

Aus dem Lehrstuhl
für Neurochirurgie
Prof. Dr. med. Nils Ole Schmidt
der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

Volumetrische Analyse und komparative Messung chronischer Subduralhämatomvolumen und subduraler Luft mit dem funktionellen Einfluss auf das klinische Outcome nach Bohrloch-Trepanation und Hämatom-Drainage

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades der Medizin

der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Tommaso Araceli

2023

Aus dem Lehrstuhl
für Neurochirurgie
Prof. Dr. med. Nils Ole Schmidt
der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

Volumetrische Analyse und komparative Messung chronischer Subduralhämatomvolumen und subduraler Luft mit dem funktionellen Einfluss auf das klinische Outcome nach Bohrloch-Trepanation und Hämatom-Drainage

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung des Doktorgrades der Medizin

der Fakultät für Medizin
der Universität Regensburg

vorgelegt von
Tommaso Araceli

2023

Dekan: Prof. Dr. med. Dirk Hellwig

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Karl-Michael Schebesch

2. Berichterstatter: PD Dr. med. Andreas Schicho

Tag der mündlichen Prüfung: 06.09.2023

Inhalt

1	Einleitung	6
1.1	Definition	6
1.2	Klassifikation	6
1.3	Anatomie.....	8
1.4	Pathophysiologie	9
1.5	Makroskopische Pathologie	12
1.6	Epidemiologie	12
1.7	Symptome	13
1.7.1	Kopfschmerzen	13
1.7.2	Sprachauffälligkeiten	13
1.7.3	Hemisymptomatik.....	14
1.7.4	Psychomotorische Auffälligkeiten.....	14
1.7.5	Krampfanfälle.....	14
1.8	Diagnostik.....	15
1.9	Therapie	16
1.9.1	Chirurgische Therapie.....	16
1.9.2	Nicht-chirurgische Therapie.....	20
1.10	Prognose	22
1.11	Komplikationen.....	23
1.11.1	Pneumatozephalus	23
1.12	Rezidiv.....	24
1.13	Fragestellungen	26
2	Patienten und Methoden.....	27
2.1	Patienten	27
2.1.1	Einschlusskriterien.....	28
2.1.2	Ausschlusskriterien.....	28
2.2	Methoden	29
2.2.1	Literaturrecherche	29

2.2.2	Datenanalyse	30
2.2.3	Messungen.....	31
2.2.4	Statistische Analyse	42
3	Ergebnisse.....	43
3.1	Patientenbezogene Ergebnisse	43
3.1.1	Allgemeine Eigenschaften.....	43
3.1.2	Präoperative klinische Eigenschaften	44
3.1.3	Bildgebende Eigenschaften	44
3.1.4	Chirurgische Eigenschaften.....	45
3.1.5	Postoperative klinische Eigenschaften	47
3.2	Ergebnisse der Messungen.....	48
3.2.1	Hämatomvolumen.....	48
3.2.2	Mittellinienverlagerung.....	53
3.2.3	Postoperative Luft.....	53
3.2.4	Rezidivhämatom.....	53
3.3	Ergebnisse der Korrelationen.....	54
3.3.1	Relative Volumenreduktion – klinische Besserung.....	54
3.3.2	Absolute Volumenreduktion – klinische Besserung.....	54
3.3.3	Relativer MLS-Rückgang – klinische Besserung.....	55
3.3.4	Absoluter MLS-Rückgang – klinische Besserung.....	56
3.3.5	Luft und Luftmenge – Rediziv-cSDH und dessen Volumen.....	56
3.3.6	Luft und Luftmenge – verschiedene Parameter	56
3.3.7	Rezidiv – verschiedene Parameter	58
3.3.8	Rezidiv – initiale Symptome	60
3.3.9	Rezidiv – postoperative Symptome	61
3.3.10	Klinisches Bild – verschiedene Parameter	62
3.4	Beantwortung der Fragestellungen.....	72
4	Diskussion	76
4.1	Diskussion der Methoden	76

4.1.1	Patienten.....	76
4.1.2	Messungsmethoden.....	77
4.2	Diskussion der Ergebnisse.....	80
4.2.1	Klinisches Bild.....	80
4.2.2	Outcome.....	82
4.2.3	Faktoren die das Auftreten postoperativer Luft beeinflussen.....	85
4.2.4	Faktoren die das Auftreten eines Rezidivs beeinflussen.....	85
4.2.5	Postoperative Luft als Risikofaktor eines cSDH-Rezidivs.....	88
4.1	Operatives Verfahren.....	90
4.2	Limitationen.....	92
4.3	Interessenskonflikte.....	92
5	Zusammenfassung.....	93
6	Anhang.....	95
6.1	Tabellen.....	95
6.2	Abbildungen.....	95
6.3	Abkürzungen.....	98
	Literaturverzeichnis.....	99
	Danksagung.....	112

1 Einleitung

1.1 Definition

Ein chronisches Subduralhämatom (cSDH) ist eine eingekapselte Flüssigkeits-, Blut- und Blutabbauprodukt-Ansammlung, die sich zwischen der Arachnoidea und der Dura Mater befindet und auf der Gehirnoberfläche geschichtet ist. (Edlmann et al., 2017). Meist liegt ein Bagatelltrauma zugrunde (Schebesch, 2014).

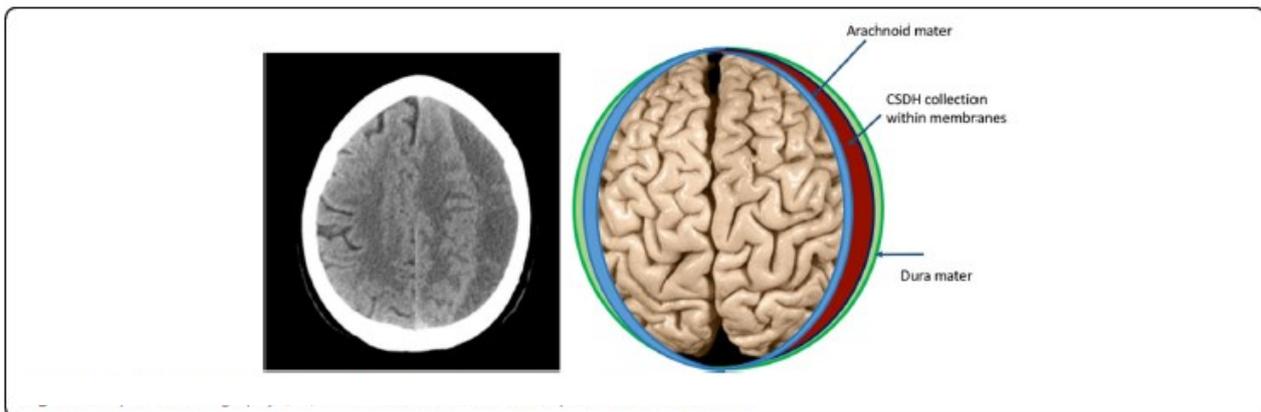


Abb. 1 cCT und schematische Darstellung eines cSDHs (Edlmann et al., 2017)

1.2 Klassifikation

Durch Protein-Exsudation und sedimentierungsfeste Bestandteile entstehen abhängig von Alter der Blutung und Dicke der Hämatommembran drei unterschiedliche morphologische Typen. Man differenziert in bildgebend hyperdense (proteinreich, frisches Blut), isodense und hypodense (proteinarm, liquordicht) cSDH (Schebesch, 2014).

Die erste cSDH-Klassifikation von Nomura et al. (1994) kategorisierte Hämatome in Anbetracht ihrer Densität in 5 Typen: hyperdens, isodens, hypodens, gemischt und geschichtet. Das zweite cSDH-Klassifikationsverfahren von Nakaguchi et al. (2001) klassifiziert Hämatome in die folgenden vier Typen nach ihrer inneren Architektur:

- homogen, definiert durch homogene Densität;
- laminar, definiert durch eine dünne hochdichte Schicht entlang der inneren Membran;

- getrennt, definiert durch Komponenten mit geringerer Densität, die von einer Komponente mit höherer Densität durch eine klare Grenze getrennt sind;
- trabekulär, definiert durch inhomogenen Inhalt und ein hochdichtes Septum, das zwischen der inneren und äußeren Membran auf einem hypo- bis isodensen Hintergrund verläuft (Takei et al., 2021).

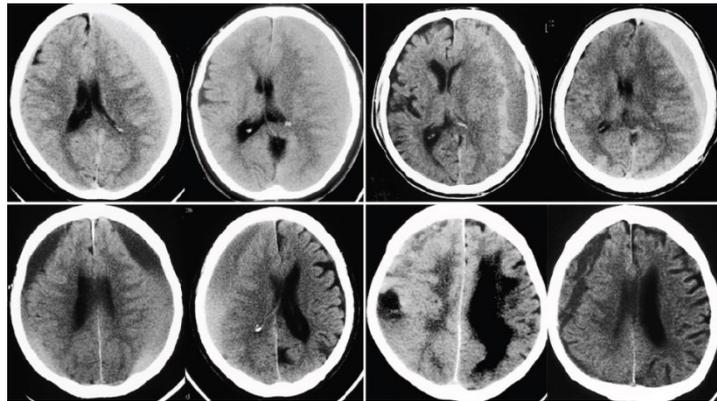


Abb. 2 cCT, das die Klassifizierung von cSDHs gemäß ihrer internen Architektur demonstriert (Nakaguchi et al., 2001).
 Oben links: Homogener Typ. Oben rechts: Laminar typ. Unten links: Getrennter Typ. Unten rechts: Trabekulärer Typ (ebd).

Takei et al. (2021) entwickelte eine dritte Klassifikationsmethode, die als Variante des Nakaguchi-Systems betrachtet werden kann. Die Subdurallhämatome werden hier in fünf Typen (homogen, abgestufte, laminar, getrennt und trabekulär) gemäß ihrer internen Architektur und CT HE-Werte eingeteilt. Diese Klassifikationsmethode berücksichtigt die retrograde Richtung der Hämatomreife um deutlicher die Hämatome mit mehr als zwei Arten von internen Architekturen zu klassifizieren und verläuft in mehrstufigen Schritten.

Zunächst muss bestätigt werden, ob die Hämatome eine trabekuläre Konfiguration zeigen. Falls der trabekuläre Typ ausgeschlossen wird, wird nach zwei Komponenten unterschiedlicher Dichte mit Niveaubildung gesucht. Falls der getrennte Typ ebenso ausgeschlossen wird, muss die laminare Bildung von inneren Membranen überprüft werden. Wenn keine dieser internen Strukturen bestätigt werden, müssen die CT HE-Werte bei dem hinteren Teil des Hämatoms von denen des vorderen Teils abgezogen werden. Ein Wert < 5 zeigt den homogenen Typ und ein Wert ≥ 5 den abgestuften Typ (Takei et al., 2021).

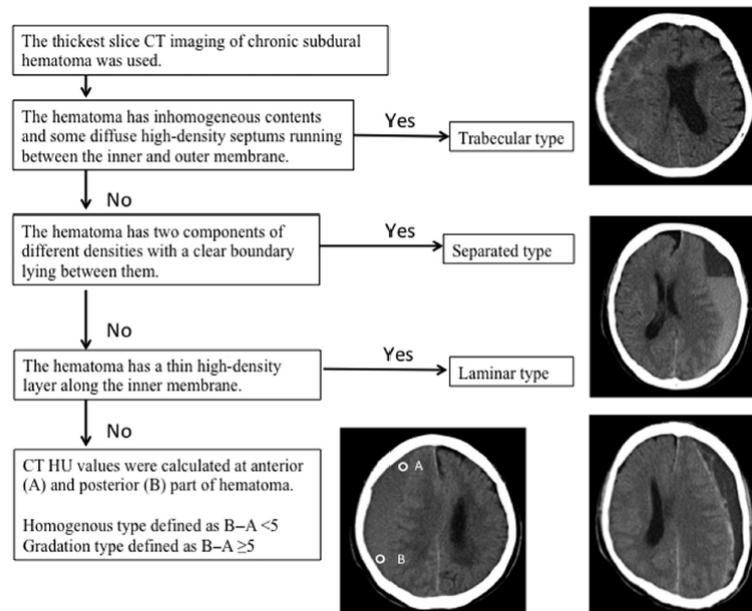


Abb. 3 Klassifikationsmethode der cSDHs (Takei et al., 2021)

1.3 Anatomie

Die cSDH befinden sich zwischen der Dura mater und der Arachnoidea, einem potentiellen Raum, der normalerweise nicht existiert. Stattdessen gibt es an dieser Stelle eine Schicht von Zellen mit einzigartigen morphologischen Merkmalen, die als „Dural Border Cell (DBC)“ bezeichnet wird. Sie ist durch einen relativen Mangel an sogenannten „Tight Junctions“ und einen vergrößerten extrazellulären Raum gekennzeichnet, der amorphes nicht-filamentöses Material enthält, sodass die Schicht nicht fest ist und man sie leicht abreißen kann. Es handelt sich folglich um eine lockere Schicht, die zwischen fester Dura und Arachnoidea liegt. Des Weiteren sind Venen fest an der Arachnoidea und der Dura mater verankert, jedoch weniger an der DBC-Schicht. Bei zunehmender Hirnatrophie wird die Arachnoidea zur Mitte gezogen, während die Dura am Schädel befestigt bleibt. Die resultierende Kraft dehnt die DBC-Schicht und die durchquerenden Venen, sodass nur noch eine geringfügige zusätzliche Kraft erforderlich ist, um eine Ruptur derer und einen daraus resultierenden Blutaustritt zu verursachen. So wird die DBC-Schicht weiter auseinandergenommen und eine subdurale Kavität gebildet (Santarius et al., 2010).

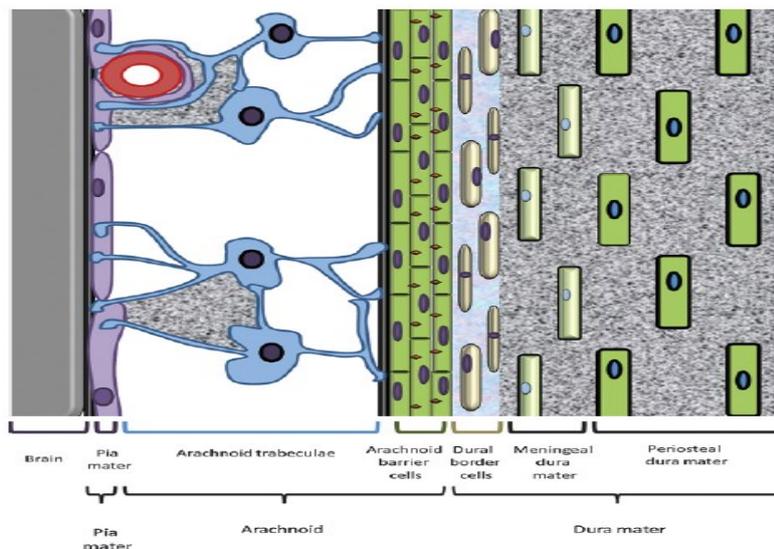


Abb. 4 Darstellung der Ultrastruktur der Hirnhaut (Santarius et al., 2010).

Die Dura mater besteht aus Fibroblasten und einer großen Menge Kollagen. Bei der Arachnoidea finden sich zahlreiche „Tight Junctions“. In Gegenteil die DBC-Schicht (hellblau) ist charakterisiert von abgeflachten Fibroblasten ohne „Tight Junctions“ und ohne interzelluläres Kollagen (ebd.)

1.4 Pathophysiologie

Der initialen Theorie der Pathogenese des cSDHs in Verbindung mit onkotischen Gradienten wurde bereits 1980 von Weir widersprochen, der in seinen Studien feststellte, dass cSDH weder aufgrund eines onkotischen noch eines osmotischen Druckgradienten zwischen dem Inneren des Hämatomsacks und der Blutbahn progressiv an Größe zunimmt. Der Autor schlug vor, dass die Erhöhung des hydrostatischen Drucks und die Permeabilität der Neomembran sowie der Oberfläche des Kapillarnetzes (und der Wasserproduktion als Ergebnis des Stoffwechsels der Neokapillaren), verbunden mit der verringerten Resorption von Flüssigkeit ins Blut oder Liquor und der Abnahme des hydrostatischen Gewebedrucks, eine Flüssigkeitsverschiebung in ein subdurales Hämatom oder Hygrom verursachen könnte (Weir, 1980).

Demnach beginnen zahlreiche cSDHs wahrscheinlich als akute Subduralhämatome. Der Verlauf der cSDH wird durch das Gleichgewicht von Plasmaeffusion und Nachblutung aus den Neomembranen einerseits und Flüssigkeitsresorption andererseits bestimmt (Greenberg, 2016).

Die vergleichsweise langsame Blutungsgeschwindigkeit ermöglicht es, dass sich eine große Menge von Blut, Blutabbauprodukten, Liquor sowie durch Osmose gezogene Flüssigkeit aus

dem umgebenden Gewebe im Subduralraum ansammelt, bevor klinische Anzeichen und Symptome auftreten (Vacca und Argento, 2018).

Die Blutung ist ein wesentlicher Bestandteil der cSDH-Bildung und beinhaltet zwei biomolekulare Schlüsselprozesse: Gerinnung und Fibrinolyse. Die in der cSDH-Flüssigkeit gefundenen hohen Konzentrationen an FDPs, Plasminogen, tPA und Thrombomodulin (kontinuierlich sezerniert aufgrund wiederholter Gefäßverletzungen während der Gehirnpulsation durch die cSDH-Sammlung) stellen eine übermäßige Fibrinolyse dar und daher fortgesetzte Blutungen, indem Gerinnseln abgebaut werden. Sie sind auch ein Indikator für ein hohes Rezidivrisiko. In der cSDH-Bildung spielt die Angiogenese eine primäre Rolle, wodurch sie eine Blutungsquelle aus den cSDH-Membranen bereitstellt. Damit involvierte Mediatoren sind Angiopoetin (das eine wichtige Rolle bei der Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke und der cSDH-Membranpermeabilität spielt), VEGF und VEGF-R (gefunden in signifikant höheren Konzentrationen in der cSDH-Flüssigkeit im Vergleich zu peripherem Blut und Liquor), Matrix-Metalloproteinasen (ermöglichen die Exsudation von Flüssigkeit aus den Kapillaren in die Hämatomhöhle). Außerdem scheint der Entzündungsprozess bei cSDH durch eine Reihe von Entzündungszellen vermittelt zu werden, darunter Neutrophile, Lymphozyten, Makrophagen und Eosinophile sowie IL-6 und IL-8 und IL 10 (Edlmann et al., 2017).

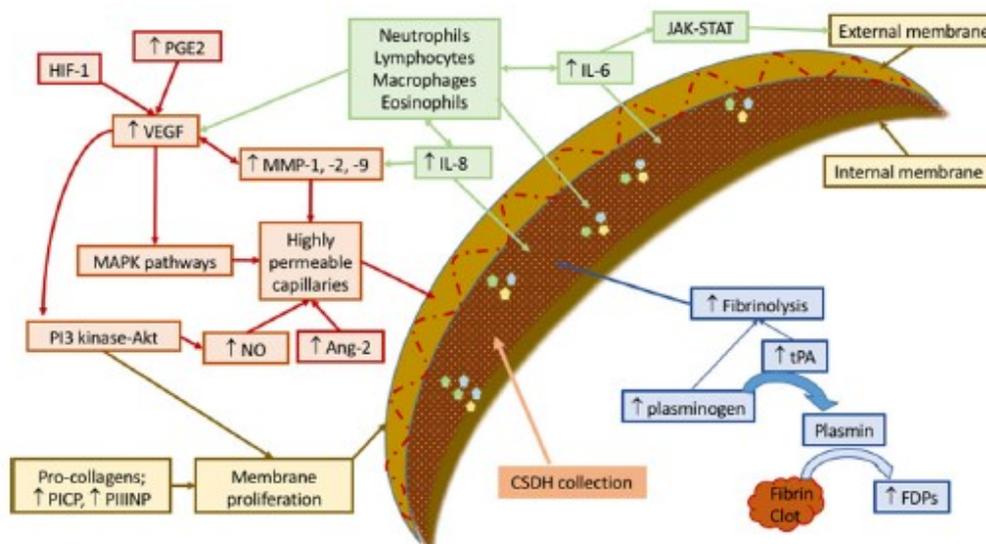


Abb. 5 Zusammenfassende Darstellung von Molekülen und Prozessen, die mit der cSDH-Bildung assoziiert sind (Edlmann et al., 2017).

Entzündungszellen in grün, Angiogenese von hochgradig durchlässigen Zellen und undichte Kapillaren in rot, Membranbildung in braun, Fibrinolyse zur Förderung einer weiteren Blutung in blau (ebd.)

Die Subduralmembran spielt eine wichtige Rolle zur Pathogenese und klinischen Symptomatologie von cSDH. Es besteht aus einer inneren und einer äußeren Schicht, die den Subduralraum bilden und die innere Duraloberfläche begrenzen. Diese ist an der Phagozytose und an der Entwicklung der cSDH-Neomembran mittels Proliferation von fibrösen Bindegeweben beteiligt. Das Vorhandensein von cSDH führt zu einer lokalen Entzündungsreaktion die Granulationsgewebe bildet, das als äußere Membran bekannt ist und durchlässige und sehr poröse Makrokapillaren enthält, die mit ihrer Exsudation zur Vergrößerung des Hämatoms beitragen. Es ist also anzunehmen, dass die innere Membran zur Verflüssigung des Hämatoms beiträgt, während die äußere Membran zur Hämatomvergrößerung beiträgt. Außerdem werden die subduralen Membranen durch Aktivierung der Gerinnungskaskade und Bildung von Thrombin innerhalb des Hämatoms, gefolgt von gerinnungshemmender und fibrinolytischer Aktivität, aufrechterhalten (Sahyouni et al., 2017).

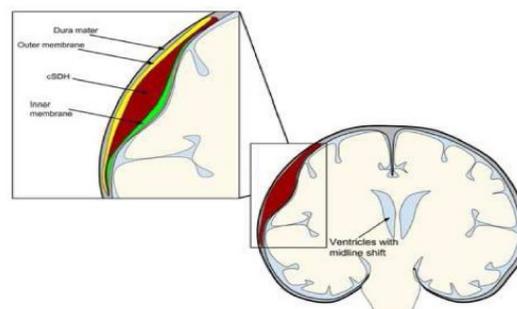


Abb. 6 Darstellung eines cSDHs in koronaler Ansicht sowie seinen zugehörigen inneren und äußeren Membranen. (Sahyouni et al., 2017)

Entzündungszellen, die in den Subduralraum rekrutiert werden, versuchen die Oberflächenzellen zu reparieren und vermehren sich. Durch die pro-angiogenetischen Eigenschaften dieser Zellen sind die dadurch resultierenden Blutgefäße undicht, was zu Mikroblutungen und Flüssigkeitsaustritt in den neuen membrangebundenen Subduralraum zulässt. Dieser Prozess wird „cSDH-Zyklus“ genannt (Edlmann et al., 2017).

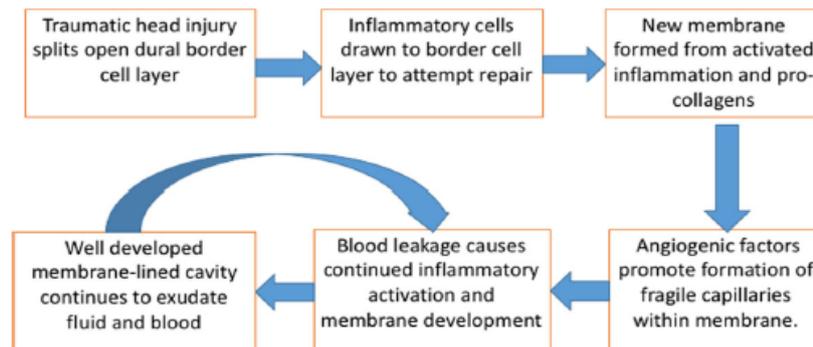


Abb. 7 Der cSDH-Zyklus. Zusammenfassung der pathophysiologischen Prozesse, die an der Bildung einer cSDH beteiligt sind (Edlmann et al., 2017)

Kürzlich wurde postuliert, dass die Entwicklung einer mikrovaskulären Proliferation in den Gerinnseln eines akuten subduralen Hämatoms zu einer raschen Vergrößerung als organisiertes cSDH führen kann (Watanabe et al., 2021).

1.5 Makroskopische Pathologie

Blut im Subduralraum führt zu einer Gewebereaktion an dessen Rändern und zu einer kontinuierlichen Organisation und Resorption des Hämatoms zwischen den Membranen durch Granulationsgewebe. Irgendwann ist das meiste des verflüssigten Koagels innerhalb des cSDHs resorbiert und es verbleibt lediglich eine verdickte dural-arachnoidale Schicht mit wenigen versprengten Taschen von altem Blut gefangen zwischen den inneren und äußeren Membranen (Osborn et al., 2019).

1.6 Epidemiologie

cSDH betrifft jährlich 1–5,3 von 100.000 Personen und ist daher eine relativ häufige Pathologie. Die Prävalenz vom cSDH betrifft insbesondere ältere Männer, mit über 50 % der cSDH-Fälle bei 60-jährigen Patienten und der höchsten Inzidenz (7,35 Fälle pro 100.000) bei Erwachsenen im Alter von 70–79 (Sahyouni et al., 2017).

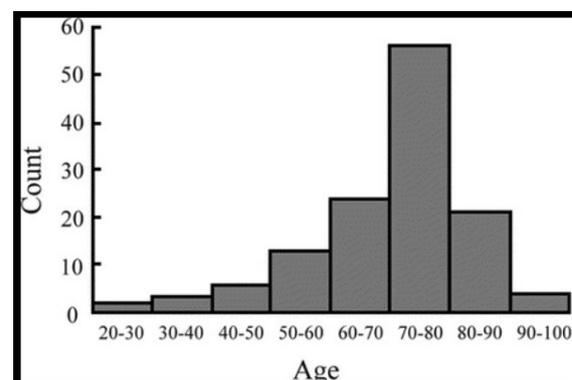


Abb. 8 Altersverteilung von 129 Patienten mit cSDH (Tsai et al., 2010)

Chronischer Alkoholismus ist ein häufig assoziierter Faktor. Andere bekannte prädisponierende Faktoren umfassen Shunt-Verfahren nach Hydrozephalus, Anfallsleiden und Gerinnungsstörungen (Kwon et al., 2000).

Die zunehmende Inzidenz des cSDH in den letzten Jahrzehnten kann gut in einer finnischen Studie nachvollzogen werden. In dieser wurden die epidemiologischen Befunde einer cSDH-Kohorte (1990–2015) publiziert, in der sich die Gesamtinzidenz von 8,2 auf 17,6/100.000/Jahr verdoppelte und bei der Bevölkerung ab 80 Jahren nahezu verdreifachte (Rauhala et al., 2020).

Allerdings sollte man beachten, dass das aktuelle Wissen über die Epidemiologie von cSDH sich auf eine kleine Anzahl bevölkerungsweiter Studien stützt, die im Laufe der Jahre durchgeführt wurden (Feghali, Yang und Huang, 2020).

Die cSDH treten bilateral in etwa 19 % der Fälle auf (Ivamoto et al., 2016).

1.7 Symptome

Die Patienten können leichte Symptome wie Kopfschmerzen, Verwirrtheit, Sprachauffälligkeiten (z. B. Wortfindungsstörung oder Spracharrest, normalerweise mit Läsionen der dominanten Hemisphäre) oder TIA-ähnliche Symptome aufweisen. Oder sie können Somnolenz bis Koma, Hemiparese bis Hemiplegie, oder unterschiedlich starke Krampfanfälle (fokal oder generalisiert) entwickeln (Greenberg, 2016).

1.7.1 Kopfschmerzen

Yamada et al. (2018) untersuchten klinische Daten von 1080 Patienten: Kopfschmerzen wurden in 22,6 % der Fälle eruiert. Die Hämatomdicke war bei Patienten ohne Kopfschmerzen signifikant größer und der durch intraoperative Manometer-Messung bestimmte mittlere Hämatomdruck war nicht signifikant unterschiedlich zwischen Patienten mit und ohne Kopfschmerzen. Daraus schlussfolgerten die Autoren, dass ein hoher Hämatomdruck keine Ursache für Kopfschmerzen war, sondern die Mittellinienverschiebung. Diese sei wiederum auf eine Dehnung oder Verdrehung der schmerzempfindlichen Hirnhäute und meningealen Arterien, respektive Venen, zurückzuführen.

1.7.2 Sprachauffälligkeiten

Aphasie/Dysphasie ist die häufigste Präsentationsform von vorübergehenden neurologischen Defiziten bei Patienten mit cSDH (Blaauw et al., 2022).

1.7.3 Hemisymptomatik

Hemiparese ist eine der wichtigsten klinischen Zeichen der cSDH, weil das Vorhandensein derer eine der Hauptindikationen für einen chirurgischen Eingriff und ein Prädiktor für das postoperative Ergebnis darstellt (Motiei-Langroudi et al., 2019).

Eine lokalisierte Reduktion des zerebralen Blutflusses in der kortikalen Rolando-Region unter dem Hämatom könnte einer der ursächlichen Faktoren der Hemiparese bei cSDH sein (Ikeda, Ito und Yamashita, 1990).

Lokulationen, einseitige Hämatome, älteres Patientenalter, maximale Hämatomdicke und Mittellinienverschiebung könnten mit einer höheren Hemipareserate korrelieren (Motiei-Langroudi et al., 2019).

1.7.4 Psychomotorische Auffälligkeiten

Patienten mit cSDH, die Bewusstseinsstörungen bei der Aufnahme aufweisen, erleben oft schlechte klinische Ergebnisse. Eine multiple logistische Regressionsanalyse zeigte, dass weibliches Geschlecht und Hämodialyse bei bestehendem cSDH signifikant mit schweren Bewusstseinsstörungen ($GCS \leq 8$) in Zusammenhang standen (Honda et al., 2015).

1.7.5 Krampfanfälle

Manche Autoren identifizierten die präoperative Mittellinienverschiebung als unabhängigen Risikofaktor für Krampfanfälle nach chirurgischer Evakuierung eines subduralen Hämatoms, sodass eine perioperative antiepileptische Prophylaxe bei Patienten mit präoperativer Mittellinienverschiebung diskutiert wird (Goertz et al., 2019).

cSDH sollte als wichtige Differenzialdiagnose bei reversibler Demenz berücksichtigt werden (Schebesch et al., 2008). Falls Halluzinationen vorhanden sind, könnte die Unterscheidung zwischen cSDH und Demenz schwierig resultieren (Yadav et al., 2016).

In der Literatur wurden Unterschiede in der klinischen Symptomatik und bildgebenden Präsentation zwischen unilateralen und bilateralen Hämatomen festgestellt. Die Patienten mit bilateralem cSDH zeigten eher Übelkeit oder Erbrechen und einen geringeren Grad an Mittellinienverschiebung, welcher im Computertomogramm in der bilateralen Gruppe beobachtet wurde (Hsieh et al., 2016).

Bislang hat sich kein einheitliches klinisches Graduierungssystem für cSDH durchgesetzt. Allerdings ist die Einteilung nach Markwalder noch gebräuchlich (Schebesch, 2014).

Grad 0	kein neurologisches Defizit
Grad I	milde Symptome: Kopfschmerz, Reflexasymmetrie
Grad II	Schläfrigkeit, Desorientiertheit, fluktuierende Parese möglich
Grad III	Stupor, Hemiplegie, Abwehrreaktion auf Schmerzreiz
Grad IV	Koma, Dezerebration

Abb. 9 Markwalder-Skala (Markwalder et al., 1981)

1.8 Diagnostik

Oft kann die Diagnose vor der Bildgebung unerwartet sein (Greenberg, 2016) und sich als Zufallsbefund ergeben.

Das diagnostische Mittel der Wahl für cSDH ist eine nicht kontrastierte Computertomographie des Kopfes (Mehta et al., 2018). Eine klinische Indikation zur Durchführung ergänzender Bildgebungsverfahren (cMRT, Angiographie, SPECT, PET) ergibt sich im Einzelfall. Einen Sonderfall stellt das isodense cSDH dar, welches in der nativen cCT-Untersuchung nur schwer bzw. gar nicht zur Darstellung kommt. Im begründeten Fall soll daher eine cMRT-Bildgebung erfolgen (Schebesch, 2014).

Im cCT präsentiert sich ein cSDH als sichelförmige Flüssigkeitsschichtung im subduralen Raum (Mehta et al., 2018).



Abb. 10 Native, koronale Computertomographie, die ein cSDH zeigt (Mehta et al., 2018)

Die Dichte der Flüssigkeit basiert auf vielen Faktoren, meistens bedingt durch die Art und Chronizität der Flüssigkeit im Subduralraum. Dort kann sich entweder Blut oder Liquor befinden. Bei subduralen Hygromen ist die Flüssigkeit im CT mit dem ventrikulären Liquor isodens. Ein cSDH erscheint typischerweise als hypodens im CT (Mehta et al., 2018).

CT ist die beste Methode zur Bestimmung des Alters eines Subduralhämatoms, da CT-Befunde den Nachblutung-Koagulation-Fibrinolyse-Zyklus von cSDHs widerspiegeln können (Kwon et al., 2000).

Wenn die Flüssigkeit Blut ist, spielt der Abbau von Hämoglobin in Hämosiderin und Hämochrome eine wichtige Rolle in der Röntgenaufnahme-Charakterisierung (Mehta et al., 2018).

Nach der operativen Behandlung von einseitigen cSDH ist eine systematische postoperative cCT-Kontrolle indiziert und kann helfen, die Nachsorge eines Patienten anzupassen (Dudoit et al., 2016).

1.9 Therapie

1.9.1 Chirurgische Therapie

Da die hämorrhagische Flüssigkeit gerinnungshemmende Faktoren enthält, die zu einem sich selbst erhaltenden Blutungszyklus führen, ist die reine Entfernung des subduralen Hämatoms durch das Bohrloch oft kurativ (Weir, 1980).

Operativ sind verschiedene Techniken von bettseitigen Punktionsverfahren bis zu erweiterten Bohrlochtrepanationen gegebenenfalls mit Drainageeinlage möglich (Hamou et al., 2022). Es können Handbohrer oder Nadelsysteme, sowie Druckluft- oder Elektrobohrer verwendet werden (Schebesch, 2014).

Zusammenfassend stellen diese drei die weltweit am meisten verwendeten chirurgischen Techniken dar.

- Trepanation mit Spiralbohrer (TDC):

Es handelt sich um eine Öffnung des Schädels bis zu einem Durchmesser von 5 mm (Siddique et al., 2022). Normalerweise wird diese mittels einer Handbohrmaschine erledigt und ist auch am Patientenbett in Lokalanästhesie durchführbar (Mehta et al., 2018).

