hebben wij de in de literatuur vermelde combinaties afzonderlijk besproken. Bijzondere aandacht verdient de beschrijving door Karpman c.s. (1972) van de opzet van een Potential — Stroke Screening Unit (PSU).

Carotis-compressie-tests hebben het grote bezwaar dat, terwijl getracht wordt de indicatie tot angiografie scherper te stellen, een ander risico wordt ingevoerd. Hierbij zijn fatale complicaties beschreven terwijl het totale aantal complicaties 0.2-0.5% bedraagt.

Er is een duidelijke correlatie tussen het optreden van souffles en atheromateuze degeneratie van de carotiden, het ontbreken van een souffle sluit een stenose echter geenszins uit.

Terwijl voor het bereiken van een behoorlijk percentage positieve uitslagen in de thermografie provocatie-methoden (koeling, toepassing van de klem van Capistrant en Gumnit) nodig zijn, behaalt de thermometrie een percentage van boven de 80. Combinatie met ODM zowel als met palpatie en auscultatie van de carotiden leidde bij Shapiro c.s. (1970) tot het vaststellen van alle afwijkingen.

Van de methoden op basis van de circulatiesnelheid van het bloed heeft de fundusreflektometrie een hoge score voor wat betreft unilaterale afwijkingen; de serie-scintifotografie van het hoofd-halsgebied heeft echter naast een gunstig percentage afwijkingen een hoog aantal foutpositieve uitslagen.

Voor de Doppler-flowmeting worden veelal trefferpercentages van boven de 90 aangegeven. Met de combinatie hiervan en de ophthalmodynamografie wist Keller c.s. (1973) alle stenosen en occlusies juist te voorspellen.

De conceptie, ontwikkeld door Bettelheim (1966) en Brenner (1966), heeft de noodzaak duidelijk gemaakt ODG en ODM met elkaar te combineren. Op deze wijze kunnen 75-90% positieve uitslagen worden bereikt.

Aan de gecombineerde toepassing van ODG en ODM in de neurologische praktijk is onderhavige studie gewijd.

De ophthalmodynamometrie werd verricht volgens de principes van Weigelin en Lobstein (1962).

De ophthalmodynamografie ontleent zijn naam aan een dynamische registratie van de druk-oscillaties van de orbita-inhoud d.w.z. dat deze worden opgetekend bij een continu dalende druk in de oogkapsels en armmanchetten. Dit biedt de mogelijkheid tot bepaling van de systolische en diastolische waarde van de bloeddruk in de a. ophthalmica en berekening van het pulsatievolume.

Daarnaast is echter een statische wijze van registratie ontwikkeld, waarbij de orbita-inhoud wordt gecomprimeerd met een constante druk ter hoogte van de diastolische waarde van de ophthalmica-bloeddruk. Bij verhoging van de papier snelheid van 0.5 op 2.5, 5 resp. 10 cm/sec. wordt een vormanalyse van de curven mogelijk.

Bij de huidige, door ons toegepaste opstelling worden het ECG en phonocardiogram, de Korotkow-tonen en het bulbus-orbita oscillogram van links en rechts opgetekend. Dit biedt de mogelijkheid de onderlinge tijdsverhoudingen af te lezen. Uit het tijdsverschil tussen het begin van de 2^o harttoon en de incisuur van het oscillogram kan de voortplantingssnelheid van

de polsgolf in het carotisgebied worden berekend.

Tijdens de dynamische registratie wordt door middel van een frequentie-integratie voortdurend de hart-frequentie aangegeven.

Bij de statische registratie wordt van de oorspronkelijke curven tevens het verschil en een differentiatie geschreven.

Voor de analyse van de vorm van de ODG-pulsaties hebben wij ons gebaseerd op de gegevens van de carotis-sphygmografie en de grafische analyse van de oculaire pulsaties volgens Best, Galin en medewerkers. In dier-experimenteel onderzoek werd door hen gevonden dat een carotis-stenose van 50% (welke nog geen verandering veroorzaakt van de stroom- en drukwaarden) wél door middel van de grafische analyse kon worden aangetoond. Bij een Fourier-analyse bleek dat de eerste harmonische reeds een significante amplitudo-daling toonde bij een stenose van 20%.

Uitbreiding van de diagnostische mogelijkheden lijkt ons te verwachten van automatische analyse van de curven door middel van een computer zoals door bovengenoemde auteurs is aangegeven. Dan is het tevens mogelijk meer gecompliceerde wiskundige technieken erop toe te passen zoals de Fourier-analyse, ontbindingen in E-machten en ontbinding in Gauss curves (Follmann 1976).

Wij konden 2 typen van pathologische oscillaties onderscheiden:

type I in de vorm van een recht- tot stomphoekige driehoek met verlaagd amplitudo, te kleine anakrote en katakrote hoeken en niet te onderscheiden anakrote schouder resp. incisuur.

type II in de vorm van een scherphoekige driehoek, waarvan de bovenpunt vaak is afgerond, een normaal of t.o.v. de gezonde zijde zelfs verhoogd amplitudo en ondanks het ontbreken van anakrote schouder en incisuur weer binnen normale grenzen vallende anakrote hoek.

Van september 1973 tot september 1975 werd een ODG-ODM onderzoek verricht bij 200 patienten (119 mannen en 81 vrouwen). Het grootste aantal was tussen de 55 en 75 jaar oud (67%). 117 Patiënten werden voor onderzoek verwezen door collegae uit Twente en 83 patiënten kwamen uit de eigen neurologische praktijk van de auteur.

Van deze 83 leden er 70 aan een CVA in het carotisgebied of amaurosis fugax (groep I) en bij 13 werd een andere diagnose gesteld (groep II). Tevens werden in deze 2 jaar nog 39 patiënten gezien wegens een CVA, bij wie om diverse redenen geen ODG-ODM onderzoek werd verricht (groep III). Opmerkelijk van deze laatste groep was de hoge leeftijd: 54% van de gevallen was ouder dan 75 jaar.

De mortaliteit in de groepen I en III, tezamen 109 gevallen uit de eigen praktijk bedroeg 23 (21%). Dit steekt niet slecht af bij de 30% mortaliteit in de statistiek van Julich c.s. (1969). Blijkens gegevens van de Stichting Medische Registratie verschilde de mortaliteit van de opgenomen patiënten ook niet significant van de sterfte bij overeenkomstige gevallen in het gepoolde (nederlandse) materiaal.

Bij de 200 met ODG en ODM onderzochte patiënten werden 212 diagnoses gesteld. 58 patiënten (29%) werden angiografisch onderzocht. Dit was positief bij 17% van de diagnoses, negatief bij 13%.

Bij de 70 patienten met cerebrale of retinale ischaemieën uit de eigen praktijk welke met ODG en ODM waren onderzocht werden 75 diagnoses gesteld. 14 Patiënten (20%) werden angiografisch onderzocht. Dit leverde een positieve uitslag bij 16% van de gestelde diagnoses, bij 8% een negatieve. Bij deze groep van patiënten was de uitslag van het ODG-ODM onderzoek mede beslissend voor het al dan niet uitvoeren van een angiografisch onderzoek. Wij hadden de trefzekerheid van de combinatie, op grond van de ter beschikking staande literatuur geschat op 85% en het leek niet verantwoord deze niet mede in de besluitvorming te betrekken.

Indien het negatief uitviel, werd bij desondanks blijvende ernstige suspectie op een extra-cranieel vaatlijden toch tot angiografie overgegaan.

Zoals reeds boven vermeld werden in het R.K. Ziekenhuis te Oldenzaal — een streekziekenhuis met 233 bedden — in een periode van 2 jaar 109 patiënten gezien met een CVA resp. amaurosis fugax. 70 hiervan (64%) werden onderzocht met ODG en bij 60 (55%) bleek de combinatie ODG-ODM mogelijk. Bij 14 (13%) werd een angiografisch onderzoek verricht.

Deze getallen liggen in dezelfde grootte-orde als die van Young (1972). Wij hebben onze cijfers ook vergeleken met die van Harrison en Marshall (1975). Met alle voorbehoud wegens het kleine aantal patiënten lijkt het mede in de indicatie tot arteriografie betrekken van de ODG en ODM uitslag te voeren tot een vermindering van het aantal negatieve angiografische onderzoeken.

Aan de hand van de door ons onderzochte 200 patiënten hebben wij getracht een oordeel te vormen over de volgende punten.

Op de eerste plaats bepaalden wij de toepasbaarheid.

Slechts bij 1 patiënt (0.5%) kon geen bruikbare ODG-curve worden afgeleid. Bij 70 patiënten (35%) lagen één of meer systolische waarden boven wat wij hebben beschouwd als boven-grens van het meetbereik van de opstelling nl. 200 mm Hg.

