

Diplomarbeit

**Drainagen: Übersicht und experimenteller Vergleich
dreier unterschiedlicher Saugdrainagesysteme**

eingereicht von

Herwig Ainödhofer

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Universitätsklinik für Kinder- und Jugendchirurgie

unter der Anleitung von

Priv. Doz. Dr. Johannes Schalamon

Dr. Gert Warncke

Graz, 19. Februar 2017

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 19. Februar 2017

Herwig Ainödhofer eh

Danksagungen

Allen voran bedanke ich mich bei meinen Eltern, Manfred und Elfriede, für ihre äußerst umfassende Begleitung, welche auch außerhalb des Studiums in allen Lebensbereichen als enorme Stütze fungierte.

Besonderer von Herzen kommender Dank gebührt meiner Frau Mareike und meinem Sohnmann Sebastian, welche mir stets Rückendeckung gaben und ohne deren quantitativ nicht zu erfassenden Einsatz der Abschluss meines Studiums erheblich schwerer gewesen wäre.

Spezieller Dank gilt meinem Betreuer und Freund PD Dr. Johannes Schalamon für die umfassende Betreuung, nicht nur im Zuge der Diplomarbeit, sondern insbesondere für die zahlreichen Stunden, in denen er mir während des Studiums mit Rat und Tat zur Seite stand und für viele sportive Momente am Fußballplatz.

Meinen Freunden, die mir abseits des Studienalltages mit vielen vergnüglichen und humoristischen Stunden halfen, meine Energiereserven wieder aufzuladen.

*„When in trouble or in doubt
run in circles scream and shout“*

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Bzw.	Beziehungsweise
EVD	Externe Ventrikeldrainage
ICP	Hirndruck (intracranial pressure)
IP	Intrinsischer Druck (pressure)
NPWT	Vakuumtherapie (Negative Pressure Wound Therapy)
Pa.	Pascal (SI-Einheit Druck)
PTCD	perkutane transhepatische Drainage
PUR	Polyurethan
PUS	Polyurethanschaum
PVAS	Polyvinylalkoholschaum
PVC	Polyvinylchlorid
V.a.	Vor allem
V.A.C. [®]	Vacuum Assisted Closure [®]

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Abstract	2
1. Einleitung	3
1.1 Historie	3
1.2 Definition	5
2. Drainagearten	6
2.1 Offene Drainagen	6
2.2 Halboffene Drainagen	8
2.3 Geschlossene Drainagen	8
2.4 Passive und aktive Drainagen (Physikalisches Prinzip)	9
2.5 Materialien.....	11
2.5.1 Biostabilität	13
2.5.2 Biokompatibilität.....	14
2.5.3 Drainagestruktur	14
2.5.4 Drainage als Fremdkörper	15
3. Ausgewählte Drainagen	15
3.1 Redon-Drainage.....	16
3.2 Jackson-Pratt-Drainage	17
3.3 Easy-Flow- und Penrosedrain	18
3.4 T-Drainage	19
3.5 Robinson-Drainage	19
3.6 Vakuumversiegelung (V.A.C.®)	20
4. Drainagen: Sog oder so(r)glos	23

5. Indikationen für eine Drainageanlage	26
5.1 Drainagen in der Neurochirurgie	26
5.2 Ösophaguschirurgie	27
5.3 Gaster- und Intestinalchirurgie	28
5.4 Gallenblasen- und Leberchirurgie	28
5.5 Pankreaschirurgie	28
5.6 Brustchirurgie	29
5.7 Septische Chirurgie.....	29
5.7.1 Peritonitis	29
5.7.2 Intraabdominelle Abszesse	30
6. Experimentelle Studie	31
6.1 Einleitung	31
6.2 Material und Methoden	32
6.3 Ergebnisse	34
6.4 Diskussion.....	36
6.5 Zusammenfassung.....	40
7. Literaturverzeichnis	41
8. Abbildungsverzeichnis	53
9. Tabellenverzeichnis	54

Zusammenfassung

Hintergrund:

Drainagen dienen in erster Linie dazu, um Ansammlungen von Körperflüssigkeiten aus Wunden, Hohlräumen oder Sekretquellen abzuleiten. Es existiert eine je nach Bedarf und Anwendungsgebiet große Anzahl unterschiedlicher Drainagearten und -techniken.

In einer experimentellen Studie wurden die Leistungen dreier unterschiedlicher geschlossener abdomineller Drainage-Systeme getestet.

Methoden:

Es wurden eine Vakuumflasche, entworfen für die Redon-Drainage, eine flexible Plastikröhre, designt für Jackson-Pratt-Drains, und ein V.A.C.[®] Negative Pressure Wound Therapy System verwendet. In einer Studie, in der mittels Schweineinnereien und eines Plastiksackes das Abdomen nachgebildet wurde, wurden der intrinsische Druck nach einer und drei Minuten (T0, T3) sowie die Menge der entleerten Flüssigkeit gemessen.

Ergebnisse:

Die Redon- und Jackson-Pratt-Drainage zeigten ein schnelles Nachlassen der intrinsischen Druckwerte nach einer und speziell nach drei Minuten auf beinahe Null. Das V.A.C.[®] System präsentierte bei beiden Zeitmessungen konstante Werte des intrinsischen Druckes und nur das V.A.C.[®] System konnte beinahe die gesamte Menge der Flüssigkeit abbauen.

Zusammenfassung:

In diesem experimentellen Rahmen war das V.A.C.[®] System den anderen zwei getesteten Systemen gegenüber im Aufzeigen von konstant negativen intrinsischen Druckwerten (IP) und in der Menge der entleerten Flüssigkeit überlegen.

Abstract

Background:

Drainages are primarily used to dissipate accumulations of body fluids from wounds, cavities or secretion sources. There are a large number of different drainage types and techniques depending on the need and application area. In an experimental study the performance of different closed abdominal drainage systems was tested.

Methods:

A vacuum bottle designed for Redon Drainage, a flexible plastic bulb designed for Jackson-Pratt drains and a V.A.C.® Negative Pressure Wound Therapy System were used. In a porcine cadaveric study mimicking the abdominal cavity the intrinsic pressure (IP) at one and three minutes (T0, T3) and the amount of evacuated fluid were measured.

Results:

The Redon and Jackson drainage displayed a rapid decline to IP values of almost zero comparing T0 and T3. Only the V.A.C.® system was able to preserve constant values of negative IP values measured at both time points. Only the V.A.C.® system was able to remove almost the whole amount of inserted fluid.

Conclusions:

In an experimental setting the V.A.C.® system was superior to the other two tested systems in delivering constant negative IP and the amount of evacuated fluid.

1. Einleitung

1.1 Historie

Bereits der Begründer der Medizin als Wissenschaft, Hippokrates von Kos, verwendete im vierten Jahrhundert vor Christo bei seinen chirurgischen Eingriffen einen ausgehöhlten Holzstab als Drainage zur Ausleitung von Wundsekret aus Weichteilverletzungen (1). Der römische Medizinschriftsteller Aulus Cornelius Celsus (25 vor – 50 n. Christo) und der griechische Arzt Galenos (129 – 215 n. Christo) ersetzten das Holzrohr durch Zylinder aus Blei und Messing (2) (3). Der französische Chirurg und Wegbereiter der modernen Chirurgie Ambroise Paré (1510 bis 1590) verwendete Silber- und Goldröhrchen zur Wunddrainage (4). Der französische Chirurg Chassaignac (1805 – 1879) benutzte als Erster elastische Materialien und verwendete Mitte des 19. Jahrhunderts eine Drainage aus weichem Gummi, hatte jedoch ob des damaligen mangelnden Wissens bezüglich Hygiene und Desinfektion mit Komplikationen im Bereich der Wundinfektion zu kämpfen (5). In seiner Monographie „Die Abszessbehandlung und chirurgische Drainage“ beschreibt Chassaignac zum ersten Mal die Verwendung von Kautschukröhrchen mit seitlich angebrachten Löchern, mit denen er experimentierte und unter Sog drainierte. In der Mitte der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurde es Usus, das postoperative Einbringen von Softdrainagen in Weichteilblessuren prophylaktisch zu verwenden. Joseph Lister (1827 – 1912), ein britischer Mediziner und „Vater der antiseptischen Chirurgie“, verwendete hierfür Drains aus Leinen. Er gewann jedoch schnell die Erkenntnis, dass solche Art von Mulldrains mit erheblichen Komplikationen einhergingen, indem sich in der Tiefe der Wundhöhle ein Pfropfen bildete, der Infektionen beschleunigte und den Abfluss behinderte. Nachdem er einen Abszess in der Axilla der Königin Victoria mittels Drains kurierte, verwendete er danach als Material „Indian Rubber“, welches er mit einer 2,5%igen Carbolsäurelösung vorbehandelte (6). Carbolsäure war zu dieser Zeit das einzig bekannte Antiseptikum zur Wunddesinfektion, löste jedoch als Nebenwirkung Hautirritationen aus. Auf Grund seiner bakteriziden Wirkung setzte Lister folglich eine 5%ige Carbolsäuremischung als Desinfektionsmittel für oberflächliche Wunden ein.