- Bohrlochtrepanation (BHC) mit oder ohne Irrigation und mit oder ohne Anlage einer Subduraldrainage;

Die BHC ist eine Öffnung des Schädels bis zu 30 mm (Siddique et al., 2022). Manche Autoren empfehlen eine 9 oder 12 mm messende BHC (Schebesch, 2014).

Die Hämatomentlastung kann mittels 1 oder 2 Bohrlöchern stattfinden. Für Taussky, Fandino und Landolt (2008) bedeutet die Verwendung eines Bohrlochs anstelle von zwei eine signifikant höhere postoperative Rezidivrate und mehr Wundinfektionen. Für andere Autoren war der Unterschied zwischen den zwei Varianten in Bezug auf die Rezidivrate statistisch nicht relevant (Kansal, Nadkarni und Goel, 2010). Laut Wan et al. (2019) bestehen dazu auch keine signifikanten Unterschiede in der Komplikationsrate und Morbidität. Es besteht ebenso kein signifikanter Unterschied bezüglich der klinischen Ergebnisse, allerdings sollte die Anlage eines einzelnen Bohrlochs wegen des geringeren iatrogenen Traumas bevorzugt werden (Khan, Atif und Boghsani, 2019). Falls 2 Bohrlöcher durchgeführt werden, werden diese 5–8 cm auseinander gebohrt, um eine effektive Spülung des Hämatoms zu ermöglichen (Zolfaghari et al., 2021).

- Kraniotomie und Hämatomevakuuation

Diese Technik besteht darin, ein größere Öffnung (> 30 mm) des Knochendeckels mit anschließender Durotomie, Spülung und Hämatom Evakuierung in Allgemeinanästhesie durchzuführen (Mehta et al., 2018).

Abhängig vom neurologischen Zustand und der Akuität der Beschwerden sowie dem Allgemeinzustand des Patienten, wird die Dringlichkeit der Hämatomentlastung eingeschätzt. Im Einzelfall kann, unter anderem bei stark kompromittierender Gerinnung oder erheblicher Co-Morbidität, zunächst eine abwartende Haltung eingenommen werden (Schebesch, 2014).

Ducruet et al. (2012) schlugen eine Methode zum Entscheidungsprozess beim chirurgischen Management des cSDHs vor, basierend auf der Evaluation des klinischen Zustandes und des eventuellen Vorhandseins und Ausmaß von Membranen in der cCT-Bildgebung.

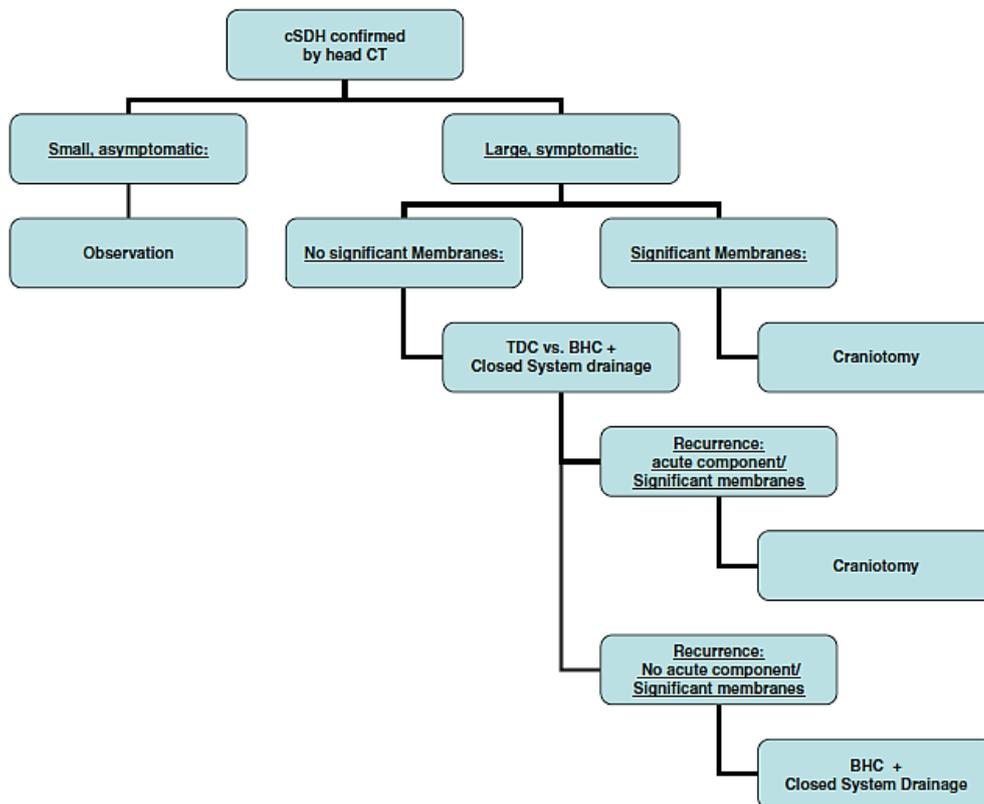


Abb. 11 Flussdiagramm, das den Entscheidungsprozess beim chirurgischen Management von cSDH darstellt (Ducruet et al., 2012)

Es gibt keine einheitliche Einigung über die beste Behandlungsmethode von Subduralhämatomen (Greenberg, 2016).

Eine höhere Rezidivrate wurde bei der TDC (33.0%) im Vergleich zur BHC (12.1%, $p < 0.001$) und Kraniotomie (10.8%, $p < 0.001$) festgestellt, allerdings wurde kein Unterschied bei den Heilungsraten und der Mortalität beschrieben und dem BHC das beste Verhältnis zwischen Heilung und Komplikation angerechnet (Weigel, Schmiedek und Krauss, 2003).

In einer zweiten großen Metaanalyse wurde festgestellt, dass BHC im Vergleich zur TDC (2,5 %, $p < 0,001$) und zur Kraniotomie (3,9 %, $p < 0,005$) mit einer höheren Komplikationsrate (9,3 %) aber mit wenigen Rezidiven (11,7 %) als die TDC (28,1 %, $p < 0,001$) einhergeht und die Kraniotomie (19,4 %, $p = 0,002$) damit verbunden war (Ducruet et al., 2012).

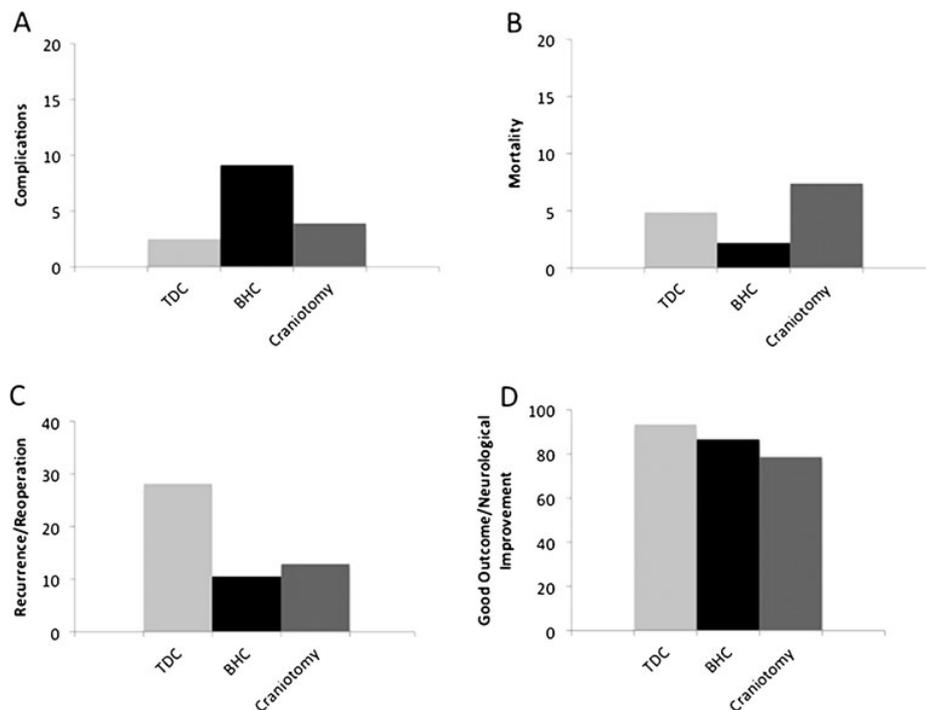


Abb. 12 Balkendiagramm der vier verschiedenen Ergebnismaße, untersucht als Funktion der chirurgischen Technik (Ducruet et al., 2012)

Weiterhin wurde von anderen Kollegen untersucht, dass keine signifikanten Unterschiede in der Heilungsrate ($p = 0,15$), Rezidivrate ($p = 0,99$), Morbidität ($p = 0,05$) oder Mortalität ($p = 0,09$) zwischen TDC und BHC, aber höhere Komplikationsraten bei Kraniotomien bestehen (Almenawer et al., 2014).

In einer Review von Mehta et al. (2018) wurden die oben genannten operativen Methoden mit den entsprechenden Metaanalysen konfrontiert. Die Kollegen berichten, dass diese Studien aufgrund niedriger Evidenz, kleiner Studienpopulationen sowie unterschiedlicher Managementtechniken und Ergebnismessungen limitiert sind.

Neuerdings wurde ein Review einschließlich 111 Artikel publiziert. Die Autoren schildern, dass die Evakuierung des Subduralhämatoms über ein oder zwei Bohrlöcher mit Anlage einer subduralen oder subgalealen Drainageanlage für 24 oder 48 h die bevorzugte chirurgische Methode darzustellen scheint, da sie die beste Korrelation von Heilung zu Komplikationen bietet (Solou et al., 2022).

Auch Huang et al. (2022) behaupten in ihrer Metanalyse, dass die BHC die Rezidiv- Reoperationsrate sowie die Operationsdauer im Vergleich zur Minikraniotomie reduziert.

Die BHC und Drainagenanlage kann auch unter Anästhesie-Standby in lokaler Analgesie durchgeführt werden, vor allem in der alten und multimorbiden Population, bei der eine Intubationsnarkose das perioperative Risiko erhöht. Eine Kraniotomie wird eher nötig, wenn das Hämatom rezidiert oder Hämatommembranen den Abfluss über Drainage bzw. Bohrloch verhindern (Schebesch, 2014).

Die Wirksamkeit der Hämatospülung und die Notwendigkeit der Membranektomie sind noch unzureichend geklärt (Solou et al., 2022).

In einer vor kurzem durchgeführten randomisierten klinischen Studie wurde behauptet, dass die Irrigation mit einer Halbsalz-Lösung das postoperative Hämatomausmaß ($p=0,002$) und die Krankenhausaufenthaltsdauer ($p=0,033$) im Vergleich zu der Verwendung einer konventionellen Lösung signifikant mindert (Mahmoodkhani et al., 2022). Auch laut Kuwabara et al. (2017) reduziere die Verwendung von künstlicher Zerebrospinalflüssigkeit anstelle von einer konventionellen Lösung als Spüllösung deutlich die Rezidivraten.

Die Spülung der cSDH mit Flüssigkeit bei Körpertemperatur anstatt bei Raumtemperatur sollte als Behandlungsstandard angesehen werden. Es wurde nämlich ein statistisch signifikanter Unterschied im Hinblick auf weniger Rezidive nachgewiesen (Bartley et al., 2023).

Ivamoto et al. (2016) postulierten, dass die Anlage einer Drainage nach dem Bohrloch die Rezidivrate ($p < 0,00001$) herabsetzte.

In einer aktuellen retrospektiven Studie wurde untersucht, dass die Erhaltung der subduralen Drainage für mehr als 48 Stunden nicht die klinischen Ergebnisse verbessere und sich außerdem das Wiederauftreten von Hämatomen nicht vermindere. Jedoch erhöhen sich die chirurgischen Komplikationen, einschließlich des Auftretens von kontralateralem Erguss (Lee und Choi, 2022).

Kontrovers ist die Indikation zum Management der Gerinnungshemmung. Neuerdings wurde diesbezüglich eine Übersichtsarbeit publiziert. Grundsätzlich sollte bei Risikopatienten für thromboembolische Ereignisse ein früher Wiederbeginn der gerinnungshemmenden Medikation oder gegebenenfalls die Durchführung der Therapie unter fortgesetzter Gerinnungs- bzw. Thrombozytenaggregationshemmung stattfinden (Hamou et al., 2022).

1.9.2 Nicht-chirurgische Therapie

- „Wait and Watch“ – oder „Wait and Scan“

Dieses Management ist bei Patienten ohne oder mit geringen Symptomen indiziert, was einer Punktzahl bei dem Mark-Walder-Score von 0–1 entspricht (Soleman, Nocera und Mariani, 2017) sowie bei erheblicher Co-Morbidität oder stark kompromittierter Gerinnung (Schebesch, 2014).

- Medikamentöse Therapie

Das Wissen über die konservativen Behandlungsmodalitäten für cSDH ist spärlich und basiert auf kleinen Fallserien und niedriggradiger Evidenz (Soleman, Nocera und Mariani, 2017). Diese Autoren publizierten eine systematische Übersichtarbeit, die wie folgend schematisiert werden kann:

- **orale Steroidbehandlung** bei symptomatischen Patienten, die sich nicht verschlechtern oder sich in einem komatösen Zustand befinden (Typ-C-Empfehlung);
- **Tranexamsäure** wirksam in einer kleinen Patientenserie, aber mit unklarem Risiko, thromboembolische Ereignisse bei Patienten zu verstärken (Typ-C-Empfehlung);
- **Angiotensin-Converting-Enzym-Hemmer** als adjuvante Therapie bei einer Operation;
- **Mannitol** gültige Behandlungsmodalität in kleinen retrospektiven Serien mit vielversprechenden Ergebnissen (Typ-C-Empfehlung). Jedoch lange Behandlungsdauer;
- **Plättchenaktivierungsfaktor-Rezeptorantagonisten** bei Patienten ohne Parese (Typ-C-Empfehlung), da sie die Auflösung des Hämatoms fördern insbesondere bei Patienten mit Hygromen oder Hämatomen niedriger Dichte im cCT;
- **Atorvastatin** für die konservative Behandlung von asymptomatischen oder leicht symptomatischen cSDH-Patienten (Typ-C-Empfehlung).

Nach der Evidenz-Klassifikation der „United States Preventive Services Task Forces“, „National Health Service Centre Reviews“ und „Cochrane Collaboration“ und gemäß der Evidenzstufen I, II, III, bedeutet die Empfehlung des Typs-C einen Mangel an Sicherheit oder sogar Schädlichkeit (Soleman, Nocera und Mariani, 2017).

Die Rolle bei der medikamentösen Behandlung von cSDH fundiert sich aktuell auf der Studie von pathophysiologischen Mechanismen, Tierversuchen und kleinen Patientenstudien (Holl et al., 2018).

Allerdings sind randomisierte kontrollierte Studien derzeit im Gange (Soleman, Nocera und Mariani, 2017).

Die Behandlung mit Steroiden war mit einer geringeren Rezidivrate von cSDH aber mit einem erhöhten Risiko unerwünschter Ereignisse verbunden (Shrestha et al., 2022).

Bei cSDH ohne hyperdense Komponenten wurde die größte Hämatomreduktion und die entsprechende deutlichere klinische Besserung nach Dexamethasontherapie beobachtet (Miah et al., 2023).

- Embolisation der A. meningea media

Als minimal-invasive Behandlung kann diese Technik nach einer Bohrlochoperation eine sichere und wirksame Option zur Vorbeugung eines Rezidivs sein (Dofuku et al., 2023).

In einer kürzlichen Übersichtsarbeit ergab sich der Gesamteindruck, dass die Embolisation der A.meningea media ein sicheres Verfahren mit sehr geringen Komplikationen und einer niedrigen Misserfolgsrate ist, sowohl in Verbindung mit einer Operation als auch im Falle einer alleinigen Behandlung (Di Cristofori et al., 2022).

Diese Technik könnte für ausgewählte ältere Hochrisikopatienten angewendet werden (Seok et al., 2022).

1.10 Prognose

Das Outcome bei chirurgisch behandelten Patienten mit cSDH ist normalerweise gut (Schebesch, 2014).

Die Mehrheit der Patienten, die wegen eines cSDHs operiert wurden, gaben an, dass die Operation ihre Lebensqualität verbessert habe und konnten innerhalb eines Jahres die Rückkehr zu Bewegung und Sport erfahren (Merrill et al., 2020).

Die perioperative Morbidität und Mortalität ist abhängig vom Allgemeinzustand des Patienten und eher niedrig (Schebesch, 2014). Andere Autoren beobachteten bei älteren Patienten eine anhaltende Übersterblichkeit bis zu einem Jahr nach der Diagnose (Miranda et al., 2011).

Kognitive Beschwerden sind mit einem schlechteren funktionellen Ergebnis verbunden, während Kopfschmerzen und höhere GCS-Scores mit einem besseren Ergebnis zusammenhängen (Blaauw et al., 2022).

Adipositas bei Patienten mit cSDH, die sich einer chirurgischen Evakuierung unterziehen, ist mit einer verringerten Sterblichkeit verbunden. Dies wurde von den studierendurchführenden Autoren als „Adipositas-Paradox“ benannt (Hallan, Freedman und Rizk, 2022).

Zwischen unilateralen und bilateralen Hämatomen bestehen keine signifikanten Unterschiede bezüglich postoperativer Komplikationen und klinischer Ergebnisse (Tsai et al., 2010).

1.11 Komplikationen

Epileptische Anfälle, intrazerebrale Blutungen, Pneumatozephalus und subdurales Empyem sind die häufigsten Komplikationen der chirurgischen Behandlung (Greenberg, 2016).

1.11.1 Pneumatozephalus

Die Inzidenz von Pneumatozephalus nach einer cSDH-Operation ist sehr unterschiedlich. Es wurden in der Literatur Inzidenzraten von 14% (Miele, Sadrolhefazi und Bailes, 2005) bis 66 % (Dudoit et al., 2016) festgestellt.

Pneumatozephalus kann unterteilt sein in einen einfachen und Spannungspneumatozephalus. Der erste erfordert keine besondere Behandlung, während beim zweiten eine Notfallbehandlung erforderlich ist, da es sich um einen Ventilmechanismus handelt, der das Eindringen der Luft ermöglicht, aber das Entweichen verhindert. (Xufei et al., 2022).

cSDH sind häufig mit zerebraler Atrophie assoziiert, sowie der damit verbundenen Zunahme des potentiellen Platzes in dem subduralen Bereich. Dies fördert die Kumulation von Luft im subduralen Raum nach der Operation (Ihab, 2012).

Eine weitere mögliche chirurgische Komplikation ist das Auftreten eines kontralateralen Subduralergusses bzw. Hygroms (CSE = contralateral subdural effusion), also einer neu entstehenden Flüssigkeitsansammlung im kontralateralen Subduralbereich mit einer liquorähnlichen CT-Dichte (Lee und Choi, 2022).

Patienten mit hämatologischer Erkrankung oder einer vorangegangenen Shunt-Operation in der Vorgeschichte haben ein erhöhtes Risiko für postoperative akute Blutungen. Außerdem sollten diese Patienten sorgfältig überwacht werden, um eine Überdrainage zu vermeiden (Pang et al., 2015).

1.12 Rezidiv

Eines der Merkmale von cSDH ist die hohe Rezidivrate, die in einigen Studien bis zu 33% betragen kann (Xufei et al., 2022). Trotz der Wirksamkeit der chirurgischen Eingriffe, akkumulieren die Hämatome regelmäßig erneut, was zu einer Reoperation führt (Chavakula et al., 2020).

Als Rezidivfaktoren eines cSDHs wurden Hirnatrophie, präoperative Ausdehnung des cSDHs, massive postoperative subdurale Luft und symptomatische Epilepsie identifiziert (Schebesch, 2014). Andere Faktoren, die in der Literatur beschrieben werden, sind Geschlecht und maligne Neubildungen in der Vorgeschichte (Kim et al., 2015), sowie die Mittellinienverlagerung (MLS) über 10 mm (Jung, Jung und Kim, 2015).

Auch ein Eosinophilen-reiches peripheres Blut wurde als unabhängiger Prädiktor für ein Wiederauftreten von cSDH identifiziert ($p=0,04$) und es konnte belegt werden, dass die Rezidivrate parallel an präoperativer ECPB (Eosinophilenzahl im peripheren Blut) ansteigt (Matsubara et al., 2023).

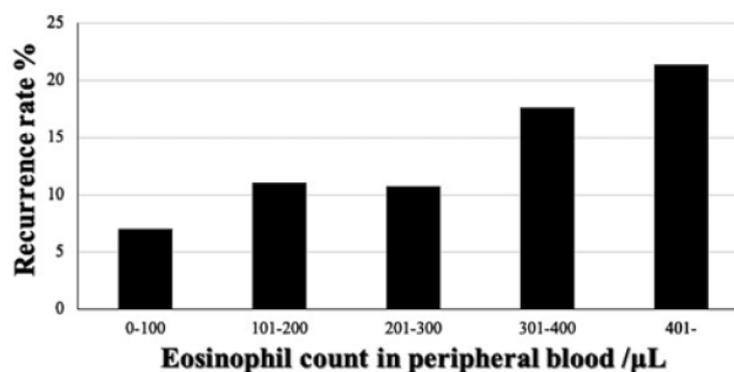


Abb. 13 Zusammenhang zwischen präoperativer ECPB und cSDH-Rezidivrate (Matsubara et al., 2023)

Des Weiteren konnte eine Korrelation zwischen der Densität und Konfiguration des Hämatoms im cCT sowie der Rezidivrate gefunden werden: Hammer et al. (2017) identifizierten die folgenden Rezidivraten. 16% für die homogenen isodensen Hämatome, 0 % für die homogenen hyperdensen Hämatome, 50 % für die homogenen hypodensen Hämatome, 36% für die trabekulären Hämatome, 40 % für die laminaren Hämatome und 57 % für die getrennten Hämatome.

Ebenso attestierten Kim et al. (2015) das Vorhandensein eines isodensen Hämatoms als möglichen Faktor, der ein Rezidiv begünstigen könnte. Die interne Architektur von cSDH spielt daher eine bedeutende Rolle bei dem cSDH-Rezidiv. Je heterogener ein cSDH in der CT-Dichte ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass sich Rezidive entwickeln (Mishra et al., 2022).

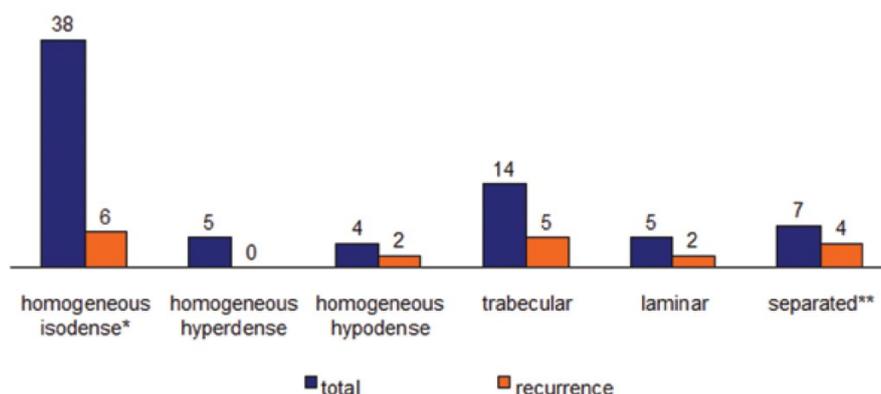


Abb. 14 Rezidivrate abhängig vom cCT-Befund (Hammer et al., 2017)

In der Literatur zeigen die Patientenkollektive ohne Drainage tendenziell einen höheren Rezidivanteil als diejenigen mit Drainage (Yadav et al., 2016).

Kwon et al. (2000) führten eine Studie durch, um die Korrelation zwischen der postoperativen Drainagevolumina und der cCT-Befunde bei Patienten mit cSDH zu untersuchen, sowie die klinische Bedeutung solcher Variationen. Sie erwogen die Möglichkeit hoher Rezidivraten bei den Gruppen mit kleinen postoperativen Drainagevolumina im Vergleich zu denen mit großen Drainagevolumina. Als Nachweis dieser Hypothese legten sie die fünftägige Gesamtdrainagemenge von 200 ml als Grenzwert fest. In der Gruppe von 81 Patienten mit einer Drainagemenge größer als 200 ml traten keine Rezidive auf. Im Gegensatz dazu fanden sie sieben Rezidive bei sechs von 94 Patienten, bei denen das Drainagevolumen weniger als 200 ml war. Es zeigte sich somit ein statistisch signifikanter Unterschied der Rezidivraten bezogen auf das Drainagevolumen von 200 ml ($p < 0,05$).

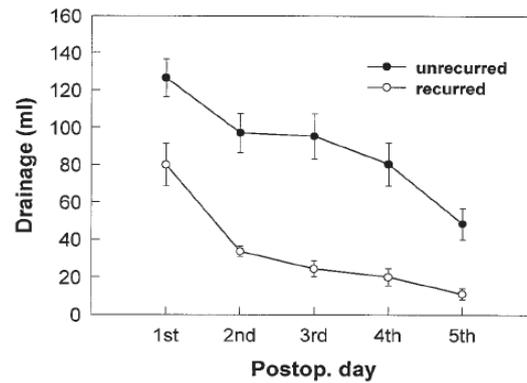


Abb. 15 Diagramm, das einen Vergleich der Drainagemuster zwischen der Gruppe mit Rezidiv und der Gruppe ohne cSDH-Rezidiv zeigt. (Kwon et al., 2000)

1.13 Fragestellungen

In diesem Abschnitt werden die Fragestellungen der vorliegenden Studie erläutert. Diese wurden nach strukturierter Literaturrecherche konstituiert und basieren auf einer akkuraten Analyse des aktuellen Forschungsstands.

1. Wie viel cSDH muss drainiert werden, um eine klinische Verbesserung oder Beschwerdefreiheit der Patienten zu erreichen? Auf welche Symptome hat die relative und absolute Volumenreduktion einen signifikanten Einfluss?
2. Wie ausgeprägt ist der Rückgang der MLS von prä- zu postoperativ und wie korreliert diese Information zu dem klinischen Verlauf des Patienten? Auf welche Symptome hat die relative und absolute Reduktion der MLS einen signifikanten Einfluss?
3. Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein und der Menge postoperativer, subduraler Luft und eventuellen Rezidiv-cSDHs und deren Volumen?
4. Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein und der Menge subduraler Luft im postoperativen cCT und Alter, Geschlecht, initialem cSDH-Volumen, Antikoagulation, Membranen im präoperativen cCT, Seite des cSDHs, Lokalisation der Bohrlöcher, Drainagendicke, OP-Dauer und Vorhandensein von altem Blut oder Hygrom und frischen Komponenten?
5. Welche Faktoren beeinflussen das Auftreten eines Rezidivs? Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten eines Rezidivhämatoms und Alter, Geschlecht, Antikoagulation,

initialem cSDH-Volumen, Membranen im präoperativen CT, Seite des cSDHs, Lokalisation der Bohrlöcher, Drainagendicke, OP-Dauer, Prozent extrahierten Volumens, initialer MLS und Prozent des Rückgangs derer?

6. Sind die initialen Beschwerden relevante Indikatoren eines Rezidiv-Auftretens und eventuell welche der Beschwerdeguppen ist mehr prädiktiv für das Auftreten eines Rezidivs?
7. Welche postoperativen Beschwerden korrelieren am meisten mit dem Rezidiv und dessen Volumen?
8. Welche Faktoren korrelieren mit dem initialen klinischen Bild?
9. Sind empirischen Messungsmethoden eine valide Alternative zu dem Gold-Standard beziehungsweise der CT-gesteuerten Volumetrie zur Evaluierung der chirurgischen Therapieeffektivität und Einschätzung des klinisch-prognostischen Verlaufs?

2 Patienten und Methoden

In diesem Abschnitt wird der Selektionsprozess der Patienten gemäß bestimmter Ein- und Ausschlusskriterien erklärt. Dies ist notwendig, um die oben genannten Fragestellungen richtig zu beantworten. Des Weiteren wird hier die Erhebung der patientenbezogenen Daten inklusive der Symptome und der Eigenschaften des operativen Verfahrens präsentiert. Außerdem wird auf die Methodik vorliegender Messungen eingegangen und unter anderem erklärt, wie die computergestützte Volumetrie angewendet wurde sowie wie die empirischen Messungen erfolgt sind. Der Vergleich zwischen den beiden Methoden wird in einem anderen Abschnitt diskutiert. Schließlich werden die Methoden der statistischen Analyse erläutert.

2.1 Patienten

Der vorliegende Abschnitt legt die Patientenselektion auf Grundlage der Ein- und Ausschlusskriterien dar.

Zunächst wurden alle Patienten mit der Diagnose „cSDH“, die sich zwischen dem 01.01.2013 und 01.01.2023 in unserer Neurochirurgischen Klinik, dem Universitätsklinikum Regensburg, in Behandlung befanden, herausgefiltert.

Die Probanden wurden mithilfe der verfügbaren elektronischen Patientenakten sowie der codierungsbezogenen Suche ausgewählt. Insgesamt wurden 406 Patienten rekrutiert.

2.1.1 Einschlusskriterien

Nach Ausdifferenzierung der Akten der 406 eingeschlossenen Patienten wurden folgende Einschlusskriterien in den Blick genommen:

- Alter 1-99 Jahre;
- Diagnose eines unilateralen cSDHs;
- Behandlung mittels operativer Durchführung eines Bohrlochs und Anlage einer Subduraldrainage;
- Vorhandsein eines präoperativen cCT-Bildes sowie einer postoperativen bildgebenden Kontroll-Untersuchung innerhalb von 2 bis 3 Tagen. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die oben genannten cCT-Bilder qualitativ adäquat auszuwerten waren.

2.1.2 Ausschlusskriterien

Aufgrund gleicher, aber entgegengesetzter Kräfte auf das Gehirnparenchym treten bilaterale cSDH oft mit minimaler bis keiner MLS auf (Mehta et al., 2018). Da für die vollständige Beantwortung vorliegender Fragestellungen die Untersuchung dieses Parameters sehr wichtig ist, wurden alle Patienten mit bilateralen Subduralhämatomen ausgeschlossen.

Zusätzlich wurden alle Patienten ausgeklammert, die ein präoperatives cMRT bekamen, da ein homogener Vergleich mit cCT-Untersuchungen des prä- und postoperativen Zustandes nicht möglich war.

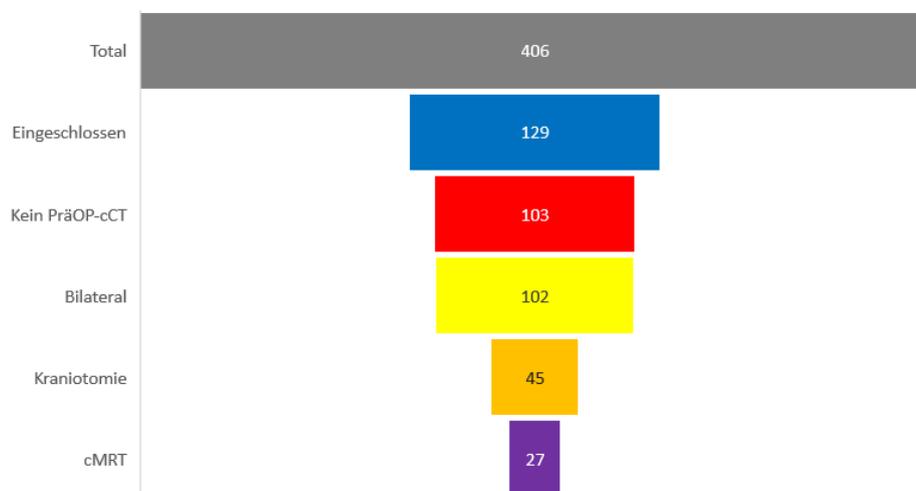


Abb. 16 Trichterdiagramm zur Darstellung der ein- und ausgeschlossenen Patienten

Durch die oben genannte Patientenselektion wurden insgesamt 129 Patienten in diese Studie inkludiert.

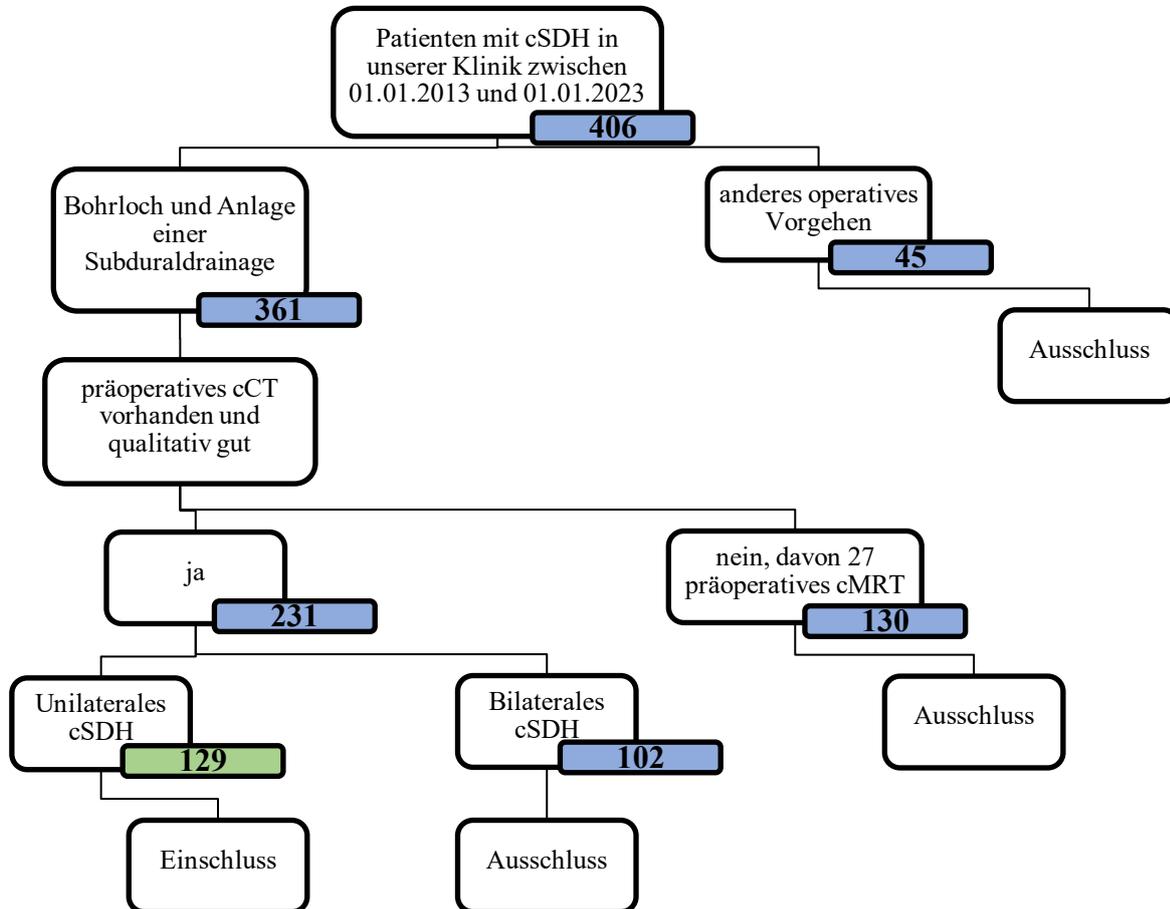


Abb. 17 In diesem Diagramm werden die Ein- und Ausschlussprozesse visualisiert. Die initiale Nummer der Patienten war 406. Final konnten 129 Patienten für vorliegende Untersuchung eingeschlossen werden.