Bij 18 patiënten (9%) bleek ODM geheel onmogelijk.

Bij 59% van de met ODM onderzochte patiënten was beoordeling van de ophthalmica-waarden op gemiddeld en diastolisch niveau mogelijk (formules II en IV volgens Weigelin en Lobstein).

In totaal werd bij 181 van de 200 patiënten (90.5%) een ODG en ODM onderzoek verricht. Van de ODG zagen wij geen enkele complicatie, de ODM veroorzaakte bij 1 patiënt een subconjunctivaal bloedinkje.

Op de tweede plaats hebben wij nagegaan of in ons materiaal bij ODG een positief ophthalmico-brachiaal drukverschil werd aangetroffen. Dit bleek het geval te zijn bij 39 patiënten (19.5%) en wel bij 15 (7.5%) bilateraal, bij 3 (1.5%) unilateraal rechts en bij 21 (10.5%) unilateraal links. Het overheersen van het linkszijdige positieve ophthalmico-brachiale drukverschil kan mogelijk worden verklaard met de wijze waarop de kapsel wordt aangelegd.

Het aantal gevallen van zgn. relatieve cephalic hypertensie neemt duidelijk toe met het brachiaal gemeten tensie-niveau. Dit kan erop wijzen dat minder goede adaptatie bij hoge graden van compressie mede een rol speelt. De gevonden bilaterale positieve ophthalmico-brachiale verschillen kunnen mede verklaard worden met de tonus van de dwarsgestreepte oogmuscu-latuur (de Marées 1969).

Op de derde plaats hebben wij kunnen vaststellen dat bij discordantie tussen de drukwaarden bij ODM en drukwaarden en PVQ bij ODG 4 maal een collaterale circulatie over het externa-gebied angiografisch kon worden aangetoond terwijl 7 maal het type II van de pathologische oscillaties werd waargenomen. In de concordante groep was dit geen enkele maal het geval. De gemiddelde discordante ODM waarden waren $-35 (\pm 14)$ mm Hg, de gemiddelde concordante $-27 (\pm 13)$ mm Hg. Deze bevindingen lijken de hypothese van Bettelheim (1966) en Brenner (1966) te steunen.

Van verscheidene beoordelingscriteria van de ODG hebben wij getracht de specificiteit te beoordelen terwijl andere aan een kritische beschouwing werden onderworpen.

Van de twee criteria ter bepaling van de diastolische ophthalmica-waarde bleek de eerste (de 'Spitze Kerbe') meestal (bij 133 van de 135 hierop onderzochte normale curven) bij een hoger drukniveau op te treden dan de tweede (het kleiner worden van de pulsaties).

Dit verschil bedroeg gemiddeld 9 (\pm 7) mm Hg. 64% van de verschillen was < 10 mm Hg, 81% was < 15 mm Hg.

Het bleek dat alle angiografisch gecontrôleerde ODG-curven, waaruit door het ontbreken van het tweede criterium de diastolische waarde niet kon worden afgelezen, behoorden bij carotis-obstructies.

Een ophthalmo-brachiaal verschil van meer dan —20% bleek op diastolisch niveau 182 maal voor te komen, op gemiddeld niveau 43 maal en op systolisch niveau 19 maal.

Het gemiddelde verschil op systolisch niveau bij de patiënten met een carotisafwijking was 34%, bij de fout-positieven 24%.

Wij kwamen tot de conclusie dat een verhouding van de pulsatie-volumina (PVQ) van < 0.61 wijst op een stoornis rechts en van > 1.65 op een stoornis links.

Op basis van de absolute waarde van de Q-oscillatietijd kan men patiënten met en zonder een carotis-afwijking niet van elkaar onderscheiden — ook niet wanneer men rekening houdt met de afstand van de aortakleppen tot de orbita-ingang. Eén van de variabelen die deze Q-oscillatietijd bepalen is de voortplantingssnelheid van de polsgolf. Wij hebben deze berekend bij 74 patiënten met een normaal ODG en vonden een grote spreiding; slechts 60% van de waarnemingen lag tussen de 450 en 750 cm/sec. Het bleek echter dat een links-rechts verschil in Q-oscillatietijd van ≥ 0.02 sec. met zeer grote waarschijnlijkheid wijst op een carotis-afwijking. Een verschil van < 0.02 sec. sluit een dergelijke afwijking echter geenszins uit. De ODG is in dit opzicht gevoeliger dan de Doppler-methode.

Bij de grafische analyse van de curven hebben wij als pathologisch beschouwd een anakrote hoek, kleiner dan 74.03° en een rechts-links verhouding van < 0.90 of > 1.11.

Uiteindelijk kwamen wij tot 14 beoordelingscriteria van ODG en ODM op basis waarvan de resultaten definitief als positief of negatief werden vastgesteld.

Voor wat betreft het resultaat van de toepassing van ophthalmodynamografie en ophthalmodynamometrie bij onze patiënten komen wij op deze wijze tot 82% juiste uitslagen bij 10% fout-negatieve en 8% fout-positieve beoordelingen.

Bij 85% van de angiografisch onderzochte patiënten bestonden meer dan 2 positieve kenmerken, bij 71% van de niet-angiografisch onderzochten daarentegen 1 of 2. Het feit dat van de 7 fout-positieve beoordelingen er 6 één en 1 twee positieve kenmerken toonde is steun voor de juistheid om pas tot angiografie over te gaan bij meer dan 2 daarvan.

Bij de ophthalmodynamografie werden vooral positieve oscillografische criteria aangetroffen terwijl voor de drukwaarden de ophthalmodynamometrie superieur bleek.

Van de 5 patiënten met pre-operatief een afwijkend ODG-ODM onderzoek bleek dit post-operatief genormaliseerd.

Bij 1 patiënt was een pre-operatief negatief ODG post-operatief positief. Dit vormt o.i. een indicatie voor contrôlé-angiografie.

- Aarts, N.J.M. (1969): Medische Thermographie. Proefschrift, Groningen.
- Agnoli, A., C. Fieschi, M. Prencipe, G.R. Pistolese, G. Citone, V. Faraglia, L. Semprebene and P. Fiorani (1971): rCBF Studies During Carotid Surgery. In 'Brain and Blood Flow' (346-350). Pitman Medical and Scientific Publishing Co LTD, London.
- Amalric, P., P. Bessau et C. Biau (1967): Aspects fluorescéiniques de la papille et la région peripapillaire. Bulletins et Mémoires de la Société Française d'Ophthalmologie., 80 (334-365).
- Aly, M.A., E. Weigelin und H. Betz (1966): Die Diagnose der beidseitigen Carotisstenose durch die Ophthalmodynamometrie. Psychiat. Neurol., 152 (119-132).
- Babel, J., G. Gauthier, K. Psilas, A. Rici, H. Soriano et M. Tsacopoulos (1969): Les signes oculaires dans les affections carotidiennes. Ophthalmologica, 161 (324-339).
- Baillart, P. (1917): La pression artérielle dans les branches de l'artère centrale de la rétine, nouvelle technique pour la déterminer. Ann. Ocul., 154 (648-666).
- Bakay, L. and W.H. Sweet (1952): Cervical and intracranial intra-arterial pressures with and without vascular occlusion. Surg. Gynec. Obstet., 95 (67-75).
- Barbey, K. (1974): Diskussionsbeitrag. Ophthalmodynamographie II. Internationales Symposium (92). F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart-New York.
- Barnes, R.H., G.E. Martin and P.S. Montgomery (1967): Ophthalmic Plethysmography: Techniques and Potentials. Diseases of the Nervous System, 28 (293-297).
- Bauer, F. (1973): Die Ultraschallophthalmodynamometrie. Klin. Mbl. Augenheilk., 163 (580-582).
- Beer, K. und A. Strätz (1969): Der Okulo-Kardiale Reflex und seine Auswirkung auf das Pulsationsvolumen eines Ophthalmodynamogramms. Zeitschrift für Kreislaufforschung, 59 Heft 3 (271-277).
- Beintema, D.K., G.A. Mook and J.G.F. Worst (1964): Recording of arm — to — retina circulation-time by means of fundus reflectometry. A new photo-electric method for the diagnosis of internal carotid artery occlusion. Ophthalmologica, 148 (163-168).
- Beintema, D.K., G.A. Mook and J.G.F., Worst (1964): Recording of arm-retina circulation time by means of fundus reflectometry. Ophthalmologia, 148 (67).
- Bergmann, I., H. Bettelheim, F. Kummer und Ch. Höningmann (1973): Veränderungen ophthalmodynamographischer Messwerte unter CO_2 - und O_2 -Atmung. Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthalmol., 188 (221-230).
- Best, M. (1971): Carotid hemodynamics and the ocular pulse in carotid stenosis. Neurology, 21 (982-990).
- Best, M., M. Blumenthal, N.L. Simstean, R. Rogers, H.A. Futterman and B. Friedman (1969): Ophthalmodynamometry Using the Friedman Negative Pressure Lens. Annals of Ophthalmology (241-248).
- Best, M. and M. Blumenthal (1972): Elastic properties of intraocular bloodvessels. Acta Ophthalmologica, 50 (458-468).
- Best, M., D. Gerstein, N. Wald, A.Z. Rabinovitz and G.H. Hiller (1973): Autoregulation of Ocular Blood Flow. Arch. Ophthalmol., 89 (143-148).
- Best, M., M. Keyes, G. Plechaty and M.A. Galin (1971): Graphic Analysis of the Ocular Pulse in Carotid Occlusion. Arch. Ophthalmol., 85 (315-319).
- Best, M., G. Plechaty, L. Harris and M.A. Galin (1971): Ophthalmodynamometry and Ocular Pulse Studies in Carotid Occlusion. Arch. Ophthalmol., 85 (334-338).
- Best, M. and R. Rogers (1974): Techniques of Ocular Pulse Analysis in Carotid Stenosis. Arch. Ophthalmol., 92 (54-58).
- Bettelheim, H. (1966): Über den ophthalmodynamographischen Nachweis von Kollateral-

