

Ergebnisse der Kaufmann-modifizierte Transpositionsoperation nach Hummelsheim in der
Universitäts-Augenklinik Gießen

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Leder, Kimberly
aus Lich

Gießen 2024

Ergebnisse der Kaufmann-modifizierte Transpositionsoperation nach Hummelsheim in der
Universitäts-Augenklinik Gießen

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Leder, Kimberly
aus Lich

Gießen 2024

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen

Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde

Betreuer: Prof. Dr. Gräf, Michael
Gutachter: Prof. Dr. Kohnen, Thomas

Tag der Disputation:
04.11.2024

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Abduzensparese	1
1.1.1	Nervus abducens	1
1.1.2	Pareseursachen	2
1.1.3	Häufigkeit	3
1.1.4	Klinische Befunde	4
1.1.5	Diagnostik	5
1.2	Behandlung	6
1.2.1	Operationsindikation	6
1.2.2	Geschichte der Transpositionsoperation	7
1.3	Ziel der Arbeit	9
2	METHODIK	10
2.1	Operatives Vorgehen	10
2.1.1	Transponatfreilegung	11
2.1.2	Unterkreuzung	12
2.2	Patienten	14
2.2.1	Patientenauswahl	14
2.2.2	Demographische Daten	14
2.2.3	Einschluss- und Ausschlusskriterien	14
2.3	Datenerhebung und Einteilung	15
2.4	Statistische Auswertung	16
2.4.1	Software	17
2.5	Erfolgskriterien	17
2.6	Untersuchungsverfahren	17
2.6.1	Visusbestimmung	17

2.6.2	Refraktometrie	18
2.6.3	Untersuchung der binokularen Funktion	18
2.6.4	Subjektive Schielwinkelbestimmung	20
2.6.1	Objektive Schielwinkelbestimmung	22
2.6.2	Monokulare Exkursion	24
2.6.3	Kopfzwangshaltung	24
2.6.4	Fusionsblickfeld	24
2.7	Operation	25
3	ERGEBNISSE	26
3.1	Patienten	26
3.1.1	Geschlecht	26
3.1.2	Patientenalter	27
3.1.3	Pareseursache	27
3.1.4	Paresedauer	28
3.1.5	Voroperationen	29
3.2	Daten zur Operation	30
3.2.1	Operationstechnik	30
3.2.2	Operateure	31
3.3	Funktionsparameter	32
3.3.1	Visus	32
3.3.2	Refraktion	33
3.3.3	Maximaler Schielwinkel	34
3.3.4	Subjektive Schielwinkel	39
3.3.5	Bulbusmotilität	44
3.3.6	Fusionsblickfeld	47
3.3.7	Kopfzwangshaltung	49
3.3.8	Binokularfunktion	50
3.4	Vergleich Subgruppen	50
3.5	Operationseffekt	52

4	DISKUSSION	53
4.1	Patienten	53
4.1.1	Paralyseursachen	53
4.1.2	Altersverteilung	54
4.1.3	Paresedauer	55
4.2	Auswertungskriterien	55
4.3	Operationsergebnisse	56
4.3.1	Schielwinkel	56
4.3.2	Schielwinkelvergleich der Subgruppen	58
4.3.3	Motilität	60
4.3.4	Kopfzwangshaltung	60
4.3.5	Fusionsblickfeld	61
4.3.6	Binokularfunktion	62
4.4	Alternative Operationsmethoden	62
4.4.1	Kombinierte Konvergenz-Operation	62
4.4.2	Botulinumtoxin-Injektion	63
4.5	Operationsbedingte Nebenwirkungen	63
4.5.1	Höhenfehler	63
4.5.2	Zyklorotatorische Abweichung	65
4.5.3	Visus und Refraktion	65
4.5.4	Spezielle Risiken – Anteriore Segmentischämie	65
4.6	Limitierungen	67
4.7	Therapieempfehlungen	68
5	ZUSAMMENFASSUNG	70
6	SUMMARY	71
7	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	72

8	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	73
9	TABELLENVERZEICHNIS	75
10	LITERATURVERZEICHNIS	76
11	ANHANG	81
12	PUBLIKATIONEN	83
13	EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG	84
14	DANKSAGUNG	85

1 Einleitung

1.1 Abduzensparese

1.1.1 Nervus abducens

Der Nervus abducens ist der sechste der zwölf Hirnnerven und versorgt rein somatomotorisch den Musculus rectus lateralis. Der Nerv ist für die Abduktion des Auges zuständig und entstammt dem Nucleus nervi abducentis aus der Pons. Er verläuft in der Medulla oblongata im Sulcus bulbopontinus (Aumüller et al., 2014), tritt am Clivus durch die Dura mater und gelangt über die Fissura orbitalis superior in die Augenhöhle. Von allen okulomotorischen Hirnnerven hat der Nervus abducens den längsten extraduralen Verlauf. Aufgrund des Verlaufes durch den Sinus cavernosus ist er besonders anfällig für Schädigungen bei Schädelbasisbrüchen oder Pathologien im Sinus cavernosus (Aumüller et al., 2014).

Bei einer Abduzensparese ist die Funktion des Nervus abducens aufgrund unterschiedlicher Ursachen gestört. Klinisch äußert sich dies in einer eingeschränkten beziehungsweise fehlenden Abduktionsfähigkeit des Bulbus oculi. Das Auge steht in gehaltener Adduktion in Richtung nasal. Daraus resultiert ein Einwärtsschielen (Hollwich, 1988).

In der Nomenklatur unterscheidet man zwischen einer Parese und einer Paralyse. Als Parese wird ein teilweiser Funktionsverlust des Nervs bezeichnet. Im Unterschied dazu beschreibt eine Paralyse einen vollständigen Verlust der motorischen Funktion. Bezogen auf den Nervus abducens wird dies anhand der Abduktionsfähigkeit über die Mittellinie unterschieden. So ist der Patient bei einer Abduzensparese noch in der Lage das Auge über die Mittellinie zu abduzieren, bei einer Paralyse ist eine Bewegung über die Mittellinie hinaus nicht möglich. Die Differenzierung ist nicht immer sicher möglich, da trotz Restfunktion des Nervs bei hohem Esotonus die Abduktion stark eingeschränkt sein kann. Diagnostiziert werden kann eine Paralyse neben der Motilitätsdiagnostik durch die Durchführung einer Elektromyographie (Huber, 1981). Liegt eine Paralyse vor, so ist keine Restaktivität des Muskels detektierbar, im Fall einer Abduzensparese kann im

Elektromyogramm eine Restaktivität festgestellt werden (Gebauer, 1997; Huber, 1981; Kaufmann, 1984).

1.1.2 Pareseursachen

Eine Abduzensparalyse kann vielfältige Ursachen haben. Im Rahmen dieser Arbeit werden folgende Ursachen unterschieden: traumatisch, vaskulär, idiopathisch und iatrogen. Alle weiteren Ursachen, wie z.B. eine Inflammation, werden unter „sonstige“ zusammengefasst.

Eine kongenitale Abduzensparalyse ist sehr selten. In der Regel handelt es sich um ein Stilling-Türk-Duane-Syndrom, auch Retraktionssyndrom genannt, welches klinisch von der erworbenen Paralyse oder Parese abzugrenzen ist. Es betrifft überwiegend Frauen und tritt meist einseitig, aber auch beidseitig auf. Die Ursache ist eine ausbleibende Innervation des Musculus rectus lateralis durch Neurone des Nervus abducens. Stattdessen wird der Muskel durch Neurone des Nervus oculomotorius innerviert, der in der Regel für die Innervation des M. rectus superior, inferior und medialis sowie den M. obliquus inferior zuständig ist. Der Grund dieser Fehlinnervation ist weitestgehend unbekannt, es wird ein Zusammenhang mit der Einnahme von Contergan in der Schwangerschaft angenommen (Kaufmann, 2004). Die Folge ist, dass bei Adduktion eine Retraktion des Bulbus in die Augenhöhle sowie eine Lidspaltenversmälnerung aufgrund der gleichzeitigen Innervation von Musculus rectus lateralis und Musculus rectus medialis auftritt. Je nachdem, wie sich die Innervation auf den Rectus medialis oder lateralis aufteilt, besteht im Geradeausblick ein Innen-/ Außen- oder kein Schielen. Weiterhin ist das kongenitale Möbius-Syndrom zu nennen, welches sich in einer Kombination von Abduzens- und ipsilateraler Fazialisparese äußert (Kaufmann, 2004). Die betroffenen Patienten leiden an einer horizontalen Blickparese. Mögliche genetische Ursachen sind in der Möbius-Sequenz in autosomal-rezessiver und dominanter sowie x-chromosomaler Vererbung beschrieben (Gaspar, 2010). Die hier aufgeführten Syndrome galten als Ausschlusskriterium für die vorliegende Auswertung, da sie in der Regel einer anderen Behandlung bedürfen.

Als erworbene Ursachen können sowohl Traumata als auch Erkrankungen des zentralen Nervensystems eine Rolle spielen (Thömke, 2008). Letztere umfassen maligne Tumoren an der Schädelbasis sowie akut entzündliche Geschehen beispielsweise im Rahmen einer Meningitis, Lyme-Borreliose, Syphilis und Tuberkulose (Helmchen & al, 2021; Kaufmann, 2004; Thömke, 2008). Neben akut entzündlichen Erkrankungen sind chronisch entzündliche Pathologien zu nennen, denen die Multiple Sklerose, Tolosea-Hunt-Syndrom, Wernicke-Enzephalopathie und die Neuro-Sarkoidose angehören.

Auch vaskuläre Erkrankungen wie Aneurysmata, ein Sinus cavernosus Syndrom oder eine arteriovenöse Fistel und in erster Linie eine Mikroangiopathie beziehungsweise eine Durchblutungsstörung können einen Funktionsverlust, demnach kompressiver ischämischer Genese, des Nervus abducens bedingen. Zu systemischen Erkrankungen, die durch Schädigung der Gefäße eine Paralyse bedingen, zählen Diabetes mellitus, arteriosklerotische Veränderungen sowie der Hypertonus.

Unter den traumatischen Ursachen fasst man in der Regel die Schädel-Hirn-Traumata mit Hirnblutungen wie beispielsweise Subarachnoidalblutung nach Sturz oder Schädel-Basis Frakturen mit direkter Läsion des Nervs zusammen. Auch Abrisse des Nervus abducens wurden beschrieben. Ebenso können ein gesteigerter Hirndruck (sowohl traumatisch bedingt als auch anderer Genese) sowie Hirnblutungen hypertensiver Genese die Funktion des Nervus abducens einschränken.

Weitere nicht traumatische Genesen, z.B. ein Pseudotumor cerebri (idiopathisch erhöhter Hirndruck), können die Funktion des Nervus abducens einschränken (Kaufmann, 2004). Nicht zu vergessen ist die direkte Schädigung des Nervs im Rahmen operativer Eingriffe (onkologische Resektionen an der Hirnbasis).

1.1.3 Häufigkeit

Die Abduzensparese wird als die häufigste Augenmuskelparese beschrieben (Kapoor, Prabu, & Udayakumar, 2018; Mietinen, Aine, & Partanen, 1985). Je nach Quelle unterscheiden sich die Prozentangaben. Die Angaben variieren je nach Vergleich der Paresen. Arfeen et al. geben die Abduzensparese mit 45 % (Arfeen et al., 2022) aller

Hirnnervenparesen an, Park et al. mit bis zu 52,4 % (Park, Kim, Hwang, & Yu, 2008) aller Augenmuskelparesen (Trochlearis- und Okulomotoriusparesen).

1.1.4 Klinische Befunde

Klinisch äußert sich die Paralyse durch eine Esotropie des paralytischen Auges mit entsprechender Diplopie (wenn das andere Auge blind oder amblyop ist, schielt dieses). Im Falle einer erworbenen Esotropie ist die Korrespondenz der Netzhautareale zerebral bereits ausgebildet, folglich kommt es zur Wahrnehmung von horizontalen Doppelbildern, deren Abstand im Blick zur paretischen Seite zunimmt. Die Doppelbilder sind ungekreuzt: das rechte Bild projiziert sich vor dem rechten Auge und das linke Bild vor dem linken Auge. Um die Doppelbilder auszugleichen, nimmt der Patient eine Kopfwangshaltung ein, indem er den Kopf zur betroffenen Seite dreht und damit die fehlende Abduktionsfähigkeit ausgleicht (Böker & Deinsberger, 2004; Hollwich, 1988). Liegen sehr kleine Schielwinkel vor, ist es dem Patienten durch die Kopfdrehung möglich binokular einfach zu sehen. Es besteht dann ein lateral gelegenes Fusionsblickfeld. Bei großen Schielwinkeln reicht die Kopfdrehung dafür nicht mehr aus und wird durch den Patienten nur noch bei Okklusion des anderen Auges eingenommen, z.B. bei der Visusbestimmung oder wenn das Sehvermögen am nicht paretischen Auge reduziert ist.

Bei länger bestehender Parese wird der Rectus lateralis durch seine fehlende Kontraktionsfähigkeit und den antagonisierenden Zug des M. rectus medialis an Länge zunehmen, andererseits verkürzt sich der Antagonist (Hollwich, 1988). Dem M. rectus medialis fehlt der antagonisierende Zug des Lateralis, er verharrt somit in einer Kontraktion mit einer Schielwinkelzunahme bis hin zum Strabismus fixus (das Auge verharrt in der maximalen Schielstellung).

Das aus der Motilitätseinschränkung entstehende Schielwinkelmuster ist typisch für die Abduzensparalyse, kommt aber auch bei anderen Störungen vor. Myasthenie, Einklemmungen bei Orbitafrakturen, okuläre Myositis, endokrine Orbitopathie und Muskelmetastasen müssen differentialdiagnostisch abgegrenzt werden. Es werden primärer und sekundärer Schielwinkel unterschieden, wobei der primäre Winkel kleiner ist als der sekundäre. Der primäre Schielwinkel wird bei Fixation mit dem nicht

paretischen Auge gemessen und zeigt die Abweichung des paretischen Auges. Der sekundäre Schielwinkel beschreibt die Abweichung des nicht paretischen Auges bei Fixation mit dem paretischen Auge in derselben Blickrichtung (Hollwich, 1988; Kaufmann, 2004). Bei einer Abduzensparalyse ist der sekundäre Schielwinkel also im Geradeausblick nicht messbar, weil das betroffene Auge die Primärposition gar nicht erreicht.

1.1.5 Diagnostik

Primär ist die Inspektion der Augenstellung und Beweglichkeit unerlässlich. Die Paralyse zeigt sich, wie bereits beschrieben, in einer Esotropie des betroffenen Auges evtl. in Kombination mit einer kompensatorischen Kopfhaltung. Die Patienten geben in der Regel Doppelbilder an. Wichtig ist die Differenzierung von nicht paretischen Ursachen, restriktiven Störungen sowie pathologisch veränderten Zugrichtungen des M. rectus lateralis und der geraden Vertikalmotoren bei hoher Myopie. (Besteht eine hohe Myopie in Kombination mit einem Strabismus, so ist häufig eine Verlagerung des M. rectus lateralis am Bulbus ursächlich, sodass statt einer Transposition der Vertikalmotoren eine Suspension des M. rectus lateralis in seiner ursprünglichen Position die Therapie der Wahl darstellt (Herzau & Ionnakis, 1996; Krzizok et al., 1997). Bei einer endokrinen Orbitopathie wäre eine großstreckige Rücklagerung des Rectus medialis indiziert.)

Im Anschluss an die Anamnese und Erhebung des okulären Befundes erfolgt die orthoptische Untersuchung. Es werden allgemeine Parameter der visuellen Funktion (Visus, Refraktion) bestimmt. Anschließend erfolgt die Bestimmung der Schielwinkel im alternierenden Abdecktest oder nach Hornhautreflexbild (HHR). Subjektiv werden die Schielwinkel nach den Doppelbildangaben des Patienten im Geradeausblick sowie in den Seitblicken gemessen (genauere Erläuterung der Verfahren siehe 2.6). Wesentlich ist für die Diagnose der Paralyse das Ausmaß der aktiv möglichen Motilität des Bulbus. Sie wird in horizontal und vertikal maximaler Ausprägung gemessen und in Grad Abweichung zur Mittellinie angegeben. Zudem wird die eventuelle Kopfwangshaltung in Grad Abweichung zur Neutralstellung des Kopfes angegeben.

Ein binokulares Einfachsehen ist bei einer Paralyse meist nicht vorhanden, kann daher präoperativ in der Regel nicht vermessen werden.

1.2 Behandlung

Eine Abduzensparalyse ist in der Regel eine Operationsindikation, rein konservative Therapieansätze stellen keine Alternative zur Operation dar. Bei Bedarf erfolgt eine Okklusion mittels Klappe oder Mattglas, selten eine Prismenbehandlung bis zur Operation (Kaufmann, 1984). Zur Kontrakturprophylaxe kann eine Botulinum-Toxin-Injektion erfolgen (Arfeen et al., 2022). Bei kleinen Schielwinkeln kann zur Symptomverbesserung eine Behandlung mit Prismenfolien versucht werden. Die operative Behandlung einer Abduzensparese/-paralyse umfasst unterschiedliche Verfahren (Kolling, 2001). Bei geringer Parese finden konventionelle Muskelrücklagerungen und -resektionen Anwendung, im Falle einer Paralyse ist die Transposition, alternativ zur sehr großstreckigen Medialis-Rücklagerung und Lateralis-Verkürzung, die Methode der Wahl, sofern keine Kontraindikationen vorliegen. In dieser Arbeit wird die nach Kaufmann modifizierte Hummelsheim-Operation untersucht.

1.2.1 Operationsindikation

Bei der Indikationsstellung zur Transpositionsoperation ist die Paresedauer zu beachten (Kaufmann, 1984), da eine Abduzensparese in seltenen Fällen regredient verlaufen kann. Eine restitutio at integrum oder zumindest Verbesserung der präoperativen Schielwinkel wird abgewartet.

Bei einer akut aufgetretenen Parese sind mindestens sechs Monate bis zur operativen Behandlung abzuwarten (Kapoor et al., 2018). Andere setzen das Bestehen einer Parese für mindestens zwölf Monate für eine operative Behandlung voraus (Kaufmann, 1984; Kolling, 2001). In der Augenklinik Gießen entspricht eine Latenzzeit von zwölf Monaten dem Standard, es sei denn, eine Heilung ist nicht möglich (beispielsweise Durchtrennung des Nervus abducens). Eine längere Paresedauer schließt ein operatives Verfahren keinesfalls aus. Grund für die Latenz zwischen Erstdiagnose und Operation ist also meist die mögliche spontane Verbesserung. Geringere Paresen zeigen eine hohe Spontanheilungsrate in 73-78 % der Fälle (Bansal, Khan, & Marsh, 2006). Park et al. geben sogar eine Spontanheilungsrate von 87,3 % innerhalb von sechs Monaten nach Parese-Auftreten an (Park et al., 2008). Gründe für die hohe Spontanheilungsrate sind die

verschiedenen pathophysiologischen Mechanismen der Nervenschädigung, welche der Parese zugrunde liegen. Entsteht die Parese durch eine Neurapraxie, also eine Verletzung einzelner Nervenfasern bei erhaltener Perineuralscheide, so ist eine Regeneration über Monate wahrscheinlich. Im Gegensatz dazu ist eine Regeneration nach Axonotmesis (Durchtrennung der Axone und zugehörigen Myelinscheiden bei intakter Perineuralscheide) oder Neurotmesis (Durchtrennung von Nerv, Axon und Perineuralscheide) unwahrscheinlicher. Da dies meist nicht eindeutig zu klären ist, werden in der Regel zwölf Monate abgewartet. Eine Paralyse bildet sich in der Regel nicht vollständig zurück. Wenn sich die Abduktionsfähigkeit bessert, kann jedoch einfacher, durch kombinierte Konvergenzoperation, behandelt werden.

1.2.2 Geschichte der Transpositionsoperation

Im Jahr 1907 beschrieb Hummelsheim die Transposition der vertikalen Recti nach temporal, bei der die temporalen Hälften der geraden Vertikalmotoren an den Ansatz des Lateralis versetzt werden (Coats & Olitsky, 2007; Helveston, 2005; Hummelsheim, 1907; Kaufmann, 1984). 1909 veröffentlichte Hummelsheim die erste Modifikation seiner Arbeit und bereitete den Weg für diverse zukünftige Modifikationen (Gebauer, 1997; Heede, 2018; Hummelsheim, 1909).

Es sind viele Modifikationen mit einer Operation am M. rectus medialis und M. rectus lateralis kombiniert, häufig erfolgt eine Kombination mit einer Medialis-Rücklagerung (Bansal & Bamotra, 2015; Couser, Lenhart, & Hutchinson, 2012; Helveston, 2005; Kaufmann, 2004; Neugebauer et al., 2001).

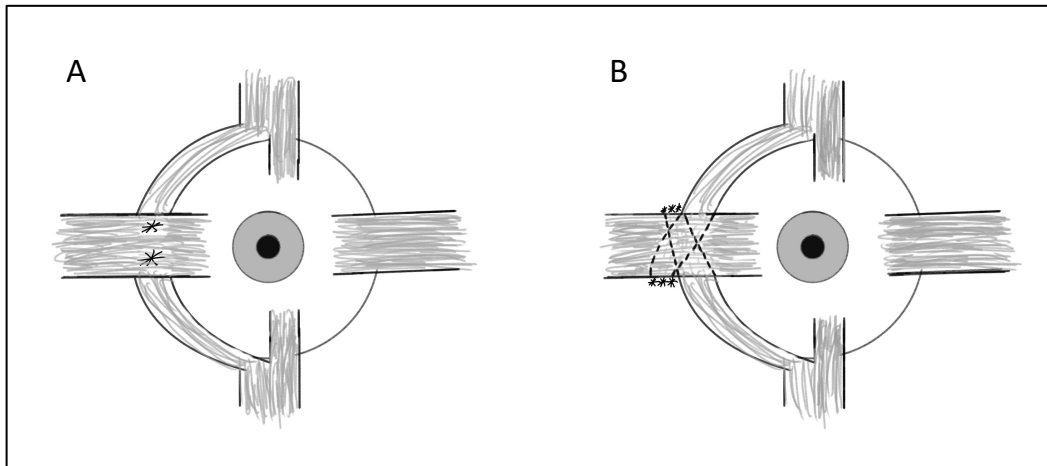


Abbildung 1: Modifikationen (schematisch) A: Hummelsheims Originalmethode; Die temporalen Muskelhälften der Vertikalmotoren sind neben dem Ansatz des M. rectus lateralis inseriert; B: Kaufmann-modifizierte Hummelsheim-Operation; Unterkreuzung (gestrichelte Linien) der temporalen Muskelhälften, Fixierung superiores Transponat unter dem Lateralis und inferiores Transponat über dem Lateralis an der Sklera

Noch heute häufig durchgeführte Modifikationen sind die nach Jensen (Arfeen et al., 2022; Bansal et al., 2006) und O'Connor (Helveston, 2005). Jensens Modifikation hatte das Ziel, zwar die Zugrichtung der Muskeln zu verlagern, aber gleichzeitig den Ansatz derselben zu schonen (Jensen, 1964). Er spaltete die drei beteiligten Augenmuskeln längs. Die lateralen Anteile des M. rectus superior und inferior werden mit dem superioren bzw. inferioren Teil des M. rectus lateralis mit nicht resorbierbaren Nähten verknüpft (Arfeen et al., 2022; Huber, 1981; Jensen, 1964; Rosenbaum & Santiago, 1999). Nishida et al. beschrieben eine Alternative ohne Tenotomie. Dabei werden die temporalen Anteile der Vertikalmotoren mit verankernden Nähten nicht mit dem gespalteten Lateralis, wie beim Vorgehen nach Jensen, sondern in der Sklera fixiert (Heckmann, Todorova, & Sturm, 2021; Nishida et al., 2003).

O'Connor modifizierte die Hummelsheim-Operation auf verschiedene Weisen (Gebauer, 1997; O'Connor, 1921). Bei der bekanntesten und am häufigsten genutzten Variante in Form der kompletten Sehnenreposition werden beide vertikalen Recti ungeteilt an den Ansatz des M. rectus lateralis des paretischen Auges gelagert (Rosenbaum & Santiago, 1999). Eine sehr selten genutzte Modifikation besteht in der Transposition der nasalen Hälften der geraden Vertikalmotoren zum Ansatz des M. rectus lateralis (Coats & Olitsky, 2007; Helveston, 2005; Rosenbaum & Santiago, 1999).

Die Vielzahl der Abwandlungen lässt erahnen, dass keine den Ansprüchen genügte. Es resultierten Versuche, durch Steigerung der Spannung (z.B. durch Faltung der Transponate) mehr Effekt zu erzielen.

Carlson und Jampolsky spalteten den M. rectus superior und inferior längs in zwei Teile (Carlson & Jampolsky, 1979). Der temporal superiore Muskelbauch wird vom Bulbus abgelöst und unter dem Lateralis mit dem temporalen Anteil des M. rectus inferior verknüpft. Die Muskelanteile werden dort mit Nähten fixiert. Zwei Nähte werden mit einem längeren Faden belassen, um postoperativ Anpassungen vornehmen zu können. Die Transponate liegen also zunächst frei beweglich unter dem M. rectus lateralis (Carlson & Jampolsky, 1979).

Foster veröffentlichte eine viel verwendete Methode (Foster, 1997). Grundlage seiner Technik ist die Operation nach O'Connor. Foster verstärkte die komplette Transposition der Vertikalmotoren durch eine posteriore Sklerafixation der Transponate. Er verstärkte dadurch die abduzierende Wirkung ohne Rücklagerung des M. rectus medialis. Diese Fosternaht findet heute vielerorts Verwendung und wurde auf unterschiedliche Weise modifiziert (Hedergott et al., 2017; Heede, 2018; Rosenbaum & Santiago, 1999).

Kaufmann führte die temporalen Hälften der Vertikalmotoren unter dem Lateralis hindurch (Abb. 1). Er ging davon aus, dass die Kontraktur des M. rectus medialis reversibel wäre. Somit erschien die Kombination mit einer Medialis-Rücklagerung oder gar einer Tenotomie nicht zwingend nötig (Gebauer, 1997). Der Verzicht auf einen Eingriff an einem weiteren Augenmuskel soll das Risiko einer Ischämie des vorderen Augeabschnittes (VAA) reduzieren (Gebauer, 1997). Eine gleichzeitige Medialis-Rücklagerung sollte auf Fälle beschränkt bleiben, bei denen intraoperativ Hinweise auf eine irreversible Kontraktur des Medialis vorliegen (Huber, 1981; Kaufmann, 2004).