Heutzutage wird sie durch Phenolderivate ersetzt (7). Auch Theodor Billroth (1829 – 1894) und sein späterer Assistent Johann von Mikulicz-Radecki (1850 – 1905) benutzten Drainagen aus Kautschuk, um Eiter aus tiefen Wunden austreten zu lassen (8). Zu Beginn des vorigen Jahrhunderts verwendete Charles Bingham Penrose (1862 – 1925) ein modifiziertes Kondom aus Gummi, welches er mit Gaze füllte, zum Abfluss des Wundsekretes (9). Hierbei nutzte er die Kapillar- und Adhäsionskraft, damit der Transport der zu drainierenden Flüssigkeiten auch gegen die Schwerkraft gewährleistet ist. Er nutzte dabei die Erkenntnisse des deutschen Chirurgen Kehrer, der sich 1882 ein mit Gaze gefülltes Gummirohr als passiver, offener Saugdrain zunutze machte. Kellog (1852 – 1943), ein amerikanischer Arzt, erfand 1895 die noch heute in Verwendung stehende Ablaufdrainage, welche nach dem Marriot'schen Prinzip funktioniert. Dabei endet der Drainageschlauch in einer mit einer Flüssigkeit gefüllten Flasche, sodass selbst bei negativen Drücken ein Ansaugen von Luft oder Flüssigkeit in das Drainagegebiet verhindert wird. Dieses Prinzip findet heute zum Beispiel bei Thoraxdrainagen seine Anwendung. Darauf aufbauend, entwickelte Heaton eine Dauerabsaugung mittels Unterdruck. Auf dieser Erkenntnis basierend, konstruierte der deutsche Internist Gotthard Bülow (1835 – 1900) die nach ihm benannte Thoraxdrainage zur Behandlung des Empyems der Pleurahöhle (10). Die moderne Drainagetechnik der abdominalen Höhle beruht auf den experimentellen und klinischen Erkenntnissen von Yates aus dem Jahre 1905. Er untermauerte die Aussagen von Mikulicz-Radecki und Halsted, dass die abdominale Höhle eigentlich undrainierbar sei (11). William Stewart Halsted (1852 – 1922), ein US-amerikanischer Chirurg, postulierte, dass durch äußerst genaue chirurgische Techniken und die Vermeidung von Hohlräumen auf prophylaktische Drainagen verzichtet werden kann. Jedoch sollte bei Infekten auf Drainagen aus kautschukähnlichem Material zurückgegriffen werden oder Platten aus Gaze benutzt werden, welche auch unter dem Begriff „Zigarettdrains“ bekannt wurden. Halsted resümierte: *“The more imperfect the technique of the surgeon, the greater the necessity for drainage. No drainage at all is better than the ignorant employment of it”* (12). Während des ersten Weltkriegs wurden Wunddrainagen sehr häufig eingesetzt. Da Kautschuk ein Rohstoff war, welcher in genügender Menge vorhanden war, waren vornehmlich Drainagen aus Gummi in Verwendung. Es galt die vorherrschende Meinung, dass jede offene

Knochenfraktur, welche von Muskelgewebe umgeben war, mit Ausnahme der Finger und des Schädels, mittels mehrerer Gummidrainagen versorgt werden soll. Dabei sollten die Drainagen so in die Wundhöhle eingelegt werden, dass sie nicht durch die Wunde, sondern durch neue Öffnungen in gesunder umgebender Haut an der tiefstmöglichen Stelle herausgeleitet werden. Dadurch vermied man Spannungen im Gewebe sowie Abhebungen der Kutis durch Hämatome (13). Das Unterdruck-Prinzip mittels Dauersog wurde schließlich von Redon, Jost und Troques im Jahre 1954 zur Vollendung gebracht und findet unter der heute noch gebräuchlichen Redon-Drainage im klinischen Alltag seine Verwendung (14). In Europa ist die Redondrainage die am häufigsten in Gebrauch stehende Drainage in der operativen Medizin (12). Lange Zeit wurden experimentelle Neuerungen oder Erweiterungen hintangestellt. 1980 erfand Robinson die nach ihm benannte Drainage ohne Sogwirkung, bei der ein flexibler Schlauch aus Silikon das Sekret mittels Schwerkraft in einen Beutel fließen lässt (15). Im Jahre 1997 erfolgte die mittlerweile letzte große Innovation in Form des V.A.C.[®]-Vakuumsog-Therapiesystems (16), welches auf der von Zamierowski im Jahr 1989 zum Patent angemeldeter Technik basiert (17).

1.2 Definition

Der Terminus „Drainage“ leitet sich vom englischen Wort „to drain“ ab, bedeutet ableiten oder trockenlegen und bezeichnet in der Medizin die Ableitung von Sekret, Blut, Eiter, anderen Flüssigkeiten und Luft aus Wundgebieten und Körperhöhlen. Damit soll bei postoperativen Wunden durch Annäherung der Wundflächen und Verkleinerung operativ-bedingter Gewebshohlräume eine schonende, möglichst komplikationslose und antiseptische Wundheilung unterstützt werden (18). Weitere wesentliche Ziele sind die Entlastung und die Prävention bzw. Therapie einer Infektion. Die Größe des eingelegten Drainageschlauches wird in Charr. angegeben, benannt nach dem französischen Instrumentenbauer Charrière. Die Zahl gilt als Maß für den Katheterquerschnitt, wobei bei kreisrundem Querschnitt 1 Charrière $\frac{1}{3}$ eines Millimeters entspricht.

2. Drainagearten

Basierend auf Modifikationen und Weiterentwicklungen, speziell im Bereich der Weichteilchirurgie, können mittlerweile an die 30 verschiedene Drainagesysteme angeboten werden (19). Wenngleich keine international standardisierte Einteilung der unterschiedlichen Drainagearten existiert, so lassen sie sich grob in äußere und innere Drainagen untergliedern. Alle Drainagen können des Weiteren nach Systembeschaffenheit, physikalischem Prinzip der Sekretförderung und Art des verwendeten Materials klassifiziert werden (20).

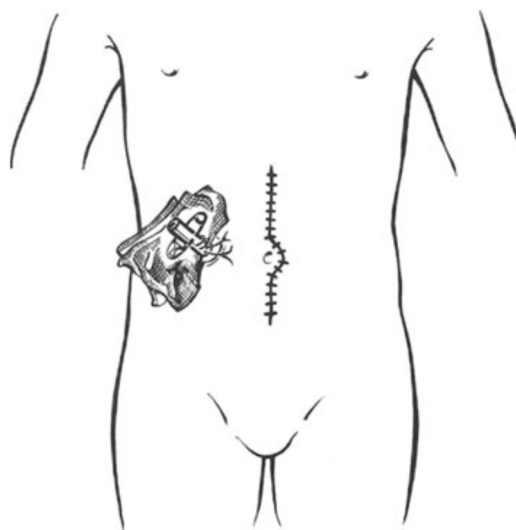
Innere Drainagen dienen dazu, um Stenosen oder andere intrakorporale Hindernisse bzw. Einengungen zu umgehen. Als Beispiele können eine Cystojejunostomie zur Pankreaszystenablenkung oder ein endovaskulärer Stent bei Stenose von Koronararterien genannt werden. Äußere Drainagen werden zum einen zur Volumsentlastung von Flüssigkeiten oder Gas aus dem Körper hinaus eingesetzt, zum anderen erfüllen sie auch, postoperativ angelegt, eine Art Wächterfunktion. Darunter versteht man, dass durch die Menge und die makroskopisch evaluierbare Zusammensetzung der ausgeleiteten Flüssigkeit Rückschlüsse auf den Wundstatus gewonnen werden können. Somit lassen sich zum Beispiel intrakorporale Nachblutungen erfassen und sind somit quantifizierbar (21) (22). Auch kann die aufgefangene Substanz aus der Drainage so histologisch, pathologisch und laborchemisch weiteren Untersuchungen zugeführt werden. Äußere Drainagen können wiederum unterteilt werden, dabei haben sich folgende zwei ineinandergreifende Kategorisierungen in der Literatur etabliert:

- offene – halboffene – geschlossene und
- aktive und passive Drainagesysteme

2.1 Offene Drainagen

Bei einer offenen Drainage wird das Sekret nicht in einen Auffangbehälter, sondern über einen Schlauch, eine Mullbinde oder Gummieinlage, welche knapp über Hautniveau abgeschnitten wird und im Inneren zur

Oberflächenvergrößerung geriffelt ist, in einen Verband abgeleitet, welcher sich mit dem Sekret vollsaugt (Abb. 1). Für die Sogwirkung sind dabei die Schwerkraft und Kapillarkraft verantwortlich. Um ein Ankleben der Gaze und Kompressen mit dem Wundgebiet zu verhindern, sollten eine fett- oder silikonimprägnierte Auflage verwendet werden. Eine Indikation zur Verwendung offener Drainagesysteme ist die Therapie nach Abszessspaltung. Vertreter dieser Drainageklasse sind der Penrose- und der Easy-Flow-Drain, sowie die Mikulicz-Drainage, bei der knäuelartig zusammengelegte Mullplatten ihre Verwendung finden. Offene Drainagen bergen ob ihres Aufbaus wesentliche Nachteile. Derart ist durch auftretende sekundäre Verunreinigung des Verbandes und durch die Möglichkeit des retrograden Rückflusses eine erhöhte Infektionsgefahr gegeben. Deshalb sollte der Verband in kurzen Zeitintervallen regelmäßig gewechselt werden, um Keimen den Nährboden zu entziehen. Des Weiteren liegen die sekretdurchtränkten Verbände ständig der Haut auf, wodurch ein Feuchtmilieu geschaffen wird und dadurch die Gefahr besteht, dass es zu Irritationen der Haut kommt. Besonders die Gefahr der Wundinfektion gibt Grund zur Veranlassung, dass in der heutigen Chirurgie bei nicht infizierten Wunden solche Drainagesysteme nicht mehr eingesetzt werden sollten. Bereits in den 80iger Jahren des vorigen Jahrhunderts wurde bei offener Ableitung des Wundsekretes aus primär nicht infizierten Verletzungen nach Operationen eine erhöhte Wundinfektionsrate nachgewiesen (23).



