

**Frühe versus späte Entfernung der Silikonöltamponade nach
rhegmatogener Amotio retinae: eine retrospektive
Vergleichsstudie**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Medizin (Dr. med.)

an der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von

Nefeli Eleni Kounatidou

aus

Athen, Griechenland

2025

Betruer:in/Gutachter:in der Dissertation: PD Dr. Christos Skevas

Gutachter:in der Dissertation: Prof. Dr. Anja Schlecht

Vorsitz der Prüfungskommission: Prof. Dr. Anja Schlecht

Mitglied der Prüfungskommission: PD Dr. Johannes Birtel

Mitglied der Prüfungskommission: PD Dr. Anna Levke Brütt

Datum der mündlichen Prüfung: 18.05.2026

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassende Darstellung	4
a. Kontext	4
b. STROBE-Richtlinien	9
c. Methodik	10
d. Ergebnisse	16
e. Diskussion	24
f. Einfluss der Tamponadedauer auf anatomische Ergebnisse	25
g. Risikofaktoren für eine Re-Amotio nach ROSO	26
h. Silikonöl-assoziierte Komplikationen	27
i. Limitationen	30
j. Aktuelle Entwicklungen und Innovationen in der Netzhautchirurgie	31
2. Publizierter Artikel.....	34
3. Zusammenfassung	45
a. Deutsch	45
b. English	45
4. Literaturverzeichnis	46
5. Verzeichnis der Abbildungen	53
6. Verzeichnis der Abkürzungen	54
7. Erklärung des Eigenanteils	55
8. Eidesstattliche Versicherung	56
9. Danksagung	57

1. Zusammenfassende Darstellung

a. Kontext

Die Retina, auch Netzhaut genannt, stellt die innersten Gewebe des hinteren Augenabschnitts dar und besteht aus mehreren funktionell hochspezialisierten Schichten. Die äußerste Schicht bildet das retinale Pigmentepithel, während die innere Begrenzung durch die innere Grenzmembran (internal limiting membrane, ILM) definiert wird, die dem Glaskörperraum zugewandt ist. Diese komplexe, mehrschichtige Struktur spielt eine zentrale Rolle in der visuellen Signalverarbeitung, indem sie einfallende Lichtreize in elektrische Signale umwandelt, die über den Sehnerv an das Gehirn weitergeleitet werden.

Eine Amotio retinae (Retinal Detachment, RD), oder Netzhautablösung, ist eine schwerwiegende ophthalmologische Erkrankung, bei der sich die neurosensorische Retina vom retinalen Pigmentepithel abhebt (Cejudo et al., 2022). Durch diese Abhebung wird die physiologische Verbindung zwischen beiden Schichten unterbrochen, was zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Stoffwechselforgänge innerhalb der Retina führt. Die Photorezeptoren der Retina, die Stäbchen und Zapfen, befinden sich in den äußeren Schichten der neurosensorischen Retina und sind für ihre Sauerstoff- und Nährstoffversorgung vollständig auf das retinale Pigmentepithel und die darunterliegende Choroidea angewiesen. Wird die Ablösung nicht umgehend behandelt, führt die Unterbrechung dieses Versorgungsmechanismus zu Hypoxie, metabolischer Dysfunktion und schließlich zur Degeneration der Photorezeptoren. Aus diesem Grund stellt die zeitnahe chirurgische Versorgung einen entscheidenden Faktor für den Erhalt des Sehvermögens dar.

Je nach zugrunde liegendem Mechanismus werden drei Hauptformen der Netzhautablösung unterschieden: die rhegmatogene, die exsudative und die traktive Netzhautablösung. Bei der rhegmatogenen Form kommt es infolge eines vollschichtigen Netzhautrisses zu einem Durchtritt von Flüssigkeit aus dem Glaskörperraum unter die Retina, wodurch sich die neurosensorische Schicht vom Pigmentepithel abhebt. Im Gegensatz dazu entsteht eine traktive Netzhautablösung durch mechanische Zugkräfte, wie bei der proliferativen diabetischen Retinopathie, während die exsudative Form durch Flüssigkeitsaustritt aus der Aderhaut infolge entzündlicher, vaskulärer oder neoplastischer Prozesse hervorgerufen wird, ohne dass ein Netzhautriss vorliegt.

Die rhegmatogene Netzhautablösung (Rhegmatogenous Retinal Detachment, RRD) ist die mit Abstand häufigste Variante dieser Erkrankung und weist eine geschätzte Inzidenz von 6,9 bis 18,2 Fällen pro 1.000.000 Personen auf (Shahid et al., 2022). Zu den wesentlichen Risikofaktoren

gehören eine hohe Myopie, okuläre Traumata, eine positive Familienanamnese, genetische Syndrome wie das Stickler- oder das Marfan-Syndrom sowie operative Eingriffe wie die Kataraktchirurgie. Rhegmatogene Netzhautablösungen werden in „macula-on“ und „macula-off“ Netzhautablösungen unterteilt, je nachdem, ob die Makula bereits abgelöst ist oder nicht. Da die Makula das zentrale Sehvermögen vermittelt, führt ihre Ablösung zu irreversiblen strukturellen und funktionellen Veränderungen der Photorezeptoren, was trotz erfolgreicher anatomischer Refixation mit einer ungünstigeren visuellen Prognose einhergeht (Ross et al., 1998). Die Behandlung der rhegmatogenen Netzhautablösung erfolgt durch eine chirurgische Intervention.

Zur operativen Behandlung der rhegmatogenen Netzhautablösung stehen verschiedene chirurgische Verfahren zur Verfügung, zu denen die Pars-plana-Vitrektomie (ppV), die Plombe Chirurgie und die pneumatische Retinopexie zählen. Bei der Plombe Chirurgie wird ein elastisches Silikonband permanent um den Bulbus gelegt, das unter den geraden Augenmuskeln verläuft. Durch die gezielte Eindellung der Sklera wird der bestehende Netzhautriss verschlossen, wodurch die neurosensorische Retina wieder an das Pigmentepithel anliegt. Häufig wird dieser Eingriff mit einer Retinopexie, meist einer Kryopexie, kombiniert, um eine dauerhafte chorioretinale Adhäsion zu erreichen.

Die pneumatische Retinopexie hingegen beruht auf der Injektion einer intraokularen Gasblase in den Glaskörperraum. Diese Gasblase drückt die abgelöste Netzhaut gegen das Pigmentepithel, wodurch sich die subretinale Flüssigkeit allmählich resorbieren kann. Anschließend erfolgt eine Laser- oder Kryokoagulation zur Abdichtung des ursächlichen Netzhautrisses und zur Stabilisierung der Adhäsion.

Die Pars-plana-Vitrektomie stellt heutzutage die am häufigsten angewandte chirurgische Methode zur Behandlung Netzhaut Erkrankungen, wie die rhegmatogene Netzhautablösung dar. Bei diesem Eingriff wird der Glaskörper vollständig entfernt, um Zugkräfte auf die Netzhaut zu eliminieren. Danach wird die subretinale Flüssigkeit abgesaugt, der Netzhautriss durch Laserkoagulation verschlossen und abschließend eine intraokulare Endotamponade eingebracht. Als Gasendotamponaden werden typischerweise Schwefelhexafluorid (SF_6), Perfluorpropan (C_3F_8) oder Perfluorethan (C_2F_6) verwendet. Diese Gase zeichnen sich durch ihre kurzen Resorptionszeiten aus, wodurch eine rasche visuelle Rehabilitation ermöglicht wird. Aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften gelten sie als Mittel der Wahl bei unkomplizierten rhegmatogenen Netzhautablösungen (Chen et al., 2023).

Seit der erstmaligen Einführung des Silikonöls (SO) in die vitreoretinale Chirurgie durch Cibis und Kollegen im Jahr 1962 (Cibis et al., 1962) hat sich diese Technologie zu einer der zentralen Säulen der modernen Netzhautchirurgie entwickelt. Die Verwendung von Silikonöl als intraokulare Tamponade war ursprünglich als Alternative zu kurzzeitig wirksamen Gasen gedacht, hat sich jedoch insbesondere bei komplexen Fällen der Netzhautablösung als unverzichtbar erwiesen. Durch seine chemische Stabilität, optische Transparenz und die Fähigkeit, langfristig einen stabilen Tamponadeeffekt auszuüben, bietet das Silikonöl entscheidende Vorteile in klinischen Situationen, in denen ein verlängertes retinale Anpressen erforderlich ist.

Silikonöl besteht chemisch aus Polydimethylsiloxan (PDMS), einem polymeren Siloxan, das aus linearen Ketten von Silizium- und Sauerstoffatomen aufgebaut ist, an die Methylgruppen gebunden sind (Eibenberger et al., 2019). Diese besondere molekulare Struktur – charakterisiert durch abwechselnde Silizium-Sauerstoff-Bindungen – verleiht dem Material eine Reihe einzigartiger physikalisch-chemischer Eigenschaften. Dazu zählen eine außergewöhnlich hohe chemische und thermische Stabilität, eine ausgeprägte optische Transparenz, eine geringe Oberflächenspannung sowie eine gute Biokompatibilität, die für die ophthalmologische Anwendung von zentraler Bedeutung sind.

Ein wesentlicher Vorteil von Polydimethylsiloxan liegt in seiner chemischen Vielseitigkeit. Durch die Möglichkeit, Silikonöl mit unterschiedlichen organischen und anorganischen Substanzen zu modifizieren, lassen sich Polymere mit variabler Kettenlänge, Dichte und Viskosität herstellen. Diese Variabilität erlaubt die gezielte Anpassung der physikalischen Eigenschaften an die jeweiligen chirurgischen Anforderungen, beispielsweise im Hinblick auf die Dauer der endotamponierenden Wirkung, das Verhalten an der Grenzfläche zwischen Öl und intraokularen Flüssigkeiten oder die Stabilität während langfristiger intraokularer Verweildauer.

Die Viskosität des Silikonöls hängt direkt vom Molekulargewicht und der Kettenlänge der Polymere ab. Je länger die linearen Siloxanketten und je höher das Molekulargewicht, desto stärker sind die intermolekularen Wechselwirkungen und desto höher ist die Viskosität des Öls. In der Ophthalmochirurgie werden Silikonöle mit unterschiedlichen Viskositäten eingesetzt, typischerweise im Bereich zwischen 1000 und 5000 Centistokes (cSt). Öle mit niedrigerer Viskosität, wie zum Beispiel 1000 cSt, sind leichter zu injizieren und zu entfernen, neigen jedoch stärker zu Emulsifikation. Hochviskose Öle, wie 5000 cSt, bieten hingegen eine bessere Langzeitstabilität und geringere Emulsifikationsneigung, erfordern jedoch beim chirurgischen Handling mehr Kraft und Zeit. Silikonöl-Emulsifikation bezeichnet den Vorgang, bei dem sich das ursprünglich homogene Silikonöl, das als klare Flüssigkeit in den Glaskörperraum des Auges

eingbracht wurde, in kleine Tröpfchen aufspaltet, die sich mit der intraokularen Flüssigkeit vermischen.

Die Wahl zwischen Silikonöl und anderen intraokularen Tamponaden wie Schwefelhexafluorid (SF_6) oder Perfluorpropan (C_3F_8) hängt von einer Vielzahl chirurgischer und patientenspezifischer Faktoren ab. Neben den anatomischen Gegebenheiten des Auges spielen hierbei das Ausmaß der Netzhautschädigung, die zugrunde liegende Pathophysiologie sowie postoperative Compliance und Nachsorgefähigkeit des Patienten eine wesentliche Rolle. Während Gas-Tamponaden in unkomplizierten Fällen mit stabilem Verlauf bevorzugt werden, wird die Silikonöl-Endtamponade (SOE) vor allem bei Netzhautablösungen durch komplizierten oder superior liegenden Formina, bei manifester proliferativer Vitreoretinopathie (PVR) oder einem hohen Risiko für deren Entwicklung, bei Riesenrissen der Retina oder traumatisch bedingten Ablösungen eingesetzt (Chen et al., 2021; Coman et al., 2022).

Nach erfolgreicher anatomischer Reposition der Netzhaut stellt sich regelmäßig die Frage nach dem optimalen Zeitpunkt für die Entfernung des Silikonöls (Removal of Silicone Oil, ROSO). Diese Maßnahme wird im Allgemeinen empfohlen, sobald die Stabilität des Fundus gesichert erscheint, da eine langfristige Silikonölexposition mit einer Reihe von okulären Komplikationen in Verbindung gebracht wird. Zu den am häufigsten beschriebenen Nebenwirkungen gehören das sekundäre Glaukom, welche meist infolge einer Öl-Emulsifikation und des Eintrags von Mikrosilikontröpfchen in das Kammerwasser auftritt, endotheliale Hornhautdekomensation sowie der sogenannte silikonölbedingte Visusverlust (Silicone oil related vision loss, SORVL) (Scheerlinck et al., 2016). Darüber hinaus zeigen zahlreiche Studien, dass die Dauer der Endotamponade ein entscheidender Faktor für die Entwicklung solcher Komplikationen ist (Brănișteanu et al., 2017; Valentín-Bravo et al., 2022). Von besonderer Bedeutung ist, dass okuläre Komplikationen, die im Zusammenhang mit einer prolongierten Silikonöl-Endotamponade stehen, wie die Hornhautdekomensation oder intraokulare Druckentgleisung, auch nach der Entfernung des Silikonöls fortbestehen und zu einer relevanten Morbidität der Patienten beitragen können (Issa et al., 2019).

Trotz jahrzehntelanger klinischer Erfahrung existiert bis heute kein klar definierter Konsens über den optimalen Zeitpunkt der ROSO. In der klinischen Praxis empfehlen viele vitreoretinale Chirurgen eine Entfernung des Öls innerhalb eines Zeitraums von drei bis sechs Monaten, um das Gleichgewicht zwischen retinasicherndem Effekt und Komplikationsrisiko zu wahren. Studienlage

und klinische Beobachtungen sind jedoch heterogen: Während einige Untersuchungen auf ein erhöhtes Risiko einer erneuten Netzhautablösung (Re-Amotio) bei kürzerer Tamponadedauer von weniger als drei Monaten hinweisen (Azen et al., 1998; Tan et al., 2012), konnten andere Arbeiten keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Dauer der Silikonölexposition und der Rate an Re-Amotio nachweisen (Jonas, 2001; Hutton, 1994; Nagpal et al., 2012). Parallel dazu berichten mehrere Autoren über zufriedenstellende anatomische und funktionelle Ergebnisse selbst bei kürzeren Silikonöl Endotamponade (SOE)-Dauern, was auf eine potenziell sichere Verkürzung des Tamponadeintervalls hinweist (Falkner, 2001; Rhatigan et al., 2018).

In den letzten Jahren ist ein Paradigmenwechsel in Richtung einer frühen Entfernung des Silikonöls zu beobachten, also vor Ablauf der klassischen Drei-Monats-Periode. Diese Strategie basiert auf zunehmenden Evidenzen, dass kurzzeitige Endtamponaden, von etwa zwei Monate oder weniger, mit einer geringeren Inzidenz von Komplikationen einhergehen, insbesondere im Hinblick auf den SORVL (Scheerlinck et al., 2016). Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass bereits innerhalb der ersten Wochen nach der Implantation die physikochemische Stabilität des Öls beeinträchtigt sein kann, was sich in ersten Emulsifikationserscheinungen äußert (Odrobina & Laudańska-Olszewska, 2014). Diese Beobachtungen legen nahe, dass eine prolongierte Verweildauer des Öls im Auge nicht zwangsläufig zu einem besseren klinischen Ergebnis führt, sondern im Gegenteil die Wahrscheinlichkeit von Langzeitkomplikationen erhöhen könnte.

Vor diesem wissenschaftlichen und klinischen Hintergrund verfolgt die vorliegende retrospektive Studie das Ziel, retrospektiv zu untersuchen, ob eine frühzeitige Entfernung des Silikonöls eine gleichwertig sichere Alternative zur herkömmlichen Praxis darstellen könnte. Es wurde primär analysiert, ob die frühe ROSO das Risiko einer erneuten Netzhautablösung beeinflusst, sekundär werden mögliche Zusammenhänge zwischen der Dauer der Silikonöltamponade und dem Auftreten weiterer postoperativer Komplikationen, wie epiretinaler Gliose, Makulaödem oder intraokulärem Druckanstieg, untersucht. Diese differenzierte Analyse zielt darauf ab, das chirurgische Management nach Silikonölimplantation zu optimieren und evidenzbasierte Empfehlungen zum idealen Zeitpunkt der Ölentfernung zu ermöglichen. Zudem soll sie die Stratifizierung von Patienten sowie die Identifikation von Risikofaktoren erleichtern, die mit ungünstigen anatomischen Ergebnissen verbunden sind, um potenzielle langfristige, auch nach der Ölentfernung persistierende Komplikationen zu minimieren.

b. STROBE-Richtlinien

Um unsere klinische Fragestellung adäquat zu untersuchen, entschieden wir uns für ein retrospektives, beobachtendes Studiendesign. Eine Beobachtungsstudie stellt eine Form der nicht-experimentellen Forschung dar, bei der der Forschende bestimmte Phänomene oder Verhaltensweisen erfasst, ohne aktiv in den natürlichen Verlauf oder die Rahmenbedingungen der Untersuchung einzugreifen. Ziel ist es, reale klinische Zusammenhänge möglichst unverfälscht abzubilden und auf dieser Grundlage Hypothesen über potenzielle Ursachen, Risikofaktoren oder Behandlungsergebnisse zu formulieren.

Wie bei allen wissenschaftlichen Studienformen ist eine hochwertige und transparente Berichterstattung nach klar definierten Richtlinien unerlässlich, um die Ergebnisse korrekt interpretieren und kritisch bewerten zu können. Zu diesem Zweck wurden im Jahr 2004 die sogenannten STROBE-Richtlinien (Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology) von Vandembroucke et al. entwickelt (Vandembroucke et al., 2004). Diese Richtlinien sollen Forschenden dabei helfen, die Darstellung der Ergebnisse von Beobachtungsstudien zu strukturieren und sowohl die Stärken als auch die Schwächen einer Untersuchung nachvollziehbar zu machen. Sie beinhalten eine umfassende Checkliste mit 22 Punkten, die der Qualitätssicherung dient und die Grundlage für eine konsistente Bewertung durch Fachgutachterinnen und -gutachter in Peer-Review-Prozessen bildet. Darüber hinaus erleichtert die standardisierte Berichterstattung nach STROBE die Einbindung der Studienergebnisse in systematische Übersichtsarbeiten und Metaanalysen, wodurch der wissenschaftliche Erkenntnisgewinn insgesamt gefördert wird.

Unsere Studie orientiert sich konsequent an den Prinzipien der STROBE-Erklärung und erfüllt sämtliche Punkte der Checkliste. Das Studiendesign wurde ausdrücklich im Titel der publizierten Arbeit und der Dissertation angegeben, um die Art der Untersuchung bereits zu Beginn klar zu kennzeichnen. In der Einleitung wird der wissenschaftliche Hintergrund umfassend erläutert und die klinische Relevanz sowie die Zielsetzung der Studie präzise dargestellt. Im Methodenteil erfolgt eine detaillierte Beschreibung des Studiendesigns, der Datenerhebung und der verwendeten Messinstrumente sowie des Settings und der geographischen Lokalisation der Untersuchung. Ebenso werden die berücksichtigten Variablen für die deskriptive und statistische Analyse dargelegt, einschließlich der Kriterien für die Ein- und den Ausschluss der untersuchten Patientenkohorte.

In der Ergebnisdarstellung werden die erhobenen Daten in Form einer gründlichen deskriptiven und inferenzstatistischen Analyse präsentiert, wobei insbesondere die beobachteten Raten retinaler Rezidivablösungen im Fokus stehen. Diese werden durch geeignete statistische Verfahren überprüft und hinsichtlich ihrer Signifikanz bewertet. In der anschließenden Diskussion reflektieren wir kritisch die Validität der Ergebnisse, indem potenzielle Stör- und Einflussfaktoren (Confounder) berücksichtigt und die Limitationen des retrospektiven Studiendesigns offen dargelegt werden. Dabei wird ausdrücklich betont, dass auf Grundlage eines rein beobachtenden und retrospektiven Ansatzes keine kausalen Zusammenhänge zwischen den untersuchten Variablen abgeleitet werden können, solange keine prospektive Kohortenstudie durchgeführt wurde, die eine zeitliche und ursächliche Abfolge belegen könnte.

Abschließend wird hervorgehoben, dass für die Durchführung der Studie keine finanziellen Fördermittel verwendet wurden und keine Interessenkonflikte bestehen. Durch die konsequente Anwendung der STROBE-Richtlinien wird die Transparenz und Nachvollziehbarkeit unserer Forschung erheblich gesteigert. Ein tiefgehendes Verständnis dieser Richtlinien ist somit nicht nur ein Ausdruck methodischer Strenge, sondern eine grundlegende Voraussetzung für Forschende, die Beobachtungsstudien planen, durchführen und publizieren möchten. Die Einhaltung dieser Standards gewährleistet, dass die gewonnenen Erkenntnisse den höchsten wissenschaftlichen und ethischen Anforderungen entsprechen und einen belastbaren Beitrag zur evidenzbasierten Medizin leisten.

c. Methodik

Diese retrospektive, monozentrische Vergleichsstudie wurde an der Klinik für Augenheilkunde des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf durchgeführt und umfasste ausschließlich pseudophake Augen von Patienten mit rhegmatogener Netzhautablösung, die mittels 23-Gauge Pars-plana-Vitrektomie und Silikonölandtamponade operativ behandelt worden waren. Der Beobachtungszeitraum erstreckte sich über acht Jahre, von Januar 2016 bis Dezember 2023. Alle Daten wurden systematisch aus den elektronischen Krankenakten (ifa Systems AG, Deutschland) extrahiert und anonymisiert weiterverarbeitet. Das Studienprotokoll wurde gemäß der Deklaration von Helsinki erstellt und der Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg vorgelegt. Aufgrund des retrospektiven Designs und der ausschließlichen Nutzung anonymisierter Routinedaten war keine individuelle Patientenaufklärung erforderlich, und die Genehmigung zur Durchführung der Studie wurde erteilt.