1.3 Ziel der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist die Auswertung der nach Kaufmann modifizierten Hummelsheim-Operation in der Universitätsaugenklinik Gießen, mit der Frage, ob diese als alleiniges Verfahren zur Therapie der Abduzensparalyse ausreicht.

2 Methodik

2.1 Operatives Vorgehen

In der Universitätsaugenklinik Gießen werden Transpositionsoperationen zur Behandlung der Abduzensparalyse fast ausschließlich in der Modifikation nach Kaufmann, teilweise mit zeitgleicher Medialis-Rücklagerung wie folgt durchgeführt:

Nach Spülung des Bindehautsackes mit 5 %iger PVJ-Lösung erfolgt die Hautdesinfektion im Bereich beider Augen mit 7,5 %iger PVJ-Lösung (Povidon-Jod-Lösung). Das Auge wird steril mit einer Inzisionsfolie abgedeckt. Nach deren Inzision wird ein Lidsperrerr eingelegt. Es wird die passive Motilität des Bulbus mittels Pinzettentest, dem sogenannten „forced duction test“ (Huber, 1981; Kapoor et al., 2018) überprüft. Wenn der M. rectus medialis dabei deutlich kontrakt imponiert, also die Abduktion nicht bis zur Mittellinie möglich ist, erfolgt nach Ermessen des Operateurs eine Medialis-Rücklagerung.

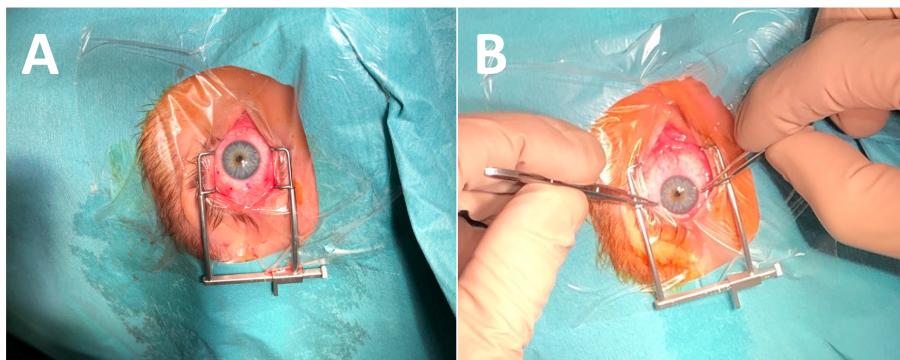


Abbildung 2: Operativer Situs Dargestellt ist ein rechtes Auge in Neutralstellung in Vollnarkose (A) sowie der „forced duction test“ (B) hier Abduktion über die Mittellinie möglich (siehe oben)

Bei guter Abduktion über die Mittellinie (Abb. 2) entfällt die Medialis-Rücklagerung. Die Bindehaut wird über zwei radiäre Schnitte im äußeren oberen und unteren Quadranten oder über einen lateralen Türflügelschnitt eröffnet.

2.1.1 Transponatfreilegung

Die Insertionen der Vertikalmotoren werden dargestellt. Anschließend erfolgen eine Abmessung der Sehnenhälften und vom Ansatz beginnend eine mittige Längsteilung des Muskels über 14 mm.

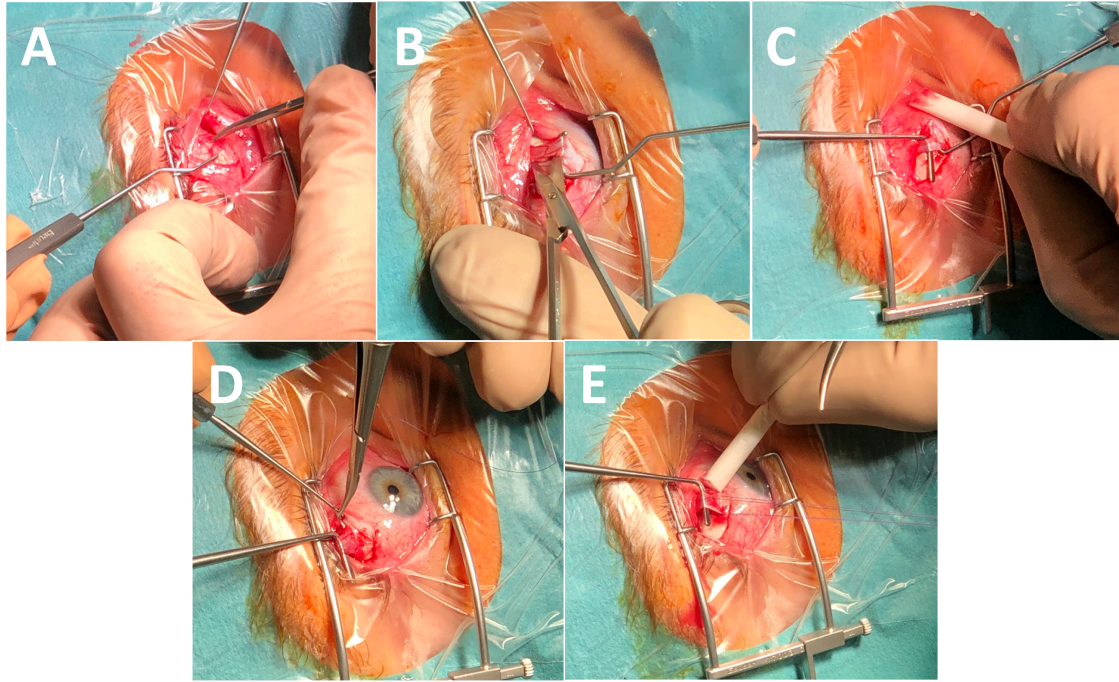


Abbildung 3: Transponat Musculus rectus superior A: Freilegen und Aufnehmen des M.rectus superior auf Muskelhaken nach Malbran; B: longitudinale Spaltung des M. rectus superior, beginnend mit spitzer Schere, Fortsetzung unter Schonung der Obliquus-superior-Sehne stumpf mit Obliquushaken (nicht abgebildet); C: Umladen der temporalen Sehnenhälfte auf einen geraden Schielhaken; D: Anschlingen mit 6-0 Polyglactin (Vicryl®); E: Zum nasal und temporalen Drittel angeschlungene temporale Sehnenhälfte, diese wird vom Bulbus oculi abgetrennt

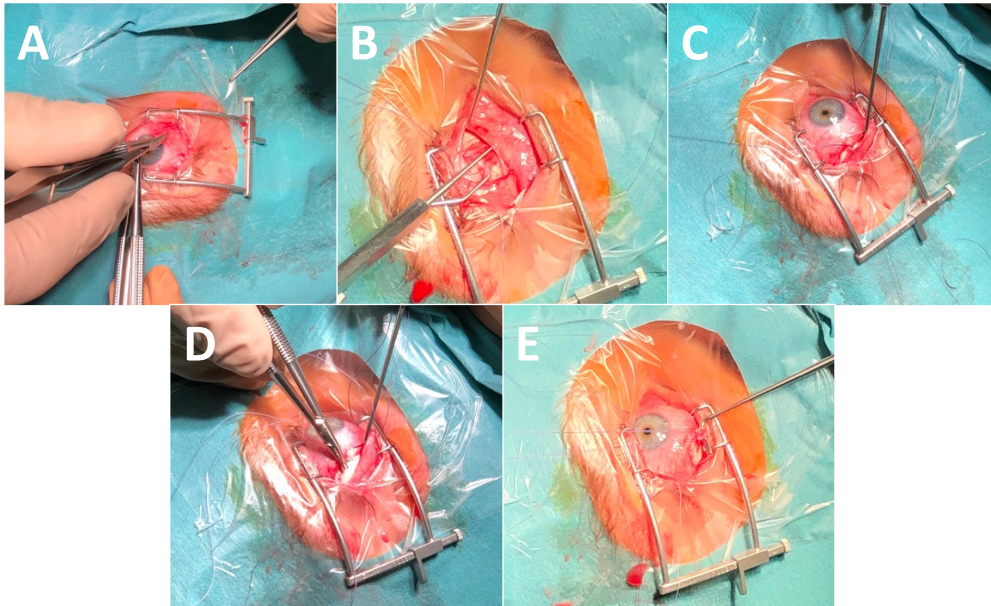


Abbildung 4: Transponat Musculus rectus inferior A: radiärer Bindehautschnitt, Freilegen des M. rectus inferior; B: Aufnehmen des Muskels auf Haken nach Malbran; C: nach longitudinalem Splitten Aufladen der temporalen Hälfte auf einen geraden Schielhaken; D und E: Anschlingen mit 6-0 Polyglactin (Vicryl®)

Die Teilung erfolgt bis zur Tenonpforte. Die temporale Muskelhälfte wird auf einen Schielhaken umgeladen und mit 6-0 Polyglactin (Vicryl®) V 570 G Fäden angeschlungen (siehe Abb. 3). Das Absetzen des Transponats erfolgt mit einer Schere direkt am Ansatz. Das gleiche Vorgehen erfolgt am M. rectus inferior (siehe Abb. 4).

2.1.2 Unterkreuzung

Sind beide vertikalen Muskelteile abgesetzt, wird der M. rectus lateralis aufgesucht und auf einen Schielhaken aufgenommen. Die Transponate werden nun kreuzweise unter dem M. rectus lateralis durchgeführt. Sie werden neben der Insertion M. rectus lateralis mit den vorgelegten Nähten fixiert (Abb. 5).

Bei palpatorisch festem Bulbus durch starken Zug der Transponate erfolgt eine tonometrische Druckkontrolle. Die topisch medikamentös nicht beeinflusste Pupille wird auf eventuelle Entrundung oder Verziehung hin beobachtet (Hinweis auf mögliche Ischämie). Bei stark erhöhtem Druck, der in der Folge durch den Okulopressionseffekt rasch sinkt, erfolgt eine Kontrolle der Perfusion der Netzhautgefäße.

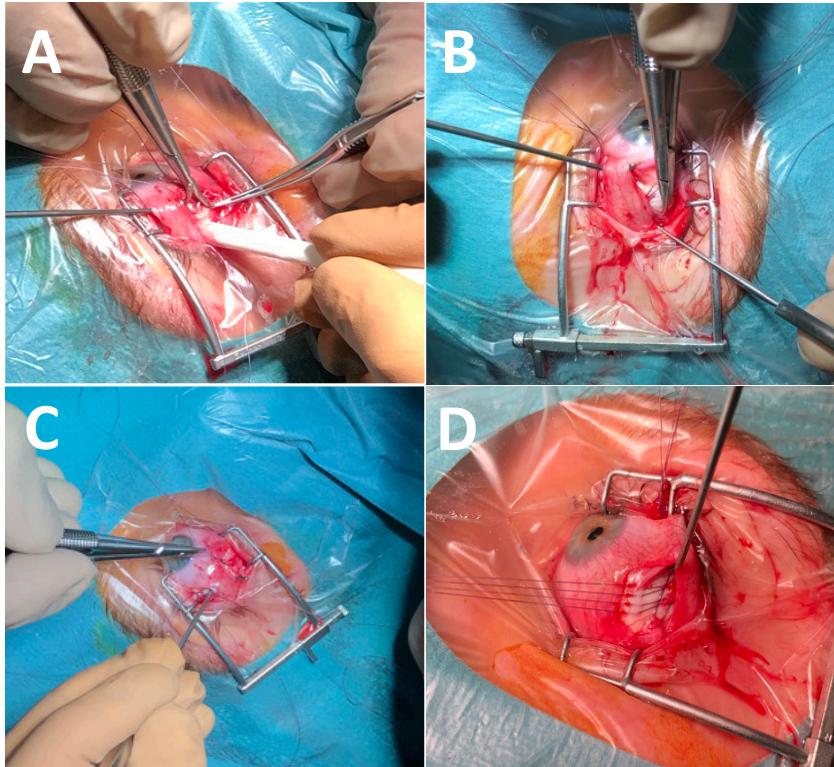


Abbildung 5: Kreuzung unter dem Musculus rectus lateralis A: Aufladen des M. rectus lateralis auf einen Schielhaken; B und C: nach kreuzweisem Durchziehen der Fäden unter M. rectus lateralis; D: Sklerale Fixation jeweils dicht neben der Lateralis -Insertion mittels 6-0 Polyglactin (Vicryl®) -Nähten

Zuletzt wird die Bindehaut mit resorbierbaren 9-0 Polyglactin-Nähten (Vicryl®) verschlossen und die Stellung des Auges beurteilt.

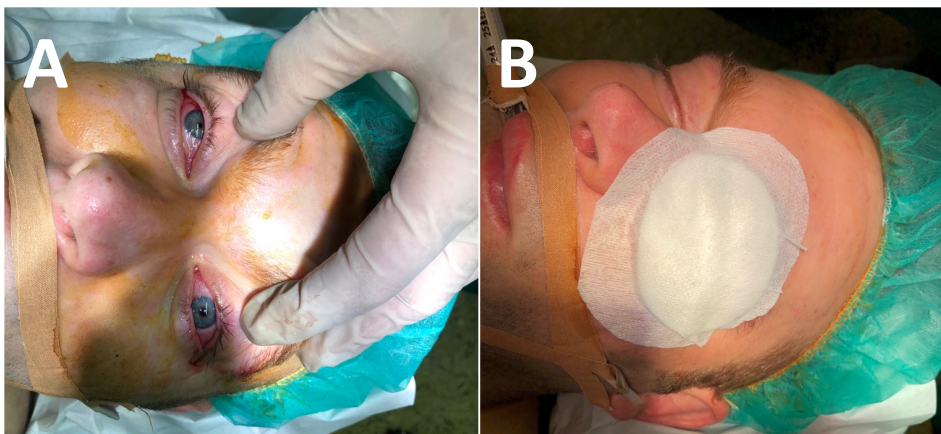


Abbildung 6: Operationsende A: Das rechte Auge steht ca. 10° stärker abduziert als das linke Auge; B: Verband

Nach Gabe steroidaler und antibiotischer Augentropfen wird ein leichter Druckverband angelegt. Als Verbandmaterial dienen Kompressen und Fixomull (Abb. 6).

2.2 Patienten

2.2.1 Patientenauswahl

Die Auswahl der Patienten erfolgte nach zuvor festgelegten Einschlusskriterien (siehe 2.2.3). Ausgewertet wurden Patienten aus den Jahren 1997 bis 2020. Patienten, die wegen einer Abduzensparalyse eine Hummelsheim-Operation erhalten hatten, wurden zunächst in einseitige und beidseitige Fälle sortiert. Die Auswertung erfolgte für die einseitigen Paralysen und dementsprechend einseitigen Operationen.

2.2.2 Demographische Daten

Für jeden Patienten wurden allgemeine Parameter für demographische Vergleiche aufgeführt. Darunter fallen das Patientenalter, das Geschlecht und Nebendiagnosen sowie Voroperationen am Auge. Die Vordiagnosen waren für die Aufnahme oder zum Ausschluss der Patienten relevant. Sie wurden im Folgenden nicht weiter betrachtet.

2.2.3 Einschluss- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterium war eine Abduzensparalyse, die in der Universitätsaugenklinik Gießen nach Hummelsheim in der Modifikation nach Kaufmann behandelt wurde (Tab. 1).

Tabelle 1 Einschlusskriterien

Abduzensparalyse, ein- oder beidseits
Paresedauer > 12 Monate
Operative Behandlung mittels Kaufmann-modifizierter Hummelsheim-Operation
Universitäts-Augenklinik Gießen

Die Abduzensparalyse bestand mehr als 12 Monate (Ausnahme < 12 Monate: ein Patient nach operativer Durchtrennung des Nervus abducens). Operationen, die nicht in der genannten Weise erfolgten, wurden nicht in die Auswertung mit einbezogen. Das Vorliegen von Paresen auch anderer okulomotorischer Hirnnerven (N. III, N. IV), Blickparesen und eventueller mechanischer Motilitätshindernisse führte ebenfalls zum Ausschluss (Tab.2).

Tabelle 2 Ausschlusskriterien

Trochlearisparese
Okulomotoriusparese
Blickparese
Fehlinnervations-Syndrome
Exzision M. rectus lateralis
Orbitatrauma
Orbitaoperation

2.3 Datenerhebung und Einteilung

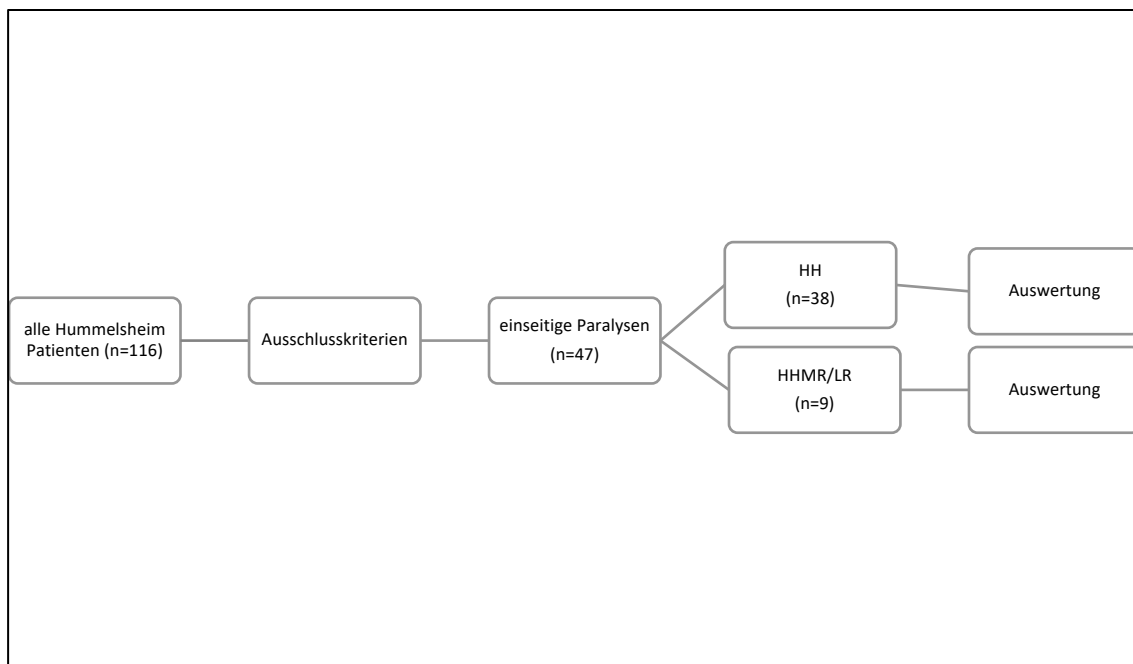


Abbildung 7: Flussdiagramm Datenerhebung Für die einseitigen Paralysen erfolgte eine Analyse der Gesamtgruppe (n=47) mit Vergleich HH/HHMR (Hummelsheim-OP, zeitgleiche Medialis-Rücklagerung/Lateralis-Faltung)

Zur Suche wurden die Computersysteme „KAOS“ und „MEONA“ des Universitätsklinikums angewandt. Es wurden Patientenlisten mit Hilfe des OPCM-Schlüssels Hummelsheim („Transposition“, C10-D) erstellt. Damit wurden Patienten aus den Jahren 1997 bis 2021 erfasst. Vor 2007 operierte Patienten wurden mittels händischer Suche aus archivierten OP-Plänen identifiziert. Von den im externen Archiv angeforderten Alt-Akten trafen 13 nicht ein.

Die Patientennamen wurden in einer Schlüsselliste durch einen Zahlencode ersetzt. Die Dateneingabe und Auswertung (Abb. 7) erfolgten anhand der pseudonymisierten Daten. Für alle Parameter wurden die Werte präoperativ, postoperativ und bei 3-6-monatiger Kontrolle, soweit vorhanden, einbezogen. Für den Visus und die Refraktion erhoben wir nur präoperative und langfristige Werte. Einige Patienten erschienen abweichend von der routinemäßigen Langzeitkontrolle. Daher beschrieben wir die letzte Visite als „finale“ Kontrolle.

2.4 Statistische Auswertung

Zur Analyse der prä- zu postoperativen Werte sowie der Werte nach 3-6 Monaten wurden die Daten zunächst mittels Kolmogorow-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Ein sicherer Nachweis einer Normalverteilung war für keines der Patientenmerkmale möglich. Daher erfolgte die Auswertung durch verteilungsfreie Tests. Für prä-postoperative Unterschiede der einzelnen Merkmale wurden Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben und der Vorzeichen-Rang-Test durchgeführt. Als Signifikanzniveau galt ein p-Wert $<0,05$.

Für alle Parameter wurden die Mediane, 0,25 und 0,75-Quantile, Minima und Maxima sowie die arithmetischen Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Der Visus wurde in logMAR transponiert (Dietze, 2018). Die Vertikaldeviation wurde auf das operierte Auge transponiert (RA: + VD bleibt + VD, - VD bleibt - VD; LA: + VD wird - VD, - VD wird + VD). Die Darstellung erfolgte in Box-Plot-Diagrammen, welche die Interquartilsabstände sowie die vollen Streubreiten zeigen. Eine rein deskriptive Darstellung erfolgte für die Motilität, Kopfwangshaltung und das Fusionsblickfeld in Kombination mit XY-Graphen.

Die Verteilungen demographischer Daten (Geschlecht, Patientenalter, Pareseursache, Kombinationsoperation, Binokularfunktionen, Korrekturoperationen, Operateure) wurden mit den absoluten Häufigkeiten dargestellt.

2.4.1 Software

Zur statistischen Auswertung und Darstellung der Ergebnisse dienten:

- Microsoft Excel (Version 16.57)
- Microsoft PowerPoint (Version 16.57)
- GraphPad Prism (Version 9.3.0 (345))

2.5 Erfolgskriterien

Es wurden definiert:

- Restschielwinkel $\leq 5^\circ$ in horizontaler und vertikaler Richtung: Erfolg
- horizontale Kopfwangshaltung von $\leq 5^\circ$: Erfolg
- Kopfdrehung zwischen 5° und 10° : mittlerer Erfolg
- Kopfdrehung von 10° bis 15° : grenzwertig
- Kopfwangshaltung $\geq 15^\circ$: kein Erfolg
- Binokularfunktion: postoperatives Einfachsehen bei positivem Bagolini-Test (ohne Angabe der nötigen Kopfdrehung)

2.6 Untersuchungsverfahren

2.6.1 Visusbestimmung

Die Visusbestimmung erfolgte in 5 m Abstand jeweils für das rechte und linke Auge monokular mittels Visusprojektor und Sehprobentafeln mit Ziffern für Erwachsene und Landolt-Ringen in Einzel- oder Reihen-Anordnung (alternativ Lea-Hyvärinen Einzel-

oder Reihen-Optotypen) für Kinder (Hollwich, 1988). Der Visus wurde unter Korrektur des Refraktionsfehlers bestimmt. Die Messung folgt einer dekadisch logarithmischen Abstufung (Dietze, 2018). Als Visus galt der Wert der höchsten Stufe, auf der mehr als die Hälfte der angebotenen Optotypen, nach Bestehen der Stufen darunter, richtig benannt wurden. Der Patient durfte dazu eine beliebige Kopfhaltung, somit Blickrichtung, einnehmen.

2.6.2 Refraktometrie

Die Refraktion wurde präoperativ mittels Autorefraktometrie in Zykloplegie und erneut bei der Langzeitkontrolle bestimmt. Zur einfacheren Darstellung erfolgte eine Umrechnung in das „sphärische Äquivalent“ mit der Formel:

$$\mathbf{S\ddot{A}} = \mathbf{Sph\ddot{a}re} + \mathbf{\frac{1}{2} \times Zylinder}$$

2.6.3 Untersuchung der binokularen Funktion

Als Parameter für die Qualität des Binokularsehens wurden das Fusionsblickfeld und die erreichte Binokularfunktion untersucht. Die bestmögliche Binokularfunktion wurde mittels Bagolini-/ Titmus- / Lang-Test ermittelt (Tab. 3).

Tabelle 3 Klasseneinteilung Binokularfunktion

Klasse	Patientenangabe/Funktion
-1	Doppelbilder
0	Exklusion
1	Bagolini positiv
2	Titmus-Fliege positiv
3	Titmus-Tiere/-Ringe positiv
4	Lang-Stereo-Test positiv

Der Lichtschweiftest wird mit einer Bagolini-Brille durchgeführt und erfolgt in der Nähe sowie in der Ferne (Neugebauer, Fricke, & Rüssmann, 2012). Ein positives Ergebnis

(Normalbefund) wird vom Patienten durch eine Kreuzung der zwei orthogonal zueinanderstehenden Linien im Fixierlicht beschrieben (Abb. 8 A). Sieht der Patient doppelt, so kreuzen sich die Linien außerhalb des Fixierlichtes, welches ihm dann doppelt erscheint. „Ungekreuzte“ horizontale Doppelbilder entsprechen einem Innenschielen (Abb. 8 B). „Gekreuzte“ Doppelbilder würden einem Außenschielen entsprechen.

