TRANSPOSITIONSOPERATIONEN BEI OKULOMOTORIUSPARESE

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

vorgelegt von Okcu, Arda
aus Kadiköy

Gießen 2026

Aus dem Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen
Klinik für Augenheilkunde
Universitätsklinikum Gießen und Marburg
Standort Gießen

Gutachter: Prof. Dr. Michael Gräf
Gutachter: Prof. Dr. Tobias Struffert

Tag der Disputation: 02.09.2026

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1
1.1 Anatomische Grundlagen 3
1.1.1 N. oculomotorius 3
1.1.2 Augen- und Lidmuskeln 4
1.2 Okulomotoriusparese 5
1.2.1 Ätiologie 5
1.2.2 Diagnostik bei Okulomotoriusparese 7
1.2.3 Therapie bei Okulomotoriusparese 7
2 Patienten und Methoden 9
2.1 Patienten Ein- und Ausschlusskriterien 9
2.2 Schielwinkelmessung in Primärposition 9
2.3 Untersuchung der Augenmotilität 11
2.4 Messung des Feldes binokularen Einfachsehens und Stereotest 12
2.5 Visusbestimmung 12
2.6 Bestimmung der Bulbuslänge 13
2.7 Refraktometrie 13
2.8 Optische Kohärenztomographie 13
2.9 Operative Technik 14
2.10 Statistische Auswertung 17
3 Ergebnisse 19
3.1 Horizontale Deviation 19
3.2 Vertikale Deviation 22
3.3 Visus / LogMAR 23
3.4 Refraktion 25
3.5 Papillenbeurteilung 26
3.6 Makulabeurteilung 27
4 Diskussion 28
4.1 Zentrale Befunde und Vergleich mit früheren Publikationen aus Gießen 28
4.2 Vergleich mit anderen Studien 33
4.3 Weitere berichtete Komplikationen 35
4.4 Beidseitige Okulomotoriusparese 35
4.5 Probleme bei der Schielwinkelmessung 36
4.6 Sicherheit: Makula und chorioretinale Aspekte 38

4.7 Alternative Verfahren und ergänzende Techniken 39
4.8 Lateralis-Splitting bei anderen Indikationen 40
4.9 Klinische Bedeutung, Stärken und Limitationen 41
5 Zusammenfassung 42
6 Literaturverzeichnis 43
7. Anhang 52
8. Danksagung 58

1 Einleitung

Die komplette Okulomotoriusparese stellt eine schwerwiegende Störung dar, bei der die Funktion von vier der sechs extraokularen Muskeln beeinträchtigt ist. Dies führt zu einer charakteristischen Augenstellung in Abduktion mit geringer Hypotropie und einer Inzyklotropie. Zusätzlich ist immer eine Ptosis des betroffenen Auges vorhanden, was die visuelle und ästhetische Beeinträchtigung der Patienten weiter verschärft, andererseits Diplopie und Konfusion vermeidet. Diese Symptome gehen mit einer Mydriasis und Akkommodationslähmung einher und es kommt insbesondere zu Sehstörungen im Nahbereich [Khaier et al. 2008, Sharpe et al. 2008]. Die chirurgische Korrektur zielt darauf ab, eine orthotrope Stellung in der Primärposition wiederherzustellen. Eine Wiederherstellung der Adduktion, Elevation oder Depression des Auges ist nicht möglich [Hankinson und Shuaib 2024, Basiakos et al. 2019].

Seit über einem Jahrhundert wurden zahlreiche chirurgische Techniken vorgeschlagen, um diese komplexe Problematik zu adressieren. Zu den konventionellen Ansätzen gehören hochdosierte kombinierte (Rezess–Resekt) Operationen sowie die Tenotomie des M. rectus lateralis, entweder als freie Tenotomie oder gefolgt von einer Fixierung an der Orbita [Sato et al. 2000, Velez et al. 2004]. Weitere Methoden sind die Fixation des Auges mittels nicht resorbierbarer Nähte oder autogener Transplantate sowie die Transposition des M. obliquus superior [Hankinson und Shuaib 2024, Peter 1933, Scott 1977]. Die Ergebnisse dieser Verfahren waren jedoch oft unbefriedigend, insbesondere hinsichtlich der Langzeitstabilität der Stellungskorrektur [Hankinson und Shuaib 2024].

Zur Stellungskorrektur bei inkompletter Okulomotoriusparese wurde eine Transposition des M. rectus superior in Richtung des Ansatzes des M. rectus medialis, eine Transposition des M. rectus lateralis in Richtung des Ansatzes des M. rectus inferior und eine Tenotomie der M. obliquus superior am betroffenen Auge empfohlen [Kushner 1999]. Damit kam es zu einer Verbesserung aber keiner befriedigenden Korrektur der Augenstellung. Im Jahr 1990 stellte Kaufmann eine Verstärkung dieser Operation in Form der so genannten Zügeloperation vor, wobei der M. rectus lateralis zwischen M. rectus inferior und Sklera hindurch und der M. rectus superior unter dem M. rectus medialis hindurch in den dorsalen medial unteren Quadranten transponiert wurden [Kaufmann 2011, Gräf 2021]. Die Technik blieb in Deutschland weitgehend auf die Gießener Klinik beschränkt,

außerhalb des deutschen Sprachraums weitgehend unbekannt und in der englischsprachigen Fachliteratur kaum erwähnt [Gräf 2021]. Einen bedeutenden Fortschritt zur Behandlung bei kompletter Okulomotoriusparese stellt das im Jahr 1991 ebenfalls von Kaufmann vorgestellte „Lateralis-Splitting“ dar. Der vom N. abducens innervierte M. rectus lateralis wird dazu longitudinal gespalten, wie bereits von Jackson angedacht [Jackson 1911]. Die beiden Schenkel werden jedoch nicht neben den benachbarten Mm. recti fixiert, sondern hinter diesen und den Mm. obliqui in den nasal oberen bzw. unteren Quadrant geführt und dort an der Sklera fixiert. Die Veränderung der Zugrichtung des distalen Muskelsegments innerhalb der Tenon-Kapsel bewirkt eine dauerhafte Stellungskorrektur. Die ersten Patienten wiesen allerdings noch deutlich exotrope Restschielwinkel auf [Kaufmann 1991]. Die Methode fand erst nach einer Präsentation bei der Tagung der European Strabismological Association 2007 auf Mykonos international Aufmerksamkeit. Beginnend mit einer Publikation 2013 [Gokyigit et al. 2013] erschienen weitere Fallberichte mit Modifikationen der Technik [Shah et al. 2014, Saxena et al. 2016]. Das „Lateralissplitting“ gewann wegen der guten Langzeitergebnisse zunehmend an Bedeutung. Eine mögliche Komplikation des mittlerweile als „nasal transposition of the split lateral rectus“ (NTSLR) bekannten Eingriffs ist jedoch eine vorübergehende seröse Netzhautablösung bzw. seröse Chorioretinopathie. In der Gießener Klinik fiel dies unter strenger, routinemäßiger OCT-Kontrolle in einem Drittel der Fälle auf [Basiakos et al. 2019]. Kaufmann hatte sogar ophthalmoskopisch erkennbare Aderhautabhebungen beschrieben. Als Ursache nimmt man eine chorioidale Abflussstörung durch Kompression von Vortexvenen innerhalb der Tenonkapsel an, vielleicht auch eine Irritation der Chorioidea im Bereich des hinteren Augenpols [Basiakos et al. 2019, Shah et al. 2023]. Es fiel auf, dass dieser unerwünschte Befund mit weit dorsaler Fixation der transponierten Muskelarme assoziiert und bei anteriorer Fixation seltener war [Shah et al. 2023].

Seit 2021 kommt in der Universitäts-Augenklinik Gießen eine Modifikation der ursprünglichen Technik zur Anwendung, die unter anderem darauf abzielt, die genannten chorioretinalen Nebenwirkungen zu vermeiden. Dazu werden die Sehne des M. obliquus superior und der M. obliquus inferior vor dem Transpositionsschritt abgesetzt und nach Fixation der Transponate wieder befestigt, was zugleich die Transposition erleichtert und durch den Wegfall der abduktorischen Tertiärwirkung des M. obliquus superior (der M. obliquus inferior ist gelähmt) den adduzierenden Effekt der Operation eventuell verstärkt.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Ergebnisse dieser Technik mit den Ergebnissen der Originalmethode [Kaufmann 2011, Basiakos et al. 2019] und Berichten in der Literatur, insbesondere den Ergebnissen der aktuellen weltweiten Studie zum Lateralissplitting zu vergleichen, sowohl hinsichtlich des initial postoperativen als auch des längerfristigen Effekts, als auch bezüglich des Auftretens von Komplikationen. Diese Analyse soll zur Optimierung der Transpositionstechnik beitragen und anhand geometrischer Betrachtungen Hinweise zur Vermeidung der venösen Abflussstörung und der möglichen Dosierung und Adjustierung des mechanischen Operationseffekts liefern.

1.1 Anatomische Grundlagen

1.1.1 N. oculomotorius

Der N. oculomotorius (III. Hirnnerv) hat seinen Ursprung im Mittelhirn, genauer gesagt im Oculomotorius-Kernkomplex (OMNC), der ventral zur periaquäduktalen grauen Substanz liegt und sich rostral zur hinteren Kommissur und kaudal zum Trochleariskern erstreckt [Sharpe und Wong 2005]. Dieser Komplex besteht aus mehreren Subkernen, welche die extraokulären Muskeln innervieren: den M. levator palpebrae superioris, M. rectus superior, M. rectus medialis, M. rectus inferior und den M. obliquus inferior. Zusätzlich enthält er die Edinger-Westphal-Kerne (EWN), die über parasympathische Fasern und das zwischengeschaltete Ganglion ciliare den M. sphincter pupillae und den Ziliarmuskel innervieren [Company et al. 2019].

Die Fasern des N. oculomotorius verlassen den OMNC ventral und ziehen durch den Nucleus ruber und den medialen Hirnschenkel. Die parasympathischen Fasern befinden sich an der Außenseite des Nervs, während die somatischen Fasern tiefer im Nerv verlaufen [Castro et al. 1990, Purvin 2010, Schwartz et al. 1995, Saeki et al. 2000]. Er überquert die hintere petroklinäre Falte und durchdringt die Dura mater, den Hauptfixationspunkt des Nervs, um in den Sinus cavernosus einzutreten [Martins et al. 2006, Everton et al. 2008]. Im distalen Sinus cavernosus oder der proximalen Fissura orbitalis superior teilt sich der Nerv in einen oberen und einen unteren Ast [Iaconetta et al. 2010]. Beide Äste treten durch die Fissura orbitalis superior innerhalb des Anulus tendineus in die Orbita ein [Gönül et al. 2001]. Der obere Ast innerviert den M. rectus superior und den M. levator palpebrae, während der untere Ast Zweige zum M. rectus medialis, M. rectus inferior

und M. obliquus inferior abgibt. Die parasympathischen Fasern zweigen ab, um im Ganglion ciliare zu synaptisieren, das sich nahe dem lateralen Aspekt des N. opticus, 2–3 mm hinter dem Auge befindet [McDougal und Gamlin 2016]. Von dort aus ziehen postganglionäre Fasern zum M. sphincter pupillae und M. ciliaris.

1.1.2 Augen- und Lidmuskeln

Die äußeren Augenmuskeln (Mm. externi bulbi oculi) sind für die präzise Bewegung des Bulbus oculi verantwortlich, um visuelle Fixation und Binokularität zu gewährleisten. Sie werden über die Hirnnerven III (N. oculomotorius), IV (N. trochlearis) und VI (N. abducens) innerviert [Schiebler et al. 1977].

Die vier geraden Muskeln sind der M. rectus medialis, der vom N. abducens innervierte M. rectus lateralis, der M. rectus superior und der M. rectus inferior. Die zwei schrägen Muskeln sind der vom N. trochlearis innervierte M. obliquus superior und der M. obliquus inferior. Der mediale Rectus bewegt das Auge nach innen (Adduktion), der laterale Rectus nach außen (Abduktion). Der superiore Rectus hebt das Auge an, dreht es nach innen (Intorsion) und unterstützt die Adduktion, während der inferiore Rectus das Auge senkt, nach außen dreht (Extorsion) und ebenfalls zur Adduktion beiträgt. Der superiore Obliquus dreht das Auge nach innen, senkt es und sorgt für Abduktion, während der inferiore Obliquus es nach außen dreht, anhebt und Abduktion unterstützt. Der M. levator palpebrae superioris ist für das willkürliche Anheben des Oberlids verantwortlich [Schiebler T et al. 1977].

Der M. orbicularis oculi umgibt die Augenhöhle und erstreckt sich in die Lider. Er entspringt am medialen Augenhöhlenrand, dem medialen Lidband sowie dem Tränenbein. Seine Fasern setzen sich in die Haut um die Augenhöhle sowie die oberen und unteren Tarsalplatten fort. Die Innervation erfolgt durch den N. facialis (N. VII). Er setzt sich aus drei klar definierten Anteilen zusammen: Die Pars palpebralis, verantwortlich für das sanfte Schließen der Augenlider, sowohl willkürlich als auch unwillkürlich, die Pars lacrimalis, die den Abfluss der Tränenflüssigkeit in die Tränenkanälchen unterstützt, und die Pars orbitalis zum kräftigen Lidschluss und Schutz des Auges vor äußeren Einflüssen; diese Funktion ist willkürlich steuerbar [Schiebler T et al. 1977].

Die Regulation der Pupillenweite erfolgt durch zwei antagonistisch wirkende glatte Muskeln der Iris, die eine Anpassung an wechselnde Lichtverhältnisse sowie die Akkommodationstiefe ermöglichen. Der M. dilatator pupillae besteht aus radiär angeordneten glatten Muskelfasern, welche die Pupillen erweitern (Mydriasis), was die Lichtaufnahme erhöht. Seine Innervation erfolgt sympathisch über die postganglionären Fasern des Plexus sympathicus, die ihren Ursprung im Ganglion cervicale superius haben und das Ganglion ciliare unumgeschaltet passieren. Der M. sphincter pupillae, ein zirkulär verlaufender glatter Muskel, bewirkt eine Pupillenverengung (Miosis), was die einfallende Lichtmenge reduziert und die retinale Abbildungsschärfe verbessert. Seine Innervation erfolgt über parasympathische Fasern des N. oculomotorius, die im Ganglion ciliare umgeschaltet werden [Liu et al. 2010].

1.2 Okulomotoriusparese

Die häufigste Ursache einer Okulomotoriusparese im Erwachsenenalter ist eine mikroischämische Schädigung des Nervs durch Okklusion oder Hypoperfusion der Vasa vasorum [Liu et al. 2010]. Diese Form tritt meist isoliert, z.B. im Rahmen von arterieller Hypertonie oder Diabetes mellitus akut auf und hat die Chance auf Remission ohne jegliche Fehlinnervation [Capó et al. 1992]. Wenn die Parese nicht auf eine Mikroischämie zurückzuführen ist und abgesehen von einem ursächlichen Trauma weniger akut oder schleichend auftritt, sind oft weiterführende anamnestische Angaben und weitere neurologische Anzeichen und Symptome vorhanden [Fang et al. 2017].

1.2.1 Ätiologie

In einer bevölkerungsbasierten Studie wurde die Inzidenz der Okulomotoriusparese mit 4,2 pro 100.000 Personen angegeben [Fang et al. 2017]. Von 145 Fällen im Lebensalter über 37 Jahre in einer US-Region war die häufigste Ursache mikrovaskulär (42 %), gefolgt von Trauma (12 %), Kompression durch Neoplasien (11 %), iatrogen nach neurochirurgischen Eingriffen (10 %) und Kompression durch ein Aneurysma (6 %). Die meisten aneurysmabedingten Fälle waren durch intrakavernöse Aneurysmen verursacht, die ein geringes Rupturrisiko und eine niedrige Mortalität und Morbidität aufweisen. Nur 17 % der Patienten mit mikrovaskulären Läsionen hatten eine Pupillenbeteiligung, während die Pupille bei 64 % der Patienten mit kompressiven Läsionen betroffen war [Fang

et al. 2017]. Obwohl nur ein kleiner Anteil der Okulomotoriusparesen auf ein Aneurysma zurückzuführen ist, darf ein solches wegen der schwerwiegenden Konsequenzen im Fall einer Ruptur nicht übersehen werden. Der subarachnoidale Abschnitt des Nervs ist der häufigste Ort für eine Schädigung. Hier ist der Nerv besonders anfällig für Kompressionen, am häufigsten durch ein Aneurysma an der Verbindungsstelle der A. carotis interna und der A. communicans posterior.

Entzündliche Erkrankungen wie Neurosarkoidose und Morbus Behçet können ebenfalls selten den N. oculomotorius in seinem subarachnoidalen Verlauf betreffen [Karatas 2009]. Im Bereich des Sinus cavernosus sind Meningeome, Kraniopharyngeome, Schwannome oder Metastasen, besonders von Brust-, Lungen- und Prostatakarzinomen, Aneurysmen der A. carotis interna, durale Fisteln und Thrombosen des Sinus cavernosus, infektiöser oder nicht infektiöser Genese zu nennen [Ebright 2001]. Bei Patienten mit Diabetes mellitus und neu auftretenden okulomotorischen Defiziten sollte auch an eine Mukormykose als mögliche Ursache einer Sinus-cavernosus-Infektion gedacht werden. Die Diagnose erfordert eine dringende Untersuchung der Nasennebenhöhlen.

Bei Kindern sind fast die Hälfte der Fälle von Okulomotoriusparese kongenital und werden auf embryonale Insulte, intrauterine Schädigungen oder Geburtskomplikationen zurückgeführt [Lyons et al. 2015, Schumacher-Feero et al. 1999]. Mehrere Fallberichte haben eine segmentale Aplasie der A. carotis interna als Ursache für kongenitale Okulomotoriusparesen beschrieben [Cherungottil et al. 2014, Dhiman et al. 2018]. Klinisch präsentieren sich kongenitale Paresen meist mit Ptosis und Ophthalmoplegie; eine Pupillenbeteiligung ist häufig, und oft sind Fehlinnervationen vorhanden [Gold et al. 2012]. Wenn der Verdacht besteht, dass die Parese erst nach der Geburt aufgetreten ist, sollte eine bildgebende Diagnostik im Hinblick auf kompressive Ursachen erfolgen. Infolge partieller N.III-Kernaplasie können angeborene Fehlinnervationen auftreten. Zum Beispiel das Marcus-Gunn-Phänomen, auch als „Jaw-Winking-Phänomen“ bezeichnet, gehört zu den häufigsten angeborenen oculofazialen Synkinesien und tritt bei 4 bis 6 % der Patienten mit angeborener Ptosis auf. Es wird vermutet, dass es sich um ein Syndrom handelt, bei dem die motorischen Fasern des Trigeminusnervs angeboren fehlgeleitet werden und dadurch den M. pterygoideus superior sowie den Levator-Muskel falsch innervieren. Es wird oft bereits kurz nach der Geburt erkannt, da Eltern bemerken, dass das hängende Lid (Ptosis) sich beim Saugen spontan hebt (Pandey A et al. 2011).