Der Auswahlprozess geeigneter Fälle erfolgte in mehreren Stufen. Zunächst wurde eine umfassende elektronische Datenbanksuche anhand vordefinierter Schlüsselbegriffe durchgeführt, darunter „rhegmatogene Ablösung“, „Netzhautablösung“, „Netzhautriss“, „Makula-on-Netzhautablösung“, „Pars-plana-Vitrektomie“, „Vitrektomie“, „Silikonölentamponade“, „Silikonölenfernung“, „Silikonöl“, „chirurgisches Management“, „Endtamponade“ und „Pseudophakie“. Durch dieses breite Suchprofil konnte eine hohe Sensitivität der Fallidentifikation erreicht werden, wodurch das Risiko systematischer Selektionsverzerrungen minimiert wurde. Anschließend erfolgte eine manuelle Validierung der identifizierten Fälle durch zwei unabhängige Prüfer, um eine konsistente Klassifikation sicherzustellen.

Ausschlusskriterien umfassten eine Vorgeschichte von perforierender Augenverletzung, Endophthalmitis, früherer Netzhautablösung oder Netzhautrissen, syndromale Prädispositionen wie das Marfan- oder Stickler-Syndrom, proliferative diabetische Retinopathie sowie andere intraokulare Eingriffe außer der Kataraktextraktion. Ebenso wurden Patienten mit vorbestehender, Visus-limitierender Pathologie ausgeschlossen. Nur Patienten mit einer Nachbeobachtungszeit von mindestens zwei Monaten nach der Silikonölenfernung (ROSO) wurden in die Analyse eingeschlossen, um die Vergleichbarkeit der funktionellen Ergebnisse sicherzustellen. **Abbildung 1** zeigt das Flussdiagramm der Studienkohorte.

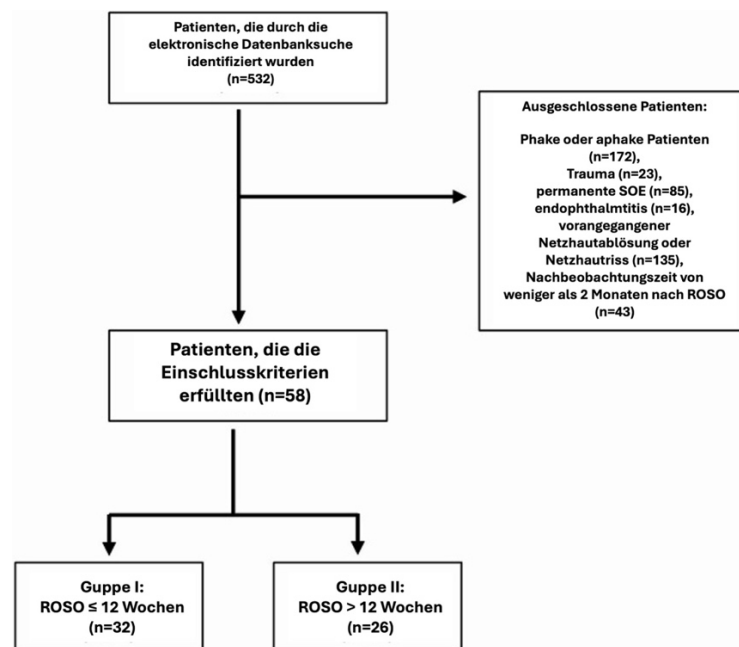


Abbildung 1: Flussdiagramm der Studienkohorte. SOE: Silikonöl Endotamponade, ROSO: removal of silicone oil (Entfernung des Silikonöls)

Die eingeschlossenen Augen wurden basierend auf dem Zeitpunkt der Silikonölenentfernung in zwei Gruppen eingeteilt: **Gruppe I** (frühe ROSO) umfasste Patienten, bei denen das Silikonöl vor oder während der 12. postoperativen Woche entfernt wurde, während **Gruppe II** (späte ROSO) jene mit einer Entfernung nach der 12. Woche einschloss. Der Cut-off von zwölf Wochen wurde gewählt, da dieser Zeitraum in der Literatur weitgehend als Mindestdauer einer sicheren Tamponade anerkannt ist, um das Risiko einer Re-Amotio retinae zu minimieren (Tan et al., 2012; Casswell & Gregor, 1987). Ziel der Untersuchung war es, zu prüfen, ob eine SOE-Dauer von \leq drei Monaten vergleichbare oder gar bessere anatomische und funktionelle Ergebnisse liefert als eine längere Endtamponade (Scheerlinck et al., 2016; Odrobina & Laudańska-Olszewska, 2014).

Alle relevanten klinischen und bildgebenden Daten wurden aus den elektronischen Patientenakten extrahiert, standardisiert aufbereitet und in eine anonymisierte Microsoft Excel 365-Datenbank überführt. Die erhobenen Variablen umfassten demografische Informationen (Alter, Geschlecht, Begleiterkrankungen), bestkorrigierte Sehschärfe (best corrected visual acuity, BCVA) bei Erstvorstellung, vor der ROSO und beim letzten Nachsorgetermin, den Zeitraum zwischen primärer Vitrektomie und ROSO, sowie den intraokularen Druck (IOD) einschließlich der Anwendung drucksenkender Medikamente vor und nach ROSO. Ein erhöhter IOD wurde als > 21 mmHg in mindestens drei konsekutiven Messungen definiert, in Übereinstimmung mit früheren Studien (Nicolai et al., 2020; Ozaki et al., 2013). Augen mit medikamentös kontrolliertem Druck unter 21 mmHg wurden ebenfalls als hyperten klassifiziert, um das gesamte Spektrum postoperativer Druckdysregulation abzubilden.

Ergänzend wurden bildgebende Daten aus der Swept-Source Optischen Kohärenztomographie (OCT; DRI OCT Triton, Topcon, Tokio, Japan) sowie Ultra-Weitwinkelaufnahmen (Optos PLC, Dunfermline, UK) analysiert. Dabei wurden der Makulastatus (Makula-on / Makula-off) bei primärer oder rezidivierender Ablösung, das Auftreten eines zystoiden Makulaödems (CME) oder einer epiretinalen Membran (ERM) vor und nach ROSO sowie morphologische Parameter wie Anzahl und Lokalisation der Netzhautrisse erfasst. Zur Klassifikation der bullösen Morphologie wurde die Definition nach Stanford & Chignell (1985) herangezogen (Stanford & Chignell, 1985); das PVR-Stadium wurde gemäß der aktualisierten Retina Society Klassifikation (Machemer et al., 1991) dokumentiert.

Die Operationsprotokolle der Primäreingriffe und der ROSO-Eingriffe wurden eingehend analysiert, um Art und Dauer der Endotamponade, Verwendung von Gas (C_3F_8) oder Luft nach Silikonöl Entfernung, Anwendung intraoperativer Farbstoffe sowie zusätzliche chirurgische Maßnahmen wie Membranpeeling, Retinotomie oder Retinektomie zu dokumentieren. Bei der

primären Entzhaut Ablösung Operation wurden alle Patienten bei einem von zwei erfahrenen vitreoretinalen Chirurgen operiert, was die Homogenität der Operationsqualität gewährleistete. Bei allen Eingriffen kam ein standardisiertes 23-Gauge-System unter Weitwinkelvisualisierung zum Einsatz. Die Tamponade erfolgte mit Silikonöl unterschiedlicher Viskosität (Sil 2000 S oder Sil 5000 S; D.O.R.C. International, Zuidland, Niederlande), abhängig von der individuellen Präferenz des Operateurs und der intraoperativen Situation. In sämtlichen Fällen wurde eine prophylaktische 360°-Laserretinopexie durchgeführt.

Die Entfernung des Silikonöls (ROSO) erfolgte frühestens vier Wochen nach der Primär-Operation, um eine ausreichende Stabilität der Netzhaut zu gewährleisten. Alle ROSO-Operationen wurden von dem gleichen erfahrenen Chirurgen durchgeführt. Sie beinhaltete eine 23-Gauge-PPV mit mindestens drei Zyklen Luft-Flüssigkeitsaustausch sowie die Aspiration des Öls mittels dünnwandiger 18- oder 19-Gauge-Nadel. In ausgewählten Fällen wurde ergänzend eine periphere Laserkoagulation oder ein Peeling epiretinaler Membranen vorgenommen.

Der **primäre Endpunkt** der Studie war die Inzidenz einer erneuten Netzhautablösung (Re-Amotio) nach der Entfernung von Silikonöl in den beiden untersuchten Gruppen zu vergleichen. **Sekundäre Endpunkte** umfassten postoperative Komplikationen wie die Entwicklung einer epiretinalen Membran, eines zystoiden Makulaödems oder einer okulären Hypertension sowie funktionelle Parameter, insbesondere den Verlauf der bestkorrigierten Sehschärfe (BCVA). Die statistische Analyse wurde mithilfe der Software R (Core Team 2021; R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich) durchgeführt. Für den Vergleich kategorialer und metrischer Variablen kamen verschiedene, methodisch bewährte Testverfahren zum Einsatz.

Der exakte Fisher-Test, entwickelt von Sir Ronald A. Fisher im Jahr 1922, wurde angewandt, um Unterschiede in kategorialen Variablen zu prüfen. Dieser Test basiert auf der exakten Berechnung der Wahrscheinlichkeit der beobachteten Kontingenztabelle unter der Nullhypothese, dass kein Zusammenhang zwischen den untersuchten Variablen besteht (Hand, 2015). Wir wählten den exakten Fisher-Test für kategoriale Variablen wie Geschlecht (weiblich/männlich), Makulabeteiligung bei der Netzhautablösung (ja/nein), bullöse rhegmatogene Netzhautablösung (ja/nein), Glaskörperblutung (ja/nein) und proliferative Vitreoretinopathie (PVR)-Grad (A/B/C) unter anderen. Diese Variablen sind dichotom oder ordinal skaliert, sodass eine Beurteilung von Häufigkeitsunterschieden zwischen den Gruppen notwendig war. Besonders bei seltenen Ereignissen, wie beispielsweise dem Auftreten einer Glaskörperblutung, bietet der exakte Fisher-Test eine robuste Möglichkeit, Unterschiede zu detektieren, ohne die Voraussetzungen größerer Stichproben zu verletzen.

Für den Vergleich von metrischen, nicht normalverteilten Daten zwischen zwei unabhängigen Gruppen wurde der Mann-Whitney-U-Test (auch Wilcoxon-Rangsummentest) verwendet. Dieser Test wurde 1947 von Henry B. Mann und Donald R. Whitney beschrieben und ist ein nichtparametrisches Verfahren, das Unterschiede in der zentralen Tendenz zwischen zwei Gruppen vergleicht, ohne Normalverteilungsannahmen zu erfordern (Mann & Whitney, 1947). Da ophthalmologische Funktionsparameter wie der bestkorrigierte Visus (BCVA) häufig eine schiefe oder bimodale Verteilung aufweisen, insbesondere bei heterogenen Krankheitsbildern oder unterschiedlichen Schweregraden der Netzhautablösung, war der Einsatz eines verteilungsunabhängigen Tests notwendig. Der Mann-Whitney-U-Test wurde daher zur Untersuchung von Unterschieden in kontinuierlichen Variablen wie zum Beispiel prä- und postoperativem BCVA, der Dauer der Endotamponade und der Nachbeobachtungszeit zwischen den Gruppen eingesetzt. Ein weiterer Vorteil dieses Tests liegt darin, dass er robust gegenüber Ausreißern und heterogenen Varianzen ist, was bei klinischen Daten mit variabler Messpräzision oder individuellen anatomischen Unterschieden besonders relevant ist. Zudem liefert der Test nicht nur eine Aussage über Mittelwertunterschiede, sondern über Unterschiede in der gesamten Verteilung der Werte, was in der ophthalmologischen Forschung häufig informativer ist.

Zur Analyse von Zeit-bis-Ereignis-Daten, insbesondere zur Beurteilung der Re-Amotio-Inzidenz und des zeitlichen Auftretens postoperativer Komplikationen, wurden der Kaplan-Meier-Schätzer und der Log-Rank-Test eingesetzt. Die Kaplan-Meier-Methode wurde 1958 von Edward L. Kaplan und Paul Meier beschrieben und erlaubt eine grafische und numerische Schätzung der Überlebensfunktion unter Berücksichtigung zensierter Daten, also von Patienten, bei denen bis zum letzten Follow-up kein Ereignis eingetreten ist (Stalpers et al., 2018). Diese Methode ist besonders geeignet, wenn Patienten unterschiedliche Nachbeobachtungszeiten aufweisen, wie es in chirurgischen Studien häufig vorkommt. Der Kaplan-Meier-Schätzer bietet somit eine flexible Möglichkeit, den zeitlichen Verlauf des Auftretens bestimmter Ereignisse präzise abzubilden. Der Log-Rank-Test, eingeführt von Mantel (1966), wurde eingesetzt, um die Überlebenskurven zweier Gruppen über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg zu vergleichen. Er prüft, ob sich die Ereigniswahrscheinlichkeiten signifikant unterscheiden, wobei er das gesamte Verlaufsspektrum berücksichtigt, nicht nur einzelne Zeitpunkte. In der ophthalmologischen Forschung sind diese Methoden etabliert, um postoperative Rezidivraten, Komplikationshäufigkeiten oder Reoperationswahrscheinlichkeiten zu vergleichen, da sie auch zeitabhängige Unterschiede zuverlässig erfassen (Stalpers et al., 2018).

Zur Untersuchung des Einflusses der Zeit auf den Verlauf der Sehschärfe (BCVA) wurde eine Varianzanalyse (Analysis of Variance, ANOVA) durchgeführt. Diese Methode, ursprünglich von Sir Ronald A. Fisher in den 1920er Jahren entwickelt, ermöglicht die simultane Analyse von Mittelwertunterschieden zwischen mehreren Messzeitpunkten oder Gruppen (Gaddis, 1998). In dieser Studie diente die ANOVA insbesondere dazu, Veränderungen der Sehschärfe über verschiedene postoperative Zeitpunkte hinweg zu evaluieren und zu prüfen, ob ein signifikanter Zeiteffekt auf die visuelle Rehabilitation bestand. Da die postoperative Wiederherstellung des Sehvermögens ein dynamischer Prozess ist, erlaubt die ANOVA, den Verlauf der funktionellen Ergebnisse über die Zeit zu modellieren und potenzielle Unterschiede im Heilungsverlauf zwischen Gruppen zu identifizieren. Um die Voraussetzungen der ANOVA (Varianzhomogenität und Normalverteilung der Residuen) bestmöglich zu erfüllen, wurden die Daten vor der Analyse überprüft, und gegebenenfalls Transformationen oder robuste Varianten des Tests angewendet.

Um potenzielle Confounder zu minimieren und die Vergleichbarkeit zwischen den Gruppen zu erhöhen, wurde eine Matching-Strategie auf Basis klinisch relevanter Basisvariablen implementiert. Dazu gehörten unter anderem Ausgangs-BCVA, Makulastatus, PVR-Stadium, Anzahl der Risse, Viskosität des verwendeten Silikonöls, Tamponadeart bei ROSO, Operateur und zusätzliche chirurgische Maßnahmen. Das Matching erfolgte mittels der Cardinality-Matching-Methode, basierend auf Arbeiten von Zubizarreta (Niknam & Zubizarreta, 2022). Diese Methode nutzt lineare Optimierung, um eine möglichst hohe Balance zwischen den Gruppen zu erzielen, ohne unnötig viele Probanden auszuschließen. Durch die Implementierung im „MatchIt“-Paket in R wurde eine reproduzierbare, transparente und statistisch kontrollierte Zuordnung gewährleistet, was Verzerrungen in der Schätzung von Gruppeneffekten erheblich reduziert.

Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf $p < 0,05$ festgelegt. Dieser Schwellenwert stellt einen international etablierten Standard zur Bewertung statistischer Signifikanz dar und dient der Kontrolle des Alpha-Fehlers, also der Wahrscheinlichkeit, die Nullhypothese fälschlicherweise abzulehnen. In explorativen klinischen Studien wie der vorliegenden wird dieses Signifikanzniveau als angemessen angesehen, um einerseits ausreichende Sensitivität zur Detektion relevanter Effekte zu gewährleisten und andererseits das Risiko zufälliger Befunde zu minimieren.

Für die Durchführung dieser Studie wurden keine finanziellen Mittel oder Fördergelder von öffentlichen oder privaten Institutionen in Anspruch genommen. Die Autorinnen und Autoren bestätigen, dass keine finanzielle Unterstützung das Projekt beeinflusst hat.

Tabelle 1: Demographische und Ausgangsmerkmale der ersten Netzhautablösung.					
	Gruppe I [min, 3 Monate] (N=32) N (%)	Gruppe II [max, 3 Monate] (N=26) N (%)	Gesamt (N=58) N (%)	Standardisierte Mittelwert- differenz	P Wert
Geschlecht (Augen)					0.426 ^a
Weiblich	15 (46.9%)	9 (34.6%)	24 (41.4%)	-0.26	
Männlich	17 (63.3%)	17 (61.3%)	34 (62.3%)	0.26	
Alter (Jahre)					0.340 ^b
Spanne	38.46 - 85.49	15.29 - 87.03	15.29 - 87.03		
Mittelwert (SD)	65.55 (12.11)	60.97 (16.17)	63.50 (14.13)	-0.28	
Median (Q1, Q3)	66.18 (59.10, 74.23)	62.56 (56.65, 71.15)	63.78 (76.92, 72.15)		
BCVA bei der ersten Vorstellung (LogMar)					0.028 ^b
Spanne	0.10 - 2.40	0.20 - 2.70	0.10 - 2.70		
Mittelwert (SD)	1.15 (0.85)	1.70 (0.86)	1.39 (0.89)	0.64	
Median (Q1, Q3)	1.00 (0.40, 2.10)	2.10 (1.00, 2.40)	1.45 (0.60, 2.30)		
Makulabeteiligung (Primäre Netzhautablösung)					1.000 ^a
Makula-Off	22 (68.8%)	17 (68.0%)	39 (68.4%)	-0.02	
Makula-On	10 (31.2%)	8 (32.0%)	18 (31.6%)	0.02	
Bullöse rhegmatogene Netzhautablösung					1.000 ^a
Ja	16 (50.0%)	13 (50.0%)	29 (50.0%)	0.00	
Nein	16 (50.0%)	13 (50.0%)	29 (50.0%)	0.00	
PVR Grad					0.917 ^a
A	16 (50.0%)	15 (57.7%)	31 (53.4%)	0.16	
B	8 (25.0%)	6 (23.1%)	14 (24.2%)	-0.05	
C	8 (25.0%)	5 (19.2%)	13 (22.4%)	-0.15	
Anzahl der betroffenen Netzhautquadranten (n)					0.227 ^b
Spanne	1.00 - 4.00	1.00 - 4.00	1.00 - 4.00		
Mittelwert (SD)	2.25 (0.95)	2.58 (1.06)	2.40 (1.01)	0.31	
Median (Q1, Q3)	2.00 (2.00, 3.00)	2.00 (2.00, 3.75)	2.00 (2.00, 3.00)		
Netzhautrisse (n)					0.072 ^b
Spanne	0.00 - 9.00	0.00 - 5.00	0.00 - 9.00		
Mittelwert (SD)	1.75 (2.02)	0.96 (1.40)	1.40 (1.80)	-0.56	
Median (Q1, Q3)	1.00 (0.00, 2.00)	0.00 (0.00, 1.75)	1.00 (0.00, 2.00)		
Monate bis zur ROSO					< 0.001 ^b
Spanne	1.0 - 3.0	4.0 - 11.0	1.0 - 11.0		
Mittelwert (SD)	2.3 (0.7)	5.2 (1.9)	3.7 (2.0)	1.64	
Median (Q1, Q3)	3.0 (2.0, 3.0)	4.5 (4.0, 5.0)	3.5 (3.0, 4.2)		
Glaskörperblutung					0.253 ^a
Ja	3 (9.7%)	0 (0.0%)	3 (5.6%)		
Nein	28 (90.3%)	23 (100.0%)	57 (94.4%)		
Nachbeobachtungszeit (Monate)					0.913 ^b
Spanne	2.0 - 59.0	3.0 - 57.0	2.0 - 59.0		
Mittelwert (SD)	17.7 (14.4)	17.8 (14.8)	17.7 (14.5)		
Median (Q1, Q3)	13.0 (8.2, 25.8)	11.0 (6.0, 29.2)	12.5 (6.0, 27.8)		

BCVA: best corrected visual acuity; PVR: proliferative Vitreoretinopathie; ROSO: removal of silicone oil; a: Fisher's exact test; b: Mann-Whitney test. Die standardisierte Mittelwertdifferenz wurde unter Verwendung der Standardabweichung der Gruppe [3 Monate, max] berechnet.

d. Ergebnisse

Insgesamt wurden 358 Patienten auf ihre Eignung für die Studie überprüft. Nach Anwendung der zuvor definierten Ein- und Ausschlusskriterien konnten 58 Augen von 53 pseudophaken Patienten in die finale Analyse eingeschlossen werden. Das Durchschnittsalter der Kohorte betrug $63,5 \pm 14,1$ Jahre (Spanne: 15–87 Jahre). Die Geschlechterverteilung war ausgewogen (23 Frauen, 43,3 %, und 30 Männer, 56,7 %), was eine repräsentative Abbildung des Patientenkollektivs widerspiegelt.

Gruppe I umfasste 33 Augen und Gruppe II 26 Augen. Die mediane Zeit bis zur Entfernung des Silikonöls (ROSO) betrug $2,3 \pm 0,7$ Monate (Bereich 1,0–3,0) in Gruppe I und $5,2 \pm 1,9$ Monate (Bereich 4,0–10,0) in Gruppe II. Die durchschnittliche Nachbeobachtungszeit nach ROSO lag bei $17,7 \pm 14,5$ Monaten (Spanne 2,0–59,0), was eine robuste Beurteilung der funktionellen und anatomischen Langzeitergebnisse erlaubte.