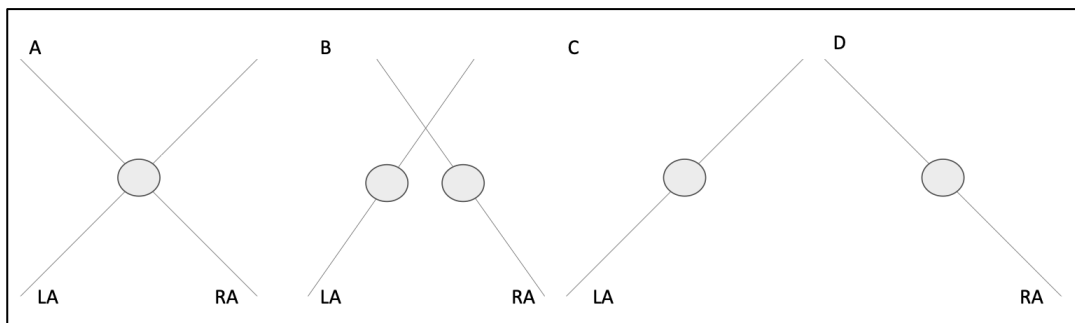


Abbildung 8: Bagolini-Test Untersuchungsergebnisse A: Normalbefund; B: horizontal ungekreuzte Doppelbilder; C: Exklusion rechtes Auge; D: Exklusion linkes Auge

Die Titmus-Fliege und die Titmus-Ringe werden mittels Tafeln als Test für räumliches Sehen/Stereosehen verwendet (Neugebauer et al., 2012). Dem Patienten wird zur Betrachtung der Tafel eine Polarisationsbrille aufgesetzt. Als positiv ist der dreidimensionale Seheindruck des Patienten zu werten. Der Titmus-Fliege-Test wird positiv gewertet, wenn der Patient dreidimensionale Flügel der Fliege wahrnimmt, die aus der Testtafel hervorzuragen scheinen. Die Titmus-Tiere-Tafel bildet drei Reihen mit Tieren ab, die in den Disparitäten 400'', 200'' und 100'' vorliegen. Die Titmus-Ringe-Tafel stellt neun Kästchen mit jeweils vier Ringen dar. In jedem der neun Kästchen tritt bei normalem Stereosehen ein Ring hervor. Die Diskrimination wird durch abnehmende Disparität schwerer (angegeben in Winkelsekunden von Feld zu Feld: 800'', 400'', 200'', 140'', 100'', 80'', 60'', 50'' und 40'').

Der Lang-Stereo-Test beschreibt eine kognitive Leistung (globale Stereopsis) zusätzlich zur rein visuellen Funktion und gibt ebenfalls die Fähigkeit des Patienten zum räumlichen Sehen an (Neugebauer et al., 2012). Bei räumlicher Sehfähigkeit sind auf einer Handtafel drei Symbole sichtbar (Stern, Katze, Auto). Dieser Test bedarf keiner zusätzlichen Brille. Das Bestehens dieses Tests setzt voraus, dass kein manifestes Schielen vorliegt. Bei großwinkligem Schielen werden die Symbole nicht erkannt. Daher erfolgte eine Bestimmung nur postoperativ.

2.6.4 Subjektive Schielwinkelbestimmung

Die subjektiven Schielwinkel- und Motilitätsmessungen an der Tangententafel nach Harms waren nicht zu jedem Termin vorhanden, oft wegen eingeschränkter Mitarbeitsfähigkeit der Patienten. Für alle aufgenommenen Schielwinkel, die seitenbezogen angegeben wurden, erfolgte eine Transformation der in der Akte für Rechts- und Linksblick notierten Werte. Die Transformation erfolgte in OPA (Blick zur Seite des operierten Auges) bzw. NOPA (Blick zur Seite des nicht operierten Auges), um linksseitige und rechtsseitige Paresen gemeinsam auswerten zu können.

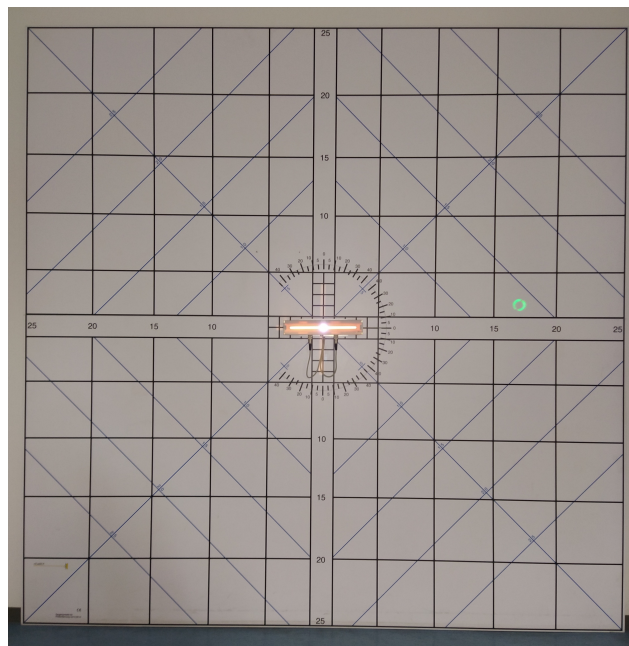


Abbildung 9: Tangentenskala nach Harms Grüner projizierter Ring (rechts), weißes Fixierlicht in Punktform und als Lichtband (zentral), entsprechend Schielwinkel bei Rechtsfixation, 17° Innen- und 2° Höhenschielen (Höherstand linkes Auge), keine Zyklodeviation

Die subjektive Schielwinkelbestimmung nach der Konfusionsmethode über Dissoziation des beidäugigen Seheindrucks durch ein Dunkelrotglas vor dem fixierenden Auge an der Tangentenskala (im weiteren „Harms-Wand“ nach Harms (Neugebauer & Fricke, 2012; Tyedmers & Roper-Hall, 2006) erfolgt in der Regel in 2,5 m Abstand, bei sehr großen Schielwinkeln in 1,25 m. Bei Messungen in 1,25 m Abstand sind die auf der Tafel angegebenen Werte nach der Formel $\beta = \arctan(2 \tan \alpha)$ (α = Winkel in 2,5 m, β = Winkel in 1,25 m) umzurechnen (Frank, Laszlo, & Gräf, 2020). Vor das nicht-paretische Auge wird ein Dunkelrot-Glas gehalten, wodurch der Patient mit diesem Auge lediglich das

Fixierlicht als roten Lichtpunkt sowie den Lichtstrich als roten Strich wahrnimmt (Abb. 9). Für das nicht-paretische Auge wird eine zentrale (foveolare) Fixation vorausgesetzt. Das rote Licht wird über das paretische Auge an seiner korrespondierenden Netzhautstelle lokalisiert. Aufgabe des Patienten ist es, das von ihm gesehene rote Licht an der Wand mit einem grünen Licht-Zeiger (Abb. 10) zu markieren. Der grüne auf die Wand projizierte Ring ist nur mit dem anderen Auge wahrnehmbar. Der Wert an der Harms-Wand wird von der Orthoptistin abgelesen. Er beschreibt den horizontalen und vertikalen subjektiven Schielwinkel des Patienten. Bei normaler Netzhautkorrespondenz entspricht dieser dem momentanen objektiven Schielwinkel.

Zur Messung der Zyklodeviation wird, zusätzlich zum Fixierlicht, der Lichtstrich (Abb. 9) angeboten. Er wird durch das Dunkelrotglas als roter Strich wahrgenommen. Der Patient soll die schwarzen Linien der Harms-Wand mit einer Fernbedienung parallel zu dem wahrgenommenen roten Strich stellen. An der Kippung des Strichs kann der Untersucher den Zyklodeviationswert ablesen.

Die Winkel werden in der Primärposition und in den Hauptblickrichtungen (Rechtsblick, Linksblick, Aufblick, Abblick, Blick nach rechts oben und unten sowie nach links oben und unten sowie bei Rechts-/ und Linksneigung des Kopfes) bestimmt. In dieser Arbeit sind die Schielwinkel in Primärposition und im Seitblick (rechts/links) vorrangig. Die Blickrichtung wird mit einem Stirnprojektor überprüft, der zuvor bei geradem Kopf des Patienten auf die Mitte der Harms-Wand gerichtet wurde (Abb. 10).



Abbildung 10: Bedienelemente für die Harms-Wand Strabometer mit aufgesetztem Projektionskreuz, links davon der Lichtzeiger, der einen grünen Punkt an die Wand projiziert, Fernbedienung rechts im Bild, Dunkelrotglas-Blende rechts unten, am oberen Bildrand: Steuerbox des Projektors

Die Bestimmung der Schielwinkel erfolgt in der Regel bei Fixation mit dem nicht paretischen Auge (primärer Schielwinkel). Bei Fixation mit dem paretischen Auge, solange es die Beweglichkeit in die gewünschte Blickrichtung zulässt, werden die sekundären Schielwinkel gemessen. Sie sind grundsätzlich größer als die primären Schielwinkel. In dieser Arbeit wurden die primären Schielwinkel ausgewertet.

2.6.1 Objektive Schielwinkelbestimmung

Die objektive Bestimmung der Schielwinkel in horizontaler (HD) und vertikaler (VD) Richtung in der Nähe und in der Ferne erfolgte mit Hilfe des Abdecktests in 5 m und 0,3 m Distanz.

2.6.1.1 Einseitiger Abdecktest und simultaner Prismenabdecktest

Beim einseitigen Abdecktest wird bei konstanter Fixation des Auges das fixierende Auge für 1-2 s abgedeckt und das andere Auge auf eine Einstellbewegung hin beobachtet. Das

abgedeckte Auge bewegt sich im Sinne einer Sakkade in dieselbe Richtung mit. Hiermit lässt sich auch bei kleinen Schielwinkeln beurteilen, ob ein manifestes Schielen vorliegt. Der simultane Prismenabdecktest erfolgt mit einem Prisma, welches gleichzeitig zum Abdecken des fixierenden Auges vor das andere Auge gehalten wird. Das paretische Auge wird bei Fixation eines Objektes auf Einstellbewegungen beobachtet (Neugebauer et al., 2012). Der so gemessene manifeste Schielwinkel entspricht dem Wert des Prismas, unter dem keine Einstellbewegung mehr erfolgt (Lefèvre, 2022).

2.6.1.2 Alternierender Abdecktest und Prismenabdecktest

Zur Diagnostik eines latenten Schielens, bzw. einer latenten Komponente, dient der alternierende Abdecktest. Zur Messung können wiederum Prismen vorgehalten werden. Der Wert des Prismas, unter dem keine Einstellbewegung mehr erfolgt, entspricht der Summe aus dem manifesten Schielwinkel und einer eventuellen latenten Komponente. Der primäre Schielwinkel entspricht dem Wert des Prismas vor dem paretischen Auge, unter dem keine Einstellbewegung mehr erfolgt. Bei großen Schielwinkeln ($> 27^\circ$) ist es nötig, vor beide Augen ein Prisma zu halten. Dadurch ist jedoch keine Messung des Schielwinkels in Primärposition möglich (Frank et al., 2020).

2.6.1.3 Messung nach Hornhautspiegelbildern

Bei großen Schielwinkeln (präoperativ) ist eine Bestimmung der Winkel mittels Abdecktests (siehe 2.6.1.1, 2.6.1.2) nicht immer möglich. Alternativ können die Hornhautreflexbilder zur Bestimmung der Schielwinkel verwendet werden. Dem Patienten wird ein Licht aus 50-60 cm Entfernung auf den Nasenrücken gerichtet und die Lichtreflexe auf der Hornhaut (1. Purkinje-Spiegelbilder) werden durch den Untersucher beurteilt. Liegt ein Strabismus vor, so liegen die Lichtpunkte nicht symmetrisch, eine Verschiebung um 1 mm entspricht dabei einem Winkel von 12° (Barry, 1999; Brodie, 1992). Die Krümmung der Hornhaut müsste zur genaueren Verwertung der Reflexbilder beachtet werden (Brodie, 1992).

2.6.2 Monokulare Exkursion

Die maximal mögliche monokulare Exkursion wird in der Nähe mit einem beweglichen Fixierlicht geprüft. Der Kopf des Patienten ist gerade. Der Untersucher gibt dem Patienten ein Fixierlicht vor, dem der Patient nur mit den Augen folgen soll. Die Exkursion in Grad wird vom Untersucher geschätzt: 1 mm Drehung des Auges entspricht ca. 5°. Zur Messung dient die „Kestenbaum-Brille“ oder ein Lineal (Haase, 1976). Für die Auswertung der Hornhautrandverschiebung in frontaler Projektion wird die maximale Auslenkung des Bulbus in Grad angegeben. Die maximale Auslenkung in Abduktion und Adduktion entspricht der horizontalen Bewegungsamplitude. Für die Abduktion und Adduktion wurde hier der Wert 40° der freien Motilität gleichgesetzt. Der Aufblick wurde mit 30° einer freien Beweglichkeit gleichgesetzt, für den Abblick galten wiederum 40° als uneingeschränkte Motilität. Als Abduzensparalyse wurde eine Motilitätseinschränkung in Richtung Abduktion von $\leq 0^\circ$ über die Mittellinie eingestuft. Die Werte wurden präoperativ, postoperativ und nach 3-6 Monaten erhoben.

2.6.3 Kopfwangshaltung

Die Kopfwangshaltung wurde präoperativ, postoperativ und nach 3-6 Monaten bei Fixation mit dem paretischen, dem nicht paretischen Auge (jeweils unter Okklusion des anderen Auges) und beidseitig offen untersucht. Die Messung erfolgte während der Visusprüfung in der Ferne (die eine zentrale Fixation erfordert) durch die Markierung der Gradzahlen an der Wand bei Verwendung des Stirnprojektors oder durch Messung mit einem orthoptischen Goniometer über dem Kopf des Patienten.

2.6.4 Fusionsblickfeld

Auch die Bestimmung des Fusionsblickfeldes erfolgte an der Harms-Wand in 2,5 m Abstand. Der Stirnprojektor ist weiterhin auf dem Kopf des Patienten zur Skala ausgerichtet. Vor die Augen des Patienten werden Bagolini-Streifengläser gehalten. Der Patient soll das Fixierlicht betrachten und beschreiben, welche Streifen sichtbar sind. Bei Orthotropie sieht der Patient die Harms-Wand einfach und zwei diagonal verlaufene

Lichtstreifen, die sich senkrecht zueinander im Fixierlicht kreuzen. Dies dient zur Kontrolle, ob der Seheindruck eines Auges supprimiert wird, was ebenfalls mit Einfachsehen verbunden wäre. Um die Grenzen des Fusionblickfeldes zu bestimmen, wird der Kopf des Patienten in verschiedene Richtungen gedreht. Während der Patient weiter aufs Licht schaut und der Kopf z.B. nach links gedreht wird, entspricht dies dem Rechtsblick. Die Grenze des Fusionsblickfeldes wird bei beginnender Diplopie anhand der Position des projizierten Lichtkreuzes an der Harms-Wand abgelesen. Um auch ein Verrollungsschielen (Zyklotropie) zu erkennen, bleibt der Lichtstrich der Harms-Wand eingeschaltet.

2.7 Operation

Die Paralyse-dauer betrug mindestens 12 Monate. Ein Patient unterschritt diese Grenze mit einer Dauer von zwei Monaten bei intraoperativer Durchtrennung des N. abducens im Rahmen einer Meningeomentfernung. Die Operationen wurden von verschiedenen Operateuren durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Patienten

Unter Beachtung der genannten Kriterien wurden sieben Patienten der Anfangsgruppe ausgeschlossen: ein Patient aufgrund eines muskelverkürzenden Eingriffes am M. rectus lateralis, zwei Patienten aufgrund eines Retraktionssyndroms, ein Patient aufgrund einer kontralateralen internukleären Ophthalmoplegie und ein weiterer Patient aufgrund einer Blickparese. Zwei weitere Patienten konnten aufgrund unvollständiger Akten nicht ausgewertet werden.

Es blieben 47 Patienten mit einer einseitigen Abduzensparalyse. Die Eingriffe erfolgten in den Jahren 1997-2020. Die präoperativen Daten waren nahezu komplett vorhanden. Nach 3-6 Monaten war aufgrund einer Rücklaufquote von ca. 77 % eine Erhebung nur für 36 Patienten möglich, darunter fielen auch die Patienten, die sich im postoperativen Verlauf erst später zur Kontrolle vorstellten.

3.1.1 Geschlecht

Die Gesamtgruppe bestand aus 22 männlichen und 25 weiblichen Patienten (Abb. 11).

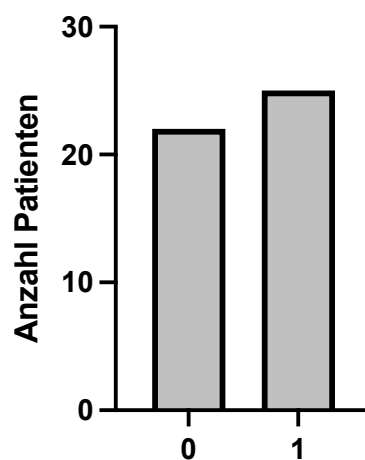


Abbildung 11: Geschlechtsverteilung 0=männlich (22 Patienten), 1=weiblich (25 Patienten)

3.1.2 Patientenalter

Das Alter der 47 Patienten umfasste eine Spanne von 5 bis 93 Jahren. Der Median lag bei 52 Jahren, der Mittelwert bei $46,4 \pm 19,6$ Jahre. Die Patienten wurden in Altersklassen von jeweils einer Dekade eingeteilt (0-9, 10-19 Jahre usw.). Aus Abb. 12 geht eine Häufung im Alter zwischen 50 und 70 Jahren hervor.

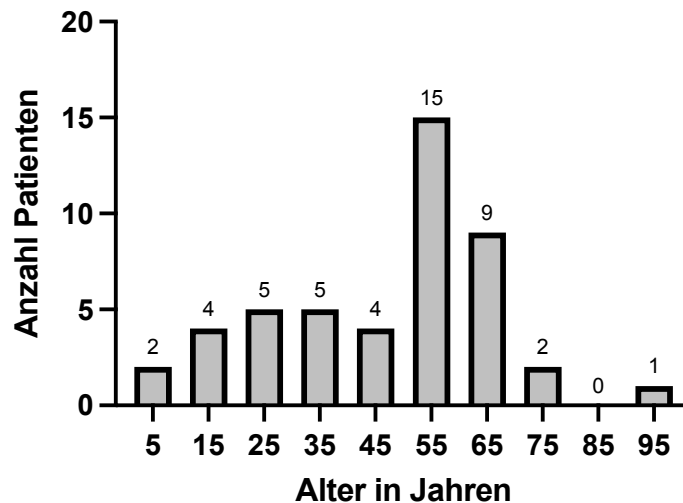


Abbildung 12: Alter der Patienten in Jahren Die Altersklassen sind in Intervallen von 10 Jahren dargestellt, die Beschriftung der x-Achse entspricht dem aufgerundeten Median der jeweiligen Altersklasse, 5 also den Patienten zwischen 0 und 9 Jahren

3.1.3 Pareseursache

Es erfolgte eine Einteilung der Pareseursachen in sechs Klassen (traumatisch, kompressiv, iatrogen, idiopathisch, ischämisch und „sonstige“ Genesen). Diese Ursachen wurden auf ihre Häufigkeit in der Gesamtgruppe untersucht (Abb. 13). Von den 47 Patienten wiesen 22 Patienten ein Trauma als Pareseursache auf. Hierunter wurden Schädel-Hirn-Traumata verschiedener Grade (I°-III°) zusammengefasst.

An zweiter Stelle, mit 10 von 47 Patienten, stand die kompressive Genese. Diese umfasst sowohl maligne als auch benigne Geschehen, welche nicht weiter differenziert wurden. Iatrogene Läsionen stehen an dritter Stelle, unter anderem eine operativ unvermeidliche Durchtrennung des N. abducens im Rahmen eines neurochirurgischen Eingriffes und betraf fünf Patienten. Vier Patienten wurden der Kategorie „sonstige Ursachen“

zugeordnet. Diese sind nicht weiter subklassifiziert. Bei jeweils drei Patienten war die Ursache unklar oder bestand in einer Ischämie.

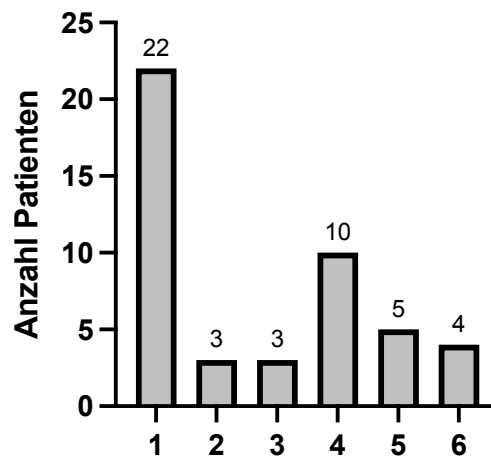


Abbildung 13: Pareseursache 1= traumatisch, 2= idiopathisch, 3= ischämisch, 4= kompressiv, 5= iatrogen, 6= sonstige

3.1.4 Paresedauer

Um einen Überblick über die Latenz bis zur Operation zu erhalten, aber auch um eventuelle Effekte auf das Operationsergebnis zu untersuchen, wurde die Paresedauer in die Auswertung aufgenommen. Die Abbildung 14 zeigt ein bereits erklärtes Minimum von zwei Monaten und ein Maximum von 204 Monaten. Der Median liegt bei 22 Monaten, das 0,25-Quartil bei 14 Monaten und das 0,75-Quartil bei 72 Monaten. Der Mittelwert lag, bedingt durch einen Patienten mit einer Paresedauer von 17 Jahren (kongenitale Parese), mit 45 Monaten über dem Median. Bei ca. der Hälfte der Patienten erfolgte die Operation also weit mehr als ein Jahr später als regelhaft zulässig gewesen wäre. Nur 7 der 47 Patienten wurden 12 Monate nach Paresebeginn operiert.

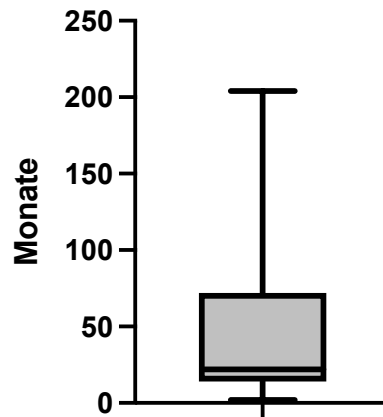


Abbildung 14: Paresedauer Dargestellt sind Median, 0,25- und 0,75-Quantil sowie Minimum und Maximum (Antennen/Whiskers). Der Median liegt bei 22 Monaten. Das Minimum lag bei 2 Monaten nach operativer Durchtrennung des N. Abduzens.

3.1.5 Voroperationen

Abb. 15 zeigt, dass die meisten Patienten keine Voroperation am paretischen Auge erhalten hatten. Lediglich fünf Patienten waren am betroffenen Auge voroperiert. Drei hatten extern eine kombinierte Konvergenz-Operation (ein Patient keine Resektionsstrecke angegeben, ein Patient 6 mm/6 mm, ein Patient 3 mm/4 mm) erhalten. Bei einem Patienten wurde der Medialis um 5 mm entspannt und bei einem weiteren Patienten wurden sukzessive Medialis-Rücklagerung von 3,5 mm und eine Lateralis-Resektion von 6 mm sowie nachfolgend eine Medialis-Rücklagerung um weitere 6,5 mm durchgeführt.

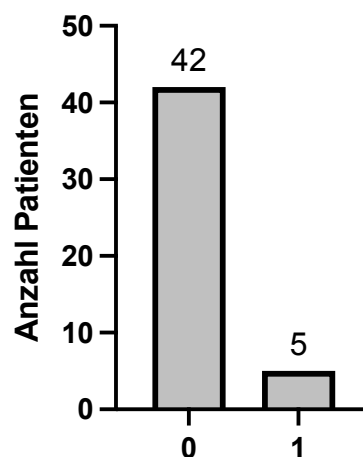


Abbildung 15: Voroperationen 0= keine Voroperation am paretischen Auge; 1= am paretischen Auge voroperiert

3.2 Daten zur Operation

3.2.1 Operationstechnik

Abb. 16 zeigt, dass die meisten Patienten mit einer reinen Hummelsheim-Operation behandelt wurden: drei in Originalmethode, bei präoperativ kleineren Schielwinkeln, die übrigen 35 Patienten in der Modifikation nach Kaufmann. Eine zeitgleiche ipsilaterale Medialis-Rücklagerung erfolgte in acht Fällen. Deren Dosierung ist aus Übersichtsgründen nicht dargestellt. In einem Fall erfolgte eine zeitgleiche ipsilaterale Lateralis-Faltung. Es handelte sich um die Operation einer kongenitalen Parese.

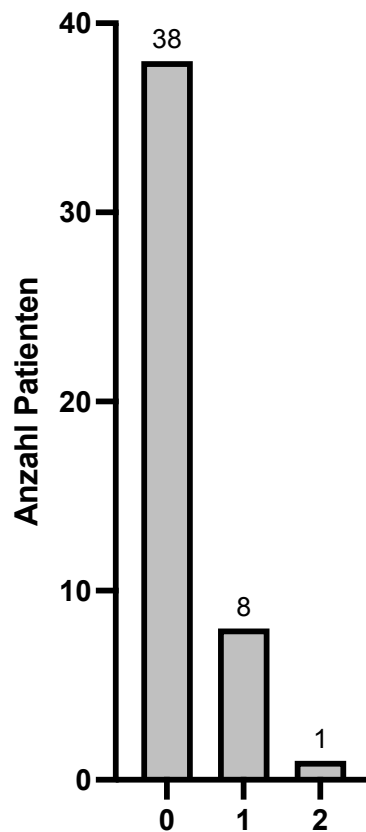


Abbildung 16: Operationstechnik Anzahl der Patienten zur jeweiligen Operationsmethode, 0 = Hummelsheim-Operation, 1 = Hummelsheim-Operation mit zeitgleicher Medialis-Rücklagerung, 2 = Hummelsheim-Operation mit zeitgleicher Lateralis-Faltung

3.2.2 Operateure

Aus Abb. 17 A geht die Anzahl der Operationen und späteren Korrekturoperationen (KO) hervor. Bei 20 Patienten erfolgte eine weitere Operation, in drei Fällen war eine Zuordnung nicht möglich, da die Patienten nicht zur Nachkontrolle erschienen sind.