- kreisläufen bei der Carotisthrombose. *Der Nervenarzt*, 37 (224-229).
 Bettelheim, H. (1966): Der Einfluss des Gefäßgebietes der Arteria carotis externa auf den Ophthalmicablutdruck und das Bulbus-Orbita-Oscillogramm. *Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal.*, 171 (33-41).
 Bettelheim, H. (1967): Experiences with Ophthalmodynamography in the Diagnosis of carotid occlusion. *Amer. J. Ophthalmol.*, 64, no. 4 (689-699).
 Bettelheim, H. (1968): Zur Hämodynamik des Carotis-Sinus-cavernosae-Aneurysmas. *Klin. Mbl. Augenheilk.*, 153 (329-338).
 Bettelheim, H. (1969): Die klinische Bedeutung der Ophthalmodynamometrie und der Ophthalmodynamographie. *Klin. Mbl. Augenheilk.*, 155 (769-791).
 Bettelheim, H. (1969): Das Dynamogramm der 'leeren' Orbita: Dynamographische Untersuchungen beim Anophthalmus postoperativus. *Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal.*, 177 (83-88).
 Bettelheim, H. (1969): L'Ophthalmodynamographie, une nouvelle méthode d'exploration ophthalmologique de la circulation céphalique. *Arch. Ophthalmol.*, 29 no. 3 (175-186).
 Bettelheim, H. (1970): Contribution de l'ophthalmodynamographie au diagnostic des oblitérations du système carotidien. *Bulletin des Sociétés d'Ophthalmologie*, (966-969).
 Bettelheim, H. (1972): Der praktische Wert der Ophthalmodynamometrie und der Ophthalmodynamographie. *Therapeutische Umschau*, 29 (177-188).
 Bettelheim, H. und J.B. Kessaris (1969): Ein Einfluss des Tonus der Lidmuskulatur auf die Ophthalmodynamographischen Kriterien. *Albrecht von Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal.*, 179 (138-144).
 Bettelheim, H., H. Schuster und H. Tschabitscher (1971): Vergleichende ophthalmodynamometrische, ophthalmodynamographische und angiographische Untersuchungen bei Karotisverschlüssen. *Wien. Klin. Wschr.*, 83 (702-705).
 Bietti, G.B. and R. Neuschüler (1968): On the Behaviour of the Intraocular Pressure in Patients with Obstructive Lesions of the Carotis. *Bibl. ophthal.*, 76 (215-226).
 Biniek, E. (1973): Ophthalmodynamographie und zerebrale Gefäßsklerose. *Act. Geron.*, 3 (537-542).
 Blake, J. and G. Kelly (1975): Ocular aspects of internal carotid stenosis. *Trans. ophthal. Soc., U.K.* 95 (194-201).
 Blumenthal, M., K.A. Gitter, M. Best and M.A. Galin (1971): Angiographic Studies on Induced Ocular Hypertension in Man. *Proc. int. Symp. Fluorescein Angiography*, Albi 1969 (204-208). S. Karger, Basel.
 Borrás, A., A. Martínez and M.S. Méndez (1969): Ophthalmodynamometric and direct measurement of ophthalmic artery pressure. *Amer. J. Ophthalmol.*, 67 (681-684).
 Boysen, G. (1973): Cerebral Hemodynamics in Carotid Surgery. Thesis, Copenhagen.
 Boysen, G., H.J. Ladegaard-Pedersen, N. Valentin and H.C. Engell (1970): Cerebral Blood Flow and Internal Carotid Artery Flow during Carotid Surgery. *Stroke*, 1 (253-260).
 Braak, J.W.G. ter and M. de Vlieger (1965): Cerebral Pulsations in Echo-Encephalography. *Acta Neurochirurgica*, 12 Fasc. 5 (678-694).
 Brenner, H. (1966): Beitrag zur Erklärung 'Atypischer ophthalmodynamischer Befunde' bei der Beurteilung der Hirndurchblutung. *Wien. Klin. Wschr.* 78 Heft 7 (117-120).
 Brice, J.G., D.J. Dowsett and R.D. Lowe (1964): Haemodynamic effects of carotid artery stenosis. *Brit. Med. J.*, 2 (1363-1366).
 Brockenbrough, E.C. (1970): Screening for the Prevention of Stroke. Use of a Doppler Flowmeter. Beaverton, Ore, Parks Electronics.
 Brunner H.H., H.H. Schiller und D. Pieroth (1974): Das ODG in der Diagnostik extrakranieller

- Stenosen und Verschlüsse der Karotiden: Vergleich mit den Ergebnissen der Doppler-sonographie, der dynamischen Hirnszintigraphie und der Thermometrie. In: Ophthalmodynamographie. II. Internationales Symposion (115-120). F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart-New York.
- Budai, A. (1974): Vergleichende Untersuchungen mit der konventionellen und Ultraschall-ophthalmodynamometrie. *Klin. Mbl. Augenheilk.*, 164 (364-367).
- Burton, A.C. (1951): On the physical equilibrium of small blood vessels. *Am. J. Physiol.*, 164 (319-329).
- Busse, R., W. Sperling, H. Körner, R.D. Bauer, Th. Pasch und J. von der Emde (1974): Die Verwertbarkeit der Ultraschall-Doppler-Strömungsmessung für die Erfassung von Karotisstenosen. *Zeitschrift für Kardiologie*, 63 (755-767).
- Bynke, H.G. (1966): Screening diagnosis of carotid occlusion by means of oculosphygmography. *Neurology*, 16 (383-391).
- Bynke, H.G. (1968): A study of the amplitude of the corneal pulse at experimental carotid occlusion in rabbits. *Acta Ophthalmologica*, 46 (806-814).
- Bynke, H.G. (1968): Further estimation of the oculosphygmography as a diagnostic method in carotid occlusive disease. *Acta Ophthalmologica*, 46 (792-805).
- Bynke, H.G. and C.E.T. Krakau (1964): A handy instrument for oculosphygmography with some clinical results. *Ophthalmologica*, 148 (367-373).
- Bynke, H.G. and B. Schéle (1967): On the origin of the ocular pressure pulse. *Ophthalmologica*, 153 (29-36).
- Calverly, J.R. and C.H. Millikan (1961): Complications of carotid manipulation. *Neurology* 11 (185-189).
- Capistrant, T.D., and R.J. Gumnit (1970): Thermography and Extracranial Cerebrovascular Disease. *Arch. Neurol.* 22 (499-503).
- Capistrant, T.D. and R.J. Gumnit (1973): Detecting Carotid Occlusive Disease by Thermography. *Stroke*, 4 (57-64).
- Castaigne, P., F. Lhermitte, J.C. Gautier et al. (1970). Internal carotid artery occlusion. A study of 61 instances in 50 patients with post mortem data. *Brain*, 93 (231-258).
- Castrén, J.A. and P. Lavikainen (1963): New method of diagnosing carotid diseases. *Acta Ophthalmologica*, 41 (219-223).
- Chao, P. and J. Bettman (1957): The Relative Volume of Blood in the Choroid and Retina. *Amer. J. Ophthalmol.*, 43 (294-295).
- Chao, J.C. and N.H.C. Hwang (1972): Functional Dynamics of the Circle of Willis. *T.I.T. Journal of Life Sciences*, 2 (81-88).
- Chomant, J., J. Gouault et M. Samson (1974): Contribution de l'enregistrement thermométrique cutané à l'étude fonctionnelle de la circulation carotidienne. *Revue E.E.G.*, 4 (237-239).
- Christensen Lou, H.O. and F. von Wovern (1969): Cerebral Blood Flow Measurements in the Evaluation of Carotid Surgery. In 'Cerebral Blood Flow', (163-164). Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- Conolly, J.E. and E.A. Stemmer (1973): Endarterectomy of the External Carotid Artery. *Arch. Surg.*, 106 (799-802).
- Conrad, M.C., J.F. Toole and R. Janeway (1969): Thermistor Recording of Forehead Skin Temperature as an Index of Carotid Artery Disease. *Circulation*, 39 (126-130).
- David, T.E., A.W. Humphries, J.R. Young and E.G. Beven (1973): A Correlation of Neck Bruits and Arteriosclerotic Carotid Arteries. *Arch. Surg.*, 107 (729-731).
- Delin, N.A., S. Ekeström and R. Telenius (1968): Relation of Degree of Internal Carotid Arte-