(Abb. 1) Offene Drainage mit Ableitung des Sekretes in einen Verband (24)

2.2 Halboffene Drainagen

Bei dieser Drainagetechnik wird die durch den Drain gesogene Flüssigkeit in einen Auffangbehälter abgeleitet. Dieser wird nach Anlage der Drainage steril verbunden und muss je nach Menge des geförderten Sekretes regelmäßig gewechselt werden. Auch bei dieser Drainageart besteht auf Grund der notwendigen Behälterwechsel und der damit verbundenen Aufhebung des initial steril und abgeschlossen angelegten Drainagesystems die Gefahr von aufsteigenden Infektionen. Die Drainagen können aktiv oder passiv betrieben werden. Bei der passiven halboffenen Drainage erfolgt die Förderung des abzuleitenden Sekretes den Gesetzen der Schwerkraft und Adhäsionskraft entsprechend. Dabei ist stets zu beachten, dass das Auffangreservoir unterhalb des Niveaus der Drainagelokalisation angebracht wird, da ansonsten die Gefahr eines retrograden Rückflusses und somit eine Keimkontamination des Wundgebiets besteht. Bei der aktiven Variante wird zur Sekretförderung ein Sog angelegt, indem ein externes Vakuum erzeugt wird. Der Sog wird entweder mittels Vakuum-/Unterdruckflaschen, der Verwendung von sich selbst expandierenden Faltenbälgen bzw. Plastikbehälter oder durch Einsatz von Saugpumpen realisiert.

2.3 Geschlossene Drainagen

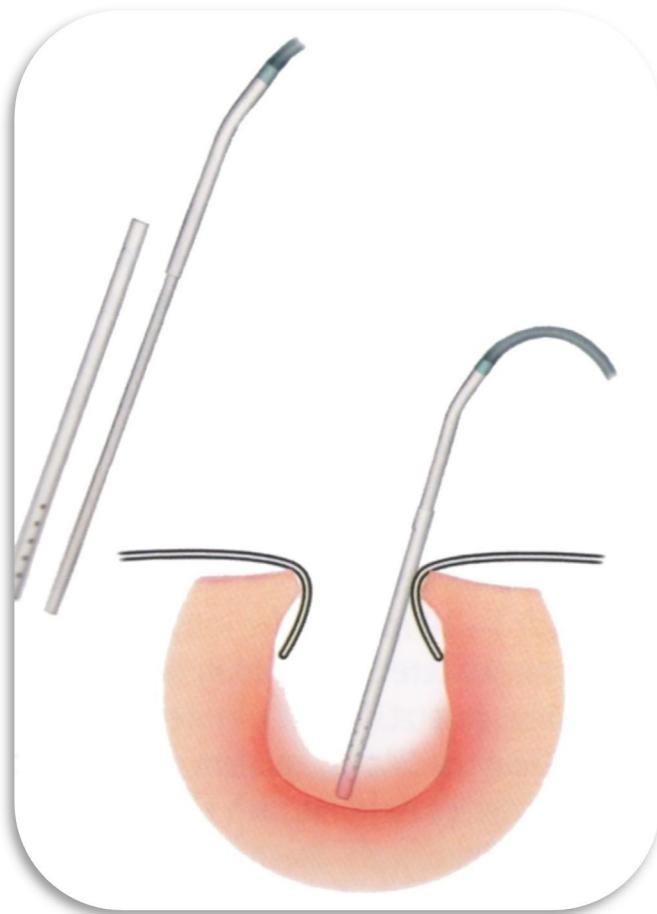
Geschlossene Drainagesysteme weisen eine feste, nur kontrolliert unterbrechbare, Verbindung zwischen dem Ableitungsmechanismus und dem Auffangbehälter auf. Der Rückfluss von Wundsekret vom Reservoir in die drainierte Wundhöhle wird entweder durch eine hohe Sogkraft oder durch Vorhandensein eines Rückflussventiles verhindert. Das verwendete Drainagerohr muss dabei pumpstabil sein, damit es unter der Einwirkung des Unterdrucks nicht kollabiert. Weiters muss zur Aufrechterhaltung der Sogwirkung das Wundgebiet luftdicht verschlossen sein. Der Wechsel oder die Entleerung des Sammelbehälters kann unter aseptischen Bedingungen erfolgen, sodass bei exakter Vorgehensweise eine retrograde Kontamination des Wundgebietes ausgeschlossen ist (14) (15). Geschlossene Drainagen gelten heutzutage, wegen

der schweren Konsequenzen von Wundinfektionen, als Bestandteil der Standardtherapie (25).

2.4 Passive und aktive Drainagen (Physikalisches Prinzip)

In Konkordanz zur obig erwähnten Einteilung in offene, halb-offene und geschlossene Drainagesysteme lassen sich Drainagen noch nach physikalischen Prinzipien ihrer Sekretförderung unterscheiden. Passive Drainagen funktionieren als Überlaufsysteme durch Kapillarkräfte oder die Schwerkraft. Bei der Schwerkraftdrainage wird die zu drainierende Flüssigkeit vom möglichst tiefsten Punkt der Wund- oder Körperhöhle über einen nicht perforierten Schlauch in einen Auffangbehälter geleitet, der tiefer als das Wundniveau angebracht ist. Sie erfordern demnach einen natürlichen Druckgradienten. Kapillardrainagen nutzen die Adhäsionskraft der Flüssigkeiten aus, um sogar kurze Bergaufpassagen zu überwinden, ehe das Sekret in einen Verband abfließen kann. Das Einsatzgebiet passiver Drainagen ist vornehmlich im Bereich von physiologischen Körperhöhlen (Abdomen, Thorax) zu sehen. Sie werden bei Verwendung von geschlossenen Drainagen als Schwerkraftdrainagen, bei Verwendung von wassergefüllten Systemen zur Ableitung des Drainageschlauches als Heberdrainagen bezeichnet. Die Sogwirkung von Heberdrainagen wird durch die Höhe der Wassersäule im ableitenden Teil bestimmt. Wichtigster Vertreter dieser Gruppe ist die im Jahre 1980 entwickelte Robinson-Drainage (26) (27) (15). Die aktive Drainage ist charakterisiert durch das Vorhandensein einer extern installierten Sogwirkung. Dies führt zu einer besseren Drainageleistung gegenüber passiver Systeme (28). Eine spezielle Form der aktiven Drainage ist die Sumpfdrainage. Vornehmlich im amerikanischen Raum in Verwendung stehend, kann über einen zweiten kleineren, in die Hauptdrainage eingelassenen Drain, Luft eindringen (Abb. 2). Somit wird ein Druckausgleich geschaffen, der ein Kollabieren des Drainageschlauches verhindern soll. Über ein drittes Lumen ist das Anbringen einer Spül-Saugdrainage möglich (29), welche zum Beispiel bei Osteomyelitis der Extremitäten, Gelenksinfekten und in der Pankreaschirurgie eingesetzt wird (30). Dabei wird eine Drainage mit einem Infusionsbesteck konnektiert und die andere(n) dienen als Ableitung der Spülflüssigkeit. Um eine ausreichende

Wundspülung zu erreichen, sollte der Flüssigkeitsdurchsatz täglich 2-5 Liter betragen. Zur Spülung eignen sich Ringerlösungen oder aseptische Lösungen wie Taurolin® oder Lavasept®. Auf Grund der zytotoxischen Eigenschaften von Kochsalzlösungen sind diese nicht zu verwenden (31). Bei Infektionen von Gelenken sollten ob der chondrotoxischen Wirkung von aseptischen Lösungen nur Ringerlösungen zur Anwendung gebracht werden (32) (33). Zur Vermeidung der Ausbildung von Spülstraßen („Highway-Effekt“) sollten die Ableitungsdrainagen wiederholt abgeklemmt werden bzw. die Abfluss- und Zuflussrichtung zeitweilig gewechselt werden. Dies ist jedoch nur erlaubt, wenn das System nicht durch Konkremente verstopft ist. Die Spüldauer richtet sich vornehmlich nach Art und Beschaffenheit des zu fördernden Sekretes und beträgt in den meisten Fällen weniger als 7 Tage (34).



(Abb. 2) Skizzierung des Prinzips einer Sumpfdrainage (35)

2.5 Materialien

Von den Anfängen des Hippokrates, welcher ausgehöhlte Holzstäbe als Drainage nutzte, über Bleirohre im Mittelalter bis hin zu den heute in Gebrauch stehenden industriell gefertigten hochpolymeren, organischen und makromolekularen Verbindungen, unterliegen die Drainagematerialien einer steten Weiterentwicklung und Modifikation. Es gibt heutzutage zwei Gruppen von Grundstoffen, welche zur Klassifizierung von Drainagen nach Art des verwendeten Materials herangezogen werden. Zum einen sind es modifizierte Naturprodukte (Kautschuk, Latex und Weichgummi), zum anderen synthetische Kunststoffe wie Polyvinylchlorid (PVC), Silikon und Polyurethane (PUR). Ausgangsstoff für die Herstellung von Kautschuk ist der natürliche, milchig-weiße Saft des Gummibaums (*Hevea brasiliensis*). Durch Emulgierung entsteht der Rohkautschuk, welcher mittels Vulkanisierung die Formstabilität von Kautschuk erlangt (36). Durch die Zugabe von Antioxidantien, Stabilisatoren und Schwefel entstehen die Endprodukte Latex und Weichgummi, welche sich durch ihre geringe Biostabilität nicht zur Verwendung von Drainageschläuchen eignen. Synthetische Kunststoffe lassen sich durch Eingriffe in den Herstellungsprozess deutlich besser an die geforderten Rahmenbedingungen anpassen. Bei der Herstellung von PVC kann durch die Wahl des Polymerisationsverfahrens und die Beimengung von Stabilisatoren und Weichmachern die Elastizität und Biegesteifigkeit variiert werden. Besonderes Augenmerk sollte dabei auf die verwendeten Weichmacher gelegt werden, da sie bei längerer Verweildauer aus der Drainageoberfläche herausgelöst werden können. Vor allem Adipinsäureester und Phthalsäure (Diäthylhexylphthalat) können in den körpereigenen Kreislauf gelangen und der Verlust dieser Weichmacher bewirkt ein Spröde- und Hartwerden des Kunststoffes (37). Zu den Vorteilen von PVC dürfen die Lumenstabilität, die Kälte- und Wärmebeständigkeit und die Undurchlässigkeit von Wasserdampf und Gasen gezählt werden. Außerdem besitzen Drainagekomponenten aus PVC eine glatte Oberfläche, was den Flüssigkeitsdurchfluss begünstigt und eine Anheftung von Erregern erschwert. PUR entstehen durch Polyadduktion niedermolekularer Monomere (Dialkohole und Diisocyanate), welche zwei oder mehr funktionelle Gruppen aufweisen, die miteinander fusionieren, wobei Makromoleküle entstehen (38). Auf Grund des