Erworbene Fehlinnervationen treten typischerweise innerhalb desselben Nervs auf durch Fehlaussprossung regenerierender Axone oder durch ephaptische Erregungsübertragung. Klinisch zeigen sich verschiedene Varianten, am häufigsten eine Lidhebung bei Blick nach unten. Andere Formen umfassen Lidhebung bei Adduktion oder Hebung des Auges bei Adduktion, Pupillenverengung bei Blick nach unten oder oben, Bulbusretraktion bei Blickhebung und Adduktion des Auges bei Versuch der Blickhebung oder -senkung. Fehlinnervationen weisen auf eine kompressive oder traumatische Ursache der Parese hin und erfordern eine Neurobildgebung.

1.2.2 Diagnostik bei Okulomotoriusparese

Es wird empfohlen, bei allen akuten Okulomotoriusparesen sofort eine neurovaskuläre Bildgebung durchzuführen, auch wenn die Pupille nicht betroffen ist, da immerhin 14 % der Patienten mit einem Aneurysma zu Beginn eine normale Pupillenfunktion aufweisen [Hillemanns et al. 2002]. Mögliche Bildgebungsverfahren sind die Digitale Subtraktionsangiographie (DSA), die Computertomographie-Angiographie (CTA) und die Magnetresonanzangiographie (MRA). Wenn ein Aneurysma oder eine andere kompressive Läsion mit Bildgebungsverfahren ausgeschlossen wurde, sind weitere Untersuchungen erforderlich, um die Ätiologie zu bestimmen. Es sollte eine umfassende Abklärung für kardiovaskuläre und entzündliche Prozesse erfolgen [Liu et al. 2010, Hillemanns et al 2002]

1.2.3 Therapie bei Okulomotoriusparese

Die Behandlung von Patienten mit einer Okulomotoriusparese ist komplex. Jeder Patient weist eine individuelle Symptomatik auf, abhängig vom Ausmaß der Lähmung, dem Grad der Erholung und dem Vorhandensein von Fehlinnervationen oder anderen begleitenden Faktoren. Daher muss das therapeutische Vorgehen für jeden Patienten individuell angepasst werden [Gräf et al. 2023]. Bei Kindern wird die Behandlung zusätzlich durch Faktoren wie Amblyopie und den Verlust der Binokularität erschwert, bedingt durch große inkomitante Schielwinkel und begleitende Ptosis. Konservative Verfahren werden in der akuten Phase einer Parese eingesetzt, sind aber auch eine Alternative, wenn eine Operation kontraindiziert ist.

Die Okklusion eines Auges mittels Augenklappe, Kontaktlinse oder opaker Brillengläser hilft gegen störende Doppelbilder [Steffen und Kaufmann 2020]. Bei Beteiligung des M. levator palpebrae verhindert die Ptosis als natürlicher Okkluder die Diplopie [Yanovitch und Buckley 2007]. Prismen können nur bei kleinen Schielwinkeln helfen. Allerdings ist die Prismenbehandlung aufgrund der multiplanaren Natur der Diplopie und insbesondere der Schielwinkelinkomitanz oft nicht möglich. Der Einsatz von Botulinumtoxin bis zur Operation kann einer Kontraktur des M. rectus lateralis vorbeugen [Talebnejad et al. 2008].

Die chirurgische Therapie hängt vom Typ und Schweregrad der Lähmung sowie dem Vorhandensein begleitender Faktoren ab. Bei vollständiger Parese ist das Ziel der Operation die Ausrichtung des Auges in Primärposition, wobei seine Restmotilität zwangsläufig eingeschränkt wird. Die Operation ist nur sinnvoll, wenn danach auch eine Ptosis-Operation folgt.

Bei partieller Parese sind die Ziele der Operation eine gute Ausrichtung in Primärposition ohne Diplopie, die Erweiterung des binokularen Einfachsehbereichs und die Korrektur anomaler Kopfhaltungen. Die chirurgischen Optionen variieren je nach den betroffenen Muskeln, dem Grad der Erholung und der Kontraktur des Antagonisten [Good und Hoyt CS 1996, Walsh und Hoyt WF 1969].

Bei erworbenen Paresen wird von manchen Autoren eine Operation frühestens sechs Monate nach Paresebeginn empfohlen [Singh et al. 2016]. In Übereinstimmung mit den meisten Kliniken im deutschen Sprachraum erfolgt eine Operation in der Gießener Klinik erst frühestens nach 12 Monaten. Erst dann ist eine eventuelle Regeneration sicher genug ausgeschlossen.

2 Patienten und Methoden

2.1 Patienten - Ein- und Ausschlusskriterien

Die Studie wurde von der Ethik-Kommission des Fachbereichs Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen genehmigt (Aktenzeichen 140/24) und in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki durchgeführt.

In die Auswertung wurden alle Behandlungsfälle einbezogen, bei denen eine chronische Okulomotoriusparese mittels Lateralis-Splitting therapiert wurde. Die chronische Parese war durch einen Zeitraum von mindestens zwölf Monaten zwischen ihrem Auftreten und der Operation gekennzeichnet. Patienten mit partieller Okulomotoriusparese oder mechanisch bedingten Bewegungseinschränkungen wie bei endokriner Orbitopathie waren ausgeschlossen. Weitere Ausschlusskriterien waren neuromuskuläre und mitochondriale Erkrankungen wie okuläre Myasthenia gravis, chronische progressive externe Ophthalmoplegie. Außer der Abduzensparese waren Paresen anderer Hirnnerven zulässig.

Das strukturierte Untersuchungsprotokoll stellte sicher, dass prä- und postoperative Daten umfassend erfasst wurden und erlaubte eine genaue Bewertung der operativen Ergebnisse sowie der möglichen Komplikationen. Die prä- und postoperativen Untersuchungen fokussierten auf folgende Parameter:

2.2 Schielwinkelmessung in Primärposition

Die horizontalen, vertikalen und torsionalen Schielwinkel wurden, wenn möglich, subjektiv an der Tangententafel nach Harms bestimmt. Oft war diese Methode nicht anwendbar und es kamen als objektive Verfahren Prismenabdecktests und die Schätzung nach Hornhautspiegelbildern nach Hirschberg und Krimsky zur Anwendung.

Die Tangententafel nach Harms ist ein großflächiges Gitternetz mit einem Außenmaß von ca. 2,35 m x 2,35 m, das in 2,5 m Abstand die Blickrichtungen bis zu 25° im Raum abbildet. Die untersuchte Person fixiert dabei durch ein Dunkelrotglas, das alle anderen Sehreize ausblendet, die zentral angebrachte Lichtquelle. Mit einem Lichtzeiger projiziert sie einen grünen Ring an die Stelle der nur mit dem anderen (hier paretischen) Auge

sichtbaren Tafel, an der sie das dunkelrot gefärbte Fixierlicht wahrnimmt. So kann der Schielwinkel in horizontaler und vertikaler Richtung abgelesen werden. Mit einer Fernsteuerung in der Hand kann die untersuchte Person den Lichtstrich, in dessen Mitte sich das Fixierlicht befindet, so drehen, dass der für das fixierende Auge dunkelrot gefärbte Strich an der Wand horizontal erscheint. Auf diese Weise kann an der Skala um das Fixierlicht der Verrollungsschielwinkel abgelesen werden. Ein durch ein Stirnband auf dem Kopf des Patienten befestigter Projektor wirft ein Lichtkreuz an die Tangententafel, um Drehung, Hebung, Senkung oder Neigung des Kopfes genau erfassen zu können. Auf diese Weise lässt sich die Blickrichtung definieren, in welcher die Schielwinkel gemessen werden [Rüssmann 2020].

Der Prismenabdecktest erlaubt die Messung von horizontalen und vertikalen, sowohl manifesten als auch latenten Abweichungen. Der Patient fixiert ein Objekt in 5 m Entfernung, während abwechselnd ein Auge abgedeckt wird. Beobachtet wird, ob das nicht abgedeckte Auge eine Einstellbewegung ausführt, was auf ein manifestes Schielen hinweist. Der Test kann in einer Distanz von 0,3–0,4 m wiederholt werden, um Nahschielen oder Fern-Nah-Inkomitanzen zu erkennen. Geübte Untersucherinnen können Schielwinkel von weniger als 1° feststellen. Fehlen Einstellbewegungen (z. B. bei Orthophorie, hochgradiger Sehschwäche oder exzentrischer Fixation), kann eine ophthalmoskopische Fixationsprüfung notwendig sein. Der alternierende Abdecktest dient der Diagnostik von Heterophorie oder Heterotropie und der Abschätzung der Schielwinkelgröße. Bei diesem Test werden die Augen wiederholt streng abwechselnd abgedeckt, wodurch die Möglichkeit zur Fusion unterbrochen wird. Dies kann dazu führen, dass ein Schielwinkel sichtbar oder größer wird, da die kompensierende Ausgleichsinnervation nachlässt und sich der Winkel der fusionsfreien Ruhestellung annähert. Der Test ist besonders hilfreich, um kleine Schielwinkel zu erkennen, die sonst schwer sichtbar oder unauffällig wären [Rüssmann 2020]. Zyklotropie kann mit diesem Verfahren nicht erfasst werden. Als Hilfsmittel sind horizontale und vertikale Prismenschieber oder lose Prismen, geeignete Fixationsziele für Nah- und Ferndistanz sowie eine Abdeckscheibe erforderlich [Ansons und Davis 2014, Rüssmann 2020].

Beim Hirschberg-Test wird die Position des Hornhautspiegelbilds untersucht, um Augenfehlstellungen zu beurteilen. Der Patient fixiert ein Licht und der Untersucher beurteilt

die Position des Lichtreflexes auf der Hornhaut beider Augen. Bei normaler Augenstellung (Orthotropie) ist der Reflex symmetrisch in der Mitte der Pupillen oder leicht nasal versetzt. Zum Beispiel, beim Außenschielen ist das Reflexbild des schielenden Auges nach innen verlagert, oder bei Höherschielen ist das Reflexbild des schielenden Auges nach unten verlagert [Ansons und Davis 2014]. Eine Verschiebung des Hornhautreflexbildes um 1 mm entspricht nach Hirschberg einem Schielwinkel von etwa 7°. Neuere Studien zeigen jedoch, dass 1 mm Verschiebung einem Schielwinkel von 11–12° entsprechen. Dieses Verhältnis lag unseren Messungen zugrunde. Bei der Auswertung der Reflexbildverlagerung muss außerdem die Größe des Kappa-Winkels berücksichtigt werden [Barry 1999, De Respinis et al. 1989].

Der Krimsky-Test beinhaltet die Verwendung von Handprismen zur Bestimmung des Ausmaßes des Strabismus. Die benötigte Prismenstärke, um den Hornhautlichtreflex in die Mitte der Pupille bzw. symmetrisch zum Reflex am anderen Auge zu positionieren, entspricht dem Winkel der Fehlstellung [Choi und Kushner 1998].

2.3 Untersuchung der Augenmotilität

Die maximale horizontale monokulare Exkursion wurde mit dem Kestenbaum-Limbus-Test bestimmt. Dabei wird ein Lineal vor der Hornhaut positioniert, um die Veränderung der zu bestimmenden Blickrichtung abgewandten Limbus-Position zwischen der Primärposition und Sekundär- und evtl. Tertiärposition in Millimetern vergleichen zu können. Ein Millimeter entspricht hierbei mit hinreichender Genauigkeit einem Winkel von 5°.

2.4 Messung des Feldes binokularen Einfachsehens und Stereotests

Das Feld binokularen Einfachsehens (Fusionsblickfeld) wurde an der Tangententafel nach Harms unter Kontrolle mit dem integrierten Lichtstrich und Kontrolle auf eventuelle Suppression mit Bagolini-Lichtschweifgläsern untersucht.

Der Bagolini-Vorhalter wird vor beiden Augen positioniert. Die Streifen der Gläser sind in einem Winkel von 45° (rechts) und 135° (links) ausgerichtet [Bagolini 1967]. Beim Blick auf eine punktförmige Lichtquelle erscheinen durch den Vorhalter Lichtschweife. Bei normalem Sehen kreuzen diese in der Lichtquelle. Unterbrochene oder fehlende

Lichtschweife deuten auf eine zentrale Hemmung hin. Wenn statt einer zwei Lichtquellen wahrgenommen werden (Diplopie), kreuzen die Strahlen außerhalb des Lichts. Dann liegt ein Schielen vor.

Die Titmus-Stereotests nutzen Polarisationsmaterial mit querdisparaten Abbildungen. Durch die Polarisationsbrille werden Bildanteile beider Augen getrennt, wodurch ein Tiefeneindruck entsteht [Von Noorden und Campos 2002]. Der Titmus-Fliege-Test zeigt eine grobe Stereopsis von 3600 Bogensekunden an [Fricke und Siderov 1997]. Weitere Testelemente sind Tierbilder und Ringe, die feinere Stereopsis bis zu 40 Bogensekunden abbilden.

Der Lang-Stereotest kombiniert Random-Dot-Prinzipien mit dem Zylinderrasterverfahren. Die Testkarte zeigt drei Zufallspunktmusterstereogramme (Katze, Stern, Auto), die durch Zylinderelemente für jedes Auge separat sichtbar werden. Der Test wurde in 40 cm Abstand präsentiert. Bei korrektem Benennen der Stereogramme wurde der Test als positiv bewertet [Rüssmann 2020]. Dies beweist, dass momentan kein manifestes Schielen vorliegt.

2.5 Visusbestimmung

Die bestkorrigierte Sehschärfe wurde mithilfe standardisierter Snellen-Optotypen aus einer Entfernung von 4 bis 5 Metern gemessen und in Dezimalwerten dokumentiert. Bei Vorschulkindern wurden standardmäßig Lea-Symbole auf einer Testdistanz von 3 m verwendet. Die Kinder mussten dabei die einfachen Formen Kreis, Viereck, Apfel und Haus identifizieren und benennen [Becker et al. 2002]. Zur Mittelwertbildung und weiteren Analytik wurden die Werte in LogMAR-Einheiten umgerechnet (MAR: minimal angle of resolution = minimaler Auflösungswinkel = minimum separabile; Sehschärfe = 1/MAR).

2.6 Bestimmung der Bulbuslänge

Die axiale Bulbuslänge wurde mit dem Zeiss IOL-Master (IOLMaster 700, Zeiss, Oberkochen, Deutschland) gemessen. Der IOL-Master arbeitet auf Basis der partiellen Kohärenzinterferometrie [Kim et al. 2020, Lam et al. 2001]. Diese Methode ist berührungsfrei und besonders zuverlässig, wodurch sie sich sowohl für Kinder als auch für Erwachsene eignet. Bei mehrfach behinderten Patienten war diese Messung nicht durchführbar.

2.7 Refraktometrie

Die Refraktionsmessung erfolgte mit dem Topcon-Autorefraktometer (RM-8800, Topcon, Tokio, Japan). Um Akkommodation zu vermeiden, erfolgte die Messung in Zykloplegie. Die automatische Refraktometrie basiert auf dem Verfahren der Bildschärfenmessung. Dabei wird ein Infrarotlichtmuster in Form eines Gitters auf die Netzhaut des Auges projiziert. Das von der Netzhaut reflektierte Licht wird anschließend von hochsensiblen Sensoren erfasst. Diese analysieren die Eigenschaften des reflektierten Lichtes und ermöglichen so die präzise Berechnung der Brechkraft des Auges [Hunold et al. 1988]. Wenn die Messung am Refraktometer nicht möglich war, wurde die Refraktion strichskiaskopisch bestimmt.

2.8 Optische Kohärenztomographie (OCT)

Vor und die ersten Tage nach der Operation wurden SD-OCT-Scans (Spectralis, Heidelberg Engineering, Heidelberg, Deutschland) durchgeführt, um potenzielle Komplikationen im hinteren Augensegment, insbesondere eine seröse Netzhautablösung, sensitiv und untersucherunabhängig zu detektieren. Die optische Kohärenztomographie erzeugt hochauflösende Querschnittsbilder von biologischen Geweben in Echtzeit. Diese Technologie nutzt die Interferenz von Lichtwellen, um die Struktur von Geweben präzise zu untersuchen [Aumann et al. 2019].

2.9 Operative Technik

Die operative Versorgung erfolgte in Allgemeinanästhesie mittels nasaler Transposition des gesplitteten M. rectus lateralis (NTSLR) in Kombination mit anteriorer Refixation der schrägen Augenmuskeln.

Über einen temporalen limbalen Zugang mit radialen Schnitten wurden zunächst der M. obliquus inferior sowie die Sehne des M. obliquus superior identifiziert, vom Ansatz abgelöst und mit resorbierbarem Nahtmaterial (6-0 Polyglactin) gesichert. Dieser Schritt ermöglichte die anschließende Transposition der Muskelhälften ohne Passage hinter den schrägen Muskeln. Anschließend wurde der M. rectus lateralis isoliert und über eine Strecke von mindestens 18 mm longitudinal in zwei gleich breite Muskelhälften gespalten. Die Tenon-Kapsel wurde dorsal des Muskels bis zu seinem Eintritt eröffnet. Jede Muskelhälfte wurde mit zwei doppelt armierten resorbierbaren Nähten (6-0 Polyglactin) gesichert. Über separate radiale nasale superiore und inferiore Konjunktivalschnitte wurden die Suturen der beiden Muskelhälften zwischen Sklera und dem M. rectus superior beziehungsweise M. rectus inferior auf die nasale Seite des Bulbus geführt. Die peripheren Nähte jeder Muskelhälfte wurden etwa mittig zwischen dem M. rectus medialis und dem M. rectus superior beziehungsweise inferior in einem Abstand von ungefähr 8–14 mm vom Limbus platziert. Die Nähte der gesplitteten Seiten wurden näher an den vertikalen Rectusmuskeln und soweit posterior gesetzt, wie es die Sehnenbreite erlaubte. Die biomechanischen Zusammenhänge der Transposition mit Abhängigkeit vom Fixationsort sind in **Abbildung 1** schematisch dargestellt.