- ry Stenosis to Blood Flow and Pressure Gradient. *Investigative Radiology*, 3 (337-344).
- Derka, H. (1969): Der Anteil der Arteria carotis externa am Zustandekommen des Ophthalmodynamogrammes. *Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal.*, 178 (246-251).
- Derka, H. (1971): Die arterielle Mehrfachversorgung der Orbita im Spiegel intraoperativer statischer Ophthalmodynamogramme. *Österreichische Ärztezeitung*, 26 Heft 6 (560-566).
- Derka, H. (1972): Das ophthalmodynamographische Pulsvolumen und seine Beeinflussung durch Veränderungen an der Registriervorrichtung. *Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal.*, 184 (167-176).
- Derka, H. (1973): Ophthalmodynamographische Befunde bei Atmung von Oxymix und reinem Sauerstoff. *Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal.*, 186 (203-208).
- Derka, H. (1973): Ophthalmodynamographische Überwachung während gefäßchirurgischer Eingriffe an den Halsschlagadern. *VASA*, 2 (233-237).
- Derka, H. (1974): Zum diagnostischen Wert der Ophthalmodynamographie. *Klin. Mbl. Augenheilk.*, 164 (679-683).
- Derka, H. (1975): Die Ursprungsgebiete des Ophthalmodynamogrammes. *Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal.*, 196 (153-158).
- Derka, H. (1975): Zur Bedeutung der Lider in der Ophthalmodynamographie. *Wien. Klin. Wschr.*, 87 (569-572).
- Derka, H. und F.J. Jenkner (1973): Über die Zusammenhänge zwischen orbitalem und cerebralem Pulsvolumen. *Albrecht von Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal.*, 186 (13-19).
- Drift, J.H.A. van der and N.K.D. Kok (1973): Clinical — Pathological Correlations in transient Ischemic Cerebral Attacks. In 'Cerebral Vascular Disease' (187-192). Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Dyken, M.L. (1972): Intracranial 'Steal' in Complete Occlusion of the Internal Carotid Artery. In 'Cerebral Blood Flow and Intracranial Pressure' (301-305). S. Karger, Basel.
- Eastcott, H.H.G., G.W. Pickering and C.G. Rob (1954): Reconstruction of internal carotid artery in patient with intermittent attacks of hemiplegia. *Lancet*, 2 (994-996).
- Eisenman, J.I., C.G. Jenkin and H.F. Pribram (1972): Evaluation of the cerebral Circulation by Arch Aortography supplemented by Subtraction Technique. *Amer. J. Roentgenol.*, 115 (14-26).
- Engell, H.C. (1973): Studies in cerebral circulation. *Bulletin, American College of Surgeons*, (7-14, 19-22).
- Faurel, J. und J.P. Caron (1966): Klinische und anatomische Formen der Carotisstenosen. In 'Die chirurgische Behandlung der Carotis- und Vertebralis-insuffizienz' (30-40). Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Fernandez, H., W. McKinney and E.V. Spudis (1971): Pulsatile echo-encephalography: Correlation with K-complexes and epileptic discharges. *Neurology*, 21 (225-231).
- Feild, J.M., L. Lee and R.F. McBurney (1972): Complications of 1000 brachial arteriograms. *J. Neurosurg.*, 36 (324-332).
- Fields, W.S., M.E. Bruetman and J. Weibel (1965): Collateral Circulation of the Brain. Williams and Wilkins Comp., Baltimore.
- Fields, W.S. and N.A. Lemak (1976): Joint Study of Extracranial Arterial Occlusion X Internal Carotid Artery Occlusion *JAMA*, 235 (2734-2738).
- Finke, J. (1966): Ophthalmodynamographie in Neurologie und Psychiatrie. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- Finke, J. (1967): Erfahrungen mit der Ophthalmodynamographie in Neurologie und Psychiatrie. *Neurochirurgia*, 10 (59-76).

- Finke, J. und A. Buchtal (1973): Aussagewert des Ophthalmodynamogramms (ODG) bei zerebralen Zirkulationsstörungen: Eine Zwischenbilanz. *Zeitschrift für Kardiologie*, 62 (977-989).
- Fischbach, R. und G. Harrer (1969): Die Ophthalmodynamographie. In: Quandt, J. Die zerebralen Durchblutungsstörungen des Erwachsenenalters. (279-282). F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart - New York.
- Fogelholm, R. and M. Vuolio (1969): The collateral circulation via the ophthalmic artery in internal carotid artery thrombosis. *Acta Neurol. Scandinav.*, 45 (78-86).
- Follmann, P. (1974): Dynamography. 4th Congr. Europ. Soc. Ophth., Budapest 1972, Part I. *Ophthalmologica*, 169 (192-202).
- Follmann, P., I Heszberger, A. Faludi, J. Szoke and F. Engard (1976): Computer Evaluation of Ophthalmodynamograms. In: *Vision and Circulation*, (219-225). Henry Kimpton Publishers, London.
- Freund, H.J., H. Kendel und R. Cuhlman (1971): Ultraschallmessung von Arterienwandbewegungen. *Ultrasonographia Medica*. Band I. (283-286). Verlag der Wiener Medizinischen Akademie.
- Galin, M.A., J.M. Dodick and M. Best (1967): Ocular manifestations of cranial insufficiency. *Progress in Neuro-ophthalmology*. Excerpta Medica International Congress Series, 176 (248-253).
- Galin, M.A., M. Best, G. Plechaty and P. Nussbaum (1972): The Ocular Pulse. *Tr. Am. Acad. Ophth. and Otol.*, 76 (1535-1541).
- Garbsch, H., F. Kargl, K. Klein, H. Siedek und M. Grübl (1966): Vergleichende blutige und unblutige Druckmessungen in der A.carotis communis und A.carotis interna. *Wien. Klin. Wschr.*, 78 (924-927).
- Gee, W., C.A. Smith, C.E. Hinson and W.J. Wylie (1974): Ocular Pneumoplethysmography in carotid artery disease. *Med. Instrum.*, 8 (244-248).
- Gillilan, L.A. (1974): Potential collateral circulation to the human cerebral cortex. *Neurology*, 24 (941-948).
- Gonzales Jr., R.R. and H.R. Müller (1975): Use of a multichannel Doppler ultrasonic flowmeter for the study of cerebral hemodynamics in the macaque monkey. In: *Ultrasonics in Medicine*. (334-339). Excerpta Medica, Amsterdam-Oxford. American Elsevier Publishing Co., Inc., New York.
- Hager, H. (1957): Die Änderung der Pulsform bei degenerativen Gefäßerkrankungen. *D.O.G. - Heidelberg*, 61 (207-214).
- Hager, H. (1958): Objektive elektrische Dynamometrie mit Hilfe des Bulbus-Orbita-Pulses. *Conc. Ophthalmologicum*, 17 (1302 -1306).
- Hager, H. (1964): Differential Diagnosis of Apoplexy by Ophthalmodynamography. *Triangle*, 6 (259-267).
- Hager, H. (1966): Diagnostische Möglichkeiten der Ophthalmodynamographie, *Wien. Med. Wschr.*, 116 (795-799).
- Hager, H. (1976): Ophthalmodynamographie. In: *Die Ophthalmologischen Untersuchungsmethoden*. 2. Bd. (562-573). Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- Hager, H. und G. Horch (1963): Die Beziehungen zwischen dem dynamographisch gemessenen Ophthalmicadruck und dem synchron registrierten Brachialisdruck. *D.O.G. Heidelberg*, 65 (367-371).
- Harrison, M.J.G. and J. Marshall (1975): Indications for Angiography and Surgery in Carotid Artery Disease. *Brit. Med. J.*, 1 (616-617).
- Hass, W.K., W.S. Fields, R.R. North, I.I. Kricheff, N.E. Chase and R.B. Bauer (1968):