Wie in **Tabelle 1** dargestellt, unterschieden sich die beiden Gruppen weder hinsichtlich der demografischen Merkmale noch in Bezug auf morphologische Ausgangsbefunde signifikant. Auch in den Charakteristika der primären rhegmatogenen Netzhautablösung (rhegmatogenous retinal detachment, RRD) zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Makulabeteiligung ($p = 1,00$), der Präsenz oder Anzahl von Netzhautrissen ($p = 0,07$), bullöser RRD ($p = 1,00$), der Anzahl betroffener Netzhautquadranten (Median 2,0; Bereich 2,0–3,0; $p = 0,22$), dem Vorliegen einer Glaskörperblutung ($p = 0,25$) oder dem PVR-Stadium ($p = 0,91$). Lediglich die bestkorrigierte Sehschärfe (BCVA) bei Erstvorstellung war in Gruppe I signifikant besser ($1,1 \pm 0,8$ logMAR; Bereich 0,1–2,4), als in Gruppe II ($1,7 \pm 0,8$ logMAR; Bereich 0,2–2,7; $p = 0,02$), was möglicherweise auf eine geringere initiale Ausprägung der Erkrankung in dieser Subgruppe hinweist.

Alle Patienten wurden mittels einer standardisierten 23-Gauge-Pars-plana-Vitrektomie (PPV) mit 360°-Laserkoagulation und anschließender Silikonölentamponade behandelt. Die Eingriffe wurden ausschließlich von zwei erfahrenen vitreoretinalen Chirurgen durchgeführt, um eine hohe Konsistenz der operativen Ergebnisse sicherzustellen. Die Verteilung der Fälle zwischen den Operateuren unterschied sich nicht signifikant ($p = 0,24$). Hinsichtlich der Viskosität des verwendeten Silikonöls zeigte sich eine leichte Präferenz für Sil 2000 S in Gruppe I (24 Augen) und Sil 5000 S in Gruppe II (13 Augen), während in der Komplementärgruppe jeweils 8 bzw. 13 Augen mit der alternativen Viskosität behandelt wurden. Die Unterschiede waren statistisch nicht signifikant ($p = 0,06$), was eine vergleichbare Tamponadecharakteristik zwischen den Gruppen bestätigt.

Keine der Operationen beinhaltete den Einsatz intraoperativer Farbstoffe (z. B. Triamcinolon, Trypanblau oder ILM-Färbungen). Perfluorkohlenstoffflüssigkeit (PFCL) wurde in ähnlichen Raten in beiden Gruppen angewandt, um die Netzhaut während der Repositionierung zu stabilisieren. Zusätzliche chirurgische Maßnahmen wie epiretinales oder peripheres Membranpeeling, Retinotomie oder Retinektomie wurden in insgesamt 40 Fällen durchgeführt, ebenfalls ohne signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (siehe **Tabelle 2**).

Tabelle 2: Merkmale der primären Pars-Plana-Vitrektomie (ppV)				
	Gruppe I [min, 3 Monate] (N=32) N (%)	Gruppe II [max, 3 Monate] (N=26) N (%)	Gesamt (N=58) N (%)	P Wert
Art der Silikonölotamponade (SOE)				0.059 ^a
SO (2000 centistokes)	24 (76.6%)	13 (70.0%)	37 (63.8%)	
SO (5000 centistokes)	8 (23.4%)	13 (30.0%)	21 (36.2%)	
Retinotomie (Primäre ppV)				0.448 ^a
Durchgeführt	0 (0.0%)	1 (3.8%)	1 (1.7%)	
Nicht durchgeführt	32 (100.0%)	25 (96.2%)	57 (98.3%)	
Retinektomie (Primäre ppV)				1.000 ^a
Durchgeführt	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	
Nicht durchgeführt	32 (100.0%)	26 (100.0%)	58 (100.0%)	
ERM Peeling (Primäre ppV)				1.000 ^a
Durchgeführt	1 (3.2%)	1 (3.8%)	2 (3.4%)	
Nicht durchgeführt	32 (96.8%)	25 (96.2%)	57 (96.6%)	
Peeling peripherer Membranen (Primäre ppV)				0.788 ^a
Durchgeführt	21 (65.5%)	16 (61.5%)	37 (63.8%)	
Nicht durchgeführt	11 (34.5%)	10 (38.5%)	21 (36.2%)	
Pefluorocarbon liquid (PCFL)				0.743 ^a
Verwendet	6 (20.0%)	6 (26.1%)	12 (22.6%)	
Nicht verwendet	24 (80.0%)	17 (73.9%)	41 (77.4%)	
Operateur				0.245 ^a
C.S.	29 (90.6%)	26 (100.0%)	55 (94.8%)	
M.S.	3 (9.4%)	0 (0.0%)	3 (5.6%)	

SOE: Silikonöl Endotamponade; ERM: epiretinal Membran; a: Fisher's exact test.

Die Entfernung des Silikonöls (ROSO) erfolgte frühestens vier Wochen nach der primären Operation, sobald der anatomische Erfolg mittels ophthalmologischer Untersuchung, OCT und Ultra-Weitwinkelbildgebung bestätigt war. **Tabelle 3** fasst die Charakteristika vor ROSO zusammen. Alle ROSO-Eingriffe wurden von demselben Chirurgen (C.S.) durchgeführt, um die chirurgische Variabilität zu minimieren. Vor der ROSO zeigte sich in Gruppe I eine leicht bessere mittlere BCVA ($0,7 \pm 0,4$ logMAR; Bereich 0,20–2,4) im Vergleich zu Gruppe II ($0,9 \pm 0,5$ logMAR; Bereich 0,0–2,7; $p = 0,05$). Die Prävalenz präoperativer Komplikationen – CME, ERM und okuläre Hypertension – unterschied sich nicht signifikant ($p = 0,16; 0,41; 1,00$).

Tabelle 3: Patientenmerkmale vor der Entfernung des Silikonöls (ROSO)				
	Gruppe I [min, 3 Monate] (N=32) N (%)	Gruppe II [max, 3 Monate] (N=26) N (%)	Gesamt (N=58) N (%)	P Wert
BCVA vor ROSO (LogMar)				0.052 ^b
Spane	0.20 - 2.40	0.00 - 2.70	0.00 - 2.70	
Mittelwert (SD)	0.72 (0.48)	0.97 (0.59)	0.84 (0.54)	
Median (Q1, Q3)	0.60 (0.40, 1.00)	1.00 (0.50, 1.22)	0.70 (0.50, 1.00)	
CME vor ROSO				0.164 ^a
Ja	14 (43.8%)	6 (23.1%)	20 (34.5%)	
Nein	18 (56.2%)	20 (76.9%)	38 (65.5%)	
ERM vor ROSO				0.417 ^a
Ja	12 (37.5%)	7 (26.9%)	19 (32.7%)	
Nein	20 (62.5%)	19 (73.1%)	39 (67.3%)	
IOD > 21 mmHg oder drucksenkende Augentropfen vor ROSO				1.000 ^a
Ja	9 (15.5%)	7 (12.0%)	16 (27.5%)	
Nein	23 (84.5%)	19 (88.0%)	42 (72.5%)	

ROSO: removal of silicone oil; BCVA: best corrected visual acuity; CME: zystoides Makulaödem; ERM: epiretinale Membran; IOD: intraokularer Druck; a: Fisher's exact test; b: Mann-Whitney test.

Während der ROSO wurden in einer begrenzten Zahl von Fällen zusätzliche Eingriffe durchgeführt, z. B. Laserphotokoagulation, epiretinale oder peripheres Membranpeeling, ebenfalls in vergleichbarer Häufigkeit zwischen den Gruppen. In der Mehrzahl der Fälle (47 von 58 Augen)

Tabelle 4: Merkmale der Operation zur Silikonöl Entfernung (ROSO)				
	Gruppe I [min, 3 Monate] (N=32) N (%)	Gruppe II [max, 3 Monate] (N=26) N (%)	Gesamt (N=58) N (%)	P Wert
Art der Endotamponade nach ROSO				0.989 ^c
Luft	26 (81.2%)	21 (80.8%)	47 (81.0%)	
C3F8	5 (15.6%)	4 (15.4%)	9 (15.5%)	
SF6	1 (3.1%)	1 (3.8%)	2 (3.4%)	
Laser Photokoagulation bei ROSO				0.550 ^a
Durchgeführt	7 (21.8%)	8 (30.7%)	15 (25.9%)	
Nicht durchgeführt	25 (78.2%)	18 (69.3%)	43 (74.1%)	
ERM Peeling				1.000 ^a
Durchgeführt	11 (34.3%)	3 (11.5%)	14 (15%)	
Nicht durchgeführt	21 (65.7%)	23 (88.5%)	44 (75.8%)	
Peeling peripherer Membranen bei ROSO				0.740 ^a
Durchgeführt	5 (15.7%)	5 (19.2%)	10 (17.2%)	
Nicht durchgeführt	27 (84.3%)	21 (80.7%)	48 (82.8%)	
Operateur				1.000 ^a
C.S.	32 (100.0%)	26 (100.0%)	58 (100.0%)	
M.S.	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	

ROSO: removal of silicone oil; ERM: epiretinale Membran; a: Fisher's exact test; c: chi-square test.

erfolgte ein reiner Luft-Flüssigkeitsaustausch ohne Gasendtamponade. Eine ergänzende Gasfüllung mit C₃F₈ wurde in neun und mit SF₆ in zwei Fällen durchgeführt (**Tabelle 4**).

Insgesamt trat bei 13 Augen eine Re-Amotio retinae auf. Die Re-Amotio-Raten waren nahezu identisch zwischen den beiden Gruppen (Gruppe I: 7 Fälle, 21,9 %, 95 %-KI [9,3 %-40 %]; Gruppe II: 6 Fälle, 23,1 %, 95 %-KI [8,9 %-43,6 %]; p = 1,00). Eine längere SOE-Dauer schützte somit nicht vor einem Rezidiv oder einer Makulabeteiligung bei der ersten Re-Amotio (Gruppe I: 4 Makula-off; Gruppe II: 1 Makula-off; p = 0,26). Auch die Anzahl weiterer Re-Amotionen unterschied sich nicht signifikant (Gruppe I: 0,38 ± 0,87; Gruppe II: 0,27 ± 0,53; p = 0,98). Die Kaplan-Meier-Analyse (**Abbildung 2**) zeigte keine signifikanten Unterschiede in der kumulativen Re-Amotio-Inzidenz zwischen den Gruppen (Log-Rank-Test: p = 0,88). Nach 24 Monaten lag die kumulative Re-Amotio-Rate bei 23,6 % (95 %-KI [6,4 %-37,5 %]) in Gruppe I und bei 24,3 % (95 %-KI [10,8 %-42,1 %]) in Gruppe II. Es bestand keine signifikante Korrelation zwischen der Zeit bis zur ROSO und der Anzahl der Re-Amotionen (Spearman $\rho = -0,20$; p = 0,12).

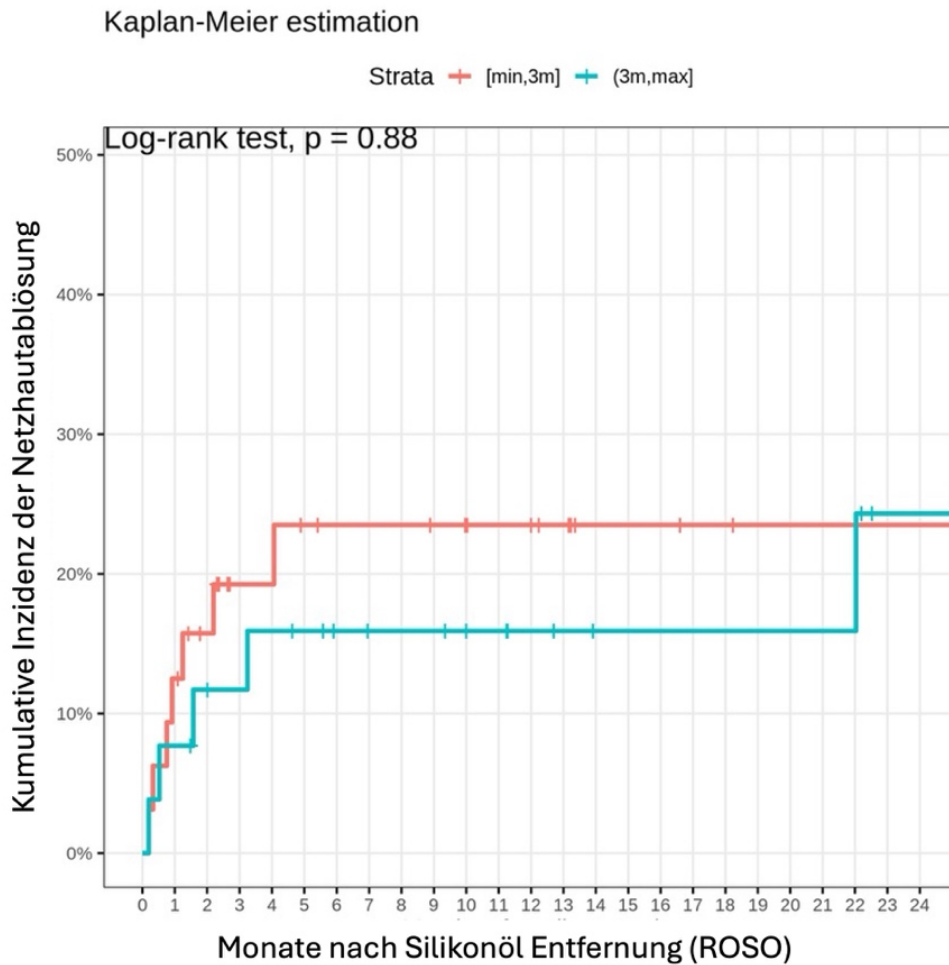


Abbildung 2: Kaplan-Meier-Schätzung der kumulativen Inzidenz einer erneuten Netzhautablösung in Gruppe I (rote Linie) und Gruppe II (blaue Linie) in den Monaten nach der Silikonölenfernung. Die meisten Rezidivablösungen treten in den ersten 20 Monaten nach der Silikonölenfernung auf. Zwischen den beiden Gruppen besteht kein statistisch signifikanter Unterschied in der Inzidenz der erneuten Netzhautablösung (Log-Rank-Test: p = 0,88).

Die Entwicklung der Sehschärfe sowie das Auftreten postoperativer Komplikationen sind in **Tabelle 5** dargestellt. In Gruppe I verbesserte sich die BCVA von $1,1 \pm 0,8$ logMAR (Bereich 0,10–2,40) bei Erstvorstellung auf $0,8 \pm 0,5$ logMAR (Bereich 0,1–2,4) beim letzten Follow-up. In Gruppe II stieg sie von $1,7 \pm 0,8$ logMAR (Bereich 0,2–2,7) auf $0,8 \pm 0,7$ logMAR (Bereich 0,1–3,0). Damit erzielten beide Gruppen vergleichbare funktionelle Ergebnisse, unabhängig von der Dauer der Endtamponade.

Auch die Inzidenzen postoperativer Komplikationen waren zwischen den Gruppen ähnlich: CME trat in 40,6 % der Augen in Gruppe I und in 34,6 % in Gruppe II auf ($p = 0,78$); ERM in 40,6 % bzw. 26,9 % ($p = 0,40$); und ein erhöhter IOD in 21,9 % bzw. 26,9 % ($p = 0,76$).

Für die Matching-Analyse wurden 52 Augen aus der ursprünglichen Kohorte berücksichtigt, um sicherzustellen, dass pro Patienten nur ein Auge eingeschlossen war. Bei fünf Patienten mit bilateralen Eingriffen wurde ein Auge zufällig ausgewählt; fünf Augen wurden daher

Tabelle 5: Merkmale nach der Operation zur Entfernung des Silikonöls (ROSO)				
	Gruppe I [min, 3 Monate] (N=32) N (%)	Gruppe II [max, 3 Monate] (N=26) N (%)	Gesamt (N=58) N (%)	P Wert
Rezidivierende Netzhautablösung nach ROSO				1.000 ^a
Ja	7 (21.9%)	6 (23.1%)	13 (22.4%)	
Nein	25 (78.1%)	20 (76.9%)	45 (77.6%)	
Makulabeteiligung (erste Re-Amotio nach ROSO)				0.266 ^a
Makula- Off	4 (57.1%)	1 (16.7%)	5 (38.5%)	
Makula-On	3 (42.9%)	5 (83.3%)	8 (61.5%)	
Anzahl der Re-Amotionen nach ROSO				0.983 ^b
Spanne	0.00 - 4.00	0.00 - 2.00	0.00 - 4.00	
Mittelwert (SD)	0.38 (0.87)	0.27 (0.53)	0.33 (0.73)	
Median (Q1, Q3)	0.00 (0.00, 0.00)	0.00 (0.00, 1.00)	0.00 (0.00, 0.00)	
IOD > 21 mmHg oder drucksenkende Augentropfen nach ROSO				0.761 ^a
Ja	7 (21.9%)	7 (26.9%)	14 (24.1%)	
Nein	25 (78.1%)	19 (73.1%)	44 (75.9%)	
CME nach ROSO				0.787 ^a
Ja	13 (40.6%)	9 (34.6%)	22 (37.9%)	
Nein	19 (59.4%)	17 (65.4%)	36 (62.1%)	
ERM nach ROSO				0.405 ^a
Ja	13 (40.7%)	7 (26.9%)	20 (34.4%)	
Nein	19 (59.3%)	19 (73.1%)	38 (65.6%)	
BCVA beim letzten Follow-up (LogMar)				0.366 ^b
Spanne	0.10 - 2.40	0.10 - 3.00	0.10 - 3.00	
Mittelwert (SD)	0.89 (0.55)	0.86 (0.72)	0.88 (0.63)	
Median (Q1, Q3)	0.75 (0.47, 1.124)	0.55 (0.40, 1.17)	0.70 (0.40, 1.22)	

ROSO: removal of silicone oil; IOD: intraokularer Druck; CME: zystoides Makulaödem; ERM: epiretinale Membran; BCVA: best corrected visual acuity; a: Fisher's exact test; b: Mann-Whitney test.

ausgeschlossen, und ein weiteres Auge aufgrund unvollständiger Makuladaten eliminiert. Insgesamt umfasste das finale Matching somit 52 Augen. Nach dem Vergleich mehrerer Matching-Methoden zeigte das Cardinality Matching die beste Balance und die größte Stichprobengröße. Es resultierten 11 gut abgegliche Paare (22 Augen) mit standardisierten Mittelwertdifferenzen $< 0,1$, was eine

exzellente Kovariatenbalance widerspiegelt. Die Ergebnisse dieser gematchten Analyse bestätigten die Befunde der ungematchten Daten: Es bestanden keine signifikanten Unterschiede in den

Tabelle 6a: Präoperative and postoperative Merkmale der Gruppen I und II nach Matching				
	Gematchte Gruppe I [min, 3 Monate] (N=11) N (%)	Gematchte Gruppe II [max, 3 Monate] (N=11) N (%)	Gesamt (N=22) N (%)	P Wert
Geschlecht (Augen)				1.000 ^a
Weiblich	5 (45.5%)	4 (36.4%)	9 (40.9%)	
Männlich	6 (54.5%)	7 (63.6%)	13 (59.1%)	
Alter (Jahre)				0.341 ^b
Spanne	38.46 - 85.49	52.44 - 87.03	38.46 - 87.03	
Mittelwert (SD)	68.07 (15.57)	66.28 (10.06)	67.18 (12.82)	
Median (Q1, Q3)	71.60 (63.05, 78.96)	63.49 (60.44, 70.62)	68.86 (60.49, 78.22)	
Makulabeteiligung (primäre RRD)				1.000 ^a
Makula-Off	7 (63.6%)	7 (63.6%)	14 (63.6%)	
Makula-On	4 (36.4%)	4 (36.4%)	8 (36.4%)	
Monate bis zum ROSO				1.000 ^a
Spanne	1.00 - 3.00	4.00 - 5.00	1.00 - 5.00	
Mittelwert (SD)	2.45 (0.69)	4.09 (0.30)	3.27 (0.98)	
Median (Q1, Q3)	3.00 (2.00, 3.00)	4.00 (4.00, 4.00)	3.50 (3.00, 4.00)	
Bullöse RRD				1.000 ^a
Ja	5 (45.5%)	5 (45.5%)	10 (45.5%)	
Nein	6 (54.5%)	6 (54.5%)	12 (54.5%)	
PVR Grad				1.000 ^a
A	8 (72.7%)	8 (72.7%)	16 (72.7%)	
B	1 (9.1%)	1 (9.1%)	2 (9.1%)	
C	2 (18.2%)	2 (18.2%)	4 (18.2%)	
Betroffene Netzhautquadranten (n)				0.780 ^b
Spanne	1.00 - 4.00	1.00 - 4.00	1.00 - 4.00	
Mittelwert (SD)	2.00 (0.77)	2.00 (0.63)	2.00 (0.69)	
Median (Q1, Q3)	2.00 (2.00, 2.00)	2.00 (2.00, 2.00)	2.00 (2.00, 2.00)	
Netzhautrisse (n)				0.944 ^b
Spanne	0.00 - 5.00	0.00 - 5.00	0.00 - 5.00	
Mittelwert (SD)	1.18 (1.54)	1.18 (1.60)	1.18 (1.53)	
Median (Q1, Q3)	1.00 (0.00, 2.00)	1.00 (0.00, 1.50)	1.00 (0.00, 2.00)	
Viskosität des Silikonöls				1.000 ^a
2000	8 (72.7%)	8 (72.7%)	16 (72.7%)	
5000	3 (27.3%)	3 (27.3%)	6 (27.3%)	
Art der Endotamponade nach ROSO				1.000 ^a
Luft	10 (90.9%)	10 (90.9%)	20 (90.9%)	
C3F8	1 (9.1%)	1 (9.1%)	2 (9.1%)	
Re-Amotio nach ROSO				1.000 ^a
Ja	2 (18.2%)	3 (27.3%)	5 (22.7%)	
Nein	9 (81.8%)	8 (72.7%)	17 (77.3%)	
Anzahl der Re-Amotionen nach ROSO				0.654 ^b
Spanne	0.00 - 2.00	0.00 - 2.00	0.00 - 2.00	
Mittelwert (SD)	0.27 (0.65)	0.36 (0.67)	0.32 (0.65)	
Median (Q1, Q3)	0.00 (0.00, 0.00)	0.00 (0.00, 0.50)	0.00 (0.00, 0.00)	
Makulabeteiligung (Re-Amotio)				0.400 ^a
Ja	0 (0.0%)	2 (66.7%)	2 (40.0%)	
Nein	2 (100.0%)	1 (33.3%)	3 (60.0%)	
CME vor ROSO				0.635 ^a
Ja	4 (36.4%)	2 (18.2%)	6 (27.3%)	
Nein	7 (63.6%)	9 (81.8%)	16 (72.7%)	

BCVA: best corrected visual acuity; RD: retinal detachment; PVR: proliferative Vitreoretinopathie; RD: retinal detachment; ROSO: silicone oil removal; CME: cystoid macular edema; ERM: epiretinal Membran; IOD: intraokularer Druck. a: Fisher's exact test; b: Mann-Whitney test.