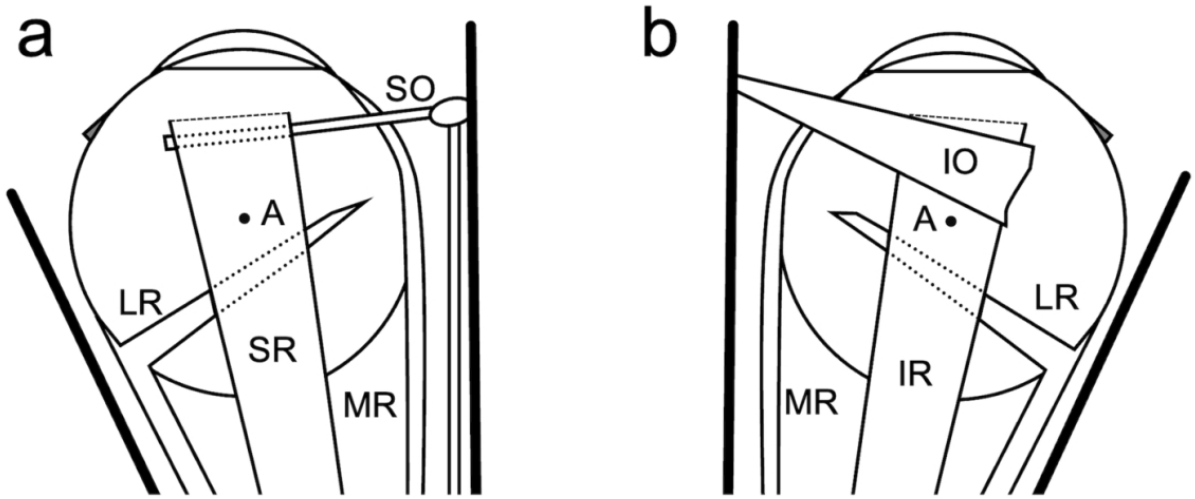


Abbildung 1: NTSLR am linken Auge mit äquatorialer Platzierung der beiden Hälften des M. rectus lateralis (mit freundlicher Genehmigung von M. Gräf). Ansicht von oben (a) und von unten (b). Der effektive Hebelarm der adduzierenden Kraft des M. rectus lateralis entspricht dem Abstand der vertikalen Rotationsachse des Auges (A) von der Ebene des Verlaufs der beiden LR-Hälften. Der Hebelarm nimmt mit einer weiter anterioren Platzierung ab. Würden die Hälften zu nahe an der Kornea platziert oder wäre die Spaltung zu kurz, könnten sie vor A verlaufen, die Zugrichtung würde sich umkehren und die Exotropie zunehmen. SO = M. obliquus superior; IO = M. obliquus inferior; LR = M. rectus lateralis; SR = M. rectus superior; MR = M. rectus medialis.

Unter manueller Rotation des Bulbus in die gewünschte Primärstellung wurden die Nähte geknüpft und fixiert. Anschließend wurden der M. obliquus superior und der M. obliquus inferior anterior am temporalen Rand der Ansätze des M. rectus superior beziehungsweise inferior refixiert.

Nach Isolierung der Konjunktiva von der temporalen Tenon-Kapsel erfolgte der konjunktivale Verschluss mit resorbierbarem Nahtmaterial (9-0 Polyglactin). Die Operationsschritte sind in **Abbildung 2** anhand intraoperativer Fotografien dargestellt.

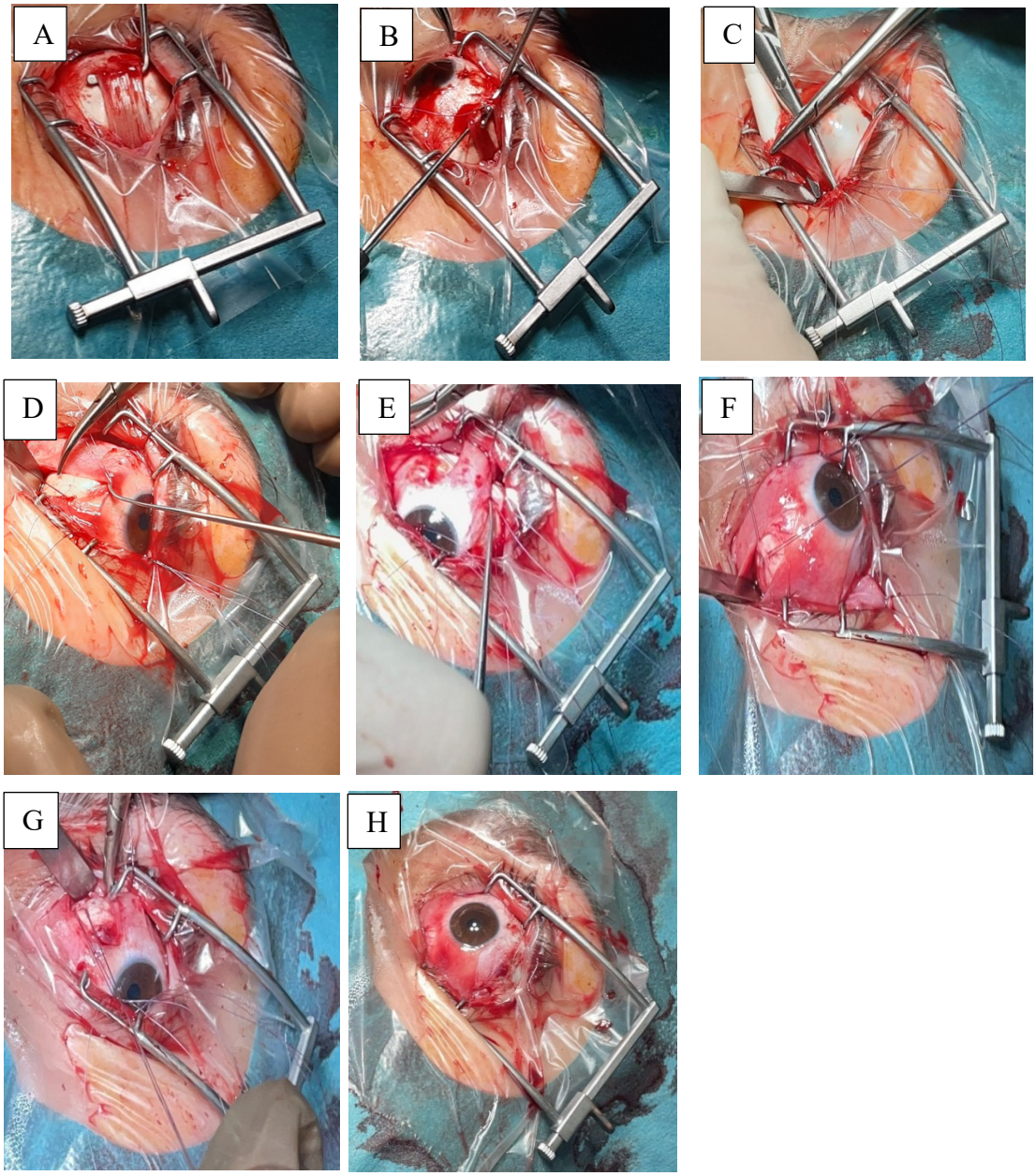


Abbildung 2: (A) Nach Präparation der Bindehaut freigelegter M. rectus lateralis. **(B)** Longitudinale Spaltung des M. rectus lateralis **(C)** Abtrennen des Obliquus inferior **(D)** Nach Durchreichen der Fäden der unteren Lateralishälfte zwischen M. rectus inferior und Sklera Vorbereitung der Fixation im inferonasalen Quadranten (Haken unter dem M. rectus medialis) **(E)** Entsprechendes Vorgehen mit der oberen Muskelhälfte im superonasalen Quadranten. **(F)** Fixation der unteren Lateralishälfte. **(G)** Fixation der oberen Lateralishälfte **(H)** Befund vor temporalem Konjunktivaverschluss

2.10 Statistische Auswertung

Die statistische Analyse basierte auf insgesamt 16 Fällen, bei denen präoperativ sowie zu drei postoperativen Kontrollterminen verschiedene klinische Parameter erhoben wurden. Damit lag eine longitudinale Datenstruktur mit wiederholten Messungen innerhalb derselben Individuen vor.

Die erhobenen Parameter umfassten kontinuierliche Variablen (Schielwinkel, LogMAR, Refraktion) und binäre Merkmale (Papillenmorphologie, OCT-Makula, Komplikationen). Die kontinuierlichen Variablen wurden numerisch in Mittelwerten und Streuungsmaßen dargestellt, die dichotomen Variablen als Anteile.

Zur Auswertung der vertikalen Abweichung wurden alle Werte auf das operierte Auge transformiert. Bei Eingriffen am rechten Auge blieben die Vorzeichen unverändert (+VD = Höherstand, –VD = Tieferstand des operierten Auges). Bei Operationen am linken Auge wurden die Werte negativiert, so dass stets die Abweichung des operierten Auges positiv bei Höherstand und negativ bei Tieferstand angegeben wurde. Dadurch war eine konsistente Mittelwertbildung über alle Fälle hinweg gewährleistet.

Zur Prüfung auf Normalverteilung kamen der Shapiro-Wilk- und der Kolmogorov-Smirnov-Test zur Anwendung. Wegen der kleinen Stichprobe (n = 16) und fehlender Normalverteilung in mehreren Variablen wurde entschieden, nur nichtparametrische Verfahren anzuwenden.

Die Tests zur Überprüfung der Normalverteilung der Variablen sind in Tabelle 1-A dargestellt (siehe Anhang).

Für die kontinuierlichen Variablen wurde der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test eingesetzt, der Unterschiede zwischen zwei Messzeitpunkten bei abhängigen Stichproben erfasst und auch für kleine Fallzahlen robuste Ergebnisse liefert. Vergleiche erfolgten sowohl zwischen prä- und postoperativen Messungen als auch zwischen den einzelnen Nachkontrollen, um den zeitlichen Verlauf möglichst differenziert abzubilden.

Für die binären Variablen wurde der exakte McNemar-Test angewendet, da dieses Verfahren speziell für abhängige Stichproben mit dichotomen Ausprägungen geeignet ist. Wenn zwischen zwei Zeitpunkten keine Statusänderung vorlag (z. B. alle Parameter blieben „intakt“ oder „nicht intakt“), konnte keine Teststatistik berechnet werden; dies wurde in der Ergebnisdarstellung berücksichtigt.

Ein Friedman-Test zur simultanen Analyse mehrerer Zeitpunkte wurde nicht durchgeführt, da die Fallzahlen in den späten Nachkontrollen teilweise unter fünf lagen und somit keine ausreichende Testvoraussetzung gegeben war.

Die statistischen Analysen wurden mit IBM SPSS Statistics Version 25.0 durchgeführt. Die grafischen Darstellungen erfolgten mit Stata Version 14.0. Das Signifikanzniveau wurde auf $\alpha = 0{,}05$ festgelegt. Ergebnisse werden je nach Skalenniveau als Mittelwert ± Standardabweichung (MW ± SD) oder Median (Interquartilsabstand, IQR) angegeben.

3 Ergebnisse

Im Rahmen der retrospektiven Studie wurden bei 15 Patienten, die sich einer Operation wegen Okulomotoriusparese unterzogen haben, zu vier verschiedenen Zeitpunkten kritische Parameter erhoben: vor der Operation, einen Tag nach der Operation (1. Kontrolle), zwischen drei und acht Monaten nach der Operation (2. Kontrolle) sowie zwischen neun und fünfzehn Monaten nach der Operation (3. Kontrolle). Der durchschnittliche Follow-up-Zeitraum betrug zwischen 1 Tag und 14 Monaten. Ein Patient wurde mit zeitlichem Abstand an beiden Augen operiert.

Neunmal wurde das linke Auge, siebenmal das rechte Auge operiert. Das mittlere Patientenalter lag bei 29,6 Jahren, wobei die Spanne von Kleinkindern bis zu älteren Erwachsenen reichte (2 bis 81 Jahre), was bereits auf ein auch ätiologisch heterogenes Patientenkollektiv hinweist.

Die Ursachen waren vielfältig: Am häufigsten waren vaskuläre Ursachen wie Apoplex und traumatische Ereignisse (Unfälle). Daneben lagen kongenitale und tumorbedingte Fälle (z. B. Schwannom, Hypophysenadenom) vor. In einigen Fällen war die Ursache nicht eindeutig. Weitere Patientendaten sind in der Tabelle 2-A dargestellt (siehe Anhang).

Im Folgenden werden Veränderungen zwischen dem präoperativen Ausgangswert und den drei postoperativen Kontrollzeitpunkten dargestellt. Fehlende Werte waren durch Nichterscheinen zu Kontrollterminen begründet, oft durch die weite Anfahrt zur Klinik, sowie durch nicht durchführbare Messungen.

3.1 Horizontale Deviation

Die horizontale Abweichung betrug präoperativ im Mittel –42,3° ± 15,2°, entsprechend ca. 91 Prismendioptrien. Es bestand also eine sehr große Exotropie. Direkt postoperativ betrug die Abweichung –1,4° ± 17,3° (≈ 2,5 Prismendioptrien). Die deutliche Reduktion war statistisch signifikant ($p < 0,05$). Bei der zweiten (5,1°± 8,8°) und dritten (–4,6° ± 18,0°) postoperativen Kontrolle blieb die Schielwinkelreduktion im Vergleich zur

präoperativen Situation signifikant (jeweils $p < 0,05$). Die Ergebnisse der Hypothesentests für die horizontale Abweichung sind in Tabelle 3-A dargestellt (siehe Anhang). Zwischen den einzelnen postoperativen Kontrollen bestand hingegen kein statistisch signifikanter Unterschied. Aufgrund der nur fünf Spätkontrollen ist das nur eingeschränkt interpretierbar. Zusammenfassend zeigt sich, dass die Horizontalabweichung durch die Operation signifikant reduziert wurde und dieser Effekt über den Beobachtungszeitraum weitgehend stabil blieb (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Individuelle prä- und postoperative Daten zur horizontalen Deviation und vertikalen Deviation (in Grad gemessen)

	Horizontale Deviation				**Vertikale Deviation**			
	Vor OP	1. NK	2. NK	3. NK	Vor OP	1.NK	2.NK	3.NK
Fall 1	-27	8	6		0	4	-13	
Fall 2	-43	5		7	0	-8		-16
Fall 3	-55	-35		-35	0	0		0
Fall 4	-35	-5		0	0	0		4
Fall 5	-36	2			6	10		
Fall 6	-28	15			-12	-11		
Fall 7	-50	0	0	-5	-6	-6	-5	-15
Fall 8	-30	8	10		0	0	-5	
Fall 9	-37	0			-5	-6		
Fall 10	-40	11	11	10	0	-8	-5	0
Fall 11	-35	-4	-10		-5	-4	-6	
Fall 12	-45	-4			-20	19		
Fall 13	-40	13	17		6	3	-5	
Fall 14	-90	-50			0	-10		
Fall 15	-33	6	2		10	2	0	
Fall 16	-53	7			10	0		

NK: Nachkontrolle; Nr.3 und 4 beziehen sich auf denselben Patienten, dessen beide Augen mit zeitlichem Abstand operiert wurden.

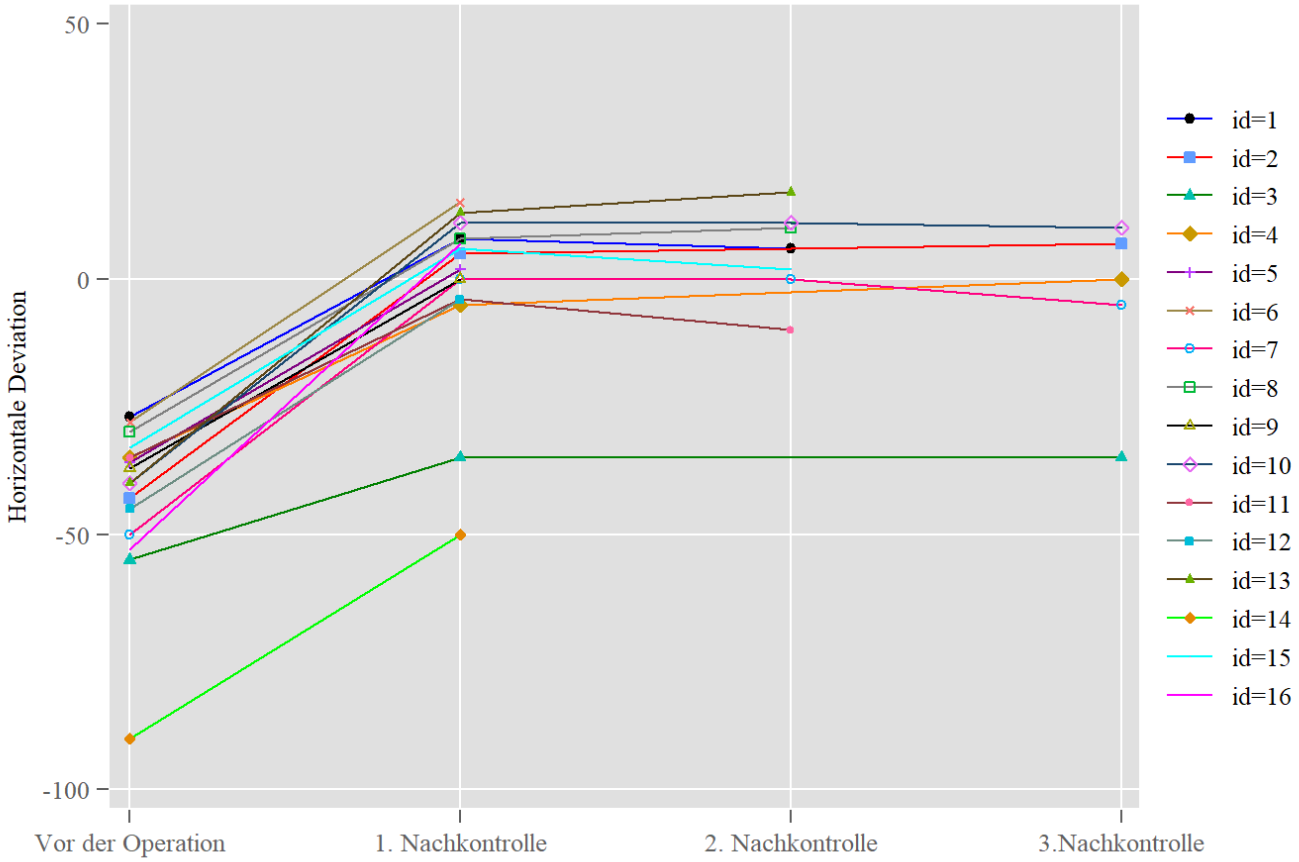


Abbildung 3: Horizontalabweichung (in Grad) präoperativ und bei den drei postoperativen Kontrollen. Negative Werte entsprechen Exotropie, positive Werte Esotropie. Nr.3 und 4 beziehen sich auf denselben Patienten, dessen beide Augen mit zeitlichem Abstand operiert wurden.

Die Abbildung 3 illustriert die deutliche Reduktion der Exotropie. Präoperativ lagen die Schielwinkel zwischen –90° und –27°. In allen Fällen zeigt sich eine ausgeprägte Annäherung an die Orthotropie. Damit ist das primäre Ergebnis der chirurgischen Intervention klar sichtbar: eine deutliche Korrektur der Fehlstellung.

Auch bei den Nachkontrollen blieb die Korrektur stabil. In den meisten Fällen war die horizontale Augenstellung nahezu unverändert. Wesentliche Schwankungen traten nicht auf. Die Ergebnisse belegen, dass die Korrektur nicht nur kurzfristig, sondern über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg wirksam war.