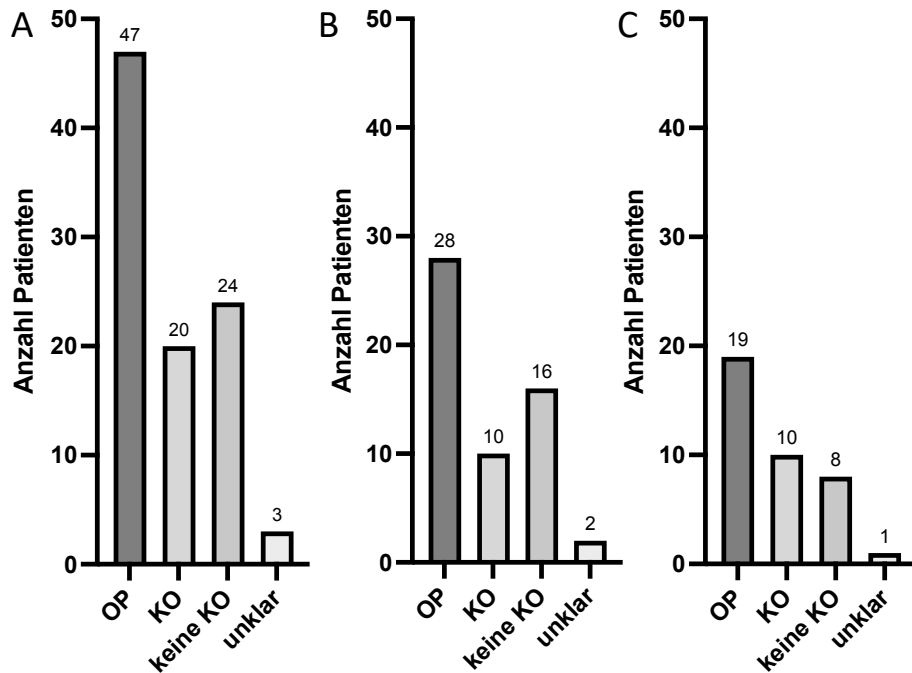


Abbildung 17: Operateure A) Operationen insgesamt, KO = Korrekturoperation; keine KO = keine Korrekturoperation; unklar = postoperative Korrektur nicht eruierbar; B) Operation MG; C) Andere Operateure

Abb. 17 B zeigt die Ergebnisse des Operateurs mit den meisten Eingriffen. Zehn dieser 28 Patienten erhielten eine Korrekturoperation, 16 Patienten wurden lediglich einmalig operiert. Zwei Patienten erschienen nicht zur Kontrolle.

In Abb. 17 C sind die Ergebnisse anderer Operateure zusammengefasst. Zehn der 19 operierten Patienten erhielten eine Korrekturoperation, ein Patient kam nicht zur Kontrolluntersuchung, bei sieben Patienten erfolgte während des Beobachtungszeitraumes kein weiterer Eingriff.

3.3 Funktionsparameter

3.3.1 Visus

Als Zeitpunkt für den prä-postoperativen Vergleich wurde der Visus bei der Langzeitkontrolle verwendet. In die Auswertung konnten alle 47 Patienten einbezogen werden.

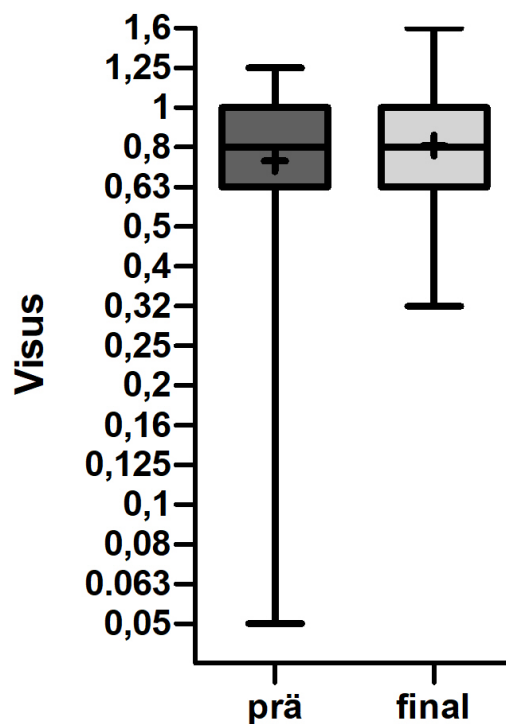


Abbildung 18: Visus am operierten Auge, präoperativ zu postoperativ zeigt keinen signifikanten Unterschied

Der Median des Visus lag präoperativ und postoperativ bei 0,8. Die Spannweite lag präoperativ zwischen 0,05 und 1,25, postoperativ zwischen 0,32 und 1,6. Der Wilcoxon-Test ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen prä- und postoperativem Visus ($p = 0,3218$).

3.3.2 Refraktion

Abb. 19 A stellt das sphärische Äquivalent für das operierte Auge in Form eines Box Plots dar (Mittelwert: $-0,52 \pm 1,8$ präoperativ, $-0,61 \pm 1,9$ postoperativ; Median: $-0,375$ präoperativ, $-0,5$ postoperativ; Spannweite: $-5,125$ bis $3,125$ präoperativ, $-6,250$ bis $2,875$ postoperativ).

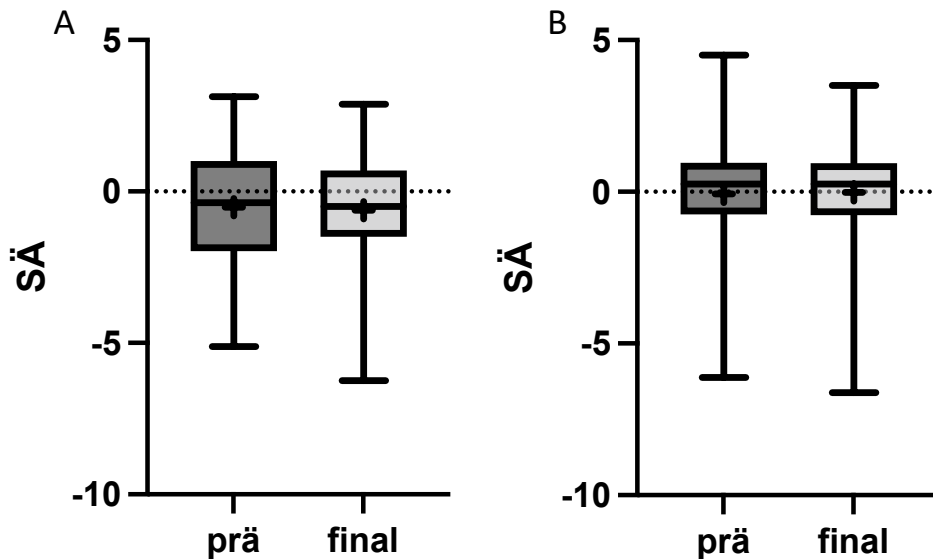


Abbildung 19: Refraktion A Sphärisches Äquivalent (SÄ) am operierten Auge präoperativ ($n=45$) versus final ($n=37$), B Sphärisches Äquivalent am nicht operierten Auge präoperativ ($n=46$) versus final ($n=38$)

Abb. 19 B stellt das sphärische Äquivalent für das nicht operierte Auge dar (Mittelwert präoperativ: $-0,07 \pm 1,9$, postoperativ $-0,02 \pm 2$; Median präoperativ sowie postoperativ: $0,25$; Spannweite: $-6,13$ bis $4,50$ präoperativ, $-6,63$ bis $3,50$ postoperativ).

Es bestand kein signifikanter Unterschied im prä-postoperativen Vergleich (OPA: $p=0,8735$, NOPA: $p=0,1185$, getestet für Patienten, die zu beiden Zeitpunkten Messwerte aufwiesen).

3.3.3 Maximaler Schielwinkel

Die manifesten Schielwinkel sind präoperativ den maximalen Schielwinkeln gleichzusetzen. Für alle 47 Patienten wurden die präoperativen Werte in der Ferne erfasst. Postoperativ lagen Werte bei 45 der Patienten vor. Zur Langzeitkontrolle nach 3-6 Monaten erschienen 36 Patienten.

3.3.3.1 Maximaler Horizontalschielwinkel

Der horizontale Fernschielwinkel betrug präoperativ im Mittel $36,1^\circ \pm 11,8^\circ$, postoperativ im Mittel $-2,1^\circ \pm 8,5^\circ$ und nach 3-6 Monaten $4,4^\circ \pm 9,9^\circ$. In Abb. 20 sind die Mediane angegeben, die präoperativ bei 35° , postoperativ bei -3° und nach 3-6 Monaten bei $3,5^\circ$ liegen. Der kleinste Schielwinkel betrug präoperativ 16° der größte 60° . Die Schielwinkelreduktion war statistisch hoch signifikant, ebenso die Abnahme des Operationseffektes im postoperativen Verlauf ($p < 0,0001$).

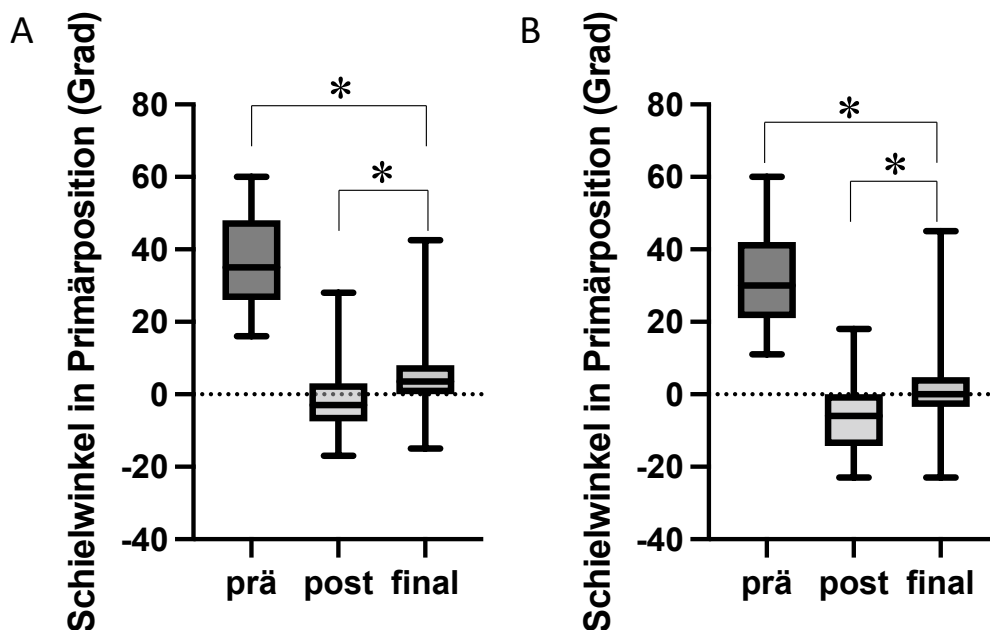


Abbildung 20: Maximaler Horizontalschielwinkel A für die Ferne, B für die Nähe; jeweils im prä-, postoperativen und Langzeitvergleich (final); * $p < 0,05$

Für 45 Patienten wurden die präoperativen Werte in der Nähe erfasst, postoperativ lagen Messwerte bei 46 Patienten vor. Zur Langzeitkontrolle nach 3-6 Monaten erschienen 36 Patienten.

Die Mittelwerte betragen präoperativ $31^\circ \pm 12^\circ$, postoperativ $-5,9^\circ \pm 9,2^\circ$ und nach 3-6 Monaten $0,8^\circ \pm 11,2^\circ$. Die Mediane (Abb. 20 B) lagen präoperativ bei 30° , postoperativ bei -6° und nach 3-6 Monaten bei 0° . Die Schielwinkel streuten präoperativ von 11° bis 60° , postoperativ von -23° bis 18° und nach 3-6 Monaten von -23° bis 45° . Die Schielwinkelreduktion sowie die Abnahme des Operationseffektes im Verlauf waren statistisch signifikant ($p < 0,0001$).

3.3.3.2 Maximaler objektiver Vertikalschielwinkel

In der Ferne gingen alle 47 Patienten präoperativ in die Auswertung mit ein, postoperativ waren es 46 Patienten und nach 3-6 Monaten 40 Patienten. In der Nähe konnte der Schielwinkel präoperativ bei 45 Patienten erfasst werden, direkt postoperativ bei 47 und nach 3-6 Monaten bei 40 Patienten.

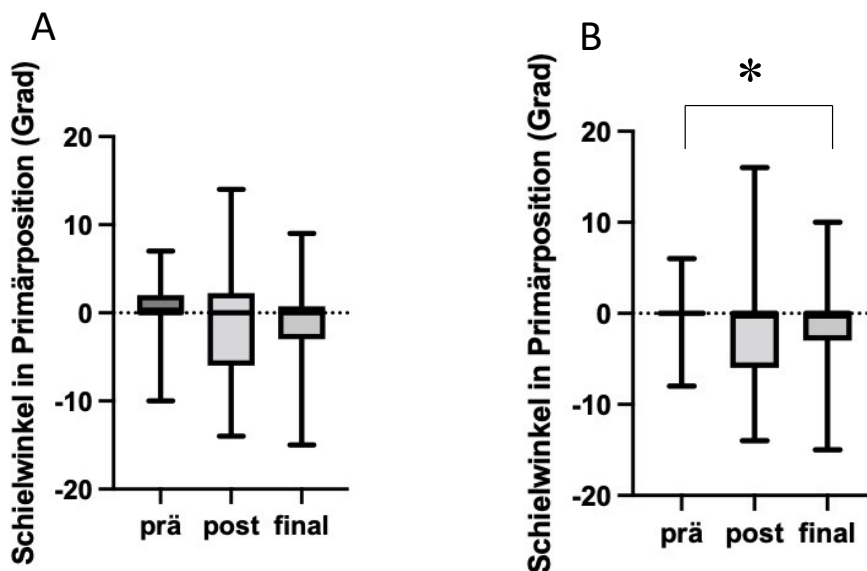


Abbildung 21: Maximaler Vertikalschielwinkel in Primärposition A in der Ferne; B in der Nähe; jeweils prä- und postoperativ und bei letzter Untersuchung

Der mittlere Vertikalschielwinkel betrug präoperativ $0,3^\circ \pm 2,9^\circ$ in der Ferne und $0,2^\circ \pm 2,8^\circ$ in der Nähe, postoperativ $-1,5^\circ \pm 5,9^\circ$ in der Ferne (n=46) und $-1,5^\circ \pm 5,9^\circ$ in der Nähe (n=47), nach 3-6 Monaten $-1^\circ \pm 4,2^\circ$ in der Ferne (n=40) und $-1,3^\circ \pm 4,2^\circ$ in der Nähe (n=40). Der Median lag zu allen drei Messzeitpunkten in Ferne und Nähe bei 0° . Abb. 21 zeigt die Streuung sowie eine Veränderung der Vertikaldeviation in Richtung Tieferstand des operierten Auges. Für die Nähe war diese Veränderung zwischen präoperativ und final statistisch signifikant ($p=0,0478$).

3.3.3.3 Manifester Horizontalschielwinkel

Der manifeste Fernschielwinkel (Abb. 22) betrug postoperativ im Mittel $-2,1^\circ \pm 8,4^\circ$ (n=45) und im Verlauf $4,0^\circ \pm 9,9^\circ$ (n=36). Der Median lag postoperativ bei einem Schielwinkel von -3° , im Langzeitverlauf bei $2,3^\circ$, mit einer Spannweite postoperativ von -17° bis 28° , im Verlauf von -15° bis $42,5^\circ$. Die Abnahme des Operationseffektes war statistisch signifikant ($p < 0,0001$).

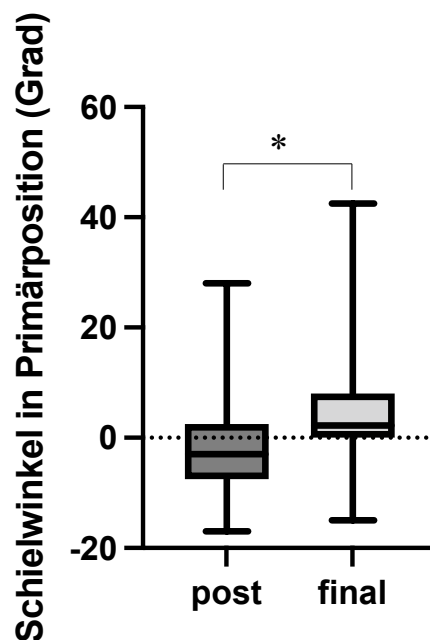
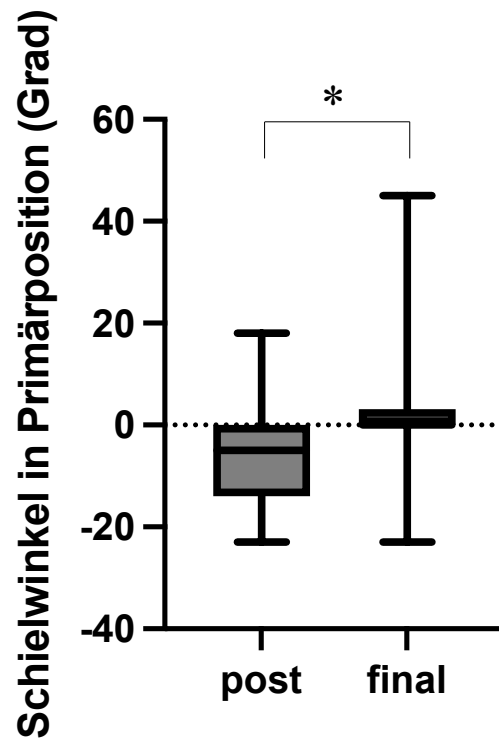


Abbildung 22: Manifester Horizontalschielwinkel in der Ferne postoperativ und im Langzeitvergleich. * $p < 0,05$

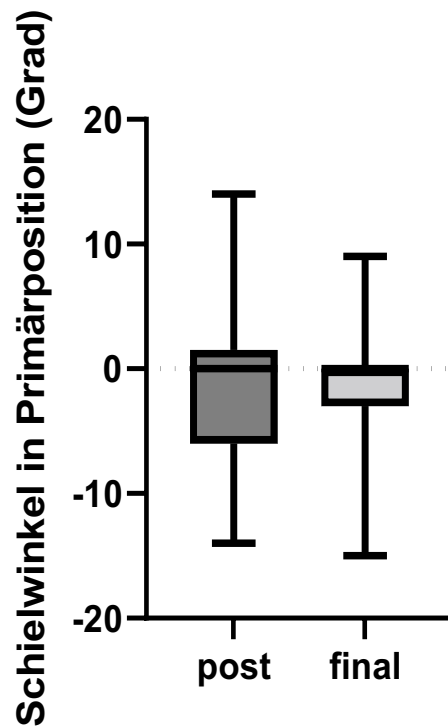
Der manifeste Nahschielwinkel (Abb. 23) in der Horizontalen lag im Mittel postoperativ bei $-5,1^\circ \pm 9,2^\circ$ ($n=47$) und nach 3-6 Monaten bei $0,8^\circ \pm 11,0^\circ$ ($n=36$). Postoperativ lag der Median bei einem Schielwinkel von -5° , langfristig bei 0° . Mit einer Streuung postoperativ zwischen -23° und 18° , nach 3-6 Monaten zwischen -23° und 45° . Die Reduktion des Operationseffektes im postoperativen Verlauf war statistisch signifikant ($p<0,0001$).



*Abbildung 23: Manifester Horizontalschielwinkel in der Nähe postoperativ und im Langzeitvergleich; * $p<0,05$*

3.3.3.4 Manifester Vertikalschielwinkel

Die manifesten Vertikalschielwinkel in der Ferne lagen postoperativ im Mittel bei $-1,4^\circ \pm 5,7^\circ$ ($n=46$), nach 3-6 Monaten bei $-1,1^\circ \pm 4,1^\circ$ ($n=40$). Der Median befand sich postoperativ und im Langzeitverlauf bei 0° , mit einer Streuung -14° bis 14° und nach 3-6 Monaten von -15° bis 9° . Die Reduktion der postoperativen Vertikaldeviation war statistisch nicht signifikant (Abb. 24), jedoch ist ein geringerer Interquartilsabstand zu erkennen.



*Abbildung 24: Manifeste Vertikalschielwinkel in der Ferne postoperativ und im Langzeitvergleich; * $p < 0,05$*

Der manifeste Nahschielwinkel in der Vertikaldeviation wurde in der Nähe postoperativ für 47 Patienten und nach 3-6 Monaten bei 40 Patienten ausgewertet.

Er lag im Mittel postoperativ bei $-1,6^\circ \pm 5,9^\circ$ ($n=47$), nach 3-6 Monaten bei $-1,2^\circ \pm 4^\circ$ ($n=40$). Der Median lag sowohl postoperativ als auch nach 3-6 Monaten bei 0° , mit einer Streuung postoperativ von -14° bis 16° , im Langzeitverlauf von -15° bis 10° . Die Veränderung des Schielwinkels im postoperativen Verlauf war statistisch nicht signifikant.

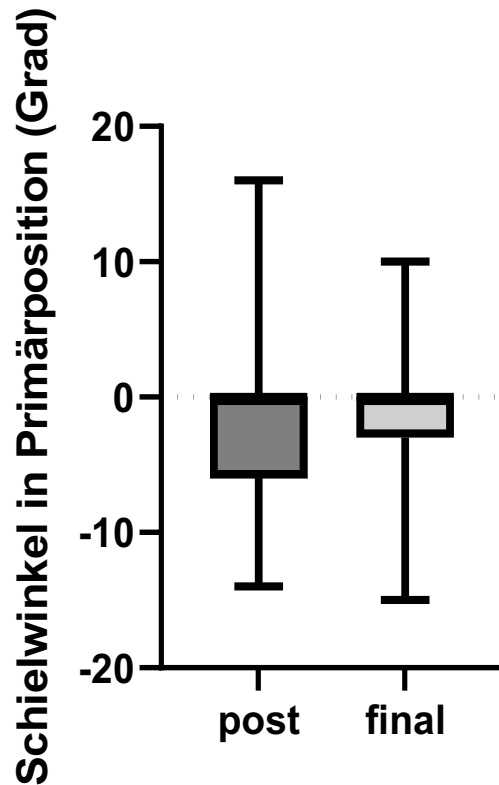


Abbildung 25: Manifeste Vertikalschielwinkel in der Nähe postoperativ und im Langzeitvergleich

3.3.4 Subjektive Schielwinkel

Messungen an der Harms-Wand wurden nicht bei allen Patienten durchgeführt. Bei 37 Patienten lag eine präoperative Messung der Schielwinkel im Geradeausblick vor, postoperativ für 36 Patienten und nach 3-6 Monaten für 31 Patienten (Werte im Folgenden für Teilmengen).

3.3.4.1 Geradeausblick

Der mittlere Horizontalschielwinkel betrug präoperativ $29,5^\circ \pm 9,2^\circ$, postoperativ $-2,6^\circ \pm 7,8^\circ$ und nach 3-6 Monaten $3,1^\circ \pm 7,2^\circ$. Der Median lag präoperativ bei 30° , postoperativ bei 1° , nach 3-6 Monaten bei 3° . Die Streuung betrug präoperativ 16° bis 54° , postoperativ -18° bis 12° und nach 3-6 Monaten -16° bis 18° . Die operative

Schielwinkelreduktion und die Reduktion des Operationseffektes im postoperativen Verlauf waren statistisch signifikant ($p < 0,0001$).

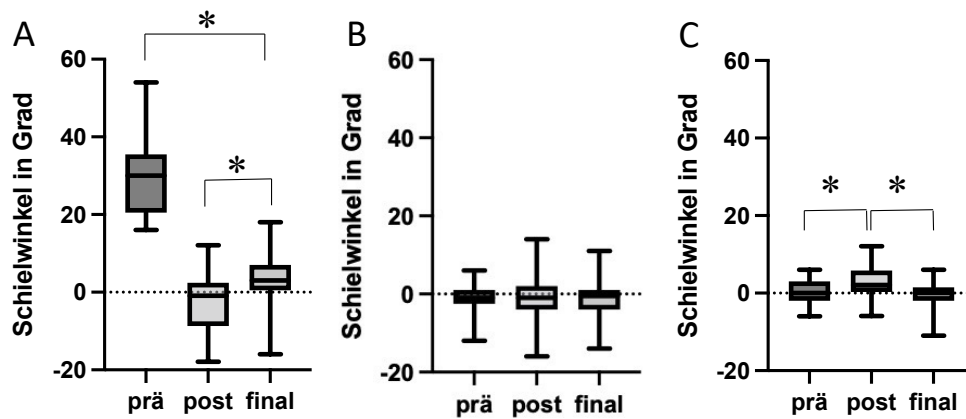


Abbildung 26: Subjektive Schielwinkel im Geradeausblick A Horizontaldeviation, B Vertikaldeviation, C Zyklodeviation (+ Exzyklotropie, - Inzyklotropie); * $p < 0,05$

Die Vertikaldeviation betrug im Mittel präoperativ $-1,1^\circ \pm 3,9^\circ$, postoperativ $-1,4^\circ \pm 6,6^\circ$ und nach 3-6 Monaten $-1,2^\circ \pm 4,2^\circ$. Der Median lag sowohl prä- als auch postoperativ bei -1° , nach 3-6 Monaten bei $-0,5^\circ$. Die Streuung lag präoperativ zwischen -12° und 6° , postoperativ zwischen -16° und 14° und nach 3-6 Monaten zwischen -14° und 11° . Die Veränderungen waren statistisch nicht signifikant. Es fiel eine Vertikaldeviation des operierten Auges bevorzugt nach unten auf.

Die Zyklodeviation (Abb. 26 C) lag im Mittel präoperativ bei $0,4^\circ \pm 3,0^\circ$, postoperativ bei $2,9^\circ \pm 4,1^\circ$ und nach 3-6 Monaten bei $-0,4^\circ \pm 3,3^\circ$. Der Median lag präoperativ bei 0° , postoperativ bei 2° und nach 3-6 Monaten bei 0° , mit einer Streuung zwischen -6° und 6° , postoperativ zwischen -6° und 12° und nach 3-6 Monaten zwischen -11° und 6° . Der Operationseffekt ($p = 0,0003$) sowie die Schielwinkelveränderung ($p < 0,0001$) im postoperativen Verlauf waren statistisch signifikant. Es resultierte postoperativ eine Exzyklodeviation, die im weiteren Verlauf auch wieder abnahm. Der Vergleich zwischen präoperativen Werten und nach 3-6 Monaten ist nicht signifikant (Abb. 26; $p = 0,1337$). Zwischen der postoperativen Veränderung der Vertikaldeviation und der Zyklodeviation im Geradeausblick wurde mittels Spearman-Test kein linearer Zusammenhang festgestellt.

3.3.4.2 Subjektive Schielwinkel im ipsilateralen Seitblick (OPA)

In Abb. 27 sind die Schielwinkel im Blick zur Seite des operierten Auges (OPA) dargestellt.