Tabelle 6b: Präoperative and postoperative Merkmale der Gruppen I und II nach Matching				
	Gematchte Gruppe I [min, 3 Monate] (N=11) N (%)	Gematchte Gruppe II [max, 3 Monate] (N=11) N (%)	Gesamt (N=22) N (%)	P Wert
CME nach ROSO				1.000 ^a
Ja	4 (36.4%)	3 (27.3%)	7 (31.8%)	
Nein	7 (63.6%)	8 (72.7%)	15 (68.2%)	
BCVA bei Erstvorstellung (LogMar)				0.741 ^b
Spanne	0.10 - 2.40	0.30 - 2.30	0.10 - 2.40	
Mittelwert (SD)	1.31 (0.94)	1.28 (0.79)	1.30 (0.85)	
Median (Q1, Q3)	1.50 (0.55, 2.30)	1.00 (0.60, 2.10)	1.20 (0.60, 2.25)	
BCVA vor ROSO (LogMar)				0.467 ^b
Spanne	0.20 - 1.30	0.00 - 1.30	0.00 - 1.30	
Mittelwert (SD)	0.61 (0.30)	0.71 (0.39)	0.66 (0.34)	
Median (Q1, Q3)	0.60 (0.50, 0.75)	0.70 (0.45, 1.00)	0.60 (0.50, 0.95)	
BCVA beim letzten Follow-up (LogMar)				0.371 ^b
Spanne	0.10 - 2.40	0.10 - 2.40	0.10 - 2.40	
Mittelwert (SD)	0.87 (0.65)	0.70 (0.65)	0.79 (0.64)	
Median (Q1, Q3)	0.70 (0.40, 1.10)	0.40 (0.35, 0.81)	0.65 (0.40, 1.00)	
IOD> 21 mmHg oder drucksenkende Augentropfen vor ROSO				1.000 ^a
Ja	3 (27.3%)	2 (18.2%)	5 (22.7%)	
Nein	8 (72.7%)	9 (81.8%)	17 (77.3%)	
IOD> 21 mmHg oder drucksenkende Augentropfen nach ROSO				1.000 ^a
Ja	2 (18.2%)	2 (18.2%)	4 (18.2%)	
Nein	9 (81.8%)	9 (81.8%)	18 (81.8%)	
Operateur der primären ppV				1.000 ^a
C.S.	11 (100.0%)	11 (100.0%)	22 (100.0%)	
M.S.	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	
Operateur der ROSO				1.000 ^a
C.S.	11 (100.0%)	11 (100.0%)	22 (100.0%)	
M.S.	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	
Perfluorcarbon-Flüssigkeit (PFCL) bei Primäroperation				0.586 ^a
Ja	2 (20.0%)	1 (9.1%)	3 (14.3%)	
Nein	8 (80.0%)	10 (90.9%)	18 (85.7%)	
Glaskörperblutung bei Primäroperation				1.000 ^a
Ja	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	
Nein	11 (100.0%)	9 (100.0%)	20 (100.0%)	
Retinotomie bei Primäroperation				1.000 ^a
Ja	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	
Nein	11 (100.0%)	11 (100.0%)	22 (100.0%)	
Retinektomie bei Primäroperation				1.000 ^a
Ja	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	
Nein	11 (100.0%)	11 (100.0%)	22 (100.0%)	
ERM Peeling bei ROSO				1.000 ^a
Ja	2 (18.2%)	2 (18.2%)	4 (18.2%)	
Nein	9 (81.8%)	9 (81.8%)	18 (81.8%)	
Peeling peripherer Membranen bei ROSO				1.000 ^a
Ja	1 (9.1%)	1 (9.1%)	2 (9.1%)	
Nein	10 (90.9%)	10 (90.9%)	20 (90.9%)	
Follow-up (Monate)				0.261 ^b
Spanne	3.0 - 47.0	3.0 - 46.0	3.0 - 47.0	
Mittelwert (SD)	21.0 (14.6)	14.8 (13.6)	17.9 (14.1)	
Median (Q1, Q3)	18.0 (9.5, 31.5)	10.0 (4.5, 23.0)	15.0 (6.0, 26.2)	

BCVA: best corrected visual acuity; RD: retinal detachment; PVR: proliferative Vitreoretinopathie; RD: retinal detachment; ROSO: silicone oil removal; CME: cystoid macular edema; ERM: epiretinal Membran; IOD: intraokularer Druck. a: Fisher's exact test; b: Mann-Whitney test.

Basischarakteristika zwischen den Gruppen, und auch die Inzidenz der Re-Amotio unterschied sich nicht (Gruppe I: 2 Fälle, 18 %, 95 %-KI [2,3 %-52 %]; Gruppe II: 3 Fälle, 27,3 %, 95 %-KI [6,0 %-61,0 %]; $p = 1,00$; siehe **Tabelle 6a, b**).

e. *Diskussion*

Die Verwendung einer Silikonölotamponade stellt seit mehreren Jahrzehnten eine etablierte und hochwirksame Behandlungsstrategie in der Therapie komplizierter rhegmatogener Netzhautablösungen dar. In der vitreoretinalen Chirurgie hat sich der Einsatz von Silikonöl insbesondere bei komplexen Fällen der rhegmatogenen Netzhautablösung bewährt. Dazu zählen Situationen mit ausgeprägter proliferativer Vitreoretinopathie (PVR), großflächigen chorioretinalen Defekten oder traumatisch bedingten Netzhautschäden. In diesen Fällen dient das Öl als langfristiges intraokulares Tamponadematerial, das durch seine physikalische Wirkung eine dauerhafte Anlagerung der Netzhaut an das darunterliegende Pigmentepithel ermöglicht und somit das Risiko einer Rezidivablösung erheblich reduziert.

Mehrere klinische Studien konnten die hohe Effektivität der Silikonöl Implantation belegen. So berichten verschiedene Autoren über anatomische Erfolgsraten mit allseitigen Netzhautanlage zwischen 72 % und 100 % (Falkner et al., 2001; Scholda et al., 2000; Abu-Yaghi et al., 2020; Avitabile et al., 2011). Diese Ergebnisse unterstreichen die Zuverlässigkeit der Silikonöltamponade als therapeutische Option in komplizierten Fällen, in denen alternative Tamponadematerialien, wie Gase, nur eingeschränkt geeignet sind.

Darüber hinaus ermöglicht die Möglichkeit einer langfristigen intraokularen Verweildauer des Silikonöls eine stabile postoperative Phase, in der sich die Netzhaut regenerieren und proliferative Prozesse effektiv kontrollieren lassen. Gleichzeitig ist jedoch eine sorgfältige Überwachung potenzieller Komplikationen erforderlich. Zu den bekannten Komplikationen einer langfristigen Silikonöl-Endotamponade zählen sekundäres Glaukom, Kataraktbildung, Optikusneuropathie, bandförmige Keratopathie sowie eine potenzielle toxische Wirkung auf die Netzhaut unter anderen (Herbert et al., 2005). Daher wird die Entfernung des Silikonöls in der Regel empfohlen, sobald ein stabiles anatomisches Ergebnis erzielt wurde. Nichtsdestotrotz bleibt die Frage nach der optimalen Dauer der intraokularen Silikonölverweildauer und den damit verbundenen Risiken, insbesondere in Bezug auf die Re-Amotio-Rate nach der Entfernung des Silikonöls (ROSO), bis heute Gegenstand intensiver klinischer Forschung bestehend.

In der Literatur wird die Inzidenz einer Re-Amotio nach Silikonölenentfernung mit Werten zwischen 5 % und 31,4 % angegeben (Nagpal et al., 2012). Diese große Variabilität ist vermutlich auf Unterschiede im Patientenkollektiv, die Einschlusskriterien, die chirurgischen Techniken und die Erfahrung der Chirurgen zurückzuführen. Während mehrere Untersuchungen darauf hinweisen, dass die Dauer der Silikonöltamponade den finalen anatomischen Erfolg nicht wesentlich beeinflusst (Falkner et al., 2001; Rhatigan et al., 2018; Teke et al., 2014), berichten andere Arbeiten über eine leicht erhöhte Rate von Re-Amotio bei einer Silikonöltamponade Dauer von weniger als drei Monaten (Tan et al., 2012; Azen et al., 1998; Casswell & Gregor, 1987). Diese Beobachtung wird häufig durch den zeitlichen Verlauf der PVR-Entwicklung erklärt, deren medianer Beginn etwa zwei Monate nach der primären Pars-plana-Vitrektomie liegt (Giordano & Refojo, 1998).

f. Einfluss der Tamponadedauer auf anatomische Ergebnisse

Die Dauer der Silikonöltamponade ist einer der zentralen Parameter, die in zahlreichen Studien untersucht wurden. In unserer Kohorte zeigte sich eine kumulative Re-Amotio-Rate von 22,4 %, wobei zwischen den Patienten mit einer ROSO vor bzw. nach drei Monaten keine signifikanten Unterschiede festgestellt wurden. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit Berichten, die sowohl anatomische als auch funktionelle Erfolge auch bei kürzeren Tamponadezeiten beschreiben (Hutton, 1994; Falkner et al., 2001; Brănișteanu et al., 2017). Die Wahl des Drei-Monats-Grenzwertes basiert auf häufig verwendeten Schwellenwerten früherer Arbeiten und dem im klinischen Alltag etablierten Vorgehen, drei Monate als Standarddauer für eine Silikonölenotamponade zu betrachten (Tan et al., 2012; Jonas, 2001). Frühere Studien zeigen jedoch eine erhebliche Variabilität mit Grenzwerten zwischen zwei und sechs Monaten (Falkner et al., 2001; Goezinne et al., 2007).

In der retrospektiven Multicenter-Studie von Huang et al. wurde die Rate der Netzhaut-Re-Amotio nach ROSO an 205 Augen untersucht. Dort lag die Rate der Re-Amotio bei 18,5 %, und die Autoren zeigten, dass eine längere Silikonöltamponade Dauer (12 Monate) mit einer signifikant geringeren Re-Amotio-Rate assoziiert war (OR 0,25; $p = 0,048$). Gleichzeitig wurde jedoch festgestellt, dass eine längere Silikonöltamponade mit einer schlechteren finalen Sehschärfe korrelierte, was auf mögliche strukturelle oder toxische Effekte des Öls hinweist (Huang et al., 2022). Tavares et al. kamen hingegen in einer kleineren Serie ($n = 53$) zu dem Ergebnis, dass die Dauer der Tamponade keinen signifikanten Einfluss auf die anatomische Erfolgsrate hatte, wobei 90,5 % der Augen am Ende der Nachbeobachtung anatomisch stabil waren (Tavares et al., 2015). Gisquet et al. berichteten bei 161 Augen eine Re-Amotio-Rate von 14,9 %, wobei eine kürzere Tamponadezeit von 3 Monaten oder weniger mit einer tendenziell höheren, aber nicht signifikant

erhöhten Re-Amotio-Rate assoziiert war ($p = 0,06$). Zusammengenommen deuten diese Befunde darauf hin, dass eine längere Tamponade einen gewissen Schutz vor frühzeitigen Re-Amotionen bieten könnte, was aber bisher statistisch nicht unbedingt gesichert wurde. Gleichzeitig aber ist bei langfristiger Silikonöltamponade das Risiko sekundärer Komplikationen erhöht (Gisquet et al., 2024)

g. Risikofaktoren für eine Re-Amotio nach ROSO

In der aktuellen Literatur wurden eine Vielzahl potenzieller Risikofaktoren für eine Re-Amotio nach Silikonölentfernung identifiziert. Hierzu zählen insbesondere ein vorangegangener chirurgischer Misserfolg, das Vorliegen einer fortgeschrittenen PVR, die Aphakie, eine hohe Myopie sowie traumatische Netzhautablösungen (Jonas, 2001; Teke et al., 2014; Gisquet et al., 2024). In der Studie von Gisquet et al. war eine frühere erfolglose Netzhautchirurgie der einzige signifikante Risikofaktor für eine erneute Netzhaut Ablösung (OR 4,8; $p = 0,02$), während weder die Durchführung einer 360°-Laser-Retinopexie noch die zusätzliche Luft- oder Gastamponade während der ROSO einen Einfluss auf die Re-Amotio-Rate hatten (Gisquet et al., 2024). Mehrere Autoren haben darauf hingewiesen, dass die Anzahl der vorangegangenen chirurgischen Eingriffe einen wesentlichen Einfluss auf den anatomischen Erfolg nach der Entfernung von Silikonöl ausübt (Jonas et al., 2001; Scholda et al., 2007). Eine höhere Operationsfrequenz geht häufig mit einer komplexeren Netzhautsituation, ausgeprägter Narbenbildung und einer erhöhten Inzidenz proliferativer Veränderungen einher, was den Heilungsverlauf nach der Silikonölentfernung negativ beeinflussen kann. Ähnliche Ergebnisse fanden Huang et al., die eine signifikant erhöhte Re-Amotio-Rate bei Patienten mit vorherigem Silikonölwechsel (OR 5,4; $p = 0,02$) berichteten, wohingegen präoperative Faktoren wie Makulastatus, Linse oder PVR-Ausprägung keinen Einfluss zeigten (Huang et al., 2022). Vor diesem Hintergrund wurden in die vorliegende Studie bewusst ausschließlich primäre Netzhautablösungen eingeschlossen, bei denen keine früheren okulären Eingriffe, mit Ausnahme einer Kataraktoperation, und keiner Laserbehandlung durchgeführt worden waren, um potenzielle Verzerrungen durch vorausgegangene chirurgische Traumata zu vermeiden.

Eine prophylaktische 360°-Laserretinopexie vor ROSO wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Einige Studien konnten einen schützenden Effekt nachweisen (Avitabile et al., 2008; Tavares et al., 2015), andere wiederum nicht (Gisquet et al., 2024; Huang et al., 2022). Die Wirksamkeit scheint stark von der Ätiologie der Re-Amotionen abzuhängen: Während eine umfassende Laserbehandlung die Entstehung neuer peripherer Risse begrenzen kann, bleibt sie wirkungslos gegen PVR-assoziierte Traktionsrezidive. Tavares et al. 2015 beobachteten bei 360°-

Laserprophylaxe vor ROSO eine niedrige Rezidivrate von 9,5 % und führten dies auf eine verbesserte chorioretinale Adhäsion zurück. Im Gegensatz dazu zeigte die retrospektive Serie von Gisquet et al. (2024) keinen Unterschied in der Re-Amotio Raten zwischen gelaserten und nicht gelaserten Augen, was vermutlich auf die Dominanz PVR-assoziiierter Mechanismen in ihrem Kollektiv zurückzuführen ist (Gisquet et al., 2024; Tavares et al., 2015).

h. Silikonöl-assoziierte Komplikationen

Zu den wichtigsten Risikofaktoren für Silikonöl-assoziierte Komplikationen zählt die Emulsifikation des Öls. In unserer Studie wurden ausschließlich pseudophake Patient:innen eingeschlossen, um mögliche Einflussfaktoren der Linsenkonfiguration auf die Emulsifikation von Silikonöl zu minimieren und die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass sowohl das Vorhandensein als auch der Typ der intraokularen Linse einen signifikanten Einfluss auf das Ausmaß der Silikonölemulsifikation haben können. In einer Vergleichsstudie zwischen phaken und pseudophaken Augen zeigte sich, dass Pseudophakie mit einer deutlich höheren Rate an Öl-Emulsifikation über die Zeit assoziiert ist, nämlich 80 % der pseudophaken Patient:innen im Vergleich zu 19 % der phaken wiesen eine Emulsifikation auf (El Shazly et al., 2012). Neben der Häufigkeit war auch die Menge des emulgierten Öls bei pseudophaken Augen signifikant größer, wie sonographische Untersuchungen mittels Ultraschall-Biomechanik zeigten (Avitabile et al., 2002). In einer weiteren Arbeit, die Risikofaktoren für einen postoperativen Anstieg des Augeninnendrucks nach Silikonölinjektion analysierte, wurde beobachtet, dass pseudophake Patient:innen nicht nur ein höheres Risiko für eine Drucksteigerung aufwiesen, sondern auch mehr Öltröpfchen in der Vorderkammer zeigten als Patient:innen ohne vorangegangene Kataraktoperation (Avitabile et al., 2002). Zudem wurde festgestellt, dass eine kombinierte Phakoemulsifikation mit Pars-plana-Vitrektomie und Silikonölinjektion mit einem höheren Emulsifikationsgrad assoziiert war ($p = 0,006$), was möglicherweise auf eine verstärkte postoperative Entzündungsreaktion zurückzuführen ist (Zhao et al., 2022). Vor diesem Hintergrund wurde in der vorliegenden Untersuchung gezielt auf pseudophake Augen fokussiert, um die Einflussvariablen der Linsenstatus-Heterogenität zu eliminieren und eine homogene Studienpopulation zu schaffen, die eine valide Beurteilung der beobachteten klinischen und funktionellen Ergebnisse ermöglicht.

Frühere Studien berichten über das Auftreten der Emulsifikation zwischen 4,3 und 5 Monaten nach der Operation (Toklu et al., 2012; Moisseiev et al., 2013), wobei erste Anzeichen bereits nach zwei Monaten beobachtet wurden (Odrobina & Laudańska-Olszewska, 2014). Längere Tamponadezeiten wurden zudem mit erhöhtem Augeninnendruck, einem Silikonöl-assoziierten Sehverlust (SORVL)

sowie mit Veränderungen der zentralen Makuladicke in Zusammenhang gebracht (Scheerlinck et al., 2016; Rhatigan et al., 2018, Ewais et al., 2024). Daraus ergibt sich, dass eine frühzeitige Entfernung des Silikonöls in ausgewählten Fällen eine sinnvolle Option darstellen kann.

In der vorliegenden Studie wurde ein erhöhter Augeninnendruck bei 27,5 % der Fälle beobachtet, was gut mit den in der Literatur angegebenen Inzidenzen zwischen 3 % und 40 % übereinstimmt (Rahman et al., 2016; Dooley et al., 2016). Der erhöhte Druck blieb in 14 Fällen auch nach der Entfernung des Silikonöls bestehen, konnte jedoch konservativ mit drucksenkenden Augentropfen kontrolliert werden, ohne dass operative Eingriffe notwendig waren. Während einige Autoren keinen Zusammenhang zwischen der Dauer der Endotamponade und der okulären Hypertension feststellen konnten (Jonas, 2001; Marti et al., 2017), sehen andere Studien in einer verlängerten Tamponade einen Risikofaktor sowohl für erhöhten Augeninnendruck als auch für unerklärten Visusverlust (Scheerlinck et al., 2016). Eine mögliche Erklärung ist, dass eine längere Verweildauer des Silikonöls die Wahrscheinlichkeit einer Emulsifikation erhöht, was wiederum zu einem Anstieg des intraokularen Drucks führen kann und infolgedessen eine Schädigung des Sehnervs begünstigt (Marti et al., 2017).

Ein milder Visusverlust nach der Entfernung von Silikonöl ist ein bekanntes, jedoch in seiner Ursache nicht immer eindeutig erklärbares Phänomen. In vielen Fällen wird dieser auf postoperative Komplikationen wie das Auftreten eines zystoiden Makulaödems, die Entwicklung epiretinaler Membranen oder eine Schädigung des Sehnervs zurückgeführt. Dennoch bleibt in einer Reihe von Fällen keine klare Ursache erkennbar, sodass ein Silikonöl-assoziiertes Visusverlust vermutet wird (SORVL) (Herbert et al., 2005). Mehrere klinische Fallserien haben über das Auftreten eines solchen unerklärten Visusverlustes nach Silikonölinjektion berichtet (Cazabon, 2005; Newsom et al., 2004; Christensen et al., 2012; Shalchi et al., 2015; Scheerlinck et al., 2016). In der Arbeit von Scheerlinck et al. wurde dieses Phänomen bei nahezu 30 % der Patienten mit einer Makula-on-Ablösung beobachtet, wobei die Dauer der Tamponade als einziger signifikanter Risikofaktor identifiziert wurde.

Strukturelle Bildgebungsstudien zeigten bei Augen mit SORVL eine Ausdünnung der inneren Netzhautschichten, was auf mögliche degenerative oder toxische Veränderungen hinweist (Christensen et al., 2012; Lee et al., 2021; Ewais et al., 2024). Als mögliche pathophysiologische Mechanismen werden eine Funktionsstörung der Ganglien- und Bipolarzell-Synapsen sowie eine direkte Schädigung des Sehnervs durch Silikonölinfiltration diskutiert (Williams et al., 2008).