3.2 Vertikale Deviation

Die Ergebnisse der Hypothesentests für die vertikale Abweichung sind in Tabelle 4-A dargestellt (siehe Anhang).

Die vertikale Abweichung zeigte präoperativ mit 0,27° ± 5,98° (≈ 0,5 ± 10,5 Prismendioptrien) im Mittel keine relevante Fehlstellung. Bei der ersten Nachkontrolle blieb der Mittelwert nahezu unverändert (+0,15° ± 7,9°; ≈ +0,3 ± 13,8 Prismendioptrien; $p > 0,05$). Bei der zweiten Nachkontrolle trat ein leichter Tieferstand des operierten Auges auf (–5,8° ± 3,8°; $p < 0,05$), während in der dritten Nachkontrolle mit (–5,4° ± 9,4°) erneut kein signifikanter Unterschied zur präoperativen Situation nachweisbar war.

Zwischen den Werten bei den einzelnen postoperativen Kontrollzeitpunkten bestand kein statistisch signifikanter Unterschied. Die geringe Fallzahl in den späten Nachkontrollen schränkt die Aussagekraft jedoch ein (s. Tabelle 1).

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die vertikale Abweichung durch die Operation nur in einzelnen Kontrolluntersuchungen Veränderungen aufwies, ohne dass sich eine klare systematische Tendenz erkennen ließ.

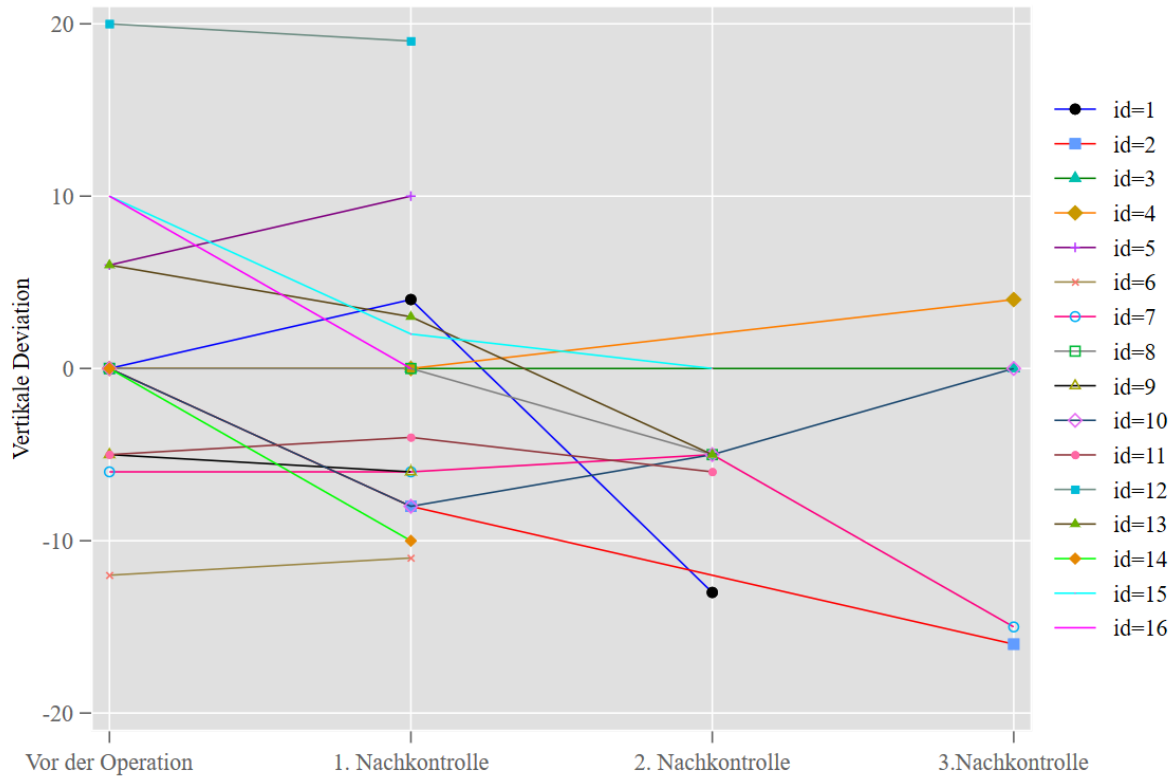


Abbildung 4: Vertikalabweichung (in Grad) prä- und postoperativ; Fall 12 erhielt aufgrund einer persistierenden Kopfzwangshaltung eine Revisionsoperation, die zur gewünschten Kopfhaltung führte. Nr.3 und 4 beziehen sich auf denselben Patienten, dessen beide Augen mit zeitlichem Abstand operiert wurden.

Bei den späteren Kontrollen blieben die Werte, ebenso wie die horizontale Augenstellung stabil. Daher erscheint die Annahme vertretbar, dass sie auch in Fällen ohne Spätkontrolle stabil blieb.

3.3 Visus (in LogMAR)

Der LogMAR lag präoperativ bei 0,3 ± 0,4. In den ersten postoperativen Tagen, mit tränendem Auge und geschwollener Bindehaut, hatte er sich auf 0,6 ± 0,3 verschlechtert ($p < 0,05$). Der Wert von 0,5 ± 0,5 bei der zweiten Nachkontrolle unterschied sich nicht signifikant vom präoperativen Wert ($p > 0,05$).

In der dritten Nachkontrolle (9–15 Monate) betrug der Mittelwert 0,9 ± 0,6 LogMAR. Das ist auf die geringe Fallzahl ($n = 5$) und den Wert eines Patienten mit stark reduziertem

Visus (1,5 LogMAR) zurückzuführen, bei dem präoperativ keine Visusbestimmung möglich war. Ohne diesen Patienten ergab sich keine Verschlechterung. Die Ergebnisse der Hypothesentests für die Visus-Werte sind in Tabelle 5-A dargestellt (siehe Anhang). Insgesamt zeigen die Daten, dass die Operation keine Visusreduktion befürchten lässt (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Individuelle prä- und postoperative Daten zum Visus in LogMAR und zur Refraktion

	Visus in LogMAR				**Refraktion**			
	Vor OP	1. NK	2. NK	3. NK	Vor OP	1. NK	2. NK	3. NK
Fall 1	0	0,4	0		1,25		1,5	
Fall 2	0	0,3		0,3	0,25	1,75		-0,25
Fall 3	1	1,2		1,3	0			-1,25
Fall 4	1	1,1		1	-1,5	-3,25		-1,25
Fall 5	0,2	0,1			-1,5			
Fall 6	0	0,6			2			
Fall 7				1,5	4,25	4,25	4,25	3
Fall 8			1,3		1,25		-0,75	
Fall 9	0,5	0,7			2			
Fall 10	0,3	0,6	0,3	0,3		-6,75	-6,75	
Fall 11					-0,75		0	
Fall 12	0,7	0,7	1		-2,25		0,25	
Fall 13	0,1	0,5	0,2		-1		-1,75	
Fall 14	0,2	0,2			-1,25			
Fall 15	0,2	0,2	0,2		-1,5	-0,75	0,75	
Fall 16	0,3	0,7			-0,75			

NK: Nachkontrolle

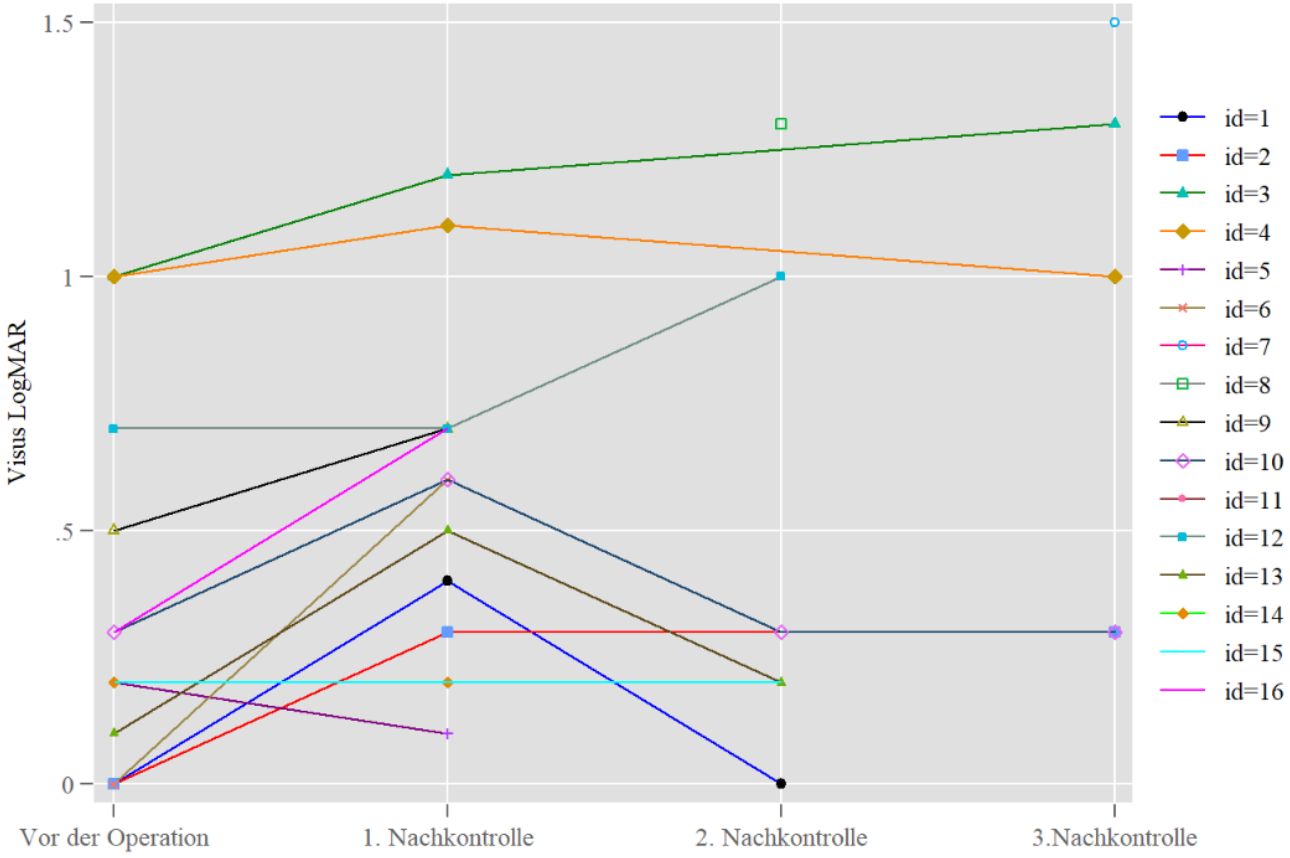


Abbildung 5: Visus (in LogMAR-Einheit). LogMAR 0 entspricht einem Dezimalvisus von 1,0, logMAR 0,5 einem Dezimalvisus von 0,32, logMAR 1,0 einem Dezimalvisus von 0,1.

3.4 Refraktion (sphärisches Äquivalent)

Das sphärische Äquivalent lag präoperativ im Mittel bei 0,0 ± 1,8 dpt. Die erste (–1,0 ± 4,3 dpt), zweite (–0,3 ± 3,1 dpt) und dritte Nachkontrolle (–0,3 ± 3,1 dpt) zeigten im Vergleich dazu keine signifikante Veränderung. Auch zwischen den postoperativen Kontrollzeitpunkten ergab sich kein signifikanter Unterschied (siehe Tabelle 6-A und Tabelle 2).

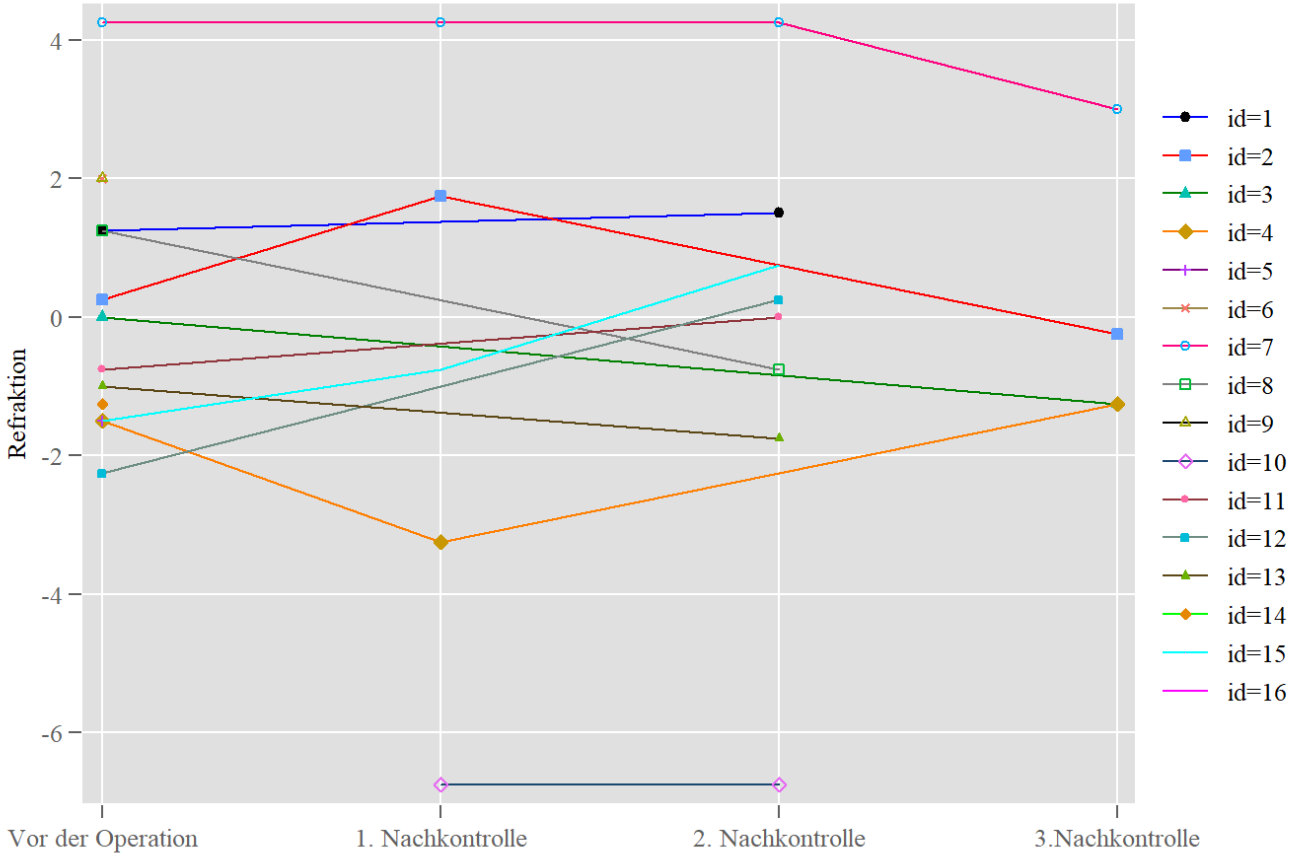


Abbildung 6: Refraktion in dpt sphärisches Äquivalent, prä-postoperativer Verlauf. Bei Fall 10 war aufgrund des Alters und der Augenstellung keine präoperative Messung möglich.

Abbildung 6 zeigt individuell geringe Refraktionsschwankungen, jedoch kein konsistentes Muster. Maßgeblich sind die Werte bei der zweiten postoperativen Kontrolle. Bei der ersten Kontrolle sind tränenbedingte Messfehler möglich.

3.5 Papillenbeteiligung

Die Papillenmorphologie blieb während des gesamten Beobachtungszeitraums stabil. Präoperativ zeigten 12 Patienten eine vitale Papille, während 4 Patienten eine reduzierte Vitalität aufwiesen. Dies blieb in allen drei Nachkontrollen unverändert (siehe Tabelle 7-A und Tabelle 3). Somit ergab sich kein Hinweis auf eine operationsbedingte Optikusschädigung.

Tabelle 3: Individuelle prä- und postoperative Daten zur Papillen- und Makulamorphologie

	Papillenmorphologie				**Makulamorphologie**		
	Vor OP	1. NK	2. NK	3. NK	1. NK	2. NK	3. NK
Fall 1	1	1	1		1	1	
Fall 2	1	1		1	1		1
Fall 3	0	0		0	1		1
Fall 4	0	0		0	1		1
Fall 5	1	1			1		
Fall 6	0	0			1		
Fall 7	1	1	1		1	1	
Fall 8	1	1	1		1	1	
Fall 9	1	1			1		
Fall 10	1	1	1	1	1	1	1
Fall 11	0	0	0		1		
Fall 12	1	1	1		1		
Fall 13	1	1	1		1	1	
Fall 14	1	1			1		
Fall 15	1	1	1		1	1	
Fall 16	1	1			1		

1: Papille vital, Makula intakt (keine seröse Abhebung); 0: Papille nicht vital, Makula nicht intakt, NK: Nachkontrolle

3.6 Makulabeurteilung

Alle Patienten wiesen in den frühen postoperativen OCT-Kontrollen eine trockene Makula auf. Weder seröse Netzhautabhebungen noch Zeichen einer chorioretinalen Komplikation traten auf (siehe Tabelle 8-A und Tabelle 3). Auch in den späteren Nachkontrollen waren in keinem Fall strukturelle Veränderungen der Makula erkennbar. Damit ergab sich kein Hinweis darauf, dass diese Modifikation des Lateralis-Splittings mit einem deutlichen Risiko für seröse Chorioretinopathie oder andere makuläre Veränderungen verbunden ist.

4 Diskussion

4.1 Zentrale Befunde und Vergleich mit früheren Publikationen aus Gießen

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass das Lateralis-Splitting mit nasaler Transposition (NTSLR) in der hier angewendeten modifizierten Technik eine stabile Korrektur der großen Exotropie bei kompletter Okulomotoriusparese ermöglicht. Der horizontale Schielwinkel wurde von –42,3° (≈91 Prismendioptrien) auf –1,4° (≈2,5 Prismendioptrien) bei der ersten postoperativen Kontrolle reduziert und blieb auch bei den späteren Nachkontrollen weit unter dem präoperativen Niveau. Damit zeigte sich ein starker Initialeffekt mit weitgehender Stabilität im weiteren Verlauf. Es besteht kein Grund zu der Annahme, dass sich längerfristig eine relevante Änderung ergeben sollte, da weder eine relevante antagonistische Innervation des M. rectus medialis, noch eine progrediente strukturelle Veränderung der Transponate zu erwarten ist. Die Größenordnung der Stellungsänderung entspricht den Erfahrungen aus unserer Klinik und publizierten Daten anderer operativer Zentren.