2.2 Methoden

Nach einer Abhandlung über den Prozess der Literaturrecherche sowie der Datenauswertung, wird im folgenden Abschnitt explizit auf die herangezogenen Messmethoden eingegangen.

2.2.1 Literaturrecherche

Grundlegende Quellen für diese Arbeit waren das Buch „Neurochirurgie“ (Moskopp und Wassmann, 2014), das Buch „Osborn’s Brain“ (Osborn et al., 2019), das „Handbook of Neurosurgery“ (Greenberg, 2016), die Website Pubmed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>) und

EMBASE (<https://www.embase.com>) mit der allgegenwärtigen Schlagwortsuche „chronic subdural hematoma“.

Des Weiteren wurden Online-Quellen der Universitätsbibliothek Regensburg herangezogen.

2.2.2 Datenanalyse

Die differenzierte Erhebung der Daten erfolgte mithilfe einer retrospektiven und deskriptiven Methodik.

Als Quelle für teilnehmerbezogene Informationen dienten die elektronischen Patientenakten (Krankenarchiv/AVP) der SAP®-Software (SAP® Deutschland SE & Co.KG, Walldorf, Deutschland), die einer separaten Analyse unterzogen wurden. Nach Erteilung der entsprechenden Erlaubnis erfolgte ebenfalls ein Zugriff auf bereits archivierte SAP-Dokumente.

In dem folgenden Abschnitt wird im Detail auf die strukturierte Erhebung relevanter patientenbezogener Informationen bei den Anamnesen, klinischen Untersuchungen, stationären Verläufen und Operationsprotokollen eingegangen.

2.2.2.1 *Patientenbezogener Informationen*

In diesem Abschnitt wird beschrieben, welche relevanten Informationen zur Definierung einer strukturierten Auswahl der angegebenen Beschwerden erhoben wurden und wie dies geschah.

Zunächst wurde definiert, nach welchen relevanten Informationen in den in der SAP-Software gespeicherten Briefen zu recherchieren sei. Dies inkludierte – neben dem Geschlecht und dem Alter – das Vorhandensein von Hemiparesen, Aphasien, psychomotorischen Auffälligkeiten inklusive Vigilanzminderung sowie Antriebsverlust beziehungsweise Wesensänderungen, Kopfschmerzen und Krampfanfällen. Die oben genannten Beschwerden und objektiven Symptome wurden in den Abschnitten „Anamnese“ und „Klinische Untersuchung“ bezüglich des präoperativen Settings sowie in dem Abschnitt „Therapie und Verlauf“ der archivierten Arztbriefe bezüglich des postoperativen Settings akkurat gefiltert.

Die erhobenen Daten wurden gesammelt und in einer Excel-Tabelle (Microsoft® Corporation, Redmond, Washington, USA) erfasst. Es wurde ein Codierungs-System angewendet: 0 = nicht vorhanden; 1 = vorhanden; 2 = idem; 3 = besser; 4 = schlechter; 5 = neu aufgetreten. Die Kategorien 2, 4 und 5 zusammen stellten insgesamt die Gruppe „keine Besserung“ im Gegensatz zu der Kategorie 3 „Besserung“ dar.

Zur vollständigen Bearbeitung der Fragenstellungen wurden in der gleichen Tabelle auch die folgenden Daten erfasst: Dauer der Operation, Drainagedicke, sowie Lokalisation des Bohrlochs. Diese Daten wurden aus den Operations-Ablaufdokumenten herausgefiltert. Außerdem wurden unter Zuhilfenahme der Operations-Berichte die intraoperativen Eigenschaften des Subduralhämatoms beziehungsweise des Subduralhämatomausflusses beschrieben. Dazu zählen das Vorhandensein einer oder mehreren Hämatommembranen und der Austritt von eher frischem oder altem Blut (altöfärbig, bernsteinfärbig usw.).

Des Weiteren wurden in der Excel-Tabelle die Einnahme von Antikoagulantien, diese wiederum in thrombozytenaggregationshemmende und gerinnungshemmende Medikamente unterteilt, sowie das Auftreten von Komplikationen.

Ein spezieller Fokus lag bei dem Auftreten von Rezidiven, die mit „0 = keine“ oder „1 = vorhanden“ notiert wurden sowie bei der Rezidivoperationsart und zwar Re-Bohrloch und Drainage oder Kraniotomie, ebenso mit dem System „0 = keine“ oder „1 = vorhanden“ in der Excel-Tabelle aufgelistet wurden.

Das Programm Excel kann einzelne Daten übersichtlich darstellen und erlaubt mittels seiner Funktionen schnelle und akkurate Rechnungen sowie grafische Visualisierungen durchzuführen, was für die gesamte Datenauswertung unverzichtbar ist.

2.2.3 Messungen

Zielsetzung des folgenden Abschnittes ist es, die Methode zur Erkennung von subduralen Hämatomen und Hygromen im CT zu spezifizieren. Aufbauend darauf ist es möglich, Grundlagen für die Entstehung der Messungsergebnisse zu präsentieren.

Weiter in den Blick genommen wird die Lokalisation des Hämatoms, Etablierung der initialen cSDH-Dicke, das Vorhandensein von Membranen, die anfängliche Mittellinien-Verlagerung und der postoperative Rückgang derer. Schließlich folgt die Erklärung des Ablaufs der CT-gestützten Volumetrie sowie der Grundlagen, Prinzipien und der Durchführung der verschiedenen empirischen und pragmatischen Messungen, womit das Subduralhämatom-Volumen vor und nach chirurgischer Versorgung sowie die subdurale postoperative Luftmenge bestimmt werden kann.

2.2.3.1 Erkennung des Subduralhämatoms

Bei den qualitativ gut bewertbaren cCT-Bildern der hier 129 eingeschlossenen Patienten wurde das typische Profil eines präoperativen Subduralhämatoms erkannt und zwar eine meist isodense sichelförmige Flüssigkeitsansammlung im subduralen Raum mit oder ohne hyperdense Teile, entweder einer kleinen frischen Einblutungskomponente oder der spezifischen internen Architektur entsprechend.

Ebenso wird in den postoperativen Bildern das Resthämatom und die postoperative Luftansammlung identifiziert sowie die eventuellen Rezidiv-Subduralhämatome.

2.2.3.2 Volumetrische Analyse

Vorliegende Messungen basieren auf den präoperativen und postoperativen kraniellen CT-Untersuchungen bei den eingeschlossenen Patienten. Diese wurden ausschließlich im Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Format ausgewertet. Die CT-Bilder umfassten die im weiteren Verlauf dargestellten Eigenschaften.

Die CT-Bilder stammen aus den SAP-Patientenakten und wurden zunächst mit der Bildbetrachtungssoftware „SYNGO-Viewer Studio VB36D“ (Siemens AG®, Berlin und München, Deutschland) betrachtet. Teilweise mussten die CT-Bilder aus dem Archiv wieder vorgeladen werden. Vom „SYNGO“ wurden die Untersuchungen in das Programm BrainLab“ (Brainlab AG®, München, Deutschland) hochgeladen.

Dieses Programm gehört in unserer neurochirurgischen Klinik zu den Standardverfahren unter anderem zur Markierung von Hirntumoren oder anderen Strukturen wie des Ventrikelsystems für navigierte Kraniotomien oder Anlage von Ventrikelkathetern sowie für die tiefe Hirnstimulation oder stereotaktische beziehungsweise robotergestützte Biopsien. In unserer Klinik wird den Patienten die funktionelle Aufarbeitung im Rahmen der präoperativen Vorbereitung angeboten. Dafür ist das Programm Brainlab auch notwendig.

Mit Hilfe der oben beschriebenen Software erfolgte die dreidimensionale Volumenbestimmung der subduralen Hämatome im cCT vor und nach der operativen Versorgung mittels des neurochirurgischen Verfahrens „Bohrloch und Drainage“ sowie der postoperativen der Luftmengen und der eventuellen Rezidivhämatome bei den Rezidiv-Fällen.

2.2.3.2.1 Ablauf der Messungen

Im Anschluss an den Upload der Bilder in das Programm und die Auswahl der jeweiligen cCT-Reihen, wurde mittels der Funktion „Pan“ zunächst ein Punkt in allen dreien Dimensionen ausgewählt. Darüber hinaus starteten wir die manuelle Markierung der Blutung mittels Funktion „Brush“. Jede Schicht der cCT-Serie musste einzeln identifiziert und markiert werden. Diese Tätigkeit musste sowohl in den axialen a) als auch in den sagittalen b) und coronalen Sequenzen c) erfolgen:

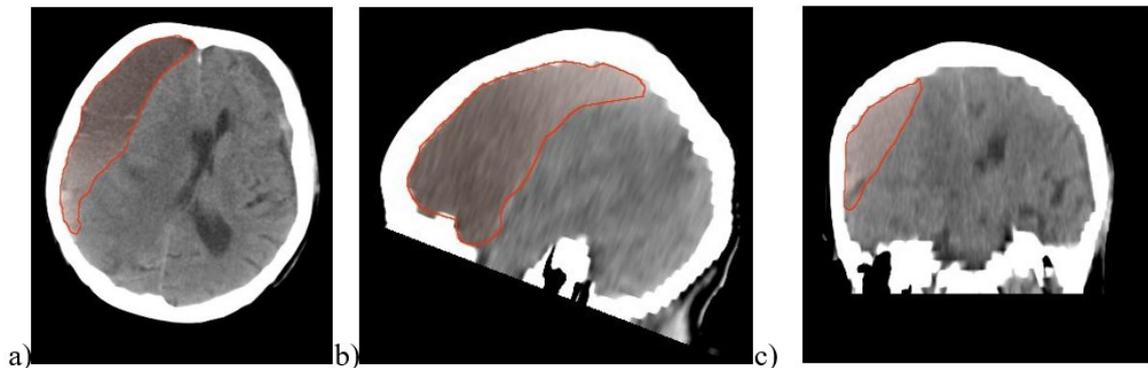


Abb. 18 axiale (a), sagittale (b) und coronale (c) Sequenz der Messung eines präoperativen Subduralhämatoms

Während des gesamten Markierungsprozesses konnte man oben in der rechten Ecke die laufende Berechnung der Blutung in der gewählten Maßeinheit (siehe Abbildung 19) und gleichzeitig oben in der linken Ecke die dreidimensionale Rekonstruktion der Messung im Gange (siehe Abbildung 20) ablesen.



Abb. 19 Darstellung der laufenden Berechnung einer präoperativen Subduralhämatom-Messung in der gewählten Maßeinheit

Nach abgeschlossener Messung und Überprüfung dieser bietet das Programm die Möglichkeit, einen Report zu erstellen mit den folgenden aufgelisteten Parametern und Berechnungen (siehe

Abbildung 21). Für diese Studie war von besonderem Interesse die Ausgabe der Volumeneinheit in cm^3 bzw. in ml. Dieser Prozess wurde sowohl für die präoperativen und postoperativen Subduralhämatome als auch für die Rezidivhämatome angewendet.



Abb. 20 Dreidimensionale Rekonstruktion der Messung im Gange eines präoperativen Subduralhämatoms

Volume:	136.3 cm^3
Macdonald*:	27.9 cm^2 (= 16.3 cm x 1.71 cm)
RECIST**:	16.3 cm

Abb. 21 Report der volumetrischen Messung eines präoperativen Subduralhämatoms

Anschließend erfolgten die Identifizierung, Markierung und dreidimensionale Messung der angesammelten postoperativen Luft in den postoperativen cCT-Untersuchungen (siehe Abbildung 22). Das genaue quantitative Ergebnis konnte ebenfalls aus dem endgültigen Report eruiert werden (siehe Abbildung 23).

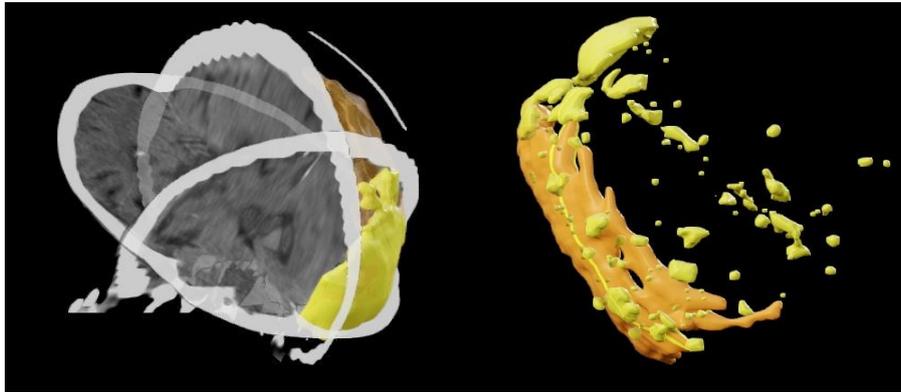


Abb. 22 Dreidimensionale Rekonstruktion der postoperativen Luft (gelb), an Residualvolumen (orange) angrenzend

Volume:	21.5 cm ³
Macdonald*:	13.7 cm ² (= 8.17 cm x 1.68 cm)
RECIST**:	8.17 cm

Abb. 23 Beispiel eines BrainLab-Messungsreports der postoperativen Luft

Dank einer Funktionalität des Programms konnten die verschiedenen gemessenen Einheiten (präoperative subdurale Volumenmenge, postoperative subdurale Volumenmenge, postoperative Luft und subdurales Rezidiv-Volumen) jeweils mit einer verschiedenen Farbe unterstrichen werden (siehe Abbildung 24).

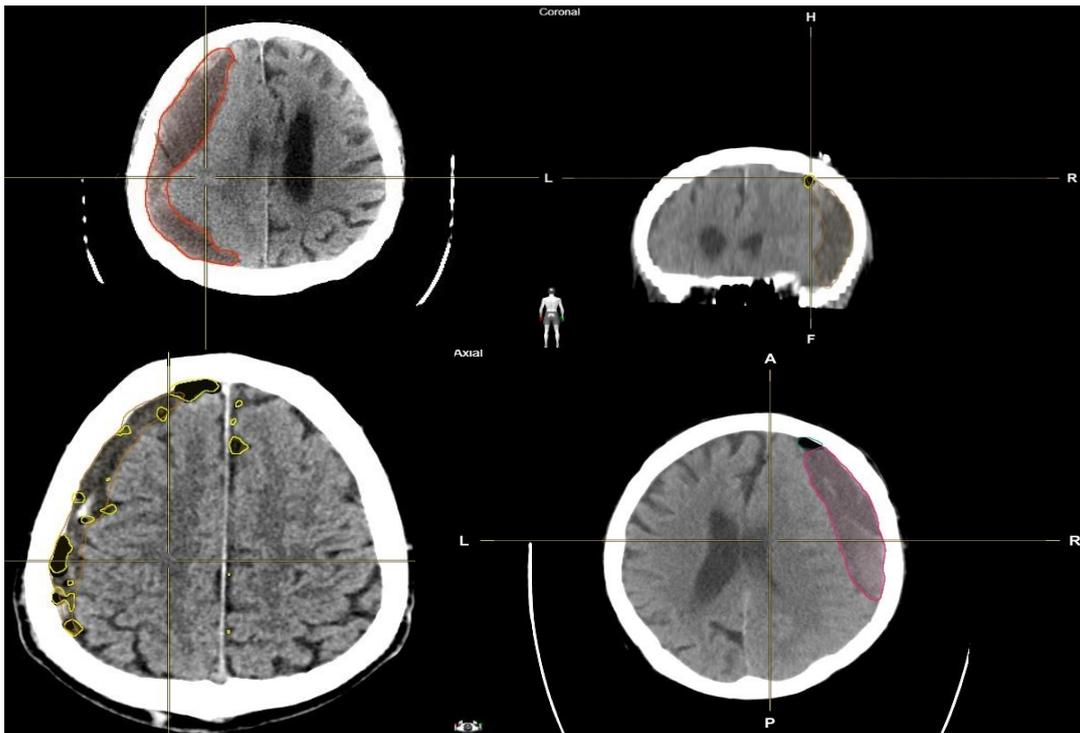


Abb. 24 Darstellung der verschiedenen gemessenen Einheiten (oben links präoperative subdurale Volumenmenge in rot; oben rechts postoperative subdurale Volumenmenge in orange; unten links postoperative Luft in gelb; unten rechts Rezidivhämatom in lila)

Die gesammelten Daten für den jeweiligen Patienten, und zwar präoperatives Subduralvolumen, postoperatives Subduralvolumen, postoperative Luft und Rezidiv-Subduralvolumen, wurden in dieselbe Excel-Tabelle eingetragen.

Mittels der Funktion „Formel einfügen“ der Excel-Tabelle konnte automatisch die relative sowie die absolute Volumen-Reduktion von dem prä- zu dem postoperativen Befund in cm^3 sowie der absolute Wert in Prozent berechnet werden.

2.2.3.3 Empirische Messungen

2.2.3.3.1 Grundlagen

In der Literatur können die folgenden empirischen Methoden zur Messung unter anderem eines cSDH-Volumens angewendet werden.

- „ABC/2 Methode“ oder „Ellipsoid-Methode“

Diese Methode (EM) wurde ursprünglich entwickelt, um das Volumen der arteriovenösen Malformationen zu berechnen. Es basiert auf dem Konzept, dass das Volumen eines Ellipsoids etwa

die Hälfte des Volumens des Parallelepipeds beträgt, in dem es sich befindet (Stocchetti et al., 2000).

Die ABC/2-Methode ist eine einfache und schnelle bettseitige Formel zur Messung des Subduralhämatom-Volumens ohne eingeschränkten Zugriff durch einfache Adaption, die die computergestützte Volumenmessung im klinischen- und Forschungsbereich ersetzt könnte (Won et al., 2018).

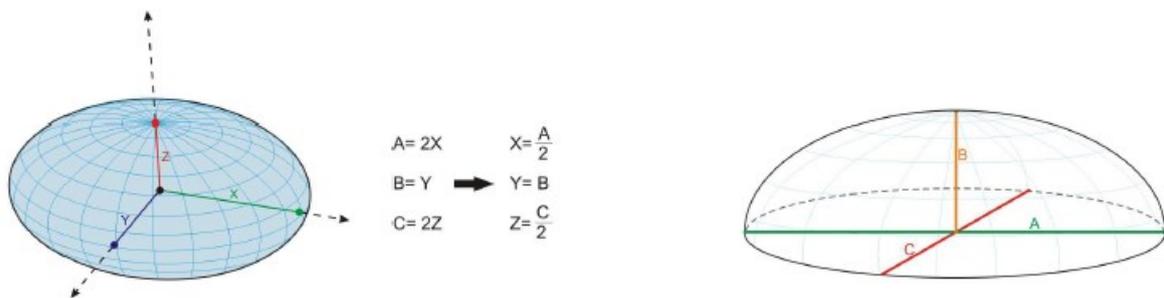


Abb. 25 Beim Einsetzen der A-, B- und C-Werte in die vereinfachte volumetrische Formel eines halben Ellipsoids $2 \times XYZ$, ergibt sich die ABC/2-Formel (Won et al., 2018)

- „Cavalieri-Methode“

Bei dieser Technik wird die interessierende Struktur in parallele Ebenen abgeschnitten. Die Oberfläche der Abschnitte wird geschätzt und mit der mittleren Schnittdicke multipliziert, um das Volumen des untersuchten Objektes bereitzustellen. Die Oberflächen der einzelnen Abschnitte werden mit Punktzählgittern, das heißt transparente Blätter mit Punktsätzen bei bestimmten Dichten, geschätzt. Nachdem sie auf die Abschnitte überlagert wurden, wird die Anzahl der Punkte, die den interessierenden Bereich abdecken, gezählt. Sodann werden die Oberflächen mit der mittleren Schnittdicke multipliziert, um das Volumen des Untersuchungsobjekts zu berechnen (Sonmez et al., 2010).

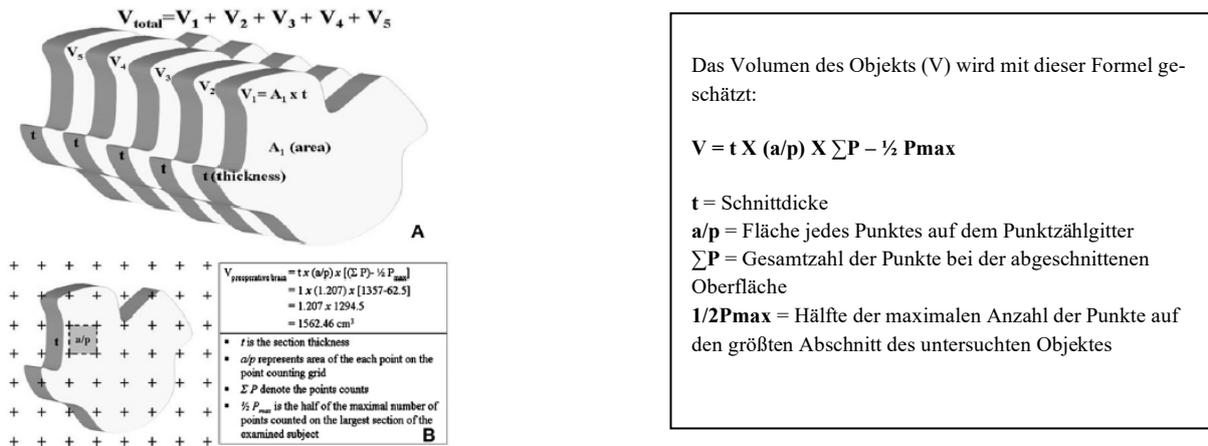


Abb. 26 Diagramme und Volumenberechnung gemäß Anwendung des Cavalieri-Prinzips (Sonmez et al., 2010)

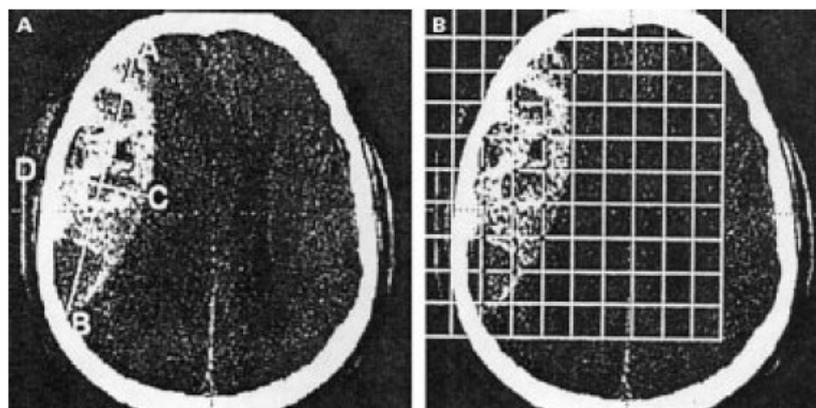


Abb. 27 Darstellung der ABC/2 und der „Cavalieri“-Methode (Stocchetti et al., 2000)

2.2.3.3.2 Ablauf

Bei der Anwendung der „ABC/2 Methode“ wurden die längsten anteroposterioren und mediolateralen Durchmesser identifiziert und senkrecht zueinander berechnet. Danach wurde der kraniokaudale Durchmesser kalkuliert. Dafür wurde die Anzahl der Schichten zwischen oberem Anfang und unterem Ende des Hämatoms mit der Schichtdicke, bei den Bildern vorliegender Studie 0,5 cm, multipliziert.

Die Einheiten aller Längen waren in Zentimeter. Die Volumina wurden in cm³, ml-Äquivalent, angegeben. Anschließend wurde das Hämatomvolumen nach der ABC/2-Formel bestimmt.

Dieses Verfahren wurde sowohl für die prä- und postoperativen Hämatomvolumen, als auch für die Rezidivhämatomvolumen angewendet.

Darauf folgte die Eintragung der kalkulierten Daten in die Excel-Tabelle.

Mittels der Funktion „Formel hinzufügen“ der Excel-Tabelle konnte automatisch die Reduktion des Hämatomvolumens von dem prä- zu dem postoperativen Befund berechnet werden.

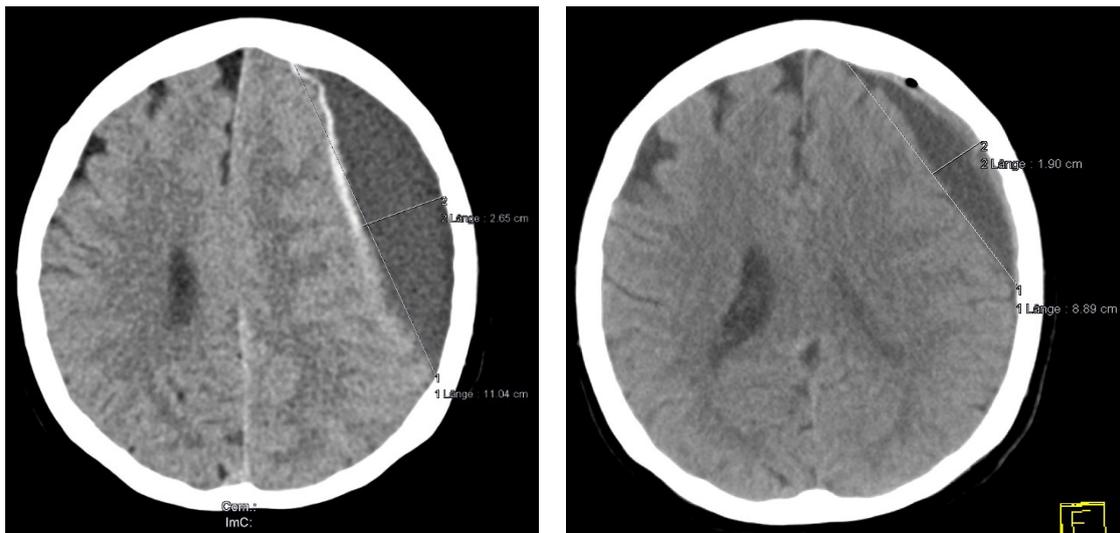


Abb. 28 Beispiel der Messung mittels ABC/2 Methode des prä- und postoperativen Volumens

2.2.3.4 Messung der Mittellinienverlagerung

2.2.3.4.1 Grundlagen

Obwohl es funktionelle Unterschiede zwischen den Gehirnhälften gibt, ist der menschliche Kopf ungefähr bilateral symmetrisch. Sowohl Großhirn als auch Kleinhirn sind symmetrisch mit Lappen, Ventrikeln und tiefen Kernen ähnlicher Größe und Form in beiden Hemisphären. Aus pathologischen Untersuchungen kann eine intrakranielle Raumforderung eine Gehirnverschiebung verursachen, gefolgt von Herniation, Hirnstammkompression und Tod. Die Verschiebung von Mittellinienstrukturen kann sodann die Diagnose unterstützen und kann mittels cCT, cMRT oder Ultraschall (Messung des Inhaltes des dritten Ventrikels) quantifiziert werden. Die Abweichung der gegebenen Mittellinienstruktur von oder idealen Mittellinie wird als MLS bezeichnet (Liao, Chen und Xiao, 2018).

Bullock et al. (2006) beschreiben ausführlich den Grad der Verschiebung des Septum pellucidum (SP) von der idealen Mittellinie auf cCT-Bildern.

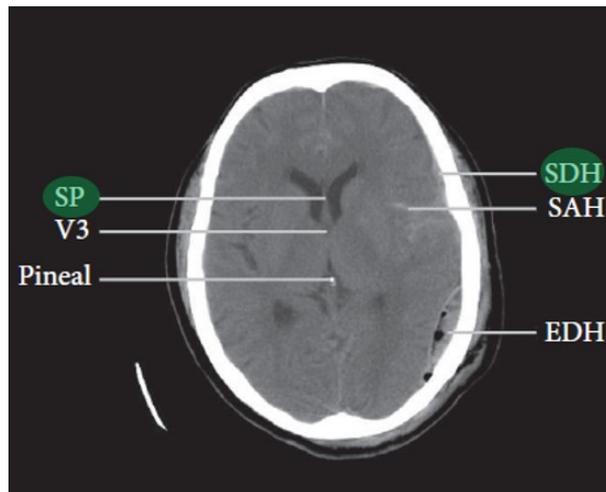


Abb. 29 Axiales cCT-Bild eines Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma. Anatomische Orientierungspunkte zur Messung der Mittellinienverschiebung (Liao, Chen und Xiao, 2018)

Am weitverbreitetsten kann man diesen als Abstand zwischen dem am weitesten entfernten Punkt vom Septum Pellucidum und der idealen Mittellinie bestimmen (Liao, Chen und Xiao, 2018).

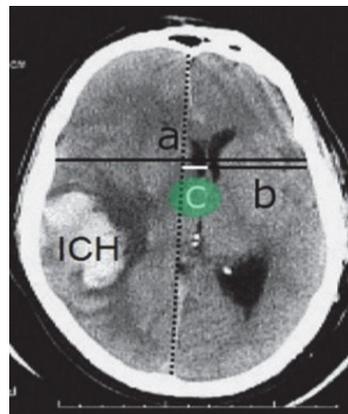


Abb. 30 Messung der Mittellinienverschiebung (c) mithilfe des Abstands zwischen Septum Pellucidum und idealer Mittellinie, hier gestrichelt dargestellt (Liao, Chen und Xiao, 2018)

2.2.3.4.2 Ablauf

Für die Beantwortung vorliegender Fragestellung war die Berechnung der prä- und postoperativen MLS erforderlich. Wir verwenden dafür die cCT-Bildgebung der in der Studie eingeschlossenen Patienten in dem bereits oben beschriebenen „SYNGO-System“.

Nach Darstellung der maximal rostralen und dorsalen Punkte auf die Falx cerebri wurde zunächst die ideale Mittellinie mithilfe der Funktion „Messen“ des Programmes gezeichnet. Anschließend folgte eine Identifizierung des am weitesten entfernten Punktes auf dem Septum Pellucidum. Schließlich erfolgte eine Verbindung dessen mit der idealen Mittellinie. Das System zeigt automatisch die Länge jeder gemessenen Linie. Sodann wurde die Mittellinienverschiebung in Millimeter in die Excel-Tabelle eingetragen.

Mittels der Funktion „Funktion einfügen“ der Excel-Tabelle konnte automatisch die relative Reduktion der MLS von dem prä- zu dem postoperativen Befund in Millimeter sowie der absolute Wert in Prozent berechnet werden.

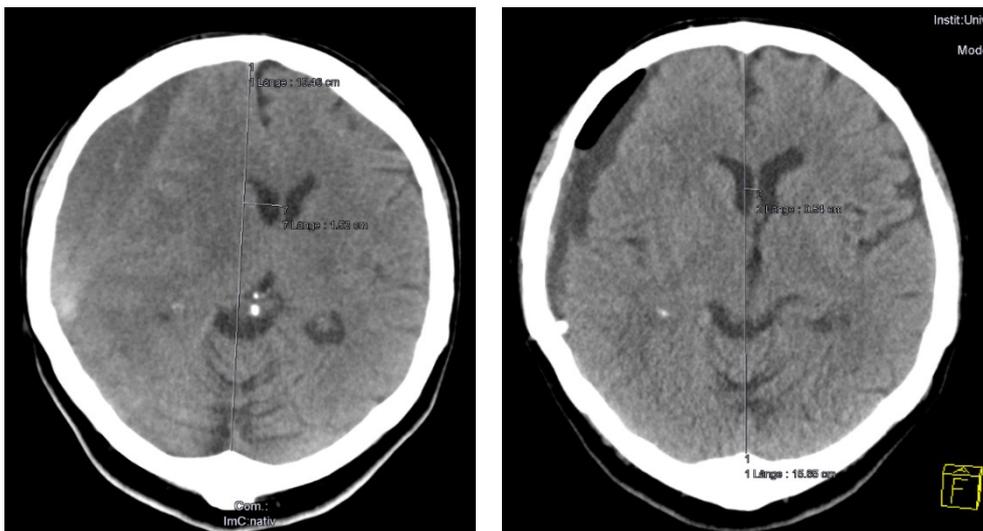


Abb. 31 Beispiel der eigenen Messung der prä- und postoperativen Mittellinienverschiebung

2.2.4 Statistische Analyse

Die Daten wurden mit dem Programm „Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)“ Softwarepaket Version 29.0 (SPSS, Chicago, IL, USA) in Kollaboration mit den Kollegen des Instituts für Statistik, Zentrum für klinische Studien des Universitätsklinikums Regensburg, analysiert.

2.2.4.1 Variablen

Die folgenden präoperativen und postoperativen Daten wurden aufgezeichnet: prä- und postoperative Symptome, Geschlecht, Alter, Verwendung und Art von Antikoagulanzen (Codierung 1, 2 und 3 zusammen = ja; 0 = nein. 1 = Thrombozytenaggregationshemmung, 2= Gerinnungshemmung, 3 = beide), prä- und postoperatives Volumen sowie absoluter Wert und Prozent extrahierten Volumens, initiale MLS und Prozent des Rückgangs derer, Vorhandensein von Luft in dem postoperativen cCT und Luftmenge, Vorhandensein von Membranen, Seite des cSDHs (Codierung 1 = rechts, 2 = links), Lokalisation der Bohrlöcher (Codierung 1 = frontal; 2 = parietal), Drainagendicke und OP-Dauer.

2.2.4.2 Ablauf

Es wurden zunächst deskriptive Statistiken durchgeführt. Folgend wurden univariate (unabhängiger t-Test) Analysen durchgeführt, um die verschiedenen Fragestellungen dieser Arbeit aufzuschlüsseln. Als statistische Signifikanz wurde ein p-Wert $< 0,05$ definiert.

Logistische Regressionen wurden für die dichotomisierten Variablen durchgeführt, lineare Regressionen für die metrischen Variablen. Es erfolgte außerdem eine ROC-Analyse.

Bland-Altman-Plot-Analysen wurden zur Definierung der Abweichung zwischen den Messungsmethoden durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Patientenbezogene Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung der klinischen patientenbezogenen Daten erläutert.

3.1.1 Allgemeine Eigenschaften

Bei den Patienten handelte es sich um 91 (70,54%) Männer und 38 (29,46%) Frauen im Alter zwischen 23 und 92 Jahren mit einem Mittelwert von 74 Jahren. Das Verhältnis männlich zu weiblich betrug 2,4:1.