Neuere Untersuchungen, die sich mit der Wirkung des Silikonöls auf die Netzhaut- und Aderhautschichten befassen, zeigen teils widersprüchliche Ergebnisse. So fanden Goker et al., dass in Augen mit Silikonöltamponade die Dicke der inneren Kernschicht (INL) und der äußeren Plexiformschicht (OPL) im Vergleich zum gesunden Partnerauge zunahm (Goker et al., 2018). Im Gegensatz dazu berichteten Lee et al. bei Patienten mit Netzhautablösung über eine deutliche Reduktion sowohl der inneren als auch der äußeren Netzhautschichten in der Silikonölgruppe im Vergleich zur Gastamponade (Lee et al., 2018). Ebenso zeigte Karimi et al., dass die subfoveale Choroiddicke (SFCT) nach Silikonölanwendung reduziert war (Karimi et al., 2018), während Zhou et al. eine Abnahme der retinalen, jedoch keine signifikante Veränderung der choroidalen Schichtdicke beobachteten (Zhou et al., 2020). Eine aktuelle Metaanalyse von Ghanabari et al. (2021) bestätigte schließlich, dass eine längere Dauer der Silikonöltamponade signifikant mit einer Reduktion der zentralen Makuladicke nach der Ölentfernung korreliert (Ghanabari et al., 2021).

In unserer Untersuchung fanden sich keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Visusentwicklung oder Inzidenz eines erhöhten Augeninnendrucks zwischen den frühen und späten ROSO-Gruppen. Die Augen der Gruppe wo das Silikonöl früher entfernt wurde zeigten tendenziell bessere Ausgangsvisuswerte, was möglicherweise auf eine geringere Komplexität der Fälle hindeutet, bei denen eine frühzeitige Ölentfernung als sicherer eingeschätzt wurde. Am Ende des Nachbeobachtungszeitraums war der mittlere BCVA in beiden Gruppen vergleichbar.

Ebenso ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der Häufigkeit einer ERM oder eines CME in Abhängigkeit von der Tamponadedauer. Diese Beobachtung steht im Gegensatz zu den Ergebnissen von Er et al., die eine erhöhte CME-Inzidenz bei Tamponadezeiten über drei Monaten berichteten (Er et al., 2021).

Insgesamt deuten unsere Daten darauf hin, dass eine Silikonölverweildauer von bis zu drei Monaten in pseudophaken Augen eine gleichwertige anatomische und funktionelle Stabilität erreichen kann wie längere Tamponadezeiten. Betrachtet man jedoch unsere Ergebnisse im Vergleich zu den Resultaten anderer Studien, scheint die Dauer der Silikonöl-Endotamponade nicht unbedingt eine entscheidende Rolle für das anatomische Ergebnis nach ROSO zu spielen. Für die Beantwortung dieser klinisch relevanten Fragestellung sind jedoch weitere prospektive Studien erforderlich.

Ebenso wichtig sind zukünftige Untersuchungen zur Identifizierung zusätzlicher Risikofaktoren für eine Netzhautablösung nach ROSO, um möglicherweise einen klinischen Score zu entwickeln, der Patienten in Hoch-, Mittel- und Niedrigrisikogruppen für eine Re-Amotio nach Silikonöl

Entfernung einteilt. Ein solcher Ansatz könnte die klinische Entscheidungsfindung verbessern und zur Umsetzung einer stärker personalisierten Medizin beitragen.

i. Limitationen

Die vorliegenden Ergebnisse liefern wertvolle Einblicke in den Einfluss der Silikonöl Endotamponade Dauer auf den anatomischen und funktionellen Ergebnissen nach pars plana Vitrektomie, sollten jedoch mit gebotener Vorsicht interpretiert werden. Aufgrund des retrospektiven, beobachtenden Studiendesigns ist ein ursächlicher Zusammenhang zwischen den untersuchten Faktoren und den klinischen Ergebnissen nur eingeschränkt belegbar. Studien mit retrospektiven Designs sind anfällig für Selektionsverzerrungen und Informationsbias, da die Datenerhebung auf bereits vorhandenen klinischen Dokumentationen beruht und eine standardisierte prospektive Datenerfassung fehlt. Die relativ kleine Stichprobengröße begrenzt zudem die statistische Power, wodurch insbesondere subtile, klinisch dennoch relevante Unterschiede zwischen den Gruppen möglicherweise unentdeckt bleiben. Aus diesem Grund konnten wir auch keine potenziellen Risikofaktoren identifizieren, die mit einem erhöhten Risiko für eine Netzhautablösung nach der Entfernung des Silikonöls verbunden sind.

Ein weiterer methodischer Aspekt betrifft die Möglichkeit eines „Confounding by Indication“. Der Entscheidungsprozess des Operators für eine bestimmte Vorgehensweise kann durch patientenindividuelle Faktoren, wie Ausmaß der Netzhautablösung, PVR-Stadium oder intraoperative Komplikationen, beeinflusst sein, die gleichzeitig mit dem Outcome assoziiert sind. Diese systematische Verzerrung kann zu einer Unterschätzung oder Überschätzung der tatsächlichen Effekte führen. Gleichwohl wurde in der statistischen Auswertung durch den gezielten Einsatz der Kardinalitäts-Matching-Methodik sorgfältig für eine Vielzahl relevanter klinischer und chirurgischer Variablen kontrolliert, darunter die Viskosität des verwendeten Silikonöls, begleitende Eingriffe, Makulastatus und Fallselektion. Dadurch konnte die interne Validität der Analyse deutlich verbessert und die Vergleichbarkeit zwischen den Gruppen erhöht werden.

Trotz der genannten Limitationen stellt diese Untersuchung eine der ersten klinischen Studien dar, die eine Stratifizierung nach dem Zeitpunkt der Silikonölf Entfernung vornimmt und dabei gleichzeitig wichtige präoperative und postoperative Faktoren berücksichtigt. Sie bietet damit eine wertvolle Grundlage für zukünftige, größere prospektive Multicenter-Studien, die kausale Zusammenhänge besser quantifizieren und zur Entwicklung robuster prädiktiver Modelle beitragen können. Langfristig können solche Modelle helfen, die chirurgische Entscheidungsfindung zu

individualisieren und die postoperative Prognose für unterschiedliche Patientenkollektive gezielter zu verbessern.

j. Aktuelle Entwicklungen und Innovationen in der Netzhautchirurgie

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie fügen sich in die wachsende Evidenzlage ein, dass eine frühzeitige Entfernung von Silikonöl nach erfolgreicher Netzhautanlage in ausgewählten Fällen eine sichere und effektive Option darstellen kann. In der wissenschaftlichen Gemeinschaft besteht weiterhin ein besonderes Interesse daran, Risikofaktoren zu identifizieren, die mit einem erhöhten Risiko einer erneuten Netzhautablösung nach der Silikonölenfernung assoziiert sind. Eine aktuelle retrospektive Kohortenstudie mit 398 Patientinnen und Patienten von Zhang et al. (2025) hebt insbesondere die proliferative Vitreoretinopathie (PVR), eine geringe präoperative Sehschärfe sowie postoperative Komplikationen, wie Glaskörperblutung und intraokularen Druckanstieg, als die wichtigsten Prädiktoren für ein Rezidiv hervor (Zhang & Xu, 2025). Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die Dauer der Silikonöltamponade möglicherweise eine geringere Rolle spielt als ursprünglich angenommen, und dass die Patientenselektion künftig auch auf anderen klinischen Parameter ausgerichtet werden sollte.

Zukünftige Studien sollten daher auf prospektiven, multizentrischen Designs mit größeren Fallzahlen basieren, um die identifizierten Risikofaktoren, insbesondere PVR, präoperative Sehschärfe und postoperative Komplikationen, in multivariaten Modellen zu validieren (Zhang & Xu, 2025; Gisque et al., 2024). Ergänzend könnten bildgebende Biomarker, wie Veränderungen der Netzhautschichtdicke oder der choroidalen Perfusion, neue Einblicke in den zeitabhängigen Einfluss des Silikonöls auf die Netzhautphysiologie liefern. Nur durch eine solche differenzierte und evidenzbasierte Betrachtung wird es möglich sein, präzise Leitlinien zur optimalen Dauer und zum idealen Zeitpunkt der Silikonölenfernung zu entwickeln.

Parallel zu diesen klinischen Erkenntnissen wurden in den vergangenen Jahren erhebliche Fortschritte bei der Entwicklung alternativer Endotamponaden erzielt. Besonders im Fokus der Forschung stehen derzeit drei vielversprechende Ansätze: der faltbare kapsuläre Glaskörperersatz (Foldable Capsular Vitreous Body, FCVB), neuartige Hydrogel-Systeme und mittelkettige Triglyceride (MCT). Diese innovativen Materialien zielen darauf ab, die Vorteile des etablierten Silikonöls zu bewahren, gleichzeitig jedoch dessen bekannte Komplikationen, wie Emulsifikation, Migration in die Vorderkammer oder endotheliale Toxizität, zu vermeiden (Lin et al. 2012; Gao et al. 2008; Liu et al. 2010; Daull et al. 2013; Auriol et al. 2013; Soler et al. 2017).

Der FCVB wurde ursprünglich konzipiert, um eine langfristige Stabilität der Netzhaut zu gewährleisten und die typische Emulsifikation von Silikonöl zu verhindern (Lin et al. 2012). Dabei handelt es sich um eine elastische Silikonkapsel mit integriertem Ventil- und Schlauchsystem, das subkonjunktival fixiert wird. Klinische Erfahrungen zeigen, dass der FCVB eine effektive endotamponierende Wirkung entfalten kann, ohne den intraokularen Druck wesentlich zu erhöhen, und in manchen Fällen sogar eine partielle funktionelle Verbesserung bewirkt (Lin et al. 2012). Trotz dieser positiven Ergebnisse ist die Anwendung bislang auf wenige, streng ausgewählte Patientengruppen beschränkt. Die langfristige Sicherheit und Wirksamkeit, insbesondere bei Augen mit erhaltener Sehfunktion, sind noch nicht abschließend belegt (Lin et al. 2012; Zhang et al. 2019). Während die kapsuläre Struktur des FCVB die Emulsifikation und Migration des Öls mechanisch verhindert, kann sie funktionelle Defizite, etwa eine verminderte Kammerwasserproduktion bei proliferativer Vitreoretinopathie, nicht kompensieren. Zudem bleibt unklar, welchen Nutzen der FCVB in sehfähigen Augen langfristig bieten kann (Lin et al. 2012; Zhang et al. 2019).

Parallel dazu werden Hydrogele als alternative intravitreale Tamponaden erforscht. Diese quervernetzten, wasserhaltigen Polymernetzwerke sind aus der regenerativen Medizin bekannt und zeichnen sich durch ihre hohe Hydrophilie aus (Spang & Christman 2018). Aufgrund ihrer Eigenschaften könnten sie den Glaskörperraum vollständig ausfüllen und die Netzhaut homogen stabilisieren, ohne postoperative Lagerungsvorgaben zu erfordern (Annaka et al. 2011). Während natürliche Hydrogele durch gute Biokompatibilität, aber geringe Stabilität und unvorhersehbare Degradation limitiert sind, bieten synthetische Varianten verbesserte Anpassbarkeit, bergen jedoch Risiken von Entzündungsreaktionen und Langzeittoxizität (Kleinberg et al. 2011). Ein entscheidender Fortschritt sind sogenannte Double-Network-Hydrogele, die verbesserte mechanische Belastbarkeit, Selbstheilungseigenschaften und eine hohe Biokompatibilität aufweisen (Wang et al. 2018). Tierexperimentelle Studien belegen, dass diese Materialien nach partieller Degradation erneut eine glaskörperähnliche Matrix mit spezifischen Proteinen bilden können (Liu et al. 2019). Darüber hinaus wird ihr Einsatz als kontrolliertes intraokulares Drug-Delivery-System für antiangiogene und antiinflammatorische Medikamente wie Ranibizumab oder Dexamethason diskutiert (Yu et al. 2015; Anwary et al. 2018). Dennoch befinden sich diese Konzepte überwiegend in präklinischer Entwicklung, und umfassende klinische Prüfungen zu Langzeitverträglichkeit und regulatorischer Zulassung stehen noch aus (Spang & Christman 2018; Wang et al. 2018; Liu et al. 2019).

Als dritter Ansatz werden mittelkettige Triglyceride (MCT) untersucht, die vorwiegend aus Capryl- und Caprinsäure bestehen (Traul et al. 2000). Diese biokompatiblen Substanzen, traditionell in der

Medizin bei Resorptionsstörungen eingesetzt (Ruppin & Middleton 1980), zeigen in tierexperimentellen Studien eine gute Verträglichkeit und physikalische Eigenschaften, die denen von Silikonöl ähneln (Auriol et al. 2013; Soler et al. 2017). Zudem können MCT als Trägersysteme für lipophile Arzneistoffe wie Dexamethasonpalmitat fungieren (Daull et al. 2013). Trotz dieser positiven Befunde befindet sich die Entwicklung noch in einem frühen Stadium, und die klinische Übertragbarkeit auf den menschlichen Augapfel ist bislang unklar (Daull et al. 2013; Soler et al. 2017).

Insgesamt verdeutlichen diese Entwicklungen, dass FCVB, Hydrogele und MCT das Potenzial haben, zentrale Nachteile des Silikonöls zu überwinden (Lin et al. 2012; Gao et al. 2008; Liu et al. 2010; Auriol et al. 2013; Soler et al. 2017). Dennoch bestehen wesentliche Hürden, bevor diese Materialien als Standard-Endotamponade etabliert werden können. Sie markieren somit nicht das Ende, sondern vielmehr den Beginn einer neuen Phase materialbasierter Innovation in der Netzhautchirurgie.

RESEARCH

Open Access



Early versus late silicone oil tamponade removal after rhegmatogenous retinal detachment: a retrospective real world comparative study

Nefeli Eleni Kounatidou^{1*}, Luca Mautone¹, Vasyli Druchkiv¹, Martin Stephan Spitzer¹ and Christos Skevas¹

Abstract

Background To evaluate postoperative outcomes, including redetachment rates, in eyes with rhegmatogenous retinal detachment (RRD) following early or late removal of silicone oil (ROSO).

Methods This retrospective single-center study included 58 pseudophakic eyes that underwent 23-gauge pars plana vitrectomy (PPV) with silicone oil endotamponade (SOE). Patients were divided into two groups: Group I (ROSO \leq 12 weeks) and Group II (ROSO $>$ 12 weeks) with SOE duration of 2.3 \pm 0.7 months and 5.2 \pm 1.9 months, respectively. Clinical outcomes, including redetachment rates, best corrected visual acuity (BCVA), cystoid macular edema (CME), epiretinal membrane (ERM) formation, and intraocular pressure (IOP) changes, were analyzed. Kaplan-Meier estimation and Log-Rank tests were used to assess redetachment.

Results Redetachment occurred in a total of 13 eyes (22% of patients) (Group I: 7 (21%), Group II: 6 (23%); $p = 1.00$). The cumulative incidence of redetachment was comparable between groups (Log-Rank test: $p = 0.88$). Final BCVA at the last follow-up showed no significant difference between Group I (0.8 ± 0.5 logMAR) and Group II (0.8 ± 0.7 logMAR; $p = 0.36$). Postoperative incidences of CME (Group I: 13 (41%), Group II: 9 (35%) $p = 0.78$), ERM (Group I: 13 (41%), Group II: 7 (27%) $p = 0.40$), and elevated IOP (Group I: 7 (22%), Group II: 7 (27%) $p = 0.76$) were also comparable between groups.

Conclusions Early ROSO (\leq 3 months) does not appear to increase the risk of retinal redetachment or adversely affect visual and anatomical outcomes. These findings support the feasibility of earlier ROSO in selected cases, potentially reducing the risk of silicone oil-related complications.

Keywords Silicone oil removal, Rhegmatogenous retinal detachment, Endotamponade, Retinal redetachment

*Correspondence:

Nefeli Eleni Kounatidou
kounatidis.n@gmail.com

¹Department of Ophthalmology, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Martinistr. 52, 20246 Hamburg, Germany



© The Author(s) 2025. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated in a credit line to the data.

Introduction

Since its introduction into vitreoretinal surgery by Cibis, silicone oil (SO) has become a standard technique in the management of retinal detachment (RD) [1]. The choice between silicone oil (SO) and other intraocular tamponades, such as SF₆ and C₃F₈ gas, varies considerably depending on the surgeon's preference and patient-specific factors. Silicone oil endotamponade (SOE) is generally preferred in complicated RDs, such as those associated with established proliferative vitreoretinopathy (PVR), or in cases with a higher incidence of PVR development, including giant retinal tears, signs of uveitis, or preoperative choroidal detachment [2, 3].

Once anatomical success is achieved, the removal of silicone oil (SO) is generally recommended, as prolonged silicone oil endotamponade (SOE) has been linked to ocular complications. These include glaucoma – primarily due to SO emulsification – corneal endothelial decompensation [4, 5], and silicone oil-related visual loss (SORVL) [6]. Notably, some studies have demonstrated a correlation between the duration of SOE and the incidence of ocular complications [6, 7].

The optimal timing for removal of silicone oil (ROSO) remains unclear, with most surgeons recommending removal within 3 to 6 months. Some series suggest a higher risk of retinal redetachment when the tamponade is maintained for less than 3 months, whereas others have found no association between tamponade duration and redetachment rates [8–11]. Moreover, other studies have demonstrated favorable anatomical and functional outcomes even with shorter durations of SOE [11–14]. Interestingly, early ROSO – before the commonly preferred duration of 3-months-period – is increasingly recommended in selected cases. This is due to the decreased incidence of complications, such as SORVL, with short-term endotamponade durations of 2 months or less [6]. In fact, some reports indicate that the first signs of silicone oil (SO) emulsification – the primary factor associated with SO-related intraocular pressure (IOP) elevation – can already appear within the first 3 months after implantation [15].

The aim of this retrospective study is to compare postoperative outcomes, including redetachment rates, in eyes with rhegmatogenous retinal detachment following ROSO before versus after the generally preferred 3-month endotamponade period.

Materials and methods

This retrospective single-center, comparative study included eyes of pseudophakic patients with rhegmatogenous retinal detachment (RRD) treated with 23G pars plana vitrectomy (PPV) and SOE at the Department of Ophthalmology of the University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany. The electronic

medical records (ifa Systems AG, Germany) from January 2016 to December 2023 were reviewed. The study complied with the Declaration of Helsinki Statement for Trials and was evaluated by the Institutional Review Board of the Hamburg Medical Chamber (*Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg*); ethical approval was waived and granted due to the retrospective nature of the study.

For patient identification, the electronic database search function was used with the following terms: “rhegmatogenous detachment”, “retinal detachment”, “retinal tear”, “macula on retinal detachment”, “pars plana vitrectomy”, “vitrectomy”, “silicone oil endotamponade”, “silicone oil removal”, “silicone oil”, “surgical management”, “endotamponade”, “pseudophakic”.

Patients were excluded if they had a history of perforating trauma, endophthalmitis, prior retinal detachment or tears, syndromes predisposing to a higher RD risk (such as Marfan and Stickler Syndrome), proliferative diabetic retinopathy, prior intraocular surgeries other than extracapsular cataract surgery, or visual acuity-limiting pathology. Only patients with at least two months of follow-up after ROSO were included (Fig. 1). Two independent researchers (C.S. and N.E.K.) screened the records, with any disagreements resolved by discussion or third-party adjudication.

The screening procedure resulted in the inclusion of 58 eyes of 53 patients. The patients were divided into two groups based on the timing of ROSO: Group I included those who underwent ROSO before or during the 12th postoperative week, and Group II included those who underwent ROSO after the 12th postoperative week. The 12-week (or 3-month) cutoff was chosen because it is generally considered the minimum acceptable duration for SOE by most surgeons, as shorter durations have been associated with higher redetachment rates [8, 16]. The primary outcome of this study was to evaluate whether a SOE duration ≤ 3 months could achieve comparable or better anatomical and functional results in comparison to SOE >3 months [6, 15].

For all included eyes, data were extracted into a Microsoft Excel 365 worksheet. Extracted variables included patient demographics, best corrected visual acuity (BCVA) at presentation, before ROSO, and at final follow-up, time between primary ppV and ROSO, intraocular pressure (IOP), use of IOP-lowering medications before and after ROSO, and the incidence and number of RD after ROSO. Elevated IOP was defined as an IOP greater than 21 mmHg in 3 consecutive measurements either before or after ROSO. Eyes with IOP controlled (under 21 mmHg) with topical IOP-lowering medications were also classified as having elevated IOP, consistent with previous studies [17, 18].