chemischen Variantenreichtums bei der Herstellung von PUR ist eine große Bandbreite an Materialien mit unterschiedlicher Konsistenz möglich. Durch die Besetzung freier Elektronenstellen von Sauerstoff- und Siliziumketten durch Kohlenwasserstoffe entsteht die vielseitige Gruppe der Silikone. Durch Zugabe von Füllstoffen wie Kieselsäure lässt sich der weiche Silikongummi zu einem für Drainagen geeigneten Material erhärten (39). Allen gemein ist, dass sie im Hinblick auf Biostabilität und Biokompatibilität hohe Anforderungen erfüllen müssen, welche in der folgenden Tabelle 1 zusammengefasst wurden.

Physikalisch:	elastisch und formstabil
Chemisch:	biostabil
Morphologisch:	glatt und antihaftbeschichtet
Physiologisch:	strömungsfördernd und kontinuierlich drainierend
Bakteriologisch:	bakteriostatisch bis bakterizid

Tab. 1: Anforderungsqualitäten an ein Drainagematerial

Da der Aufbau von Wunddrainagen mit wenigen Ausnahmen (offene Drainagesysteme) immer dem gleichen Prinzip folgt, Sekret wird mittels eines Drainagerohres in ein Sekretreservoir abgeleitet, sind die Anforderungen an die zwei Komponenten unterschiedlich zu stellen. So sind die Ansprüche an den Flüssigkeitsauffangbehälter geringer, als jene an den mit dem Gewebe direkt in Kontakt stehenden Drainageschlauch. Das Reservoir sollte durchsichtig sein, damit eine Beurteilung des geförderten Sekretes nach Menge und Farbe möglich ist. Früher wurden Behälter aus Glas gefertigt. Da diese Behältnisse schwer sind und als Standgefäße auf dem Fußboden den hygienischen Richtlinien nicht mehr genügen, werden sie heutzutage nahezu ausschließlich aus PVC hergestellt. Die breite Palette an Möglichkeiten bei der Herstellung von PVC erlaubt die Produktion von flexiblen Sekrettaschen (Robinson-Drainage) oder die Herstellung starrer Unterdruckvakuumbehälter. Auf Grund des hohen Materialaufwands und damit einhergehend eines hohen Preises werden die Auffangbeutel selten aus Silikonkautschuk erzeugt. Im Gegensatz dazu sind an die Materialeigenschaften des Drainageschlauches sehr hohe Anforderungen zu stellen. Insbesondere bei

langer Verweildauer des Schlauches im Körper können körpereigene Sekrete Veränderungen am Drainagerohr bewirken, sodass diese heutzutage fast ausschließlich aus synthetischen Kunststoffen bestehen. Nicht nur die Materialzusammensetzung, sondern auch die Oberflächeneigenschaften des Drainagezylinders, welche unter anderem von der Rohstoffbearbeitung abhängen, bestimmen seine Qualität. Die zwei wichtigsten Vertreter sind die Spritzguss- und Tauchtechnik. Beim Spritzguss wird das Material erwärmt, unter Druck gesetzt und anschließend mittels einer Düse ausgespritzt. Damit können sowohl Einzelteile als auch ein fortlaufender Schlauch verwirklicht werden. Für dünnwandige, schlauchförmige Produkte eignet sich die Tauchtechnik am besten. Dabei wird eine Form einmal oder mehrmals, je nach gewünschter Wanddicke, in eine Tauchlösung gesenkt. Die Lösung haftet an der Form und wird nach Lufttrocknung vulkanisiert. Synthetischen Kunststoffen ist gegenüber natürlichen Produkten der Vorzug zu geben, da signifikant mehr Verwachsungen und Fibrineinlagerungen nach Einsatz von Gummi- und Latexdrainagen gegenüber Silikondrainagen nachgewiesen wurden (40).

2.5.1 Biostabilität

Als Biostabilität wird die intakte Materialbeschaffenheit über einen langen Zeitraum hinweg und unter Einwirkung äußerer Elemente bezeichnet → Wechselwirkung zwischen Material und Umgebung. Vor allem Drainagen mit langer Verweildauer müssen ob des Einwirkens von mit Bakterien und Enzymen durchsetzten Flüssigkeiten physikalisch und chemisch stabil bleiben. Zu keiner Zeit sollten selbst Kleinstteile in der Größe von Atomen aus dem Material lösbar sein, da es ansonsten erstens zu einer unkontrollierbaren Kontamination des Körpers kommen kann und zweitens Veränderungen des Materials zu einer Änderung der physikalischen Eigenschaften (Festigkeit, Elastizität) führen können. Dies wiederum kann Gewebsirritationen verursachen bis hin zur inkompletten Extraktion des Drainageschlauches (39).

2.5.2 Biokompatibilität

Darunter ist die Verträglichkeit des verwendeten Materials in Beziehung zum Körpergewebe zu verstehen (37). Die Drainage darf zu keinem Zeitpunkt, auch bei langer Drainageeinlage, unerwünschte Effekte durch Freisetzung von Materialteilen verursachen. Insbesondere die bei der Herstellung beigemischten prinzipiell toxischen Weichmacher können Komplikationen im Bereich der Drainage selbst, als auch generalisierte Komplikationen herbeiführen.

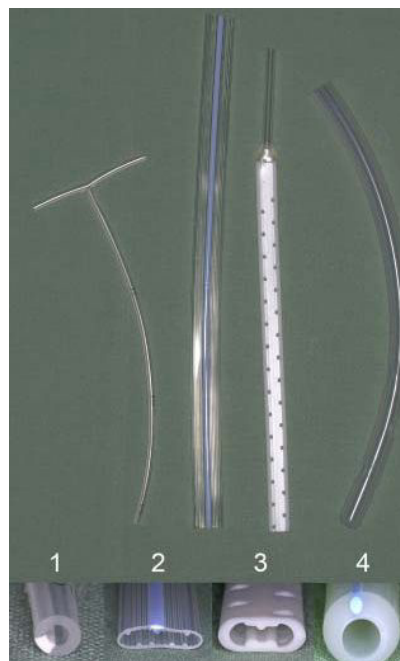
2.5.3 Drainagestruktur

Strukturell lassen sich Drainagen auf Grund ihres unterschiedlichen Schlauchdurchmessers unterscheiden. Englumige Drainagen neigen eher dazu, zu verstopfen und unter starkem Sog zu kollabieren, wohingegen großkalibrige Drainagen unter Sog Körpergewebe ansaugen können. Drainagerohre mit nur einer im Wundgebiet zu platzierenden Öffnung können ausschließlich das sich dort sammelnde Sekret ableiten. Werden Kapillardrainagen verwendet, so ist das Lumen ob der geringen Adhäsionskraft eher englumig, was die Gefahr von schnellen Verstopfungen begünstigt. Außerdem sind sie ungeeignet, um größere Koagel und Gewebsteile zu entfernen. Um über eine längere Wundstrecke Flüssigkeiten abzuführen, bedient man sich Drainageschläuche, welche zusätzlich Perforationen an der Seite aufweisen. Bei solchen Drainagesystemen besteht jedoch das Risiko, dass vor allem bei Anlage eines starken Sogs Gewebsteile angesaugt werden, welche dadurch geschädigt werden und den Kanal verstopfen können. Bei langer Einlagedauer und/oder in der Umgebung befindlichen empfindlichen Strukturen sollten weiche Materialien ausgewählt werden, wohingegen bei Verwendung von starken Saugsystemen ein starres Rohr angewandt werden muss, um ein Kollabieren zu verhindern. Auch sollte die Oberfläche möglichst glatt sein, um eine Ansiedlung von Krankheitserregern zu erschweren (41).

2.5.4 Drainage als Fremdkörper

Trotz der Verwendung von Biomaterialien für Drainagesysteme sind sie dennoch als Fremdkörper anzusehen. Sie können demnach eine Reihe unerwünschter Veränderungen verursachen, wie Verschleppung von Bakterien aus dem Gastrointestinaltrakt bei Anlage von abdominellen Drainagen, die Behinderung der Aktivität von Makrophagen und die Funktion des intestinalen Lymphgewebes schwächen. Zusätzlich gibt es eine Reihe an drainageinduzierten mechanischen Problemen wie Verklebung des Lumens oder der intrakorporalen Drainagespitze durch Fibrinablagerungen oder Koageln, retrograder Rückfluss des Sekretes ins Abdomen, aufsteigende Infektionen entlang des Drainageschlauches oder Bauchwandhernien im Austrittsbereich, sowie Adhäsionen und Strangulationen (42) (43) (40) (44) (45) (46) (47).