77 (59,69%) Patienten hatten eine Antikoagulation in der Dauermedikation, 52 (40,31%) nicht. 37 Patienten nahmen thrombozytenaggregationshemmende Medikamente (ASS, Clopidogrel usw.) ein, 34 gerinnungshemmende Medikamente (Marcumar, Heparin, NOAK usw.), 6 beide und 52 keine.

Geschlecht

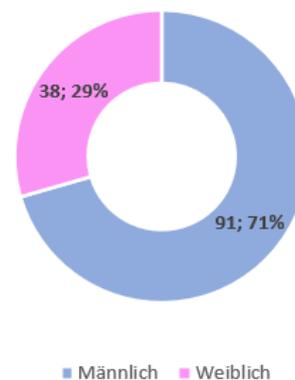


Abb. 32 Ringdiagramm zur Darstellung der Geschlechtsverteilung

Altersverteilung

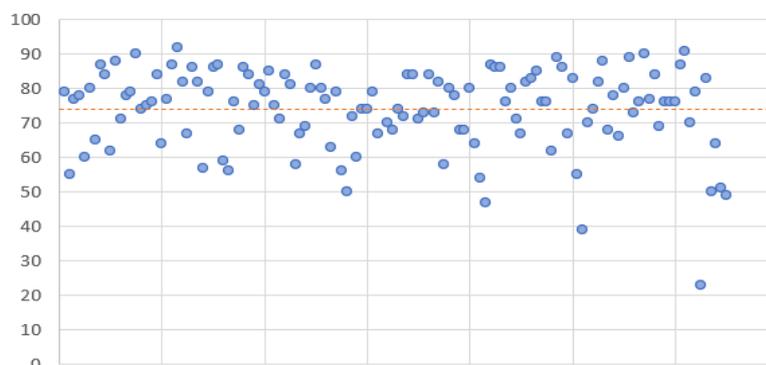


Abb. 33 Streudiagramm zur Darstellung der Altersverteilung der eingeschlossenen Patienten

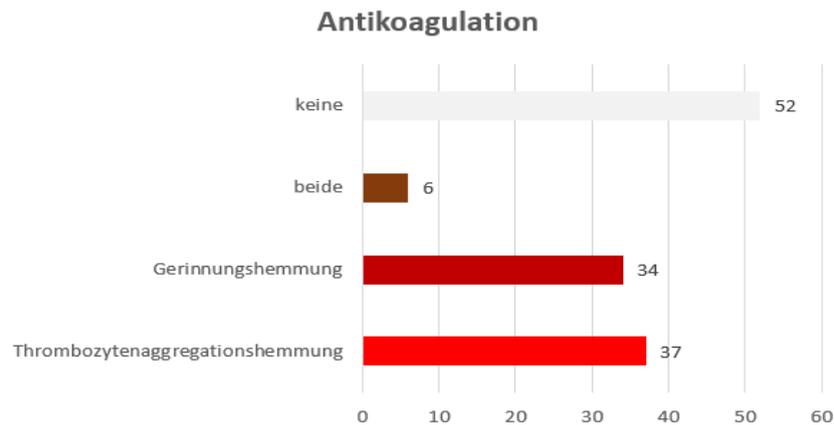


Abb. 34 Balkendiagramm zur Darstellung der Einnahme von blutverdünnender Medikation

3.1.2 Präoperative klinische Eigenschaften

65 (26%) hatten präoperativ eine Hemisymptomatik, 43 (17%) eine Aphasie, 78 (32%) waren psychomotorisch auffällig, 47 (19%) hatten Kopfschmerzen, 14 (6%) Krampfanfälle.

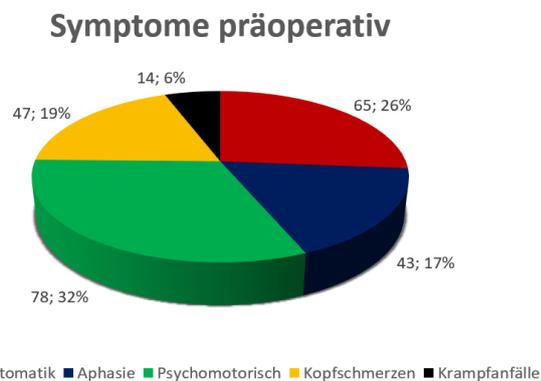


Abb. 35 Kreisdiagramm zur Darstellung der präoperativen Symptomatik

3.1.3 Bildgebende Eigenschaften

Zusammenfassend konnten die folgenden CT-graphischen Eigenschaften eruiert werden.

In 58 (44,96%) Fälle befand sich das Hämatom rechtsseitig, in 71 (55,04%) Fällen linksseitig. Bei 58 (44,96%) Patienten ließen sich Membranen darstellen, dagegen bei 71 (55,04%) nicht. In 118 (91,47%) Fällen handelte es sich um altes Blut, in 11 (8,53%) Fällen um Hygrom. Bei

58 (44,96%) Hämatomen stellten sich frische Blutkomponenten fest, während dies bei 71 (55,04%) nicht zutraf.

3.1.4 Chirurgische Eigenschaften

57 (44,19%) Patienten erfuhren eine Entlastung des Subduralhämatoms mittels eines frontalen Bohrlochs, 71 (55,04%) über ein parietales Bohrloch, 1 (0,77%) Patient bekam zwei Bohrlöcher, frontal und parietal. Die Mehrheit der Patienten bekam ein Bohrloch links parietal.

Die durchschnittliche Operationsdauer betrug 22,87 Minuten bei einer maximalen Zeit von 46 Minuten und einer minimalen Dauer von 7 Minuten.

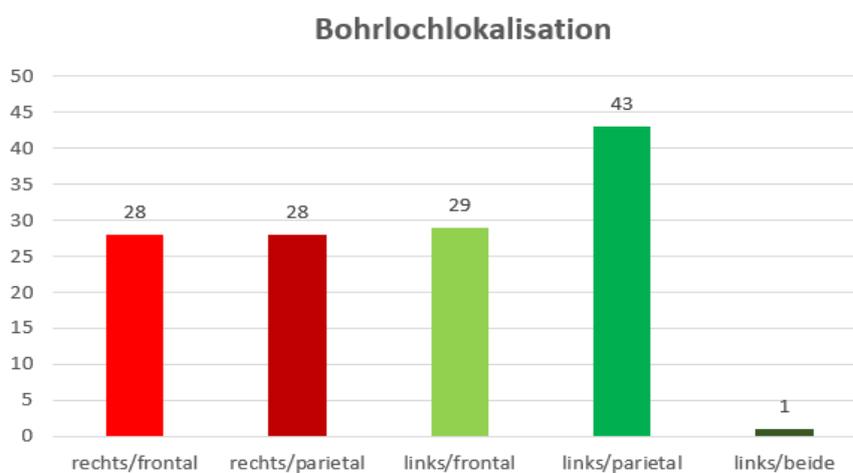


Abb. 36 Säulendiagramm zur Darstellung der Bohrlochlokalisierung

Die deutliche Mehrheit der Patienten (n=51) erhielt eine 12 Charriere-Drainage, bei 10 Patienten wurde eine kleinere Drainage angelegt, bei 10 einer größere. Bei 58 Patienten konnten wir mit einer Informationen-Suche in der SAP-Software diesbezüglich keine Angaben finden.

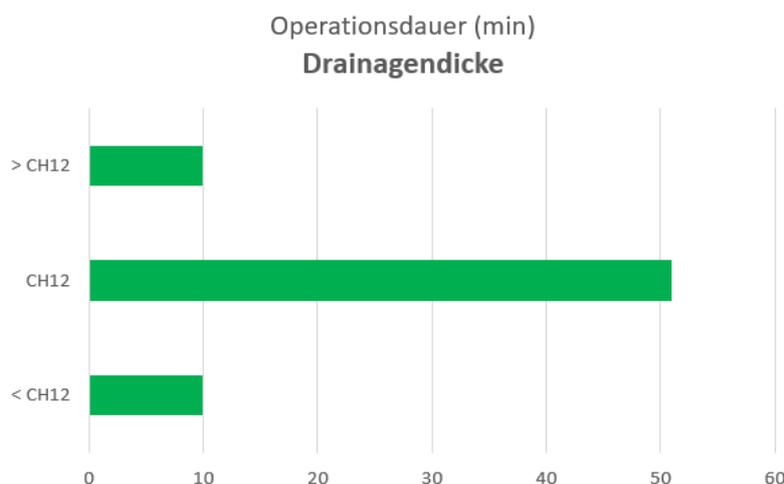


Abb. 37 Balkendiagramm zur Darstellung der Drainagendicke

<i>Eigenschaften</i>	<i>Patientenanzahl n (%)</i>
<i>Geschlecht</i>	
<i>männlich</i>	91 (70,54)
<i>weiblich</i>	38 (29,46)
<i>Alter</i>	
<i>min.</i>	23
<i>max.</i>	92
<i>Antikoagulation</i>	
<i>ja</i>	11,96 (\pm 13,7)
<i>nein</i>	12,46 (\pm 18,9)
<i>Seite</i>	
<i>rechts</i>	58 (44,96)
<i>links</i>	71 (55,04)
<i>Altes Blut/Hygrom</i>	
<i>Altes Blut</i>	118 (91,47)
<i>Hygrom</i>	11 (8,53)
<i>Membranen</i>	
<i>ja</i>	58 (44,96)
<i>nein</i>	71 (55,04)
<i>Frische Komponenten</i>	
<i>ja</i>	58 (44,96)
<i>nein</i>	71 (55,04)
<i>Bohrlochlokalisation</i>	
<i>frontal</i>	57 (44,19)
<i>parietal</i>	71 (55,04)
<i>bds.</i>	1 (0,77)

<i>Drainagendicke</i>	
<12	10 (14,08)
12	51 (71,84)
>12	10 (14,08)
<i>Operationsdauer (min)</i>	
<i>max.</i>	46
<i>min.</i>	7

Tab. 1 Deskriptive Daten

3.1.5 Postoperative klinische Eigenschaften

Postoperativ erfuhren 98 Patienten (76%) insgesamt eine klinische Besserung. Die Hemisymptomatik wurde besser in 80,6 % (n=54) der Fälle, die Aphasie in 68,2 % (n=30), psychomotorische Einschränkungen in 78,5 % (n=62), Kopfschmerzen in 87,2 % (n=41), Krampfanfälle in 61,1 % (n=11).

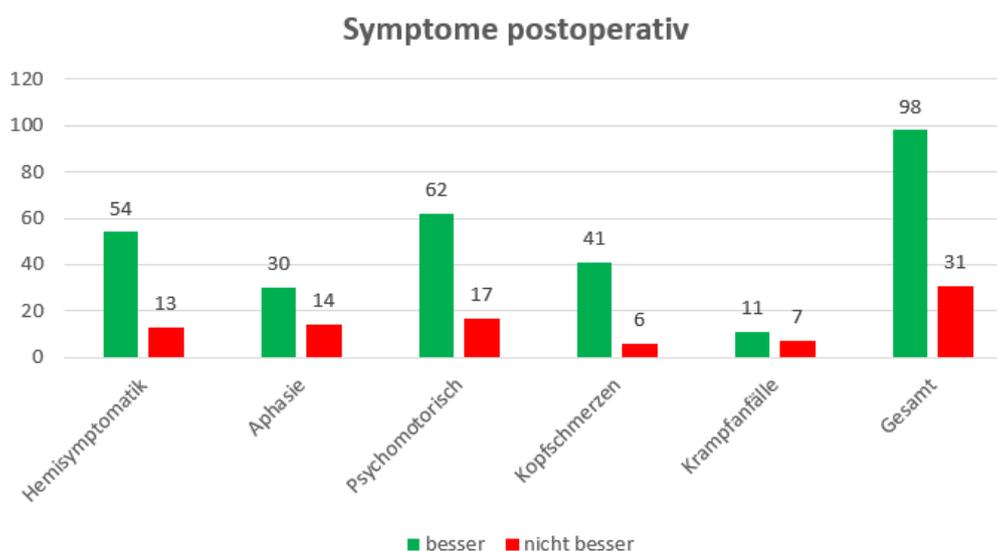


Abb. 39 Symptome postoperativ

3.2 Ergebnisse der Messungen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Messungen des präoperativen und postoperativen Subdurallhämatomvolumens sowie der relativen und absoluten Volumenreduktion erläutert. Außerdem wird der Vergleich zwischen den volumetrischen und empirischen Messungsmethoden präsentiert. Des Weiteren erfolgt eine Erläuterung der Ergebnisse der Messungen der postoperativen Luft sowie der präoperativen und postoperativen MLS mit dem relativen und absoluten Rückgang.

3.2.1 Hämatomvolumen

3.2.1.1 Prä- und postoperatives Volumen

3.2.1.1.1 Volumetrische Messung

In der CT-gesteuerten volumetrischen Messung ergab sich ein durchschnittliches präoperatives Hämatom vom 102,42 ml mit einer Standardabweichung von 41,16 ml bei maximal gemessenem Volumen von 201,4 ml, und minimalem Volumen von 21,9 ml. Das durchschnittliche postoperative Hämatom mit 54,57 ml zeigte sich mit einer Standardabweichung von 34,27 ml bei maximal gemessenem Volumen von 253 ml, und minimalem Volumen von 1,61 ml.

3.2.1.1.2 Empirische Messung

In der empirischen ABC/2-Messung ergab sich ein durchschnittliches präoperatives Hämatom von 113,10 cm³ (ml) mit einer Standardabweichung von 44,25 ml bei maximal gemessenem Volumen von 207,64 ml, und minimalem Volumen von 25,70 ml sowie einem durchschnittlichen postoperativen Hämatom von 62,93 ml mit einer Standardabweichung von 36,34 ml bei maximal gemessenem Volumen von 268,01 ml, und minimalem Volumen von 1,91 ml.

3.2.1.2 Relative Volumenreduktion

3.2.1.2.1 Volumetrische Messung

Mit Ausnahme von einem Fall brachte die Operation eine Reduktion des subduralen Volumens. Im Durchschnitt zeigte sich in der CT-gesteuerten volumetrischen Messung eine relative Volumenreduktion des subduralen Volumens zwischen dem präoperativen und dem postoperativen Befund um 48,64 ml mit einer Standardabweichung von 32,33 ml bei maximal gemessener relativer Volumenreduktion von 149,79 ml, und minimaler relativer Volumenreduktion von – 51,60 ml. Der negative Wert, der hier und in den anschließenden Abschnitten berichtet wird,

entspricht dem oben genannten einzigen Fall, bei dem eine postoperative Zunahme des Subduralhämatoms erfolgte.

3.2.1.2.2 Empirische Messung

In der empirischen ABC/2-Messung betrug die Volumen-Reduktion des subduralen Volumens zwischen dem präoperativen und dem postoperativen Befund durchschnittlich 50,18 ml mit einer Standardabweichung von 34,79 ml bei maximal gemessener Volumenreduktion von 156,57 ml, und minimaler Volumenreduktion von -75,38 ml.

3.2.1.3 Absolute Volumenreduktion

3.2.1.3.1 Volumetrische Messung

Die Volumenreduktion wurde zusätzlich in Prozent kalkuliert. Daraus resultierte eine im Durchschnitt absolute Volumenreduktion des subduralen Volumens zwischen dem präoperativen und dem postoperativen Befund um 47,43 % mit einer Standardabweichung von 21,54 % bei maximal gemessener absoluter Volumenreduktion von 97,98 %, und minimaler absoluter Volumenreduktion von -25,62 %.

3.2.1.3.2 Empirische Messung

In der empirischen ABC/2-Messung betrug die Volumen-Reduktion des subduralen Volumens zwischen dem präoperativen und dem postoperativen Befund etwa 44,2 % mit einer Standardabweichung von 21,7 % bei maximal gemessener Volumenreduktion von 97,6 %, und minimaler Volumenreduktion von -39,1 %.

3.2.1.4 Vergleich der volumetrischen mit den empirischen Messungen

3.2.1.4.1 Abweichung

Anhand der Bland-Altman-Plot Analyse war die Abweichung zwischen den CT-gesteuerten volumetrischen Messungen der präoperativen Hämatome und der empirischen Messungen mittels ABC/2-Formel um etwa 8,77 Punkte im Übermaß zu eruieren. Bei den postoperativen Hämatomen betrug diese rund 7,24 Punkte. Ein ähnliches Vermessungsausmaß (8,01) wurde aufgefunden, falls die beiden Messungen kumuliert werden. Auch bei den Rezidiven findet man eine Überschätzung von 8,32 Punkten und falls man die gesamten Messungen sammelt, liegt der Wert bei 8,04.

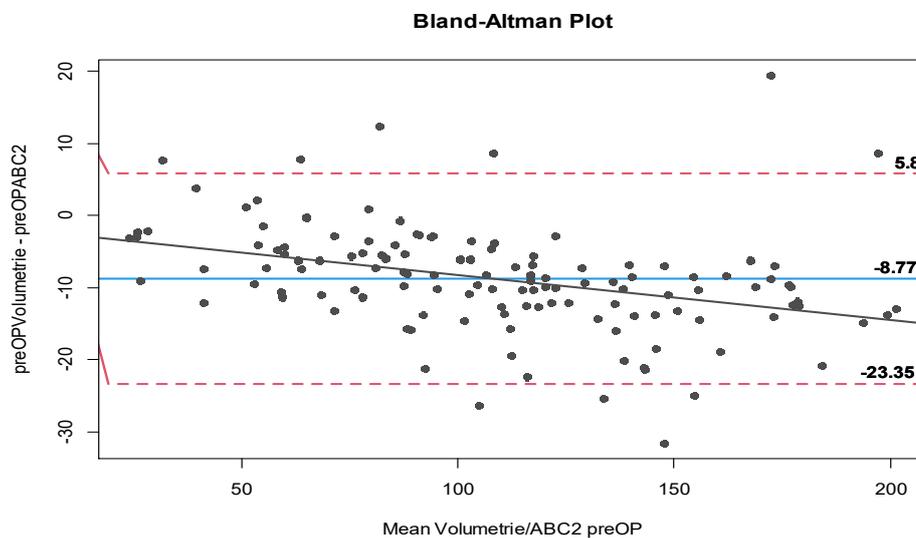


Abb. 40 Bland-Altman-Plot Analyse zur Darstellung der Abweichung zwischen den CT-gesteuerten volumetrischen Messungen und den empirischen Messungen der präoperativen Hämatome

Die deutliche Mehrheit der empirischen Messungen befindet sich im Rahmen eines statistisch definierten Akzeptanzbereichs. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die ABC/2-Formel ge-

nauer bei kleinen als bei größeren Volumina ist. Die Regressionslinie zeigt nämlich eine kontinuierliche Reduktion der Genauigkeit der empirischen Messungen im Vergleich zu den computerassistierten Messungen bei steigendem Hämatomvolumen.

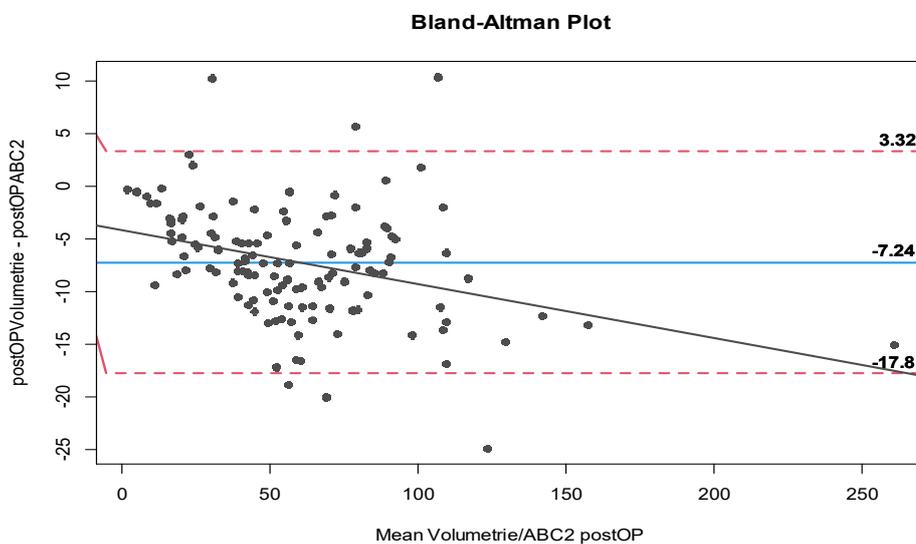


Abb. 41 Bland-Altman-Plot Analyse zur Darstellung der Abweichung zwischen den CT-gesteuerten volumetrischen Messungen und den empirischen Messungen der postoperativen Hämatome

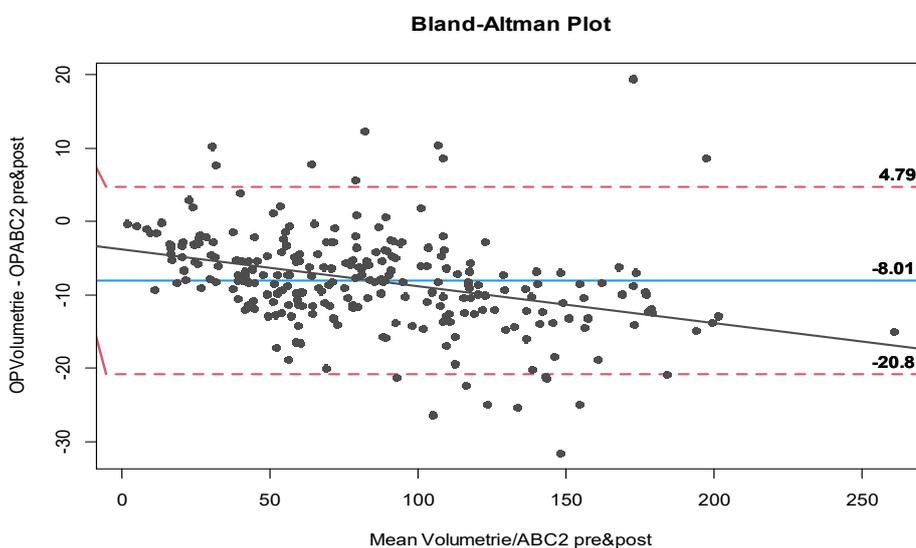


Abb. 42 Bland-Altman-Plot Analyse zur Darstellung der Abweichung zwischen den prä- und postoperativen CT-gesteuerten volumetrischen Messungen und den empirischen Messungen

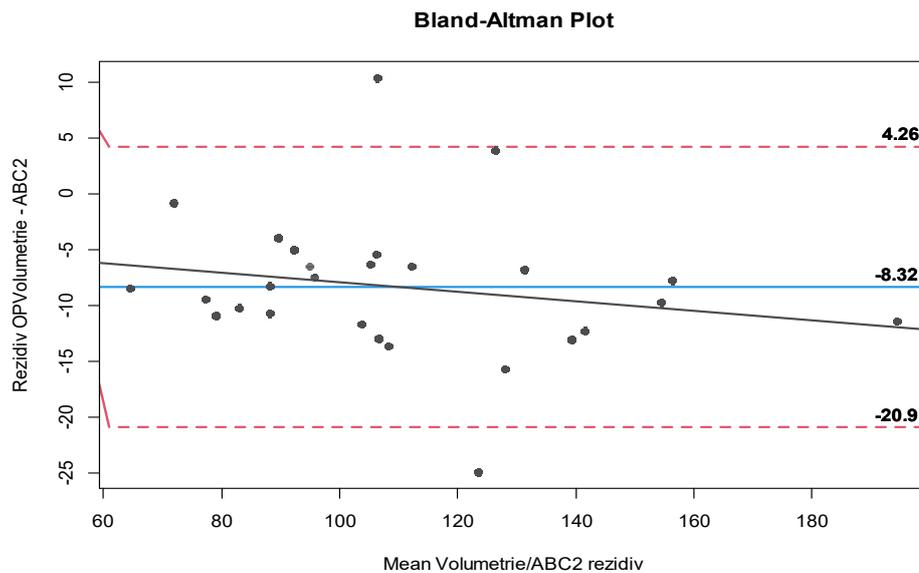


Abb. 43 Bland-Altman-Plot Analyse zur Darstellung der Abweichung zwischen den CT-gesteuerten volumetrischen Messungen und den empirischen Messungen der Rezidive

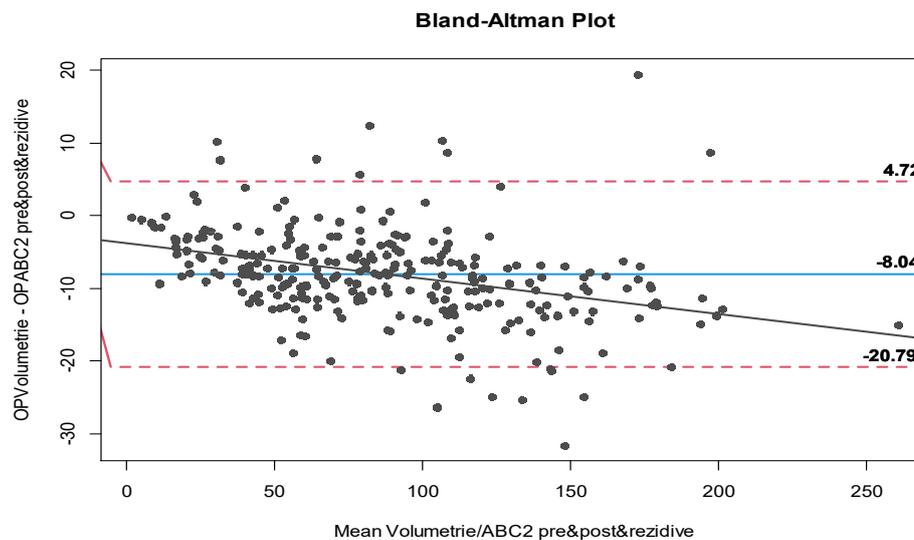


Abb. 44 Bland-Altman-Plot Analyse zur Darstellung der Abweichung zwischen den gesamten CT-gesteuerten volumetrischen Messungen und den empirischen Messungen

3.2.1.4.2 Zeit der Messungen

Die computerassistierten volumetrischen präoperativen Messungen benötigten durchschnittlich 617,96 Sekunden, die postoperativen 588,29 Sekunden.

Die durchschnittliche Zeit der empirischen präoperativen und postoperativen Messungen betrug im Gegensatz jeweils 37,16 und 36,07 Sekunden.

3.2.2 Mittellinienverlagerung

3.2.2.1 Prä- und postoperative Mittellinienverlagerung

Es wurde eine durchschnittliche präoperative MLS von 8,98 mm mit einer Standardabweichung von 4,28 mm bei maximal gemessenem Wert von 19,4 mm, und minimalem Wert von 2,5 mm festgestellt. Außerdem zeigte sich eine durchschnittliche postoperative MLS von 4,15 mm mit einer Standardabweichung von 2,84 mm bei einem maximal gemessenen Wert von 20,4 mm, und minimalem Wert von 0,5 mm.

3.2.2.2 Rückgang der Mittellinienverlagerung

3.2.2.2.1 Relativer Rückgang

Somit wurde ein durchschnittlicher relativer Rückgang der MLS zwischen dem präoperativen und dem postoperativen Befund von 4,83 mm mit einer Standardabweichung von 3,22 mm bei maximal gemessenem Wert von 13,40 mm, und minimalem Wert von - 4,60 mm etabliert (bei postoperativer Zunahme des Subdurallhämatoms).

3.2.2.2.2 Absoluter Rückgang

Der Rückgang der MLS wurde zusätzlich in Prozent kalkuliert und ergab im Durchschnitt einen absoluten Rückgang der MLS zwischen dem präoperativen und dem postoperativen Befund um 53,63 % mit einer Standardabweichung von 22,22 % bei maximalem absoluten Wert von 89,86 %, und minimalem absoluten Wert von - 29,11 %.

3.2.3 Postoperative Luft

Die Ansammlung postoperativer Luft zeigte sich bei allen hier untersuchten Patienten. In der CT-gesteuerten volumetrischen Messung ergab sich insgesamt eine durchschnittliche postoperative Luftansammlung vom 12,16 ml mit einer Standardabweichung von 15,93 ml bei maximal gemessenem Volumen von 117 ml, und minimalem Volumen von 0 ml.

3.2.4 Rezidivhämatom

Zwischen den untersuchten 129 Patienten konnten wir 31 Hämatom-Rezidive feststellen. Das betrug 24,03 %.

In der CT-gesteuerten volumetrischen Messung ergab sich ein durchschnittliches Rezidivhämatom vom 105,73 ml mit einer Standardabweichung von 29,15 ml bei maximal gemessenem Volumen von 188,6 ml, und minimalem Volumen von 60,4 ml.

In der empirischen ABC/2-Messung erwies sich ein durchschnittliches Rezidivhämatom von 114,06 ml mit einer Standardabweichung von 30,41 ml bei maximal gemessenem Volumen von 199,95 ml, und minimalem Volumen von 68,78 ml.

3.3 Ergebnisse der Korrelationen

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der statistisch ausgewerteten Korrelationen zwischen den festgelegten Variablen zur Beantwortung der Fragestellungen präsentiert.

3.3.1 Relative Volumenreduktion – klinische Besserung

Einfluss der relativen Volumenreduktion auf die klinische Besserung der Patienten

Die relative Reduktion des Volumens hat einen signifikanten Einfluss für die Endpunkte Hemisymptomatik (OR 1,051; 95 % Konfidenzintervall: 1,015 – 1,089; $p=0,006$), psychomotorische Auffälligkeiten (OR 1,075; 95 % Konfidenzintervall: 1,036 – 1,117; $p=0,000$), Kopfschmerzen (OR 1,107, 95 % Konfidenzintervall: 1,031 – 1,188; $p=0,005$) und für den Endpunkt gesamte Besserung (OR 1,051, 95 % Konfidenzintervall: 1,026 – 1,076; $p=0,000$).

3.3.2 Absolute Volumenreduktion – klinische Besserung

Einfluss der absoluten Volumenreduktion auf die klinische Besserung der Patienten

Die absolute Volumenreduktion hat einen signifikanten Einfluss für die Endpunkte Hemisymptomatik (OR 1,058, 95 % Konfidenzintervall: 1,019 – 1,097; $p=0,003$), psychomotorische Auffälligkeiten (OR 1,044, 95 % Konfidenzintervall: 1,017 – 1,072; $p=0,002$), Kopfschmerzen (OR 1,074, 95 % Konfidenzintervall: 1,006 – 1,148; $p=0,033$) und für den Endpunkt gesamte Besserung (OR 1,032, 95 % Konfidenzintervall: 1,013 – 1,051; $p=0,001$).

Es konnte ein optimaler Cut-off der Subduralvolumenreduktion um 43% (AUC 0,726) kalkuliert werden, um insgesamt eine klinische Besserung zu erfahren. Es wurde eine ROC-Analyse durchgeführt (Sensitivität = 72%, Spezifität = 68%).

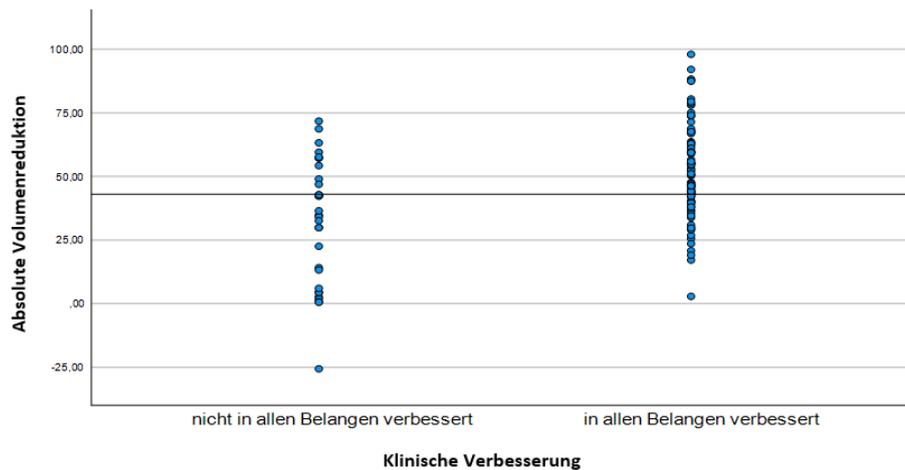


Abb. 45 Streudiagramm der klinischen Verbesserung in Relation der absoluten Volumenreduktion mit dem optimalen Cut-off bei 43%

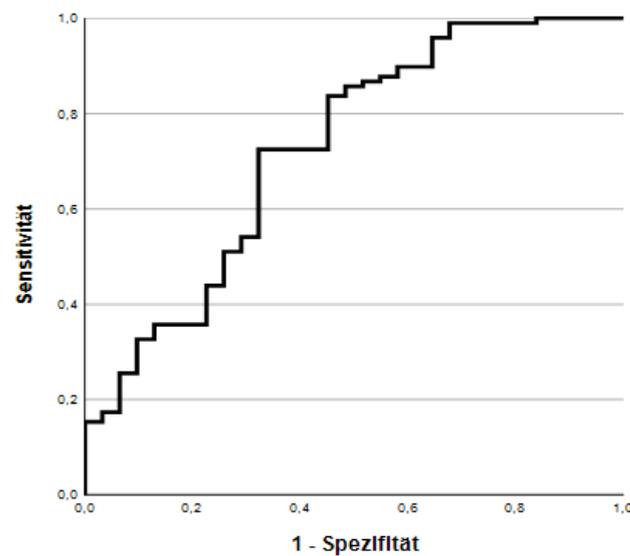


Abb. 46 ROC-Kurve. Sensitivität = 72%, Spezifität = 68%.
AUC = 0,726

3.3.3 Relativer MLS-Rückgang – klinische Besserung

Einfluss des relativen Rückgangs der MLS auf die klinische Besserung der Patienten

Der relative Rückgang der MLS zeigte einen signifikanten Einfluss für die Endpunkte Hemi-symptomatik (OR 1,040, 95 % Konfidenzintervall: 1,010 – 1,071; $p=0,010$), psychomotorische Auffälligkeiten (OR 1,040, 95 % Konfidenzintervall: 1,015 – 1,066; $p=0,001$), Kopfschmerzen (OR 1,092, 95 % Konfidenzintervall: 1,028 – 1,159; $p=0,004$) und für den Endpunkt gesamte Besserung (OR 1,035, 95 % Konfidenzintervall: 1,016 – 1,055; $p=0,000$).