Kaufmann beschrieb in der Erstpublikation des Lateralis-Splittings eine deutliche Reduktion der Exotropie der zwei operierten Patienten von 45° und 35° auf einen Restschielwinkel von je 14°. In einer späteren Auswertung von 22 Fällen lag der Schielwinkel im Bereich von −60° bis −25° und postoperativ bei −15° bis +10° [Kaufmann 1991, Kaufmann 2007]. In der retrospektiven Serie mit weiteren 30 Patienten der Gießener Klinik berichteten Basiakos et al. über eine Korrektur der mittleren präoperativen Exotropie von 43,6° auf 4,5° am zweiten postoperativen Tag und 6,5° nach drei Monaten, entsprechend einem mittleren Effekt von 37° [Basiakos et al. 2019, alle NTSLR durch B. Lorenz]. Die in der vorliegenden Arbeit beobachtete Reduktion der Exotropie bestätigt die Reproduzierbarkeit dieses Effekts bei Anwendung der modifizierten Technik.

Ein quantitativer Vergleich von Fallserien ist nur begrenzt möglich. Sowohl die vorliegende Untersuchung als auch die früheren und alle internationalen Studien weisen ein retrospektives Design auf und die Fallzahlen sind relativ klein (Tabelle 4). Es besteht eine gewisse Heterogenität der Patientenkollektive hinsichtlich Alter, Ätiologie der Parese und Begleitbefunden. Langfristige Nachbeobachtungen fehlen zum Teil. Diese Faktoren limi-

tieren die Aussagekraft hinsichtlich kleiner Unterschiede im Ausmaß der Stellungsänderung und deren langfristiger Stabilität, relativieren jedoch nicht den sehr guten Effekt der Operation auf die horizontale Augenstellung.

Tabelle 4: Vergleich mit früheren Studien (Horizontaldeviation in Prismendioptrien)

Studie	Augen	präop. HD	postop. HD
Kaufmann 1991	2	−85	−25
Kaufmann 2007	22	−173 bis −47	−27 bis +18
Gökyigit et al. 2013	12	-73,7	-11,8
Shah et al. 2014	5	-68	0
Sukhija et al. 2014	3	-86,6	-36,6
Erbagci et al. 2016	8	-74,1	-10,8
Saxena et al. 2016	3	-66,6	-10
Aygit et al. 2019	8	-42,5	-1,8
Bagheri et al. 2019	10	-84	-6,5
Basiakos et al. 2019	29	−95	−11
Saxena et al. 2020	4	-86	-1
Sharma et al. 2020	3	-73	-6
Oke et al. 2022*	46	-90	-14
Shah et al. 2023*	98	-70	-1
Zhang et al. 2023	6	-77	-26
Diese Studie	16	-91	-2,5

* Daten aus vielen Zentren, z. T. aus den oben genannten Arbeiten. Shah et al. einseitige Paresen und einseitige NTSLR; Oke et al. beidseitige Paresen, teils mit beidseitiger NTSLR.

Der Korrektureffekt in der aktuellen Auswertung entspricht mindestens dem in den beiden früheren Gießener Fallserien beobachteten Effekt. Biomechanisch ist die Modifikation mit äquatornaher Fixation der Lateralishälften mit einer etwas höheren Spannung der Transponate verbunden als bei der ursprünglichen Technik, die von Kaufmann und in der Folge von Lorenz verwendet wurde, und mit einer geringeren Transponatspannung als bei einer weiter anterioren Fixation der Lateralishälften in unmittelbarer Nähe der Insertion des M. rectus medialis, wie in vielen jüngeren Studien [Kaufmann 1991, 2007, 2011, Basiakos et al. 2019, Gökyigit 2013].

Durch die Fixation der beiden Muskelhälften näher am Äquator und näher an den vertikalen Recti ergibt sich im Vergleich zum ursprünglichen Vorgehen ein kürzerer Weg vom Split-Ende zur neuen Insertion, dadurch die geringere Transponatspannung, wobei in beiden Fällen der innere Muskelrand stärker belastet ist. Die größere Distanz der Transponate zur vertikalen Rotationsachse des Auges bewirkt im Vergleich zu weiter anteriorer Fixation einen längeren Hebelarm der adduzierenden Kraftkomponente, sodass trotz geringerer Muskelspannung ein vergleichbares adduzierendes Drehmoment resultieren sollte. Bei der ursprünglichen, weiter posterioren Fixation ist der Hebelarm länger, der Transpositionsweg jedoch etwas kürzer. Dies könnte zum Teil erklären, warum mit den verschiedenen Modifikationen eine ähnliche Reduktion der Exotropie erreicht wird.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass der M. obliquus superior neben seiner primären und sekundären auch eine abduzierende Tertiärkomponente besitzt. Durch das Absetzen und die anteriore Refixation des Muskels wird das abduzierende Drehmoment reduziert und auch dadurch der adduzierende Operationseffekt verstärkt. Zudem wird der direkte, orthodromale Verlauf der oberen Lateralis-Hälfte zur neuen Insertion ermöglicht, ohne den Umweg hinter der nach nasal dorsal reichenden Insertion der Obliquus-Sehne. Die Anteroposition des paralytischen M. obliquus inferior ist in dieser Hinsicht wohl weniger relevant. Sie ermöglicht jedoch einen ebenfalls orthodromalen Verlauf der unteren Lateralishälfte.

Das vielleicht wichtigste Ergebnis dieser Arbeit ist der Nachweis, dass nach Anwendung der beschriebenen Operationstechnik keine chorioretinale Komplikationen auftraten. Außer in der vorliegenden Studie erfolgte die von Lorenz eingeführte systematische postoperative OCT-Kontrolle bislang nur in der vorherigen Arbeit aus der Gießener Klinik

[Basiakos et al. 2019]. Dieser Umstand erlaubt einen besonders aussagekräftigen Vergleich, denn beide Studien wurden unter identischen prä- und postoperativen Bedingungen durchgeführt.

Während mit der ursprünglichen Technik 30 % der operierten Augen im OCT eine seröse Netzhautabhebung zeigten [Basiakos et al. 2019], trat in der vorliegenden Serie bei gleicher diagnostischer Sensitivität keine einzige Abhebung oder andere makuläre Veränderung auf. Bei nur ophthalmoskopischer Nachkontrolle wurden deutliche Aderhautabhebungen in 10 % der Fälle gesehen, seröse Netzhautabhebungen wurden nicht beschrieben [Kaufmann 2007]. Die größere Distanz der Transponate zu den Vortexvenen und vom hinteren Augenpol durch den direkten Verlauf der Muskelhälften und deren äquatornahe Fixation erklären das geringe Risiko eines chorioidalen Abflussstaus und mechanischer Irritation im Bereich des hinteren Augenpols bei Anwendung der modifizierten Technik.

Vertikale Schielwinkel und Effekte der nasalen Transposition des gesplitteten M. rectus lateralis sind in der Literatur bislang kaum erwähnt. Die in der vorliegenden Arbeit beobachteten vertikalen Abweichungen zeigten keine systematische Veränderung. Bei einzelnen Patienten beobachtete starke Veränderungen könnten durch eine ungleiche Zugwirkung der beiden Lateralisschenkel verursacht sein. Durch eine Änderung der Zugrichtung des M. obliquus superior allein sind sie kaum zu erklären. Bei den deutlichen Abweichungen handelte es sich um Hypotropien. Sie sind funktionell und ästhetisch weniger störend als eine Hypertropie, können insbesondere bei Parese des führenden Auges vorteilhaft sein, sind aber bei zu großem Ausmaß unerwünscht. Keiner dieser Patienten bat bislang um eine Korrektur des Tieferstandes.

In keinem Fall wurde ein dauerhaft funktionell nutzbares Binokularsehen im Alltag erzielt. Das entspricht den Erwartungen bei nahezu aufgehobener Bulbusmotilität und ist nicht darauf zurückzuführen, dass die sensorischen Voraussetzungen für Fusion fehlen. Die motorische Voraussetzung für Fusion ist nur in exakt der Blickrichtung gegeben, in der beide Augen auf denselben Fixierpunkt ausgerichtet sind, was unter Alltagsbedingungen, mit Bewegungen des Kopfes, der Blickrichtung oder des fixierten Objekts praktisch nicht realisierbar ist. Fusion und sogar stereoskopisches Sehen sind eher bei beidseitiger Okulomotoriusparese möglich, wie ein Fall in der Arbeit von Basiakos et al. zeigt [Basiakos et al. 2019].

Vor diesem Hintergrund kommt der präoperativen Beurteilung der zu erwartenden Diplopie eine besondere Bedeutung zu. Im großen präoperativen Schielwinkel stört die Konfusion, das Sehen unterschiedlicher Bilder in derselben Richtung. Das Doppelbild liegt relativ weit entfernt und es ist möglich, die Aufmerksamkeit auf das Bild von Interesse zu fokussieren. Postoperativ rückt die Diplopie als Störfaktor stark in den Vordergrund. Die Seheindrücke beider Augen überlagern sich, der Doppelbildabstand ist gering und das Doppelbild bewegt sich bei jeglicher Blickbewegung in die jeweilige Blickrichtung. Wenn möglich, erfolgte eine optische Simulation am Synoptometer oder mittels Prismen und auch Okklusion, um die subjektive Verträglichkeit des geringen Schielwinkels abzuschätzen. Bei absehbar störender Diplopie war dies in einigen Fällen der Grund, warum Patienten trotz der Möglichkeit einer Brillen- oder Kontaktlinsen eine Operation ablehnten. Diese Zurückhaltung ist bei jeder Stellungskorrektur angebracht, auch wenn sie nötigenfalls reversibel ist.

Bei allen Patienten dieser Studie bestand präoperativ auf der betroffenen Seite eine Ptosis, die jedoch nicht in allen Fällen die Pupille vollständig bedeckte. Bei ausgeprägter Ptosis spielte Diplopie im Alltag keine relevante Rolle, da das Doppelbild durch das herabhängende Lid nicht in Erscheinung trat. Präoperativ nutzten drei Patienten mit unvollständiger Ptosis wegen störender Diplopie eine Art von Okklusion. Postoperativ zeigte sich trotz der deutlich verbesserten Augenstellung kein Gewinn an Binokularfunktion, aber auch keine Zunahme störender Diplopie; die Zahl der Patienten mit Okklusionsbedarf blieb unverändert.

Im Zusammenhang mit der paretischen Ptosis ist zu berücksichtigen, dass die Lidchirurgie bei Okulomotoriusparese besonderen Einschränkungen unterliegt. Eine Fontalissuspension ist wegen des fehlenden Bell-Phänomens schwächer zu dosieren als bei einem isolierten Ausfall des M. levator palpebrae, weil eine stärkere Lidhebung mit einem erhöhten Risiko für Hornhautkomplikationen verbunden wäre. Das gilt umso mehr für eine Levatorresektion, die bei einer Okulomotoriusparalyse nur in Ausnahmefällen in Betracht kommt.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Nutzen des Lateralis-Splittings mit nasaler Transposition in der Korrektur der stigmatisierenden Schielstellung in Primärposition besteht, was für

die Patienten einen wesentlichen psychosozialen Gewinn darstellt. Ein immenser funktioneller Nutzen ergibt sich, wenn das einzige oder führende Auge paralytisch ist.

4.2 Vergleich mit anderen Studien

Auch in internationalen Studien wurde eine deutliche Reduktion der Exotropie bei kompletter Okulomotoriusparese durch nasale Transposition des gesplitteten Rectus lateralis erzielt. Die diesbezüglichen Parameter sind in Tabelle 4 aufgeführt.

In der ersten größeren Serie nach der Vorstellung des Lateralis-Splittings auf internationaler Ebene [Kaufmann 2007] beschrieben Gökyigit et al. eine Modifikation der Technik mit dem Unterschied, dass die transponierten Muskelhälften nahe der Insertion des M. rectus medialis fixiert wurden [Gökyigit et al. 2013]. Die Größe der Exotropie betrug in dieser Serie im Mittel 73,7 ± 8,9 PD (Prismendioptrie; 1 PD = 100 × tan[Winkel in Grad]). Sie wurde auf 11,8 ± 1,0 PD reduziert. Fünf der 10 Patienten erhielten zusätzliche Eingriffe aufgrund einer Unterkorrektur.

Wenig später beschrieben Erbagci et al. eine Variante, bei der die Lateralishälften nur unter dem M. rectus superior beziehungsweise inferior hindurch, aber vor den Mm. obliqui vorbei transponiert und ebenfalls nahe der Medialisinsertion fixiert wurden [Erbagci et al. 2016]. Die Exotropie lag hier präoperativ im Mittel bei 74,1 ± 10,2 PD und postoperativ bei 10,8 ± 6,6 PD. Teilweise erfolgte zusätzlich eine Medialisresektion. Aygit et al. aus der Arbeitsgruppe um Gökyigit berichteten unter Anwendung dieser Technik nach vorheriger Botulinum-Toxin-A-Injektion zur Relaxation des M. rectus lateralis über phantastische Ergebnisse [Aygit et al. 2019]. Die nach der Injektion verbliebene Abweichung von 42,5 ± 2,7 PD war auf 1,7 ± 2,6 PD korrigiert. Das ist bemerkenswert, da 1 PD ca. 0,1 mm Augendrehung entspricht und die Patientengruppe immerhin 8 Personen umfasste.

Kurz darauf verglichen Gökyiğit et al. diese einfache Variante mit ihrer früheren Technik an insgesamt 32 Patienten und fanden sie gleichwertig: Nicht der mittlere, auch der individuelle Restschielwinkel der meisten Patienten war mit Werten dicht um 0° angegeben [Gökyigit et al. 2019]. Auf die Kopfhaltung bei Fixation mit dem paretischen Auge wurde nicht eingegangen.

Sukhija et al. erzielten dagegen bei drei Patienten mit präoperativer Exotropie von 80–90 PD in zwei Fällen nur eine Rest-Exotropie von 30–40 PD, was zusätzliche operative Maßnahmen erforderte [Sukhija et al. 2014]. Eine Augmentation des Lateralis-Splittings beschrieben Bagheri et al. in Form einer Junktion der Lateralishälften mit dem Rectus medialis [Bagheri et al. 2019]. Bei kompletter Okulomotoriusparese wurde die Exotropie von im Mittel 84 ± 14,9 PD dadurch auf ca. 6 PD reduziert. Die Erfolgsrate lag bei 70 % für die horizontale und 90 % für die vertikale Abweichung. In der Absicht den Effekt zu verstärken und zu stabilisieren, kombinierten Saxena et al. die Transposition mit zusätzlichen, nicht resorbierbaren äquatorialen Fixationsnähten neben dem M. rectus medialis [Saxena et al. 2016]. In den beschriebenen drei Fällen zeigte sich eine deutliche Reduktion der horizontalen Abweichung, beispielsweise von 60 PD präoperativ auf 8 PD nach drei Monaten. Eine selektive Analyse eines pädiatrischen Kollektivs lieferten Zhang et al. Sie berichteten über eine signifikante Reduktion des Außenschielens bei fünf Kindern mit kompletter Okulomotoriusparese [Zhang et al. 2023]. In mehreren Fällen wurde eine geringe „aktive Adduktion“ beobachtet, was die Autoren als möglichen Ausdruck neuroplastischer Anpassung interpretierten. Der physiologische Mechanismus eines solchen Anpassungsprozesses ist nicht nachvollziehbar. Eine aktive Adduktion wäre durch das Vorliegen inkompletter Paresen erklärbar.

Die umfangreichste Auswertung von NTSLR-Techniken stellt die multizentrische weltweite Fallsammlung von Shah et al. dar [Shah et al. 2023]. Bei einer medianen Exotropie von circa 70 PD präoperativ wurde postoperativ eine mediane Restabweichung von 1 PD erreicht. Die Erfolgsrate betrug 69 % (Kriterium ≤ 15 PD horizontaler Restschielwinkel). Die Analyse ergab, dass der horizontale Operationseffekt mit zusätzlicher Tenotomie des M. obliquus superior stärker war als ohne dessen Tenotomie und chorioretinale Komplikationen bei anteriorer Fixation der Lateralishälften seltener auftraten bzw. beobachtet wurden als bei posteriorer Fixation. Hierzu ist anzumerken, dass nur bei den Gießener Patienten, die einen nennenswerten Anteil der Fälle mit posteriorer Fixation ausmachten, systematisch eine OCT-Kontrolle erfolgte. Die serösen Netzhautabhebungen traten typischerweise früh postoperativ auf und bildeten sich in Tagen bis Wochen zurück [Shah et al. 2023; Oke et al. 2022]. Die in der aktuellen Arbeit beschriebene Technik zog bisher keine einzige Komplikationen nach sich. Ein zuverlässiger Vergleich ist nur mit der vorangegangenen Studie aus unserer Klinik möglich [Basiakos et al. 2019]: Der Unterschied zu dieser Studie ist diesbezüglich signifikant (Fisher exact test: $p = 0{,}0088$).

4.3 Weitere berichtete Komplikationen

Neben den unerwünschten chorioretinalen Nebenwirkungen, welche die größte Gruppe darstellen, sind der Literatur weitere klinisch relevante Komplikationen nach NTSLR zu entnehmen. Diese Einzelfallberichte erweitern das Spektrum möglicher Risiken und liefern wichtige Hinweise auf zugrundeliegende pathophysiologische Mechanismen.

Tjon-Fo-Sang et al. beschrieben einen Fall eines Sekundärglaukoms nach NTSLR bei kompletter Okulomotoriusparese. Der akute postoperative intraokulare Druckanstieg, wurde von den Autoren auf eine Kompression orbitaler venöser Abflussstrukturen mit konsekutiver chorioidaler Effusion und sekundärer Kammerwinkelverlegung zurückgeführt. Die Beobachtung stützt die Annahme, dass eine erhöhte Spannung oder ungünstige Positionierung der transponierten Muskelhälften zu einer relevanten Beeinträchtigung des venösen Abflusses führen kann [Tjon-Fo-Sang et al. 2024].

Eine andere visusbedrohende Komplikation wurde von Khan et al. bei einem Kind mit partieller Okulomotoriusparese beschrieben. Nach NTSLR entwickelte sich ein Papillenödem, das als Folge einer direkten oder indirekten Optikuskompression interpretiert wurde. Nach Durchführung einer zusätzlichen Obliquus-superior-Tenotomie verbesserte sich der Befund deutlich, was auf die Bedeutung einer ausreichenden Entlastung antagonistisch wirkender Kräfte hinweist [Khan et al. 2021].

Zusammenfassend zeigen diese Berichte, dass neben chorioidaler Effusion auch sekundäre Druckerhöhungen und Sehnervaffektionen als seltene, aber potenziell schwerwiegende Komplikationen der NTSLR auftreten können.