Präoperativ betrug der Schielwinkel im Mittel $48,5^\circ \pm 14,1^\circ$ (n=37), postoperativ $13,1^\circ \pm 8,2^\circ$ (n=36) und nach 3-6 Monaten bei $17,6^\circ \pm 8,1^\circ$ (n=31). Der Median befand sich präoperativ bei 48° , postoperativ bei $13,5^\circ$ und nach 3-6 Monaten bei 17° , mit Streuungen zwischen 26° und 90° , -1° und 35° und zwischen $1,5^\circ$ und 35° . Die Schielwinkelreduktion war statistisch signifikant ($p < 0,0001$, postoperativer Verlauf $p = 0,0004$).

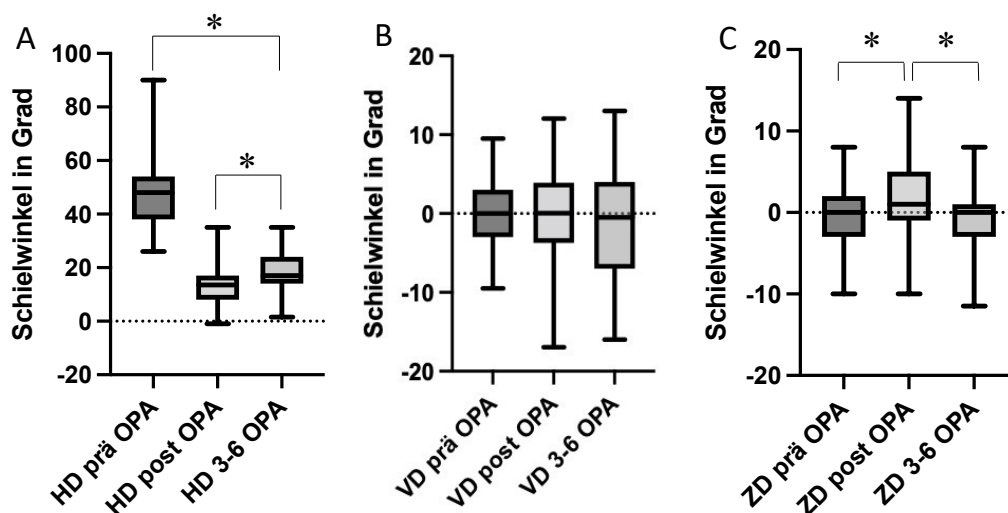


Abbildung 27: Subjektive Schielwinkel im Seitblick (OPA) A Horizontaldeviation, B Vertikaldeviation, C Zyklodeviation; * $p < 0,05$

Die Vertikaldeviation (Abb. 27 B) betrug im Mittel $-0,4^\circ \pm 5^\circ$, postoperativ $-0,4^\circ \pm 6,8^\circ$ und nach 3-6 Monaten $-1,6^\circ \pm 7,1^\circ$. Der Median lag präoperativ und postoperativ bei 0° mit Streuungen präoperativ zwischen $-9,5^\circ$ und $9,5^\circ$, postoperativ zwischen -17° und 12° . Nach 3-6 Monaten lag der Median bei $-0,5^\circ$ mit einer Streuung zwischen -16° und 13° . Ein Tieferstand war etwas häufiger als ein Höherstand. Die Änderung der Vertikaldeviation war statistisch nicht signifikant.

Die Zyklodeviation (Abb. 27 C) betrug präoperativ im Mittel $-0,2^\circ \pm 3,9^\circ$, postoperativ $1,6^\circ \pm 4,7^\circ$ und nach 3-6 Monaten $-1,1^\circ \pm 4,2^\circ$. Der Median lag präoperativ bei einem

Winkel von 0°, postoperativ bei 1° und nach 3-6 Monaten bei 0°, mit Streuungen zwischen -10° und 8°, -10° und 14° und zwischen -11,5° und 8°. Der Unterschied zwischen prä- und postoperativer ZD ($p=0,0302$) sowie zwischen der postoperativen ZD und der ZD bei Spätkontrolle ($p=0,0002$) war statistisch signifikant. Der Vergleich der Schielwinkel präoperativ und nach 3-6 Monaten ergab keinen Hinweis auf eine statistisch signifikante Schielwinkelveränderung ($p=0,3470$). Somit ergibt sich eine postoperative Inzyklotropie, die sich im Verlauf wieder reduziert. Für die Vertikaldeviation und die Zyklodeviation im Seitblick wurde kein linearer Zusammenhang festgestellt.

3.3.4.3 Subjektive Winkel im Seitblick NOPA

Die Horizontaldeviation (Abb. 28) im kontralateralen Seitblick (NOPA) betrug präoperativ im Mittel $17,3^\circ \pm 8,1^\circ$, postoperativ $-16,2^\circ \pm 8,5^\circ$ und $-5,6^\circ \pm 7,7^\circ$ nach 3-6 Monaten. Der Median lag präoperativ bei 18° , postoperativ bei -16° und bei -3° nach 3-6 Monaten, mit Streuungen zwischen 0° und 35° , -33° und 1° und zwischen -26° und 8° . Die Schielwinkelreduktion und die Abnahme des Operationseffektes bis zur letzten Kontrolle waren statistisch signifikant ($p<0,0001$).

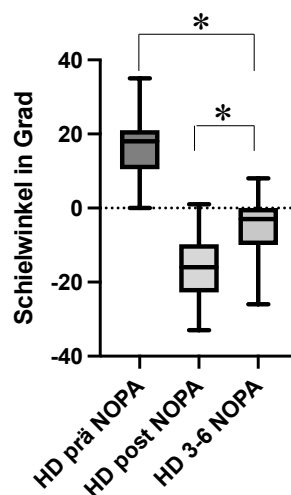


Abbildung 28: Subjektive Winkel im Seitblick (NOPA) Horizontaldeviation; * $p<0,05$

Tabelle 4 Übersicht Schielwinkel-Ergebnisse *

		präoperativ		postoperativ		3-6 Monate	
		Median	MW (±SD)	Median	MW (±SD)	Median	MW (±SD)
HD manifest	Ferne	-	-	-3° (n=45)	-2,1° (±8,4°) (n=45)	2,3° (n=36)	4° (±9,9°) (n=36)
	Nähe	-	-	-5° (n=46)	-5,1° (±9,2°) (n=46)	0° (n=36)	0,8° (±11°) (n=36)
HD maximal	Ferne	36° (n=35)	36,3° (±11,7°) (n=35)	-2° (n=35)	-2° (±8,1°) (n=35)	3° (n=35)	4,4° (±9,9°) (n=35)
	Nähe	32,5° (n=34)	31,4° (±11,8°) (n=34)	-6° (n=34)	-6,1° (±9°) (n=34)	0,25° (n=34)	0,9° (±11,6°) (n=34)
HD subjektiv	PP	32° (n=24)	30,4° (±8,7) (n=24)	0° (n=24)	-2,2° (±7,9°) (n=24)	3° (n=24)	3,6° (±7,7°) (n=24)
	OPA	48° (n=37)	48,5° (±14,1°) (n=37)	13,5° (n=36)	13,1° (±8,2°) (n=36)	17° (n=31)	17,6° (±8,1°) (n=31)
	NOPA	18° (n=37)	17,3° (±8,1°) (n=37)	-16° (n=36)	-16,2° (±8,5°) (n=36)	-3° (n=31)	-5,6° (±7,7°) (n=31)

*

HD manifest: Simultaner Prismenabdecktest

HD maximal: alternierender Prismenabdecktest

HD subjektiv: Harms-Wand

PP: Primärposition/ Geradeausblick

OPA: Blick zur Seite des operierten Auges

NOPA: Blick zur Seite des nicht operierten Auges

3.3.5 Bulbusmotilität

3.3.5.1 Horizontale Motilität

In Abb. 29 ist die maximale monokulare Exkursion für 46 Patienten dargestellt. 37 Patienten wiesen postoperativ eine Abduktion über die Mittellinie auf. Drei Patienten (Nr. 40, 64 und 74) erreichten die Mittellinie. Fünf Patienten kamen weiterhin nicht bis zur Mittellinie (Nr.: 6, 23, 34, 56, 106). Ein Patient (Nr. 22) wurde postoperativ diesbezüglich nicht kontrolliert. Ebenso ist eine unterschiedlich stark ausgeprägte Adduktionseinschränkung über die Gesamtgruppe zu erkennen.

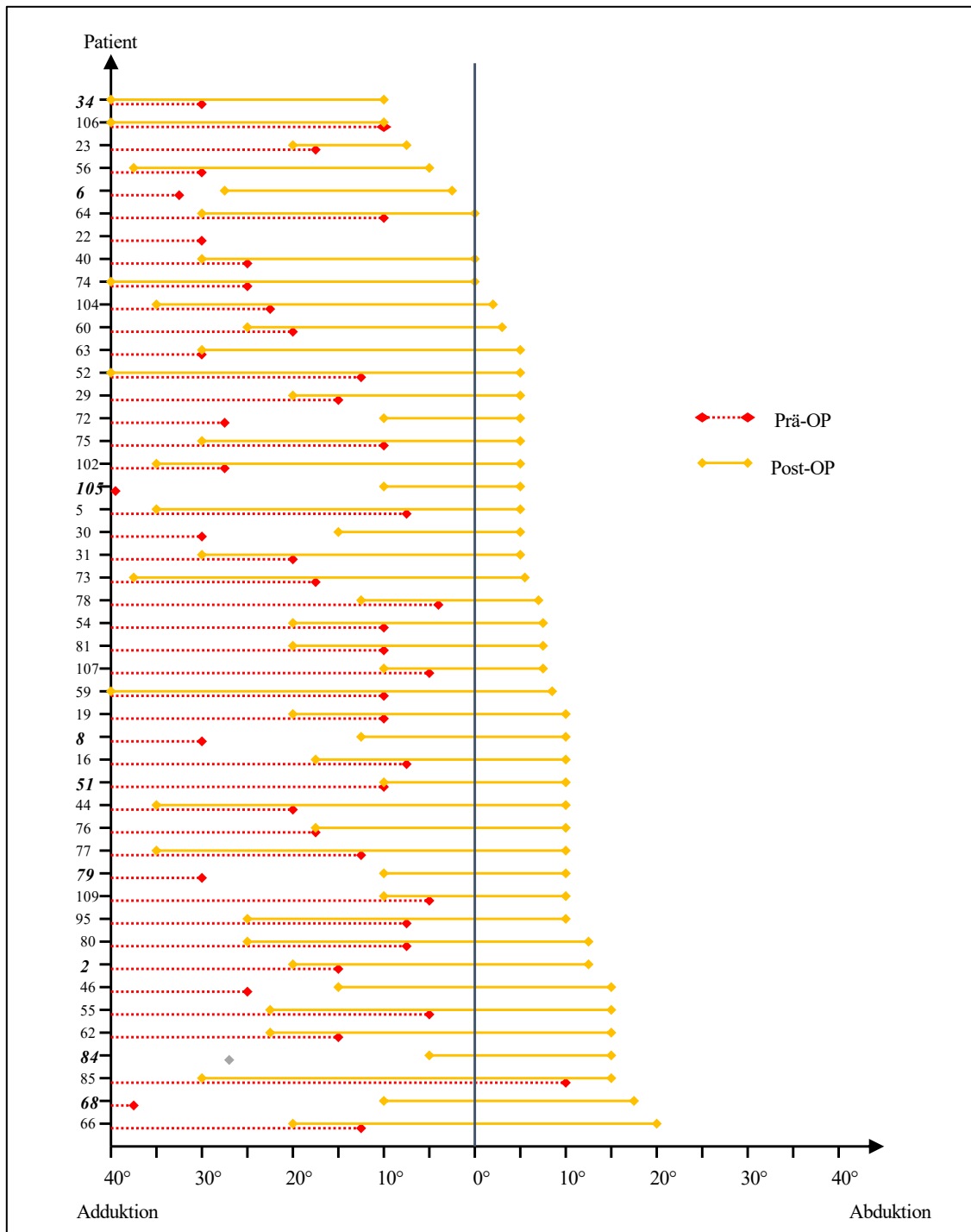


Abbildung 29: Horizontale Motilität im prä- und postoperativen Vergleich, sortiert nach postoperativer Abduktionsfähigkeit (postoperativ kein Wert für Patient Nr. 22). Patienten mit kombiniertem Eingriff *in kursiv* (2, 6, 8, 34, 51, 68, 79, 84, 105)

3.3.5.2 Vertikale Motilität

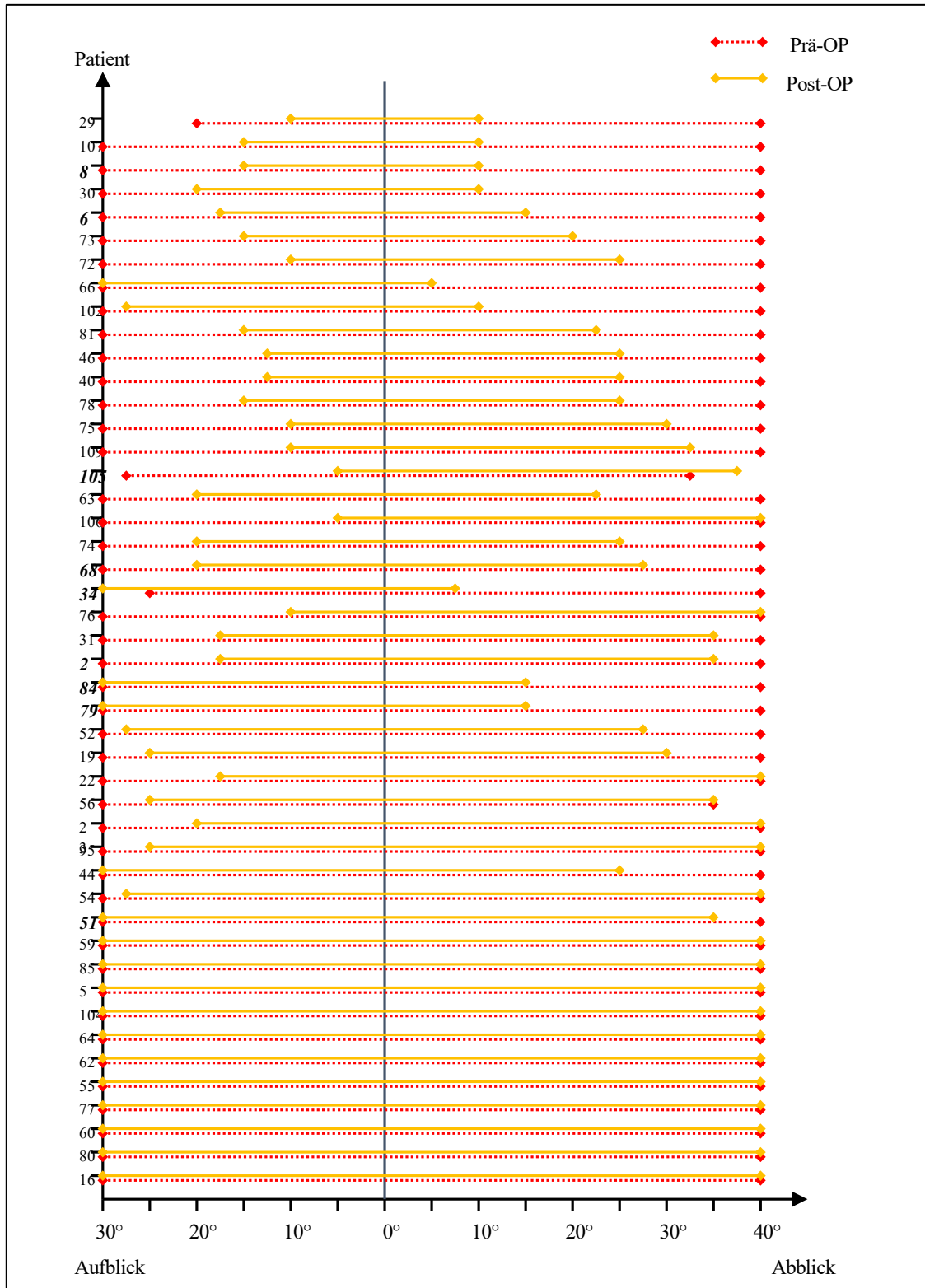


Abbildung 30: Vertikale Motilität im prä- und postoperativen Vergleich, sortiert nach postoperativer Motilitätseinschränkung. Messbereich: Aufblick bis 30°, Abblick bis 40°. Patienten mit kombiniertem Eingriff in kursiv (2, 6, 8, 34, 51, 68, 79, 84, 105)

In Abb. 30 ist die vertikale Motilität im prä- und postoperativen Vergleich dargestellt. Elf Patienten wiesen postoperativ keine relevante Motilitätseinschränkung auf. Die Hebung war öfter beeinträchtigt als die Senkung.

3.3.6 Fusionsblickfeld

Das Fusionsblickfeld wurde bei 30 Patienten untersucht. Bei 23 Patienten war Fusion zu verzeichnen, sieben Patienten zeigten auch postoperativ Diplopie in alle Blickrichtungen (sechs Patienten) oder Exklusion (ein Patient).

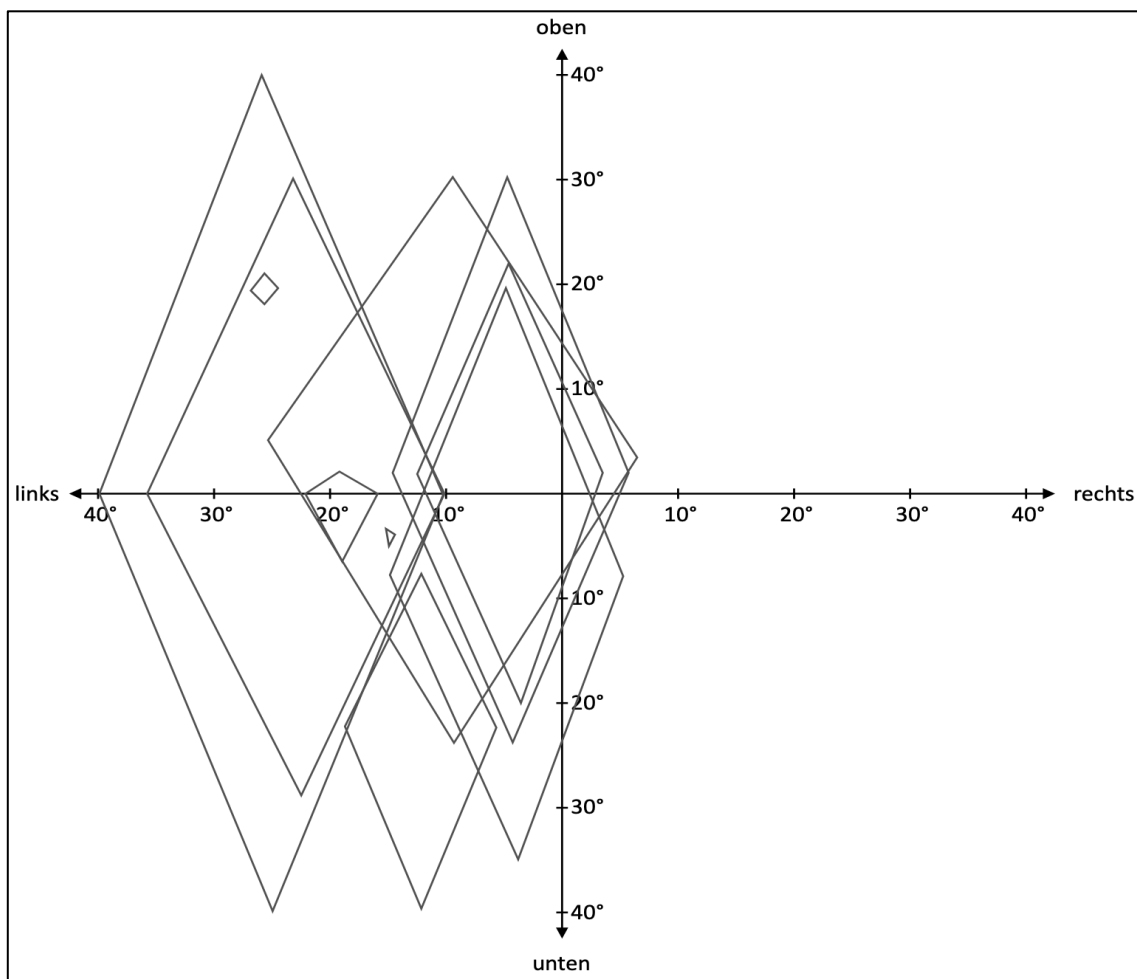


Abbildung 31: *Feld des Binokularen Einfachsehens, rechtsseitige Paralysen 3-6 Monate nach Operation*

Die Abbildung 31 zeigt Fusionsblickfelder für die rechtsseitigen Paresen. Die Darstellung konnte bei zehn Patienten mit rechtsseitiger Parese erfolgen, bei zwei Patienten bestand auch postoperativ eine Diplopie in die verschiedenen Blickrichtungen.

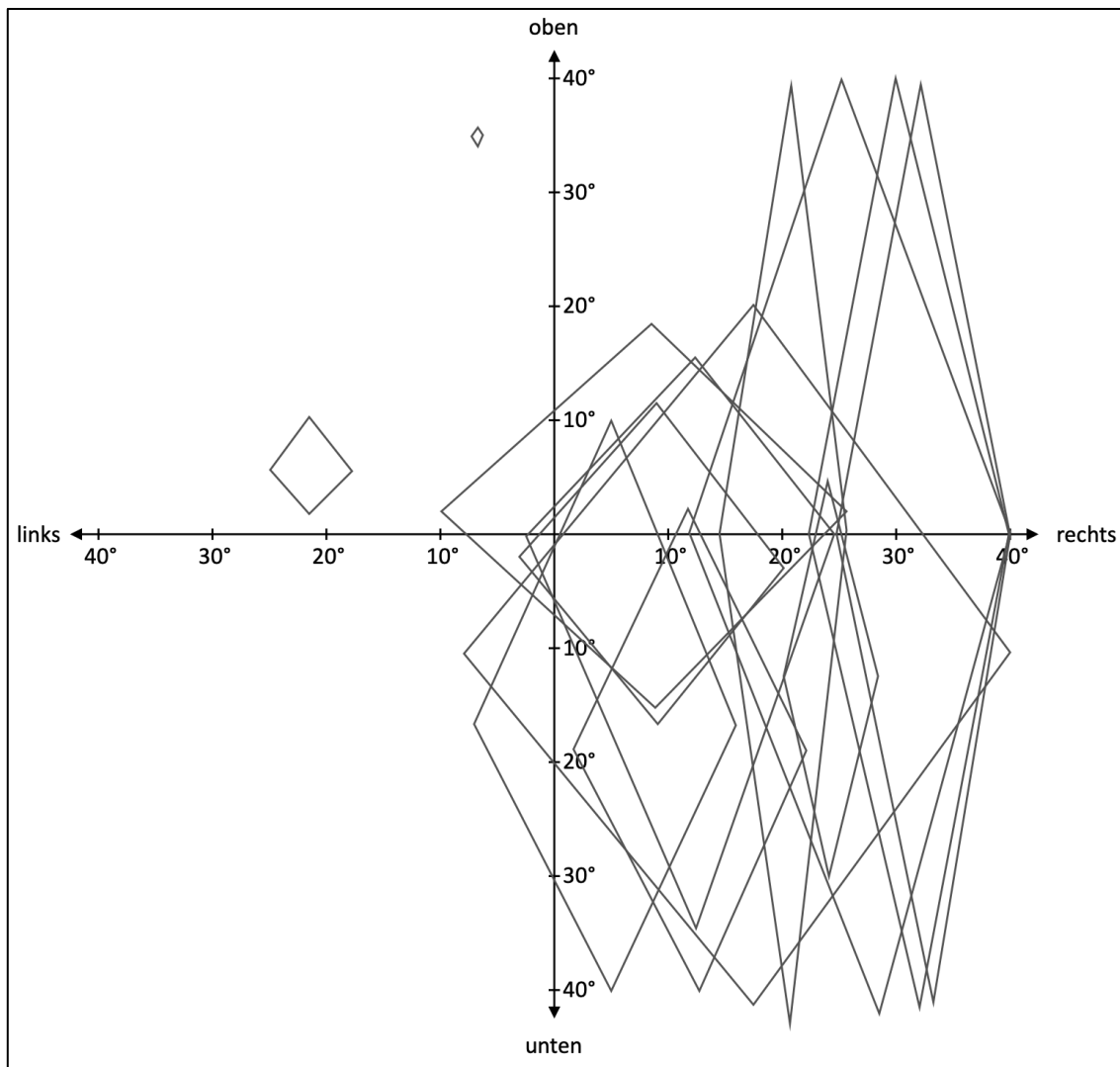


Abbildung 32: Feld des binokularen Einfachsehens, linksseitige Paralysen 3-6 Monate nach Operation

In Abb. 32 ist das Fusionsblickfeld aller Patienten mit linksseitigen Paralysen dargestellt. 13 Patienten verfügen nach 3-6 Monaten über Einfachsehen, vier Patienten beschrieben weiterhin Doppelbilder in allen Blickrichtungen und ein Patient exkludierte den Seheindruck des paretischen Auges. Wie bei den rechtsseitigen Paresen war der Bereich der Fusion zur nichtparetischen Seite hin dezentriert.

3.3.7 Kopfwangshaltung

Die Kopfwangshaltung bei Fixation mit dem paretischen Auge wurde mit der Kopfdrehung nach 3-6 Monaten verglichen. Präoperativ wurden 43 Patienten in die Auswertung einbezogen. Bei einem Patienten war die Messung nicht möglich, drei Patienten wurden ausgeschlossen.

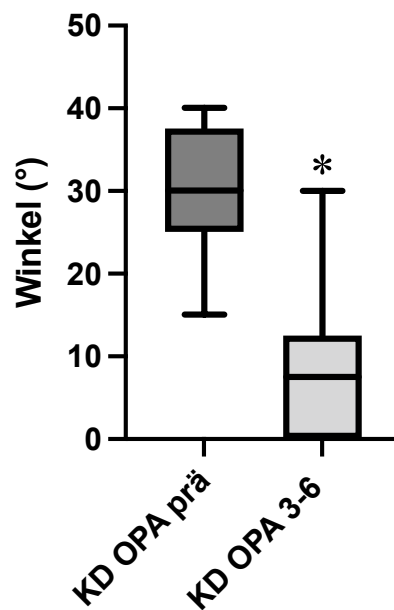


Abbildung 33: Kompensatorische Kopfdrehung (KD) bei Fern-Fixation; * $p < 0,0001$

Im Mittel betrug die Kopfdrehung präoperativ $29,6^\circ \pm 7,9^\circ$, nach 3-6 Monaten $8,1^\circ \pm 7,8^\circ$. Der Median lag bei 30° (min. 15° , max. 40°) und $7,5^\circ$ (min. 0° , max. 30°). Das entspricht der eingeschränkten horizontalen Augenbeweglichkeit. Auch postoperativ zeigten fast alle Patienten eine Kopfdrehung zur Seite des paretischen Auges.