- Joint Study of Extracranial Arterial Occlusion. II. Arteriography, Techniques, Sites and Complications. *JAMA*, 203 (159-166).
- Hayreh, S.S. (1976): The ophthalmic artery. In: *Vision and Circulation* (171-179). Henry Kimpton Publishers, London.
- Hedges, T.R., J.D. Weinstein, N.F. Kassell and T.W. Langfitt (1965): Correlation of ophthalmodynamometry with ophthalmic artery pressure in the rhesus monkey. *Amer. J. Ophthalmol.*, 60 (1098-1101).
- Heiss, W.D. (1971): Die quantitative Messung der zerebralen Durchblutung. *Wien. Klin. Wschr.*, 83 (57-61).
- Herrschafft, H. (1968): Zerebrale Durchblutungsstörungen bei extremer Schlingenbildung der Arteria carotis interna. *Münchener Med. Wschr.*, 110 (2694-2702).
- Herrschafft, H. (1975): *Die regionale Gehirndurchblutung*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- Herrschafft, H. und B. Neelsen (1967): Ophthalmodynamographische Untersuchungen bei Verschlüssen und Stenosen der Arteria carotis und ihrer intrakraniellen Äste. *Med. Welt*, 18 (2914-2922).
- Heydenreich, A. (1969): Auge und Hirndurchblutung. In: Quandt, J. *Die zerebralen Durchblutungsstörungen des Erwachsenenalters*. (359-370). F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart-New York.
- Heyman, A. (1961): Ophthalmoscopy. Fluorescein appearance time. *Cerebral Vascular Diseases. Third Conference* (13-20). Grune and Stratton, New York.
- Higgs, W.A. and S.J. Bullington (1970): Correlation between Ophthalmodynamometry and Arteriography in diagnosing Carotid Occlusive Disease. *The Eye, Ear, Nose and Throat Monthly*, (369-372).
- Hoencamp, B. (1972): Serie-scintifotografie van het hoofd en halsgebied. *Proefschrift*, Utrecht.
- Hollenhorst, R.W. (1976): Discussieopmerking. In: *Symposium on neuro-ophthalmology* (330) The C.V. Mosby Company Saint Louis.
- Hørven, I., H. Nornes and A.M. Tønjum (1971): Ophthalmological approaches to the diagnosis of carotid occlusive disease. *Acta Neurol. Scandinav.*, 47 (272-290).
- Hoyt, W.F. (1959): Some neuro-ophthalmological considerations in cerebral vascular insufficiency. *Arch. Ophthalmol.*, 62 (260-272).
- Huber, P. und P. Siegenthaler (1973): Probleme der zerebralen Durchblutung aus der Sicht der Neuroradiologie Schweiz. *Rundschau Med. (Praxis)*, 62 (668-672).
- Hyman, B.N. (1974): Doppler Sonography. *Amer. J. Ophthalmol.*, 77 (227-231).
- Ingvar, D. and N.A. Lassen (1973): Cerebral Complications Following Measurements of regional Cerebral Blood Flow (rCBF) with the Intra-arterial $^{133}\text{Xenon}$ Injection Method. *Stroke*, 4 (658-665).
- Iwabuchi, T. and W.A. Himwich (1971): Pressure in posterior communicating artery as influenced by carotid artery occlusions. *Amer. J. Physiol.*, 221 (230-233).
- Jacobs, A.B.M., B.P.M. Schulte en N.J.M. Aarts (1970): Faciale thermographie in de neurologische kliniek. Niet gepubliceerd overzicht.
- Jacquy, J., W.J. de Koninck, A. Piroux, R. Calay, J. Bacq, D. Levy and G. Noel (1974): Cerebral blood flow and quantitative rheoencephalography. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 37 (507-511).
- Janeway, R. (1968): The carotid compression test: arteriographic correlations and observations on Carotid sinus sensitivity. *Cerebral Vascular Diseases* (220-227). Ed. J.F. Tool, R.G. Siekert, and J.P. Whisnant. Grune and Stratton, New York.

- Janeway, R. and C.D. Maynard (1970): Rapid Sequence Scintiphography in the Differential Diagnosis of Cerebral Vascular Occlusive Disorders (Radioisotope Angiography with the Gamma Camera). In: 'Cerebral Vascular Diseases' (86-98). Ed. J.F. Toole - J. Moossy - R. Janeway. Grune and Stratton, New York.
- Jenkner, F.L. und H. Derka (1973): Über Änderungen des orbitalen und cerebralen Puls-wellen-verlaufes durch Atmen von Oxymix. Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal., 187 (229-234).
- Julich, H., K. Stössel und H.G. Zielke (1969): Zur Epidemiologie der zerebralen Durchblutungsstörungen. In: Quandt, J. Die zerebralen Durchblutungsstörungen des Erwachsenenalters. (111-123). F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart - New York.
- Kappert, A. (1969): Lehrbuch und Atlas der Angiologie. Verlag Hans Huber, Bern - Stuttgart - Wien.
- Karpman, H.L., I.M. Kalband and J.J. Sheppard (1972): The Use of thermography in a health care system for stroke. Geriatrics, 27 (96-105).
- Kartchner, M.M. and L.P. McRae (1969): Auscultation for Carotid Bruits in Cerebrovascular Insufficiency. JAMA, 210 3 (494-497).
- Kartchner, M.M., L.P. McRae and F.D. Morrison (1973): Noninvasive Detection and Evaluation of Carotid Occlusive Disease. Arch. Surg., 106 (528-535).
- Kaskel, D. und E. Weigelin (1968): Ursachen von Seitendifferenzen des Ophthalmica-Blutdrucks. Bibl. Ophthal. 76 (69-76).
- Kaskel, D., V. Ahlert, F. Sayegh und E. Weigelin (1971): Ophthalmodynamographie unter Muskelrelaxantien. Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal., 182 (229-233).
- Keitzer, W.F., E.L. Lichti and M.S. deWeese (1972): Clinical Evaluation and Correction of Carotid Artery Occlusive Disease. Amer. J. Surg., 124 (697-700).
- Keller, H., G. Baumgartner und F. Regli (1973): Carotisstenosen und -okklusionen. Diagnose durch perkutane Ultraschall-Doppler-Sonographie an der A. supraorbitalis oder A.supratrochlearis. Dtsch. med. Wschr., 98 (1691-1698).
- Keller, H. und G. Baumgartner (1974): Doppler-Ultraschallsonographie: eine nicht-belastende Untersuchungsmethode zur Diagnose und Therapiekontrolle von Karotisstenosen. Schweiz. med. Wschr., 104 (1281-1291).
- Keller, H., A. Bollinger und G. Baumgartner (1974): Doppler - Ultraschalldiagnostik bei obliterierenden Prozessen der Aa. Carotides: Doppelseitige Stenosen mit paradoxaer oder fehlender neurologischer Symptomatik. J. Neurol., 207 (211-226).
- Kerdiles, Y., J. Signargout et Y. Logeais (1972): Les accidents nerveux du cathétérisme rétrograde percutané de l'artère axillaire. J. Chir., 104 (323-330).
- Kety, S. and C.F. Schmidt (1948): The nitrous oxide method for the quantitative determination of cerebral blood flow in man: theory, procedure and normal values. J. Clin. Invest., 27 (476-483).
- Kishore, P.R.S. (1974): The significance of the ulcerative plaque. Radiologic Clinics of North America, 12 (343-352).
- Klaiber, R. (1969): Das Verhalten des Pulses und des Oberarmblutdruckes unter der Belastung durch die Ophthalmodynamographie. Inaug. Dissertation, Berlin.
- Kobayashi, S., R.W. Hollenhorst and Th.M. Sundt (1971): Retinal Arterial Pressure before and after Surgery for carotid stenosis. Stroke, 2 (569-575).
- Kramer, W. (1968): Kinderen door een beroerte getroffen. Ned. T. Geneesk. 112 (1013-1017).
- Kramer, W. E.K.J. Pauwels and F.H.B. Tuynman (1973): Sequential scintigraphic Examination of the aortic Arch in occlusive vascular Disease. Archives Suisses de Neurologie,