3. Ausgewählte Drainagen



(Abb. 3) Drainagemodelle; 1 T-Drainage, 2 Easy-Flow-Drainage, 3 Jackson-Pratt-Drainage, 4 Robinson-Drainage (48)

3.1 Redon-Drainage

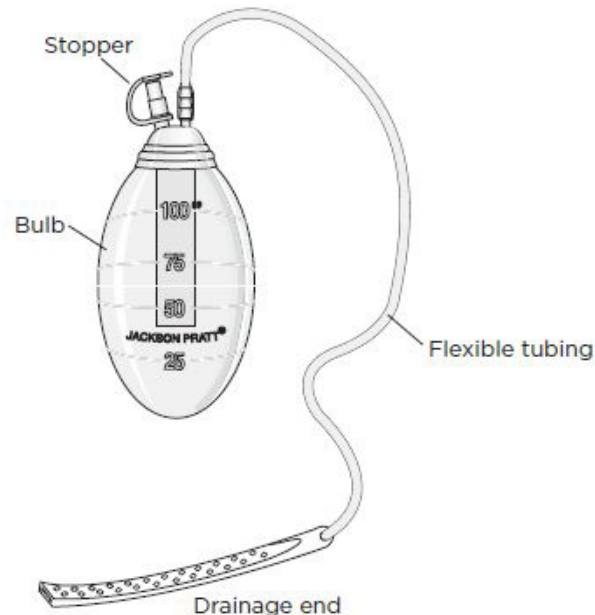
Der französische Chirurg Redon leitete 1954 mit Erfindung der nach ihm benannten Drainage die Ära der postoperativen Vakuum-Saugdrainage ein (14). Zur Förderung des Wundsekretes setzten die Autoren einen Unterdruck in Glasflaschen ein. Heutzutage bestehen sowohl der englumige und nicht komprimierbare Schlauch als auch die unterschiedlichen Reservoirs aus PVC. Ihre Länge beträgt 30 – 50cm, ihr Durchmesser 6 – 18 Charrière. Das distale Ende besitzt über eine Länge von 8 oder 15cm mehrere seitliche Löcher. Die Redondrainage wird zu den halb-offenen Systemen gezählt, da unter Berücksichtigung einer sterilen Umgebung die Sammelflasche gewechselt werden kann. Redondrainagen werden eingesetzt, um oberflächliche Hämatome zu vermeiden, da diese eine erhöhte Infektionsgefahr für Wunden darstellen. Ein weiteres primäres Einsatzgebiet ist die Verkleinerung größerer Hohlräume, um Gewebeschichten in Kontakt und somit zur Verheilung zu bringen. Dabei liegt die Drainage meist subkutan bzw. intramuskulär. Andere Indikationen zum Einsatz von Redondrainagen sind nach subfaszialen, subkutanen oder intraperitonealen Eingriffen und Operationen an den Extremitäten, besonders bei Osteosynthesen, wobei die Drainage subkutan oder intraartikulär platziert wird. Auch nach Impressionsverletzungen des Schädeldaches werden im Bereich der Galea aponeurotica Radondrainagen verwendet. Die Verweildauer beträgt im Schnitt zwischen 24h und 48h. Bei Verwendung als prophylaktische Drainage sollte das Redon nach 24h entfernt werden, da innerhalb der ersten beiden postoperativen Stunden 50% und nach einem Tag 75% der Förderleistung aufgebraucht worden sind (49) (18). Längere Liegezeiten sind nicht vorgesehen, da sie nicht die Inzidenz von Wundheilungsstörungen oder Hämatombildungen verringern (50) (51). Analog zur Liegedauer erhöht sich auch das Risiko einer Infektion, vor allem bei Gelenksdrainagen (32) (33). Die durchschnittliche Dauer bis zum Auftreten von Kulturen an der Drainagespitze konnte in einer neurochirurgischen Studie nachgewiesen werden und liegt bei ca. 6 Tagen (52). Dies wird jedoch kontrovers diskutiert, da experimentelle Studien durchgeführt wurden, welche keine Abhängigkeit vom Auftreten von Wundinfektionen zur Liegedauer der Drainage zeigten (12) (53) (54). Eine längere Drainageverweildauer (< 72h) ist oftmals bei septischen Prozessen zu beobachten. Wichtig hierbei ist die Entfernung der

Drainage, sobald die Sekretförderung sistiert. Ein großer Nachteil von Redondrainagen ist die schnelle und häufig beobachtbare Verlegung des Schlauchlumens durch Gewebsreste oder Koagel. Dies führt zu einem fast vollständigen Druckabfall bereits nach dem ersten Drainageloch. In knapp der Hälfte der Drainagen sind innerhalb 24 Stunden durchmessereingende Thromben zu beobachten. Die Zahl erhöht sich auf 60-80% nach 48h (55) (56) (57). Veränderungen in der Anordnung der seitlichen Schlauchperforationen brachten keine signifikante Verbesserung (58). Auch die Entwicklung der Slitdrainagen zur Verhinderung von Okklusionen konnte das Problem der schnellen Verstopfung nicht lösen. Slitdrainagen sind an ihrem Ende kreuzförmig, der Längsachse nach eingeschnitten, sodass sie fächerförmig in 4 je 15cm lange Laschen auslaufen. Zwar bilden sich in Redonschläuchen dreimal häufiger Koagel als in Slitdrainagen, dies hat jedoch auf die Förderleistung keinen Einfluss (59). Als Anhaltspunkt für den Zeitpunkt der Entfernung einer Redondrainage wird in der Regel die tägliche Fördermenge herangezogen. Liegt diese unter 25ml/24h, soll die Drainage gezogen werden (60) (61).

3.2 Jackson-Pratt-Drainage

Analog zur Redondrainage handelt es sich auch bei diesem System um eine Vakuumsaugdrainage. Sie wurde 1971 von den amerikanischen Neurochirurgen Jackson und Pratt erfunden, die nach einer neuartigen Drainage für die postoperative Therapie nach neurochirurgischen Eingriffen forschten, um einen sterilen und geschlossenen Sekretabfluss zu ermöglichen (62) (63). Die Jackson-Pratt-Drainage besteht aus einem Silikonkautschukdrain mit mehrfach perforiertem Ende, welcher fest über ein Lippenventil mit einer 100 cm³ fassenden und von Hand komprimierbaren Unterdruckflasche verbunden ist. Durch das Komprimieren entsteht ein Unterdruck von etwa 0,1 - 10⁵ Pa. Luft kann über eine zweite, dicht verschließbare Öffnung entweichen, sodass die Möglichkeit besteht, das Vakuum wieder herzustellen und um Sekret abzulassen. Um ein Kollabieren des Silikonschlauches zu verhindern, sind in seinem Inneren Stege eingearbeitet. Der Jackson-Pratt-Drain wird vornehmlich an empfindlichen

Strukturen angewandt, zum Beispiel in der Neurochirurgie bei subduralen Hämatomen.



(Abb. 4) Jackson-Pratt-Drainage mit 100ml Reservoir (64)

3.3 Easy-Flow- und Penrosedrain

Beide Drainagesysteme zählen zur Gruppe der passiven Drainagen. Durch die Kapillarwirkung steigt das abzuleitende Sekret vom Wundgebiet in einen Verband oder aufgeklebten Adhäsivbeutel. Beide Systeme bedürfen eines, vor allem in den ersten Stunden nach der Operation, erhöhten Pflegeaufwandes, da die vollgesogenen Verbände stets steril gewechselt werden müssen. Verbleibt die mit Wundsekret getränkte Gaze zu lange auf der Haut, kann es einerseits zu Hautirritationen und andererseits zu einem retrograden Sekretfluss kommen.

Das Lumen der Easy-Flow-Drainage besitzt in ihrem Inneren Längsrillen, womit die Kapillarwirkung verstärkt und ein gleichmäßiger Abfluss des Wundsekretes gewährleistet wird. Die Drainage wird entweder mit einer sterilen Sicherheitsnadel oder einer Hautnaht fixiert.

Die Penrose-Drainage besteht aus einem weichen Silikonrohr, das einen Gazedocht umgibt. Durch die kapillare Saugkraft des Gazestreifens wird das Sekret aus der Wunde gesogen. Auch sie wird meist mittels einer Sicherheitsnadel fixiert.

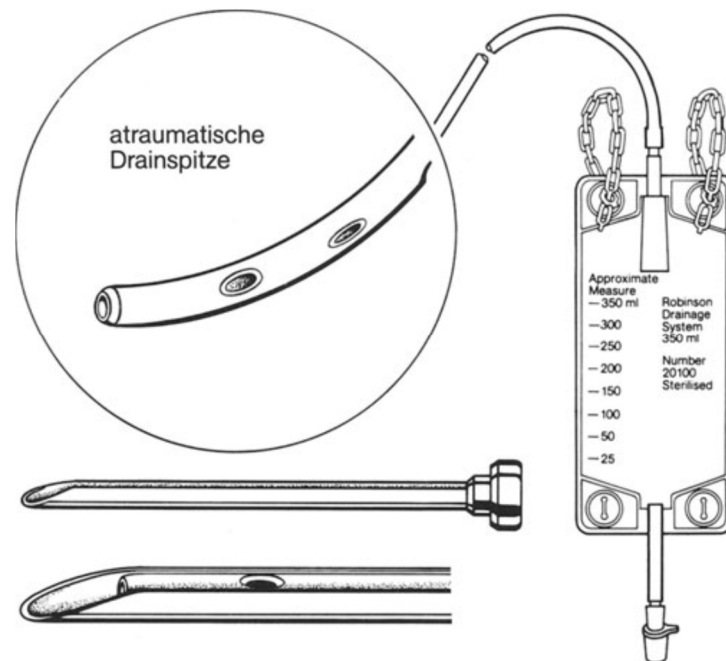
3.4 T-Drainage

Die T-Drainage, auch als perkutane transhepatische Drainage (PTCD) bezeichnet, ist eine Sonderform der abdominellen Drainage. Sie wird bei einem Stau der Gallenflüssigkeit eingesetzt und wird dabei intraluminal in den Gallengang platziert. Die beiden kurzen perforierten Schenkel werden hierbei im Ductus choledochus fixiert und der lange Schenkel wird als Ausführungsgang für die Gallenflüssigkeit durch die Bauchdecke geführt, wo die Galle in einem Auffangbehälter gesammelt wird. Durch die ERCP und/oder Papillotomie und die zunehmende Verwendung von Stents wird ihr Einsatz immer weiter in den Hintergrund gedrängt. Gerade bei Tumoren bzw. Karzinomen, wo eine Operation nicht möglich ist, wird auf die PTCD noch immer bevorzugt zurückgegriffen.