3.3.8 Binokularfunktion

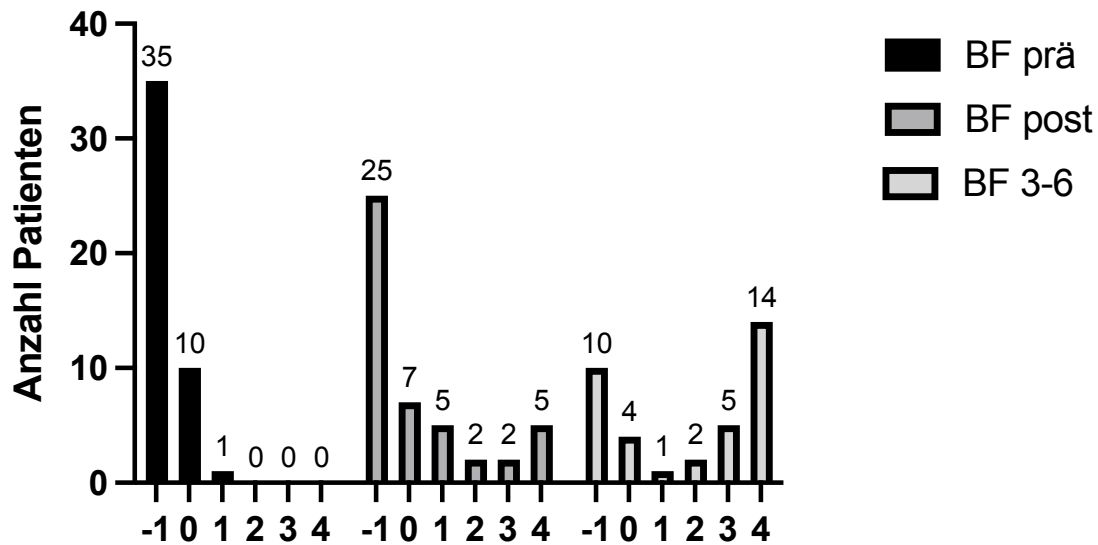


Abbildung 34: Binokularfunktion (BF) -1 = Doppelbilder; 0 = Exklusion; 1 = Bagolini pos.; 2 = Titmus/Fliege; 3 = Tiere/Ringe; 4 = Lang-Stereo

Binokularfunktionen wurden direkt postoperativ bei 14 Patienten (5 Bagolini pos., 2 Titmus/-Fliege, 2 Tiere/-Ringe, 5 Lang-Stereo) registriert. Nach 3-6 Monaten zeigten 22 Patienten eine (1-Bagolini pos., 2-Titmus/Fliege, 5-Tiere/Ringe, 14-Lang-Stereo), vier exkludierten weiterhin. Von direkt nach der Operation 30 % erhöhte sich der Anteil von Patienten mit Binokularfunktion auf 61 % in der Gesamtgruppe (13 Patienten BF im Verlauf, zwei Patienten Verlust BF nach 3-6 Monaten).

3.4 Vergleich Subgruppen

Für den Vergleich der horizontalen und vertikalen Motilität sind die Patienten mit Medialis-Rücklagerung in den Abb. 29 und Abb. 30 gekennzeichnet.

Tabelle 5 zeigt, dass die mittlere Reduktion des maximalen Fernschielwinkels nach reiner Hummelsheim-Operation $27,5^\circ$ betrug. Für die kombinierten Eingriffe betrug die mittlere Reduktion $47,4^\circ$. Die Reduktion war in beiden Gruppen signifikant (HH: $p < 0,0001$; HHMR: $p = 0,0078$).

Tabelle 5 Subgruppen Mittelwerte (\pm Standardabweichung)*

Messmethode	Hummelsheim Gruppe			Kombinationseingriff		
	präoperativ	postoperativ	3-6 Monate	präoperativ	postoperativ	3-6 Monate
S HD						
Ferne	33° (+/- 11°)	-1,2° (+/- 8,3°)	5,1° (+/- 10°)	48° (+/- 9,2°)	-5,8° (+/- 8,4°)	0,38° (+/- 7,9°)
Nähe	29° (+/- 11°)	-4° (+/- 8,9°)	1,9° (+/- 11°)	42° (+/- 12°)	-9,7° (+/- 9,6°)	-3° (+/- 9,5°)
S VD						
Ferne	0,18° (+/- 2,4°)	-2,4° (+/- 5,2°)	-1,5° (+/- 3,8°)	0,61° (+/- 4,6°)	2,7° (+/- 6,1°)	0,81° (+/- 5°)
Nähe	0,21° (+/- 2,5°)	-2,3° (+/- 5°)	-1,7° (+/- 3,8°)	0,29° (+/- 4,2°)	1,4° (+/- 8,3°)	0,5° (+/- 4,7°)
A HD						
Ferne	33° (+/- 11°)	-1,2° (+/- 8,4°)	5,5° (+/- 10°)	48° (+/- 9,2°)	-5,7° (+/- 8,5°)	0,63° (+/- 8,1°)
Nähe	29° (+/- 11°)	-5,1° (+/- 9°)	1,8° (+/- 12°)	42° (+/- 12°)	-9,2° (+/- 9,8°)	-2,4° (+/- 9,9°)
A VD						
Ferne	0,18° (+/- 2,4°)	-2,4° (+/- 5,3°)	-1,5° (+/- 3,9)	0,61° (+/- 4,6°)	2,3° (+/- 6,7°)	0,94° (+/- 5,1°)
Nähe	0,21° (+/- 2,5°)	-2,3° (+/- 5,1°)	-1,9° (+/- 3,9°)	0,29° (+/- 4,2°)	2,1° (+/- 7,7°)	0,94° (+/- 4,8°)
Harms-Wand						
HD	28° (+/- 8,9°)	-1,4° (+/- 6,7°)	4° (+/- 6,3°)	39° (+/- 6,6°)	-8,5° (+/- 11°)	-0,92° (+/- 9,7°)
VD	-0,79° (+/- 3,7°)	-2,5 (+/- 6,4)	-1,7° (+/- 3,6°)	-3,5° (+/- 5,4°)	3,7° (+/- 5,8°)	0,92° (+/- 6,1°)
ZD	0,7° (+/- 3,1°)	3,3° (+/- 4,3°)	0,62° (+/- 2,2°)	-1,8° (+/- 1,7°)	1,2° (+/- 2,6)	-4,7° (+/- 3,7°)
KZH OPA	30° (+/- 8,2°)	/	8,7° (+/- 8,1°)	31° (+/- 7,5°)	/	4,5° (+/- 4,5°)

Die Reduktion der subjektiven Schielwinkel betrug 24° (Hummelsheim-Gruppe) und 39,9° (kombiniert). Sie war nur für die Hummelsheim-Gruppe statistisch signifikant. In der Gruppe der kombinierten Eingriffe lagen Messungen an der Harms-Wand präoperativ nur in vier Fällen, postoperativ und nach 3-6 Monaten in sechs Fällen vor.

Tabelle 6 Mediane der Subgruppen*

Messmethode	Hummelsheim Gruppe n=38			Kombinationseingriff n=9		
	präoperativ	postoperativ	3-6 Monate	präoperativ	postoperativ	3-6 Monate
S HD						
Ferne	33°	-2,5°	2,8°	49°	-5°	0°
Nähe	27°	-4°	0°	44°	-15°	0°
S VD						
Ferne	0°	0°	0°	0°	0°	1,5°
Nähe	0°	-0,5°	0°	0°	0°	0°
A HD						
Ferne	33°	-2,5°	4,3°	49°	-5°	1,5°
Nähe	27°	-6°	0°	44°	-15°	1,5°
A VD						
Ferne	0°	0°	0°	0°	0°	1,5°
Nähe	0°	-1,5°	0°	0°	0°	1°
Harms-Wand						
HD	28°	0°	3°	39°	-11°	0,25°
VD	-1°	-1°	-1°	-2°	5°	0°
ZD	0°	3°	0°	-1,5°	1,5°	-4°
KZH OPA	30°	/	7,5°	30°	/	5°

Die horizontale Schielwinkelreduktion im alternierenden Abdecktest betrug im Median für die Hummelsheim-Gruppe 26°, in der Gruppe kombinierter Eingriffe 45°. An der

Harms-Wand ergab sich eine Reduktion um 25,5° für die Hummelsheim-Gruppe und 38,25° bei kombinierten Operationen. (Die Differenz der Mediane in Tab. 6 ist nicht gleich dem Median der Differenzen aus prä- und postoperativen Werten). Die kombinierten Eingriffe zeigten, im Vergleich zur Hummelsheim-Gruppe, im Median einen Effekt auf die Vertikalabweichung (Median S VD HHMR 1,5°, HH 0°). Zudem zeigte sich eine diskrete Zyklodeviation im postoperativen Verlauf bei Medialis-Rücklagerungen.

3.5 Operationseffekt

In Tab. 7 sind die Mediane aller Patienten dargestellt, bei denen zu allen drei Messzeitpunkten Werte erhoben wurden. Es zeigt sich eine stärkere Schielwinkelreduktion bei der Gruppe mit zeitgleicher Medialis-Rücklagerung. Die präoperativen Schielwinkel waren in dieser Patientengruppe auch wesentlich größer.

Tabelle 7 Operationseffekte*

Messmethode	Hummelsheim Gruppe n=27			Kombinationseingriff n=8 (Nähe n=7)			Alle Patienten n=35 (34)		
	präoperativ	postoperativ	3-6 Monate	präoperativ	postoperativ	3-6 Monate	präoperativ	postoperativ	3-6 Monate
A HD									
Ferne	33°	-1,5°	4°	48,5°	-8,5°	1,5°	36°	-2°	3°
Nähe	27°	-6°	0°	44°	-16°	3°	32,5°	-6°	0,25°
Harms-Wand	(n= 20)	(n= 20)	(n= 20)	(n=4)	(n=4)	(n=4)	(n=24)	(n=24)	(n=24)
HD	31°	0,25°	3,5°	39°	-15°	-3,75°	32°	0°	3°

*

S: Simultaner Prismenabdecktest

A: alternierender Prismenabdecktest

HD: Horizontaldeviation

VD: Vertikaldeviation

ZD: Zyklodeviation

KZH OPA: Kopfwangshaltung im Blick zur Seite des operierten Auges

4 Diskussion

Zur Korrektur der Esotropie bei Abduzensparalysen gelten Transpositionen der kombinierten Konvergenz-Operation als überlegen (Esser et al., 2009). Die Hummelsheim-Operation ist eines der ältesten tatsächlich durchgeführten Transpositionsverfahren überhaupt, hat sich jedoch in der originalen Form als nicht ausreichend erwiesen. Infolgedessen wurden unterschiedliche Verstärkungen, unter anderem die Modifikation nach Kaufmann, entwickelt. Bisläng existiert in der Literatur nur eine externe Auswertung dieser Modifikation mit guten Ergebnissen in einer relativ kleinen Patientengruppe von 17 Patienten (Esser et al., 2009). In der vorliegenden Arbeit wurde eine weitere Auswertung an einer größeren Fallzahl durchgeführt, nachdem Gebauer 44 Fälle im Vergleich zur kombinierten Konvergenz-Operation analysierte (Gebauer, 1997).

4.1 Patienten

4.1.1 Paralyseursachen

Gegenüber den Ergebnissen aus anderen Studien unterscheiden sich die relativen Anteile der Paralyse- und Pareseursachen deutlich (Peragallo et al., 2014; Richards et al., 1992). In der vorliegenden Auswertung wurden Paralysen, also vollständige Paresen, betrachtet, welche nicht regredient waren. In Arbeiten, die Paresen generell erfassen, sind Ursachen häufiger zu erwarten, die nur eine partielle oder eine transitorische Parese bewirken, z.B. Ischämie und Kompression. Aus der Statistik von Richards et al. geht hervor, dass die neoplastische Genese mit ca. 22 %, neben unbekanntem Ursachen, die häufigste Ursache der Abduzensparese darstellt (Richards et al., 1992).

In unserer Patientengruppe war im Gegensatz dazu ein Trauma die häufigste Ursache (46,8 %). Die wahrscheinlichere Spontanheilung bei kompressiver Genese könnte die prozentuale Verteilung in unserem Kollektiv erklären, möglicherweise dadurch begründet, dass durch reine Verdrängung ein geringerer permanenter Nervenschaden entsteht. Eine Minderperfusion kann über Reperfusion zu einer Regeneration führen. Den

Anteil an Paralysen vaskulärer Genese stellen 6,4 % unserer Patientengruppe dar. Ein Trauma hingegen geht meist mit einer Durchtrennung oder direkten Schädigung der Nervenfasern einher, sodass eine Spontanheilung unwahrscheinlicher wird. Peragallo et al. beschreiben die geringere Spontanheilungsrate traumatisch bedingter Paresen (Peragallo et al., 2014). Holmes et al. beschreiben eine unserer Gruppe ähnelnde Verteilung der Ursachen bei 56 Patienten mit einer Abduzensparalyse. Die Ergebnisse wurden in ihrer Arbeit sowohl nach konservativer als auch nach Botox-Behandlung, Muskelchirurgie und der Kombination von Botox und Eingriff betrachtet. Ihre Studie weist mit 32 % das Trauma als häufigste Ursache einer Abduzensparalyse auf, 25 % sind, ähnlich den 21 % in der vorliegenden Arbeit, neoplastischer Ursache. Mikro- und makroangiopathische Genesen werden als vaskuläre Ursachen von Holmes et al. 13 % anteilig beschrieben (Holmes et al., 2001). Bei uns lag der Anteil bei 6,4 %. Die Häufigkeitsverteilung der Ursachen in weiteren Arbeiten, die sich auf therapiebedürftige Abduzensparalysen beziehen, ist ähnlich wie in unserer Gruppe (Andalib, 2016; Arfeen et al., 2022; Bagheri et al., 2010; Neugebauer et al., 2001).

4.1.2 Altersverteilung

Die Häufung in der mittleren Altersgruppe (50-60 Jahre) lässt sich zum einen mit der Schädel-Hirn-Traumata-Rate im Rahmen von Verkehrsunfällen in Verbindung setzen. Zum anderen liegt die Vermutung nahe, dass die Wahrscheinlichkeit neoplastischer und vaskulärer Ursachen mit steigendem Alter zunimmt. Zudem ist auf die breite Alterspanne in unserer Patientengruppe zwischen 5 Jahren und 93 Jahren hinzuweisen, welche die Variabilität der Paralyseursachen unterschiedlicher Altersgruppen unterstreicht. Andalib et al. berichten über eine ähnlich breite Altersspanne zwischen 1 und 62 Jahren (Andalib, 2016). Andere Quellen weisen ebenfalls eine breite Altersverteilung auf (29 Patienten, 10-76 Jahre (Hedergott et al., 2017); 11 Patienten, 5-78 Jahre (Motaref et al., 2002)). Hieraus lässt sich die Relevanz der Abduzensparalyse und deren Therapie für alle Altersklassen erkennen.

4.1.3 Paresedauer

Die Paresedauer lag in unserer Studie im Median bei 22 Monaten. Motaref et al. berichten über eine mittlere Dauer von 20 Monaten mit einer Streuung von 12 bis 28 Monaten (Motaref et al., 2002). Esser et al. berichten über eine mediane Paresedauer von 35 Monaten mit minimal 12 Monaten bis maximal 26 Jahren (Esser et al., 2009). Holmes et al. geben eine mediane Dauer von 11 Monaten bei Erstuntersuchung an (Holmes et al., 2001). Die beschriebenen Werte ähneln unseren Ergebnissen, da allgemein üblich erst nach Paresedauer von 12 Monaten operiert wird. Es existieren Erfahrungsberichte, wonach die Parese auch 11-12 Monate nach Auftreten noch teilweise reversibel war (Kaufmann, 1984).

4.2 Auswertungskriterien

Ziel des operativen Eingriffes ist die Korrektur des Schielwinkels im Geradeausblick und die Wiederherstellung einer gewissen Abduktionsfähigkeit über die Mittellinie mit einem entsprechend zentrierten Fusionsblickfeld. Das bedeutet für den Patienten die Beseitigung von Doppelbildern sowie die Wiederherstellung der gewohnten oder vor der Parese bestehenden Binokularfunktion ohne Notwendigkeit einer weiteren Okklusion. Bereits ein kleines Feld binokularen Einfachsehens lindert den Leidensdruck erheblich. Mit der Korrektur des Schielwinkels geht die Reduktion der Kopfwangshaltung einher. Bei Paralyse ist eine Kopfwangshaltung selten, wenn die Paralyse nicht das Führungsauge betrifft. Sie variiert daher auch postoperativ erheblich und ist gegebenenfalls in einem Folgeeingriff zu verbessern.

Neben diesen Erfolgen ist die Vermeidung operativer Nebenwirkungen ein wichtiges Kriterium. Diesbezüglich wurden der Visus und die Refraktion untersucht. Mitunter die wichtigsten zu betrachtenden Nebenwirkungen sind die Vertikalabweichung, die Zyklodeviation sowie eine Einschränkung der Adduktionsfähigkeit, die im Folgenden diskutiert werden.

4.3 Operationsergebnisse

4.3.1 Schielwinkel

Die Erhebung der Werte mittels unterschiedlicher Methoden entsprach dem regelmäßigen Vorgehen in der Universitätsaugenklinik Gießen. Die Vertikaldeviation (VD) ist subjektiv präziser als objektiv im Abdecktest, die Zyklodeviation (ZD) nur subjektiv messbar. Die Horizontaldeviation (HD) ist dabei durch Zunahme des Esotonus bei Vorgabe des Dunkelrotglases unter Umständen verfälscht. Die Messung an der Harms-Wand ist dennoch besser geeignet als der alternierende Prismenabdecktest (APCT), da die Messung mit vorgehaltenen Prismen nur bis zu ca. 27° Grad möglich ist. Nicht für jeden Patienten wurden alle Messtechniken verwendet.

Eine Schielwinkelbestimmung mit simultan vorgehaltenen Prismen erfolgte präoperativ nicht, weil eine Kompensation oder Schielwinkelverkleinerung wie bei kleiner Esotropie oder Esophorie bei den Patienten mit N. VI Paralyse und derart großem Schielwinkel nicht möglich ist (Frank et al., 2020). Die „Simultanwinkel“ sind postoperativ hinsichtlich möglicher Ausgleichsinnervation von Interesse (Tab. 4). Die Messung im Abdecktest erfolgte bei den präoperativ sehr großen Schielwinkeln mit Prismen vor beiden Augen, weil das stärkste Prisma maximal 27° Ablenkung bewirkt. Dabei steht das nicht paretische Auge nicht in Primärposition, sondern adduziert, sodass die Winkel im mehr oder weniger starken Blick zur Seite der Parese gemessen werden. Dort ist der Horizontalwinkel größer als in Primärposition (Frank et al., 2020).

Die Winkel im alternierenden Abdecktest waren auch in unserer Arbeit präoperativ größer als an der Tangententafel (Mittelwerte: Abdecktest 36°, Harms 30°). Sie wurden präoperativ aus genanntem Grund den maximalen Winkeln gleichgesetzt. Postoperativ, nach signifikanter Schielwinkelreduktion in Ferne und Nähe, ergaben alle drei Messmethoden ähnliche Ergebnisse. Direkt postoperativ bestand im Mittel eine geringe Überkorrektur in Ferne und Nähe, die im weiteren Verlauf rückläufig war (Tab. 4, Ergebnisteil), die individuelle Streuung nahm im postoperativen Verlauf zu. Die Schielwinkelreduktion auf Werte $< 5^\circ$ im Median bzw. Mittel (alternierend Ferne) spricht für die Wirksamkeit der OP-Methode.

Die Mediane der postoperativen Schielwinkel an der Harms-Wand, im alternierenden Abdecktest sowie im simultanen Abdecktest (Nähe) lagen im definierten Zielbereich ($<5^\circ$, Tab. 4). Die Streuung war jedoch beträchtlich. Dies erklärt die Rate von 42,6 % Nachkorrekturen nach dem Ersteingriff, wenn für binokulares Einfachsehen im Geradeausblick die nötige Augenstellung eine Verstärkung oder einer Korrektur vertikaler Nebenwirkungen bedurfte. Auch bei kleinen horizontalen Restschielwinkeln (= objektiver Operationserfolg) und intermittierender Diplopie kann eine Revision sinnvoll sein. Die Nachkorrekturrate hängt von der Größe und Richtung des Restschielwinkels und den Ansprüchen des Patienten ab.

Couser et al. berichten über eine Schielwinkelreduktion zwischen 31° und 66° bei verschiedensten Transpositionsoperationen (Couser et al., 2012). Die durchschnittliche Schielwinkelreduktion in unserer Gesamtgruppe lag bei 27° an der Harms-Wand und 33° im alternierenden Abdecktest (max. 68°). Bei isolierter Betrachtung der Kombination mit einer Medialis-Rücklagerung betrug die mittlere Schielwinkelreduktion 41° bzw. 47° . Motaref et al. und Esser et al. berichten über die Modifikation nach Kaufmann. Der Effekt der Transposition entspricht der Schielwinkelreduktion in unserer Auswertung von ca. 30° (Esser et al., 2009; Motaref et al., 2002). Arfeen et al. berichten über eine durchschnittliche Schielwinkelreduktion von 42° in einer Hummelsheim-Gruppe ohne Medialis-Rücklagerung (Arfeen et al., 2022). Hedergott et al. werteten reine Hummelsheim-Operationen nach Originalmethode mit einer Verstärkungsnaht, bestehend aus der Vernähung der Transponate und Fixierung am Sehnenansatz des Lateralis, und die Kombination mit einer Medialis-Rücklagerung aus. Die Schielwinkelreduktion betrug im Median 27° (0° bis $27,7^\circ$ Restschielwinkel) beziehungsweise 37° ($-3,4^\circ$ bis $16,7^\circ$ Restschielwinkel) und gleicht somit unseren Ergebnissen (27° bzw. 32°) (Hedergott et al., 2017).

Andere Modifikationen ergaben geringere Operationseffekte. Nishida et al. transponierten die Vertikalmotorhälften auf die Sklera, ohne den Lateralis zu tangieren. Die durchschnittliche Schielwinkelreduktion lag bei 25° (Nishida et al., 2003). Heckmann et al. erreichten mit dieser Modifikation, bei präoperativ im Vergleich zu unseren Patienten kleinerer Esotropie (19° und 21°), lediglich eine Schielwinkelreduktion von ca. 14° - 21° (24–36 PD), die Kombination mit einer Medialis-Rücklagerung ergab 29° - 35° Reduktion, ähnlich zu unseren Ergebnissen (Heckmann et al., 2021). Inal et al.

berichten über 36 Patienten mit Abduzensparalyse, die eine Woche vor der Muskeltransposition eine Botulinum-Toxin-Injektion in den M. rectus medialis erhielten. Die durchschnittliche Schielwinkelreduktion in ihrem Kollektiv betrug $48,2 \pm 19,27$ PD (Inal et al., 2020).

Neugebauer et al. untersuchten die Ergebnisse nach reiner Hummelsheim-Operation und nach ihrer Modifikation durch Fusion der Transponate auf dem Lateralis. Die Wirkung betrug $22^\circ \pm 7^\circ$ für die Originalmethode und $26^\circ \pm 6^\circ$ für die Modifikation (Neugebauer et al., 2001). Allein diese verschiedenen Modifikationen, ohne zusätzliche Medialis-Rücklagerung, bringen also nur einen begrenzten Gewinn.

Eine Medialis-Rücklagerung wurde bei unseren Patienten durchgeführt, wenn im intraoperativen „forced-duction-test“ keine genügende Abduzierbarkeit über die Mittellinie gegeben war. Ein weiteres Kriterium für die Durchführung einer Medialis-Rücklagerung stellen sehr große präoperative Schielwinkel dar. Bei präoperativ großen Schielwinkeln wirkt die Transposition mit gleichzeitiger Medialis-Rücklagerung deutlich stärker (mediane Schielwinkelreduktion 26° ohne, 45° mit zeitgleicher Medialis-Rücklagerung). Da der Effekt im postoperativen Verlauf vermutlich schon aus rein mechanischem Grund nachlässt (eventuelle Dehnung der Transponate sowie muskuläre Adaptation durch Abbau von Sarkomeren im rückgelagerten Medialis und dadurch wieder stärkerer Zug des Adduktors) und zudem eine geringe Überkorrektur durch fusionale Konvergenz kompensiert werden kann, ist im Zweifel das stärker wirkende Verfahren zu bevorzugen. Eine moderate initiale Überkorrektur erscheint sinnvoll.

4.3.2 Schielwinkelvergleich der Subgruppen

In den Tabellen 8 und 9 sind Ergebnisse von drei Arbeitsgruppen gegenübergestellt. Tabelle 8 zeigt präoperative Mittelwerte und Mittelwerte im postoperativen Verlauf für die jeweils modifizierte Hummelsheim-Operation: Gießen und Essen (Esser et al., 2009) mit Unterkreuzung des Lateralis, Köln (Hedergott et al., 2017; Neugebauer et al., 2001) mit Junktion der Transponate auf dem Lateralis. Die Tabelle zeigt die mittleren Schielwinkel an der Harms-Wand. Die eigenen Ergebnisse zeigen eine diskrete Überkorrektur, die im Verlauf abnimmt. Neugebauer et al. beschreiben nach kürzerem

postoperativen follow-up eine diskrete Überkorrektur. Bei ihren Patienten war der präoperative Schielwinkel geringer, vermutlich aufgrund der oben genannten Auslese, wonach bei größerer Esotropie bzw. stärkerer Bewegungseinschränkung im Pinzettentest eine simultane Medialis-Rücklagerung erfolgte (Neugebauer et al., 2001). Auch Esser et al. (nach 6-8 Wochen) und Gebauer fanden eine diskrete Überkorrektur (Esser et al., 2009; Gebauer, 1997).