3.3.4 Absoluter MLS-Rückgang – klinische Besserung

Einfluss des absoluten Rückgangs der MLS auf die klinische Besserung der Patienten

Die Signifikanz der Korrelation bestätigt sich bei der Erwägung des relativen Rückgangs der MLS. Diese hatte einen signifikanten Einfluss für die Endpunkte Hemisymptomatik (OR 1,599, 95 % Konfidenzintervall: 1,129 – 2,263; $p=0,008$), psychomotorische Auffälligkeiten (OR 1,276, 95 % Konfidenzintervall: 1,047 – 1,556; $p=0,016$), Kopfschmerzen (OR 1,862, 95 % Konfidenzintervall: 1,049 – 3,308; $p=0,034$) und für den Endpunkt gesamte Besserung (OR 1,263, 95 % Konfidenzintervall: 1,078 – 1,479; $p=0,004$).

Die Kalkulation eines Cut-offs des Rückgangs der MLS, um eine klinische Besserung der Patienten zu erfahren, war bei fehlender Trennschärfe nicht sinnvoll.

3.3.5 Luft und Luftmenge – Rezidiv-cSDH und dessen Volumen

Korrelation zwischen Vorhandsein von Luft und Luftmenge mit Rezidiv-cSDH und dessen Volumen

Das Vorhandsein von Luft konnte nicht korreliert werden, da alle Werte ≥ 0 waren.

Bei den 98 Patienten, die kein Rezidiv erlitten, zeigte sich ein durchschnittliches Luftmengen-Volumen von 13,17 ml mit einer Standardabweichung von 17,52 ml bei maximal gemessenem Wert von 117 ml, und minimalem Wert von 0,04 ml.

Bei den 31 Patienten, die ein Rezidiv erlitten, zeigte sich ein durchschnittliches Luftmengen-Volumen vom 8,98 ml mit einer Standardabweichung von 8,77 ml bei maximal gemessenem Wert von 32,6 ml, und minimalem Wert von 0 ml.

Die postoperative Luftmenge hatte anhand vorliegender Daten keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten eines Rezidivs und auf das Rezidivolumen.

3.3.6 Luft und Luftmenge – verschiedene Parameter

Korrelation zwischen Vorhandsein von Luft und Luftmenge mit verschiedenen Parametern

Das Vorhandsein von Luft konnte nicht korreliert werden, da alle Werte ≥ 0 waren.

Geschlecht, Antikoagulation, das Vorhandsein von Membranen, die Seite des Hämatoms, die Lokalisation des Hämatoms, das Vorhandsein von altem Blut oder Hygrom, das Vorhandsein von frischen Blutkomponenten, oder die Drainagendicke hatten keinen statistisch relevanten Einfluss auf die postoperative Luftmenge.

Die linearen Regressionen zeigten ebenso keine statistisch relevante Korrelation des Alters und der OP-Dauer mit der Luftmenge. **Es zeigte sich aber eine relevante Korrelation mit dem präoperativen Volumen (B 0,071; 95 % Konfidenzintervall: 0,004 – 0,138; p=0,037).**

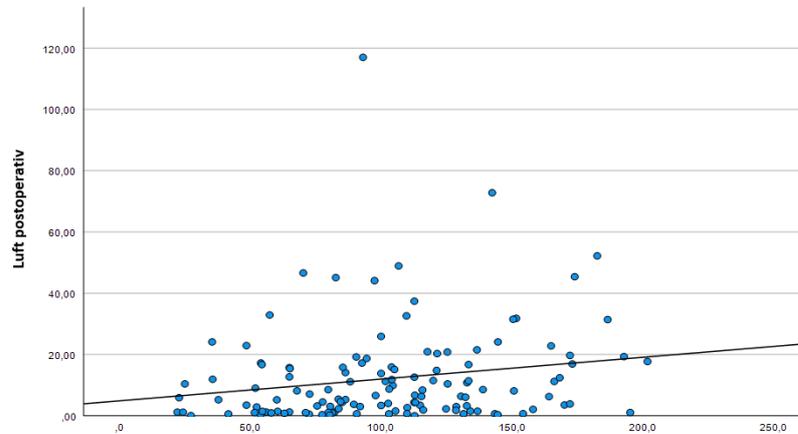


Abb. 47 Streudiagramm zur Darstellung der Korrelation zwischen dem präoperativen Volumen und der postoperativen Luft

	<i>Luftmenge</i>	<i>p-value</i>
<i>Geschlecht Mittelwert (SD)</i>		0,604
<i>männlich</i>	13,24 (±17,89)	
<i>weiblich</i>	9,58 (±9,48)	
<i>Membranen</i>		0,200
<i>ja</i>	10,36 (±13,54)	
<i>nein</i>	13,63 (±17,60)	
<i>Antikoagulation</i>		0,694
<i>ja</i>	11,96 (±13,7)	
<i>nein</i>	12,46 (±18,9)	
<i>Seite</i>		0,075
<i>rechts</i>	13,48 (±14,55)	
<i>links</i>	11,08 (±17)	
<i>Lokalisation</i>		0,106
<i>frontal</i>	14,24 (±18,98)	

<i>parietal</i>	10,55 (±13,03)
<i>Drainagendicke</i>	0,561
<i><12</i>	16 (±17,75)
<i>12</i>	9,85 (±12,58)
<i>>12</i>	9,01 (±6,89)
<i>Altes Blut/Hygrom</i>	0,101
<i>Altes Blut</i>	11,01 (±12,87)
<i>Hygrom</i>	24,48 (±33,61)
<i>Frische Komponenten</i>	0,200
<i>ja</i>	10,36 (±13,54)
<i>nein</i>	13,63 (±17,61)

Tab. 2 Univariate Analyse der Korrelation zwischen verschiedenen Parametern und dem Auftreten postoperativer Luft

<i>Variable</i>	<i>B</i>	<i>95%-CI</i>		<i>p-value</i>
<i>Alter</i>	0,069	-0,169	0,308	0,566
<i>Volumen prä</i>	0,071	0,004	0,138	0,037
<i>OP-Dauer</i>	-0,253	-0,607	0,102	0,160

Tab. 3 Ergebnisse der linearen Regression zur Analyse der Korrelation von den Parametern Alter, präoperatives Volumen und OP-Dauer mit dem Auftreten von postoperativer Luft

3.3.7 Rezidiv – verschiedene Parameter

Korrelation zwischen Auftreten eines Rezidivs und verschiedenen Parametern

Die logistischen Regressionen stellten Alter, Geschlecht, Antikoagulation, Seite, Bohrloch, OP-Dauer, präoperative MLS, postoperative Luft, Vorhandensein von Hygromen und Dicke der Drainage als statistisch nicht relevante unabhängige Variablen in Korrelation zu dem Auftreten eines Rezidivs dar.

Im Gegensatz dazu zeigten das präoperative Hämatomvolumen (OR 1,018; 95 % Konfidenzintervall: 1,007 – 1,029; $p=0,001$), das Vorhandsein von Membranen (OR 2,395; 95 % Konfidenzintervall: 1,046 – 5,483; $p=0,039$), die relative Volumenreduktion (OR 0,954; 95 % Konfidenzintervall: 0,921 – 0,969; $p=0,00$), der relative Rückgang der MLS (OR 0,939; 95 % Konfidenzintervall: 0,915 – 0,962; $p=0,00$) und das Vorhandsein von frischen Blutkomponenten (OR 2,395; 95 % Konfidenzintervall: 1,046 – 5,483; $p=0,039$) eine statistisch relevante Korrelation.

	<i>OR</i>	<i>95%-CI</i>	<i>p-value</i>
<i>Alter</i>	1,004	0,969 – 1,040	0,822
<i>Weibliches Geschlecht</i>	0,630	0,245 – 1,619	0,338
<i>Volumen präoperativ</i>	1,018	1,007 – 1,029	0,001
<i>Antikoagulation</i>	1,308	0,566 – 3,024	0,530
<i>Membranen</i>	2,395	1,046 – 5,483	0,039
<i>Linke Seite</i>	0,834	0,371 – 1,874	0,660
<i>Lokalisation parietal</i>	1,149	0,507 – 2,604	0,738
<i>Drainagedicke 12</i>	2,182	0,418 – 11,389	0,355
<i>Drainagedicke >12</i>	4,000	0,550 – 29,096	0,171
<i>OP-Dauer (min)</i>	0,963	0,911 – 1,018	0,180
<i>Extrahiertes Volumen</i>	0,945	0,921 – 0,969	0,000
<i>MLS präoperativ</i>	1,094	0,997 – 1,200	0,059
<i>MLS-Rückgang</i>	0,939	0,915 – 0,962	0,000
<i>Luft postoperativ</i>	0,977	0,943 – 1,013	0,207
<i>Hygrom</i>	1,205	0,299 – 4,854	0,793
<i>FrISChe Komponenten</i>	2,395	1,046 – 5,483	0,039

Tab. 4 Logistische Regressionen zur Analyse der Korrelation zwischen verschiedenen Parametern und Auftreten eines Rezidivs

3.3.8 Rezidiv – initiale Symptome

Korrelation zwischen Auftreten eines Rezidivs und initialen Symptomen

Keine der initialen Beschwerden (Hemisymptomatik, Aphasie, psychomotorische Auffälligkeiten, Kopfschmerzen und Krampfanfällen) hat einen Einfluss auf das Auftreten eines Rezidivs.

<i>Initiale Symptome</i>	<i>Kein Rezidiv</i>	<i>Rezidiv</i>	<i>p-value</i>
<i>Patientenanzahl</i>	98	31	
<i>Hemisymptomatik, n (%)</i>			0,876
<i>ja</i>	49 (75,4)	16 (24,6)	
<i>nein</i>	49 (76,6)	15 (23,4)	
<i>Aphasie</i>			0,308
<i>ja</i>	35 (81,4)	8 (18,6)	
<i>nein</i>	63 (73,3)	23 (26,7)	
<i>Psychomotorisch</i>			0,073
<i>ja</i>	55 (70,5)	23 (29,5)	
<i>nein</i>	43 (84,3)	8 (15,7)	
<i>Kopfschmerzen</i>			0,763
<i>ja</i>	35 (74,5)	12 (25,5)	
<i>nein</i>	63 (76,8)	19 (23,2)	
<i>Krampfanfälle</i>			0,279
<i>ja</i>	9 (64,3)	5 (35,7)	
<i>nein</i>	89 (77,4)	26 (22,6)	

Tab. 5 Univariate Analyse der Korrelation zwischen den initialen Symptomen und dem Auftreten eines Rezidivs

3.3.9 Rezidiv – postoperative Symptome

Korrelation zwischen Auftreten eines Rezidivs und postoperativen Symptomen

Bei den Patienten ohne Besserung der Aphasie zeigte sich bei 6 (42,9%) ein Rezidiv, bei 8 (57,1%) nicht. Dagegen trat bei den Patienten mit Besserung bei 3 (10%) ein Rezidiv, bei 27 (90%) keines auf. **Die Korrelation war statistisch relevant (p=0,012).**

Bei den Patienten ohne Besserung der psychomotorischen Auffälligkeiten war bei 10 (58,8%) ein Rezidiv vorhanden, bei 7 (41,2%) nicht. Hingegen bei den Patienten mit Besserung stellte sich bei 13 (21%) ein Rezidiv dar, bei 49 (79%) nicht. **Die Korrelation war statistisch relevant (p=0,002).**

Bei den Patienten ohne Besserung der Kopfschmerzen trat bei allen 6 (100%) ein Rezidiv auf. Im Gegensatz dazu zeigte sich bei den Patienten mit Besserung bei 6 (14,6%) ein Rezidiv, bei 35 (85,4%) nicht. **Die Korrelation war statistisch relevant (p<0,001).**

Bei den Patienten ohne Besserung der Hemisymptomatik und Krampfanfälle zeigte sich keine statistisch relevante Korrelation.

<i>Initiale Symptome</i>	<i>Kein Rezidiv</i>	<i>Rezidiv</i>	<i>p-value</i>
<i>Hemisymptomatik, n (%)</i>			0,055
<i>nicht besser</i>	7 (53,8)	6 (46,2)	
<i>besser</i>	43 (79,6)	11 (20,4)	
<i>Aphasie</i>			0,012
<i>nicht besser</i>	8 (57,1)	6 (42,9)	
<i>besser</i>	27 (90)	3 (10)	
<i>Psychomotorisch</i>			0,002
<i>nicht besser</i>	7 (41,2)	10 (58,8)	
<i>besser</i>	49 (79)	13 (21)	
<i>Kopfschmerzen</i>			<0,001
<i>nicht besser</i>	0 (0)	6 (100)	
<i>besser</i>	35 (85,4)	6 (14,6)	

<i>Krampfanfälle</i>	0,087	
<i>nicht besser</i>	3 (42,9)	4 (57,1)
<i>besser</i>	9 (81,8)	2 (18,2)

Tab. 6 Univariate Analyse der Korrelation zwischen den postoperativen Symptomen und dem Auftreten eines Rezidivs

3.3.10 Klinisches Bild – verschiedene Parameter

Korrelation zwischen initialem klinischen Bild und verschiedenen Parametern

3.3.10.1 Initiale Symptome – präoperatives Hämatom-Volumen

Bei den 65 Patienten mit Hemisymptomatik wurde ein durchschnittliches präoperatives Volumen von 112,65 ml mit einer Standardabweichung von 41,04 ml bei maximal gemessenem Volumen von 201,4 ml, und minimalem Volumen von 24,8 ml gemessen. Bei den 64 Patienten ohne wurde ein durchschnittliches präoperatives Volumen von 92,04 ml mit einer Standardabweichung von 38,91 ml bei maximal gemessenem Volumen von 194,8 ml, und minimalem Volumen von 21,9 ml festgestellt. **Es zeigte sich eine statistische Relevanz (p=0,004).**

Bei den 78 Patienten mit psychomotorischen Auffälligkeiten wurde ein durchschnittliches präoperatives Volumen von 108,2 ml mit einer Standardabweichung von 41,39 ml bei maximal gemessenem Volumen von 201,4 ml, und minimalem Volumen von 22,6 ml gemessen. Bei den 51 Patienten ohne wurde ein durchschnittliches präoperatives Volumen von 93,59 ml mit einer Standardabweichung von 39,59 ml bei maximal gemessenem Volumen von 192,4 ml, und minimalem Volumen von 21,9 ml gemessen. **Es zeigte sich eine statistische Relevanz (p=0,048).**

Bei den 14 Patienten mit Krampfanfällen gab es ein durchschnittliches präoperatives Volumen von 74,34 ml mit einer Standardabweichung von 29,35 ml bei maximal gemessenem Volumen von 115,8 ml, und minimalem Volumen von 22,6 ml. Bei den 115 Patienten ohne wurde ein durchschnittliches präoperatives Volumen von 105,84 ml mit einer Standardabweichung von 41,18 ml bei maximal gemessenem Volumen von 201,4 ml, und minimalem Volumen von 21,9 ml gemessen. **Es zeigte sich eine statistische Relevanz (p=0,006).**

Aphasie und Kopfschmerzen zeigten keine statistisch relevante Korrelation mit dem präoperativen Hämatomvolumen.

Bei den Patienten mit Hemisymptomatik wurde das höchste präoperative Volumen gemessen, gefolgt von den Patienten mit psychomotorischen Auffälligkeiten, Kopfschmerzen, Aphasie und Krampfanfällen.

3.3.10.2 *Initiale Symptome – Mittellinienverlagerung*

Bei den 43 Patienten mit Aphasie ergab sich eine durchschnittliche MLS von 7,86 mm mit einer Standardabweichung von 3,58 mm bei maximal gemessenem Wert von 16,3 und minimalem Wert von 2,5 mm. Bei den 86 Patienten ohne wurde eine durchschnittliche MLS von 9,54 mm mit einer Standardabweichung von 4,51 mm bei maximal gemessenem Wert von 19,4 und minimalem Wert von 3,2 mm gemessen. **Es zeigte sich eine statistische Relevanz ($p=0,035$).**

Bei den 78 Patienten mit psychomotorischen Auffälligkeiten zeigte sich eine durchschnittliche MLS von 9,58 mm mit einer Standardabweichung von 4,35 mm bei maximal gemessenem Wert von 19,4 und minimalem Wert von 2,5 mm. Bei den 51 Patienten ohne gab es eine durchschnittliche MLS von 8,04 mm mit einer Standardabweichung von 4,04 mm bei maximal gemessenem Wert von 17,9 und minimalem Wert von 3,2 mm. **Es zeigte sich eine statistische Relevanz ($p=0,044$).**

Bei den 14 Patienten mit Krampfanfällen wurde eine durchschnittliche MLS von 6,29 mm mit einer Standardabweichung von 3,14 mm bei maximal gemessenem Wert von 15,2 und minimalem Wert von 3,6 mm gemessen. Bei den 115 Patienten ohne wurde eine durchschnittliche MLS von 9,31 mm mit einer Standardabweichung von 4,3 mm bei maximal gemessenem Wert von 19,4 und minimalem Wert von 2,5 mm. **Es zeigte sich eine statistische Relevanz ($p=0,012$).**

Hemisymptomatik und Kopfschmerzen zeigten keine statistisch relevante Korrelation mit der MLS.

Wir können somit außerdem behaupten, dass die präoperative MLS bei den Patienten mit psychomotorischen Auffälligkeiten, Kopfschmerzen und Hemisymptomatik höher als bei denjenigen mit Aphasie und Krampfanfällen war.

3.3.10.3 *Initiale Symptome – Alter*

Die 47 Patienten mit Kopfschmerzen waren im Durchschnitt 71,04 Jahre alt mit einer Standardabweichung von 13,03 Jahren bei jüngstem Patienten mit 23 Jahren und ältestem Patienten mit 88 Jahren. Die 82 Patienten ohne Kopfschmerzen waren im Durchschnitt 75,71 Jahre alt

mit einer Standardabweichung von 10,61 Jahren bei jüngstem Patienten mit 39 Jahren und ältestem Patienten mit 92 Jahren. **Es zeigte sich eine statistische Relevanz ($p=0,029$).**

Die 14 Patienten mit Krampfanfällen waren im Durchschnitt 64,64 Jahre alt mit einer Standardabweichung von 17,15 Jahren beim jüngsten Patienten mit 23 Jahren und ältesten Patienten mit 82 Jahren. Die 115 Patienten ohne waren im Durchschnitt 75,15 Jahre alt mit einer Standardabweichung von 10,42 Jahren beim jüngsten Patienten mit 47 Jahren und ältesten Patienten mit 92 Jahren. **Es zeigte sich eine statistische Relevanz ($p=0,00$).**

Man kann schlussfolgern, dass in der univariaten Analyse Alter eine statistisch relevante Korrelation nur mit den initialen Symptomen Kopfschmerzen ($p=0,029$) und Krampfanfällen ($p=0,000$) auftritt. Bei den anderen Beschwerden konnte keine Signifikanz festgestellt werden.

Wir können daher zudem berichten, dass die Patienten mit Kopfschmerzen der ältesten Gruppe entsprechen, gefolgt von den Patienten mit Krampfanfällen, Aphasie, Hemisymptomatik und psychomotorischen Auffälligkeiten, die die jüngste Gruppe darstellen.

3.3.10.4 Initiale Symptome – andere Parameter

Unter den Patienten mit Hemisymptomatik waren 45 Männer (69,2%) und 20 Frauen (30,8%); 38 (58,5%) hatten Antikoagulation, 27 (41,5%) nicht. Im cCT waren 26 (40%) Subduralhämatome rechtsseitig, 39 (60%) befanden sich linksseitig. In 31 (47,7%) kamen Membranen zur Darstellung, in 34 (52,3%) nicht. In 59 (90,8%) Fällen handelte es sich um altes Blut, in 6 (9,2%) Fällen um Hygrom. 31 (47,7%) zeigten frische Komponenten, 34 (52,3%) nicht. Bei den Patienten ohne waren es 46 Männer (71,9%) und 18 Frauen (28,1%); 39 (60,9%) hatten Antikoagulation, 25 (39,1%) nicht. Im cCT waren 32 (50%) Subduralhämatome rechtsseitig, 32 (50%) befanden sich linksseitig. In 27 (42,2%) kamen Membranen zur Darstellung, in 37 (57,8%) nicht. In 59 (92,2%) Fällen handelte es sich um altes Blut, in 5 (7,8%) Fällen um Hygrom. 27 (42,2%) zeigten frische Komponenten, 37 (57,8%) nicht.

Unter den Patienten mit Aphasie waren 29 Männer (67,4%) und 14 Frauen (32,6%); 25 (58,1%) hatten Antikoagulation, 18 (41,9%) nicht. In 19 (44,2%) kamen Membranen zur Darstellung, in 24 (55,8%) nicht. In 39 (90,7%) Fällen handelte es sich um altes Blut, in 4 (9,3%) Fällen um Hygrom. 19 (44,2%) zeigten frische Komponenten, 24 (55,8%) nicht. Bei den Patienten ohne waren es 62 Männer (72,1%) und 24 Frauen (27,9%); 52 (60,5%) hatten Antikoagulation, 34 (39,5%) nicht. In 39 (45,3%) kamen Membranen zur Darstellung, in 47 (54,7%) nicht. In 79

(91,9%) Fällen handelte es sich um altes Blut, in 7 (8,1%) Fällen um Hygrom. 39 (54,3%) zeigten frische Komponenten, 47 (54,7%) nicht.

Bei den Patienten mit Aphasie lagen im cCT 8 (18,6%) Subduralhämatome rechtsseitig, 35 (81,4%) befanden sich linksseitig. Bei den Patienten ohne waren im cCT 50 (58,1%) Subduralhämatome rechtsseitig, 36 (41,9%) befanden sich linksseitig. **Hier zeigte sich eine statistisch relevante Korrelation ($p < 0,001$).**

Bei den Patienten mit psychomotorischen Auffälligkeiten waren es 53 Männer (67,9%) und 25 Frauen (32,1%); 50 (64,1%) hatten Antikoagulation, 28 (53,9%) nicht. Im cCT waren 34 (43,6%) Subduralhämatome rechtsseitig, 44 (56,4%) befanden sich linksseitig. In 35 (44,9%) kamen Membranen zur Darstellung, in 43 (55,1%) nicht. In 69 (88,5%) Fällen handelte es sich um altes Blut, in 9 (11,5%) Fällen um Hygrom. 35 (44,9%) zeigten frische Komponenten, 43 (55,1%) nicht. Unter den Patienten ohne waren 38 Männer (74,5%) und 13 Frauen (25,5%); 27 (52,9%) hatten Antikoagulation, 24 (47,1%) nicht. Im cCT waren 24 (47,1%) Subduralhämatome rechtsseitig, 27 (52,9%) befanden sich linksseitig. In 23 (54,1%) kamen Membranen zur Darstellung, in 28 (54,9%) nicht. In 49 (96,1%) Fällen handelte es sich um altes Blut, in 2 (3,9%) Fällen um Hygrom. 23 (54,1%) zeigten frische Komponenten, 28 (54,9%) nicht.

Unter den Patienten mit Kopfschmerzen waren 36 Männer (76,6%) und 11 Frauen (23,4%); 26 (55,3%) hatten Antikoagulation, 21 (44,7%) nicht. Im cCT waren 25 (53,2%) Subduralhämatome rechtsseitig, 22 (46,8%) befanden sich linksseitig. In 25 (53,2%) kamen Membranen zur Darstellung, in 22 (46,8%) nicht. In 45 (95,7%) Fällen handelte es sich um altes Blut, in 2 (4,3%) Fällen um Hygrom. 25 (53,2%) zeigten frische Komponenten, 22 (46,8%) nicht. Bei den Patienten ohne gab es 55 Männer (67,1%) und 27 Frauen (32,9%); 51 (62,2%) hatten Antikoagulation, 31 (37,8%) nicht. Im cCT waren 33 (40,2%) Subduralhämatome rechtsseitig, 49 (59,8%) befanden sich linksseitig. In 33 (40,2%) kamen Membranen zur Darstellung, in 49 (59,8%) nicht. In 73 (89%) Fällen handelte es sich um altes Blut, in 9 (11%) Fällen um Hygrom. 33 (40,2%) zeigten frische Komponenten, 49 (59,8%) nicht.

Bei den Patienten mit Krampfanfällen gab es 10 Männer (71,4%) und 2 Frauen (8,6%); 9 (64,3%) hatten Antikoagulation, 5 (35,7%) nicht. In 5 (35,7%) kamen Membranen zur Darstellung, in 9 (64,3%) nicht. In 13 (92,9%) Fällen handelte es sich um altes Blut, in 1 (7,1%) Fällen um Hygrom. 5 (35,7%) zeigten frische Komponenten, 9 (64,3%) nicht. Bei den Patienten ohne waren es 81 Männer (70,4%) und 34 Frauen (29,6%); 68 (59,1%) hatten Antikoagulation, 47 (40,9%) nicht. In 53 (46,1%) kamen Membranen zur Darstellung, in 62 (53,9%) nicht. In 105

(91,3%) Fällen handelte es sich um altes Blut, in 10 (8,7%) Fällen um Hygrom. 53 (56,1%) zeigten frische Komponenten, 62 (53,9%) nicht.

Bei den Patienten mit Krampfanfällen waren im cCT 10 (71,4%) Subdurallhämatome rechtsseitig, 4 (28,6%) befanden sich linksseitig. Bei den Patienten ohne waren im cCT 48 (41,7%) Subdurallhämatome rechtsseitig, 67 (58,3%) befanden sich linksseitig. **Hier zeigte sich eine statistisch relevante Korrelation ($p < 0,001$).**

Vorliegende Analyse zeigte, dass die Seite des Hämatoms eine statistisch relevante Korrelation mit dem Vorhandensein des Symptoms Aphasie ($p < 0,001$) und Krampfanfälle ($p = 0,035$) aufweist. Die anderen Parameter zeigten keine Korrelation mit den restlichen Symptomen.

<i>Parameter</i>	<i>Patienten mit Hemisymptomatik</i>	<i>Patienten ohne Hemisymptomatik</i>	<i>p-value</i>
<i>Geschlecht</i>			0,742
<i>männlich</i>	45 (69,2)	46 (71,9)	
<i>weiblich</i>	20 (30,8)	18 (28,1)	
<i>Antikoagulation</i>			0,774
<i>ja</i>	38 (58,5)	39 (60,9)	
<i>nein</i>	27 (41,5)	25 (39,1)	
<i>Seite</i>			0,254
<i>rechts</i>	26 (40)	32 (50)	
<i>links</i>	39 (60)	32 (50)	
<i>Membranen</i>			0,530
<i>ja</i>	31 (47,7)	27 (42,2)	
<i>nein</i>	34 (52,3)	37 (57,8)	
<i>Altes Blut/Hygrom</i>			0,773
<i>Altes Blut</i>	59 (90,8)	59 (92,2)	
<i>Hygrom</i>	6 (9,2)	5 (7,8)	
<i>Frische Komponenten</i>			0,530

<i>Parameter</i>	<i>Patienten mit Aphasie</i>	<i>Patienten ohne Aphasie</i>	<i>p-value</i>
<i>ja</i>	31 (47,7)	27 (42,2)	
<i>nein</i>	34 (52,3)	37 (57,8)	
<i>Geschlecht</i>			0,585
<i>männlich</i>	29 (67,4)	62 (72,1)	
<i>weiblich</i>	14 (32,6)	24 (27,9)	
<i>Antikoagulation</i>			0,800
<i>ja</i>	25 (58,1)	52 (60,5)	
<i>nein</i>	18 (41,9)	34 (39,5)	
<i>Seite</i>			< 0,001
<i>rechts</i>	8 (18,6)	50 (58,1)	
<i>links</i>	35 (81,4)	36 (41,9)	
<i>Membranen</i>			0,900
<i>ja</i>	19 (44,2)	39 (45,3)	
<i>nein</i>	24 (55,8)	47 (54,7)	
<i>Altes Blut/Hygrom</i>			0,824
<i>Altes Blut</i>	39 (90,7)	79 (91,9)	
<i>Hygrom</i>	4 (9,3)	7 (8,1)	
<i>Frische Komponenten</i>			0,900
<i>ja</i>	19 (44,2)	39 (45,3)	
<i>nein</i>	24 (55,8)	47 (54,7)	
<i>Parameter</i>	<i>Patienten mit psych. Auffälligkeiten</i>	<i>Patienten ohne psych. Auffälligkeiten</i>	<i>p-value</i>
<i>Geschlecht</i>			0,424
<i>männlich</i>	53 (67,9)	38 (74,5)	

<i>weiblich</i>	25 (32,1)	13 (25,5)	
<i>Antikoagulation</i>			0,206
<i>ja</i>	50 (64,1)	27 (52,9)	
<i>nein</i>	28 (35,9)	24 (47,1)	
<i>Seite</i>			0,699
<i>rechts</i>	34 (43,6)	24 (47,1)	
<i>links</i>	44 (56,4)	27 (52,9)	
<i>Membranen</i>			0,980
<i>ja</i>	35 (44,9)	23 (45,1)	
<i>nein</i>	43 (55,1)	28 (54,9)	
<i>Altes Blut/Hygom</i>			0,130
<i>Altes Blut</i>	69 (88,5)	49 (96,1)	
<i>Hygom</i>	9 (11,5)	2 (3,9)	
<i>Frische Komponenten</i>			0,980
<i>ja</i>	35 (44,9)	23 (54,1)	
<i>nein</i>	43 (55,1)	28 (54,9)	
<i>Parameter</i>	<i>Patienten mit Kopfschmerzen</i>	<i>Patienten ohne Kopfschmerzen</i>	<i>p-value</i>
<i>Geschlecht</i>			0,254
<i>männlich</i>	36 (76,6)	55 (67,1)	
<i>weiblich</i>	11 (23,4)	27 (32,9)	
<i>Antikoagulation</i>			0,444
<i>ja</i>	26 (55,3)	51 (62,2)	
<i>nein</i>	21 (44,7)	31 (37,8)	
<i>Seite</i>			0,155
<i>rechts</i>	25 (53,2)	33 (40,2)	

<i>links</i>	22 (46,8)	49 (59,8)	
<i>Membranen</i>			0,155
<i>ja</i>	25 (53,2)	33 (40,2)	
<i>nein</i>	22 (46,8)	49 (59,8)	
<i>Altes Blut/Hygrom</i>			0,188
<i>Altes Blut</i>	45 (95,7)	73 (89)	
<i>Hygrom</i>	2 (4,3)	9 (11)	
<i>Frische Komponenten</i>			0,155
<i>ja</i>	25 (53,2)	33 (40,2)	
<i>nein</i>	22 (46,8)	49 (59,8)	
Parameter	Patienten mit	Patienten ohne	p-value
	Krampfanfällen	Krampfanfälle	
<i>Geschlecht</i>			0,939
<i>männlich</i>	10 (71,4)	81 (70,4)	
<i>weiblich</i>	4 (28,6)	34 (29,6)	
<i>Antikoagulation</i>			0,710
<i>ja</i>	9 (64,3)	68 (59,1)	
<i>nein</i>	5 (35,7)	47 (40,9)	
<i>Seite</i>			0,035
<i>rechts</i>	10 (71,4)	48 (41,7)	
<i>links</i>	4 (28,6)	67 (58,3)	
<i>Membranen</i>			0,461
<i>ja</i>	5 (35,7)	53 (46,1)	
<i>nein</i>	9 (64,3)	62 (53,9)	
<i>Altes Blut/Hygrom</i>			0,844

<i>Altes Blut</i>	13 (92,9)	105 (91,3)
<i>Hygrom</i>	1 (7,1)	10 (8,7)
<i>Frische Komponenten</i>		0,461
<i>ja</i>	5 (35,7)	53 (46,1)
<i>nein</i>	9 (64,3)	62 (53,9)

Tab. 7 Univariate Analyse der Korrelation zwischen verschiedenen Parametern und den initialen Symptomen

	<i>Alter</i>	<i>p-value</i>
<i>Hemisymptomatik Mittelwert (SD)</i>		0,32
<i>ja</i>	75,03 (\pm 10,61)	
<i>nein</i>	72,97 (\pm 12,74)	
<i>Aphasie</i>		0,371
<i>ja</i>	72,70 (\pm 12,69)	
<i>nein</i>	74,66 (\pm 11,23)	
<i>Psych. Auffälligkeiten</i>		0,087
<i>ja</i>	75,44 (\pm 11,41)	
<i>nein</i>	71,82 (\pm 11,96)	
<i>Kopfschmerzen</i>		0,029
<i>ja</i>	71,04 (\pm 13,03)	
<i>nein</i>	75,71 (\pm 10,61)	
<i>Krampfanfälle</i>		0,00
<i>ja</i>	64,64 (\pm 17,15)	
<i>nein</i>	75,15 (\pm 10,42)	
	<i>Volumen prä</i>	<i>p-value</i>
<i>Hemisymptomatik Mittelwert (SD)</i>		0,004
<i>ja</i>	112,62 (\pm 41,03)	

<i>nein</i>	92,04 (±38,91)	
<i>Aphasie</i>		0,076
<i>ja</i>	93,33 (±39,49)	
<i>nein</i>	106,97 (±41,45)	
<i>Psych. Auffälligkeiten</i>		0,048
<i>ja</i>	108,2 (±41,39)	
<i>nein</i>	93,59 (±39,59)	
<i>Kopfschmerzen</i>		0,539
<i>ja</i>	99,47 (±42,58)	
<i>nein</i>	104,12 (±40,49)	
<i>Krampfanfälle</i>		0,006
<i>ja</i>	74,34 (±29,35)	
<i>nein</i>	105,84 (±41,18)	
	MLS prä	p-value
<i>Hemisymptomatik Mittelwert (SD)</i>		0,314
<i>ja</i>	9,36 (±4,25)	
<i>nein</i>	8,6 (±4,25)	
<i>Aphasie</i>		0,035
<i>ja</i>	7,86 (±3,58)	
<i>nein</i>	9,54 (±4,51)	
<i>Psych. Auffälligkeiten</i>		0,044
<i>ja</i>	9,6 (±4,35)	
<i>nein</i>	8,04 (±4,04)	
<i>Kopfschmerzen</i>		0,282
<i>ja</i>	9,52 (±4,46)	
<i>nein</i>	8,68 (±4,17)	

<i>Krampfanfälle</i>	0,012
<i>ja</i>	6,29 ($\pm 3,14$)
<i>nein</i>	9,3 ($\pm 4,3$)

Tab. 8 Univariate Analyse der Korrelation zwischen den Parametern Alter, präoperativem Volumen, präoperativer MLS und den initialen Symptomen

3.4 Beantwortung der Fragestellungen

1. Die erste Fragestellung lautete „*Wie viel cSDH muss drainiert werden, um eine klinische Verbesserung oder Beschwerdefreiheit der Patienten zu erreichen?*“.

Anhand vorliegender Daten darf behauptet werden, dass die relative Reduktion des Volumens einen signifikanten Einfluss für die Endpunkte Hemisymptomatik ($p=0,006$), psychomotorische Auffälligkeiten ($p=0,000$), Kopfschmerzen ($p=0,005$) und für den Endpunkt gesamte Besserung ($p=0,000$) hat. Nicht signifikant ist die relative Reduktion des Volumens für die Endpunkte Aphasie ($p=0,197$) und Krampfanfälle ($p=0,174$).