In addition to medical records, imaging data from swept-source optical coherence tomography (OCT, DRI

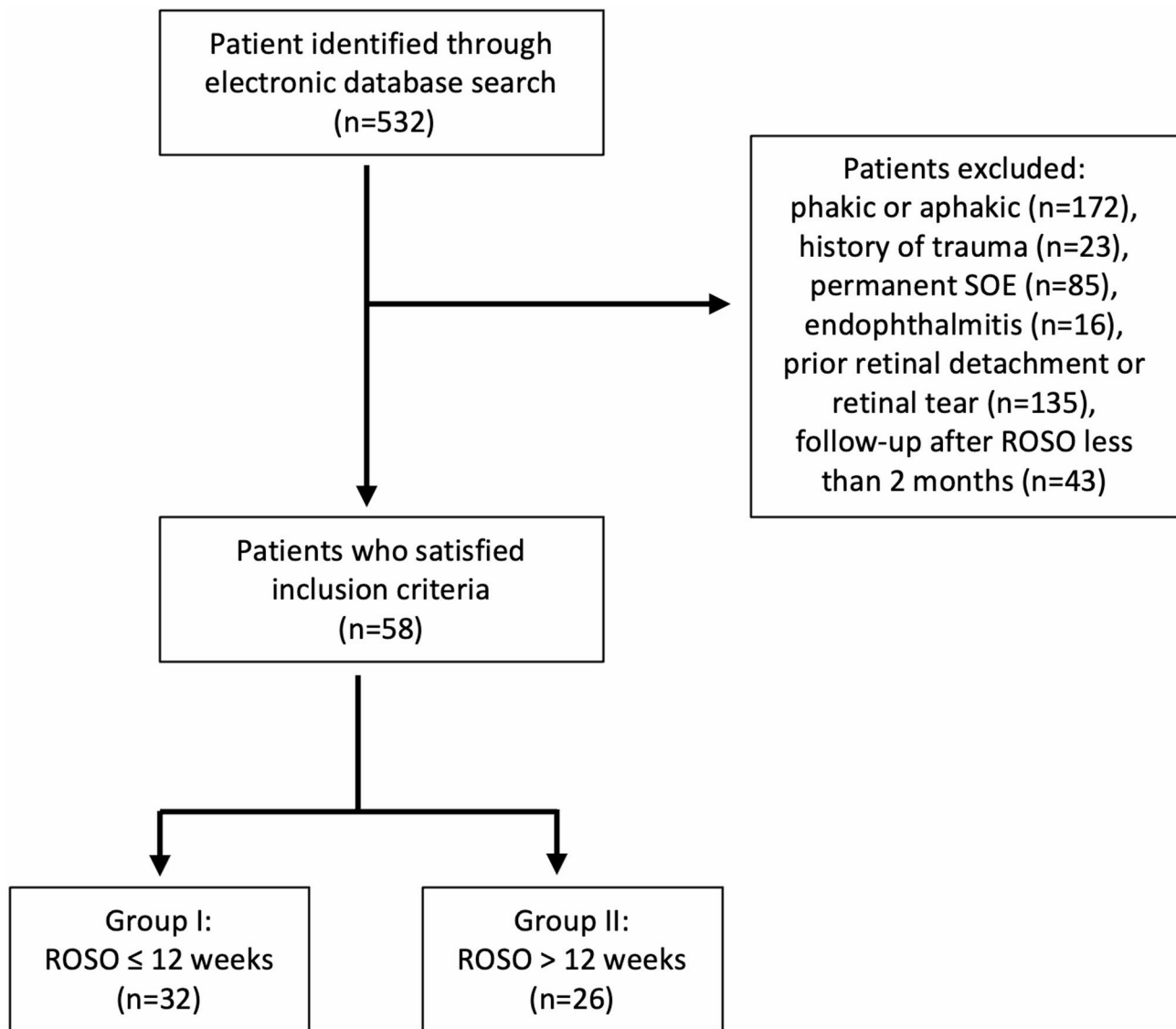


Fig. 1 Cohort flow diagram of the study sample. SOE: silicone oil endotamponade, ROSO: risk of silicone oil removal

OCT Triton, Topcon, Tokyo, Japan) and ultra-widefield retinal images (Optos PLC, Dunfermline, United Kingdom) were analyzed. Data collected included macular status at primary RRD or consecutive RDs after ROSO (macula-on vs. macula-off RD), the presence of postoperative cystoid macular edema (CME) before and after ROSO, the presence of epiretinal membrane (ERM) before and after ROSO, number and location of retinal breaks at initial RRD, bullous morphology of the primary RRD, as previously defined in literature [19], and PVR grading according to the Updated Retina Society Classification (1991) [20]. Surgical protocols for the initial pars plana vitrectomy (PPV) and for ROSO were reviewed, documenting the type of endotamponade used and whether ERM, and/or peripheral membrane peeling, retinectomy or retinotomy were performed.

All included pseudophakic patients in the study underwent 23-gauge ppV with a wide-angle viewing system followed by SO implantation by two experienced surgeons (C.S., M.S.). Prophylactic 360-degree laser retinopexy was applied in all cases. Additional procedures, such as ERM peeling, peeling of peripheral membranes, retinectomy, and/or retinotomy, were performed as needed. The D.O.R.C. silicone oil (Sil-2000-S or Sil-5000-S; D.O.R.C. International, Zuidland, The Netherlands) was used, with the viscosity (2000 or 5000 cSt) selected according to the surgeon's preference.

ROSO was performed at least one month after the initial PPV. The ROSO procedure involved included 23-gauge ppV with at least three cycles of air-fluid exchange with aspiration of silicone oil using a thin-walled 18- or 19-gauge needle. In selected cases,

additional surgical interventions, such as laser photocoagulation, ERM peeling, and peeling of peripheral membranes were performed in some cases. The use of C3F8 gas instead of air during oil removal was performed in certain eyes.

The primary outcome of the study was the comparison of redetachment rates between groups. Secondary outcomes included the incidence of postoperative complications — such as epiretinal membrane formation, CME, and elevated intraocular pressure (IOP)—as well as visual outcomes, in the early (≤ 3 months) and late (> 3 months) ROSO groups. Statistical analyses were performed using R Core Team 2021 (R: Foundation for Statistical Analysis, Vienna, Austria). Fischer's exact and Mann-Whitney tests were used for demographic comparisons. data, and a Kaplan-Meier estimation and Log-Rank test were employed to compare the incidence of RD after ROSO, as well as preoperative and postoperative incidences of CME, ERM development, and ocular hypertension between groups. Analysis of Variance ANOVA was applied to calculate the effect of time on visual acuity development between groups. In order to minimize baseline imbalances and reduce confounding by indication a matching strategy was further employed. Candidate variables for matching were prespecified based on clinical relevance and included baseline BCVA, macula status at index repair, PVR grade, number of retinal breaks, silicone oil viscosity, tamponade at ROSO, surgeon, and additional maneuvers at ROSO (ILM/ERM peeling, retinectomy). Using the cardinality matching method implemented in the *MatchIt* package in R, the largest subset of eyes that could be balanced across these covariates was selected. The significance level was set at $p < 0.05$.

Results

Demographics and baseline characteristics at presentation

A total of 358 patients were identified and screened for eligibility. Ultimately 58 eyes from 53 patients (average age 63.5 ± 14.1 , range 15–87) years, $n = 23$ (43.3%) females and $n = 30$ (56.7%) males were included. Group I comprised 33 eyes, and Group II comprised 26 eyes. The median time to the removal of silicone oil (ROSO) was 2.3 ± 0.7 months (range 1.0–3.0) in Group I and 5.2 ± 1.9 months (range 4.0–10.0) in Group II. Subjects were followed for a mean duration of 17.7 ± 14.5 months (range 2.0–59.0) after ROSO.

As shown in Table 1, the groups did not significantly differ in demographic characteristics and morphological findings at presentation. Regarding the initial RRD characteristics, there were no statistically significant differences between the groups in macular involvement ($p = 1.00$), presence of retinal breaks ($p = 0.07$), bullous RRD ($p = 1.00$), extent of retinal quadrant involvement (median 2.0 quadrants; range 2.0–3.0 quadrants;

$p = 0.22$), presence of vitreous hemorrhage ($p = 0.25$), or PVR grades ($p = 0.91$). However, the baseline best-corrected visual acuity (BCVA) was better in Group I eyes (1.1 ± 0.8 logMAR; range 0.1–2.4) compared to Group II eyes (1.7 ± 0.8 logMAR; range 0.2–2.7; $p = 0.02$).

Characteristics at primary ppV and ROSO surgery

The primary treatment for RRD included 23-gauge ppV with 360° laser coagulation followed by SOE in all cases. Two surgeons performed all procedures, with no significant difference in the distribution of cases between the groups ($p = 0.24$). Silicone oil (SO) with a viscosity of 2.000 centistokes was used in 24 cases in Group I and 13 cases in Group II, while 5.000 centistoke SO was used in 8 cases in Group I and 13 cases in Group II with usage rates being comparable between the two groups ($p = 0.06$). In our cohort, no intraoperative dyes such as triamcinolone acetate, trypan blue or internal limiting membrane staining dyes were used. In certain cases, perfluorocarbon liquid (PCFL) was used at comparable rates between the two groups. Additional procedures, including epiretinal membrane (ERM) peeling, peripheral membranes peeling, retinotomy, and/or retinectomy, were performed in 40 cases without significant intergroup rate differences (Table 2).

ROSO surgery was performed after a minimum SOE duration of at least one-month following confirmation of anatomical success through ophthalmologic examination, OCT, and ultra-widefield retinal imaging. Table 3 summarizes the characteristics before ROSO surgery. All ROSO surgeries were performed by one surgeon (C.S.). Pre- ROSO BCVA was slightly better in Group I (0.7 ± 0.48 logMAR; range 0.20–2.4) than in Group II (0.9 ± 0.5 logMAR; range 0.00–2.70; $p = 0.05$). The incidence of cystoid macular edema (CME), ERM, and ocular hypertension before ROSO did not significantly differ between groups ($p = 0.16$, 0.41, and 1.00, respectively).

ROSO surgery sometimes included additional procedures such as laser photocoagulation, ERM peeling, and peripheral membrane peeling, with comparable frequencies between groups. Air-fluid exchange without gas endotamponade was performed in the majority of cases (47 out of 58 eyes), while C3F8 gas, and SF6 gas, were used in 9 and 2 cases, respectively (Table 4).

Clinical findings after ROSO

Retinal redetachment

Retinal redetachment was observed in 13 cases overall. The rates of retinal redetachment were comparable between the two groups (Group I: $n = 7$ (21.9%, 95% CI [9.3%-40%]); Group II: $n = 6$ (23.1%, 95% CI [8.9%-43.6%]), $p = 1.00$). A longer SOE did not appear to protect against macular involvement upon the first recurrent RD (Group I: $n = 4$ macula-off; in Group II: $n = 1$ macula-off, $p = 0.26$),

Table 1 Demographic characteristics and baseline characteristics of the first retinal detachment

	Group I [min, 3 Months] (N=32) N (%)	Group II (3 Months, max] (N=26) N (%)	Total (N=58) N (%)	Standardized Mean Difference	P value
Sex (Eyes)					0.426 ^a
Female	15 (46.9%)	9 (34.6%)	24 (41.4%)	-0.26	
Male	17 (63.3%)	17 (61.3%)	34 (62.3%)	0.26	
Age (years)					0.340 ^b
Range	38.46–85.49	15.29–87.03	15.29–87.03		
Mean (SD)	65.55 (12.11)	60.97 (16.17)	63.50 (14.13)	-0.28	
Median (Q1, Q3)	66.18 (59.10, 74.23)	62.56 (56.65, 71.15)	63.78 (76.92, 72.15)		
BCVA at presentation (LogMar)					0.028 ^b
Range	0.10–2.40	0.20–2.70	0.10–2.70		
Mean (SD)	1.15 (0.85)	1.70 (0.86)	1.39 (0.89)	0.64	
Median (Q1, Q3)	1.00 (0.40, 2.10)	2.10 (1.00, 2.40)	1.45 (0.60, 2.30)		
Macula Involvement (Primary Retinal Detachment)					1.000 ^a
Macula-Off	22 (68.8%)	17 (68.0%)	39 (68.4%)	-0.02	
Macula-On	10 (31.2%)	8 (32.0%)	18 (31.6%)	0.02	
Bullous RRD					1.000 ^a
Yes	16 (50.0%)	13 (50.0%)	29 (50.0%)	0.00	
No	16 (50.0%)	13 (50.0%)	29 (50.0%)	0.00	
PVR Grade					0.917 ^a
A	16 (50.0%)	15 (57.7%)	31 (53.4%)	0.16	
B	8 (25.0%)	6 (23.1%)	14 (24.2%)	-0.05	
C	8 (25.0%)	5 (19.2%)	13 (22.4%)	-0.15	
Retinal Quadrant Involved (n)					0.227 ^b
Range	1.00–4.00	1.00–4.00	1.00–4.00		
Mean (SD)	2.25 (0.95)	2.58 (1.06)	2.40 (1.01)	0.31	
Median (Q1, Q3)	2.00 (2.00, 3.00)	2.00 (2.00, 3.75)	2.00 (2.00, 3.00)		
Retinal Breaks (n)					0.072 ^b
Range	0.00–9.00	0.00–5.00	0.00–9.00		
Mean (SD)	1.75 (2.02)	0.96 (1.40)	1.40 (1.80)	-0.56	
Median (Q1, Q3)	1.00 (0.00, 2.00)	0.00 (0.00, 1.75)	1.00 (0.00, 2.00)		
Months to ROSO					<0.001 ^b
Range	1.0–3.0	4.0–11.0	1.0–11.0		
Mean (SD)	2.3 (0.7)	5.2 (1.9)	3.7 (2.0)	1.64	
Median (Q1, Q3)	3.0 (2.0, 3.0)	4.5 (4.0, 5.0)	3.5 (3.0, 4.2)		
Presence of vitreous hemorrhage					0.253 ^a
Yes	3 (9.7%)	0 (0.0%)	3 (5.6%)		
No	28 (90.3%)	23 (100.0%)	57 (94.4%)		
Follow-up (months)					0.913 ^b
Range	2.0–59.0	3.0–57.0	2.0–59.0		
Mean (SD)	17.7 (14.4)	17.8 (14.8)	17.7 (14.5)		
Median (Q1, Q3)	13.0 (8.2, 25.8)	11.0 (6.0, 29.2)	12.5 (6.0, 27.8)		

BCVA: best corrected visual acuity; RD: retinal detachment; PVR: proliferative vitreoretinopathy; RD: retinal detachment; ROSO: removal of silicone oil; a: Fisher's exact test; b: Mann-Whitney test. Standardized Mean Difference is calculated using standard deviation of the (3 Months, max] group

or against the number of subsequent redetachments (Group I mean: 0.38 ± 0.87); Group II mean: 0.27 ± 0.53 ($p = 0.98$). Kaplan-Meier analysis (Fig. 2) showed no significant difference in the cumulative incidence of Re-RD (Log-rank Test: $p = 0.88$) between groups. Cumulative incidence of Re-RDs at 24 months given by Group I: $n = 7$

(23.6%, 95% CI [6.4%–37.5%]) and Group II: $n = 6$ (24.3%, 95% CI [1.08%–42.1%]). No significant correlation was found between the time to ROSO and the number of redetachments (Spearman's $\rho = -0.20$, $p = 0.12$).

Table 2 Characteristics of primary pars plana vitrectomy surgery

	Group I [min, 3 Months] N (= 32) N (%)	Group II [3 Months, max] N (= 26) N (%)	Total (N=58) N (%)	P value
Type of SOE				0.059 ^a
SO (2000 centistokes)	24 (76.6%)	13 (70.0%)	37 (63.8%)	
SO (5000 centistokes)	8 (23.4%)	13 (30.0%)	21 (36.2%)	
Retinotomy (Primary Surgery)				0.448 ^a
Performed	0 (0.0%)	1 (3.8%)	1 (1.7%)	
Not Performed	32 (100.0%)	25 (96.2%)	57 (98.3%)	
Retinectomy (Primary Surgery)				1.000 ^a
Performed	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	
Not Performed	32 (100.0%)	26 (100.0%)	58 (100.0%)	
ERM Peeling (Primary Surgery)				1.000 ^a
Performed	1 (3.2%)	1 (3.8%)	2 (3.4%)	
Not Performed	32 (96.8%)	25 (96.2%)	57 (96.6%)	
Peeling of Peripheral Membranes (Primary Surgery)				0.788 ^a
Performed	21 (65.5%)	16 (61.5%)	37 (63.8%)	
Not Performed	11 (34.5%)	10 (38.5%)	21 (36.2%)	
Pefluorocarbon liquid (PCFL)				0.743 ^a
Used	6 (20.0%)	6 (26.1%)	12 (22.6%)	
Not used	24 (80.0%)	17 (73.9%)	41 (77.4%)	
Surgeon				0.245 ^a
C.S.	29 (90.6%)	26 (100.0%)	55 (94.8%)	
M.S.	3 (9.4%)	0 (0.0%)	3 (5.6%)	

SOE: Silicone Oil Endotamponade; ERM: epiretinal membrane; a: Fisher's exact test

Table 3 Patient characteristics before ROSO

	Group I [min, 3 Months] N (= 32) N (%)	Group II [3 Months, max] N (= 26) N (%)	Total (N=58) N (%)	P value
BCVA before ROSO (LogMar)				0.052 ^b
Range	0.20–2.40	0.00–2.70	0.00–2.70	
Mean (SD)	0.72 (0.48)	0.97 (0.59)	0.84 (0.54)	
Median (Q1, Q3)	0.60 (0.40, 1.00)	1.00 (0.50, 1.22)	0.70 (0.50, 1.00)	
CME before SOR				0.164 ^a
Yes	14 (43.8%)	6 (23.1%)	20 (34.5%)	
No	18 (56.2%)	20 (76.9%)	38 (65.5%)	
ERM before SOR				0.417 ^a
Yes	12 (37.5%)	7 (26.9%)	19 (32.7%)	
No	20 (62.5%)	19 (73.1%)	39 (67.3%)	
IOP > 21 mmHg or Antiglaucoma Medication before SOR				1.000 ^a
Yes	9 (15.5%)	7 (12.0%)	16 (27.5%)	
No	23 (84.5%)	19 (88.0%)	42 (72.5%)	

ROSO: removal of silicone oil; BCVA: best corrected visual acuity; CME: cystoid macular edema; ERM: epiretinal membrane; IOP: intraocular pressure

Functional changes, CME, ERM and IOP

Visual acuity development and complications following ROSO are summarized in Table 5. In Group I, BCVA improved from 1.1 ± 0.8 logMar (range: 0.10–2.40) at presentation to 0.8 ± 0.5 (range: 0.1–2.4) logMar at last follow-up. In Group II, BCVA improved from 1.7 ± 0.8 (range: 0.2–2.7) logMAR at presentation to 0.8 ± 0.7 (range: 0.1–3.0) logMAR at last follow-up. Macula-off

was observed in 22 eyes in Group I and 17 eyes in Group II at the time of the primary retinal detachment ($p = 1.00$). The Wilcoxon Rank Sum Test indicated comparable BCVA outcomes between the two groups after ROSO ($p = 0.36$). Postoperative incidences of CME (Group I: $n = 13$ (40.6%, 95% CI [25.5%–57.7%]), Group II: $n = 9$ (34.6%, 95% CI [19.4%–53.8%]), $p = 0.78$), ERM (Group I: $n = 13$ (40.6%, 95% CI [25.5%–57.7%]) Group II: $n = 7$

Table 4 Characteristics of ROSO surgery

	Group I [min, 3 Months] N (= 32) N (%)	Group II [3 Months, max] N (= 26) N (%)	Total (N = 58) N (%)	P value
Type of Endotamponade after ROSO				
Air	26 (81.2%)	21 (80.8%)	47 (81.0%)	0.989 ^c
C3F8	5 (15.6%)	4 (15.4%)	9 (15.5%)	
SF6	1 (3.1%)	1 (3.8%)	2 (3.4%)	
Laser Photocoagulation at ROSO				
Performed	7 (21.8%)	8 (30.7%)	15 (25.9%)	0.550 ^a
Not Performed	25 (78.2%)	18 (69.3%)	43 (74.1%)	
ERM Peeling				
Performed	11 (34.3%)	3 (11.5%)	14 (15%)	1.000 ^a
Not Performed	21 (65.7%)	23 (88.5%)	44 (75.8%)	
Peeling of Peripheral Membranes at ROSO				
Performed	5 (15.7%)	5 (19.2%)	10 (17.2%)	0.740 ^a
Not Performed	27 (84.3%)	21 (80.7%)	48 (82.8%)	
Surgeon				
C.S.	32 (100.0%)	26 (100.0%)	58 (100.0%)	1.000 ^a
M.S.	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	

RD: retinal detachment; ROSO: removal of silicone oil; ERM: epiretinal membrane; a: Fisher's exact test; c: chi-square test

(26.9%, 95% CI [13.7%–46.1%], $p=0.40$), and elevated intraocular pressure (IOP) (Group I: $n=7$ (21.9%, 95% CI [11.0%–38.8%]), Group II: $n=7$ (26.9%, 95% CI [13.7%–46.1%], $p=0.76$) were also similar between groups.

Group matching

For matching, we included 52 from the 58 eyes of the original dataset in order to include only one eye per patient. Among the 5 patients who contributed both eyes, only one eye was randomly selected per patient, resulting in the exclusion of 5 eyes. In addition, one eye was excluded due to missing information on macular status at the time of index repair. Thus, for matching we considered 52 eyes. Different matching methods were tested, and the cardinality method achieved the best balance and the largest sample size. This yielded 11 well-balanced pairs (22 eyes), with all standardized mean differences below 0.1, indicating excellent covariate balance between groups. Consistent with the findings from the unmatched analysis, there were no differences in baseline characteristics between the two groups, and the incidence of the primary outcome, retinal redetachment, did not differ significantly between the matched groups (Group I: $n=2$ (18% 95%-CI [2.3%-52%]); Group II: $n=3$ (27.3% 95%-CI [6.0%-61.0%]), $p=1.00$ (Supplemental Table 1). It should be noted that very low sample size extremely underpowers any statistical comparison. For example, for a difference of 25% between the groups, assuming the level of significance of 0.05 and power of 80% for Fisher's Exact Test we would need between 33 and 57 (depending on the true incidences in Groups I and II) eyes per group.

Discussion

The use of silicone oil endotamponade represents an effective treatment strategy in the management of complicated retinal detachment, achieving anatomic success rates ranging from 72 to 100% [13, 21–24]. In the published literature, recurrence of retinal detachment after silicone oil has been reported at incidences between 5 and 31.4% [14]. Although the duration of silicone oil endotamponade does not appear to influence the final anatomical success [13, 24, 25], some studies have reported a slightly increased retinal detachment rate with an endotamponade duration of less than three months [8, 9, 16]. This difference in retinal redetachment incidence has been attributed to PVR, which has a median onset of two months following primary ppV surgery [26]. In line with existing literature, the cumulative incidence of redetachment in our cohort was 22.4%, with comparable rates between patients who underwent ROSO before 3 months and those who had ROSO after 3 months. This aligns with studies supporting both anatomical and functional success even with shorter SOE durations [12–14].

The three-months cut-off was selected based on thresholds commonly used in previous studies and the widely practiced approach that considers 3 months as the standard duration for SOE [8, 11]. However, significant variability exists among studies, with some reporting cut-offs as short as two months or as long as six months [13, 27].