Tabelle 8 Vergleich verschiedener Zentren

	Modifizierte Hummelsheim-OP		
	präoperativ	direkt postoperativ	postoperativer Verlauf
Köln (Neugebauer et al., 2001)	22,3° (±6,7°)	-	-0,2° (±2,6°) (6 Wochen)
Essen (Esser et al., 2009)	29° (Median)	-	-3° (Median) (6-8 Wochen)
Gießen (Gebauer et al., 1997)	30,5° (±14,3°)	2,1° (±10,3°)	6,6° (±6,7°)
Gießen Eigene Ergebnisse	28° (±8,9°)	-1,4° (±6,7°)	4° (±6,3°) (3-6 Monate)

Tabelle 9 zeigt den Vergleich mit der Arbeit von Hedergott et al. (Hedergott et al., 2017), die modifizierte Hummelsheim-Operationen und solche mit zeitgleicher Medialis-Rücklagerung auswerteten. Die präoperativen Schielwinkel waren in der eigenen vorliegenden Auswertung deutlich größer (vgl. auch Tab. 8).

Tabelle 9 Vergleich modifizierte Hummelsheim-OP und HH-OP allein und kombiniert mit zeitgleicher Medialis-Rücklagerung (Mediane, Mittelwerte ± Standardabweichungen für eigene Ergebnisse)

	Hummelsheim-OP			Kombinationseingriff		
	präoperativ	direkt postoperativ	postoperativer Verlauf	präoperativ	direkt postoperativ	postoperativer Verlauf
(Hedergott et al., 2017)	27° (MW 28,1°)	0° (MW 0,1°)	4° (MW 5,3°)	30,5° (MW 33,4°)	-2,3° (MW -2,1°)	-1,7° (MW 3,8°)
Eigene Ergebnisse (APCT)	33° (33° ±11°)	-2,5° (-1,2° ±8,4°)	4,3° (5,5° ±10°)	49° (48° ±9,2°)	-5° (-5,7° ±8,5°)	1,5° (0,63° ±8,1°)

In beiden Studien lagen die postoperativen Mittelwerte und Mediane der Restschielwinkel im Zielbereich ($< +5^\circ$ oder -5°). Sowohl ohne als auch mit Medialis-Rücklagerung ist eine Abnahme des Operationseffektes im Lauf der Zeit erkennbar (Hedergott et al., 2017; Neugebauer et al., 2001).

4.3.3 Motilität

In unserer Arbeit bestand postoperativ in 89 % der Fälle ein Adduktionsdefizit mit gleichzeitiger Zunahme der Abduktionsfähigkeit über die Mittellinie in 82 %. Bei 11 % war kein Adduktionsdefizit dokumentiert. In keinem Fall war die Adduktion komplett aufgehoben.

Carlson und Jampolsky wiesen in diesem Zusammenhang auf die Verlagerung der Kraftvektoren am Auge durch die Transpositionsoperation hin (Carlson & Jampolsky, 1979). Eine postoperative Adduktionseinschränkung entspricht somit den theoretischen Erwartungen. Hinzu kommt, dass der Medialis bei länger bestehender Paralyse eine Kontraktur entwickelt (Couser et al., 2012; Gebauer, 1997; Huber, 1981). Esser et al. berichten über die Reversibilität der Kontraktur (Esser et al., 2009). Durch die Dehnung des Muskels in Folge der Operation wäre eine Anpassung der Adduktion nach Operation möglich. Unsere Ergebnisse zeigen ebenfalls eine direkt postoperativ stärkere Adduktionseinschränkung als nach 3-6 Monaten. Auch schmerzbedingt kann die Adduktion direkt postoperativ eingeschränkt sein. Couser et al. nennen eine gleichzeitige oder spätere Medialis-Rücklagerung als zusätzlich einschränkenden Faktor (Couser et al., 2012). Wir fanden keinen eindeutigen Unterschied in der Adduktionsfähigkeit nach reiner Transposition im Vergleich zu den kombinierten Eingriffen (3.3.5.1).

4.3.4 Kopfzwangshaltung

Die kompensatorische Kopfhaltung ist abhängig vom Schielwinkel. Der Vergleich der präoperativen KZH mit den Werten bei Langzeitkontrolle ergab eine signifikante Reduktion der Kopfdrehung (von 30° auf 7° bei Fixation mit dem paretischen Auge).

Gebauer nennt 10° Kopfdrehung als Grenze, sofern ein Fusionsblickfeld postoperativ vorhanden war (Gebauer, 1997).

In der Studie von Motaref et al. nahmen fünf von elf Patienten postoperativ eine kompensatorische Kopfhaltung ein (MW 10°). Sie weisen explizit darauf hin, dass die Kopfdrehung von den Patienten nicht als störend empfunden wurde (Motaref et al., 2002). Es wurde von keinem Patienten berichtet, der eine Korrekturoperation benötigte. Arfeen et al. berichten über nur sechs von 35 Patienten in ihrer Hummelsheim-Gruppe, die postoperativ eine Kopfdrehung einnahmen (Arfeen et al., 2022). Bereits Holmes et al. diskutierten, dass eine Restzwangshaltung einen Operationserfolg nicht ausschließt (Holmes et al., 2001). In der kleinen Fallserie von Heckmann et al. nahmen von vier Patienten nach einer Transposition nach Nishida zwei keine Kopfzwangshaltung und zwei eine Drehung von 15° ein (Heckmann et al., 2021).

Die postoperative Kopfzwangshaltung ist kein sicherer Erfolgsparameter. Sie ist in Maßen tolerabel, wenn dadurch binokulares Einfachsehen erreicht wird. Dies ist bei großen oder vertikalen Restschielwinkeln nicht möglich.

4.3.5 Fusionsblickfeld

Angaben zum postoperativen Fusionsblickfeld sind in der Literatur sehr lückenhaft. Es wird teilweise lediglich auf Fusion als postoperatives Ziel hingewiesen (Andalib, 2016). Motaref et al. berichten über eine durch einen Teil der Patienten eingenommene Kopfzwangshaltung als Voraussetzung für Einfachsehen. Vier Patienten erreichten keine Fusion (Motaref et al., 2002).

Die Fusionsblickfelder in unserer Patientengruppe waren zur Gegenseite der Parese dezentriert (siehe 3.3.6), was durch die Häufigkeit einer Rest-Esotropie erklärt ist und die beschriebene KZH bedingt.

4.3.6 Binokularfunktion

In der gesichteten Literatur finden sich wenige Untersuchungen der Binokularfunktion. Arfeen et al. diskutieren die Relevanz der sensorisch visuellen Funktion zur Bewertung des Therapieerfolges (Arfeen et al., 2022). Neugebauer et al. berichteten über drei von sieben Patienten, die nach Hummelsheim-Operation eine Binokularfunktion aufwiesen (Neugebauer et al., 2001).

Bei vorhandener Fusion ist Stereosehen zu erwarten, wenn es vor Paralysebeginn vorhanden war und zusätzlich zur Abduzensparese keine weiteren Störungen im Bereich der visuellen Sensomotorik bestehen. Vorhandenes Stereosehen bestätigt daher lediglich die Fusion. Da das Stereosehen üblicherweise in der Nähe (0,3 m) geprüft wird, also in Adduktionsstellung des paretischen Auges, kann die erforderliche KZH kleiner sein als beim Blick in die Ferne. Diese wurde nicht separat erfasst, ein Stereosehen war in unserem Kollektiv postoperativ bei 13 von 36 Patienten vorhanden.

4.4 Alternative Operationsmethoden

4.4.1 Kombinierte Konvergenz-Operation

Die kombinierte Konvergenz-Operation findet eher Anwendung in der Therapie einer Abduzensparese als bei einer Abduzensparalyse (Kaufmann, 2004). Dabei wird eine Faltung oder Resektion des M. rectus lateralis mit einer Rücklagerung des M. rectus medialis kombiniert. Die Muskelstrecke, welche rückverlagert und gefaltet wird, ist abhängig von der Größe der Esotropie und der vorhandenen Motilität (Gebauer, 1997; Kaufmann, 2004).

Hoch dosierte Konvergenz-Operationen lieferten gute Effekte in der horizontalen, zeigten jedoch ebenfalls eine Einschränkung der vertikalen Motilität. Andere zyklovertikale Nebenwirkungen wie Höhenfehler oder Verrollungsschielen sind weniger zu erwarten. Als Argument für die Hummelsheim-Operation und andere Transpositionsverfahren, werden eine bessere Restmotilität und bessere Langzeitwirkung aufgeführt. Das Risiko einer Vorderabschnittsischämie ist jedoch höher als bei einer kombinierten

Konvergenzoperation, allerdings geringer als bei der kompletten Transposition der vertikalen Recti nach O'Connor (Esser et al., 2009).

4.4.2 Botulinumtoxin-Injektion

Die Botulinumtoxin-Injektion in den M. rectus medialis (Richards et al., 1992; Wabbels, 2019) ist als „off-label“ Behandlung möglich. Sie wird zur Symptomverbesserung bei beidseitiger Parese angewandt (Wabbels, 2019). Ziel der Injektion ist es, den Medialis zu lähmen, somit die Adduktion des Auges zu reduzieren und, präoperativ eingesetzt, die Abduktionswirkung der Hummelsheim-OP zu verstärken. Die Injektion ist zudem eine Alternative, wenn Kontraindikationen für operative Eingriffe vorliegen (Wabbels, 2019). Meist wird Botulinumtoxin in Kombination mit operativen Methoden verwendet. Das kann eine Rücklagerung des Medialis erübrigen. Sie reicht jedoch für eine dauerhafte Korrektur nicht aus (Andalib, 2016; Bagheri et al., 2010; Bansal et al., 2006; Chaudhuri, 2008).

4.5 Operationsbedingte Nebenwirkungen

In unserem Kollektiv waren keine direkt operationsbedingten Komplikationen beschrieben. Der okulovagale Reflex kann durch Reduktion des Muskelzuges oder medikamentös beherrscht werden. Postoperative Übelkeit oder Erbrechen (PONV) tritt vor allem bei Kindern nach Augenmuskel-Operationen auf, ist hier jedoch nicht evaluiert worden (Eberhart et al., 2004; Welters et al., 2000).

4.5.1 Höhenfehler

Durch die anteilige oder komplette Transposition der Vertikalmotoren können vertikale und torsionale Abweichungen induziert werden (Heckmann et al., 2021; Heede, 2018; Kolling, 2001). Die Transposition des Rectus superior nach temporal führt in alleiniger Durchführung zu einer Inzyklotropie und vertikalen Abweichung, die jedoch

beherrschbar zu sein scheint. Regelmäßig kommt es dabei aber zum Tieferstand des operierten Auges bei Abduktion (Velez FG, 2001).

In unserem Kollektiv zeigte sich im Mittel keine statistisch signifikante Änderung der Vertikaldeviation (alternierender Abdecktest und Tangententafel) zwischen präoperativen und postoperativen Werten (siehe 3.3.4.1, 3.3.4.2, 3.3.4.3 oben). Eine systematische Abhängigkeit des Höhenfehlers von der Seite des paretischen Auges fanden wir nicht. Es zeigte sich eine Verringerung des Interquartilabstandes, die als Folge einer sensomotorischen Adaptation zu interpretieren ist. Es zeigten jedoch weiterhin 13 % eine Vertikalabweichung nach 3-6 Monaten. Auch Hedergott et al. beschreiben dies, jedoch ohne Häufigkeitsangabe (Hedergott et al., 2017). Bei einigen unserer Patienten war die Vertikaldeviation stark ausgeprägt. In drei Fällen zeigte sich ein Tieferstand $>5^\circ$, in einem Fall ein Höherstand $>5^\circ$ noch nach 3-6 Monaten. Esser et al. berichten nur über einen von 17 Patienten, welcher postoperativ einen Tieferstand aufwies (Esser et al., 2009). Auch Gebauer beschreibt eine stark ausgeprägte Deviation nur in wenigen Fällen der modifizierten Hummelsheim Operation (7 von 31), wobei er jedoch keine Tendenz für einen Tiefer- oder Höherstand feststellt (Gebauer et al., 1997).

Bereits Carlson und Jampolsky beschreiben die möglichen Vertikalabweichungen in beide Richtungen (Carlson & Jampolsky, 1979). Esser et al. berichten über Abweichungen nach unten nach Transposition nach Hummelsheim mit und ohne Modifikation nach Kaufmann. Diese waren rückläufig, eine Begründung der gehäuften Abweichung nach unten lieferten sie nicht. Eine Korrekturoperation empfehlen sie erst nach einigen Wochen ohne Befundwandel (Esser et al., 2009). Couser et al. berichten über zwei ihrer zehn Patienten mit vertikalen Abweichungen nach oben nach Hummelsheim-Operation mit zeitgleicher Medialis-Rücklagerung. Ein dritter Patient wies multiple Hirnnervenparesen auf und schied aus (Couser et al., 2012). Vertikale Abweichungen wurden auch nach anderen Modifikationen beobachtet. Heede berichtet über dezente vertikale Abweichungen nach Transposition nach Foster, die bei zwei ihrer fünf Patienten auftraten (Heede, 2018). Andalib et al. berichten über unerwünschte vertikale Abweichung nach unten durch Transposition nach Foster in 14 % der Fälle (Andalib, 2016).

Die Berichte zeigen, dass Vertikalabweichungen bei Transpositionen der Augenmuskeln eine häufige Nebenwirkung darstellen.

4.5.2 Zyklorotatorische Abweichung

Verbunden mit vertikalen treten in der Regel auch zyklorotatorische Abweichungen auf. Die gesichtete Literatur enthält dazu kaum Daten, da die Zyklodeviation in der Regel nicht erfasst wurde.

Die Werte an der Harms-Wand zeigten, sowohl im Geradeausblick als auch im Seitblick zum operierten und nicht operierten Auge, jeweils eine diskrete mittlere Zyklodeviation, die sich im Verlauf zurückbildet. In Einzelfällen traten deutliche Abweichungen auf (Geradeausblick Maximum -11° Inzyklotropie; elf Patienten mit Inzyklotropie, zehn Patienten mit Exzyklotropie).

Somit ist die Zyklodeviation in beide Richtungen als mögliche Nebenwirkung zu betrachten, jedoch nur selten relevant.

4.5.3 Visus und Refraktion

Es zeigte sich keine signifikante Änderung des Visus und der Refraktion. Andere wie Hedergott et al. berichteten über keine Relevanz für die Operationsplanung (Hedergott et al., 2017).

4.5.4 Spezielle Risiken – Anteriore Segmentischämie

Im Rahmen einer Transpositionsoperation oder eines anderweitigen Eingriffes an der Augenmuskulatur ist das seltene Risiko einer anterioren Segmentischämie zu nennen (Bansal & Bamotra, 2015; Heckmann et al., 2021; Huber, 1981). Grund dafür ist die Blutversorgung des vorderen Augenabschnittes über die Aa. ciliares anteriores entlang der Augenmuskeln. Die Wahrscheinlichkeit einer Ischämie nimmt mit der Zahl der operierten Augenmuskeln zu (Saunders, 1994).

Ein Vorteil der Hummelsheim-Operation gegenüber vollständigen Transpositionsoperationen ist, dass lediglich die Hälften der vertikalen Recti transponiert und somit nur ein Teil der Aa. ciliares anteriores abgesetzt werden (Heede, 2018). Damit ist die Durchblutung der Vorderabschnitte über die restlichen Gefäße gegeben. Wird die Transposition mit einer Medialis-Rücklagerung kombiniert, fehlen weitere Gefäße zur Durchblutung. In der Horizontalen sind Aa. ciliares posteriores longae vorhanden. Trotzdem steigt bei Medialis-Rücklagerung das Risiko einer anterioren Segmentischämie (Coats & Olitsky, 2007; Scharwey et al., 2000). Couser et al. weisen auf eine wahrscheinliche Reduktion des Risikos einer anterioren Segmentischämie an demselben Auge bei Zwei-Muskel- gegenüber Drei-Muskeleingriff hin (Couser et al., 2012). Weitere Literaturhinweise bezüglich der Segmentischämie finden sich in den Arbeiten von Bansal et al. im Jahr 2015 (1 Fall), Heckmann et al. im Jahr 2021 und Huber et al. (beschreibend, kein Fall) bereits 1981 (Bansal & Bamotra, 2015; Heckmann et al., 2021; Huber, 1981). In einem Fallbericht wird ein Zusammenhang mit prädisponierenden Risikofaktoren vermutet (Bansal & Bamotra, 2015). Es werden Hypertonus, ausgeprägte Myopie, mikrovaskuläre Vorerkrankungen, Exophthalmus, Leukämie, Strahlentherapie, Sichelzellanämie oder vorherige sklerale Eingriffe als Risikofaktoren aufgeführt (Bansal & Bamotra, 2015). Zudem wurde ein höheres Ischämierisiko durch Limbus-Schnitte im Vergleich zu Fornix-Schnitten vermutet (Bansal & Bamotra, 2015; Couser et al., 2012; Helveston, 2005).

Die Bindehaut wurde in unserer Patientengruppe standardisiert über Limbus-Schnitte eröffnet. Wie Hedergott et al. hatten auch wir keinen Fall mit einer postoperativen Segmentischämie (Hedergott et al., 2017). Arfeen et al. berichten ebenfalls über keinen Fall von Segmentischämie nach Hummelsheim-Operation (41 Patienten). Nach Jensen-Operation von 38 Patienten zeigte ein Patient die typische Klinik (Arfeen et al., 2022).

Die Transposition nach Foster (verstärkte komplette Transposition der Vertikalmotoren mit posteriorer Sklerafixation der Transponate und dadurch verstärkte abduzierende Wirkung ohne Rücklagerung des M. rectus medialis) gilt als eine Methode mit einem geringen Risiko der konsekutiven anterioren Segmentischämie (Heede, 2018; Simon & Grajny, 2004). Heede et al. berichten in ihrer Arbeit über keinen Fall einer Ischämie bei fünf Patienten (Heede, 2018). Aus anatomischer Sicht ist jedoch ein höheres Risiko zu erwarten als nach Hummelsheim-Operation, da alle vorderen vertikalen Ciliararterien

abgesetzt werden. Der Vorteil besteht somit in einer eventuell ausreichenden Verstärkung des Horizontaleffektes ohne gleichzeitige Medialis-Rücklagerung.

Im Vergleich zur herkömmlichen Operation an den Horizontalmotoren ist das Ischämierisiko bei den genannten Transpositionen erhöht, weil dabei ein Teil oder alle vertikalen Ziliargefäße durchtrennt werden, die mehr als die vorderen horizontalen Ziliargefäße zur Durchblutung des vorderen Augenabschnittes beitragen. Bei alleiniger Transposition, ohne Medialis-Rücklagerung, kann eine transitorische Minderperfusion durch den erhöhten Augeninnendruck infolge der Transponatspannung entstehen. Dies ist ein Argument dafür, bei schlechter Durchblutungssituation, bei Hornhautproblemen sowie inkomplettem Lidschluss (Fazialisparese), aufgrund der nach Transposition vertikaler Recti eingeschränkten vertikalen Motilität, die auch das „Bell-Phänomen“ betrifft, auf eine Kombinierte-Konvergenz-Operation auszuweichen.

4.6 Limitierungen

In dieser Arbeit erfolgte kein direkter Vergleich mit anderen Operationsmethoden zur Behandlung einer Abduzensparalyse, sodass eine Therapieempfehlung lediglich aufgrund der zufriedenstellenden postoperativen Ergebnisse gegeben werden kann. Die Empfehlung rät nicht von abweichenden Verfahren ab.

Die Operationen wurden durch verschiedene Operateure durchgeführt. Individuelle Unterschiede trotz einer standardisierten Operationstechnik lassen sich nicht ausschließen. Der „forced duction test“ wurde stets zu Operationsbeginn durchgeführt, jedoch obliegt die Entscheidung zusätzlich den Medialis rückzulagern der subjektiven Beurteilung durch den Operateur. Dies entspricht der klinischen Realität auch in anderen Zentren.

Die Rücklaufquote von 77 % ist zwar in Anbetracht des sehr großen Einzugsgebietes der Klinik hoch, schränkt aber doch die Aussagekraft ein. Ein gutes Ergebnis kann dazu führen, dass postoperative Kontrollen nicht mehr wahrgenommen werden. Weiterer Korrekturbedarf ist ein Grund erneut vorstellig zu werden. Andererseits kann auch

Unzufriedenheit mit der Behandlung dazu führen, dass eine weitere Untersuchung abgelehnt wird.

4.7 Therapieempfehlungen

In der Literatur existieren klare Empfehlungen bezüglich der Therapie einer einseitigen Abduzensparese. Es besteht eine Indikation für eine Transposition, wenn die Abduktion nur maximal bis zur Mittellinie möglich ist (Esser et al., 2009; Kaufmann & Gebauer, 1993). Die Empfehlung, eine Hummelsheim-Operation in der ursprünglichen Form durchzuführen, gilt bei horizontalen Schielwinkeln $<20^\circ$. Kaufmanns Modifikation findet Anwendung bei einem präoperativen Schielwinkel von $>20^\circ$ (Esser et al., 2009).

Eine präoperative Schwächung durch Injektion von Botulinum-Toxin in den M. rectus medialis bei Abduzenparalyse kann womöglich den Erfolg einer anschließenden Operation verbessern sowie die Operation an sich vereinfachen und kann als additives Verfahren hinzugezogen werden (Wabbels, 2019). Andalib (Andalib, 2016) berichtet über Ergebnisse intraoperativer Botox-Injektionen bei kontraktem M. rectus medialis und empfiehlt eine intraoperative (nicht präoperative) Injektion bei großen Schielwinkeln (>45 PD). Zudem sei auch eine postoperative Anwendung bei nicht ausreichendem Therapieerfolg sinnvoll. Die Injektion steht als gefäßschonende, Alternative anstelle einer Medialis-Rücklagerung zur Verfügung, um kleine postoperative Restschielwinkel zu therapieren (Bagheri et al., 2010). Durch Vermeidung eines Eingriffes am M. rectus medialis ist von einem geringeren Risiko einer anterioren Segmentischämie auszugehen.

Möglichkeiten zum Ausgleich unerwünschter vertikaler Abweichungen werden von Andalib et al. thematisiert. Sie beschreiben einen präventiven Effekt adjustierbarer skleraler Nähte (Andalib, 2016). Carlson und Jampolsky beschreiben eine Vereinigung der Transponate aus den Vertikalmotoren. Dies soll zu einer Balance der muskulären Kräfte führen. Der M. rectus medialis wird hierfür rückgelagert, die temporalen Transponate der Vertikalmotoren werden vernäht und vor der Insertion des Lateralis am Bulbus fixiert, sodass ihre Kraftvektoren sich ausgleichen (Carlson & Jampolsky, 1979).

Allen Modifikationen ist gemein, dass sich die hebende, einwärts rollende Kraft des Rectus superior Transponats und die senkende, auswärtsrollende Kraft des Rectus inferior Transponats neutralisieren müssen, damit ein rein abduzierender Summenvektor resultiert. Je stärker die Traktion der beiden Transponate ist, umso eher kann eine störende Imbalance entstehen.

Zur Schonung weiterer Augenmuskeln sowie der Ziliargefäße wird die alleinige Transposition des Musculus rectus superior mit einer Medialis-Rücklagerung kombiniert. Eine kleine Fallserie von sieben Patienten mit Abduzensparalyse zeigt zufriedenstellende Ergebnisse, ohne wesentliche zyklorotatorischen Nebenwirkungen und bei nur zwei von sieben Patienten vertikale Abweichungen im Geradeausblick (Mehendale 2012).

5 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war die Auswertung der nach Kaufmann modifizierten Hummelsheim-Operation zur Behandlung einer Abduzensparalyse. 47 Patienten, die zwischen 1997 und 2020 an der Universitätsaugenklinik Gießen einen entsprechenden Eingriff erhielten, wurden untersucht.

Die Bewertung der Operationsergebnisse erfolgte anhand der Schielwinkel, der maximalen monokularen Exkursion sowie des Fusionsblickfeldes und der postoperativen Kopfdrehung.

Die Esotropie war postoperativ deutlich reduziert. Die mittlere initiale Überkorrektur ließ im postoperativen Verlauf nach, sodass der Betrag des mittleren und medianen Schielwinkels am Ende der Nachbeobachtungszeit im Zielbereich $<5^\circ$ lag. Die mittlere Schielwinkelreduktion betrug ca. 27° (Hummelsheim-Gruppe) sowie ca. 43° (mit zeitgleicher Medialis-Rücklagerung), die individuelle Streuung war groß. Bei 40 von 47 Patienten konnte eine Abduktion über die Mittellinie wiederhergestellt werden. Einschränkungen der Adduktion traten in 89% der Fälle auf. Eine Fusion der Seheindrücke beider Augen bestand postoperativ bei 23 von 30 Patienten, wobei eine kompensatorische Kopfdrehung bis zu einem gewissen Grad toleriert wurde (acht Patienten $>10^\circ$, neun Patienten $>5^\circ$ - 10°).

Zyklovertikale Abweichungen waren als Nebenwirkung nicht selten. Bei vier Patienten betrug die vertikale Abweichung $>5^\circ$, wobei ein Tieferstand häufiger war als ein Höherstand. Eine Korrelation zwischen vertikalen und zyklorotatorischen Abweichungen konnte nicht gesichert werden.

Eine postoperative Zunahme des Effektes war nicht zu verzeichnen, stattdessen nahm der Effekt postoperativ ab. Die Wirkung der Transposition wurde durch die Medialis-Rücklagerung deutlich verstärkt. Mit und ohne Medialis-Rücklagerung nahm der initiale Operationseffekt im Lauf der Nachbeobachtungszeit ab.

6 Summary

Aim of this study was to evaluate results of Hummelsheim surgery as modified by Kaufmann for abducens-nerve-paralysis at the University Eye Hospital Gießen. Data of 47 patients were analyzed who were treated between 1997 and 2020.

The evaluation included pre- and postoperative angles of strabismus, maximum monocular excursion, the field of binocular vision as well as compensatory head posture.