Die Signifikanz der Korrelation bestätigt sich bei der Erwägung der absoluten Volumenreduktion. Wir können nämlich behaupten, dass diese einen signifikanten Einfluss für die Endpunkte Hemisymptomatik ($p=0,003$), psychomotorische Auffälligkeiten ($p=0,002$), Kopfschmerzen ($p=0,033$) und für den Endpunkt gesamte Besserung ($p=0,001$) hat. Nicht signifikant ist die relative Reduktion des Volumens für die Endpunkte Aphasie ($p=0,238$) und Krampfanfälle ($p=0,599$).

Die Kalkulation eines optimalen Cut-offs, um insgesamt eine klinische Besserung zu erfahren, lag bei einer Subduralvolumenreduktion von 43% (AUC 0,726).

2. Die zweite Fragestellung lautete „*Wie ausgeprägt ist der Rückgang der MLS von prä- zu postoperativ und wie korreliert diese Information mit dem klinischen Verlauf des Patienten?*“.

Anhand der hieraus resultierenden Daten, darf festgestellt werden, dass der relative Rückgang der MLS einen signifikanten Einfluss auf die postoperative Besserung der Beschwerden Hemisymptomatik ($p=0,010$), psychomotorische Auffälligkeiten ($p=0,001$), Kopfschmerzen ($p=0,004$) und für den Endpunkt gesamte Besserung ($p=0,000$) hat. Nicht signifikant ist die

relative Reduktion der MLS für die Endpunkte Aphasie ($p=0,118$) und Krampfanfälle ($p=0,104$).

Die Signifikanz der Korrelation bestätigt sich bei der Erwägung des absoluten Rückgangs der MLS. So kann die Behauptung getroffen werden, dass diese einen signifikanten Einfluss für die Endpunkte Hemisymptomatik ($p=0,008$), psychomotorische Auffälligkeiten ($p=0,016$), Kopfschmerzen ($p=0,034$) und für den Endpunkt gesamte Besserung ($p=0,004$) hat. Nicht signifikant ist die relative Reduktion der MLS für die Endpunkte Aphasie ($p=0,157$) und Krampfanfälle ($p=0,508$).

Die Kalkulation eines optimalen Cut-offs war hier bei fehlender Trennschärfe nicht sinnvoll.

3. Die dritte Fragestellung lautete *„Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Vorhandsein und der Menge postoperativer, subduraler Luft und eventuellem Rezidiv-cSDHs und dessen Volumen?“*.

Das Vorhandsein von Luft konnte nicht korreliert werden, da alle Werte ≥ 0 waren.

Aus den vorliegenden Daten resultierte, dass die Luftmenge keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten eines Rezidivhämatoms (OR 0,977; 95 % Konfidenzintervall: 0,943 – 1,013; $p=0,207$) und dessen Volumen (B 0,194; 95 % Konfidenzintervall: -1,040 – 1,430; $p=0,749$) hat.

4. Die vierte Fragestellung lautete *„Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Vorhandsein und der Menge subduraler Luft im postoperativen cCT und Alter, Geschlecht, initialem cSDH-Volumen, Antikoagulation, Membranen im präoperativen cCT, Seite des cSDHs, Lokalisation der Bohrlöcher, Drainagendicke, OP-Dauer und Vorhandsein von altem Blut oder Hygrom und frischen Komponenten?“*.

Das Vorhandsein von Luft konnte nicht korreliert werden, da alle Werte ≥ 0 waren.

Anhand der Daten kann geschlussfolgert werden, dass Geschlecht ($p=0,604$), Alter ($p=0,566$), Antikoagulations-Einnahme ($p=0,694$), das Vorhandsein von Membranen im präoperativen cCT ($p=0,2$), Seite des cSDHs ($p=0,075$), Lokalisation der Bohrlöcher ($p=0,106$), Drainagendicke ($p=0,561$), OP-Dauer ($p=0,160$), das Vorhandsein von altem Blut oder Hygrom ($p=0,101$) sowie von frischen Blutkomponenten ($p=0,2$) keinen signifikanten Einfluss auf die Menge subduraler Luft im postoperativen cCT haben. Ein signifikanter Zusammenhang konnte ausschließ-

lich mit dem präoperativen Hämatomvolumen ($p=0,037$) gefunden werden. Es kann somit behauptet werden, dass ein großes präoperatives Volumen zu einer Risiko-Erhöhung vom Auftreten postoperativer Luft führt.

5. Die fünfte Fragestellung lautete „*Welche Faktoren beeinflussen das Auftreten eines Rezidivs? Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten eines Rezidivhämatoms und Alter, Geschlecht, Antikoagulation, initialem cSDH-Volumen, Membranen im präoperativen CT, Seite des cSDHs, Lokalisation der Bohrlöcher, Drainagendicke, OP-Dauer, Prozent extrahierten Volumens, initialer MLS und Prozent des Rückgangs derer?*“.

Das präoperative Hämatomvolumen ($p=0,001$), das Vorhandsein von Membranen ($p=0,039$), die relative Volumenreduktion ($p=0,000$), der relative Rückgang der MLS ($p=0,000$) und das Vorhandsein von frischen Blutkomponenten ($p=0,039$) steigern statistisch relevant das Risiko vom Auftreten eines Rezidivs.

Im Gegensatz dazu war die Erhöhung des Risikos vom Auftreten eines Rezidivs in Korrelation mit den anderen Parametern statistisch nicht relevant.

6. Die sechste Fragestellung lautete „*Sind die initialen Beschwerden relevante Indikatoren eines Auftretens eines Rezidivs und welche der Beschwerdegruppe ist eventuell mehr prädiktiv für das Auftreten eines Rezidivs?*“.

Keine der initialen Beschwerden hat einen Einfluss auf das Auftreten eines Rezidivs. Man kann daher feststellen, dass keine der Beschwerdegruppe prädiktiv dafür ist.

7. Die siebte Fragestellung lautete „*Welche postoperativen Beschwerden korrelieren am meisten mit dem Rezidiv und dessen Volumen?*“.

Postoperative Aphasie, psychomotorische Auffälligkeiten und Kopfschmerzen haben einen statistisch relevanten Einfluss auf das Auftreten eines Rezidivs ($p=0,012$; $p=0,002$; $p<0,001$), allerdings keinen auf dessen Volumen.

8. Die achte Fragestellung lautete „*Welche Faktoren korrelieren mit dem initialen klinischen Bild?*“.

Anhand der Datenlage wird attestiert, dass der meist prädiktive Faktor für das Auftreten von bestimmten Symptomen das präoperative Volumen war, da eine signifikante Korrelation zwischen diesem Parameter und Hemisymptomatik ($p=0,004$), psychomotorischen Auffälligkeiten

($p=0,048$) und Krampfanfällen ($p=0,006$) vorlag. Bei den anderen Beschwerden konnte keine Signifikanz dargestellt werden (Aphasie $p=0,076$ und Kopfschmerzen $p=0,539$).

Die MLS korreliert signifikant zum initialen klinischen Bild mit Aphasie ($p=0,035$), psychomotorischen Auffälligkeiten ($p=0,044$) und Krampfanfällen ($p=0,012$), im Gegensatz zu Hemisymptomatik ($p=0,314$) und Kopfschmerzen ($p=0,282$).

Es konnte festgestellt werden, dass Alter nur mit den initialen Symptomen Kopfschmerzen ($p=0,029$) und Krampfanfällen ($p=0,000$) eine statistisch relevante Korrelation hat. Man kann erläutern, dass es sich im zweiten Fall um eine inverse Korrelation handelt und zwar je jünger die Patienten, desto häufiger können Krampfanfälle auftreten. Bei den anderen Beschwerden konnte keine Signifikanz dargestellt werden (Hemisymptomatik $p=0,32$; Aphasie $p=0,371$; psychomotorische Auffälligkeiten $p=0,087$).

Die Analyse zeigte, dass die Seite des Hämatoms eine statistisch relevante Korrelation mit dem Vorhandsein der Symptome Aphasie ($p<0,001$) und Krampfanfälle ($p=0,035$) hatte. Die anderen Parameter (Geschlecht, Antikoagulation, Membranen, Altes Blut oder Hygrom und frischen Blutkomponenten) zeigten keine Korrelation mit den restlichen Symptomen.

9. Die neunte Fragestellung lautete „*Sind die empirischen Messungsmethoden eine valide Alternative zu dem Gold-Standard beziehungsweise die CT-gesteuerte Volumetrie zur Evaluierung der chirurgischen Therapie-Effektivität und Einschätzung des klinisch-prognostischen Verlaufs?*“.

Im Anbetracht des breiten Messungsbereichs des Volumens bei einem minimalen Wert von 1,61 ml und maximalem Wert von 253 ml, ist eine Vermessung von zirka 8 Punkten für die klinische Beurteilung akzeptabel.

Die computerassistierten volumetrischen präoperativen Messungen benötigten durchschnittlich 617,96 Sekunden, die postoperativen 588,29 Sekunden. Die durchschnittliche Zeit der empirischen präoperativen und postoperativen Messungen betrug im Gegensatz jeweils 37,16 und 36,07 Sekunden.

Man kann resümieren, dass die empirische ABC/2-Methode eine valide Alternative zu der Gold-Standard CT-gesteuerten Volumetrie zur Evaluierung der chirurgischen Therapie-Effektivität und Einschätzung des klinisch-prognostischen Verlaufs in den akuten Phasen darstellt oder falls die digitalen Mittel nicht verfügbar sind.

4 Diskussion

In vorliegender Arbeit wurden das präoperative und postoperative klinische Bild sowie die Bildgebung der Patienten ausgewertet, um zu untersuchen, wie viel cSDH drainiert werden muss und dementsprechend wie ausgeprägt der Rückgang der MLS sein muss, um eine klinische Verbesserung zu erzielen. Zur Vervollständigung der Fragestellungen wurde das klinische Bild sorgfältig unter Berücksichtigung verschiedener Parameter untersucht. Außerdem erfolgte die Korrelation zwischen dem Vorhandensein postoperativer Luft mit dem Auftreten eines Rezidivs sowie zwischen verschiedenen Patienten- und Symptombezogenen Parametern und der Feststellung von postoperativer Luft sowie des Auftretens eines Rezidivs. Die computerassistierten und empirisch quantitativen Messungen der verschiedenen Volumina und deren Vergleich spielten eine zentrale Rolle. Diese Daten wurden in Bezug zur aktuellen Literatur gesetzt.

4.1 Diskussion der Methoden

4.1.1 Patienten

Es erfolgte die Untersuchung der Daten von 129 Patienten. Tendenziell besteht das Hauptkollektiv aus älteren Patienten mit einem Mittelwert von 74 Jahren. Die Mehrheit der Patienten sind in einer Altersspanne von 70 bis 80 Jahren angesiedelt. Die Altersverteilung ist deswegen ähnlich wie bei Tsai et al. (2010) mit einem Kollektiv, das ebenfalls 129 Patienten inkludiert. Auch bei deutlich größeren Patientenkollektiven zeigt sich diesbezüglich in der Literatur kein wesentlicher Unterschied (Sahyouni et al., 2017; Kim et al., 2015; Pang et al., 2015; Honda et al., 2015; Yamada et al., 2018).

Während des Einschluss- und Ausschlussprozesses vorliegender Untersuchung wurden alle Patienten ausgenommen, die ein präoperatives cMRT erhalten haben. Die Tatsache, dass bei Kindern und Jugendlichen das kernspintomographische Bildgebungsverfahren als diagnostisches Mittel verwendet wurde, sollte als möglicher limitierender Einflussfaktor auf die Altersverteilung berücksichtigt werden.

Bei einer Geschlechterverteilung von 2,4 :1 findet man Übereinstimmung mit den Studien von Kwon et al. (2000). Grundsätzlich wird in allen Artikel über cSDH eine deutliche Prävalenz bei Männern beschrieben. Allerdings ist der Unterschied in der Geschlechterverteilung zum Beispiel bei dem Patientenkollektiv von Munoz-Bendix et al. (2017) mit 63 (56.3%) Männern und 49 (43.8%) Frauen weniger ausgeprägt.

Die Mehrheit vorliegender Patienten wies ein linksseitiges Hämatom in 71 Fällen (55,04%) auf, im Gegensatz dazu gibt es 58 Fälle (44,96%) mit rechtsseitiger Lokalisierung. Dieser Trend findet sich ebenfalls in vielen anderen Studien (Miki et al., 2019; Munoz-Bendix et al., 2017). In der Untersuchung von Mignucci-Jiménez et al. (2022) ist jedoch die Lateralität nahezu gleich (125 vs. 126).

Wie bei den Patienten von Kuwabara et al. (2017) präsentierten die meisten Hämatome keine Membranen.

In vorliegender Untersuchung handelte es sich in 118 (91,47%) Fällen um altes Blut, in 11 (8,53%) Fällen um Hygrom. Bei 58 (44,96%) Hämatomen stellten sich frische Blutkomponenten fest, während dies bei 71 (55,04%) nicht der Fall war.

Weiterhin wurden 57 (44,19%) der Hämatome mittels eines frontalen Bohrlochs, 71 (55,04%) über ein parietales Bohrloch evakuiert. Vergleichbar mit dem Patientenkollektiv von anderen Autoren erhielt die Mehrheit der Patienten daher ein parietales Bohrloch (Jung, Jung und Kim, 2015).

In der Literatur finden sich zahlreiche Studien, die sowohl unilaterale als auch bilaterale Subduralhämatome untersuchen. In vorliegender Untersuchung wurde entschieden, nur unilaterale Hämatome in Erwägung zu ziehen, vor allem um die Fragestellungen, die die MLS involvieren, vollständig zu bearbeiten. Es ist nämlich bekannt, dass bei bilateralen cSDH minimale bis keine MLS aufgrund gleicher, aber entgegengesetzter Kräfte auf das Gehirnparenchym auftreten (Mehta et al., 2018).

4.1.2 Messungsmethoden

4.1.2.1 *Messung des Hämatomvolumens*

In der Literatur werden die „ABC/2 Methode“, die „Ellipsoid-Methode“ und die „Cavalieri-Methode“ zur empirischen Messung unter anderem eines cSDH-Volumens herangezogen.

Bei der ersten wird das Prinzip angewendet, dass das Volumen eines Ellipsoids etwa halb so groß ist wie das Parallelepiped, in dem es positioniert ist. Dieses wird durch die Multiplikation der zwei Durchmesser, der Anzahl sowie Dicke der Scheiben und Division durch die Hälften kalkuliert (Stocchetti et al., 2000).

Bei der zweiten Methode wird das Hämatom in parallele Ebenen abgeschnitten und die Oberfläche mit Punktzählgittern geschätzt, die Anzahl der Punkte in dem interessierenden Bereich gezählt und die Oberflächen mit der mittleren Schnittdicke multipliziert, um das Volumen zu berechnen (Sonmez et al., 2010).

Während die zweite Methode durch eine größere Genauigkeit besticht, relativiert sich dieser Vorteil gegenüber der ersteren durch eine deutlich längere Durchführungszeit (Stocchetti et al., 2000). Dies bestätigte sich auch beim eigenen Test dieser Methodik.

Da das Ziel eine rapide Messung zum Einschätzen des klinischen Verlaufs ist, erweist sich die zweite Methode in der vorliegenden Untersuchung mit ihrem großen Zeitaufwand der Messungsvorbereitung und -durchführung als inadäquat. Daher wurde nur die „ABC/2 Methode“ für die Messung der Subduralhämatome herangezogen und mit der computerassistierten volumetrischen Messung verglichen.

Laut Stocchetti et al. (2000) sind beide pragmatischen Methoden computerbasierten Messungen unterlegen. Wenn jedoch keine digitale volumetrische Bestimmung der Läsionen mit einem CT-Computer möglich ist, bieten sich die beiden pragmatischen Methoden als Alternativen an. Sie können nach kurzem Training gemeistert werden und benötigen keine teuren Geräte.

Die ABC/2-Methode ist eine einfache und schnelle bettseitige Formel zur Messung des Subduralhämatom-Volumens ohne eingeschränkten Zugriff und könnte die computergestützte Volumenmessung im klinischen- und Forschungsbereich ersetzen (Won et al., 2018).

Bereits vor einigen Jahren zeigte die ABC/2-Formel eine hervorragende Korrelation mit dem Goldstandard, was die Tauglichkeit zur Bestimmung des Volumens des cSDHs ($p < 0,001$) bestätigt. Die zu bevorzugenden Messungseinheiten sind die maximale Hämatomlänge und -breite, und nicht die, die sich bei der gleichen zentralen Schicht befinden (Sucu, Gokmen und Gelal, 2005).

Auch andere Autoren demonstrierten die Genauigkeit der ABC/2-Volumenformel in Bezug auf die computergestützte Volumetrie zur Messung des cSDH-Volumens und demonstrierten, dass die ABC/2-Methode eine einfache und ausgezeichnete Formel am Krankenbett ist, die verwendet werden kann, um akute und zeitnahe Entscheidungen zu treffen. Sie verwendeten eine lineare Regressionsanalyse von Pearson und eine Bland-Altman-Regressionsanalyse auf Log-Skala, um die Korrelation zwischen diesen Methoden zu bestimmen. In der linearen Regressionsanalyse wurde eine hochsignifikante Korrelation zwischen ABC/2 und computergestützten

Werten ($R^2 = 0,934$, Steigung = $0,975$) festgestellt und das gleiche Ergebnis wurde auch in der Bland-Altman-Regressionsanalyse zwischen dem Logarithmus von ABC/2 und dem Log der computergestützten Werte ($R^2 = 0,947$, $p < 0,0001$). Die Bland- und Altmann-Regression ergab keine unerwünschte Abweichung zwischen dem geometrischen Mittel von ABC/2 und den computergestützten Messungen (Won et al., 2018).

Andererseits zeigen Leary et al. (2021) im Rahmen einer großen Studie über den Vergleich von computergestützter Messung und ABC/2-Methode bei Läsionen nach Traumata, unter anderem bei subduralen Hämatomen, dass besonders bei großen Subduralhämatomen ($> 50 \text{ cm}^3$), eine relative Abweichung von ca. 20 % zwischen den beiden Methoden identifiziert werden kann, was zeigt, dass ABC/2 das Volumen für diese Läsionen signifikant überschätzt.

Nach eigener Erfahrung und anhand vorliegender Bland-Altman-Plot Analyse war die Abweichung zwischen den CT-gesteuerten volumetrischen Messungen der präoperativen Hämatome und der empirischen Messungen mittels ABC/2-Formel ca. 8 Punkte im Übermaß zu eruieren. Des Weiteren konnten wir auch bemerken, dass die ABC/2-Formel genauer bei kleinen als bei größeren Volumina ist. In Anbetracht des breiten Messungsbereichs der Volumina ist eine Vermessung von zirka 8 Punkten für die erste klinische Beurteilung akzeptabel. Ziel der Anwendung dieser Methode ist nämlich eine rapide und möglichst genaue Einschätzung der Breite des präoperativen Volumens, um akute Entscheidungen zu treffen inklusive der OP-Indikations-Stellung und der Volumenreduktion nach der eventuellen Behandlung, um den klinisch-prognostischen Verlauf zu evaluieren.

Bei den Messungen mittels computerassistierter Volumetrie wurden durchschnittlich zirka 600 Sekunden benötigt, während es bei der ABC/2-Methode zirka 36 Sekunden waren. Das zeigt den enormen Unterschied bei der Durchführungszeit und bestätigt, dass die ABC/2-Methode für eine deutlich rapidere Datenerfassung spricht.

Andere Autoren führten diesen Vergleich auch bezüglich des Volumens postoperativer Luft durch, was in vorliegender Studie nicht untersucht wurde. Sie kamen zu erfolgsversprechenden Ergebnissen, und zwar dass die geschätzten Pneumocephalus-Volumina nach der Formel ABC/2 signifikant mit den Volumina korrelierten, die durch die computergestützte volumetrische Technik gemessen wurden ($p < 0,001$) und bei Pearson-Korrelationskoeffizient sehr nahe bei 1, bestätigte die Studie, dass die ABC/2-Methode eine genaue und einfache Technik zur Einschätzung des Pneumocephalus-Volumens am Krankenbett ist (Chan et al., 2022).

4.1.2.2 Messung der Mittellinienverlagerung

Die „Brain Trauma Foundation-Leitlinie“ (2000) schlug eine Bestimmung der MLS vor, in der man zuerst die Breite des intrakraniellen Raums misst, diese durch 2 teilt und den gemessenen Abstand vom Knochen zum SP subtrahiert. Da aber der Schädel nicht immer symmetrisch ist und die Lage des Patienten die cCT-Untersuchung leicht verfälschen könnte, messen viele Spezialisten die MLS, indem sie zuerst die ideale Mittellinie zeichnen, die die am weitesten vorne und hinten sichtbaren Punkte auf der Falx verbindet und messen dann den am weitesten entfernten Punkt vom Septum Pellucidum als senkrecht zur idealen Mittellinie (Liao, Chen und Xiao, 2018). Die eigens durchgeführten Messungen glichen dieser weitverbreiteten Methode, sowohl aufgrund der oben beschriebenen Gründe, als auch weil sie sich wegen ihrer Handlichkeit und Geschwindigkeit gut für den klinischen Alltag eignet.

Es wurde auch ein anderes automatisiertes Berechnungsmodell für die deformierte Mittellinie vorgeschlagen, das unter anderem aus einer quadratischen Bezier-Kurve besteht, die sich zwischen einem oberen und ein unteren geraden Segment befindet. Diese Segmente sind Teile der Falx cerebri (Liao, Chen und Xiao, 2018).

In einer möglichen zukünftigen Erweiterung der Studie, könnten neue Messungen der MLS der untersuchten Patienten anhand von diesem Modell durchgeführt und mit den bereits erfassten in einer statistischen Auswertung verglichen werden.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Klinisches Bild

Laut den Daten von Kitya et al. (2018) waren bei ihren 205 eingeschlossenen Patienten Kopfschmerzen das häufigste Symptom (89,6 %), gefolgt von Verwirrtheit (71,7 %) und Extremitätenschwäche (70,5 %), während Krampfanfälle eher selten festgestellt wurden (11,5 %). In vorliegendem kleineren Patientenkollektiv von 129 eingeschlossenen Patienten war stattdessen die Gruppe mit psychomotorischen Auffälligkeiten die am meistens repräsentierte (32%), gefolgt von Hemisymptomatik (26%) und von der Gruppe mit Kopfschmerzen (19%) und Aphasie (17%). Auch in der hier präsentierten Studie stellten die Patienten mit Krampfanfällen die kleinste Gruppe dar (6%).

Des Weiteren bezeichnen dieselben Autoren (Kitya et al., 2018) die Patienten mit Extremitätenschwäche (Mittelwert \pm Standardabweichung in Jahren: $64,7 \pm 1,45$) im Durchschnitt älter

als diejenigen mit Krampfanfällen ($50,2 \pm 4,46$) und Kopfschmerzen ($58,7 \pm 1,43$). Im Gegensatz dazu kann vorliegend berichtet werden, dass bei den hier untersuchten Patienten die mit psychomotorischen Auffälligkeiten ($75,44 \pm 11,41$) der ältesten Gruppe entsprechen, gefolgt von den Patienten mit Hemisymptomatik ($75,03 \pm 10,61$), Aphasie ($72,70 \pm 12,69$), Kopfschmerzen ($71,04 \pm 13,03$) und Krampfanfällen ($64,64 \pm 17,15$), die die jüngste Gruppe darstellten.

Wie Yamada et al. (2018) konnte festgestellt werden, dass bei den Patienten mit Kopfschmerzen das präoperative Volumen kleiner als bei den Patienten ohne Kopfschmerzen war ($99,47 \pm 42,58$ vs. $104,12 \pm 40,49$), aber die MLS ausgedehnter ($9,52 \pm 4,46$ vs. $8,68 \pm 4,17$). Allerdings wurde im Gegensatz zu den Kollegen keine statistische Relevanz (jeweils $p=0,539$ und $p=0,282$) gefunden. Das könnte allerdings daran liegen, dass vorliegendes Kollektiv deutlich kleiner war (1080 vs. 129).

Im Gegensatz zu Honda et al. (2015) stand weibliches Geschlecht anhand der Daten nicht in Verbindung mit psychomotorischen Auffälligkeiten. Es fand sich nämlich keine statistisch relevante Korrelation mit dem Geschlecht ($p=0,424$). Allerdings soll man in Erwägung ziehen, dass es sich bei den Fällen der Kollegen spezifisch um schwere Vigilanzminderung mit $GCS \leq 8$ handelte, während in dieser Studie generell psychomotorische Auffälligkeiten berücksichtigt wurden, was einem breiteren und unspezifischeren Spektrum entspricht. Es könnte sich sodann die Kraft der Aussage abmildern.

Motiei-Langroudi et al. (2019) berichten, dass einseitige Hämatomde, höheres Patientenalter, maximale Hämatomdicke und MLS mit einer höheren Hemipareserate bei Patienten mit cSDH assoziiert sind. Außerdem analysierten sie die Wahrscheinlichkeit einer Hemiparese basierend auf der maximalen Hämatomdicke und MLS. Bei einseitigen Hämatomde waren maximale Hämatomdicken $\geq 19,8$ mm und MLS $\geq 6,4$ mm mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % mit einer Hemiparese verbunden ($p < 0,001$ bzw. $p < 0,09$). In vorliegender Studie wurden nur Patienten mit einseitigen Hämatomde eingeschlossen, daher war eine uni- und bivariate Analyse bezüglich der Lateralität der Hämatomde nicht möglich. Allerdings wurde vorliegend eine statistisch relevante Korrelation eher zwischen dem präoperativen Volumen ($p=0,004$) und dem Vorhandsein einer Hemisymptomatik gefunden, aber keine Korrelation mit den Parametern MLS ($p=0,314$) und Alter ($p=0,32$). Die Ergebnisse distanzieren sich damit von denen dieser Autoren, aber man soll in Betracht ziehen, dass vorliegendes Patientenkollektiv deutlich kleiner ist, was grundsätzlich eine Limitation darstellt. Weitere Studien mit mehreren inkludierten Patienten sind notwendig.

Patienten mit oder ohne Anfälle wurden in einer univariaten Analyse von Goertz et al. (2019) mit der präoperativen Mittellinienverschiebung korreliert. Diese ist signifikant mit postoperativen Anfällen assoziiert (8,3 mm bei Patienten mit Anfällen vs. 4,5 mm bei Patienten ohne Anfälle, $p=0,045$). In vorliegender Studie traten postoperative Anfälle nur in 3,1% ($n=4$) der Fälle auf, sodass bei einer so kleinen Gruppe keine relevante statistische Fragestellung gestellt werden kann. Allerdings konnte belegt werden, dass Alter, präoperatives Volumen, präoperative MLS und Seite des Hämatoms mit dem Vorhandsein von präoperativen Krampfanfällen signifikant korrelieren (jeweils $p=0,00$, $p=0,06$, $p=0,012$ und $p=0,035$).

Kramer et al. (2022) identifizierten bei 9 % der Patienten postoperative Anfälle. Membranen innerhalb des Hämatoms waren in 81,5 % der Fälle vorhanden. In der univariaten Analyse waren präoperative Mittellinienverschiebung ($p=0,045$), offene Kraniotomie ($p=0,031$) und Membranektomie ($p=0,004$) signifikant mit postoperativen Anfällen assoziiert.

Laut Blaauw et al. (2022) korrelierte Aphasie als vorübergehendes neurologisches Defizit weder mit dem Alter noch mit dem Geschlecht, was grundsätzlich mit der hier präsentierten Untersuchung übereinstimmt.

Folglich korrelierte, anhand vorliegender Daten, Geschlecht, das Vorhandsein von Membranen, altes Blut oder Hygrom und frische Komponenten mit keinem der initialen Symptome. Die Seite des Hämatoms war mit dem Vorhandsein von Aphasie und Krampfanfälle verbunden. Bezüglich der Aphasien lässt sich vermutlich erklären, dass die Sprachareale sich bei der Mehrheit der Menschen links befinden. Das Alter korreliert signifikant nur mit Kopfschmerzen und Krampfanfällen. Das präoperative Hämatomvolumen und die MLS korrelierten stark mit dem Vorhandsein der meisten Symptome der hier untersuchten Patienten.

4.2.2 Outcome

4.2.2.1 *Quantitative Reduktion des Subduralhämatoms für die klinische Besserung der Patienten*

Obwohl die Korrelation zwischen der Ausdehnung des präoperativen Hämatomvolumens und dem klinischen Zustand des Patienten sowie der Reduktion des Volumens für ein besseres klinisches Outcome logisch klingt, scheint sie wissenschaftlich nicht gut etabliert zu sein und man findet keine große literarische Bestätigung dieser Hypothese. In dieser Studie wurden sowohl eine statistisch relevante Korrelation zwischen dem präoperativen Volumen und den initialen

klinischen Beschwerden präsentiert, als auch der ebenso statistisch relevante Zusammenhang zwischen der Reduktion dieses Volumens und der Besserung des Outcomes des Patienten.

Faktoren wie hohes Alter und Vigilanzbeeinträchtigung sind mit einem schlechten Outcome und schlechter postoperativen Erholung verbunden. Auch die intraoperative Spülung kann das Risiko eines postoperativen Delirs signifikant steigern und ist mit einem längeren Krankenhausaufenthalt verbunden (Ishida et al., 2022). Eine Mangelernährung ist ein starker Prädiktor für das Risiko eines schlechteren klinischen Ergebnisses (Scerrati et al., 2022).

Weimer, Gordon und Frontera (2017) identifizierten diverse Faktoren mit einem besseren (höheren GCS, chirurgische Behandlung) oder schlechteren (Alter, Zigarettenkonsum, kardiovaskuläre Erkrankungen, Demenz, präoperative Krampfanfälle, Fieber) Outcome. Außerdem bietet die Feststellung, dass mit einer chirurgischen Reduktion ein besseres Outcome als ohne Chirurgie erreicht wird, grundsätzlich keine Klarstellung an, welche Faktoren dieses bessere Outcome bei den operierten Patienten beeinflussen, wie zum Beispiel die Quantifizierung des drainierten Volumens.

Des Weiteren gibt es gemäß der eigenen Erfahrung in der Literatur noch keine suffiziente Untersuchung des Einflusses der Volumenreduktion auf die klinische Besserung der Patienten und vor allem wurde noch nie ein Cut-off beschrieben, das die notwendige und ausreichende Menge zu drainierenden Subduralhämatoms definiert, um eine Besserung des klinischen Outcomes zu erzielen. Mit vorliegender Untersuchung wurde ein Versuch dahingehend unternommen, der gezeigt hat, dass eine Volumenreduktion von 43% die benötigte Grenze darstellt.

Es muss nichtsdestotrotz bemerkt werden, dass dieser Cut-off sich auf diese spezifischen Daten bezieht und nicht als absoluter Wert betrachtet werden kann. Weitere Studien, auch mit größeren Patientenkollektiven und in unterschiedliche Zentren sollten durchgeführt werden, um diese Hypothese zu validieren.

Falls sich diese Hypothese auch in anderen Studien bestätigen sollte, wäre dies von enorm wichtiger klinischer Relevanz, insofern als sich die operative Behandlung daran anpassen könnte. In Anbetracht der Tatsache, dass eine bestimmte Anzahl an Hämatomreduktion genug für die klinische Besserung des Patienten wäre, könnte ausschließlich diese Menge intraoperativ drainiert werden und daher unnötige Aspirationen oder wiederholte Spülungen der Hämatomhöhle verhindern, die eventuell die postoperativen Komplikationsraten erhöhen könnten.

Außerdem könnte die Drainage entfernt werden, sobald die gewünschte Blutmenge sich akkumuliert hat und sich somit die Risiken einer prolongierten Drainagelagedauer reduzieren.

4.2.2.2 *Quantitativer Rückgang der Mittellinienverlagerung für die klinische Besserung der Patienten*

Mehrere Studien haben die Bedeutung der MLS und den Einfluss derer auf die klinische Konstellation der Patienten mit cSDH hervorgehoben.

Unter verschiedenen Studien kann man einige erwähnen. Yamada et al. (2018) belegten, dass nicht der Hämatomdruck, sondern die Mittellinienverschiebung die Ursache der Kopfschmerzen war.

Motiei-Langroudi et al. (2019) fanden eine statistisch relevante MLS-Grenze, die die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Hemiparese steigert. In der Übersichtsuntersuchung über MLS und ihre Messung von anderen Autoren, werden verschiedene Anhaltspunkte zur Bestätigung der Relevanz dieser Parameter angeführt und es wird unter anderem erklärt, dass eine cSDH-Evakuierung nicht zwangsläufig zu einer Verbesserung der Vigilanz führt, wenn die präoperative MLS nicht groß genug ist, um ein initiales schlechtes Niveau des Bewusstseins zu erklären. Mit anderen Worten, eine geringe MLS steigert die Wahrscheinlichkeit, dass es eine zusätzliche Ursache dafür gibt (Liao, Chen und Xiao, 2018). Laut den gleichen Autoren findet sich eine negative Korrelation zwischen Bildgebungsschwereindex und initialem GCS, wenn man die MLS außerdem in gering (<5 mm), moderat (5-10 mm) und schwer (>10 mm) unterteilt.

Was noch nicht in der Literatur zu finden ist, ist eine quantitative Erklärung darüber, wie ausgeprägt der Rückgang der MLS sein sollte, um eine klinische Besserung der Patienten zu erzielen. Das war eines der Ziele dieser Arbeit. Diese Fragestellung konnte jedoch nicht vollständig beantwortet werden. Es fand sich nämlich keine ausreichende Trennschärfe um ein Cut-off zu definieren. Allerdings konnte belegt werden, dass die relative und absolute Reduktion der MLS einen statistisch relevanten Einfluss auf die postoperative Besserung der Hemisymptomatik ($p=0,010$), psychomotorische Auffälligkeiten ($p=0,001$), Kopfschmerzen ($p=0,004$) und für die gesamte Besserung ($p=0,000$) hat.

Weitere Studien sollten durchgeführt werden, um die Festlegung eines Cut-off des Rückgangs der MLS in Verbindung mit der klinischen Beschwerdebesserung zu setzen.

4.2.3 Faktoren die das Auftreten postoperativer Luft beeinflussen

Darüber hinaus konnten vorliegend Zusammenhänge zwischen dem Vorhandensein von bestimmten Parametern und dem Auftreten von postoperativer Luft analysiert werden und es wurde mithilfe eines linearen Regressionsmodells eine statistisch relevante Korrelation mit dem präoperativen Hämatomvolumen gefunden. Somit steigt das Risiko vom Auftreten postoperativer Luft konsequent bei steigendem Volumen. Diese Aussage fand mit einem $p=0,037$ eine statistische Relevanz und stellt sich graphisch gut dar. Eine Bestätigung dieser mit weiteren Untersuchungen ist allerdings empfehlenswert.