4.4 Beidseitige Okulomotoriusparese

Die Literatur zur NTSLR bei beidseitiger Okulomotoriusparese umfasst nur kleine Fallserien sowie die umfangreiche multizentrische Auswertung der NTSLRN3P-Studiengruppe. Oke et al. analysierten im Rahmen dieses internationalen Registers 34 Patienten mit bilateraler Okulomotoriusparese, bei denen entweder eine bilaterale NTSLR oder eine einseitige NTSLR in Kombination mit einem anderen kontralateralen Eingriff durchgeführt wurde [Oke et al. 2022]. Die präoperative Exotropie war mit einem Median von 90

PD sehr groß, allerdings nicht sehr viel größer als in der Gruppe der einseitigen Paresen mit 70 PD [Shah et al. 2023]. Die angegebene Schielwinkelreduktion um 64 PD nach beidseitiger NTSLR wich nur gering vom Effekt der einseitigen NTSLR ab. Eine Korrektur auf ≤ 15 PD Restschielwinkel wurde bei circa der Hälfte der Patienten erzielt. Damit war die Erfolgsrate geringer als nach einseitiger NTSLR, was die Autoren auf die bilaterale Funktionslosigkeit der adduzierenden Muskeln und die sehr großen Ausgangswinkel zurückführten. Mögliche diagnostische Fehler wurden nicht im Detail diskutiert, die Autoren merkten jedoch an, dass aufgrund der ausgeprägten beidseitigen Motilitätseinschränkung sowohl vor als auch nach der Operation die Maskierung einer restlichen Exotropie durch einen okulären Torticollis unwahrscheinlich wäre (anders bei einer einseitigen Parese). Bei einseitiger Parese ergibt die Messung einen falsch zu kleinen Restschielwinkel, wenn sie in Kopfzwangshaltung erfolgt. Auf die Vermeidung dieses Fehlers wurde bei unseren Patienten streng geachtet, was vielleicht die größere Streuung der Restschielwinkel im Vergleich zu oben genannten Studien erklären kann. Ein zentraler Aspekt war die Analyse der Komplikationen. Visusbedrohende Ereignisse traten in 21 % der Fälle auf. Sie bestanden überwiegend in seröser chorioidaler Effusion. Seltener waren Augeninnendruckanstieg und entzündliche Veränderungen. Das Auftreten dieser Komplikationen war nicht mit der bilateralen Okulomotoriusparese sondern mit einer posterioren Fixation der Transponate assoziiert. Besonders eine Platzierung der Transponate in einer Entfernung von 10 mm oder mehr hinter der Medialisinsertion war mit einem deutlich erhöhten Risiko verbunden.

Zusammenfassend zeigt die Literatur, dass bei beidseitiger Okulomotoriusparese durch NTSLR-basierte Verfahren eine relevante Reduktion sehr großer horizontaler Abweichungen möglich ist. Die mitgeteilt höheren Erfolgsraten bei einseitiger Parese haben zum Teil vermutlich diagnostische Ursachen.

4.5 Probleme bei der Schielwinkelmessung

Bei sehr großer Exotropie stößt die objektive Schielwinkelmessung an ihre Grenzen. Der Prismen-Abdecktest ist dann nicht mehr zuverlässig durchführbar, da selbst die stärksten diagnostischen Prismen vor dem paretischen Auge nicht ausreichen, den Schielwinkel zu neutralisieren, oder nur mit Verlust an Genauigkeit eingesetzt werden können. Bei einer

beidseitigen Okulomotoriusparalyse ist der Abdecktest kaum möglich. In diesen Situationen kann die Beurteilung der Fehlstellung indirekt über die kompensatorische Kopfhaltung bei monokularer Fixation und, wenn es die Sehfunktion zulässt, anhand der subjektiven Lokalisation des Patienten nach dem Konfusionsprinzip bestimmt werden, was wesentlich präziser ist als eine formale, objektive Winkelmessung.

Ein Problem beim Vergleich publizierter Ergebnisse liegt in der unterschiedlichen Angabe der Schielwinkelgröße. Während die Schielwinkel in dieser und früheren Studien in der Gießener Klinik konsequent in Grad gemessen wurden, verwenden die meisten Autoren die Einheit Prismendioptrie (PD), weil sie in der englischen Literatur und klinisch weitgehend üblich ist. Da PD dem Tangens des Schielwinkels α entsprechen (PD = 100 · tan α), besteht im Bereich großer Winkel keine lineare Beziehung zwischen beiden Einheiten. Diese, dem Verlauf der Tangensfunktion entsprechende Nichtlinearität ist im Bereich von Abweichungen bis ca. 30–45 Grad angesichts anderer Ungenauigkeiten hinnehmbar. Bei größeren Schielwinkeln, die bei beidseitiger Parese vorkommen können, gewinnt sie jedoch erhebliche Relevanz.

Auch bei der Schielwinkelmessung anhand der Hornhautreflexbildasymmetrie, entweder aus Bequemlichkeit oder weil eine genauere Messung individuell nicht möglich ist, wird selbst heute noch der auf Hirschberg zurückgehende Umrechnungsfaktor von 7°/mm verwendet, obwohl seit mehr als 40 Jahren mehrfach gezeigt wurde, dass tatsächlich ein Verhältnis von 12°/mm besteht. Neuere Analysen zeigen auch, dass eine Verschiebung des Hornhautreflexes winkelabhängig variiert, was die Genauigkeit insbesondere bei sehr großen Abweichungen weiter einschränkt. Mittelwerte können daher systematische Verzerrungen enthalten, die bei einem direkten Vergleich verschiedener Studien nicht ohne weiteres erkennbar sind.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass selbst postoperative Winkel, die im gut messbaren Bereich liegen, nicht immer einheitlich erhoben wurden. In vielen Publikationen bleibt unklar, ob postoperativ ein Prismen-Abdecktest durchgeführt oder die Stellung lediglich anhand der Hornhautreflexbildlage geschätzt wurde. Regelmäßig ist nicht explizit angegeben, ob dabei die Kopfhaltung des Patienten beachtet wurde. Durch die Messung in kompensatorischer Kopfhaltung erfahren die Resultate einen Richtungsimpuls zur Or-

thotropie. Die vorliegende Arbeit trägt durch die Verwendung des Gradmaßes, des korrekten Umrechnungsfaktors bei der Messung nach Hornhautreflexbildlage bzw. Verwendung diagnostischer Prismen, um eine symmetrische Lage herzustellen und, wenn möglich, standardisierte Messungen an der Harmswand zu einer erhöhten Transparenz bei. Bei der Messung sehr großer präoperativer Schielwinkel gelten jedoch auch hier die prinzipiellen Limitationen der objektiven Messung.

Auch vor diesem Hintergrund sind die Ergebnisse unterschiedlicher Studien nur bedingt vergleichbar. Unabhängig davon lässt sich aber feststellen, dass die NTSLR eine wesentliche Verbesserung der Augenstellung hin zu in der Regel relativ unauffälligen Restschielwinkeln ermöglicht.

4.6 Sicherheit: Makula und chorioretinale Aspekte

Die NTSLR ist mit einem Risiko chorioretinaler Komplikationen assoziiert, das offenbar maßgeblich vom Fixationsort der transponierten Muskelhälften abhängt. Eine weit dorsale Fixation, im Bereich des Austritts der Vortexvenen aus der Sklera, wie ursprünglich von Kaufmann durchgeführt, wurde mit einer höheren Rate seröser Netzhautabhebungen und Aderhautabhebungen in Verbindung gebracht, deren Ursachen in der Kompression venöser Abflussstrukturen gesehen werden [Shah et al. 2021; Oke et al. 2022]. Die Annahme erscheint plausibel. Nicht nur die Erfolgs- sondern auch die Komplikationsrate korreliert jedoch mit der Qualität bzw. Sensitivität der postoperativen Diagnostik. Nur in der vorangegangenen Arbeit aus der Gießener Klinik ist eine systematische postoperative Fundus-OCT-Kontrolle erwähnt. Bei einer anterioren Transponatfixation ist aufgrund des weiteren Weges vom Splitende zum Fixationsort eine höhere Transponatspannung zu erwarten. Ob dies durch eine etwas stärkere Kompression des Auges von Nachteil ist, bleibt offen. Die in der vorliegenden Studie verfolgte äquatornahe Fixation stellt einen Kompromiss dar, bei dem mit geringerer Spannung ein ausreichender adduktorischer Effekt erzielt wird, während gleichzeitig eine relevante Bulbuskompression vermieden wird. Die Anteroposition der schrägen Muskeln trägt zu einer Entspannung im posterioren Subtenonraum bei, weil dadurch Zugkräfte während und nach der Operation reduziert werden. Die Ergebnisse stützen die Annahme, dass die Kombination aus Fixationsort, Transponatspannung und Verlaufsrichtung der Muskelhälften entscheidend für das Risiko chorioretinaler Komplikationen ist.

In Diskussionen zur NTSLR über benachbarte Muskeln hinweg wird diesen Techniken eine stärkere Vernarbungstendenz mit schlechterer Revidierbarkeit zugeschrieben, was für einen Verlauf der Muskelhälften direkt auf der Sklera spricht [Rao et al. 2003; Hankinson und Shuaib 2024].

4.7 Alternative Verfahren und ergänzende Techniken

Die NTSLR erlaubt sekundäre Feinkorrekturen. Bei Bedarf kann die Lage der Transponate angepasst werden, um eine residuelle Exotropie weiter zu reduzieren oder Überkorrekturen abzumildern. Darüber hinaus sind Kombinationen mit ergänzenden Eingriffen an vertikalen Muskeln beschrieben, die eine individuelle Anpassung an das Befundmuster ermöglichen [Gottlob et al. 1991; Rao et al. 2003; Hankinson und Shuaib 2024].

Neben der NTSLR sind auch Non-Split-Transpositionen des M. rectus lateralis beschrieben. Eine Transposition nach nasal-oben kann bei gleichzeitiger Exo- und Hypotropie sinnvoll sein, da sie neben der adduzierenden auch eine hebende Wirkung aufweist, wie im ersten berichteten Fall einer nasalen Lateralis-Transposition [Taylor 1989]. Entsprechend kann eine Transposition nach nasal-unten bei gleichzeitiger Hypertropie erwogen werden, die eine senkende Wirkung hat [Gräf und Lorenz 2010; Hankinson und Shuaib 2024]. Bei der Indikationsstellung ist zu berücksichtigen, dass diese Non-Split-Transpositionen immer mit einer starken Zyklorotation einhergehen. Die Transposition nach nasal unten führt zur Inzyklotropie [Gräf und Lorenz 2010], die Transposition nach nasal oben zur Exzyklotropie. Letztere ist durch eine simultane Obliquus-superior-Vorlagerung vermeidbar [Gräf und Starosta 2023].

Als Verfahren zur Schielwinkelkorrektur bei inkompletter Okulomotoriusparalyse wurde von Kaufmann die sogenannte Zügeloperation beschrieben, bei welcher der M. rectus lateralis und der M. rectus superior weit dorsal im nasal unteren Quadranten über einen Fascia-lata-Zügel verbunden wurden [Kaufmann 1990]. Sie stellt eine Verstärkung der erstmals von Knapp beschriebenen Transposition dieser beiden Muskeln an die Insertionen der benachbarten, paretischen Recti dar [Knapp 1978; Kushner 1989; Kushner 1999; Hankinson und Shuaib 2024] und soll, wie die NTSLR, eine Zykloduktion vermeiden. Sie ist auch ohne den Fascia-lata-Zügel, mit anteriorer Transponatfixation wirksam [Gräf 2023]. Ergänzende Eingriffe an den schrägen Augenmuskeln können je nach Befund

sinnvoll sein. Die Transposition oder Tenotomie des M. obliquus superior wurde als sowohl primäres als auch adjuvantes Verfahren bei Okulomotoriusparese beschrieben, z. B. zur Beeinflussung vertikaler und zyklorotatorischer Komponenten [Gottlob et al. 1991; Maruo et al. 1996; Young et al. 2000; Hankinson und Shuaib 2024]. Ein sehnenerhaltendes Vorgehen bietet dabei Vorteile im Hinblick auf die postoperative Stabilität und spätere Korrekturmöglichkeiten. Dagegen ist die in dieser Arbeit beschriebene Refixation des M. obliquus inferior durch eine distale Myektomie ersetzbar.

Eine nicht empirisch geklärte Frage betrifft den Einfluss der Bulbuslänge auf die Spannung des transponierten M. rectus lateralis. Bei großen Augen ist der Weg vom Splitende zum Fixationsort länger. Andererseits ist wohl auch der distale Teil des M. rectus lateralis jenseits der Tenonpforte länger, sodass eine Auswirkung auf die resultierende Transponatspannung fraglich ist. Systematische Untersuchungen hierzu liegen nicht vor. Die axiale Bulbuslänge wurde gemessen, da sie einen Einfluss auf den biomechanischen Operationseffekt von Muskeltranspositionen haben könnte. Ein Vergleich zwischen der Bulbuslänge und dem Ausmaß der Schielwinkelreduktion wurde jedoch nicht angestellt, da die Bulbuslänge nur bei 8 operierten Augen zuverlässig bestimmt werden konnte. Die geringe Fallzahl erlaubt keine belastbare Analyse.

4.8 Lateralis-Splitting bei anderen Indikationen

Das Splitting des M. rectus lateralis ohne nasale Transposition wurde bereits früher beim Duane-Retraktionssyndrom und bei kongenitalen Dysinnervationssyndromen wie der synergistic divergence mit einem anderen biomechanischen Ziel eingesetzt.

Beim Duane-Retraktionssyndrom wird das Lateralis-Y-Splitting in der Regel mit einer Rücklagerung des Muskels kombiniert, um den Zügeleffekt des mit dem M. rectus medialis koinnervierten M. rectus lateralis aufzuheben, der für das Upshoot und Downshoot des Auges bei Adduktion verantwortlich ist [Rao et al. 2003]. Durch die Teilung des Muskels in zwei Schenkel und deren getrennte Refixation wird die vertikale Ausrichtung des Auges bei Adduktion stabilisiert. Mehrere Fallserien zeigen eine zuverlässige Reduktion von Upshoot, Downshoot und Kopfzwangshaltung, während die horizontale Abweichung entweder unverändert blieb oder durch begleitende Rücklagerung des M. rectus

medialis bzw. lateralis adressiert wurde. Eine Besonderheit ist die synergistische Divergenz (synergistic divergence), eine kongenitale Fehlinnervation mit paradoxer Abduktion bei intendierter Adduktion [Sharma et al. 2020]. Zu deren Behandlung wurde die NTSLR als wirksame Methode beschrieben, die eine adduzierende Kraftkomponente generiert und dadurch besonders die Augenstellung in Primärposition verbessert. Im Unterschied zur Okulomotoriusparese steht weniger die Korrektur eines großen statischen Schielwinkels im Vordergrund, sondern die Neutralisierung der pathologischen Innervationsdynamik. Die drei publizierten Fälle zeigten ein Verschwinden der synergistischen Divergenz und eine verbesserte Adduktion bei erwartungsgemäß eingeschränkter Abduktion [Sharma et al. 2020].

4.9 Klinische Bedeutung, Stärken und Limitationen

Die klinische Bedeutung dieser Arbeit liegt im Beleg der stabilen Korrektur der Exotropie bei Okulomotoriusparalyse ohne Beeinträchtigung des Visus und im systematischen Nachweis des Ausbleibens chorioretinaler Komplikationen bei Anwendung der modifizierten Operationstechnik. Die Stärken der Studie bestehen in der Anwendung einer einheitlichen Technik, der standardisierten prä- und postoperativen Diagnostik einschließlich Fundus-OCT sowie der relativ großen Fallzahl im internationalen Vergleich. Aufgrund der vereinfachten Transposition sollte die Technik auch in Händen anderer erfahrener Augenmuskelchirurgen vergleichbare Ergebnisse liefern. Ergänzend zur Analyse der horizontalen Wirkung liefert die aktuelle Auswertung auch erste Daten zur postoperativen Vertikaldeviation. Limitationen bestehen in der dennoch geringen Fallzahl und im Drop-out bei den späten Nachkontrollen.

5 Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, die Effektivität und Sicherheit einer modifizierten Technik der nasalen Transposition des gesplitteten M. rectus lateralis (NTSLR) mit temporärem Absetzen und anteriorer Refixation der Mm. obliqui superior und inferior bei Okulomotoriusparalyse zu untersuchen.

Retrospektiv wurden 16 Augen von 15 Patienten mit chronischer Okulomotoriusparese ausgewertet. Die prä- und postoperative Diagnostik umfasste Schielwinkelmessungen, Visus- und Refraktionsbestimmung sowie eine regelmäßige OCT-Diagnostik zur Erfassung möglicher chorioretinaler Komplikationen.

Die durch die äquatornahe Transponatfixation und temporäre Desinsertion der Mm. obliqui modifizierte NTSLR-Technik führte zu einer stabilen Reduktion der Exotropie von im Mittel 42° auf eine im Mittel nahezu orthotrope Position. Der horizontale Operationseffekt ist mit dem Effekt der ursprünglichen, von Kaufmann beschriebenen Technik und anderer, später beschriebenen Modifikationen vergleichbar. Hinsichtlich der vertikalen Deviation zeigte sich kein systematischer Operationseffekt. Eine vertikale Wirkung fiel nur in Einzelfällen auf. Die OCT-Diagnostik zeigte zu keinem Zeitpunkt eine seröse Netzhautabhebung oder andere Makulaveränderungen. Auch sonstige in der Literatur erwähnte Komplikationen traten in keinem Fall auf. Die äquatornahe Fixation der transponierten Muskelhälften und das Absetzen der schrägen Muskeln erlauben eine spannungsarme Transposition mit einer im Vergleich zur originalen Technik größeren Distanz der Muskelhälften zu den Vortexvenen, wodurch ein chorioidaler Abflussstau offenbar vermieden wird.

6 Literaturverzeichnis

1. Ansons AM, Davis H. Diagnosis and Management of Ocular Motility Disorders. 4th ed. 2014.
2. Aumann S, Donner S, Fischer J, Müller F. Optical coherence tomography (OCT): principle and technical realization. In: Bille JF, editor. High Resolution Imaging in Microscopy and Ophthalmology: New Frontiers in Biomedical Optics, Cham: Springer; 2019. p. PMID: 32091846.
3. Aygit ED, İnal A, Ocak OB, Celik S, Fazıl K, Yildiz BK, Taskapili M, Gokyigit B. Simplified approach of Gokyigit's technique for complete cranial nerve third palsy. Int Ophthalmol. 2019 Jan;39(1):111-116. doi: 10.1007/s10792-017-0794-x. Epub 2017 Dec 23. PMID: 29274025.
4. Bagheri A, Feizi M, Sahebghalam R, Yazdani S. Lateral Rectus-Medial Rectus Union: A New Surgical Technique for Treatment of Complete Third Nerve Palsy. J Pediatr Ophthalmol Strabismus. 2019 Jan 23;56(1):10-18. doi: 10.3928/01913913-20180920-01. Epub 2018 Oct 26. PMID: 30371913.
5. Bagolini B. Anomalous correspondence: definition and diagnostic methods. Doc Ophthalmol. 1967;23:346–398. doi:10.1007/BF02550758. PMID: 5583482.
6. Barry JC. Hier irrte Hirschberg: Der richtige Winkelfaktor beträgt 12 degrees pro mm Hornhautreflexdezentrierung. Geometrisch-optische Analyse verschiedener Methoden der Strabismometrie. Klin Monbl Augenheilkd. 1999 Aug;215(2):104–113. German. doi:10.1055/s-2008-1034681. PMID: 10483560.
7. Basiakos S, Gräf M, Preising MN, Lorenz B. Splitting of the lateral rectus muscle with medial transposition to treat oculomotor palsy: a retrospective analysis of 29 consecutive cases. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2019 Sep;257(9):2005–2014.
8. Becker R, Hübsch S, Gräf MH, Kaufmann H. Examination of young children with Lea symbols. Br J Ophthalmol. 2002 May;86(5):513–516. doi:10.1136/bjo.86.5.513. PMID: 11973243; PMCID: PMC1771129.
9. Biousse V, Newman NJ. Third nerve palsies. Semin Neurol. 2000;20(1):55–74.
10. Capó H, Warren F, Kupersmith MJ. Evolution of oculomotor nerve palsies. J Clin Neuroophthalmol. 1992;12:21–25.