Following surgery, esotropia was significantly reduced. Slight mean overcorrection initially after surgery decreased in the postoperative period. The mean angle of esotropia was significantly reduced after 3 to 6 months ($<5^\circ$). The median reduction of esotropia amounted to 27° (modified Hummelsheim surgery) and 43° (modified Hummelsheim surgery with simultaneous ipsilateral medial rectus recession) however individual scatter was large. Abduction exceeding the midline was restored in 40 cases (82 %). Recovery of binocular vision was documented in 23 of 30 patients. Compensatory head turn for fusion amounted 5° to 10° in 9 cases and $>10^\circ$ in 8 cases.

Persistent vertical deviations $>5^\circ$ occurred in 4 cases. Cyclovertical deviations were common. A correlation between vertical and cyclorotatory deviations could not be proven.

The effect of surgery showed a slight decrease during the postoperative period. Combination with simultaneous ipsilateral medial rectus recession in cases of severely restricted motility as confirmed by intraoperative positive "forced duction test" significantly augmented the effect of the transposition procedure.

7 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Volltext
APCT	Alternierender Prismenabdecktest
HD	Horizontaldeviation
HH	Hummelsheim-Operation
HHLF	Hummelsheim-Operation mit Lateralis- Faltung
HHMR	Hummelsheim-Operation mit Medialis- Rücklagerung
MRL	Musculus rectus lateralis
MRM	Musculus rectus medialis
NOPA	Nicht operiertes Auge
N. VI	Nervus abducens
OPA	Operiertes Auge
PA	Paretisches Auge
PP	Primärposition
PD	Prismendioptrie
PVJ-Lösung	Povidon-Jod-Lösung
VAA	Vorderer Augenabschnitt
VD	Vertikaldeviation
ZD	Zyklodeviation

8 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: MODIFIKATIONEN.....	8
ABBILDUNG 2: INTRAOPERATIVER SITUS	10
ABBILDUNG 3: TRANSPONAT MUSCULUS RECTUS SUPERIOR.....	11
ABBILDUNG 4: TRANSPONAT MUSCULUS RECTUS INFERIOR	12
ABBILDUNG 5: KREUZUNG UNTER DEM MUSCULUS RECTUS LATERALIS	13
ABBILDUNG 6: OPERATIONSENDE	13
ABBILDUNG 7: FLUSSDIAGRAMM DATENERHEBUNG.....	15
ABBILDUNG 8: BAGOLINI-TEST.....	19
ABBILDUNG 9: TANGENTENSKALA NACH HARMS	20
ABBILDUNG 10: BEDIENELEMENTE FÜR DIE HARMS-WAND	22
ABBILDUNG 11: GESCHLECHTSVERTEILUNG	26
ABBILDUNG 12: ALTER DER PATIENTEN	27
ABBILDUNG 13: PARESEURSACHE	28
ABBILDUNG 14: PARESEDAUER.....	29
ABBILDUNG 15: VOROPERATIONEN.....	29
ABBILDUNG 16: OPERATIONSTECHNIK.....	30
ABBILDUNG 17: OPERATEURE.....	31
ABBILDUNG 18: VISUS	32
ABBILDUNG 19: REFRAKTION	33
ABBILDUNG 20: MAXIMALER HORIZONTALSCHIELWINKEL	34
ABBILDUNG 21: MAXIMALER VERTIKALSCHIELWINKEL	35
ABBILDUNG 22: MANIFESTER HORIZONTALSCHIELWINKEL IN DER FERNE	36
ABBILDUNG 23: MANIFESTER HORIZONTALSCHIELWINKEL IN DER NÄHE.....	37
ABBILDUNG 24: MANIFESTE VERTIKALSCHIELWINKEL IN DER FERNE	38
ABBILDUNG 25: MANIFESTE VERTIKALSCHIELWINKEL IN DER NÄHE	39
ABBILDUNG 26: SUBJEKTIVE SCHIELWINKEL IM GERADEAUSBLICK	40
ABBILDUNG 27: SUBJEKTIVE SCHIELWINKEL IM SEITBLICK (OPA)	41
ABBILDUNG 28: SUBJEKTIVE WINKEL IM SEITBLICK (NOPA)	42
ABBILDUNG 29: HORIZONTALE MOTILITÄT	45
ABBILDUNG 30: VERTIKALE MOTILITÄT	46

ABBILDUNG 31: FELD DES BINOKULAREN EINFACHSEHENS, RECHTSSEITIGE PARALYSEN	47
ABBILDUNG 32: FELD DES BINOKULAREN EINFACHSEHENS, LINKSSEITIGE PARALYSEN ..	48
ABBILDUNG 33: KOPFZWANGSHALTUNG	49
ABBILDUNG 34: BINOKULARFUNKTION (BF)	50

9 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1 EINSCHLUSSKRITERIEN	14
TABELLE 2 AUSSCHLUSSKRITERIEN	15
TABELLE 3 KLASSENEINTEILUNG BINOKULARFUNKTION.....	18
TABELLE 4 ÜBERSICHT SCHIELWINKEL-ERGEBNISSE.....	43
TABELLE 5 SUBGRUPPEN.....	51
TABELLE 6 MEDIANE DER SUBGRUPPEN	51
TABELLE 7 OPERATIONSEFFEKTE	52
TABELLE 8 VERGLEICH HUMMELSHEIM-OP, VERSCHIEDENEN ZENTREN.....	59
TABELLE 9 VERGLEICH MODIFIZIERTE HUMMELSHEIM-OP UND HH-OP ALLEIN UND KOMBINIERT MIT ZEITGLEICHER MEDIALIS-RÜCKLAGERUNG	59
TABELLE 10 ÜBERSICHT ALTERNIERENDE WINKEL ALLE PATIENTEN.....	81
TABELLE 11 ÜBERSICHT HARMS-WAND ALLE PATIENTEN	82

10 Literaturverzeichnis

- Andalib, D, Nabie, R (2016). Augmented vertical recti transposition with intraoperative botulinum toxin for complete and chronic sixth nerve palsy. *Eye (Lond)*, 31, 148–151. doi:10.1038/eye.2016.226
- Arfeen, S, Azzab, M, Saad, Z, Awadein, A, Kasem, M, Elkamshoushy, A (2022). Comparison between Hummelsheim and Jensen procedures in the management of chronic sixth nerve palsy. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 260, 363-369. doi: 10.1007/s00417-021-05352-4
- Aumüller, G, Aust, G, Engele, J (2014). Nerven im Kopfbereich - Hirnnerven (Nervi craniales), *Duale Reihe Anatomie (Vol. 3, 982-985)*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Bagheri, A, Babsharif, B, Abrishami, M, Salour, H, Aletaha, M (2010). Outcomes of surgical and non-surgical treatment for sixth nerve palsy. *J Ophthalmic Vis Res*, 5, 32-37.
- Bansal, RK, Bamotra, RK (2015). Anterior segment ischemia following Hummelsheim procedure in a case of sixth nerve palsy. *Indian J Ophthalmol*, 63, 543-544. doi:10.4103/0301-4738.162619
- Bansal, S, Khan, J, Marsh, IB (2006). Unaugmented vertical muscle transposition surgery for chronic sixth nerve paralysis. *Strabismus* 14, 177-181. doi:10.1080/09273970601026201
- Barry, JC (1999). Hirschberg erred here: the correct angle factor is 12 degrees pro mm corneal reflex decentration. *Geometric optical analysis of various methods in strabismometry. Klin Monbl Augenheilkd*, 215, 104-113. doi: 10.1055/s-2008-1034681
- Böker, D-K, Deinsberger, W (2004). Die chirurgische Behandlung der Augenmuskelparesen, *Schädelbasischirurgie*. (151-155). Wien: Springer Verlag.
- Brodie, SE (1992). Corneal topography and the Hirschberg test. *Appl Opt*, 31, 3627-3631. doi: 10.1364/AO.31.003627
- Carlson, MR, Jampolsky, A (1979). An adjustable transposition procedure for abduction deficiencies. *Am J Ophthalmol*, 87, 382-387, doi: 10.1016/0002-9394(79)90081-3

- Chaudhuri, Z (2008). Step by Step Clinical Management of Strabismus (Vol. 1). New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd.
- Coats, DK, Olitsky, SE (2007). Strabismus Surgery and its Complications: Springer Verlag. DOI:10.1007/978-3-540-32704-2
- Couser, NL, Lenhart, PD, Hutchinson, AK (2012). Augmented Hummelsheim procedure to treat complete abducens nerve palsy. J AAPOS, 16:331-335. doi:10.1016/j.jaapos.2012.02.015
- Dietze, H (2018). Die Bestimmung der Sehschärfe. Klin Monbl Augenheilkd, 235, 1057-1073, DOI: 10.1055/a-0654-2138
- Eberhart, LHJ, Geldner, G, Kranke, P, Morin, AM, Schäuffelen, A, Treiber, H, Wulf, H (2004). The development and validation of a risk score to predict the probability of postoperative vomiting in pediatric patients. Anesth Analg, 99, 1630-1637. doi: 10.1213/01.ANE.0000135639.57715.6C
- Esser, J, Schmitz, F, Eckstein, A (2009). Augenmuskelchirurgie bei einseitiger Abduzensparese. Klin Monbl Augenheilkd, 226, 812-817. doi:10.1055/s-0028-1109730
- Foster, RS (1997). Vertical muscle transposition augmented with lateral fixation. J AAPOS, 1, 20–30, doi: 10.1016/s1091-8531(97)90019-7
- Frank, J, Laszlo, A, Gräf, M (2020). Zur Messung großer Schielwinkel. Z prakt Augenheilkd, 41, 1-7.
- Gaspar, Dr. H (2010). Ätiologie und genetische Aspekte der Möbius-Sequenz. In: Der Ophthalmologe, 107, 704-707.
- Gebauer, HM (1997). Chirurgische Therapie von Abduzenslähmungen durch Transpositionsverfahren und kombinierte Konvergenz-Operation. Justus-Liebig-Universität Gießen, Giessen.
- Haase, W (1976). Messung der maximalen Bewegungstrecken der Bulbi. Albrecht von Graefes Arch Klin Ophthalmol, 198, 291-296, <https://doi.org/10.1007/BF00410721>
- Heckmann, J, Todorova, M, Sturm, V (2021). Augenmuskeltransposition nach Nishida bei Abduzensparese. Klin Monbl Augenheilkd, 238, 493-498. DOI: 10.1055/a-1403-2943
- Hedergott, AM, Wild, D, Fricke, J, Neugebauer, A (2017). Effekt von Muskeltranspositionen nach dem Hummelsheim-Prinzip mit und ohne zeitgleiche

- Rücklagerung des M. rectus internus. *Klin Monbl Augenheilkd*, 235, 1096-1104.
DOI:10.1055/s-0043-121073
- Heede, S (2018). Komplette vertikale Transposition der Vertikalmotoren modifiziert nach Foster als Operationstechnik für Abduzensparese. *Klin Monbl Augenheilkd*, 235, 1088-1095. DOI: 10.1055/s-0044-101151
- Helmchen, C et al. (2021). Augenbewegungsstörungen inkl. Nystagmus, S1-Leitlinie. in: Deutsche Gesellschaft für Neurologie (Hrsg.), Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. 2.0, 1-51.
- Helveston, EM (2005). Muscle transposition procedures. In *Surgical Management of Strabismus* (5th Edition, 265-274). Oostende-Belgium: Wayenborgh Publishing.
- Herzau, V, Ionnakis, K (1996). Pathogenesis of eso- and hypotropia in high myopia. *Klin Monbl Augenheilkd*, 208, 33-36. doi: 10.1055/s-2008-1035165
- Hollwich, F (1988). *Augenheilkunde* (11. Auflage). Stuttgart.
- Holmes, JM, Leske, DA, Christiansen, SP (2001). Initial Treatment Outcomes in Chronic Sixth Nerve Palsy. *J AAPOS*, 5, 370-376. doi:10.1067/mpa.2001.120176
- Huber, A (1981). Chirurgische Therapie der Augenmuskellähmungen. *Klin Monbl Augenheilkd*, 178, 256-264. doi:10.1055/s-2008-1057198
- Hummelsheim, E (1907). Über Sehmentransplantation am Auge. *Ophthalmol Ges Heidelberg Ber*, 34, 248–253
- Hummelsheim, E (1909). Weitere Erfahrungen mit partieller Sehnen-Überpflanzung an den Augenmuskeln. *Arch Augenheilkd*, 62, 71–74
- Inal, A, Gokyigit, B, Ocak, OB, Aygit, ED, Celik, S (2020). Vertical rectus muscle union combined with lateral rectus plication for complete abducens nerve palsy. *Int Ophthalmol*, 40, 423-429. doi: 10.1007/s10792-019-01200-x
- Jensen, CD (1964). Rectus muscle union: a new operation for paralysis of the rectus muscles. *Trans Pac Coast Otoophthalmol Soc Annu Meet*, 45, 359
- Kapoor, S, Prabu, R, Udayakumar, S (2018). Sixth nerve palsy. *Adv Ophthalmol Vis Syst* 8: 00260. DOI: 10.15406/aovs.2018.08.00260
- Kaufmann, H (1984). Theorie und Praxis der modernen Schielbehandlung. In Meyer-Schwickerath/Ullerich (Ed.), *Bücherei des Augenarztes* (283-291): Enke Verlag.
- Kaufmann, H (2004). *Strabismus* (3. Auflage), Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Kaufmann, H, Gebauer, HM (1993). Transposition procedures vs recession-resection procedures: surgical results in 121 cases of N VI palsy. In H. Kaufmann (Ed.), *Transactions 21st meeting European Strabismological Assosiation*. Salzburg.

- Kolling, GH (2001). Zur Therapie der Abduzensparalyse. *Der Ophthalmologe*, 98, 1169–1175.
- Krzizok, T, Kaufmann, H, Traupe, H (1997). New approach in strabismus surgery in high myopia. *Br J Ophthalmol*, 81, 625-630. doi: 10.1136/bjo.81.8.625
- Lefèvre, D (2022). Der Abdecktest – Schritt für Schritt. *Augenheilkunde update*, 12, 1-4. doi: 10.1055/a-1815-8242
- Mehendale, RA, Dagi, LR, Wu, C, Ledoux, D, Johnston, S, Hunter, DG (2012). Superior rectus transposition and medial rectus recession for Duane syndrome and sixth nerve palsy. *Arch Ophthalmol*, 130, 195-201. doi: 10.1001/archophthalmol.2011.384
- Miettinen, P, Aine, E, Partanen, M (1985). O’Connors Operationsmethode bei Abducens-Paralyse. *Klin Monbl Augenheilkd*, 187, 447-448. doi:10.1055/s-2008-1054369
- Motaref, B, Schmid, I, Lorenz, B (2002). Ergebnisse nach operativer Behandlung der Abduzensparalyse. *Ophthalmologe* 99, 358–362. doi:https://doi-org.ezproxy.uni-giessen.de/10.1007/s00347-001-0567-8
- Neugebauer, A, Fricke, J (2012). Messung der Horizontal- und Vertikaldeviation mit Tangentenskalen. *Strabismus* (4. Auflage, 377-379): Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Neugebauer, A, Fricke, J, Rüssmann, W (2012). Untersuchung der Sensorik. In Kaufmann (Ed.), *Strabismus* (4. Auflage, 403-416): Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Neugebauer, A, Fricke, J, Kirsch, A, Rüssmann, W (2001). Modified transposition procedure of the vertical recti in sixth nerve palsy. *Am J Ophthalmol*, 131, 359-363. doi:10.1016/S0002-9394(00)00805-9
- Nishida, Y, Inatomi, A, Aoki, Y, Hayashi, O, Iwami, T, Oda, S, Kani, K (2003). A muscle transposition procedure for abducens palsy, in which the halves of the vertical rectus muscle bellies are sutured onto the sclera. *Jpn J Ophthalmol*, 47, 281–286. doi:10.1016/s0021-5155(03)00021-2
- O’Connor, R (1921). Transplantation of ocular muscles. *American Journal of Ophthalmology*, 4, 838–845.
- Park, UC, Kim, SJ, Hwang, JM, Yu, Y (2008). Clinical features and natural history of acquired third, fourth, and sixth cranial nerve palsy. *Eye (Lond)*, 22, 691-696. doi:10.1038/sj.eye.6702720

- Peragallo, JH, Bruce, BB, Hutchinson, AK, Lenhardt, PD, Biousse, V, Newman, NJ, Lambert, SR (2014). Functional and motor outcomes of strabismus surgery for chronic isolated adult sixth nerve palsy. *Neuroophthalmology*, 9, 38, 320-325. doi:10.3109/01658107.2014.957780
- Richards, BW, Jones, FR Junior, Younge, BR (1992). Causes and prognosis in 4,278 cases of paralysis of the oculomotor, trochlear, and abducens cranial nerves. *Am J Ophthalmol*, 113, 489-496. doi:10.1016/S0002-9394(14)74718-X
- Rosenbaum, AL, Santiago, AP (1999). *Clinical Strabismus Management: Principles and Surgical Techniques*. Philadelphia, Pennsylvania 19106: W.B. Saunders Company.
- Saunders, RA, Bluestein, EC, Wilson, ME, Berland, JE (1994). Anterior Segment Ischemia After Strabismus Surgery. *Surv Ophthalmol*, 38, 456-466. doi: 10.1016/0039-6257(94)90175-9
- Scharwey, S, Gräf, M, Becker, R, Kaufmann, H (2000). Heilungsverlauf und Komplikationen nach Augenmuskeloperationen. *Ophthalmologe* 97, 22-26.
- Simon, JW, Grajny, A (2004). Anterior segment ischemia following augmented 2-muscle transposition surgery. *J AAPOS*, 8, 586-587. doi:10.1016/j.jaapos.2004.08.010
- Thömke, F (2008). Erworbene Abduzensparesen. In Smith, Kömph, Leigh, & Zee (Eds.), *Augenbewegungsstörungen* (Vol. 2). Stuttgart: Thieme Verlagsgruppe.
- Tyedmers, M, Roper-Hall, G (2006). The harms tangent screen test. *Am Orthopt Journal*, 56, 175-179. doi: 10.3368/aoj.56.1.175
- Velez, FG, Fosterm RS, Rosenbaum, AL. (2001). Vertical rectus muscle augmented transposition in Duane syndrome. *J AAPOS*, 5, 105-113. doi: 10.1067/mpa.2001.112677
- Wabbels, B (2019). Botulinumtoxin in der Augenheilkunde. *Klin Monbl Augenheilkd*, 236, 825-836. doi:https://doi.org/10.1055/a-0885-2107
- Welters, I, Graef, M, Menges, T, Beikirch, C, Kaufmann, H, Hempelmann, G (2000). Postoperative nausea and vomiting after Faden operation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 238, 59-63. doi: 10.1007/s004170050010

11 Anhang

Tabelle 10 Übersicht Alternierende Winkel alle Patienten

ID	OP r,l,b	A fern HD prä	A nah HD prä	A fern HD post	A nah HD post	A fern HD 3-6	A nah HD 3-6
34	r	+48	+52	+4	+6	+8	+5
19	r	+32	+25	+2	-4	+8	+4
23	l	+36	+38	+4	+4	+4	+0,5
22	r	+48	+48	f	0	+5	-1
8	l	+49	+44	-12	-18	+3	+3
63	l	+37	+37	0	-1	+17	+17
43	r	+46	+45	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
6	r	+50	fehlt	+5	+4	fehlt	fehlt
56	r	+40	+40	+11	+10	+17	+12
40	l	+26	+23	-2	-7	+4,5	0
68	l	+60	+60	-5	-15	+4	+3
16	l	+26	+18	-4	-14	+3	0
52	l	+26	+35	+3	-3	+2	0
46	r	+49	+44	-6	-8	fehlt	fehlt
51	r	+35	+30	0	-5	+11	+7
44	r	+49	+46	-1,5	-3	0	-3,5
80	l	+40	+33	+3	+3	+3	+3,5
60	r	+30	+25	-5	-5	fehlt	fehlt
54	r	+21	+14	-8	-14	fehlt	fehlt
29	l	+33	+32	-2	-12	+5	-2
72	r	+46	+46	-8	-6	-6	-8
73	r	+25	+20	-7	-10	-14	-23
74	l	+50	+45	+20	+15	fehlt	fehlt
75	l	+48	+34	-5	-15	-7	-16
76	l	+50	+33	-6	-8	-3	-6
77	r	+34	+26	-6	-4	fehlt	fehlt
78	r	+16	+16	-4	-6	+8	+5
79	l	+53	+45	-14	-18	-15	-23
81	l	+34	+27	+3	-8	+7	0
55	r	+18	+18	-14	-16	0	-3,5
62	l	+22	+17	-14	-23	fehlt	fehlt
64	l	+22	+11	+3	-4	+15	+8
102	l	+40	+34	+3	-2	+9	+2
104	l	+24	+23	-3	-7	+5	-1
105	r	+60	fehlt	+1	-3	0	0
106	l	+45	+45	+28	+18	+42,5	+45
107	r	+30	+28	-9	-13	fehlt	fehlt
109	l	+31	+27	-7	-18	0	0
5	l	+21	+12	-9	-16	-1	-6
30	r	+34	+22	0	0	+2	+4
2	l	+39	+27	-13	-16	-5	-10
66	l	+23	+17	-9	-16	fehlt	fehlt
31	r	+44	+38	+1	+8	+12	+9
85	l	+20	+18	+2	0	+14	+8
84	r	+37,5	+36	-17	-18	-1	-4
95	r	+26	+22	-4	-6	+1	+1
59	r	+22	+17,5	+6	+3	fehlt	fehlt

Tabelle 11 Übersicht Harms-Wand alle Patienten

ID	OP r,l,b	Harms HD prä	RB HD prä	LB HD prä	Harms HD post	RB HD post	LB HD post	Harms HD 3-6	RB HD 3-6	LB HD 3-6
34	r	+39	+65	+29	+11	+35	-4	+12	+30	+1
19	r	+21	+35	+13	0	+13	-14	+7	+18	+0,5
23	l	+32	+16	+54	0	-16	+17	+4	-3	+21
22	r	+34	+50	+16	fehlt	fehlt	fehlt	+7	+26	+0,5
8	l	+39	+28,5	+51	-12	-27	+8	-0,5	-8	+17
63	l	+32	+19,4	+47	+4	-12	+18	+17	+5	+35
43	r	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
6	r	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
56	r	+38	+51	+26	+12	+25	+1	+18	+32	+8
40	l	+21	+14	+38	+0,5	-12	+18	+0,5	-2	+15
68	l	fehlt	fehlt	fehlt	-4	-18	+15	+5	-6	+20
16	l	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
52	l	+23	+20	+26	-5	-21	+9	fehlt	fehlt	fehlt
46	r	+40	+59	+21	-4	+13	-19	fehlt	fehlt	fehlt
51	r	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
44	r	+35	+59	+16	+0,5	+13	-13	+1	+12	-10
80	l	+34	+22	+54	+2	-9	+17	+3	+1	+15
60	r	+26	+48	+8	-6	+13	-20	fehlt	fehlt	fehlt
54	r	+21	+37	+9,5	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
29	l	+30	+20	+45	-1	-12	+15	+2	-2	+14
72	r	+44	+65	+30	-2	+17	-17	+3	+21	-1
73	r	+27	+45	+21	fehlt	fehlt	fehlt	-9	+1,5	-21
74	l	+54	+35	+90	+11	-3	+28	fehlt	fehlt	fehlt
75	l	+32	+15	+50	-7	-22	+8	-9	-19	+2
76	l	+36	+26	+54	-8	-23	+8	-2	-10	+10
77	r	+32	+60	+20	0	+16	-14	fehlt	fehlt	fehlt
78	r	+19	+40	+7	+3	+15	-15	+7	+24	-5
79	l	+46	+34	+90	-18	-33	-1	-16	-26	+1,5
81	l	+30	+18	+46	0	-20	+8	+6	0	+20
55	r	+19	+39	+11	fehlt	fehlt	fehlt	0	+14	-11
62	l	+20	+10	+35	-14	-23	-1	fehlt	fehlt	fehlt
64	l	+17	+7	+33	+3,5	-6	+17	+11	0	+24
102	l	+33	+18	+48	+4	-8	+20	+7	-2	+18
104	l	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	+3,5	-8	+20
105	r	nm	nm	nm	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
106	l	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
107	r	+28	+44	+16	-7	+8	-16	fehlt	fehlt	fehlt
109	l	+26	+18	+60	-10	-24	+8	+1	-6	+14
5	l	+20	+11	+40	-11	-22	+8	+0,5	-11	+13
30	r	fehlt	fehlt	fehlt	-1	+14	-13	+2	+15	-2
2	l	+30	+19	+50	-18	-33	-0,5	-7	-17	+8
66	l	+19	+10	+35	-13	-26	+3	fehlt	fehlt	fehlt
31	r	+40	+50	+21	+2,5	+15	-7	+7	+24	0
85	l	+16	0	+30	+1	-9	+17	+11	-1	+25
84	r	nm	nm	nm	-10	+6	-26	+1	+17	-12
95	r	+20	+32	+10	-9	+1	-26	+2,5	+17	-6
59	r	+19	+38	+5	+11	+28	-2	fehlt	fehlt	fehlt

12 Publikationen

Gräf M, Groß J, Leder K: Transpositionen bei Abduzensparalyse. Vortrag gehalten beim Kongress der Augenärztlichen Akademie Deutschland (AAD), Düsseldorf, 19.3.2022.

13 Ehrenwörtliche Erklärung

„Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nichtveröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren.

Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Datum

Unterschrift

14 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Doktorarbeit unterstützt und motiviert haben.

An erster Stelle gilt mein Dank Herrn Prof. Dr. med. Gräf, der meine Dissertation betreut und geleitet hat. Ich bedanke mich vielmals für die Anregungen, fachliche Unterstützung und konstruktive Kritik zur Fertigstellung meiner Arbeit.

Weiterhin bedanke ich mich bei meiner Betreuerin, Frau Groß, die mir viele Stunden ihrer Zeit geschenkt hat sowie immer ein offenes Ohr für meine unzähligen Fragen hatte.

Ebenfalls möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, ohne deren motivierende Unterstützung mein Studium sowie mein gesamter Werdegang nicht möglich gewesen wäre.

Ein besonderer Dank gilt meinem Partner, Niklas Dentzien. Danke für deine unglaubliche Unterstützung, dein Verständnis und die nötige Motivation, die mich die gesamte Zeit begleitet haben.