Silicone oil emulsification appears to be one of the most important risk factors for SO-related complications. Although reports indicate that SO emulsification can occur between 4.3 and 5 months postoperatively [28, 29], the first signs have been reported as early as 2

Kaplan-Meier estimation

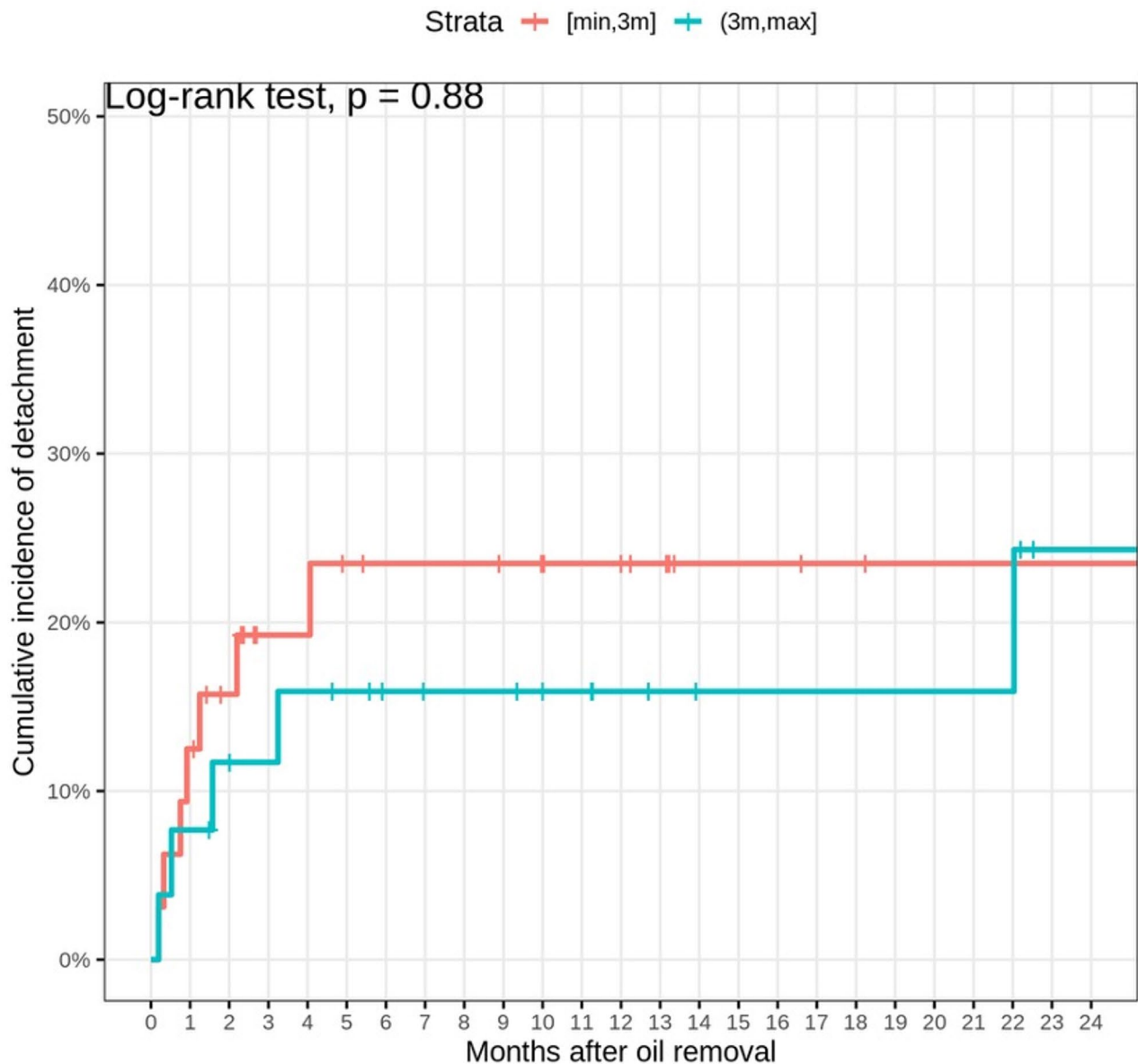


Fig. 2 Kaplan-Meier estimation of the cumulative incidence of retinal redetachment in Group I (red line) and Group II (blue line) in the months following silicone oil removal. Most redetachments occur in the first 20 months after silicone oil removal. No statistically significant difference in the incidence of redetachment is noted between the two groups (Log-rank Test: $p=0.88$)

months after silicone oil implantation [15]. Increased intraocular pressure, SORVL as well as influence in the central macular thickness have been associated with increased SOE duration, rendering an earlier removal an attractive option in certain cases [6, 24].

In the present study, increased IOP was reported in 16 cases (27.5%) following SO injection, consistent with the reported incidence of 3–40% in previous studies [30, 31]. Elevated IOP persisted after SO removal in 14 cases but was effectively managed with topical IOP-lowering

medications, without the need for glaucoma surgery or secondary surgical interventions. Although some studies suggest that the duration of SO endotamponade does not affect ocular hypertension [11, 32], other evidence links prolonged tamponade and elevated intraocular pressure to unexplained visual loss [6]. One proposed mechanism is that longer SO retention increases the likelihood of emulsification, which may in turn contribute to IOP elevation, though this remains speculative [6, 32].

Table 5 Characteristics after ROSO surgery

	Group I [min, 3 Months] N (= 32) N (%)	Group II [3 Months, max] N (= 26) N (%)	Total (N = 58) N (%)	P value
Recurrent RD after ROSO				1.000 ^a
Yes	7 (21.9%)	6 (23.1%)	13 (22.4%)	
No	25 (78.1%)	20 (76.9%)	45 (77.6%)	
Macula Involvement (First Re-RD after ROSO)				0.266 ^a
Macula- Off	4 (57.1%)	1 (16.7%)	5 (38.5%)	
Macula-On	3 (42.9%)	5 (83.3%)	8 (61.5%)	
Number of recurrent RDs after ROSO				0.983 ^b
Range	0.00–4.00	0.00–2.00	0.00–4.00	
Mean (SD)	0.38 (0.87)	0.27 (0.53)	0.33 (0.73)	
Median (Q1, Q3)	0.00 (0.00, 0.00)	0.00 (0.00, 1.00)	0.00 (0.00, 0.00)	
IOP > 21 mmHg or IOP-lowering medications after ROSO				0.761 ^a
Yes	7 (21.9%)	7 (26.9%)	14 (24.1%)	
No	25 (78.1%)	19 (73.1%)	44 (75.9%)	
CME after ROSO				0.787 ^a
Yes	13 (40.6%)	9 (34.6%)	22 (37.9%)	
No	19 (59.4%)	17 (65.4%)	36 (62.1%)	
ERM after ROSO				0.405 ^a
Yes	13 (40.7%)	7 (26.9%)	20 (34.4%)	
No	19 (59.3%)	19 (73.1%)	38 (65.6%)	
BCVA at last Follow-up (LogMar)				0.366 ^b
Range	0.10–2.40	0.10–3.00	0.10–3.00	
Mean (SD)	0.89 (0.55)	0.86 (0.72)	0.88 (0.63)	
Median (Q1, Q3)	0.75 (0.47, 1.124)	0.55 (0.40, 1.17)	0.70 (0.40, 1.22)	

ROSO: removal of silicone oil; RD: retinal detachment; IOP: intraocular pressure; CME: cystoid macular edema; ERM: epiretinal membrane; BCVA: best corrected visual acuity; a: Fisher's exact test; b: Mann-Whitney test

Several case series have reported the incidence of unexplained visual loss after SO injection [6, 33–38]. In the study of Scheerlinck et al., unexplained visual loss was reported in almost 30% of patients treated with SO injection following macula-on retinal detachment. Duration of SOE was the only statistically significant factor associated with visual loss [6]. Thinning of the inner retinal layers has also been described in SO eyes with SORVL [34, 39, 40]. A recent meta-analysis evaluating the impact of silicone oil tamponade on the retinal layer and choroidal thickness identified a significant reduction in central macular thickness after SO removal, correlated with the duration of SO tamponade [41]. In our study, no statistically significant differences were observed in the incidence of increased IOP and visual acuity between early and late ROSO groups at the end of follow-up. Group I demonstrated slightly better visual acuity at baseline and prior to ROSO. Although this difference was not statistically significant, it may suggest that Group I included relatively less complicated cases, in which earlier oil removal was considered safer. The final VA at the last follow-up was comparable between the two groups, and

both showed an improvement in mean BCVA after SO removal compared to baseline presentation.

Additionally, there were no statistically significant differences in the rates of ERM formation or CME related to the duration of endotamponade. However, a study of 65 eyes by Er et al. reported an increased incidence of macular edema in eyes with SOE durations exceeding three months [42].

While our findings provide important early insights, they should be interpreted with caution. Given the retrospective observational design, relatively small sample size impeding multivariate modeling, and potential for residual confounding, the results suggest that no clear differences were observed between groups rather than establishing non-inferiority. Important sources of bias include confounding by indication, sample size constraints, and the limited external validity inherent in a single-center study. Nonetheless, our statistical and cardinality matching analysis carefully accounted for several key surgical and clinical factors, including silicone oil viscosity, adjunctive procedures, and case selection, thereby strengthening internal validity. Moreover, this study represents the first clinical evidence stratified by

timing of oil extraction, offering a valuable foundation for future larger, prospective studies. As such, our results provide an important first step toward generating more robust predictive models that can better inform clinical decision-making in broader populations.

Conclusion

In conclusion, our results support the consideration of early ROSO (≤ 3 months) as a feasible and safe option in appropriately selected patients, without compromising retinal reattachment rates, visual outcomes, or the incidence of postoperative complications. Further prospective studies with larger cohorts are warranted to validate these findings and to refine guidelines regarding the optimal timing of silicone oil removal in retinal detachment surgery.

Abbreviations

SO	Silicone Oil
RD	Retinal Detachment
RRD	Rhegmatogenous Retinal Detachment
SF ₆	Sulfur Hexafluoride
C ₃ F ₈	Perfluoropropane
SOE	Silicone Oil Endotamponade
PVR	Proliferative Vitreoretinopathy
ROSO	Removal of Silicone Oil
SORVL	Silicone Oil-Related Visual Loss
IOP	Intraocular Pressure
ppV	Pars Plana Vitrectomy
BCVA	Best-Corrected Visual Acuity
OCT	Optical Coherence Tomography
CME	Cystoid Macular Edema
ERM	Epi-retinal Membrane
ANOVA	Analysis of Variance
Re-RD	Recurrent Retinal Detachment

Supplementary Information

The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1186/s40942-025-00743-9>.

Supplementary Material 1

Acknowledgements

Not applicable.

Author contributions

Nefeli Eleni Kounatidou: Investigation, Data curation, Writing – original draft preparation, Statistical analysis. Luca Mautone: Investigation, Writing – review & editing. Vasyl Druchkiv: Formal analysis. Martin Stefan Spitzer: Writing – review & editing. Christos Skevas: Supervision, Methodology, Investigation, Data curation, Writing – review & editing.

Funding

Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Data availability

The datasets generated and analyzed during the current study are not publicly available due to patient confidentiality and ethical restrictions but are available from the corresponding author upon reasonable request. Access to the data is subject to approval by the Institutional Review Board of the Hamburg Medical Chamber (Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg).

Declarations

Ethics approval and consent to participate

This study protocol was performed in line with the principles of informed consent in compliance with the Declaration of Helsinki. Due to the retrospective nature of the study and the use of anonymized patient data, written consent from participants was not required. Approval of the study protocol was waived by the Institutional Review Board of the Hamburg Medical Chamber (Ethik-Kommission der Ärztekammer Hamburg).

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Received: 8 July 2025 / Accepted: 2 October 2025

Published online: 13 October 2025

References

1. Cibis PA, Becker B, Okun E, Canaan S. The use of liquid silicone in retinal detachment surgery. *Arch Ophthalmol*. 1962;68(5):590–9.
2. Chen Y, Kearns VR, Zhou L, Sandinha T, Lam WC, Steel DH, et al. Silicone oil in vitreoretinal surgery: indications, complications, new developments and alternative long-term tamponade agents. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 2021;99(3):240–50.
3. Coman C, Munteanu M, Pantoni Popescu S, Musat O. Silicone oil complications in vitreoretinal surgery. *Romanian J Ophthalmol*. 2022;66(4):299–303.
4. Federman J, Schubert H. Complications associated with the use of silicone oil in 150 eyes after retina-vitreous surgery. *Ophthalmology*. 1988;95(7):870–6.
5. Valentin-Bravo FJ, Garcia-Onrubia L, Andrés-Iglesias C, Valentin-Bravo E, Martín-Vallejo J, Pastor JC, et al. Complications associated with the use of silicone oil in vitreoretinal surgery: a systemic review and meta-analysis. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 2022;100(4).
6. Scheerlinck LM, Schellekens PA, Liem AT, Steijns D, Van Leeuwen R. Incidence, Risk Factors, and clinical characteristics of unexplained visual loss after intraocular silicone oil for Macula-On retinal detachment. *Retina*. 2016;36(2):342–50.
7. Brănișteanu DC, Moraru A, Bilha A. Anatomical results and complications after silicone oil removal. *Romanian J Ophthalmol*. 2017;61(4):261–6.
8. Tan HS, Dell’Omo R, Mura M. Silicone oil removal after rhegmatogenous retinal detachment: comparing techniques. *Eye*. 2012;26(3):444–7.
9. Azen SP, Scott IU, Flynn HW, Lai MY. Silicone oil in the repair of complex retinal detachments. A prospective observational multicenter study. *Ophthalmology*. 1998;105(9):1587–97.
10. Scholda C, Egger S, Lakits. Retinal detachment after silicone oil removal.
11. Jonas JB. Retinal redetachment after removal of intraocular silicone oil tamponade. *Br J Ophthalmol*. 2001;85(10):1203–7.
12. Hutton WL. The effects of silicone oil removal: silicone study report 6. *Arch Ophthalmol*. 1994;112(6):778.
13. Falkner CI. Outcome after silicone oil removal. *Br J Ophthalmol*. 2001;85(11):1324–7.
14. Nagpal M, Videkar R, Nagpal K. Factors having implications on re-retinal detachments after silicone oil removal. *Indian J Ophthalmol*. 2012;60(6):517.
15. Odrobina D, Laudańska-Olszewska I. Analysis of the time and location of the silicone oil emulsification by Spectral-Domain optical coherence tomography after silicone oil tamponade. *BioMed Res Int*. 2014;2014:1–5.
16. Casswell AG, Gregor ZJ. Silicone oil removal. II. Operative and postoperative complications. *Br J Ophthalmol*. 1987;71(12):898–902.
17. Nicolai M, Lassandro N, Franceschi A, Rosati A, De Turris S, Pelliccioni P, et al. Intraocular pressure rise linked to silicone oil in retinal surgery: A review. *Vision*. 2020;4(3):36.
18. Ozaki H, Huang J, Uchio E. Intraocular pressure abnormalities following silicone oil injection for complicated retinal detachments. *ARVO Annu Meet Abstr*. 2013;54:2855.
19. Stanford MR, Chignell AH. Surgical treatment of superior bullous rhegmatogenous retinal detachments. *Br J Ophthalmol*. 1985;69(10):729–32.
20. Machemer R, Aaberg T, Freeman m, Alexander HM, John RI, Ronald SL. An updated classification of retinal detachment with proliferative vitreoretinopathy. *Am J Ophthalmol*. 1991;112(2):159–65.
21. Scholda C, Egger S, Lakits A, Walch K, Von Eckardstein E, Biowski R. Retinal detachment after silicone oil removal. *Acta Ophthalmol Scand*. 2000;78(2):182–6.

22. Abu-Yaghi NE, Abu Gharbieh YA, Al-Amer AM, AlRyalat SAS, Nawaiseh MB, Darweesh MJ, et al. Characteristics, fates and complications of long-term silicone oil tamponade after Pars plana vitrectomy. *BMC Ophthalmol.* 2020;20(1):336.
23. Avitabile T, Bonfiglio V, Buccoliero D, Castiglione F, Reibaldi M, Castaing M, et al. Heavy versus standard silicone oil in the management of retinal detachment with macular hole in myopic eyes. *Retina.* 2011;31(3):540–6.
24. Rhatigan M, McElnea E, Murtagh P, Stephenson K. Final anatomic and visual outcomes appear independent of duration of silicone oil intraocular tamponade in complex retinal detachment surgery. *Int J Ophthalmol.* 2018;11(1):83–8.
25. Teke MY, Balikoglu-Yilmaz M, Yuksekkaya P, Citirik M, Elgin U, Kose T, et al. Surgical outcomes and incidence of retinal redetachment in cases with complicated retinal detachment after silicone oil removal: univariate and multiple risk factors analysis. *Retina.* 2014;34(10):1926–38.
26. Giordano GG, Refojo MF. Silicone oils as vitreous substitutes. *Prog Polym Sci.* 1998;23(3):509–32.
27. Goezinne F, La Heij EC, Berendschot TTJM, Liem ATA, Hendrikse F. Risk factors for redetachment and worse visual outcome after silicone oil removal in eyes with complicated retinal detachment. *Eur J Ophthalmol.* 2007;17(4):627–37.
28. Toklu Y, Cakmak HB, Ergun ŞB, Yorgun MA, Simsek Ş. TIME COURSE OF SILICONE OIL EMULSIFICATION. *Retina.* 2012;32(10):2039–44.
29. Moisseiev E, Ohana O, Gershovitch L, Barak A. Visual prognosis and complications following silicone oil removal. *Eur J Ophthalmol.* 2013;23(2):236–41.
30. Rahman A, Hussain M, Fayaz M, Hassan M, Bhatti MN, Qazi AM. Comparison of raised IOP after pars plana vitrectomy (Ppv) using 1000 cSt and 5000 cSt silicone oil in rhegmatogenous retinal detachment. *Pak J Ophthalmol.* 2011;27(1).
31. Dooley IJ, Duignan ES, Kilmartin DJ. Long-term heavy silicone oil intraocular tamponade. *Int Ophthalmol.* 2016;36(1):3–7.
32. Marti M, Walton R, Böni C, Zweifel SA, Stahel M, Barthelmes D. Increased intraocular pressure is a risk factor for unexplained visual loss during silicone oil endotamponade. *Retina.* 2017;37(12):2334–40.
33. Cazabon S. Visual loss following removal of intraocular silicone oil. *Br J Ophthalmol.* 2005;89(7):799–802.
34. Christensen UC, La Cour M. Visual loss after use of intraocular silicone oil associated with thinning of inner retinal layers. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 2012;90(8):733–7.
35. Michel G, Meyer L, Naoun O. Perte Brutale d'acuité visuelle post-ablation de silicone: à Propos de Trois patients traités pour déchirure géante. *J Fr Ophtalmol.* 2009;32(2):104–11.
36. Shalchi Z, Mahroo OA, Shunmugam M, Mohamed M, Sullivan PM, Williamson TH. Spectral domain optical coherence tomography findings in long-term silicone -oil related visual loss. *Retina.* 2015;35(3):555–63.
37. Newsom RSB, Johnston R, Sullivan PM, Aylward GB, Holder GE, Gregor ZJ. Sudden visual loss after removal of silicone oil. *Retina.* 2004;24(6):871–7.
38. Herbert EN, Habib M, Steel D, Williamson TH. Central scotoma associated with intraocular silicone oil tamponade develops before oil removal. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2006;244(2):248–52.
39. Ewais WA, Ali LS, Aboalazayem FM. Impact of duration of silicone oil tamponade on foveal and parafoveal thickness in rhegmatogenous retinal detachment: a retrospective cohort study. *Int Ophthalmol.* 2024;44(1):167.
40. Lee J, Cho H, Kang M, Hong R, Seong M, Shin Y. Retinal changes before and after silicone oil removal in eyes with rhegmatogenous retinal detachment using Swept-Source optical coherence tomography. *J Clin Med.* 2021;10(22):5436.
41. Ghanabari H, Kianersi F, Jamshidi Madad A, Dehghani A. The effect of silicone oil tamponade on retinal layers and choroidal thickness in patients with rhegmatogenous retinal detachment: a systematic review and meta-analysis. *Int J Retina Vitreol.* 2021;7(1):76.
42. Er D, Öner H, Kaya M, Dönmez O. Evaluation of the effects of silicone oil on the macula with optical coherence tomography in patients with rhegmatogenous retinal detachment. *Turk J Ophthalmol.* 2021;51(4):218–24.

Publisher's note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

3. Zusammenfassung

a. Deutsch

Die Silikonölotamponade ist ein etabliertes Verfahren bei komplexen Netzhautablösungen. Unklar bleibt jedoch der optimale Zeitpunkt der Silikonölentfernung (Removal of Silicone Oil, ROSO) hinsichtlich funktioneller und anatomischer Ergebnisse sowie möglicher Komplikationen. Ziel dieser retrospektiven Analyse war der Vergleich postoperativer Ergebnisse einer frühen (innerhalb von drei Monaten) gegenüber einer späten ROSO. Untersucht wurden Patienten mit primärer rhegmatogener Netzhautablösung nach Pars-plana-Vitrektomie mit Silikonöltamponade. Bewertet wurden Re-Amotio-Raten, intraokularer Druck (IOD), makuläre Komplikationen (CME, ERM) und bestkorrigierte Sehschärfe (BCVA) nach ROSO. Zwischen den Gruppen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Re-Amotio, IOD, BCVA oder Makulakomplikationen nach Silikonöl Entfernung. Eine frühzeitige Ölentfernung scheint somit vergleichbare funktionelle und anatomische Ergebnisse zu ermöglichen wie eine längere Endotamponade. Weitere prospektive Studien mit größeren Fallzahlen sind erforderlich, um die optimale Dauer der Endotamponade festzulegen, und Risikofaktoren zu identifizieren, um eine bessere Patienteneinteilung zu ermöglichen.

b. English

Silicone oil endotamponade is an established treatment for complex retinal detachment, but the optimal timing of its removal (Removal of Silicone Oil, ROSO) remains uncertain. This retrospective analysis compared postoperative outcomes of early (within three months) versus late ROSO. Patients undergoing pars plana vitrectomy with silicone oil for primary rhegmatogenous retinal detachment were evaluated for redetachment rates, intraocular pressure (IOP), macular complications (CME, ERM), and best-corrected visual acuity (BCVA) after ROSO. No significant differences were found between groups regarding redetachment, IOP, BCVA, or macular complications after silicone oil removal. Early silicone oil removal may therefore provide outcomes comparable to longer endotamponade. Further prospective studies are needed to define the optimal duration of endotamponade and identify risk factors for better patient stratification.