3.5 Robinson-Drainage

Diese Drainage stellt ein geschlossenes Ableitungssystem für die Schwerkraftdrainage dar und wurde 1980 von Robinson und Brown erfunden (15). Der Beutel kann nicht gewechselt werden und ist untrennbar mit dem Drainageschlauch verbunden. Er besitzt jedoch einen Abflussstutzen, über den die gesammelte Flüssigkeit entleert werden kann. Die atraumatische Spitze des Drains besitzt seitlich, der Längsachse folgend, vier ovale Perforationen. Ein Lippenventil verhindert einen möglichen Rückfluss des Sekretes in den Wundbereich. Mittels einer sterilisierbaren Stahlkanüle wird das perforierte Ende des Drains über eine gesonderte Inzision eingebracht, ohne dass der Drainageschlauch vom Beutel diskonnektiert werden muss. Damit wird die Sterilität des ableitenden Systems gewährleistet. Ein entscheidender Vorteil der weichen soglosen Silikondrainagen nach Robinson ist die reduzierte

Schmerzhaftigkeit, sowohl bei angelegter Drainage als auch ganz besonders prägnant bei Zug derselben (65).



(Abb. 5) Geschlossenes Wunddrainagesystem nach Robinson (24)

3.6 Vakuumversiegelung (V.A.C.®)

Bereits 1966 finden sich in der russischen Fachliteratur Studien, die den Nutzen des Anlegens eines subatmosphärischen Druckes in der Behandlung von Wunden darlegen (66). Diese Methodik wurde von Zamierowski 1989 zum Patent angemeldet (17). Seit Beginn der 1990iger steht der vakuumassistierte Wundverschluss verstärkt in experimenteller und klinischer Verwendung. Teder, ein schwedischer Wissenschaftler, entwickelte ein Verbandssystem, bei dem eine poröse Wundauflage mit einer Folie versiegelt wurde. In Tierexperimenten konnte er die applizierte Flüssigkeit durch das Anlegen eines Vakuums über das Drainagesystem ableiten (67).

Fleischmann et al. veröffentlichten 1993 zum ersten Mal die Methode in einem traumatologischen Patientengut (68). An der Wake Forrest University Carolina

wurden 1997 mittels Tierversuchen und darauffolgender klinischer Erprobung die Grundlagen für das V.A.C.[®] (Vacuum Assisted Closure)-Wundversorgungssystem gelegt (16) (69).

Indikationen	Kontraindikationen
chronische Wunden	Karzinomwunden
traumatische Wunden	Osteomyelitis
Schwenklappen	nekrotisches Gewebe
Verbrennungen	offenliegende Gefäße
dehiszente Wunden	aktive, schwere Blutungen

Tab. 2: Indikationen und Kontraindikationen zum Einsatz von NPWT

Die Vakuumtherapie ist eine okklusive Behandlungsmöglichkeit, in der über einen intern oder extern drainierten Schwamm eine großflächige Sekretablenkung erfolgt. Um das angelegte Vakuum aufrechtzuerhalten, wird die Wunde mit einer Folie aus Polyurethan abgeklebt. Je nach Einsatzgebiet kommen unterschiedliche Schwammmaterialien zur Anwendung. Bei kontaminierten, nässenden und tiefen Wunden wird ein Polyurethanschaum (PUS), mit Porengrößen zwischen 0,4 – 2mm verwendet. Ein Schwamm aus Polyvinylalkoholschaum (PVAS), mit Porengrößen von 0,4 bis 4mm, findet bei oberflächlich gelegenen Wunden und empfindlichen Gewebsstrukturen Verwendung. Bei Applikation im Peritonealraum muss, um Fistel- und Adhäsionsbildungen vorzubeugen, der mit dem Darm in Kontakt stehende Schwamm in eine Drainagefolie eingefasst werden. Auch die Trennung des Schwamms von den Bauchorganen mittels alloplastischen Netzes oder durch Auflage einer Gaze verhindert die möglichen Komplikationen.

Die Drainage kann entweder trans- oder extrakutan abgeleitet werden, wobei die extrakutane Ausleitung durch besondere Klebetechniken der Folie oder über das patentierte TRAC[®]-System erfolgt. Der notwendige Vakuumsog wird durch eine Vakuumpumpe oder Redonflasche bereitgestellt. Wie hoch der Vakuumsog sein

soll, wird kontrovers diskutiert. Für den PVAS werden zwischen 40 bis 80 kPa angegeben, wohingehend der experimentell erforschte Vakuumsog bei 9,9 bis 20 kPa liegt (70) (71) (72) (73) (74) (75). Das Zusammenwirken von Vakuumsog und Okklusionsverband bei der Negative Pressure Wound Therapy (NPWT) bringt eine Vielzahl an Vorzügen mit sich, welche in Tabelle 3 dargestellt sind und in experimentellen und nachfolgend klinischen Studien reproduzierbar waren (76) (77).

Vorteile der Negative Pressure Wound Therapy

Reduktion der „Hands on care“-Verbandswechsel

Wundreinigung

Kosteneffizienter

Zunahme des Granulationsgewebes →
rasche Wundheilung

Abnahme der Bakterienbesiedelung und
Reduktion des Kontaminationsrisikos

Tab. 3: Vorteile der Vakuumversiegelung

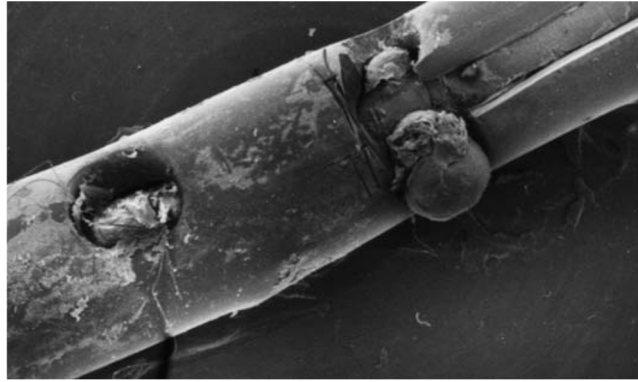
Insbesondere die schnelle Wundheilung (4x schneller) bzw. die rasche Zunahme an Granulationsgewebe (dem Wolff Transformationsgesetz folgend (78)), vor allem im Gegensatz zu anderen Drainagearten, konnten nachgewiesen werden (79) (80) (81) (82) (83). Als Komplikationen wurden in klinischen Settings mit allerdings kleiner Inzidenz Zellulitis, Hautmazerationen, kleinere Blutungen und das toxische Schocksyndrom beobachtet (84) (85). Die Wechselintervalle des Verbandes richten sich nach der Art des eingesetzten Schwammes und der Wundsituation. Bei Verwendung eines PVAS beträgt die Verweildauer bis zu 5

Tage, bei PUS bis zu drei Tage. Eine längere Liegedauer des Schwammes führt zu Verwachsungen mit dem umliegenden Wundgewebe und zu Entfernung von frischem Granulationsgewebe beim Verbandswechsel (75).

Wenngleich eine große Anzahl an Studien zum Ergebnis kommt, dass die Vakuumversiegelungstherapie Vorteile gegenüber Drainagesystemen ohne Anlage eines Unterdruckes bietet (86) (87) (88), so wird beobachtet, dass eine große Anzahl an Studien zur Vergleichbarkeit abgebrochen wurden (73) (89). Die V.A.C.[®]-Therapie ist trotz höherer Tageskosten die effizientere und schonendere Behandlungsmethode (90) (91). Der Milliman-Studie folgend, konnten durch den Einsatz der Vakuumversiegelung Einsparungen von 3700 US \$ pro Patient erzielt werden (92). Dies und die in Tabelle 3 zusammengefassten Vorteile sind hauptverantwortlich für die Etablierung der V.A.C.[®]-Therapie als Behandlungsverfahren für akute und chronische Wunden in nahezu allen chirurgischen Fachbereichen.

4. Drainagen: Sog oder so(r)glos

Ein Unterscheidungsmerkmal von Drainagesystemen ist die Sogstärke. Deren Spannbreite bewegt sich zwischen 0 mmHg bei passiven Systemen, die sich der Schwerkraft bedienen, bis hin zu 900 mmHg (Anfangssogstärke bei Redondrainagen). Verschiedene Arbeitsgruppen konnten mittels elektronenmikroskopischer Analyse aufzeigen, dass Redondrainagen anfangs einen derart großen Sog aufweisen, dass das Lumen durch angesaugte Muskelfasern verstopft wird und Nekrosen an Weichteilen auftreten (93) (94). Auch konnte nachgewiesen werden, dass Blutgefäße angesaugt, im Lumen fixiert und bei Entfernung der Drainage abreißen können (94). Kirschner et al. fanden in der drainierten Flüssigkeit bei Anlage von Hochvakuumssystemen vitale Fettzellen und Gerngross et al. konnten Konglomerate von Gewebszellen in Drainagelumina dokumentieren (95) (96) (97).