- Neurochirurgie et de Psychiatrie, 112, fasc. 2 (251-262).
- Kvist Kristensen, J., M. Eiken and F. von Wovern (1971): Pulsating Ultrasound in the Diagnosis of Carotid Artery Disease. *Ultrasonographia Media*, Band I. (287-288). Verlag der Wiener Medizinischer Akademie.
- De Laet, H. (1961): La Pratique de l'Ophthalmodynamométrie. *Bulletin de la Société Belge d'Ophthalmologie*, no. 127, fasc. 1.
- Lance, J.W. and B. Somerville (1972): The Detection of stenosis or occlusion of the internal carotid artery by facial thermography. *The Medical Journal of Australia*, 1 (97-100).
- Lassen, N.A. and D.H. Ingvar (1961): The bloodflow of the cerebral cortex determined by radioactive krypton-85. *Experientia*, 17 (42-43).
- Lassen, N.A. and E. Skinhøj (1975): Regional Cerebral Circulation in Man and its Regulation. In: 'Modern Trends in Neurology', 6 (59-81). Butterworth, London-Boston.
- Leksell, L. (1955): Echo-encephalography I. *Acta chir. Scand.*, 110 (301-315).
- Lunt, M.J., J.R. Reuben, E.P.G.H. du Boulay and B.W. Watson (1975): Ultrasonic measurement of human carotid artery diameter - a comparison with arteriography. In: 'Blood Flow and Metabolism in the Brain', (7. 30-31). Churchill-Livingstone, Edinburgh-London-New York.
- Machleder, H.I. (1973): Evaluation of patients with Cerebrovascular disease using the Doppler Ophthalmic test. *Angiology*, 24 no. 6 (374-381).
- Machleder, H.I. and W.F. Barker (1972): Stroke on the Wrong Side. Use of the Doppler Ophthalmic Test in Cerebral Vascular Screening. *Arch. Surg.*, 105 (943-947).
- Man, H.X. (1973): Signes oculaires de l'insuffisance circulatoire cérébrale. *Gaz. Med. Fr.*, 80 (6181-6194).
- Mapstone, R. and R. McBride (1975): Fluoresceinangiography in carotid ischaemia. *Brit. J. Ophthal.*, 59 (664-666).
- Marées, H. de (1969): Der Einfluss des Muskeltonus auf das ophthalmodynamographische Meszergebnis. *Zeitschrift für Kreislaufforschung*, 58 Heft 5 (492-500).
- Marées, H. de, K. Barbey und H. Hager (1969): Probleme der Druckankopplung bei der Ophthalmodynamographie. *Zeitschrift für Kreislaufforschung*, 58 Heft 5 (485-492).
- Marées, H. de und H. Hager (1970): Zur Beurteilung ophthalmodynamographischer Meszergebnisse. *Ber. Deutscher Ophthalm. Gesellsch.*, (486-492).
- Maroon, J.C., D.W. Pieroni and R.L. Campbell (1969): Ophthalmosonometry. An ultrasonic method for assessing carotid blood flow. *J. Neurosurg.* 30, part I, no. 3 (238-246).
- Marshall, J. (1969): Comments to Chapter IV - Carotid Surgery. In 'Cerebral Blood Flow' (168). Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- Marshall, J. (1971): Angiography in the investigation of ischemic episodes in the territory of the internal carotid artery. *Lancet*, (719-721).
- Meyer, J.G., P. Megens, J. van der Sluys, A. Mus and M. de Vlieger (1971): Monitoring pulsations in echo-encephalography with the help of a video-recorder. *Ultrasonics*, (166-170).
- Meijer-Erkelenz, J.D. und R. Ksinsik (1972): Ophthalmodynamographie. *Medizinische Klinik*, 67 (1503-1509).
- Meyer-Heine, A., G. Lagrue, M. Kazandjian Diallo et P. Milliez (1972): Piézogrammes carotidiens. Anomalies caractéristiques accompagnant et précédant la maladie hypertensive. *Nouv. Presse méd.*, 1 (1690-1694).
- Mol, J.M.F.A. (1973): Doppler-haematotachografisch onderzoek bij cerebrale circulatiestoornissen. *Proefschrift*, Utrecht.
- Momose, K.J. and P.F.J. New (1973): Non-atheromatous stenosis and occlusion of the

- internal carotid artery and its branches. *The American Journal of Roentgenology, Radium Therapy and Nuclear Medicine*, 118 (550-566).
- Moore, W.S. and A.D. Hall (1968): Ulcerated Atheroma of the Carotid Artery. A Cause of Transient Cerebral Ischaemia. *Amer. J. Surg.*, 116 (237-242).
- Moore, W.S., J.M. Yee and A.D. Hall (1973): Collateral Cerebral Blood Pressure. *Arch. Surg.*, 106 (520-523)
- Mosmans, P.C.M. (1974): Regional cerebral blood flow in neurological patients. *Proefschrift, Utrecht*.
- Müller, H.R. (1972): The Diagnosis of internal carotid artery occlusion by directional Doppler Sonography of the ophthalmic artery. *Neurology*, 22 8 (816-823).
- Müller, H.R. (1973): Directional Doppler Sonography. A New Technique to Demonstrate Flow Reversal in the Ophthalmic Artery. *Neuroradiology*, 5 (91-94).
- Müller, H.R. (1973): Pathogenese und Klinik der episodischen zerebralen Zirkulationsstörungen (Transient Ischemic Attacks). *Schweiz. Rundschau Med. (Praxis)*, 62 (119-125).
- Müller, H.R. (1973): Der Beitrag der Echoenzephalographie und der Ultraschall-Doppler-Technik zur Differentialdiagnose des zerebro-vaskulären Insultes. *Schweiz. Rundschau Med. (Praxis)*, 62 5 (128-131).
- Müller, H.R., J.H. Dunant und P. Waibel (1972): Wiederherstellung der physiologischen Strömungsrichtung in der Arteria Ophthalmica durch Endarterektomie bei Stenosen der Arteria carotis interna. *VASA*, Band 1, Heft 3 (196-200).
- Müller, J.H.A. und J. Waigand (1974): Angiographische Funktionsdiagnostik und intravasale Druckmessung beim Gefäßkinking der Arteria carotis interna. *Dtsch. Ges. wesen*, 29 (456-458).
- Nelson, D.A. and M.M. Mahru (1963): Death following digital carotid artery occlusion. *Arch. Neurol.*, 8 (640-643).
- Nornes, H. (1973): The Role of the Circle of Willis in Graded Occlusion of the Internal Carotid Artery in Man. *Acta Neurochirurgica*, 28 (165-177).
- Nornes, H., I. Hørven and A.M. Tønjum (1971): Simultaneous recording of corneal indentation pulse and internal carotid blood flow. *Acta Neurol. Scandinav.*, 47 (291-306).
- Nornes, H., I. Hørven, A.M. Tønjum and P. Syrdalen (1971): Corneal indentation pulse in carotid occlusive disease. *Acta Neurol. Scandinav.*, 47 (525-540).
- Obrist, W.D., H.K. Thompson, H.S. Wang and S. Cronqvist (1971): A Simplified Procedure for Determining Fast Compartment rCBFs by 133Xenon Inhalation. In: 'Brain and Blood Flow' (11-15). Pitman Medical and Scientific Publishing Co. LTD, London.
- Olinger, Ch.P. (1969): Ultrasonic carotid echoarteriography. *The American Journal of Roentgenology, Radium Therapy and Nuclear Medicine*, 16 2 (282-295).
- Oosterhuis, J.A., R.B. Bakker and K.M. van den Berge (1970): Binocular Fundus Reflectometry. *Ophthal. Res.*, 1 (109-123).
- Oosterhuis, J.A. and R.B. Bakker (1971): Ocular Fundus Fluorometry. *Proc. int. Symp. Fluorescein Angiography*, Albi 1969 (52-54). S. Karger, Basel.
- Oosterhuis, J.A., R.B. Bakker and K.M. van den Berge (1971): Binocular Fundus Fluorometry and Oximetry. *Ophthal. Res.*, 2 (236-241).
- Oosterhuis, J.A. and R.B. Bakker (1973): Measurement of the Arm-Fundus Circulation Time by Fundus Reflectometry. *Ophthalmologica*, 167 (461-463).
- Ophthalmodynamographie (1974): II. Internationales Symposion, Stuttgart 1972. Herausgegeben von J. Finke. F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart - New York.
- Otto, G. (1974): Diskussionsbeitrag. Ophthalmodynamographie. II. Internationales Symposium (91). F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart - New York.