Anhand der Untersuchungen von Ihab (2012) war eher eine MLS über 5 mm entscheidend für das Auftreten postoperativer Luft.

Keiner der anderen Parameter von vorliegender Untersuchung hatte einen relevanten Einfluss auf das Vorhandensein postoperativer Luft. In der Literatur findet man viele Studien, die andere Faktoren in Relation zum postoperativen Pneumocephalus untersuchen.

Fang et al. (2022) verglichen die traditionelle Bohrloch-Behandlung mit einer neuroendoskopisch unterstützten Hämatomevakuierung und stellten eine statistisch relevante Reduktion des Pneumocephalusvolumens ($p<0,001$) dar. Die Patienten vorliegender Studie wurden ausschließlich mittels Anlage eines Bohrlochs behandelt, aber grundsätzlich wären andere weitere operative Techniken zu testen, falls die Evidenz besteht, dass die Komplikationen oder Rezidiven besser damit unter Kontrolle gesetzt werden könnten. Dafür sind weitere Studien notwendig. Laut Xie et al. (2020) zeigte die Anlage einer subperiostalen oder subgalealen Drainage keinen Unterschied hinsichtlich des Auftretens von Pneumocephalus im Vergleich zu der Anlage einer subduralen Drainage, mit der alle bei vorliegender Studie untersuchten Patienten behandelt wurden. Die Gabe von Dexamethason hat ebenso keinen Einfluss auf das Auftreten von postoperativer Luft (Tariq und Bhatti, 2021). Bilaterale Bohrlochdrainagen steigern signifikant ($p < 0,001$) das postoperative Pneumocephalusvolumen im Vergleich zu einseitigen Bohrlochdrainagen (Chan et al., 2022).

4.2.4 Faktoren die das Auftreten eines Rezidivs beeinflussen

Laut einigen früheren Studien wurde die Rezidivrate von unilateraler cSDH um 9,6 % (Huang et al., 2013) bzw. 12,81 % (Lee und Choi, 2022) beschrieben. Allerdings findet man in der Literatur eine Rezidivrate bis zu 33% (Xufei et al., 2022), was mit den Ergebnissen vorliegender Studie bei einer Rezidivrate von 24,04 % vergleichbar ist.

Die Ursachen und häufigen Risikofaktoren von cSDH bleiben Gegenstand der Debatte (Tamura et al., 2021). In der Literatur ließen sich gute Daten über den Einfluss der internen cSDH-Architektur und der postoperativen Hämatomdensität und -Entropie sowie der chirurgischen Behandlung ohne Anlage einer Drainage oder von postoperativen Drainagevolumen weniger als 200 ml auf die Erhöhung des Rezidivrisikos bzw. der Rezidivrate lesen (Hammer et al., 2017; Kanazawa et al., 2020; Mishra et al., 2022; Yadav et al., 2016; Kwon et al., 2000). In vorliegender Studie wurde der Fokus der Relationssuche nicht auf diesen Parameter gelegt, sondern auf Alter, Geschlecht, Antikoagulation, initiales cSDH-Volumen, Membranen im präoperativen CT, Seite des cSDHs, Lokalisation der Bohrlöcher, Drainagedicke, OP-Dauer, Ausmaß extrahierten Volumens, initiale MLS und Prozent des Rückgangs derer.

Es wurde in vorliegender Untersuchung befunden, dass das präoperative Hämatomvolumen ($p=0,001$), das Vorhandensein von Membranen ($p=0,039$), die relative Volumenreduktion ($p=0,000$), der relative Rückgang der MLS ($p=0,000$) und das Vorhandensein von frischen Blutkomponenten ($p=0,039$) das Risiko vom Auftreten eines Rezidivs statistisch relevant beeinflussen. Kanazawa et al. (2020) identifizierten männliches Geschlecht ($p=0,0012$), präoperatives Volumen ($p=0,000$) und Prozent drainierten Volumens ($p=0,000$) als statistisch relevant korrelierende Faktoren mit dem Auftreten eines Rezidivs, womit deren und vorliegende Ergebnisse teilweise übereinstimmen. Auch univariate Analysen von anderen Autoren ergaben, dass das Wiederauftreten von cSDH signifikant mit dem Vorhandensein von großen präoperativen Hämatomvolumen ($p=0,038$) assoziiert war (Miki et al., 2019). Diese Aussage stimmt mit vorliegender Analyse überein und hat eine große Relevanz, da sie ein Ausgangspunkt für nähere und gezieltere Untersuchungen unter anderem der behandelten Daten sein könnte.

Laut Ridwan et al. (2019) ist das postoperative cSDH-Volumen eines der stärksten Prädiktoren für ein Rezidiv und die Zeit bis zum Rezidiv. Andere Autoren beschreiben den Prozentanteil drainierten Hämatomvolumens als unabhängigen prognostischen Faktor für das Wiederauftreten eines subduralen Hämatoms, was mit vorliegender Argumentationen übereinstimmt (Stavrinou et al., 2017).

Außerdem haben das präoperative Hämatomvolumen und das postoperative Hämatomvolumen das Potenzial, die Vorhersage eines klinisch signifikanten Rezidivs zu treffen (Opsenak et al., 2023).

Allerdings fanden Kuwabara et al. (2017) keine signifikante Korrelation zwischen der präoperativen Hämatomdicke ($p=0,64$) sowie dem Vorhandensein von Membranen ($p=0,42$) und der

Rezidivrate. Die Relation zwischen initialer Hämatomdicke und Rezidiv war auch laut anderen Autoren nicht signifikant (Taussky, Fandino und Landolt, 2008).

Wie Yamada et al. (2018), hatte auch in dieser Untersuchung Alter keine Korrelation mit dem Auftreten eines Rezidivs und in Übereinstimmung mit Khan, Atif und Boghsani (2019) war die Seite des Hämatoms ebenso damit nicht signifikant korreliert.

Kim et al. (2015) berichten, dass die männliche Gruppe eine Rezidivrate von 10,2 % (28 von 272), während die weibliche Gruppe eine Rezidivrate von 3,1 % (3 von 96) aufwies. Der Unterschied war statistisch signifikant ($p=0,032$). In vorliegender Studie dagegen konnte nicht statistisch signifikant nachgewiesen werden, dass Geschlecht mit der Rezidivrate verbunden ist.

Jung, Jung und Kim (2015) behaupten, dass die präoperative Mittellinienverschiebung von mehr als 10 mm (OR, 5,7; 95 %; $p = 0,000$) laut ihrer multivariaten logistischen Regressionsanalyse der einzige unabhängige Risikofaktor für das Wiederauftreten von cSDH war. Vorliegend fand sich eher der Rückgang der MLS als ein Risikofaktor für das cSDH-Rezidiv ($p=0,000$), während die reine präoperative MLS war laut den Daten in diesem Zusammenhang statistisch nicht relevant war ($p=0,059$).

Andere Autoren fanden eine postoperative Mittellinienverschiebung > 6 mm und Hämatomvolumen > 80 ml signifikant häufiger in der Rezidivgruppe (Suero Molina et al., 2020). Man sollte diese, oder ähnliche quantitative Grenzen, in weiteren Arbeiten untersuchen.

In dieser Untersuchung lag der Wert unter anderem auf der Suche nach einer Korrelation zwischen den präoperativen und postoperativen Symptomen und dem Auftreten eines Rezidivs. Keine der initialen Beschwerden hatte einen Einfluss auf das Auftreten eines Rezidivs, allerdings hatten diesbezüglich die postoperative Aphasie, psychomotorische Auffälligkeiten und Kopfschmerzen einen statistisch relevanten Einfluss ($p=0,012$; $p=0,002$; $p<0,001$).

Diese Auffassung könnte im klinischen Alltag eine wichtige Rolle spielen. Das Anhalten der oben genannten Symptome trotz Behandlung könnte nämlich eine strenge Überwachung, einen längeren stationären Aufenthalt und eine Verkürzung der postoperativen cCT-Kontrollzeit notwendig machen.

Daten diesbezüglich sind in der aktuellen Literatur sehr spärlich und erlauben daher keinen Datenvergleich.

Laut Dudoit et al. (2016) sind Rezidive von einseitigen cSDH eindeutig mit der Persistenz der Mittellinienverschiebung verbunden, die durch das Vorhandensein eines Pneumocephalus induziert ist. Diese Aussage verbindet viele der hier formulierten Fragestellungen und könnte einen Startpunkt zur Etablierung neuer Untersuchungsargumentationen darstellen.

Suero-Molina et al. (2020) und Amoo et al. (2021) boten verschiedene Risiko-Score-Bewertungen zur Vorhersage des Wiederauftretens eines subduralen Hämatoms. Die Risiko-Scores umfassen unter anderem postoperatives Hämatomvolumen und -dichte beziehungsweise maximale Hämatomdicke und Alter. Eine Überprüfung der Anwendbarkeit dieser bei den bereits evaluierten Patienten, sowie bei weiteren Untersuchungen, wäre sinnvoll mit dem Ziel eine einheitliche Risiko-Einstufung zu erreichen.

4.2.5 Postoperative Luft als Risikofaktor eines cSDH-Rezidivs

Da die postoperative Luftansammlung bei allen Patienten vorliegender Untersuchung auftrat und jeder Wert über null war, konnte die Variabel „Vorhandsein/nicht Vorhandsein von Luft“ nicht angewendet und dadurch keine Analyse durchgeführt werden. Diese Untersuchung basierte sich daher um die Korrelation zwischen der postoperativen Luftmenge und dem eventuellen Rezidiv-cSDHs und dessen Volumen.

Parallel zu vorliegender Studie wurde 2022 die erste Metaanalyse publiziert, die die Wirkung eines Pneumocephalus auf das klinische Ergebnis bei Patienten untersuchte, die die chirurgische Evakuierung eines cSDHs erfahren haben. Die Ergebnisse von Xufei et al. (2022) zeigten, dass die Rezidivrate in der Pneumocephalus-Gruppe höher war als in der Kontrollgruppe (OR=3,35; CI: 2,51–4,46; $p < 0,001$). Es resultierten keine unterschiedlichen Rezidivraten zwischen den Gruppen „kein/wenige“ und „mäßiger Pneumocephalus“ (OR: 1,27; CI: 0,68–2,37; $p=0,46$), aber die Rezidivrate der Gruppe „großen Pneumocephalus“ war signifikant höher als die der moderaten Gruppe (OR=3,29; CI: 1,71–6,32; $p < 0,001$). Des Weiteren wurde das Vorhandensein von signifikanter subduraler Luft als unabhängiger Risikofaktor ($p = 0,025$, OR = 1,12) für ein cSDH-Wiederauftreten bei älteren ≥ 75 Jahren identifiziert (Ito und Higuchi, 2021). Im Gegensatz dazu konnte in dieser Studie nachgewiesen werden, dass die Luftmenge keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten eines Rezidivhämatoms (OR 0,977; CI: 0,943 – 1,013; $p=0,207$) und dessen Volumens (B 0,194; CI: -1,040 – 1,430; $p=0,749$) spielt sowie, dass das Alter keine Korrelation zum cSDH-Wiederauftreten ($p=0,566$) hat. Allerdings wurden nicht verschiedene Klassen der Luftmenge genommen, sondern nur prinzipiell das Vorhandsein

von Luft oder nicht in Betrachtung gezogen und die Population nicht in Alterskategorien eingeteilt.

Kanazawa et. al (2020) beschrieben eine Menge > 10 ml von postoperativer Luft als relevant in Bezug auf das Auftreten eines Rezidivs ($p=0,001$). In dieser Arbeit wurde primär keine Grenze einer signifikanten postoperativen Luftansammlung definiert. Diese könnte aber einen interessanten Ansatz für weitere Untersuchungen darstellen.

Außerdem konnte die Hypothese von You und Zheng (2018), wonach Pneumozephalus die Rezidivrate des cSDHs (32.6% gegen 17.7%) erhöhe, mit dieser Studie nicht bestätigt werden.

Dieselben Autoren argumentieren, dass ein postoperativer Pneumozephalus zu einer Verschlechterung des neurologischen Status führe. Dagegen fand Ihab (2012) keinen statistisch signifikanten Unterschied in dem klinischen Ergebnis zwischen Patienten, die nach der Operation einen Pneumozephalus hatten, und denen, die keinen hatten. Da in vorliegendem Patientenkollektiv immer postoperative Luft auftrat, kann sich hier weder an die Ergebnisse des einen, noch des anderen angeschlossen werden. Allerdings kann man bemerken, dass das Patientenkollektiv von Ihab (2012) mit $n=50$ deutlich kleiner als hier vorliegendes ($n=129$) und des von You und Zheng (2018) mit $n=226$ war. Huang et al. (2020) fanden keinen Unterschied der GCS/GOS-Scores zwischen Patienten mit und ohne Pneumozephalus ($p > 0,05$).

Eine aktuelle Studie belegt zudem, dass das postoperative Pneumozephalusvolumen die Vorhersage eines klinisch signifikanten Rezidivs potentiell zulässt (Opsenak et al., 2023).

Bezüglich dieses Themas kann man schlussfolgern, dass der Einfluss von Pneumozephalus als Risikofaktor für ein cSDH-Rezidiv kontrovers ist. Grundsätzlich wurde dies dahingehend betrachtet (Xufei et al., 2022; Ito und Higuchi, 2021; Kanazawa et al., 2020; Shen et al., 2019), aber es gibt auch Literatur, die darauf hindeutet, dass ein bestimmter Bereich von Pneumozephalus keine Auswirkungen bzw. statistisch relevante Korrelation darauf hat (Huang et al., 2020; Yu et al., 2009). Allerdings sei anzumerken, dass die neuere Literatur sich auf die erste Hypothese auszurichten scheint.

Es wurde vor Kurzem in Puerto Rico (Mignucci-Jiménez et al., 2022) eine 10-Punkte-Skala zur Bewertung des Rezidiv-Risikos bei cSDH veröffentlicht. Bestehend aus vier Komponenten, und zwar präoperativer Mittellinienverschiebung (≤ 1 und > 1 cm), Lateralität (bilateral, einseitig rechts und einseitig links), Größe des postoperativen Subduralraums ($\leq 1,6$ und $> 1,6$ cm) und Pneumozephalus (vorhanden oder nicht vorhanden). Die Rezidivraten stiegen schrittweise von

der Gruppe mit niedrigem Risiko (0-3 Punkte) zu der Gruppe mit hohem Risiko (8-10 Punkte) (2,9 % vs. 20,3 %; $p < 0,001$). Trotz der ähnlichen Nutzung der meisten Kriterien, kann diese Bewertungsskala bei den hier untersuchten Patienten nicht angewendet werden, da ausschließlich einseitige Hämatome in diese Studie eingeschlossen wurden.

Grundsätzlich werden in der Literatur mehrere Risikoscores zur Einschätzung des Rezidivrisikos bei cSDH anhand des Vorliegens bestimmten Faktoren angeführt. Es wäre nützlich, wenn man multizentrische Studien durchführen würde, die dem Vergleich und der Überprüfung dieser Scores dienen würden. Idealerweise könnte durch eine Modulation an die Populationseigenschaften auch eine einheitliche Verwendung angestrebt werden. Dies würde die klinische Praxis mit allen notwendigen zu treffenden Entscheidungen deutlich erleichtern.

Möglicherweise könnte eine multizentrische deutsche Studie zur Erstellung einer einheitlichen Skala für die Bewertung des Rezidiv-Risikos bei einseitigen cSDH vorgenommen werden.

4.1 Operatives Verfahren

Eine einheitliche chirurgische Behandlung der cSDH existiert nicht. Verschiedenste Methoden und deren Variationen wurden vorgeschlagen, ausführlich untersucht und verglichen (Siddique et al., 2022; Mehta et al., 2018; Zolfaghari et al., 2021; Weigel, Schmiedek und Krauss, 2003; Ducruet et al., 2012; Almenawer et al., 2014; Solou et al., 2022; Mahmoodkhani et al., 2022; Bartley et al., 2023; Ivamoto et al., 2016; Lee und Choi, 2022).

Beim Konsultieren der neuen Literatur scheint sich das chirurgische Vorgehen in ständiger Entwicklung zu befinden.

Interessant ist der kürzliche Vorschlag vom Tran et al. (2019), die die Verwendung eines zweilumigen Katheters mit Spül- und Drainagemöglichkeiten für das perioperative Management von cSDH beschrieben. Dies könnte eine erneute Ansammlung der subduralen Flüssigkeit wirksam verhindern und könnte damit ein neuartiges Mittel darstellen, Rezidive zu verhindern.

Májovský et al. (2016) schlugen eine Behandlung mittels Endoskops vor. In ihrer Studie ermöglichte diese minimal invasive Technik, in Lokalanästhesie durchführbar, eine gute Visualisierung der Hämatomhöhle. Die Hauptvorteile sind die korrekte Positionierung des Katheters unter visueller Kontrolle, die Erkennung von Septierungen und die frühzeitige Erkennung von Kortikalis- oder Gefäßverletzungen während der Operation.

Positive Ergebnisse bei der Verwendung einer neuroendoskopischen Technik bei rezidivierenden cSDH wurden auch von Ichimura et al. (2020) erhoben, da das Hämatom und die Septierungen entlang des gesamten Umfangs der Hämatomhöhle sichtbar gemacht und evakuiert werden können und die innere Membran zerrissen werden kann, um eine Gehirnexpansion zu ermöglichen. Diese Technik sieht allerdings die Anlage einer kleinen Kraniotomie vor, was nicht dem vorliegenden Standardverfahren bei Rezidiven entspricht.

Alle hier eingeschlossenen Patienten wurden mittels operativer Durchführung eines frontalen oder parietalen Bohrlochs und Anlage einer Subduraldrainage behandelt. Allerdings könnten die oben genannten neuen Techniken ein zusätzlich nützliches Mittel auch zur Ergänzung und teilweise Vereinfachung wissenschaftlicher Fragestellungen darstellen.

4.2 Limitationen

Die Limitationen dieser Arbeit sind hauptsächlich durch den retrospektiven Charakter der Untersuchung bedingt. Eine wesentliche Einschränkung liegt zudem in der geringen Anzahl an eingeschlossenen Patienten. Allerdings sei anzumerken, dass die meisten anderen Studien in der Literatur vergleichbare Patientenkollektive aufweisen. Das könnte entweder eine Abmilderung des Limitationskonzepts oder eine Verstärkung bezüglich der Richtigkeitsbegrenzung der Angaben darstellen, da diese Studien als Beispiel oder Vergleich herangezogen wurden. Die Durchführung weiterer Studien, idealerweise multizentrisch und prospektiv, würden die Validierung der aktuellen Daten unterstützen.

Des Weiteren waren auch die Studien, die zunächst für die Literaturrecherche und danach für die Diskussion verwendet wurden, nahezu ausschließlich retrospektiv. Das generiert dementsprechend große Heterogenität.

Außerdem gibt es eine Vielfalt von teilweise der Subjektivität der Autoren unterlegenen Definitionen der Parameter, der angewendeten statistischen Methoden, der Grenzen zur Einteilung einer quantitativen Messung und der Kriterien für die Relevanzbeurteilung einer Fragestellung. Ein einheitliches Untersuchungsverfahren wäre so sinnvoll wie auch unrealistisch.

Bezüglich der Korrelation der verschiedenen Parameter mit dem initialen klinischen Bild kann eine mögliche Limitation dieser Studie das Einschlusskriterium sein, gemäß welchem nur operierte Patienten ausgewählt wurden. Bei diesen Patienten wurde die Indikation einer operativen Versorgung gestellt, und das impliziert in der Regel ein schwereres klinisches Erscheinungsbild. Für die spezielle Beantwortung dieser Fragestellung wäre eine Studie angemessener, die alle Patienten mit cSDH unabhängig von dem Behandlungsverfahren umfasst.

4.3 Interessenskonflikte

Bezüglich der Verfassung dieser Arbeit bestehen keine Interessenskonflikte.

5 Zusammenfassung

Das präoperative subdurale Hämatomvolumen und die MLS sind die Parameter, die am meisten mit dem initialen klinischen Bild der Patienten korrelieren, gefolgt vom Alter. Vorausgesetzt, dass diese als Risikofaktoren für das Vorhandensein der Beschwerden zu werten sind, kann man behaupten, dass nur die ersten zwei modifizierbar sind. Dies soll auch geschehen, um bei den Patienten eine Abnahme der Symptome zu erreichen. Es scheint somit klar, dass die Therapie der cSDH chirurgisch ist. Bei den hier mittels Anlage eines Bohrlochs und einer Subduraldrainage behandelten Patienten wurde ein statistisch relevanter Zusammenhang zwischen der Reduktion des Hämatomvolumens sowie der MLS und der Besserung des Outcomes des Patienten gefunden. Die Hemisymptomatik, psychomotorische Auffälligkeiten und Kopfschmerzen wurden nämlich postoperativ als Konsequenz der Hämatom- und MLS-Reduktion besser. Außerdem kann man festhalten, dass der Rückgang dieser Parameter deutlich statistisch relevant mit der gesamten Besserung korreliert. Es war möglich, ein optimales Cut-off für das Auftreten einer klinischen Besserung bei einer Subduralvolumenreduktion von 43% zu kalkulieren. Diese Aussage soll mit weiteren Studien bestätigt und ergänzt werden. Bei fehlender Trennschärfe erwies es sich allerdings als nicht sinnvoll, ein optimales Cut-off des Rückgangs der MLS zu etablieren.

Bei allen untersuchten Patienten konnte postoperative Luft gemessen werden. Die postoperative Luftansammlung war im vorliegenden Patientenkollektiv ein ausgedehntes und diffuses Phänomen, das eine statistisch relevante Korrelation mit dem präoperativen Hämatomvolumen aufwies. Eine Steigerung des präoperativen Volumens führt nämlich zu einer Risiko-Erhöhung für das Auftreten postoperativer Luft und deren Volumen. Allerdings scheint die postoperative Luft keinen Einfluss auf das Auftreten eines Rezidivs zu haben.

Eines der Merkmale der cSDH ist die hohe Rezidivrate, die in einigen Studien bis zu 33 % betragen kann und mit den Ergebnissen dieser Studie bei einer Rezidivrate von 24,04 % vergleichbar ist. In vorliegender Studie wurde unter anderem Wert auf die Untersuchung gelegt, welche Faktoren das Auftreten eines Rezidivs beeinflussen. Während keine der initialen Symptome eine Rolle spielten, zeigten sich bei den Patienten mit keiner postoperativen Besserung der Aphasie, psychomotorischen Auffälligkeiten und Kopfschmerzen eine Erhöhung des Auftretens eines Rezidivs. Es ist daher wahrscheinlich anzuraten, diese Patienten strenger zu monitorieren. Allerdings stand die Menge des Rezidivvolumens damit nicht in Verbindung. Das

präoperative Hämatomvolumen, das Vorhandensein von Membranen, die relative Volumenreduktion, der relative Rückgang der MLS und das Vorhandensein von frischen Blutkomponenten hat eine statistisch relevante Korrelation mit dem Risiko vom Auftreten eines Rezidivs ergeben.

Die Gold-Standard-Untersuchung zur Definierung des subduralen Hämatomvolumens ist die computerassistierte Volumetrie, die in vorliegender Studie mit dem Programm BrainLab durchgeführt wurde. Dieses Programm hat im klinischen und wissenschaftlichen Alltag eine große Relevanz. Eine Messung mittels dieser Methode ist sehr präzise, jedoch auch zeitaufwendig. Des Weiteren besteht in einer akuten Phase oft nicht die Möglichkeit einer Verwendung dieser digitalen Methode. Es können daher empirische Methoden zur Verwendung kommen, wie die bestbekannte ABC/2-Formel. Zielsetzung dieser Arbeit war auch festzulegen, ob diese sowohl für die untersuchten Patienten als auch perspektivisch eventuell für die klinische alltägliche Anwendung adäquate Messungen leisten könnte. Anhand vorliegender Daten war die Abweichung vom Gold-Standard akzeptabel und geeignet, effektiv und rapide den klinisch-prognostischen Verlauf und das chirurgische Procedere in akuten Phasen einzuschätzen. Die Genauigkeit dieser alternativen Methode reduziert sich allerdings bei der Steigerung des Hämatomvolumens.

Weitere multizentrische Studien sollten angestrebt werden, um die Risikoscores zur Einschätzung des Rezidivrisikos zu überprüfen.

Was zudem als wichtig erachtet werden kann, wäre die Bestimmung verschiedener Abgrenzungen der quantitativen Parameter, um genau zu definieren, wie viel Restvolumen oder wie viel Luftvolumen beispielsweise prediktiv für ein Rezidivauftreten und ein schlechteres Outcome sind.

Schließlich sollte man das vorliegende vielversprechende Cut-off der absoluten Subduralvolumenreduktion für das Auftreten einer klinischen Besserung mit zusätzlichen Patientenkollektiven und auch in anderen Zentren validieren.

6 Anhang

6.1 Tabellen

Tab. 1 Deskriptive Daten	47
Tab. 2 Univariate Analyse der Korrelation zwischen verschiedenen Parametern und dem Auftreten postoperativer Luft.....	58
Tab. 3 Ergebnisse der linearen Regression zur Analyse der Korrelation von den Parametern Alter, präoperatives Volumen und OP-Dauer mit dem Auftreten von postoperativer Luft.....	58
Tab. 4 Logistische Regressionen zur Analyse der Korrelation zwischen verschiedenen Parametern und Auftreten eines Rezidivs	59
Tab. 5 Univariate Analyse der Korrelation zwischen den initialen Symptomen und dem Auftreten eines Rezidivs.....	60
Tab. 6 Univariate Analyse der Korrelation zwischen den postoperativen Symptomen und dem Auftreten eines Rezidivs	62
Tab. 7 Univariate Analyse der Korrelation zwischen verschiedenen Parametern und den initialen Symptomen	70
Tab. 8 Univariate Analyse der Korrelation zwischen den Parametern Alter, präoperativem Volumen, präoperativer MLS und den initialen Symptomen.....	72

6.2 Abbildungen

Abb. 1 cCT und schematische Darstellung eines cSDHs (Edlmann et al., 2017)	6
Abb. 2 cCT, das die Klassifizierung von cSDHs gemäß ihrer internen Architektur demonstriert (Nakaguchi et al., 2001).....	7
Abb. 3 Klassifikationsmethode der cSDHs (Takei et al., 2021).....	8
Abb. 4 Darstellung der Ultrastruktur der Hirnhaut (Santarius et al., 2010).	9
Abb. 5 Zusammenfassende Darstellung von Molekülen und Prozessen, die mit der cSDH-Bildung assoziiert sind (Edlmann et al., 2017).	10
Abb. 6 Darstellung eines cSDHs in koronaler Ansicht sowie seinen zugehörigen inneren und äußeren Membranen. (Sahyouni et al., 2017).....	11
Abb. 7 Der cSDH-Zyklus. Zusammenfassung der pathophysiologischen Prozesse, die an der Bildung einer cSDH beteiligt sind (Edlmann et al., 2017).....	12
Abb. 8 Altersverteilung von 129 Patienten mit cSDH (Tsai et al., 2010).....	12
Abb. 9 Markwalder-Skala (Markwalder et al., 1981)	15
Abb. 10 Native, koronale Computertomographie, die ein cSDH zeigt (Mehta et al., 2018).....	15

Abb. 11 Flussdiagramm, das den Entscheidungsprozess beim chirurgischen Management von cSDH darstellt (Ducruet et al., 2012).....	18
Abb. 12 Balkendiagramm der vier verschiedenen Ergebnismaße, untersucht als Funktion der chirurgischen Technik (Ducruet et al., 2012).....	19
Abb. 13 Zusammenhang zwischen präoperativer ECPB und cSDH-Rezidivrate (Matsubara et al., 2023).....	24
Abb. 14 Rezidivrate abhängig vom cCT-Befund (Hammer et al., 2017).....	25
Abb. 15 Diagramm, das einen Vergleich der Drainagemuster zwischen der Gruppe mit Rezidiv und der Gruppe ohne cSDH-Rezidiv zeigt. (Kwon et al., 2000).....	26
Abb. 16 Trichterdiagramm zur Darstellung der ein- und ausgeschlossenen Patienten.....	28
Abb. 17 In diesem Diagramm werden die Ein- und Ausschlussprozesse visualisiert. Die initiale Nummer der Patienten war 406. Final konnten 129 Patienten für vorliegende Untersuchung eingeschlossen werden.....	29
Abb. 18 axiale (a), coronale (b) und sagittale (c) Sequenz der Messung eines präoperativen Subduralhämatoms.....	33
Abb. 19 Darstellung der laufenden Berechnung einer präoperativen Subduralhämatom-Messung in der gewählten Maßeinheit.....	33
Abb. 20 Dreidimensionale Rekonstruktion der Messung im Gange eines präoperativen Subduralhämatoms.....	34
Abb. 21 Report der volumetrischen Messung eines präoperativen Subduralhämatoms.....	34
Abb. 22 Dreidimensionale Rekonstruktion der postoperativen Luft (gelb), an Residualvolumen (orange) angrenzend.....	35
Abb. 23 Beispiel eines BrainLab-Messungsreports der postoperativen Luft.....	35
Abb. 24 Darstellung der verschiedenen gemessenen Einheiten (oben links präoperative subdurale Volumenmenge in rot; oben rechts postoperative subdurale Volumenmenge in orange; unten links postoperative Luft in gelb; unten rechts Rezidivhämatom in lila).....	36
Abb. 25 Beim Einsetzen der A-, B- und C-Werte in die vereinfachte volumetrische Formel eines halben Ellipsoids $2 \times XYZ$, ergibt sich die ABC/2-Formel (Won et al., 2018).....	37
Abb. 26 Diagramme und Volumenberechnung gemäß Anwendung des Cavalieri-Prinzips (Sonmez et al., 2010).....	38
Abb. 27 Darstellung der ABC/2 und der „Cavalieri“-Methode (Stocchetti et al., 2000).....	38
Abb. 28 Beispiel der Messung mittels ABC/2 Methode des prä- und postoperativen Volumens.....	39
Abb. 29 Axiales cCT-Bild eines Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma. Anatomische Orientierungspunkte zur Messung der Mittellinienverschiebung (Liao, Chen und Xiao, 2018).....	40
Abb. 30 Messung der Mittellinienverschiebung (c) mithilfe des Abstands zwischen Septum Pellucidum und idealer Mittellinie, hier gestrichelt dargestellt (Liao, Chen und Xiao, 2018).....	40
Abb. 31 Beispiel der eigenen Messung der prä- und postoperativen Mittellinienverschiebung.....	41

Abb. 32 Ringdiagramm zur Darstellung der Geschlechtsverteilung	43
Abb. 33 Streudiagramm zur Darstellung der Altersverteilung der eingeschlossenen Patienten	43
Abb. 34 Balkendiagramm zur Darstellung der Einnahme von blutverdünnender Medikation	44
Abb. 35 Kreisdiagramm zur Darstellung der präoperativen Symptomatik	44
Abb. 36 Säulendiagramm zur Darstellung der Bohrlochlokalisation	45
Abb. 37 Balkendiagramm zur Darstellung der Drainagendicke	45
Abb. 38 Streudiagramm zur Darstellung der Operationsdauer in Minuten mit Durchschnittsdauer	45
Abb. 39 Symptome postoperativ	47
Abb. 40 Bland-Altman-Plot Analyse zur Darstellung der Abweichung zwischen den CT-gesteuerten volumetrischen Messungen und den empirischen Messungen der präoperativen Hämatoome	50
Abb. 41 Bland-Altman-Plot Analyse zur Darstellung der Abweichung zwischen den CT-gesteuerten volumetrischen Messungen und den empirischen Messungen der postoperativen Hämatoome	51
Abb. 42 Bland-Altman-Plot Analyse zur Darstellung der Abweichung zwischen den prä- und postoperativen CT-gesteuerten volumetrischen Messungen und den empirischen Messungen	51
Abb. 43 Bland-Altman-Plot Analyse zur Darstellung der Abweichung zwischen den CT-gesteuerten volumetrischen Messungen und den empirischen Messungen der Rezidive	52
Abb. 44 Bland-Altman-Plot Analyse zur Darstellung der Abweichung zwischen den gesamten CT-gesteuerten volumetrischen Messungen und den empirischen Messungen	52
Abb. 45 Streudiagramm der klinischen Verbesserung in Relation der absoluten Volumenreduktion mit dem optimalem Cut-off bei 43%	55
Abb. 46 ROC-Kurve. Sensitivität = 72%, Spezifität = 68%. AUC = 0,726	55
Abb. 47 Streudiagramm zur Darstellung der Korrelation zwischen dem präoperativen Volumen und der postoperativen Luft	57

6.3 Abkürzungen

cSDH = chronisches Subduralhämatom

(c)CT = (kraniale) Computertomographie

HE = Hounsfield Einheit

DBC = Dural Border Cell

FDPs = Fibrin degradation products

tPA = Tissue Plasminogen Activator

VEGF = vascular endothelial growth factor

VEGF-R = vascular endothelial growth factor receptor

IL = Interleukin

TIA = transitorische ischämische Attacke

GCS = Glasgow Coma Scale

GOS = Glasgow Outcome Score

(c)MRT = (kraniale) Magnetresonanztomographie

SPECT = Single-Photon-Emissionscomputertomographie

PET = Positronen-Emissions-Tomografie

KM = Kontrastmittel

TDC = Trepanation mit Spiralbohrer, auf Englisch twist-drill craniostomy

BHC = Bohrlochtrepanation, auf Englisch Burr-hole craniostomy

CSE = contralateral subdural effusion kontralateralen Subduralergusses

ECPB = Eosinophilenzahl im peripheren Blut, in Englisch eosinophil count in peripheral blood

MLS= Mittellinienverlagerung

SP= Septum pellucidum

OP = Operation

ASS = Acetylsalicylsäure

NOAK = neue orale Antikoagulanzen

ROC = Receiver Operating Characteristic

OR = Odds ratio

CI = Konfidenzintervall

AUC = Area under the curve

Literaturverzeichnis

Almenawer SA, Farrokhyar F, Hong C, Alhazzani W, Manoranjan B, Yarascavitch B, Arjmand P, Baronia B, Reddy K, Murty N, Singh S (2014): Chronic subdural hematoma management: a systematic review and meta-analysis of 34,829 patients. In: *Ann Surg* (259(3):449-57). Online verfügbar unter doi: 10.1097/SLA.0000000000000255.

Amoo M, O'Cearbhaill RM, McHugh P, Henry J, O'Byrne K, Ben Husien M, Javadpour M (2021): Derivation of a Clinical Score for Prediction of Recurrence Following Evacuation of Chronic Subdural Hematoma: A Retrospective Cohort Study at a National Referral Centre. In: *World Neurosurg* (154:e743-e753). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2021.07.126.