11. Castro O, Johnson LN, Mamourian AC. Isolated inferior oblique paresis from brainstem infarction: perspective on oculomotor fascicular organization in the ventral midbrain tegmentum. Arch Neurol. 1990;47:235–237.
12. Cherungottil L, Shetty S, Vijayalakshmi P. Congenital oculomotor nerve palsy due to effects of carotid artery agenesis. J AAPOS. 2014;18:507–509.
13. Choi RY, Kushner BJ. The accuracy of experienced strabismologists using the Hirschberg and Krimsky tests. Ophthalmology. 1998;105:1301–1306. doi:10.1016/S0161-6420(98)97037-3.
14. Choong YF, Chen AH, Goh PP. A comparison of autorefraction and subjective refraction with and without cycloplegia in primary school children. Am J Ophthalmol. 2006 Jul;142(1):68–74. doi:10.1016/j.ajo.2006.01.084. PMID: 16815252.
15. Conover WJ. Practical Nonparametric Statistics. 3rd ed. New York: Wiley; 1999.
16. Cunningham ET, Good WV. Inferior branch oculomotor nerve palsy: a rare case report. J Neuroophthalmol. 1994;14:21–23.
17. De Respinis PA, Naidu E, Brodie SE. Calibration of Hirschberg test photographs under clinical conditions. Ophthalmology. 1989;96:944–949.
18. Dhiman R, Gorimanipalli B, Swamy DR. Congenital third nerve palsy associated with midbrain hypoplasia due to bilateral segmental internal carotid artery agenesis. J Neuroophthalmol. 2018;38:483–485.
19. Diggle P, Heagerty P, Liang KY, Zeger S. Analysis of Longitudinal Data. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press; 2002.
20. Ebright PJr, Septic thrombosis of the cavernous sinuses. Arch Intern Med. 2001;161:2671–2676.
21. Erbagci I, Öner V, Coskun E, Okumus S. A New Surgical Treatment Option for Chronic Total Oculomotor Nerve Palsy: A Modified Technique for Medial Transposition of Split Lateral Rectus Muscle. J Pediatr Ophthalmol Strabismus. 2016 May 1;53(3):150-4. doi: 10.3928/01913913-20160405-02. PMID: 27224949.
22. Everton KL, Rassner UA, Osborn AG. The oculomotor cistern: anatomy and high-resolution imaging. Am J Neuroradiol. 2008;29:1344–1348.
23. Fang C, Leavitt JA, Hodge DO. Incidence and etiologies of acquired third nerve palsy using a population-based method. JAMA Ophthalmol. 2017;135:23–28.
24. Fitzmaurice GM, Laird NM, Ware JH. Applied Longitudinal Analysis. 2nd ed. Hoboken: Wiley; 2011.

25. Fricke T, Siderov J. Non-stereoscopic cues in the Random-Dot E stereotest: results for adult observers. Ophthalmic Physiol Opt. 1997 Mar;17(2):122–127. PMID: 9196674.
26. Friedman M. The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance. J Am Stat Assoc. 1937;32(200):675–701.
27. Ghasemi A, Zahediasl S. Normality tests for statistical analysis: a guide for non-statisticians. Int J Endocrinol Metab. 2012;10(2):486–489. doi:10.5812/ijem.3505.
28. Glass GV, Peckham PD, Sanders JR. Consequences of failure to meet assumptions underlying the fixed effects analyses of variance and covariance. Rev Educ Res. 1972;42(3):237–288. doi:10.3102/00346543042003237.
29. Gold DR, Shin RK, Bhatt NP. Aberrant regeneration of the third nerve.
30. Gokyigit B, Akar S, Satana B, Demirok A, Yilmaz OF. Medial transposition of a split lateral rectus muscle for complete oculomotor nerve palsy. J AAPOS. 2013 Aug;17(4):402–410. doi:10.1016/j.jaapos.2013.05.007. PMID: 23993720.
31. Gökyigit B, Ocak OB, Aygit ED, Inal A, Gurez C, Celik S, Huseyinhan Z. Long term results of splat lateral rectus nasal transposition in complete third nerve palsy: Comparison of original and simplified techniques in 32 patients. In: Ziylan S (ed) Transactions 40th Meeting European Strabismological Association, Helsinki. European Strabismological Association; 2019. p. 285-289.
32. Gorczynska E, Spectral-domain optical coherence tomography in ophthalmology: a review of current technology. J Ophthalmol. 2021
33. Gottlob I, Catalano RA, Reinecke RD. Surgical management of oculomotor nerve palsy. Am J Ophthalmol. 1991 Jan 15;111(1):71-6. doi: 10.1016/s0002-9394(14)76900-4. PMID: 1985494.
34. Gräf M, Starosta DA, Hausmann A. Rehabilitative Chirurgie bei einer Okulomotoriusparese. Ophthalmologe. 2023 Oct;120(10):1049–1052.
35. Gräf M. Die Zügeloperation bei inkompletter Okulomotoriusparalyse (Rectus-superior- und Rectus-lateralis-Transposition nach nasal unten). Ophthalmologe. 2021 Nov;118(11):1113–1118.
36. Gräf M, Lorenz B. Nasal-inferiore Transposition des M. rectus lateralis bei Okulomotoriusparese. Klin Monbl Augenheilkd 2010; 227:804-808.
37. Gräf M, Starosta DA. Rehabilitative Chirurgie bei einer Okulomotoriusparese. Ophthalmologie 2023; 120:1049-1052.

38. Hankinson J, Shuaib A. Surgical management of oculomotor nerve palsy – a review of the literature. Eur J Ophthalmol. 2024 Nov;34(6):1667–1674. doi:10.1177/11206721241229758. Epub 2024 Feb 1. PMID: 38303488.
39. Helveston EM. Surgical Management of Strabismus. New York: Oxford University Press; 2000.
40. Hillemanns A, Freudenstein D, Küker W. Diagnostik der akuten Okulomotoriusparese. Rofo. 2002 Aug;174(8):1043–1044.
41. Hunold W, Auffarth G, Effert R. Klinische Anwendung des Canon Autorefraktometers R10 zur Refraktionsbestimmung bei Schielkindern. Klin Monbl Augenheilkd. 1988;192:58–65.
42. Jackson E. Operations on the extrinsic or orbital muscles. In: Wood CA, editor. A System of Ophthalmic Operations. Chicago: Cleveland Press; 1911. Vol 1. p. 649.
43. Joyce C, Le PH, Peterson DC. Neuroanatomy, cranial nerve 3 (oculomotor). In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 [cited 2024 Oct 15]. Available from: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537126/.
44. Karagöz Y. SPSS ve AMOS Uygulamalı İstatistiksel Analizler. Ankara: Nobel; 2016.
45. Kaufmann H. Lateralissplitting bei totaler Okulomotoriusparalyse mit Trochleariasparese. Fortschr Ophthalmol. 1991;88:314–316.
46. Kaufmann H (2007), Surgical procedures in the treatment of paralytic strabismus, ESA-Meeting Mykonos
47. Kaufmann H. Operative Versorgung der Okulomotoriusparese. Z Prakt Augenheilkd. 2011;32:329–334.
48. Kaufmann H. Die sogenannte Zügeloperation. Fortschr Ophthalmol. 1990;87:189–191.
49. Kaufmann H. Surgical procedures in the treatment of paralytic strabismus. In: Gómez de Liaño R (ed) Transactions 31st Meeting European Strabismological Association, Mykonos. European Strabismological Association; 2007. p. 7-16
50. Karatas M. Internuclear and supranuclear disorders of eye movements: clinical features and causes. Eur J Neurol. 2009;16:1265–1277.
51. Khan SS, Shah AS, Dagi LR, Medow NB, Friedman IB, Rosenberg JB. Complication and Management of Optic Nerve Edema Resulting From Nasal Transposition of the Split Lateral Rectus Muscle. J Pediatr Ophthalmol Strabismus. 2021

May-Jun;58(3):e12-e15. doi: 10.3928/01913913-20210216-01. Epub 2021 May 1. PMID: 34039163.

52. Kim KY, Choi GS, Kang MS, Kim US. Comparison study of the axial length measured using the new swept-source optical coherence tomography ANTERION and the partial coherence interferometry IOLMaster. PLoS One. 2020 Dec 31;15(12):e0244590. doi:10.1371/journal.pone.0244590. PMID: 33382814; PMCID: PMC7775111.
53. Knapp P. Incomitant exodeviations and their treatment. In: Manley DR, editor. St. Louis: Mosby; 1971. p. 157–161.
54. Knapp P. In: Symposium on Strabismus. Transactions of the New Orleans Academy of Ophthalmology. Mosby, St. Louis 1978:350-357
55. Köse S, Üretmen Ö, Pamukçu K. An approach to the surgical management of total oculomotor nerve palsy. Strabismus. 2001 Jan;9(1):1–8.
56. Kushner B. Grand rounds #15: A case of paresis of the inferior division of the IIIrd nerve. Binocul Vis Strabismus Q 1989;4:120-124
57. Kushner BJ. Surgical treatment of paralysis of the inferior division of the oculomotor nerve. Arch Ophthalmol. 1999;117:485–489.
58. Lam AK, Chan R, Pang PC. The repeatability and accuracy of axial length and anterior chamber depth measurements from the IOLMaster. Ophthalmic Physiol Opt. 2001 Nov;21(6):477–483. doi:10.1046/j.1475-1313.2001.00611.x. PMID: 11727876.
59. Lange C, Feltgen N, Junker B, Schulze-Bonsel K, Bach M. Resolving the clinical acuity categories “hand motion” and “counting fingers” using the Freiburg Visual Acuity Test (FrACT). Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2009 Jan;247(1):137–142.
60. Liu G, Volpe N, Galetta S. Neuro-Ophthalmology: Diagnosis and Management. 2nd ed.]; 2010. Part Three, Efferent Neuro-Ophthalmic Disorders.
61. Lyons CJ, Godoy F, ALQahtani E. Cranial nerve palsies in childhood. Eye (Lond). 2015;29:246–251.
62. Martins C, Yasuda A, Campero A. Microsurgical anatomy of the oculomotor cistern. Neurosurgery. 2006;58(Suppl 2):220–228.
63. Maruo T, Iwashige H, Kubota N, Sakaue T, Ishida T, Honda M, Nemoto Y, Usui C. Results of surgery for paralytic exotropia due to oculomotor palsy. Ophthalmologica. 1996;210(3):163-7. doi: 10.1159/000310699. PMID: 8738461.

64. McDougal DH, Gamlin PD. Autonomic control of the eye. Compr Physiol. 2016;5:439–473.
65. McNemar Q. Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages. Psychometrika. 1947;12(2):153–157.
66. Mundry R, Fischer J. Use of statistical programs for nonparametric tests of small samples often leads to incorrect P values: examples from Animal Behaviour. Anim Behav. 1998;56(1):256–259. doi:10.1006/anbe.1998.0756.
67. Oke I, Lorenz B, Basiakos S, Gokyigit B, Dodd MU, Laurent E, Hunter DG, Goberville M, Elkamshoushy A, Tsai CB, Orge F, Velez FG, Jeddawi L, Gravier N, Li N, Shah AS, Dagi LR; NTSLR3NP Study Group. Nasal Transposition of the Split Lateral Rectus Muscle for Strabismus Associated With Bilateral 3rd-Nerve Palsy. Am J Ophthalmol. 2022 Oct;242:165-172. doi: 10.1016/j.ajo.2022.06.010. Epub 2022 Jun 22. PMID: 35750218.
68. Pandey M, Baduni N, Jain A, Sanwal MK, Vajifdar H. Abnormal oculocardiac reflex in two patients with Marcus Gunn syndrome. J Anaesthesiol Clin Pharmacol. 2011 Jul;27(3):398–399. doi:10.4103/0970-9185.83693. PMID: 21897519; PMCID: PMC3161473.
69. Peter LC. The use of the superior oblique as an internal rotator in third nerve paralysis. Trans Am Ophthalmol Soc. 1933;31:232–237.
70. Purvin V. Isolated fascicular third nerve palsy. J Neuroophthalmol. 2010;30:263–265.
71. Rao VB, Helveston EM, Sahare P. Treatment of upshoot and downshoot in Duane syndrome by recession and Y-splitting of the lateral rectus muscle. J AAPOS. 2003 Dec;7(6):389-95. doi: 10.1016/s1091-8531(03)00213-1. PMID: 14730290.
72. Rüssmann W. Untersuchung des Binokularsehens. In: Steffen H, Kaufmann H (Hrsg). Strabismus. Stuttgart: Thieme; 2020. p. 232–293.
73. Saeki N, Yamaura A, Sunami K. Bilateral ptosis with pupil sparing because of a discrete midbrain lesion: magnetic resonance imaging evidence of topographic arrangement within the oculomotor nerve. J Neuroophthalmol. 2000;20:130–134.
74. Sato M, Maeda M, Ohmura T, Miyazaki Y. Myectomy of lateral rectus muscle for third nerve palsy. Jpn J Ophthalmol. 2000;44(5):555–558.
75. Saxena R, Sharma M, Singh D, Medial transposition of split lateral rectus augmented with fixation sutures in complete third nerve palsy. Br J Ophthalmol. 2016;100:585–587. doi:10.1136/bjophthalmol-2015-307583.

76. Saxena R, Sethi A, Dhiman R, Sharma M, Sharma P. Enhanced adjustable nasal transposition of split lateral rectus muscle for surgical management of oculomotor nerve palsy. J AAPOS. 2020 Jun;24(3):183-186. doi: 10.1016/j.jaapos.2020.02.013. Epub 2020 Jun 6. PMID: 32522706.
77. Sharma P, Saxena R, Bhaskaran K, Dhiman R, Sethi A, Obedulla H. Augmented medial transposition of split lateral rectus in the management of synergistic divergence. J AAPOS. 2020 Feb;24(1):37-40. doi: 10.1016/j.jaapos.2019.10.004. Epub 2019 Nov 24. PMID: 31775057.
78. Sheskin DJ. Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures. 5th ed. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC; 2020.
79. Siegel S, Castellan NJ. Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 1988.
80. Schiebler TH, Schmidt W, Arnold G, Beier HM, Herrmann M, Kretschmann W, et al. Lehrbuch der gesamten Anatomie des Menschen. Teil: Sinnesorgane; Teil: Kopf und Hals. 1. Aufl. Heidelberg/Berlin: Springer; 1977.
81. Schumacher-Feero LA, Yoo KW, Solari FM. Third cranial nerve palsy in children. Am J Ophthalmol. 1999;128:216–221.
82. Schwartz TH, Lycette CA, Yoon SS. Clinicoradiographic evidence for oculomotor fascicular anatomy. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 1995;59:338.
83. Shah AS, Prabhu SP, Sadiq MA, Mantagos IS, Hunter DG, Dagi LR. Adjustable nasal transposition of split lateral rectus muscle for third nerve palsy. JAMA Ophthalmol. 2014 Aug;132(8):963-9. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2014.756. PMID: 24723153.
84. Shah AS, Dodd MU, Gokyigit B, Lorenz B, Laurent E, Sadiq MAA, Tsai CB, Gravier N, Goberville M, Basiakos S, Zurakowski D, Dagi LR; NTSLR3NP Study Group. Worldwide outcomes of nasal transposition of the split lateral rectus muscle for strabismus associated with 3rd-nerve palsy. Br J Ophthalmol. 2023 May;107(5):725-731. doi: 10.1136/bjophthalmol-2021-319667. Epub 2021 Dec 8. PMID: 34880051; PMCID: PMC10176407.
85. Sharma P, Saxena R, Bhaskaran K, Dhiman R, Sethi A, Obedulla H. Augmented medial transposition of split lateral rectus in the management of synergistic divergence. J AAPOS. 2020 Feb;24(1):37-40. doi: 10.1016/j.jaapos.2019.10.004. Epub 2019 Nov 24. PMID: 31775057.

86. Sharpe JA, Wong AMF, Fouladvand M. Ocular motor nerve palsies: implications for diagnosis and mechanisms of repair. Prog Brain Res. 2008;171:59–66.
87. Sharpe J, Wong AM. Anatomy and physiology of ocular motor systems. In: Miller NR, Newman NJ, Biousse V, Kerrison JB, editors. Walsh and Hoyt's Clinical Neuro-Ophthalmology. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2005. p. 809–885.
88. Singh A, Bahuguna C, Nagpal R, Kumar B. Surgical management of third nerve palsy. Oman J Ophthalmol. 2016;9(2):80.
89. Scott AB. Transposition of the superior oblique. Am Orthopt J. 1977;27:11–14. PMID: 900608.
90. Sukhija J, Kaur S, Singh U. Nasal lateral rectus transposition combined with medial rectus surgery for complete oculomotor nerve palsy. J AAPOS. 2014 Aug;18(4):395-6. doi: 10.1016/j.jaapos.2014.03.010. PMID: 25173905.
91. Talebnejad MR, Sharifi M, Nowroozzadeh MH. The role of botulinum toxin in management of acute traumatic third-nerve palsy. J AAPOS. 2008 Oct;12(5):510–513.
92. Taylor JN. Surgical management of oculomotor nerve palsy with lateral rectus transplantation to the medial side of the globe. Aust N Z J Ophthalmol. 1989;17:27–31.
93. Tjon-Fo-Sang M, van Ruijven R, Vijibrief JW, de Faber JTHN.
Secondary glaucoma after nasal transposition of the split lateral rectus muscle.
Poster presentation, European Strabismological Association (ESA) / International Strabismological Association (ISA) Meeting, 2024.
94. Tsutsumi S, Nakamura M, Tabuchi T, Yasumoto Y, Ito M. An anatomic study of the inferior oblique nerve with high-resolution magnetic resonance imaging. Surg Radiol Anat. 2013 Jul;35(5):377–383.
95. Velez FG, Thacker N, Britt MT, Alcorn D, Foster RS, Rosenbaum AL. Rectus muscle orbital wall fixation: a reversible profound weakening procedure. J AAPOS. 2004 Oct;8(5):473–480.
96. von Noorden GK, Campos EC. Binocular Vision and Ocular Motility: Theory and Management of Strabismus. 6th ed. St. Louis: Mosby; 2002.
97. Walsh FB, Hoyt WF. Clinical Neuro-Ophthalmology. 3rd ed. Baltimore (MD): Williams & Wilkins; 1969. p. 255–256.