(Abb. 6) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Redon Drainage nach Entfernung. Es zeigen sich ein Thrombus im Lumen, sowie Gewebsanteile (57) (93)

Ein weiterer indirekter Hinweis auf das Ansaugen von Gewebe- und Blutbestandteilen sind gemessene unterschiedliche Hämatokritwerte in den abgeleiteten Flüssigkeiten der unterschiedlichen Drainagesysteme. Schwarz et al. verglichen den Hämatokrit in der Flüssigkeit nach Schilddrüsenoperationen nach Anlegen einer Hochvakuum-Redon Drainage und einer passiven Drainage. Die Messungen ergaben im Median für die Redon Drainage einen Wert von 20%, für die passive Drainage nur 12% des systemischen Hämatokrits. Als Maß für die angesaugte Gewebemenge bedienten sie sich der Thyroxinkonzentration, da nach Schilddrüsenresektionen in der Drainageflüssigkeit erhöhte Werte an Thyroxin nachgewiesen werden konnten. Der Verlust an Thyroxin über die Drainage entsprach dabei circa 12% des Serumthyroxins innerhalb eines Tages (98) (99). Als Folge der Einsaugung und Fixierung von Gewebe im Drainagelumen resultiert eine höhere Schmerzintensität bei Entfernung der Drainage, selbst dann, wenn dies ohne Vakuumsog geschieht (65) (100).

Relativiert werden diese Resultate durch Studien anderer Forschungsgruppen, die mittels ultrasonographischer Bildgebung nachweisen konnten, dass die lokalen Nachteile durch das Anlegen eines Hochvakuums keine klinischen Konsequenzen nach sich ziehen (101). Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden Experimente mit unterschiedlichen Sogstärken durchgeführt. Es wurden die Resthämatommenge, die Sekretansammlung und der klinische Outcome miteinander verglichen. Dabei zeigten sich keine signifikanten Unterschiede

zwischen der Anlage eines Hochvakuums (700 – 800 mbar), reduzierter Sogkraft (200 – 550 mbar) und einer Schwerkraftdrainage (57) (102) (103) (104).

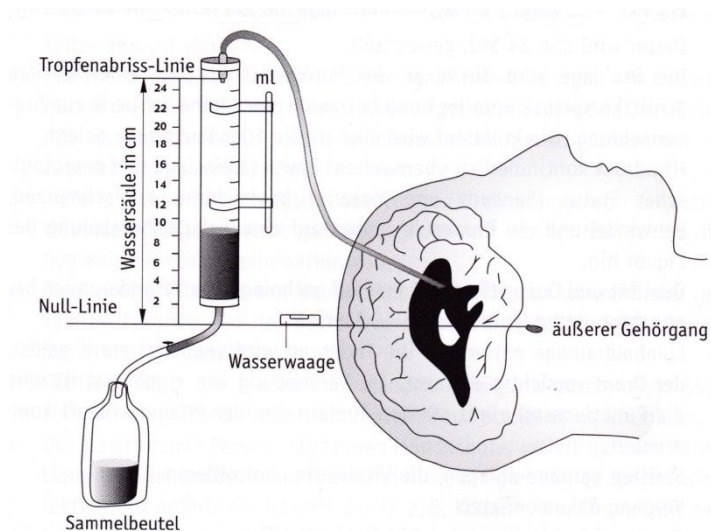
Die seit Beginn der 80iger Jahre gewonnenen Erfahrungen, dass Schwerkraftdrainagen im Gegensatz zu Hochvakuumdrainagen keine größeren Restsekret- und Hämatommengen, keine höheren Komplikationsraten und geringeren Drainagemengen zeigen sowie die Schmerzintensität bei Drainagezug geringer ausfällt, widerspiegeln sich nicht im klinischen Krankenhausalltag: Einer Umfrage im deutschsprachigen Raum zufolge wird im Falle des Einbringens einer Wunddrainage in über 90% der Fälle eine Hochdruckvakuumdrainage verwendet (19). Dadurch besteht eine erhebliche Diskrepanz zwischen der täglichen Krankenhausroutine und den wissenschaftlich erbrachten Erkenntnissen. Dies lässt sich auch an einer mittlerweile großen Anzahl an Studien ablesen, welche die Wertigkeit von Wunddrainagen kritisch hinterfragen (105) (106) (107). Die 2007 erschienene S3-Leitlinie zur Versorgung akuter postoperativer Schmerzen resümiert gar: „Soweit möglich sollte auf die Einlage von Drainagen verzichtet werden“ – untermauert mit dem *Grade of Recommendation Stufe A* (108). Drainagen sollen demnach zurückhaltend eingesetzt und so früh wie möglich entfernt werden. Auf einen Einsatz von Redondrainagen kann in den meisten Fällen verzichtet werden (12). Die Indikationsstellung soll im Allgemeinen, basierend auf bislang fehlender Nachweise des Nutzens von Drainagen, kritisch hinterfragt werden. Eine adäquate Gerinnungseinstellung und optimale Blutstillung minimieren das Risiko postoperativer Hämatome oder Revisionseingriffe und vermindern so die Notwendigkeit von Drainagen. In bestimmten chirurgischen Fachbereichen liegen randomisierte Studien und Reviews vor, welche keinen signifikanten Unterschied zwischen der Verwendung und dem Weglassen von Wunddrainagen bezüglich Hämatombildung und Auftreten von Wundinfektionen ableiten konnten. Dies gilt in besonderem Maße für orthopädische Eingriffe, wo etliche randomisierte Studien und verschiedene Metaanalysen dies belegen (109) (110) (111) (112). Purushotham et al. zeigten, dass auch nach Brustkrebsoperationen nicht auf eine Wunddrainage zurückgegriffen werden soll (113). Trotz der Diskrepanz zwischen den Feststellungen vorhin genannter Studien, gibt es zahlreiche Indikationen für die Anlage von Drainagen.

5. Indikationen für eine Drainageanlage

5.1 Drainagen in der Neurochirurgie

In der Neurochirurgie werden Drainagen vornehmlich zur intrakraniellen Druckmessung im Ventrikel, Therapie bei erhöhtem intrakraniellen Druck (ICP), sowie für die Liquorableitung eingesetzt. Physiologisch beträgt der ICP bei Adulten bis zu 15 mmHg. Husten, Pressen, etc. erhöhen den ICP durch Reduzierung des venösen Rückstroms zum Herzen beträchtlich. Dabei können kurzfristig tolerierbare Spitzendrücke über 50 mmHg gemessen werden. Ein chronisch-konstanter Hirndruck über 20 mmHg führt zu bleibenden Hirnschäden und muss therapiert werden. Der ICP kann mittels invasiver und nicht-invasiver Verfahren gemessen werden. Die invasive Druckmessung kann auf drei Arten erfolgen: durch parenchymatöse, epidurale oder ventrikuläre Druckmessung. Vor allem die ventrikuläre Druckmessung bringt den Vorteil der gleichzeitigen ICP-kontrollierten Ventrikeldrainage mit sich. Ein erhöhter ICP sollte möglichst schnell therapiert werden und dafür eignet sich insbesondere die Ventrikeldrainage, da über sie auch Liquor zu weiterführenden Untersuchungen entnommen werden kann. Auch lassen sich über eine Ventrikeldrainage Medikamente verabreichen. Ventrikeldrainagen sind als halb-offenes System deklariert und arbeiten immer soglos. Es können drei Hauptformen unterschieden werden:

- Torkildsendrainage: leitet den Liquor vom Seitenventrikel in die Cisterna magna
- Spitz-Holterdrainage: stellt eine Verbindung zwischen dem Seitenventrikel und dem rechten Herzen mittels Ventilen her
- Ventrikuloperitoneale Drainage: wird in der Pädiatrie eingesetzt, um Liquor in den Bauchraum zu leiten



(Abb 7) Anlage einer externen Ventrikeldrainage (EVD) (114)

Ab einer EVD-Liegedauer von mehr als 5 Tagen zeigte sich ein Infektionsrisiko von 5-20%. Ein Drainagewechsel nach dem 5. Tag zeigte keine Risikoreduktion, wo hingegen die subkutane Tunnelung eine Senkung der Infektionsrate bewirkte (115) (116). Eine externe Ventrikeldrainage zeigt Vorteile hinsichtlich der Intensivverweildauer und Komplikationsrate im Vergleich zu einer intraparenchymatösen Drainageanlage (117). Somit gilt die EVD als Goldstandard zur Überwachung des ICP (118).

5.2 Ösophaguschirurgie

Die Anastomoseninsuffizienz ist eine häufige postoperative Komplikation nach transmediastinaler oder transthorakaler Ösophagektomie. Eine Insuffizienz tritt vermehrt nach zervikaler Anastomosierung auf, jedoch sind die Konsequenzen nicht so gravierend, im Vergleich zur intrathorakalen Anastomoseninsuffizienz, denn bei Einsatz einer geeigneten Schwerkraftdrainage entsteht eine Speichelfistel, welche eine hohe Tendenz zur Selbstheilung besitzt. Bei intrathorakalen Anastomoseninsuffizienzen muss großen Wert auf eine ausreichende Drainage gelegt werden, da ansonsten die Gefahr zur Ausbildung einer Mediastinitis, welche letal enden kann, rapide steigt. Aktuell gibt es keine Studien zum Verzicht einer prophylaktischen Drainage nach Ösophagektomie.

Auf Grund dessen ist es state of the art, intraoperativ Thoraxdrainagen in Anastomosennähe zu platzieren. Das Einbringen einer mediastino-abdominalen Drainage reduziert zusätzlich das Komplikationsrisiko eines Pyothorax (119).