Bartley A, Bartek J Jr, Jakola AS, Sundblom J, Fält M, Förander P, Marklund N, Tisell M (2023): Effect of Irrigation Fluid Temperature on Recurrence in the Evacuation of Chronic Subdural Hematoma: A Randomized Clinical Trial. In: *JAMA Neurol* (80(1):58-63). Online verfügbar unter doi: 10.1001/jamaneurol.2022.4133.

Blaauw J, Meelis GA, Jacobs B, Van der Gaag NA, Jellema K, Kho KH. et al. (2022): Presenting symptoms and functional outcome of chronic subdural hematoma patients. In: *Acta Neurol Scand* (145(1):38-46). Online verfügbar unter doi: 10.1111/ane.13518.

Bullock MR, Chesnut R, Ghajar J, Gordon D, Hartl R, Newell DW, Servadei F, Walters BC, Wilberger JE (2006). Guidelines for the Surgical Management of Traumatic Brain Injury: Chapter 1. Introduction. *Neurosurgery* (58(3 Suppl):S21-23). Online verfügbar unter doi: 10.1227/01.NEU.0000210361.83548.D0.

Chan DYK, Cheung EYH, Hui KH, Leung CMS, Ng SCP, Mak WK, Wong GKC, Chan TMD, Poon WS (2022): ABC/2 formula for "bedside" postoperative pneumocephalus volume measurement. In: *Chin Neurosurg J* (8(1):18). Online verfügbar unter doi: 10.1186/s41016-022-00287-z.

Chavakula V, Yan SC, Huang KT, Liu J, Linda W, Rozman P; Chi JH (2020): Subdural Pneumocephalus Aspiration Reduces Recurrence of Chronic Subdural Hematoma. In: *Operative Neurosurgery* (18:391–397). Online verfügbar unter doi: 10.1093/ons/opz193.

Di Cristofori A, Remida P, Patassini M, Piergallini L, Buonanno R, Bruno R, Carrabba G, Pavesi G, Iaccarino C, Giussani CG (2022): Middle meningeal artery embolization for chronic subdural hematomas. A systematic review of the literature focused on indications, technical

aspects, and future possible perspectives. In: *Surg Neurol Int* (13:94). Online verfügbar unter doi: 10.25259/SNI_911_2021.

Dofuku S, Sato D, Nakamura R, Ogawa S, Torazawa S, Sato M, Ota T (2023): Sequential Middle Meningeal Artery Embolization after Burr Hole Surgery for Recurrent Chronic Subdural Hematoma. In: *Neurol Med Chir (Tokyo)* (63(1):17-22). Online verfügbar unter doi: 10.2176/jns-nmc.2022-0164.

Ducruet AF, Grobelny BT, Zacharia BE, Hickman ZL, DeRosa PL, Andersen KN, Sussman E, Carpenter A, Connolly ES Jr (2012): The surgical management of chronic subdural hematoma. In: *Neurosurg Rev* (35(2):155-69; discussion 169). Online verfügbar unter doi: 10.1007/s10143-011-0349-y.

Dudoit T, Labeyrie PE, Deryckere S, Emery E, Gaberel T (2016): Is systematic post-operative CT scan indicated after chronic subdural hematoma surgery? A case-control study. In: *Acta Neurochir (Wien)* (158(7):1241-6). Online verfügbar unter doi: 10.1007/s00701-016-2820-6.

Edlmann E, Giorgi-Coll S, Whitfield PC, Carpenter KLH, Hutchinson, PJ (2017): Pathophysiology of chronic subdural haematoma: inflammation, angiogenesis and implications for pharmacotherapy. In: *Journal of Neuroinflammation* (14:108). Online verfügbar unter doi 10.1186/s12974-017-0881-y.

Fang H, Zhang Z, Liu Y, Wang L, Yang Y, Li S, Jing X, Bai G, Sheng H (2022): Rigid Neuroendoscopy Assisted Hematoma Resection Reduces the Recurrence Rate of Chronic Subdural Hematoma With Mixed Density: A Retrospective Analytic Cohort Study. In: *Front Surg* (9:789118). Online verfügbar unter doi: 10.3389/fsurg.2022.789118.

Feghali J, Yang W, Huang J (2020): Updates in Chronic Subdural Hematoma: Epidemiology, Etiology, Pathogenesis, Treatment, and Outcome. In: *World Neurosurg* (141:339-345). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2020.06.140.

Goertz L, Speier J, Schulte AP, Stavrinou P, Krischek B, Goldbrunner R, Timmer M (2019): Independent Risk Factors for Postoperative Seizures in Chronic Subdural Hematoma Identified by Multiple Logistic Regression Analysis. In: *World Neurosurg* (132:e716-e721). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2019.08.032.

Greenberg MS (2016): *Handbook of Neurosurgery*. 8. Aufl. New York, Thieme.

Hallan DR, Freedman Z, Rizk E (2022): Obesity Paradox and Surgical Evacuation for Chronic Subdural Hematoma. In: *Cureus* (14(4):e24002). Online verfügbar unter doi: 10.7759/cureus.24002.

Hammer A, Tregubow A, Kerry G, Schrey M, Hammer C, Steiner HH (2017): Predictors for Recurrence of Chronic Subdural Hematoma. In: *Turk Neurosurg* (27(5):756-762). Online verfügbar unter doi: 10.5137/1019-5149.JTN.17347-16.1.

Hamou HA, Clusmann H, Schulz JB, Wiesmann M, Altiok E, Höllig A (2022): Chronic Subdural Hematoma. In: *Dtsch Arztebl Int* (119(12):208-213). Online verfügbar unter doi: 10.3238/arztebl.m2022.0144.

Holl DC, Volovici V, Dirven CMF, Peul WC, van Kooten F, Jellema K, van der Gaag NA, Miah IP, Kho KH, den Hertog HM, Lingsma HF, Dammers R (2018): Dutch Chronic Subdural Hematoma Research Group (DSHR). Pathophysiology and Nonsurgical Treatment of Chronic Subdural Hematoma: From Past to Present to Future. In: *World Neurosurg* (116:402-411.e2.). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2018.05.037.

Honda Y, Sorimachi T, Momose H, Takizawa K, Inokuchi S, Matsumae M (2015): Chronic subdural haematoma associated with disturbance of consciousness: significance of acute-on-chronic subdural haematoma. In: *Neurol Res* (37(11):985-92). Online verfügbar unter doi: 10.1179/1743132815Y.0000000083.

Hsieh CT, Su IC, Hsu SK, Huang CT, Lian FJ, Chang CJ (2016): Chronic subdural hematoma: Differences between unilateral and bilateral occurrence. In: *J Clin Neurosci* (34:252-258). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.jocn.2016.09.015.

Huang GH, Li XC, Ren L, Dai RX, Sun ZL, Jiang XF, Feng DF (2020): Take it seriously or not: postoperative pneumocephalus in CSDH patients? In: *Br J Neurosurg* (34(3):284-289). Online verfügbar unter doi: 10.1080/02688697.2020.1729343.

Huang YH, Yang KY, Lee TC, Liao CC (2013): Bilateral chronic subdural hematoma: what is the clinical significance? In: *Int J Surg* (11(7):544-8). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.ijsu.2013.05.007.

Huang YW, Yin XS, Li ZP (2022): Burr hole craniostomy vs. minicraniotomy of chronic subdural hematoma: a systematic review and meta-analysis. In: *Eur Rev Med Pharmacol Sci* (26(14):4983-4990). Online verfügbar unter doi: 10.26355/eurrev_202207_29284.

Ichimura S, Takahara K, Nakaya M, Yoshida K, Fujii K (2020): Neuroendoscopic Technique for Recurrent Chronic Subdural Hematoma with Small Craniotomy. In: *Turk Neurosurg* (30(5):701-706). Online verfügbar unter doi: 10.5137/1019-5149.JTN.27918-19.4.

Ihab, Z (2012): Pneumocephalus after surgical evacuation of chronic subdural hematoma: Is it a serious complication? In: *Asian J Neurosurg* (7(2): 66–74). Online verfügbar unter doi: 10.4103/1793-5482.98647.

Ikeda K, Ito H, Yamashita J (1990): Relation of regional cerebral blood flow to hemiparesis in chronic subdural hematoma. In: *Surg Neurol* (33(2):87-95). Online verfügbar unter doi: 10.1016/0090-3019(90)90017-j.

Ishida T, Inoue T, Saito A, Suzuki S, Uenohara H, Tominaga T (2022): Functional Outcome in Patients with Chronic Subdural Hematoma: Postoperative Delirium and Operative Procedure. *Neurol Med Chir (Tokyo)* (62(4):171-176). Online verfügbar unter doi: 10.2176/jns-nmc.2020-0319.

Ito S, Higuchi K (2021): Subdural Air Increases Postoperative Recurrence of Chronic Subdural Hematoma After Initial Burr-hole Surgery Only in the Very Elderly: A Pilot Study. In: *World Neurosurg* (156:e25-e29). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2021.07.143.

Ivamoto HS, Lemos HP Jr, Atallah AN (2016): Surgical Treatments for Chronic Subdural Hematomas: A Comprehensive Systematic Review. In: *World Neurosurg* (86:399-418). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2015.10.025.

Jung YG, Jung NY, Kim E (2015): Independent predictors for recurrence of chronic subdural hematoma. In: *J Korean Neurosurg Soc* (57(4):266-70). Online verfügbar unter doi: 10.3340/jkns.2015.57.4.266.

Kanazawa T, Takahashi S, Minami Y, Jinzaki M, Toda M, Yoshida K (2020): Prediction of postoperative recurrence of chronic subdural hematoma using quantitative volumetric analysis in conjunction with computed tomography texture analysis. In: *Journal of Clinical Neuroscience* (72:270-276). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.jocn.2019.11.019.

Kansal R, Nadkarni T, Goel A (2010): Single versus double burr hole drainage of chronic subdural hematomas. A study of 267 cases. In: *J Clin Neurosci* (17(4):428-9). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.jocn.2009.07.109.

Khan HU, Atif K, Boghsani GT (2019). Single versus double burr-hole drainage for chronic subdural hematoma: A study of relevant prognostic factors conducted in Pakistan. In: *Pak J Med Sci* (35(4):963-968). Online verfügbar unter doi: 10.12669/pjms.35.4.543.

Kim J, Moon J, Kim T, Ahn S, Hwang G, Bang J et al. (2015): Risk Factor Analysis for the Recurrence of Chronic Subdural Hematoma: A Review of 368 Consecutive Surgical Cases. In: *Korean J Neurotrauma* (11(2):63-9). Online verfügbar unter doi: 10.13004/kjnt.2015.11.2.63.

Kitya D, Punchak M, Abdelgadir J, Obiga O, Harborne D, Haglund MM (2018): Causes, clinical presentation, management, and outcomes of chronic subdural hematoma at Mbarara Regional Referral Hospital. In: *Neurosurg Focus* (45(4):E7). Online verfügbar unter doi: 10.3171/2018.7.FOCUS18253.

Kramer A, Degenhartt X, Gutenberg A, Ringel F (2022): Risk factors for postoperative seizures in patients with chronic subdural haematomas. In: *Neurosurg Rev* (45(5):3291-3298). Online verfügbar unter doi: 10.1007/s10143-022-01858-5.

Kuwabara M, Sadatomo T, Yuki K, Migita K, Imada Y, Shimizu K, Hara T, Oba H, Kurisu K (2017): The Effect of Irrigation Solutions on Recurrence of Chronic Subdural Hematoma: A Consecutive Cohort Study of 234 Patients. In: *Neurol Med Chir (Tokyo)* (57(5):210-216). Online verfügbar unter doi: 10.2176/nmc.oa.2016-0228 [Titel anhand dieser DOI in Citavi-Projekt übernehmen].

Kwon TH, Park YK, Lim DJ, Cho TH, Chung HS (2000): Chronic subdural hematoma: evaluation of the clinical significance of postoperative drainage volume. In: *J. Neurosurg.* (93:796–799). Online verfügbar unter doi: 10.3171/jns.2000.93.5.0796.

Leary OP, Merck LH, Yeatts SD, Pan I, Liu DD, Harder TJ, Jung S, Collins S, Braileanu M, Gokaslan ZL, Allen JW, Wright DW, Merck D (2021): Computer-Assisted Measurement of Traumatic Brain Hemorrhage Volume Is More Predictive of Functional Outcome and Mortality than Standard ABC/2 Method: An Analysis of Computed Tomography Imaging Data from the Progesterone for Traumatic Brain Injury Experimental Clinical Treatment Phase-III Trial. In: *J Neurotrauma* (38(5):604-615). Online verfügbar unter doi: 10.1089/neu.2020.7209.

Lee IH, Choi JI (2022): A Retrospective Study from a Single Center of 208 Patients with Unilateral Chronic Subdural Hematoma to Compare Outcomes Following Burr Hole Craniotomy

and Hematoma Drainage Within 48 Hours and Between 48 Hours and 5 Days. In: *Med Sci Monit* (28:e936774). Online verfügbar unter doi: 10.12659/MSM.936774.

Liao CC, Chen YF, Xiao F (2018): Brain Midline Shift Measurement and Its Automation: A Review of Techniques and Algorithms. In: *Int J Biomed Imaging* (2018:4303161). Online verfügbar unter doi: 10.1155/2018/4303161.

Lubner MG, Smith AD, Sandrasegaran K, Sahani DV, Pickhardt PJ (2017): CT Texture Analysis: Definitions, Applications, Biologic Correlates, and Challenges (37(5):1483-1503). Online verfügbar unter doi: 10.1148/rg.2017170056.

Mahmoodkhani M, Sharafi M, Sourani A, Tehrani DS (2022): Half-Saline Versus Normal-Saline as Irrigation Solutions in Burr Hole Craniostomy to Treat Chronic Subdural Hematomata: A Randomized Clinical Trial. In: *Korean J Neurotrauma* (18(2):221-229). Online verfügbar unter doi: 10.13004/kjnt.2022.18.e47.

Májovský M, Masopust V, Netuka D, Beneš V (2016): Flexible endoscope-assisted evacuation of chronic subdural hematomas. In: *Acta Neurochir (Wien)* (158(10):1987-92). Online verfügbar unter doi: 10.1007/s00701-016-2902-5.

Markwalder TM, Steinsiepe KF, Rohner M, Reichenbach W, Markwalder H (1981): The course of chronic subdural hematomas after burr-hole craniostomy and closed-system drainage. *J Neurosurg* (55(3):390-6). Online verfügbar unter doi: 10.3171/jns.1981.55.3.0390.

Matsubara M, Yagi K, Minami Y, Kanda E, Sunada Y, Tao Y, Takai H, Shikata E, Hirai S, Matsubara S, Uno M (2023): Preoperative elevated eosinophils in peripheral blood for prediction of postoperative recurrence of chronic subdural hematoma. In: *J Neurosurg* (13:1-6). Online verfügbar unter doi: 10.3171/2022.12.JNS222432.

Mehta V, Harward SC, Sankey EW, Gautam N, Codd PJ (2018): Evidence based diagnosis and management of chronic subdural hematoma: A review of the literature. In: *Journal of Clinical Neuroscience* (50:7-15). Online verfügbar unter doi:10.1016/j.jocn.2018.01.050.

Merrill SA, Khan D, Richards AE, Kalani MA, Patel NP, Neal MT (2020): Functional recovery following surgery for chronic subdural hematoma. In: *Surg Neurol Int* (11:450). Online verfügbar unter doi: 10.25259/SNI_689_2020.

Miah IP, Blanter A, Tank Y, Zwet EWV, Rosendaal FR, Peul WC, Dammers R, Holl DC, Lingsma HF, den Hertog HM, van der Naalt J, Jellema K, der Gaag NAV (2023): Change in Hematoma Size after Dexamethasone Therapy in Chronic Subdural Hematoma Subtypes: A Prospective Study in Symptomatic Patients. In: *J Neurotrauma* (40(3-4):228-239). Online verfügbar unter doi: 10.1089/neu.2022.0024.

Miele VJ, Sadrolhefazi A, Bailes JE (2005): Influence of head position on the effectiveness of twist drill craniostomy for chronic subdural hematoma. In: *Surg Neurol* (63(5):420-3). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.surneu.2004.06.023.

Mignucci-Jiménez G, Matos-Cruz AJ, Abramov I, Hanalioglu S, Kovacs MS, Preul MC, Feliciano-Valls CE (2022): Puerto Rico Recurrence Scale: Predicting chronic subdural hematoma recurrence risk after initial surgical drainage. In: *Surg Neurol Int* (13:230). Online verfügbar unter doi: 10.25259/SNI_240_2022.

Miki K, Abe H, Morishita T, Hayashi S, Yagi K, Arima H, Inoue T (2019): Double-crescent sign as a predictor of chronic subdural hematoma recurrence following burr-hole surgery. In: *J Neurosurg* (131(6):1905-1911). Online verfügbar unter doi: 10.3171/2018.8.JNS18805.

Miranda LB, Braxton E, Hobbs J, Quigley MR (2011): Chronic subdural hematoma in the elderly: not a benign disease. In: *J Neurosurg* (114(1):72-6). Online verfügbar unter doi: 10.3171/2010.8.JNS10298.

Mishra R, Deora H, Florez-Perdomo WA, Moscote-Salazar LR, Garcia-Ballestas E, Rahman MM, Shrivastava A, Raj S, Chavda V, Montemurro N, Agrawal A (2022): Clinical and Radiological Characteristics for Recurrence of Chronic Subdural Hematoma: A Systematic Review and Meta-Analysis. In: *Neurol Int* (14(3):683-695). Online verfügbar unter doi: 10.3390/neurolint14030057.

Moskopp, D; Wassmann, HD (Hg.) (2014): Neurochirurgie. Handbuch für die Weiterbildung und interdisziplinäres Nachschlagewerk. 2. Auflage. Stuttgart: Schattauer.

Motiei-Langroudi R, Alterman RL, Stippler M, Phan K, Alturki AY, Papavassiliou E, Kasper EM, Arle J, Ogilvy CS, Thomas AJ (2019): Factors influencing the presence of hemiparesis in chronic subdural hematoma. In: *J Neurosurg* (131(6):1926-1930). Online verfügbar unter doi: 10.3171/2018.8.JNS18579.

Munoz-Bendix C, Pannewitz R, Rimmel D, Steiger HJ, Turowski B, Slotty PJ, Kamp MA (2017): Outcome following surgical treatment of chronic subdural hematoma in the oldest-old population. In: *Neurosurg Rev* (40(3):461-468). Online verfügbar unter doi: 10.1007/s10143-016-0803-y.

Nakaguchi H, Tanishima T, Yoshimasu N (2001): Factors in the natural history of chronic subdural hematomas that influence their postoperative recurrence. In: *J Neurosurg* (95(2):256-62). Online verfügbar unter DOI: 10.3171/jns.2001.95.2.0256.

Ng HY, Ng WH, King NKK (2014): Value of routine early post-operative computed tomography in determining short-term functional outcome after drainage of chronic subdural hematoma: An evaluation of residual volume. In: *Surg Neurol Int.* (5:136). Online verfügbar unter [https://doi: 10.4103/2152-7806.141299](https://doi.org/10.4103/2152-7806.141299).

Nomura S, Kashiwagi S, Fujisawa H, Ito H, Nakamura K (1994). Characterization of local hyperfibrinolysis in chronic subdural hematomas by SDS-PAGE and immunoblot. *J Neurosurg* (81(6):910-3). Online verfügbar unter doi: 10.3171/jns.1994.81.6.0910.

Opsenak R, Hanko M, Benco M, Snopko P, Richterova R, Kolarovszki B (2023): Non-acute subdural hematoma: estimation of recurrence using CT-volumetric measurements. In: *Bratisl Lek Listy* (124(1):3-11). Online verfügbar unter doi: 10.4149/BLL_2023_001.

Osborn AG, Hedlund GL, Salzman, KL, Siebert E, Liebig T (Hg.) (2019): Osborn's Brain. *Bildgebung, Pathologie und Anatomie*. 2. Aufl. München, Elsevier.

Pang CH, Lee SE, Kim CH, Kim JE, Kang HS, Park CK, Paek SH, Kim CH, Jahng TA, Kim JW, Kim YH, Kim DG, Chung CK, Jung HW, Yoo H (2015): Acute intracranial bleeding and recurrence after bur hole craniostomy for chronic subdural hematoma. In: *J Neurosurg* (123(1):65-74). Online verfügbar unter doi: 10.3171/2014.12.JNS141189.

Rauhala M, Helén P, Huhtala H, Heikkilä P; Iverson GL; Niskakangas T et al. (2020): Chronic subdural hematoma—incidence, complications, and financial impact. In: *Acta Neurochirurgica* (162:2033–2043). Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04398-3>.

Ridwan S, Bohrer AM, Grote A, Simon M (2019): Surgical Treatment of Chronic Subdural Hematoma: Predicting Recurrence and Cure. In: *World Neurosurg* (128:e1010-e1023). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2019.05.063.

Sahyouni R, Goshtasbi K, Mahmoodi A, Tran DK, Chen W. Jefferson (2017): Chronic Subdural Hematoma: a Perspective on Subdural Membranes and Dementia. In: *World Neurosurg.* (108: 954–958). Online verfügbar unter <https://doi:10.1016/j.wneu.2017.09.063>.

Santarius T, Kirkpatrick PJ, Koliass AG, Hutchinson PJ (2010): Working Toward Rational and Evidence-Based Treatment of Chronic Subdural Hematoma. In: *Clinical Neurosurgery* (57:112-22). Online verfügbar unter <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21280503/>.

Scerrati A, Pangallo G, Dughiero M, Mongardi L, Ricciardi L, Lofrese G, Dones F, Cavallo MA, De Bonis P (2022): Influence of nutritional status on the clinical outcome of patients with chronic subdural hematoma: a prospective multicenter clinical study. In: *Nutr Neurosci* (25(8):1756-1763). Online verfügbar unter doi: 10.1080/1028415X.2021.1895480.

Schebesch KM, Woertgen C, Rothoerl RD, Ullrich OW, Brawanski AT (2008): Cognitive decline as an important sign for an operable cause of dementia: chronic subdural haematoma. In: *Zentralbl Neurochir.* Online verfügbar unter doi: 10.1055/s-2007-1004582.

Schebesch KM, Brawanski A (2014): Chronisches Subduralhämatom. In: Dag Moskopp und Hans Detlef Wassmann (Hg.): *Neurochirurgie. Handbuch für die Weiterbildung und interdisziplinäres Nachschlagewerk.* 2. Auflage. Stuttgart: Schattauer, S. 399–404.

Seok JH, Kim JH, Kwon TH, Byun J, Yoon WK (2023): Middle meningeal artery embolization for chronic subdural hematoma in elderly patients at high risk of surgical treatment. In: *J Cerebrovasc Endovasc Neurosurg* (25(1):28-35). Online verfügbar unter doi: 10.7461/jcen.2022.E2022.08.003.

Shen J, Gao Y, Li Q, Ge R, Wang Q, Jiang X, Shao X (2019): Risk Factors Predicting Recurrence of Bilateral Chronic Subdural Hematomas after Initial Bilateral Evacuation. In: *World Neurosurg* (130:e133-e139). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2019.06.016.

Shrestha DB, Budhathoki P, Sedhai YR, Jain S, Karki P, Jha P, Mainali G, Ghimire P (2022): Steroid in Chronic Subdural Hematoma: An Updated Systematic Review and Meta-Analysis Post DEX-CSDH Trial. In: *World Neurosurg* (158:84-99). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2021.10.167.

Siddique AN, Khan SA, Khan AA, Aurangzeb A (2022): Surgical Treatment Options For Chronic Subdural Haematoma. In: *J Ayub Med Coll Abbottabad* (34(3):550-556). Online verfügbar unter doi: 10.55519/JAMC-03-10225.

Soleman J, Nocera F, Mariani L (2017): The conservative and pharmacological management of chronic subdural haematoma. In: *Swiss Med Wkly* (147:w14398). Online verfügbar unter doi: 10.57187/smw.2017.14398.

Solou M, Ydreos I, Gavra M, Papadopoulos EK, Banos S, Boviatsis EJ, Savvanis G, Stavrinou LC (2022): Controversies in the Surgical Treatment of Chronic Subdural Hematoma: A Systematic Scoping Review. In: *Diagnostics (Basel)* (12(9):2060). Online verfügbar unter doi: 10.3390/diagnostics12092060.

Sonmez OF, Odaci E, Bas O, Colakoglu S, Sahin B, Bilgic S, Kaplan S (2010): A stereological study of MRI and the Cavalieri principle combined for diagnosis and monitoring of brain tumor volume. *J Clin Neurosci* (17(12):1499-502). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.jocn.2010.03.044.

Stanišić M, Pripp AH (2017): A Reliable Grading System for Prediction of Chronic Subdural Hematoma Recurrence Requiring Reoperation After Initial Burr-Hole Surgery. In: *Neurosurgery* (81(5):752-760). Online verfügbar unter doi: 10.1093/neuros/nyx090.

Stavrinou P, Katsigiannis S, Lee JH, Hamisch C, Krischek B, Mpotsaris A, Timmer M, Goldbrunner R (2017): Risk Factors for Chronic Subdural Hematoma Recurrence Identified Using Quantitative Computed Tomography Analysis of Hematoma Volume and Density. In: *World Neurosurg* (99:465-470). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2016.12.058.

Stocchetti N, Croci M, Spagnoli D, Gilardoni F, Resta F, Colombo A (2000): Mass volume measurement in severe head injury: accuracy and feasibility of two pragmatic methods. In: *J Neurol Neurosurg Psychiatry* (68(1):14-7). Online verfügbar unter doi: 10.1136/jnnp.68.1.14.

Sucu HK, Gokmen M, Gelal F (2005): The value of XYZ/2 technique compared with computer-assisted volumetric analysis to estimate the volume of chronic subdural hematoma. In: *Stroke* (36(5):998-1000). Online verfügbar unter doi: 10.1161/01.STR.0000162714.46038.0f.

Suero Molina E, Borscheid L, Freistühler M, Zawy Alsofy S, Stummer W, Schipmann S (2020): Risk-assessment in chronic subdural hematoma evaluated in 148 patients - A score for predicting recurrence. In: *Clin Neurol Neurosurg* (195:106020). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.clineuro.2020.106020.

Takei J, Hirots T, Hatano K, Ishibashi T, Inomata T, Noda, Y et al. (2021): Modified Computed Tomography Classification for Chronic Subdural Hematoma Features Good Interrater Agreement: A Single-Center Retrospective Cohort Study. In: *World Neurosurg* (151:e407-e417). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2021.04.052.

Tamura R, Sato M, Yoshida K, Toda M (2021): History and current progress of chronic subdural hematoma. In: *J Neurol Sci* (429:118066). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.jns.2021.118066.

Tariq J, Bhatti S. N. (2021): Adjunctive postoperative course of dexamethasone in chronic subdural hematoma: Effect on surgical outcome. In: *Pak J Med Sci* (37(7):1877-1882). Online verfügbar unter doi: 10.12669/pjms.37.7.3374.

Taussky P, Fandino J, Landolt H (2008): Number of burr holes as independent predictor of postoperative recurrence in chronic subdural haematoma. In: *Br J Neurosurg* (22(2):279-82). Online verfügbar unter doi: 10.1080/02688690701818885.

The Brain Trauma Foundation. The American Association of Neurological Surgeons. The Joint Section on Neurotrauma and Critical Care. Computed tomography scan features (2000). In: *J Neurotrauma* (17(6-7):597-627). Online verfügbar unter doi: 10.1089/neu.2000.17.597.

Tran DK, Tretiakov P, Brock J, Chen J, Vadera S (2019): Novel Use of Dual-Lumen Catheter for Irrigation and Drainage After Evacuation of Chronic Subdural Hematoma. In: *World Neurosurg* (132:343-346). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2019.08.225.

Tsai TH, Lieu AS, Hwang SL, Huang TY, Hwang YF (2010): A comparative study of the patients with bilateral or unilateral chronic subdural hematoma: precipitating factors and postoperative outcomes. In: *J Trauma* (68(3):571-5). Online verfügbar unter doi: 10.1097/TA.0b013e3181a5f31c.

Vacca VM, Argento I (2018): Chronic Subdural hematoma: a common complexity. In: *Nursing*, Artikel Volume 48, Number 5. Online verfügbar unter doi: 10.1097/01.NURSE.0000531885.29772.ec.

Wan Y, Xie D, Xue Z, Xie J, Song Z, Wang Y, Yang S (2019): Single Versus Double Burr Hole Craniostomy in Surgical Treatment of Chronic Subdural Hematoma: A Meta-Analysis. In: *World Neurosurg* (131:e149-e154). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2019.07.097.

Watanabe A, Tsutsumi S, Nonaka S, Ishii H (2021): Microvascular proliferation in the clots: The key finding of acute subdural hematoma transforming into chronic subdural hematoma? In: *Surg Neurol Int* (12:601). Online verfügbar unter doi: 10.25259/SNI_1103_2021.

Weigel R, Schmiedek P, Krauss J. K. (2003): Outcome of contemporary surgery for chronic subdural haematoma: evidence based review. In: *J Neurol Neurosurg Psychiatry* (74:937–43). Online verfügbar unter doi: 10.1136/jnnp.74.7.937.

Weimer JM, Gordon E, Frontera JA (2017): Predictors of Functional Outcome After Subdural Hematoma: A Prospective Study. In: *Neurocrit Care* (26(1):70-79). Online verfügbar unter doi: 10.1007/s12028-016-0279-1.

Weir B (1980): Oncotic pressure of subdural fluids. In: *J Neurosurg* (53:512-515). Online verfügbar unter doi:10.3171/jns.1980.53.4.0512.

Won SY, Zagorcic A, Dubinski D, Quick-Weller J, Herrmann E, Seifert V, Konczalla J (2018): Excellent accuracy of ABC/2 volume formula compared to computer-assisted volumetric analysis of subdural hematomas. In: *PLoS One* (13(6):e0199809). Online verfügbar unter doi: 10.1371/journal.pone.0199809.

Xie Y, Lu Q, Lenahan C, Yang S, Zhou D, Qi X (2020): A Comparison of Subperiosteal or Subgaleal Drainage with Subdural Drainage on the Outcomes of Chronic Subdural Hematoma: A Meta-Analysis. In: *World Neurosurg* (135:e723-e730). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.wneu.2019.12.116.

Xufei G, Liang W, Yunwei O, Xiaofan Y, Bingcheng Z, Cheng Y, Weiming L (2022): Postoperative pneumocephalus and recurrence and outcome of chronic subdural hematoma: a systematic review and meta-analysis. In: *Neurosurg Rev* (9;46(1):13). Online verfügbar unter doi: 10.1007/s10143-022-01925-x.

Yadav YR, Parihar V, Namdev H, Bajaj J (2016): Chronic subdural hematoma. *Asian J Neurosurg* (11(4):330-342). Online verfügbar unter doi: 10.4103/1793-5482.145102.

Yamada SM, Tomita Y, Murakami H, Nakane M, Yamada S, Murakami M et al. (2018): Headache in patients with chronic subdural hematoma: analysis in 1080 patients. In: *Neurosurg Rev* (41(2):549-556). Online verfügbar unter doi: 10.1007/s10143-017-0889-x.

You CG, Zheng XS (2018): Postoperative pneumocephalus increases the recurrence rate of chronic subdural hematoma. In: *Clin Neurol Neurosurg* (166:56-60). Online verfügbar unter doi: 10.1016/j.clineuro.2018.01.029.

Yu GJ, Han CZ, Zhang M, Zhuang HT, Jiang YG (2009): Prolonged drainage reduces the recurrence of chronic subdural hematoma. In: *Br J Neurosurg* (23(6):606-11). Online verfügbar unter doi: 10.3109/02688690903386983.

Zolfaghari S, Bartek J Jr, Strom I, Djärf F, Wong SS, Ståhl N, Jakola AS, Nittby Redebrandt H (2021): Burr hole craniostomy versus minicraniotomy in chronic subdural hematoma: a comparative cohort study. In: *Acta Neurochir (Wien)* (163(11):3217-3223). Online verfügbar unter doi: 10.1007/s00701-021-04902-3.

Danksagung

Ich möchte der Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie des Universitätsklinikums Regensburg unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Nils Ole Schmidt für die hervorragende Möglichkeit danken, den Weg der Neurochirurgie einzuschlagen.

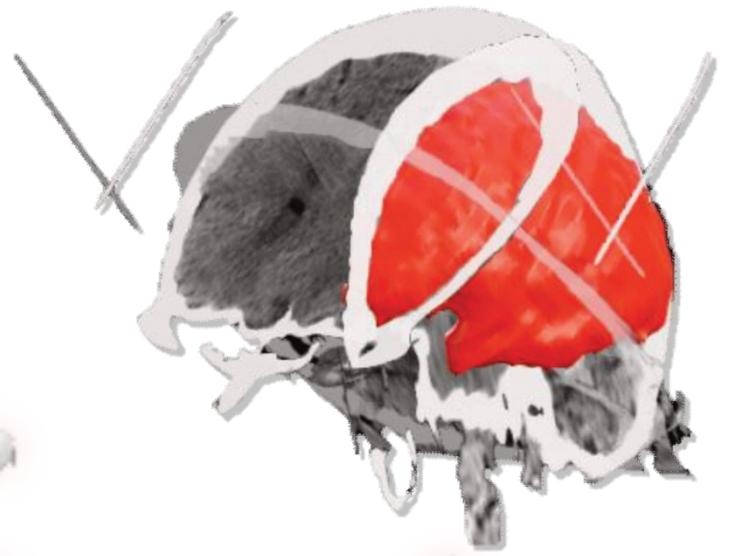
Einen tiefen Dank spreche ich meinem Doktorvater und ersten Begutachter Herrn Prof. Dr. Karl-Michael Schebesch aus, eine unersetzliche Säule dieser Abteilung und ein chirurgisches sowie menschliches Vorbild, unermüdlich mit einem offenen Ohr für alle Angelegenheiten und jederzeit ansprechbar für hilfreiche Tipps und konkrete Unterstützung.

Ich bedanke mich ebenso herzlich bei PD Dr. Andreas Schicho für die Bereitschaft zur Begutachtung.

Vielen Dank an Frau Dr. Katherina Rosengarth für die Einarbeitung in die Benutzung der notwendigen digitalen Programme und an Dr. Amer Haj für die freundliche Motivierung.

Ein liebes Dankeschön auch an Frau Lehrer, die meine Akte stets mit Professionalität und Freundlichkeit bearbeitet hat, sowie an das Promotionsbüro und die Promotionskommission.

Schließlich bedanke ich mich bei meinen Lieben außerhalb der Klinik, ohne die das Ganze grauer und härter gewesen wäre.



Tommaso Araceli

Volumetrische Analyse und
komparative Messung chronischer
Subduralhämatomvolumen und
subduraler Luft mit dem
funktionellen Einfluss auf das
klinische Outcome nach Bohrloch-
Trepanation und Hämatom-
Drainage