- Otto, G. (1974): Apparative Weiterentwicklungen. Ophthalmodynamographie. II. Internationales Symposium (27-39). F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart - New York.
- Pach, J., W. Dorndorf und H. Gänshirt (1971): Ophthalmodynamographie beim Carotisverschluss. *Z. Neurol.*, 199 (224-233).
- Patterson, R.H. (1970): Oculosphygmography in Acute and Chronic Carotid Insufficiency. *Arch. Neurol.*, 22 (20-26).
- Percival, S.P.B. and A.E.A. Ridgway (1968): Carotid Compression Tonography: A New Test for Carotid Insufficiency. *Brit. Med. J.*, 1 (357-358).
- Perrett, L.V. and W.J. Caldicott (1967): Complications of Cerebral Angiography. *Australian Radiology*, 11 (107-113).
- Picard, L., J. Vignaud, G. Lombardi and J. Roland (1975): Radiological Anatomy of the Origin of the Ophthalmic Artery. In: *Mod. Probl. Ophthal.*, 14 (164-169). S. Karger, Basel.
- Pineda, A. (1966): Compression of the Carotid Artery. *Arch. Surg.*, 93 (415-420).
- Pistolese, G.R., A. Agnoli, M. Prencipe, V. Faraglia, C. Fieschi, P. Fiorani, G. de Leo, E. Pastore, F. Pisarri and L. Semprebene (1972): Effects of Hyperventilation on rCBF during Carotid Surgery. In 'Cerebral Blood Flow and Intracranial Pressure' (350-354). S. Karger, Basel.
- Planiol, Th., L. Pourcelot, J.M. Pottier et E. Degiovanni (1972): Etude de la circulation carotidienne par les méthodes ultrasoniques et la thermographie. *Revue Neurologique*, 126 2 (127-141).
- Planiol, Th., L. Pourcelot et R. Itti (1974): Radioisotopes, ultrasons et thermographie dans le diagnostic des troubles circulatoires cérébraux. *Revue d'E.E.G. Neurophysiol.*, 4 (221-236).
- Polychronakos, D.J. (1963): Kann die systolische Netzhautarteriendruckmessung Komplikationen hervorrufen? *Klin. Mbl. Augenheilk.*, 143 (274-276).
- Posner, J.B. (1972): Newer Techniques of Cerebral Blood Flow Measurement. *Stroke*, 3 (227-237).
- Posthumus Meyjes Jr. F.E. en A. de Wilde (1976): Resultaten van het onderzoek van de circulatie in de arteria carotis met behulp van fundusreflectometrie bij 100 patienten met arteriografische controle. *Ned. T. Geneesk.*, 120 (1396).
- Proszenz, P., W.D. Heiss, H. Tschabitscher and L. Ehrmann (1974): The Value of Regional Cerebral Blood Flow Measurement Compared to Angiography in the Assessment of Obstructive Neck Vessel Disease. *Stroke*, 5 (19-31).
- Psilas, K. et W.R. Felgenhauer (1972): Ophthalmodynamométrie et ophthalmodynamographie, méthodes complémentaires dans le diagnostic des sténoses ou thromboses carotidiennes. *Ophthalmologica*, 165 (258-266).
- Puijlaert, C.B.J.A. (1975): Radiological Aspects of stroke. *Hartbulletin*, 6 (107-110).
- Raitta, C., A. Eisalo, R. Fogelholm and K. Takki (1973): The Ocular Pulse Wave in Health and in Occlusive Disease of the Cervical Arteries. *Albrecht v. Graefes Arch. Klin. exp. Ophthal.*, 187 (265-272).
- Rees, J.E., E.P.G.W. du Boulay, J.W.D. Bull, J. Marshall, R.W.R. Russell and L. Symon (1971): Persistence of Disturbance of Regional Cerebral Blood Flow after Transient Ischemic Attacks. In 'Brain and Blood Flow' (277-280). Pitman Medical and Scientific Publishing Co LTD, London.
- Roberson, G.H., W.R. Scott and A.E. Rosenbaum (1973): Thrombi at the Site of Carotid Stenosis. *Radiology*, 109 (353-356).
- Routier, G. et B. Leuridan (1969): Notre expérience du Piezogramme carotidien: A propos de 400 cas. *J. Sc. Médicales de Lille*, 87 no. 6-7 (437-447).

- Samson, M., J. Gouault, A. Faure, J.M. Avenel et D. Samson-Dollfuss (1968): Méthode simple de mesure de température cutanée. Applications aux thromboses de la carotide. *Revue Neurol.*, 119 (485-494).
- Samson, M., P. Augustin, J. Gouault et J. Chomant (1973): Intérêt de l'enregistrement thermométrique du front dans la pathologie carotidienne. *Oto-Neuro-Ophth.*, 45 (169-183):
- Sayegh, F. (1970): Critical Comparison of Ophthalmodynamographic and Dynamometric Measurements. *Ophthal. Res.*, 1 (201-210).
- Sayegh, F. und H. Odwarka (1969): Fehlerberechnung bei der Ophthalmodynamographie. *Bericht d. Ophthalm. Ges.*, 70 (481-486).
- Sayegh, F., D. Kaskel und E. Weigelin (1970): Zur klinischen Anwendbarkeit der Ophthalmodynamographie im Vergleich zur Ophthalmodynamographie und Karotis-Angiographie. *Klin. Mbl. Augenheilk.* 156 (691-701).
- Schmidt, J. und L.K. Bragina (1968): Der kollaterale Blutkreislauf bei extrakraniellem Verschluss der Hauptgefäßes des Kopfes. *Wiss. Z. Humboldt Univ.*, 17 (79-82).
- Schulte, B.P.M., M.A.M. Bomhof and N.J.M. Aarts (1975): Facial thermography in the diagnosis of cerebrovascular disease and in evaluation of carotid endarterectomy. *Clin. Neurol. Neurosurg.*, 78 (118-130).
- Schulze-Bergmann, G. (1972): Die Bedeutung der unterschiedlichen arteriosklerotischen Karotisstenosen und ihre gefäßchirurgische Konsequenzen. *Herz. Kreisl.*, 4 (134-138).
- Seitz, H.D. (1964): Normwerte und Seitendifferenzen des Pulsationsvolumens der A. ophthalmica bei Normotonikern und Hypotonikern. *Inaug. Diss.*, Tübingen.
- Shapiro, H.M., N.G. Lawrence, M. Mishkin and M. Reivich (1970): Direct thermometry, Ophthalmodynamometry, Auscultation and Palpation in Extracranial Cerebrovascular Disease: An Evaluation of Rapid Diagnostic Methods. *Stroke*, 14 (205-217).
- Shillito, J. (1964): Carotid Arteritis: A cause of Hemiplegia in Childhood. *J. Neurosurg.*, 21 (540-551).
- Sisler, H.A. (1972): Optical-corneal pressure ophthalmodynamometer. *Amer. J. Ophthalmol.*, 74 (987-988).
- Sisler, H.A. (1972): Comparative ophthalmodynamometry using scleral pressure, suction and corneal pressure units. A pilot study of 56 normal subjects. *Amer. J. Ophthalmol.*, 74 (964-966).
- Skinhøj, E., K. Høedt-Rasmussen, O.B. Paulson and N.A. Lassen (1970): Regional cerebral blood flow and its autoregulation in patients with transient focal cerebral ischemic attacks. *Neurology*, 20 (485-493).
- Smith, K.R., J.S. Nelson and J.M. Dooley (1968): Bilateral 'hypoplasia' of the internal carotid arteries. *Neurology*, 18 (1149-1159).
- Solis, C., F. Zylbergljajt and R. Rodriguez Barrios (1972): Results of carotid compression tonographic test in carotid and vertebrobasilar occlusion. *Amer. J. Ophthalmol.*, 74 6 (1113-1120).
- Spencer, M.P., J.M. Reid, D.L. Davis and P.S. Paulson (1974): Cervical Carotid Imaging with a Continuous - Wave Doppler Flowmeter. *Stroke*, 5 (145-154).
- Stepanik, J. (1973): Die Arteria-ophthalmica-Tonometrie. *Wien. Klin. Wschr.*, 85 (336-338).
- Stepanik, J. (1974): Ophthalmosphygmomanometrie mit dem Mackay-Marg Tonometer. 4th Congr. Europ. Soc. Ophthal., Budapest. 1972. Part II pp 225-228 (465-468). S. Karger, Basel.
- Strang, R. (1974): Measurement of ocular blood flow. *Trans. ophthal. Soc. U.K.*, 94 (371-377).