98. Wilcox R. Introduction to Robust Estimation and Hypothesis Testing. 3rd ed. San Diego: Academic Press; 2013.

99. Wilcoxon F. Individual comparisons by ranking methods. Biometrics Bull. 1945;1(6):80–83.

100. Yap BW, Sim CH. Comparisons of various types of normality tests. J Stat Comput Simul. 2011;81(12):2141–2155. doi:10.1080/00949655.2010.520163.

101. Yanovitch T, Buckley E. Diagnosis and management of third nerve palsy. Curr Opin Ophthalmol. 2007 Sep;18(5):373–378.

102. Young TL, Conahan BM, Summers CG, Egbert JE. Anterior transposition of the superior oblique tendon in the treatment of oculomotor nerve palsy and its influence on postoperative hypertropia. J Pediatr Ophthalmol Strabismus. 2000 May-Jun;37(3):149-55. doi: 10.3928/0191-3913-20000501-06. PMID: 10845415.

103. Zhang KX, Varma H, Cao Y, Shah VS. Split-Tendon Medial Transposition of Lateral Rectus for Pediatric Complete Oculomotor Palsy. J Neuroophthalmol. 2023 Jun 1;43(2):254-260. doi: 10.1097/WNO.0000000000001731. Epub 2022 Nov 7. PMID: 36342135; PMCID: PMC10166200.

7 Anhang

Tabelle 1-A: Teststatistiken zur Normalverteilung der Variablen

Variable	Kontrollzeitpunkt	Kolmogorov-Smirnov		Shapiro-Wilk		S	K
		Test	[p]	Test	[p]		
Horizontale Deviation	Vor Op.	D(16)=0.158	[0.145]	W(16)=0.788*	[0.002]	-2.195	6.197
	1. Nachkontrolle	D(16)=0.294*	[0.001]	W(16)=0.744*	[0.001]	-2.049	4.017
	2. Nachkontrolle	D(7)=0.138	[0.200]	W(7)=0.975	[0.930]	-0.567	0.421
	3. Nachkontrolle	D(5)=0.291	[0.192]	W(5)=0.832	[0.144]	-1.672	2.979
Vertikale Deviation	Vor Op.	D(16)=0.266*	[0.004]	W(16)=0.920	[0.167]	0.740	1.324
	1. Nachkontrolle	D(16)=0.140	[0.200]	W(16)=0.915	[0.142]	1.073	1.579
	2. Nachkontrolle	D(7)=0.313*	[0.037]	W(7)=0.805*	[0.046]	-0.987	3.354
	3. Nachkontrolle	D(5)=0.318	[0.110]	W(5)=0.815	[0.106]	-0.471	-3.034
Abduktion	Vor Op.	D(16)=0.536*	[0.000]	W(16))=0.273*	[0.000]	-4.000	16.000
	1. Nachkontrolle	D(15)=0.298*	[0.001]	W(15)=0.895	[0.080]	-0.519	-0.265
	2. Nachkontrolle	D(8)=0.149	[0.200]	W(8)=0.943	[0.637]	0.026	-1.261
	3. Nachkontrolle	D(5)=0.269	[0.200]	W(5)=0.894	[0.376]	1.228	2.399
Adduktion	Vor Op.	D(16)=0.157	[0.200]	W(16)=0.965	[0.745]	0.206	-0.229
	1. Nachkontrolle	D(15)=0.241*	[0.019]	W(15)=0.854*	[0.020]	0.414	-1.257
	2. Nachkontrolle	D(8)=0.220	[0.200]	W(8)=0.884	[0.208]	-0.336	-1.876
	3. Nachkontrolle	D(5)=0.300	[0.161]	W(5)=0.883	[0.325]	0.000	2.000
Elevation	Vor Op.	D(16)=0.330*	[0.000]	W(16)=0.820*	[0.005]	1.096	1.480
	1. Nachkontrolle	D(15)=0.338*	[0.000]	W(15)=0.820*	[0.007]	1.504	3.565
	2. Nachkontrolle	D(8)=0.198	[0.200]	W(8)=0.956	[0.773]	0.160	-0.377
	3. Nachkontrolle	D(5)=0.473*	[0.001]	W(5)=0.552*	[0.000]	2.236	5.000
Depression	Vor Op.	D(16)=0.353*	[0.000]	W(16)=0.774*	[0.001]	1.077	-0.278
	1. Nachkontrolle	D(15)=0.259*	[0.008]	W(872)=0.872*	[0.036]	0.548	1.591
	2. Nachkontrolle	D(8)=0.220	[0.200]	W(8)=0.917	[0.408]	-0.386	-0.448
	3. Nachkontrolle	D(5)=0.201	[0.200]	W(5)=0.881	[0.314]	1.089	0.536
Visus LogMAR	Vor Op.	D(13)=0.244*	[0.033]	W(13)=0.843*	[0.023]	1.029	-0.096
	1. Nachkontrolle	D(13)=0.185	[0.200]	W(13)=0.936	[0.406]	0.559	-0.157
	2. Nachkontrolle	D(6)=0.316	[0.062]	W(6)=0.841	[0.132]	0.952	-1.023
	3. Nachkontrolle	D(5)=0.250	[0.200]	W(5)=0.865	[0.246]	-0.182	-2.794
Refraktion	Vor Op.	D(15)=0.203	[0.098]	W(15)=0.909	[0.129]	0.965	0.523
	1. Nachkontrolle	D(5)=0.136	[0.200]	W(5)=0.990	[0.979]	-0.250	-0.764
	2. Nachkontrolle	D(8)=0.199	[0.200]	W(8)=0.914	[0.382]	-1.023	2.672
	3. Nachkontrolle	D(4)=0.312	-	W(4)=0.783	[0.075]	1.696	2.781

*zeigt Signifikanz auf dem 5%-Niveau. D = Kolmogorov-Smirnov-Teststatistik, W = Shapiro-Wilk-Teststatistik, (runde Klammern geben die Freiheitsgrade der Tests an), [eckige Klammern enthalten die Signifikanzwerte der Tests], S = Schiefe, K = Kurtosis

Tabelle 2-A: Fallbeschreibende Statistiken

Seite	LA	(n=9)
	RA	(n=7)
Geschlecht	Male	(n=8)
	Female	n=8)
Alter	$\bar{X}\pm\sigma$	29.6±26.3
	Min, Max	Min=2, Max=81
Paresegrund	Apoplex	(n=3)
	AVM mit Aneursymen	(n=1)
	Hirnblutung	(n=1)
	Hirnstamminfarkt	(n=1)
	Hypophysenadenom	(n=1)
	Kongenital	(n=2)
	Schwannom	(n=2)
	Unfall	(n=3)
	Unklare Ursache	(n=1)
	Neurinom	(n=1)
Bulbuslänge	$\bar{X}\pm\sigma$	23.5±1.3
	Min, Max	Min=21.30, Max=25.70
Anamnese/Amblyopie	0	(n=10)
	1	(n=1)
Paresedauer in Monaten	$\bar{X}\pm\sigma$	51.8±39.0
	Min, Max	Min=12, Max=211
Pupillenbeteiligung	0	(n=1)
	1	(n=15)
Ptosis	0	-
	1	%100 (n=16)
Transponat Lage ab Limbus	$\bar{X}\pm\sigma$	10.8±11.0
	Min, Max	Min=8, Max=13.5
LogMAR-Visus	$\bar{X}\pm\sigma$	0.4±0.5
	Min, Max	Min=-2, Max=1.3
Refraktion AASE	$\bar{X}\pm\sigma$	0.7±1.5
	Min, Max	Min=-1.25, Max=3.75

$\bar{X}$ = Mittelwert, σ = Standardabweichung

Tabelle 3-A: Hypothesentests zur Analyse der Unterschiede in der horizontalen Abweichung zwischen den Kontrollzeitpunkten

Variable	Vor Op. (n=16)	1.Nachkontrolle (n=16)	2. Nachkontrolle (n=7)	3.Nachkontrolle (n=5)
Horizontale Deviation	$\bar{X}\pm\sigma$	$\bar{X}\pm\sigma$	$\bar{X}\pm\sigma$	$\bar{X}\pm\sigma$
	-42.313±15.230	-1.438±17.332	5.143±8.802	-4.600±17.981
Wilcoxon Test (H_0: $\mu_{vorop} = \mu_{t+\alpha}$), α=1, 2, 3	-	Z(1)=-3.517* [0.000]	Z(1)=-2.366* [0.018]	Z(1)=-2.023* [0.043]
Wilcoxon Test (H_0: $\mu_t = \mu_{t+1}$)	Z(1)=-3.517* [0.000]	-	-	
	-	Z(1)=-0.680 [0.496]		-
	-		Z(1)=-1.342 [0.180]	

*zeigt Signifikanz auf dem 5%-Niveau an. $\bar{X}$ = Mittelwert, σ = Standardabweichung, (runde Klammern enthalten die Freiheitsgrade des Tests), [eckige Klammern enthalten die Signifikanzwerte des Tests], Z(df) = Z-Teststatistik mit df Freiheitsgraden, _ = Teststatistik nicht berechenbar

Tabelle 4-A: Hypothesentests zur Analyse der Unterschiede in der vertikalen Abweichung zwischen den Kontrollzeitpunkten

Variable	Vor Op. (n=16)	1. Nachkontrolle (n=16)	2. Nachkontrolle (n=7)	3.Nachkontrolle (n=5)
Vertikale Deviation	$\bar{X}\pm\sigma$	$\bar{X}\pm\sigma$	$\bar{X}\pm\sigma$	$\bar{X}\pm\sigma$
	-0.150±7.598	-0.938±7.801	-5.751±3.823	-5.400±9.370
Wilcoxon Test (H_0: $\mu_{vorop} = \mu_{t+\alpha}$), α=1, 2, 3	-	Z(1)=-1.658 [0.097]	Z(1)=-2.120* [0.034]	Z(1)=-1.069 [0.285]
Wilcoxon Test (H_0: $\mu_t = \mu_{t+1}$)	Z(1)=-1.658 [0.097]	-	-	
	-	Z(1)=-1.524 [0.128]		-
	-		Z(1)=-0.447 [0.655]	

*zeigt Signifikanz auf dem 5%-Niveau an. $\bar{X}$ = Mittelwert, σ = Standardabweichung, (runde Klammern enthalten die Freiheitsgrade des Tests), [eckige Klammern enthalten die Signifikanzwerte des Tests], Z(df) = Z-Teststatistik mit df Freiheitsgraden, _ = Teststatistik nicht berechenbar

Tabelle 5-A: Hypothesentests zur Analyse der Unterschiede im Visus LogMAR zwischen den Kontrollzeitpunkten

Variable	Vor Op. (n=13)	1. Nachkontrolle (n=13)	2.Nachkontrolle (n=6)	3.Nachkontrolle (n=5)
Visus LogMAR	$\bar{X}\pm\sigma$	$\bar{X}\pm\sigma$	$\bar{X}\pm\sigma$	$\bar{X}\pm\sigma$
	0.346±0.353	0.562±0.333	0.500±0.522	0.880±0.559
Wilcoxon Test (H_0: $\mu_{vorop} = \mu_{t+\alpha}$), α=1, 2, 3	-	Z(1)=-2.662* [0.008]	Z(1)=-1.342 [0.180]	Z(1)=-1.414 [0.157]
Wilcoxon Test (H_0: $\mu_t = \mu_{t+1}$)	Z(1)=-2.662* [0.008]	-	-	
	-	Z(1)=-1.134 [0.257]		-
	-		Z(1)=0.000 [1.000]	

*zeigt Signifikanz auf dem 5%-Niveau an. $\bar{X}$ = Mittelwert, σ = Standardabweichung, (runde Klammern enthalten die Freiheitsgrade des Tests), [eckige Klammern enthalten die Signifikanzwerte des Tests], Z(df) = Z-Teststatistik mit df Freiheitsgraden, _ = Teststatistik nicht berechenbar

Tabelle 6-A: Hypothesentests zur Analyse der Unterschiede in der Refraktion zwischen den Kontrollzeitpunkten

Variable	Vor Op. (n=15)	1. Nachkontrolle (n=5)	2. Nachkontrolle (n=8)	3.Nachkontrolle (n=4)
Refraktion	$\bar{X}\pm\sigma$	$\bar{X}\pm\sigma$	$\bar{X}\pm\sigma$	$\bar{X}\pm\sigma$
	0.033±1.788	-0.950±4.281	-0.313±3.147	0.063±2.014
Wilcoxon Test (H_0: $\mu_{vorop} = \mu_{t+\alpha}$), α=1, 2, 3	-	Z(1)=0.000 [1.000]	Z(1)=-0.841 [0.400]	Z(1)=-1.473 [0.141]
Wilcoxon Test (H_0: $\mu_t = \mu_{t+1}$)	Z(1)=0.000 [1.000]	-	-	
	-	Z(1)=-1.134 [0.257]		-
	-		Z(1)=0.000 [1.000]	

*zeigt Signifikanz auf dem 5%-Niveau an. $\bar{X}$ = Mittelwert, σ = Standardabweichung, (runde Klammern enthalten die Freiheitsgrade des Tests), [eckige Klammern enthalten die Signifikanzwerte des Tests], Z(df) = Z-Teststatistik mit df Freiheitsgraden, _ = Teststatistik nicht berechenbar

Tabelle 7-A: Hypothesentests zur Analyse der Unterschiede in Papillenbeurteilung zwischen den Kontrollzeitpunkten

Messungen		1. Nachkontrolle (n=16)		Total	2. Nachkontrolle (n=8)		Total	3. Nachkontrolle (n=4)		Total
Vor Op. (n=16)		Vital=0	Vital=1		Vital=0	Vital=1		Vital=0	Vital=1	
Vital=0	n	4	0	4	1	0	1	2	0	2
	%	100.0%	0.0%	25.0%	100.0%	0.0%	12.5%	100.0%	0.0%	50.0%
	% of T.	25.0%	0.0%	25.0%	12.5%	0.0%	12.5%	50.0%	0.0%	50.0%
Vital=1	n	0	12	12	0	7	7	0	2	2
	%	0.0%	100.0%	75.0%	0.0%	100.0%	87.5%	0.0%	100.0%	50.0%
	% of T.	0.0%	75.0%	75.0%	0.0%	87.5%	87.5%	0.0%	50.0%	50.0%
Total	n	4	12	16	1	7	8	2	2	4
	%	100.0%	100.0%	100.0 %	100.0%	100.0%	100.0 %	100.0%	100.0%	100.0%
	% of T.	25.0%	75.0%	100.0 %	12.5%	87.5%	100.0 %	50.0%	50.0%	100.0%
Mc Nemar Test		$\chi^2_{(1)}$=- , [1.000]			$\chi^2_{(1)}$=-, [1.000]			$\chi^2_{(1)}$=- ,[1.000]		

*zeigt Signifikanz auf dem 5%-Niveau an. $\bar{X}$ = Mittelwert, σ = Standardabweichung, (runde Klammern enthalten die Freiheitsgrade des Tests), [eckige Klammern enthalten die Signifikanzwerte des Tests], Z(df) = Z-Teststatistik mit df Freiheitsgraden, _ = Teststatistik nicht berechenbar

Tabelle 8-A: Hypothesentests zur Analyse der Unterschiede in Makulabeurteilung zwischen den Kontrollzeitpunkten (Makula intakt: ohne Komplikation)

Messungen		1. Nachkontrolle (n=16)		Total	2. Nachkontrolle (n=6)		Total	3. Nachkontrolle (n=4)		Total
Vor Op. (n=16)		intakt=0	intakt=1		intakt=0	intakt=1		intakt=0	intakt=1	
intakt=0	N	-	16	16	-	6	6	-	4	4
	%	-	100.0%	100.0 %	-	100.0%	100.0 %	-	100.0%	100.0%
	% of T.	-	100.0%	100.0 %	-	100.0%	100.0 %	-	100.0%	100.0%
intakt=1	N	-	16	16	-	6	6	-	4	4
	%	-	100.0%	100.0 %	-	100.0%	100.0 %	-	100.0%	100.0%
	% of T.	-	100.0%	100.0 %	-	100.0%	100.0 %	-	100.0%	100.0%
Total	N	-	16	16	-	6	6	-	4	4
	%	-	100.0%	100.0 %	-	100.0%	100.0 %	-	100.0%	100.0%
	% of T.	-	100.0%	100.0 %	-	100.0%	100.0 %	-	100.0%	100.0%
Mc Nemar Test		$\chi^2_{(1)}$=- , (-)			$\chi^2_{(1)}$=-, [-]			$\chi^2_{(1)}$=-, [-]		

*zeigt Signifikanz auf dem 5%-Niveau an. (Runde Klammern geben die Freiheitsgrade des Tests an), [Eckige Klammern enthalten die Signifikanzwerte], χ^2(df): Chi-Quadrat-Teststatistik mit df Freiheitsgraden, _: Teststatistik konnte nicht berechnet werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit befinden sich in Publikation:

Gräf M, Okcu A, Frank J. Nasal transposition of the split lateral rectus for 3rd nerve palsy – Influence on outcomes of lateral rectus placement. Indian Journal of Ophthalmology. Angenommen 29.07.2026, im Druck.

8 Danksagung

Ich danke meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. M. Gräf herzlich für die Überlassung des Themas, die kontinuierliche fachliche Betreuung sowie die konstruktiven Anregungen und kritischen Hinweise, die wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Besonders schätze ich seine Geduld und die Möglichkeit, diese Arbeit in einem wissenschaftlich anspruchsvollen und zugleich kollegialen Umfeld durchführen zu dürfen.

Mein Dank gilt außerdem allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Klinik für Augenheilkunde des Universitätsklinikums Gießen und Marburg, Standort Gießen, die mich bei der Durchführung der Studie unterstützt haben und durch ihre praktische Hilfe und fachliche Expertise zum erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit beigetragen haben.

Besonderer Dank gilt den Patientinnen und Patienten, die durch ihre Teilnahme diese Untersuchung erst ermöglicht haben.

Darüber hinaus möchte ich mich bei meiner Frau, meinen Eltern und meinen Freunden für ihre Unterstützung, ihr Verständnis und ihre Geduld während der gesamten Promotionszeit bedanken.

Der Lebenslauf wurde aus der elektronischen Version der Arbeit entfernt.

The curriculum vitae was removed from the electronic version of the paper.

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 sowie ethische, datenschutzrechtliche und tierschutzrechtliche Grundsätze befolgt. 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 und indirekt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Mit der Überprüfung meiner Arbeit durch eine Plagiatserkennungssoftware bzw. ein internetbasiertes Softwareprogramm erkläre ich mich einverstanden.“

Ort/Datum **Unterschrift**