4. Literaturverzeichnis

Abu-Yaghi NE, Abu Gharbieh YA, Al-Amer AM, AlRyalat SAS, Nawaiseh MB, Darweesh MJ, et al. Characteristics, fates and complications of long-term silicone oil tamponade after pars plana vitrectomy. *BMC Ophthalmol.* 2020;20(1):336.

Annaka M, Mortensen K, Vigild ME, Matsuura T, Tsuji S, Ueda T, Tsujinaka H. Design of an injectable in situ gelation biomaterials for vitreous substitute. *Biomacromol.* 2011;12: 4011–4021.

Auriol S, Mahieu L, Brousset P, Malecaze F, Mathis V. Safety of medium-chain triglycerides used as an intraocular tamponading agent in an experimental vitrectomy model rabbit. *Retina.* 2013;33: 217–223.

Avitabile T, Bonfiglio V, Buccoliero D, Castiglione F, Reibaldi M, Castaing M, et al. Heavy versus standard silicone oil in the management of retinal detachment with macular hole in myopic eyes. *Retina.* 2011;31(3):540–6.

Avitabile, T., Bonfiglio, V., Cicero, A., Torrisi, B., Reibaldi, A. Correlation between quantity of silicone oil emulsified in the anterior chamber and high pressure in vitrectomized eyes. *Retina.* 2002;22, 443–448.

Avitabile T, Longo A, Lentini G, et al Retinal detachment after silicone oil removal is prevented by 360° laser treatment. *British Journal of Ophthalmology* 2008;92:1479-1482.

Azen SP, Scott IU, Flynn HW, Lai MY. Silicone oil in the repair of complex retinal detachments: A prospective observational multicenter study. *Ophthalmology.* 1998;105(9):1587–97.

Baino F. Towards an ideal biomaterial for vitreous replacement: historical overview and future trends. *Acta Biomater.* 2011;7: 921–935.

Brănișteanu DC, Moraru A, Bîlha A. Anatomical results and complications after silicone oil removal. *Romanian J Ophthalmol.* 2017;61(4):261–6.

Casswell AG, Gregor ZJ. Silicone oil removal II: Operative and postoperative complications. *Br J Ophthalmol.* 1987;71(12):898–902.

Cazabon S. Visual loss following removal of intraocular silicone oil. *Br J Ophthalmol.* 2005;89(7):799–802.

Cejudo, R.M., Marchite, C.B., Morán, T.P., Piqueras, S.C. Comparison between standard and wide-field autofluorescence in detection of retinal displacement after rhegmatogenous retinal detachment surgery. *Adv. Ophthalmol. Pract. Res.* 2022;2, 100076.

Chen Y, Kearns VR, Zhou L, Sandinha T, Lam WC, Steel DH, et al. Silicone oil in vitreoretinal surgery: indications, complications, new developments and alternative long-term tamponade agents. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 2021;99(3):240–50.

Chen, H.J., Tsai, Y.L., Hsiao, C.H., Chang, C.J. Air versus gas tamponade for primary rhegmatogenous retinal detachment: A systematic review and meta-analysis. *Ophthalmic Res.* 2023;66, 767–776.

Christensen UC, La Cour M. Visual loss after use of intraocular silicone oil associated with thinning of inner retinal layers. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 2012;90(8):733–7.

Cibis PA, Becker B, Okun E, Canaan S. The use of liquid silicone in retinal detachment surgery. *Arch Ophthalmol.* 1962;68(5):590–9.

Coman C, Munteanu M, Pantoni Popescu S, Musat O. Silicone oil complications in vitreoretinal surgery. *Romanian J Ophthalmol.* 2022;66(4):299–303.

Daull P, Paterson CA, Kuppermann BD, Garrigue JS. A preliminary evaluation of dexamethasone palmitate emulsion: a novel intravitreal sustained delivery of corti-costeroid for treatment of macular edema. *JOcul Pharmacol Ther.* 2013;29: 258–269.

Dooley IJ, Duignan ES, Kilmartin DJ. Long-term heavy silicone oil intraocular tamponade. *Int Ophthalmol.* 2016;36(1):3–7.

El Shazly, M., Mohalhal, A., Ghalwash, A. Effect of Lens Status on Intraocular Pressure in Siliconized Eyes. *Clin. Ophthalmol.* 2012;6, 265–268.

Er D, Öner H, Kaya M, Dönmez O. Evaluation of the effects of silicone oil on the macula with optical coherence tomography in patients with rhegmatogenous retinal detachment. *Turk J Ophthalmol.* 2021;51(4):218–24.

Ewais WA, Ali LS, Aboalazayem FM. Impact of duration of silicone oil tamponade on foveal and parafoveal thickness in rhegmatogenous retinal detachment: a retrospective cohort study. *Int Ophthalmol.* 2024;44(1):167.

- Falkner CI. Outcome after silicone oil removal. *Br J Ophthalmol*. 2001;85(11):1324–7.
- Gaddis ML. *Statistical methodology: IV. Analysis of variance, analysis of covariance, and multivariate analysis of variance*. *Acad Emerg Med*. 1998 Mar;5(3):258-65.
- Gao Q, Mou S, Ge J, To CH, Hui Y, Liu A, Wang Z, Long C, Tan J. A new strategy to replace the natural vitreous by a novel capsular artificial vitreous body with pressure-control valve. *Eye (Lond)*. 2008 Mar;22(3):461-8. doi: 10.1038/sj.eye.6702875.
- Ghanabari H, Kianersi F, Jamshidi Madad A, Dehghani A. The effect of silicone oil tamponade on retinal layers and choroidal thickness in patients with rhegmatogenous retinal detachment: a systematic review and meta-analysis. *Int J Retina Vitre*. 2021;7(1):76.
- Giordano GG, Refojo MF. Silicone oils as vitreous substitutes. *Prog Polym Sci*. 1998;23(3):509–32.
- Gisquet C, Ndiaye NC, Dubroux C, Angioi-Duprez K, Berrod JP, Conart JB. Retinal redetachment after silicone oil removal: a risk factor analysis. *BMC Ophthalmol*. 2024 Aug 15;24(1):346.
- Goker YS, Yuksel K, Turan MF, et al. Segmental analysis of macular layers in patients with Rhegmatogenous retinal detachment treated with Perfluoropropane or silicon oil. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina*. 2018;49(1):41–47. doi: 10.3928/23258160-20171215-06.
- Goezinne F, La Heij EC, Berendschot TTJM, Liem ATA, Hendrikse F. Risk factors for redetachment and worse visual outcome after silicone oil removal in eyes with complicated retinal detachment. *Eur J Ophthalmol*. 2007;17(4):627–37.
- Hand DJ. From evidence to understanding: a commentary on Fisher (1922) 'On the mathematical foundations of theoretical statistics'. *Philos Trans A Math Phys Eng Sci*. 2015 Apr 13;373(2039):20140252. doi: 10.1098/rsta.2014.0252.
- Herbert EN, Laidlaw DAH, Williamson TH, et al. Loss of vision once silicone oil has been removed. *Retina (Philadelphia, Pa)* 2005;25(6):808–809. doi: 10.1097/00006982-200509000-00032.
- Huang D, Starr MR, Patel LG, Ammar MJ, Kaiser RS, Mehta S, Park CH, Khan MA, Gupta OP, Kuriyan AE, Yonekawa Y, Ho AC, Garg SJ, Cohen MN, Hsu J. Factors affecting retinal redetachment after silicone oil removal for rhegmatogenous retinal detachment. *Retina*. 2022 Jul 1;42(7):1248-1253. doi: 10.1097/IAE.0000000000003445. PMID: 35174811.

- Hutton WL. *The effects of silicone oil removal: Silicone Study Report 6. Arch Ophthalmol.* 1994;112(6):778.
- Issa R, Xia T, Zarbin MA, Bhagat N. *Silicone oil removal: post-operative complications. Eye (Lond).* 2020 Mar;34(3):537-543. doi: 10.1038/s41433-019-0551-7.
- Jonas JB. *Retinal redetachment after removal of intraocular silicone oil tamponade. Br J Ophthalmol.* 2001;85(10):1203–7.
- Karimi S, Entezari M, Nikkhah H, et al. *Effects of intravitreal silicone oil on subfoveal choroidal thickness. Ophthalmologica.* 2018;239(2–3):159–166. doi: 10.1159/000485851.
- Kleinberg TT, Tzekov RT, Stein L, Ravi N, Kaushal S. *Vitreous substitutes: a comprehensive review. Surv Ophthalmol.* 2011 Jul-Aug;56(4):300-23. doi: 10.1016/j.survophthal.2010.09.001.
- Lee J, Cho H, Kang M, Hong R, Seong M, Shin Y. *Retinal changes before and after silicone oil removal in eyes with rhegmatogenous retinal detachment using swept-source optical coherence tomography. J Clin Med.* 2021;10(22):5436.
- Lee SH, Han JW, Byeon SH, et al. *Retinal layer segmentation after silicone oil or gas tamponade for macula-on retinal detachment using optical coherence tomography. Retina.* 2018;38(2):310–319. doi: 10.1097/IAE.0000000000001533.
- Lin X, Wang Z, Jiang Z, Long C, Liu Y, Wang P, Jin C, Yi C, Gao Q. *Preliminary efficacy and safety of a silicone oil-filled foldable capsular vitreous body in the treatment of severe retinal detachment. Retina.* 2012 Apr;32(4):729-41. doi: 10.1097/IAE.0b013e31822b1f80.
- Lin X, Ge J, Gao Q, Wang Z, Long C, He L, Liu Y, Jiang Z. *Evaluation of the flexibility, efficacy, and safety of a foldable capsular vitreous body in the treatment of severe retinal detachment. Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52: 374–381.
- Liu Y, Jiang Z, Gao Q, Ge J, Chen J, Cao X, Shen Q, Ma P. *Technical standards of a foldable capsular vitreous body in terms of mechanical, optical, and biocompatible properties. Artif Organs.* 2010;34: 836–845.
- Machemer R, Aaberg TM, Freeman HM, Alexander RI, John SL, Ronald MM. *An updated classification of retinal detachment with proliferative vitreoretinopathy. Am J Ophthalmol.* 1991;112(2):159–65.

- Mann, Henry B. and Douglas R. Whitney. *On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. Annals of Mathematical Statistics. 1947;18: 50-60.*
- Marti M, Walton R, Böni C, Zweifel SA, Stahel M, Barthelmes D. *Increased intraocular pressure is a risk factor for unexplained visual loss during silicone oil endotamponade. Retina. 2017;37(12):2334–40.*
- Moisseiev E, Ohana O, Gershovitch L, Barak A. *Visual prognosis and complications following silicone oil removal. Eur J Ophthalmol. 2013;23(2):236–41.*
- Nagpal M, Videkar R, Nagpal K. *Factors having implications on re-retinal detachments after silicone oil removal. Indian J Ophthalmol. 2012;60(6):517–20.*
- Nicolai M, Lassandro N, Franceschi A, Rosati A, De Turrís S, Pelliccioni P, et al. *Intraocular pressure rise linked to silicone oil in retinal surgery: a review. Vision. 2020;4(3):36.*
- Niknam BA, Zubizarreta JR. *Using Cardinality Matching to Design Balanced and Representative Samples for Observational Studies. JAMA. 2022 Jan 11;327(2):173-174.*
- Odrobina D, Laudańska-Olszewska I. *Analysis of the time and location of the silicone oil emulsification by spectral-domain optical coherence tomography after silicone oil tamponade. BioMed Res Int. 2014;2014:1–5.*
- Ozaki H, Huang J, Uchio E. *Intraocular pressure abnormalities following silicone oil injection for complicated retinal detachments. ARVO Annu Meet Abstr. 2013;54:2855.*
- Rahman A, Hussain M, Fayaz M, Hassan M, Bhatti MN, Qazi AM. *Comparison of raised intraocular pressure after pars plana vitrectomy using 1000 cSt and 5000 cSt silicone oil in rhegmatogenous retinal detachment. Pak J Ophthalmol. 2016;32(2):88–92.*
- Rhatigan M, McElnea E, Murtagh P, Stephenson K. *Final anatomic and visual outcomes appear independent of duration of silicone oil intraocular tamponade in complex retinal detachment surgery. Int J Ophthalmol. 2018;11(1):83–8.*
- Ross, W. H., & Kozy, D. W. *Visual recovery in macula-off rhegmatogenous retinal detachments. Ophthalmology. 1998;105(11), 2149–2153.*
- Ruppin DC & Middleton WRJ. *Clinical use of medium chain triglycerides. Drugs. 1980; 20:216–224.*

Scheerlinck LM, Schellekens PA, Liem AT, Steijns D, Van Leeuwen R. Incidence, risk factors, and clinical characteristics of unexplained visual loss after intraocular silicone oil for macula-on retinal detachment. *Retina*. 2016;36(2):342–50.

Scholda C, Egger S, Lakits A, Walch K, von Eckardstein E, Biowski R. Retinal detachment after silicone oil removal. *Acta Ophthalmol Scand*. 2000;78(2):182–6.

Shahid, A.; Iqbal, K.; Iqbal, S.M.; Ghaffar, Z.; Tariq, M.; Tahir, M.J.; Rahman, F.U.; Raheem, U.; Butt, J.B.; Abbas, K. Risk factors associated with rhegmatogenous retinal detachment. *Cureus*. 2022;14, e23201.

Shalchi Z, Mahroo OA, Shunmugam M, Mohamed M, Sullivan PM, Williamson TH. Spectral domain optical coherence tomography findings in long-term silicone-oil-related visual loss. *Retina*. 2015;35(3):555–63.

Stalpers, L. J. A., Kaplan, E. L. Edward L. Kaplan and the Kaplan-Meier Survival Curve. *BSHM Bulletin: Journal of the British Society for the History of Mathematics*. 2018; 33(2), 109–135.

Stanford MR, Chignell AH. Surgical treatment of superior bullous rhegmatogenous retinal detachments. *Br J Ophthalmol*. 1985;69(10):729–32.

Soler VJ, Laurent C, Sakr F, Regnier A, Tricoire C, Cases O, Kozyraki R, Douet JY, Pagot-Mathis V. Preliminary study of the safety and efficacy of medium-chain triglycerides for use as an intraocular tamponading agent in minipigs. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2017 Aug;255(8):1593-1604. doi: 10.1007/s00417-017-3695-9.

Spang MT & Christman KL. Extracellular matrix hydrogel therapies: in vivo applications and development. *Acta Biomater*. 2018;68: 1–14.

Tan HS, Dell’Omo R, Mura M. Silicone oil removal after rhegmatogenous retinal detachment: comparing techniques. *Eye*. 2012;26(3):444–7.

Tavares RLP, Nóbrega MJ, Nóbrega FAJ, De Novelli FJ, De Oliveira CAC. Timing and outcomes after silicone oil removal in proliferative vitreoretinopathy: a retrospective clinical series. *Int J Retina Vitreous*. 2015 Apr 15;1:2. doi: 10.1186/s40942-015-0002-y. PMID: 27847595; PMCID: PMC5066514.

Teke MY, Balikoglu-Yilmaz M, Yuksekkaya P, Citirik M, Elgin U, Kose T, et al. Surgical outcomes and incidence of retinal redetachment after silicone oil removal: univariate and multiple risk factors analysis. *Retina*. 2014;34(10):1926–38.

Toklu Y, Cakmak HB, Ergun ŞB, Yorgun MA, Simsek Ş. Time course of silicone oil emulsification. *Retina*. 2012;32(10):2039–44.

Traul KA, Driedger A, Ingle DL, Nakhasi D. Review of the toxicologic properties of medium-chain triglycerides. *Food Chem Toxicol*. 2000;38: 79–98.

Valentín-Bravo FJ, García-Onrubia L, Andrés-Iglesias C, Valentín-Bravo E, Martín-Vallejo J, Pastor JC, et al. Complications associated with the use of silicone oil in vitreoretinal surgery: a systematic review and meta-analysis. *Acta Ophthalmol (Copenh)*. 2022;100(4):e917–32.

Vandenbroucke JP, von Elm E, Altman DG, Gøtzsche PC, Mulrow CD, Pocock SJ, et al. Strengthening the reporting of observational studies in epidemiology (STROBE): Explanation and elaboration. *PLoS Med*. 2007;4:e297. doi: 10.1371/journal.pmed.0040297.

Wang H, Wu Y, Cui C, Yang J, Liu W. Antifouling super water absorbent supramolecular polymer hydrogel as an artificial vitreous body. *Adv Sci*. 2018;5: 1800711.

Williams PD, Fuller CG, Scott IU, et al. Vision loss associated with the use and removal of intraocular silicone oil. *Clin Ophthalmol (Auckland, NZ)* 2008;2(4):955.

Zhang X, Tian X, Zhang B, Guo L, Li X, Jia Y. Study on the effectiveness and safety of foldable capsular vitreous body implantation. *BMC Ophthalmol*. 2019;19: 260.

Zhang T, Xu G. Clinical characteristics and correlation analysis of recurrent retinal detachment following silicone oil removal: A single-center retrospective study. *Curr Probl Surg*. 2025 Sep;70:101849. doi: 10.1016/j.cpsurg.2025.101849.

Zhao, H., Yu, J., Zong, Y., Jiang, C., Zhu, H., Xu, G. Characteristics of Silicone Oil Emulsification After Vitrectomy for Rhegmatogenous Retinal Detachment: An Ultrasound Biomicroscopy Study. *Front. Med*. 2022;8:794786.

Zhou Y, Zhang S, Zhou H, et al. Comparison of fundus changes following silicone oil and sterilized air tamponade for macular-on retinal detachment patients. *BMC Ophthalmol*. 2020;20(1):1–9. doi: 10.1186/s12886-019-1277-9

5. Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Flussdiagramm der Studienkohorte. SOE: Silikonöl Endotamponade, ROSO: removal of silicone oil (Entfernung des Silikonöls)

Abbildung 2: Kaplan-Meier-Schätzung der kumulativen Inzidenz einer erneuten Netzhautablösung in Gruppe I (rote Linie) und Gruppe II (blaue Linie) in den Monaten nach der Silikonölentfernung. Die meisten Rezidivablösungen treten in den ersten 20 Monaten nach der Silikonölentfernung auf. Zwischen den beiden Gruppen besteht kein statistisch signifikanter Unterschied in der Inzidenz der erneuten Netzhautablösung (Log-Rank-Test: $p = 0,88$).

6. Verzeichnis der Abkürzungen

BCVA	Best corrected visual acuity
CME	Zystoides Makulaödem, cystoid macular edema
ERM	Epiretinale Membran
IOD	Intraokularer Druck
OCT	Optische Kohärenztomographie
PFCL	Perfluorcarbon-Flüssigkeit
PPV / ppV	Pars-plana-Vitrektomie
PVR	Proliferative Vitreoretinopathie
RD	Retinal Detachment
RRD	Rhegmatogenous Retinal Detachment
ROSO	Removal of Silicone Oil, Silikonöl Entfernung
SO	Silikonöl
SOE	Silikonöl-Endtamponade
SORVL	Silicone oil related vision loss
ILM	internal limiting membrane

7. Erklärung des Eigenanteils

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen eines unabhängigen Forschungsprojekts zur Untersuchung des Einflusses des Zeitpunkts der Silikonölentfernung (ROSO) auf anatomische und funktionelle Ergebnisse nach komplizierter Netzhautablösung. Die Konzeption der Studie, die Datenerhebung, -aufbereitung und -auswertung erfolgten maßgeblich durch Nefeli Eleni Kounatidou. Nefeli Eleni Kounatidou war verantwortlich für die Durchführung der klinischen Datenauswertung, die statistischen Analysen, die Erstellung aller Tabellen und Abbildungen sowie für die Verfassung des Erstentwurfs des Manuskripts. Die methodische Umsetzung und die statistische Modellierung erfolgten durch Nefeli Eleni Kounatidou unter enger Rücksprache mit PD Dr. Christos Skevas, der die fachliche Betreuung und Supervision übernahm. Herr Dr. Luca Mautone unterstützte bei der Datenprüfung und Manuskriptüberarbeitung. Herr Vasyl Druchkiv war in der statistischen Beratung beteiligt. Professor Dr. Martin Spitzer und PD Dr. Christos Skevas gaben wertvolle Hinweise zur Methodik, Dateninterpretation und sprachlichen Überarbeitung des Manuskripts.

8. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe, insbesondere ohne entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten, verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Das gilt insbesondere auch für alle Informationen aus Internetquellen.

Soweit beim Verfassen der Dissertation KI-basierte Tools („Chatbots“) verwendet wurden, versichere ich ausdrücklich, den daraus generierten Anteil deutlich kenntlich gemacht zu haben. Die „Stellungnahme des Präsidiums der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zum Einfluss generativer Modelle für die Text- und Bilderstellung auf die Wissenschaften und das Förderhandeln der DFG“ aus September 2023 wurde dabei beachtet.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Datum:

Unterschrift:

9. Danksagung

Ich möchte meinem Doktorvater PD Dr. Christos Skevas meinen aufrichtigen Dank aussprechen. Durch seine Unterstützung, sein Vertrauen und die Bereitstellung der notwendigen Ressourcen wurde mir die Durchführung dieser Promotion überhaupt erst ermöglicht. Ganz besonderer Dank gilt auch meinem Betreuer Dr. Luca Mautone, der mich während des gesamten Projekts mit großer Zuverlässigkeit, Engagement und wertvollen Ratschlägen begleitet hat. Für ihre konstruktiven Kommentare zum Manuskript und zum Antwortschreiben an die Reviewer danke ich Prof. Martin Spitzer herzlich. Vasyl Druchkiv schulde ich großen Dank für seine kompetente Beratung in statistischen Fragen. Ohne die Hilfe und den Einsatz all dieser Personen wäre die vorliegende Arbeit nicht zustande gekommen.

Diese Dissertation widme ich meinen Eltern Asimina und Ioannis, die mir ein Leben ohne Sorgen und mit vielen Möglichkeiten geschenkt haben, meinem Bruder Panagiotis und meinem Freund Evangelos, die mich auf meinem Weg stets unterstützt und ermutigt haben.