- Strang, R. (1976): Physical factors in the measurement of blood flow by radioactive washout technique. In: *Vision and Circulation* (39-44). Henry Kimpton Publishers, London.
- Strik, F. (1972): Oftalmodynamografie bij ischemieën in het carotisgebied. *Ned. T. Geneesk.*, 116 no. 37 (1673-1674).
- Strik, F. (1974): Graphische Analyse der ODG-Pulsationen. *Ophthalmodynamographie. II. Internat. Symposion* (83-90). F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart - New York.
- Strik, F. (1975): Nieuwe methoden voor de analyse van ODG-pulsaties. *Ned. T. Geneesk.*, 119 (2071).
- Strik, F. (1976): Weist eine Verzögerung der Pulswelle am Auge auf einen Karotisverschluss hin? *Sitz. ber. 131 Vers. Rhein. Westf. Augenärzte* (14-17).
- Strik, F. (1976): Neue Methoden zur Analyse der ODG-Pulsationen. *Ophthalmologica*, 173 (440-442).
- Sundt Jr., T.M., F.W. Sharbrough, R.E. Anderson and J.D. Michenfelder (1974): Cerebral blood flow measurements and electroencephalograms during carotid endarterectomy. *J. Neurosurg.*, 41 (310-320).
- Sven, H.J. and R.W. Hollenhorst (1956): Pressure in the retinal arteries after ligation or occlusion of the carotid artery. *Proc. Mayo Clin.*, 31, (684-692).
- Tada, K., Y. Kuriyama and T. Nukada (1975): The Assessment of the capacity of cerebral collateral circulation using ultrasonic technique. In: 'Blood Flow and Metabolism in the Brain', 7 (32-33). Churchill Livingstone, Edinburgh - London - New York.
- Thompson, S.W. (1971): Reactivity of Cerebral Blood Flow to CO_2 in Patients with Transient Cerebral Ischemic Attacks. *Stroke*, 2 (273-278).
- Tindall, G.T., J.A. Goree, J.F. Lee and G.L. Odon (1966): Effect of common carotid ligation on the size of internal carotid aneurysms and distal intracarotid and retinal artery pressure. *J. Neurosurg.*, 25 (503-511).
- Tønjum, A.M. (1971): A new sensor for pneumatic tonometry. Construction and working principle. 20th Nordic Meeting in Ophthalmology.
- Tønjum, A.M. (1972): Studies on the ocular pulse pressure wave in human, dog and rabbit eyes with a pneumatic tonometer. *Acta Ophthalmologica*, 50 (677-687).
- Uesu, C.T. (1973): Carotid artery pulse curve in occlusive disease of the carotid artery. *Angiology*, 24 3 (147-155).
- Verzella, F. (1971): Zur Pathophysiogenese des Ophthalmodynamogrammes. *Klin. Mbl. Augenheilk.*, 158 (49-58).
- Vetter, K. und K. Nungesser (1965): Der arterielle Ophthalmica- und Carotisblutdruck, eine vergleichende Untersuchung bei simultaner Ophthalmodynamographie und Angiographie. *Nervenarzt*, 36 (501-508).
- Vignaud, J., C. Clay and M.L. Aubin (1972): Orbital Arteriography. *Radiologic Clinics of North America*, 10 (39-61).
- Vitek, J.J. (1973): Femoro — cerebral angiography: analysis of 2000 consecutive examinations, special emphasis on carotid arteries catheterization in older patients. *Amer. J. Roentgenol.*, 118 (633-647).
- Vlieger, M. de and H.J. Ridder (1959): Use of Echo-encephalography. *Neurology*, 9 (216-223).
- Vlieger, M. de (1968): Echo-encephalography and Cerebral Circulation. *Progress in Brain Research*, Vol 30 (211-218). Elsevier Publishing Company, Amsterdam.
- Vlieger, M. de and G.H. Krull. (1968): Echo-encephalography in the diagnosis of cerebral vascular disease. *Cerebral Vascular Disease* (210-219). Ed. J.F. Toole, R.G. Siekert and J.P. Whisnant. Grune and Stratton, New York.

- Vlieger M. de, C.E. Molin and M.N. White (1968): Pulsations in range of intracranial structures. *Neurology*, 18 no. 11 (1101-1106).
- Vlieger M. de, G.H. Krull, J. Gerbrandy and D.E.P. de Clerck (1971): Cerebral Echo-Pulsations in Cardiac Arrhythmia. *Psychiat. Neurol. Neurochir.*, 74 (279-289).
- Vlieger, M. de and J.A.P. van Parijs (1972): EEG Paroxysms and Echo-encephalography. *Epilepsia*, 13 (813-817).
- Vlieger M. de, P. Megens and J. van der Sluys (1974): Recording pulsations in echo-encephalography. *Medical and Biological Engineering* (503-509).
- Vonk, J.Th.Ch. en P.J.A. Clerens (1974): Systolische tijdsintervallen. *Hart Bulletin*, (111-115).
- Waltz, A.G., Th.M. Sundt and J.D. Michenfelder (1972): Cerebral Blood Flow during Carotid Endarterectomy. *Circulation*, 45 (1091-1096).
- Wayne, H.H. (1973): Noninvasive Technics in Cardiology. *Year Book Medical Publishers Inc.*, Chicago.
- Weibel, J. and W.S. Fields (1969): *Atlas of arteriography in occlusive cerebrovascular disease*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Weigelin, E. und A. Lobstein (1962): *Ophthalmodynamometrie*. S. Karger, Basel.
- Weigelin, E., Kazuo Iwata und M. Halder (1964): Fortschritte auf dem Gebiet der Blutdruckmessung am Auge. *Fortschr. Augenheilk.*, 15 (44-184).
- Wetterer, E. und Th. Kenner (1968): *Grundlagen und Dynamik des Arterienpulses*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York.
- Wiggli, U. und R. Oberson (1973): Wert und Resultate von Zielaufnahmen der Karotisbifurkation bei Patienten mit transitorischen ischämischen Attacken. *Schweiz. med. Wschr.*, 103 (1282-1288).
- Willem, J.L., J. Roelandt, H. de Geest, H. Kestelaat and J.V. Joossens (1970): The Left Ventricular Ejection Time in Elderly Subjects. *Circulation*, 42 (37-42).
- Wilson, T.M., E.T. Mackenzie and R. Strang (1976): Factors influencing ocular blood flow. In: *Vision and Circulation* (45-49). Henry Kimpton Publishers, London.
- Wise, G., E.C. Brockenbrough, R. Marty and R. Griep (1971): The Detection of Carotid Artery Obstruction: A correlation with arteriography. *Stroke*, 2 (105-113).
- Wood, E.H. (1965): Thermography in the diagnosis of cerebro-vascular disease. *Radiology*, 85 (270-283).
- Worman, L.W. (1973): Carotid Artery Surgery for Cerebrovascular Disease. *Wisconsin Medical Journal*, 72 (215-219).
- Wyatt, A.P., K. Ratnavel and G.E. Loxton (1973): The technique and possible application of supra-orbital artery blood-pressure estimation. *Brit. J. Surg.*, 60 9 (741-743).
- Young, D.L. (1972): Ophthalmodynamometry as a bedside examination: Its role in evaluation of cerebrovascular disorders. *Journal AOA*, 71 (766-770).
- Ziedses des Plantes, B.G. (1961): *Subtraktion*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

Curriculum vitae

De schrijver werd geboren op 7 september 1928 te Den Haag. Hij doorliep de lagere school in Loosduinen. Op 17 juli 1946 werd het eindexamen HBSb behaald aan het St. Aloysius college te Den Haag.

Hierna volgde de studie in de geneeskunde aan de Rijksuniversiteit te Leiden waar hem op 11 december 1954 het artsdiploma werd uitgereikt.

Tijdens het vervullen van de militaire dienstplicht werd aan de neurologische afdeling van het Militair Hospitaal 'Dr. A. Mathijsen' (hoofd: dr. J.C. Gathier) aangevangen met de opleiding tot zenuwarts met hoofdvak neurologie.

De stage gestichtspsychiatrie volgde in de Psychiatrische Inrichting 'Bloemendaal' te Loosduinen (geneesheer-direkteur: B. van der Borgh, psychiater). De opleiding in de neurologie werd voortgezet en voltooid bij Prof. Dr. J.W.G. ter Braak en in de psychiatrie bij Dr. P.J. van der Schaar in het Academisch Ziekenhuis Rotterdam-Dijkzigt.

Op de afdeling electro-neurologie (hoofd: Dr. M. de Vlieger) werd de aantekening klinische neurophysiologie verkregen. Inschrijving in het specialistenregister vond plaats op 15 oktober 1961. De schrijver is sedert 15 december 1961 gevestigd te Oldenzaal. Hij bekleedt de functie van voorzitter van de Twentse Zenuwartsen Vereniging.

Behalve over de ophthalmodynamografie publiceerde hij over de neuralgische amyotrofie (samen met Gathier en Bruyn), over meningitis veroorzaakt door het ECHO-virus type 4 en casuistische mededelingen.

Duitse vertaling: Interscript Amsterdam
Engelse vertaling: Medical Translations Amsterdam
Fotografie: Han Meijer, Enschede