5.3 Gaster- und Intestinalchirurgie

Die Verwendung von monofilem, atraumatischem Fadenmaterial, moderner Narkosetechnik und Antibiotika hat die Anastomosensicherheit an mit Serosa ausgekleideten Darmbereichen derart erhöht, dass sie einen Einsatz von Drainagen nicht erforderlich machen. Selbst bei Billroth II Operationen besteht auf Grund der geringen Wahrscheinlichkeit (< 1%) einer Insuffizienz am Duodenalstumpf keine Drainageindikation. Einzig nach Gastrektomie kann es vereinzelt zu einer Ösophagojejunostomieinsuffizienz kommen, die eine Anlage einer Drainage rechtfertigt, da auch hier die Gefahr zur Ausbildung einer Mediastinitis besteht.

5.4 Gallenblasen- und Leberchirurgie

Bis dato konnte kein Vorteil zur Anlage einer prophylaktischen Drainage bei laparoskopischer oder offenen Cholecystektomie nachgewiesen werden (120). Ein ähnliches Bild zeigt sich in der Leberchirurgie. Nach unkomplizierten Leberresektionen besteht keine Indikation zur Drainageanlage. Weder im Hinblick auf Aufenthaltsdauer, Komplikationsrate oder Letalität konnte ein Unterschied zwischen Patienten mit bzw. ohne Drainage erhoben werden (121).

5.5 Pankreaschirurgie

Der hohe Gehalt an Enzymen im Pankreas, wodurch es bis zur Selbstandauung des Organs kommen kann, rechtfertigt den hohen Anteil an Drainageverwendung in der Pankreaschirurgie. So werden bei elektiven Pankreasresektionen oftmals Drainagen eingesetzt, um einerseits das Pankreassekret abzuleiten und andererseits dienen sie als Indikator bzw. in der Therapie bei möglich

auftretenden Fistelbildungen, Hämatomen, Pseudozysten, oder Abszessen. Dem gegenüber steht die Studie von Paulus et al. welche resümierte, dass eine Drainageanlage zwar eine Indikatorfunktion erfülle, dies jedoch mit einer erhöhten Inzidenz an Fistelbildung, Infektionen und Erosionen von Gefäßen erkauft wird (122).

5.6 Brustchirurgie

Bei Reduktionsplastiken der Brust werden Drainagen prophylaktisch eingesetzt. Dabei werden Saugdrainagen wie das Jackson-Pratt- oder Redonsystem verwendet. Selbst bei kleineren plastischen Eingriffen an der Brust, wie z.B. Probeexzisionen, besonders dann, wenn sie aus kosmetischen Gründen mit einer Tunnelung der Kutis einhergehen müssen, bewährte sich die Redon-Drainage. Es werden keine Nähte im Fett- und Drüsengewebe der Brust verwendet, sondern die Adaption der Wundflächen erfolgt durch die Anlage von (Mini-) Redondrainagen, welche inframammilär nach außen geleitet werden. So wird der Entstehung größerer Serome und Infiltrate weitestgehend vorgebeugt. Die Drainage wird mittels Pflaster an der Haut fixiert und meistens innerhalb der ersten 24h, spätestens jedoch am zweiten postoperativen Tag gezogen.

5.7 Septische Chirurgie

5.7.1 Peritonitis

Die Peritonitis wird auf Grund der Ätiologie in eine primäre, sekundäre und tertiäre Peritonitis unterteilt. Bei der primären Peritonitis werden über hämatogene oder lymphogene Bahnen Keime in das Abdomen eingeschleppt, welche zu einer Infektion einer meist bereits im Vorfeld bestehenden intraperitonealen Flüssigkeit führt. Sie wird konservativ therapiert und erst bei Versagen der primär konservativen Therapie ist eine chirurgische Revision mit Lavagen und dem Einlegen einer Spüldrainage indiziert. Die sekundäre Peritonitis ist an eine abdominelle Vorschädigung gebunden. Sie bildet sich durch eine Kontamination,

meist durch die Perforation eines strukturell geschädigten Hohlorgans im Abdomen aus. Sie wird primär chirurgisch mittels Lavage und einer CT- oder Ultraschall-gestützten Drainageeinlage behandelt. Sollte nach anfänglicher Lavage eine makroskopische Verunreinigung im Abdomen verbleiben, werden zur fortdauernden postoperativen Lavage zusätzlich Spüldrainagen eingesetzt. Als Spüllösung wird eine CAPD („continuously ambulatory peritoneal dialysis“) - Lösung eingesetzt. Um eine Arrosion der Hohlorgane zu vermeiden, sollten die Drainagen in regelmäßigem Abstand (4 - 5 Tage) rückgekürzt und zeitgerecht entfernt werden. Auch dieses Krankheitsbild betreffend, hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten eine Diskussion um das Für und Wider zum Einsetzen einer Drainage entwickelt. Die Befürworter betonen die Vorteile, wie Abszessentleerung, die Konstruktion kontrollierter Fisteln oder die Möglichkeit zur Anlage einer Spülsaugdrainage. Kritiker halten dagegen, dass es unmöglich sei, das ganze peritonitische Abdomen als Ganzes zu spülen, Drainagen eine Eintrittspforte für die Keime darstellen und dass es, wie erwähnt, zur Arrosionsbildung an Darm und Gefäßen kommen kann. Obwohl die Peritonitis ein gängiges Krankheitsbild im klinischen Alltag ist, existieren keine Arbeiten höherer Evidenzgrade, die eindeutig nachweisen können, wann und ob eine Drainageanlage zur Therapie des peritonitischen Abdomens notwendig ist (28).

5.7.2 Intraabdominelle Abszesse

Liegen intraabdominelle, raumfordernde Flüssigkeiten vor, ist eine diagnostische, sonographisch unterstützte Punktion der erste Schritt der Therapie. Neben einer umfassenden Analyse (makros- und mikroskopisch, laborchemisch) des Exsudats wird zur Entleerung, CT- oder sonographisch unterstützt, eine Drainage eingelegt. Dabei kommen Körbchen- oder Pigtailkatheter zum Einsatz, welche mittels Seldingertechnik eingebracht werden. Eine retrospektive Studie untersuchte den Verlauf von 111 CT-unterstützten Abszessdrainagen. Bei $\frac{2}{3}$ des Patientenguts war keine zusätzliche chirurgische Maßnahme erforderlich. In allen Fällen, wo der Abszess unilokulär vorlag, konnte dieser komplett drainiert werden (123).

6. Experimentelle Studie

6.1 Einleitung

Geschlossene Saugdrainagesysteme werden in der chirurgischen Praxis oft benutzt und eine Fülle verschiedener Drainage-Systeme wird auf dem kommerziellen Sektor angeboten und in weiterer Folge auch verwendet (124). Hauptziel der abdominellen Drainage ist es, postoperative Flüssigkeiten zu sammeln und das Risiko von Wundheilungskomplikationen zu vermeiden oder wenigstens zu mindern (125).

In jüngerer Zeit wurden die Nützlichkeit und Zweckmäßigkeit von postoperativen Drainagen, bei Kindern ebenso wie bei Erwachsenen, durch eine Vielfalt an Erfahrungsberichten in Frage gestellt, da diese keinen signifikanten Vorteil der intraabdominellen Drainageplatzierung gegenüber der postoperativen Behandlung ohne Drainagen erkennen ließen und aufzeigten (126) (127). Die Erfahrungen dieser Studien stehen in Zusammenhang mit einer retrograden bakteriellen Verunreinigung, da die eingeführte Drainage in mehreren Fällen in nachhaltiger Weise für eine bakterielle Infektion als Eingangstor in den chirurgischen Raum fungiert und hoher Gegendruck das Gewebe und/oder die Dichtheit der Drainagen durch zähflüssigen Seim oder per se durch Gewebeflüssigkeit verletzt (128). Darüber hinaus könnten sich die Drainage-Systeme durchaus als ineffizient im Ableiten von erheblichen umfangreichen postoperativen Flüssigkeiten erweisen.

Überraschenderweise existiert nur eine kleine Anzahl von Studien, die im experimentellen Aufbau und Ablauf die Effizienz von verschiedenen unterschiedlichen geschlossenen Absaugdrainagesystemen in Augenschein nahmen und prüften (129) (130). Daher war Intention und Ziel dieser gegenwärtig vorliegenden durchgeführten Studie, die Effizienz von drei verschiedenen und unterschiedlichen geschlossenen abdominellen Drainage-Systemen (mechanisch hoher Vakuumsog, mechanisch niedriger Vakuumsog und elektronisch kontrollierter konstanter Sog) im Hinblick und unter Beachtung und Bedingung des aufgezeigten Press- und Gegendruckes festzustellen sowie die Menge der

gesammelten Flüssigkeiten im experimentellen Umfeld einer nachgeahmten Bauchhöhle zu bewerten.

6.2 Material und Methoden

In der vorliegenden Studie wurden die folgenden drei verschiedenen unterschiedlichen geschlossenen Absaugdrainagesystemausführungen und -vorrichtungen untersucht, bewertet und evaluiert. Eine Vakuumflasche, konzipiert für die Redondrainage (Exulock Large 400[®], Fresenius Kabi AG, Bad Homburg, Deutschland), eine flexible Plastikröhre, designt für die Jackson-Pratt-Drainage (Pfm Medical Soft-Drain Flat Reservoir 100 ml[®], Nonnweiler, Deutschland) und ein V.A.C. Wundtherapiesystem, programmiert auf -125 mmHg (ActiV.A.C.[®], KCI, Acelity, Wiesbaden, Deutschland).

Im ersten Versuchsaufbau wurde allein der schiere Gegendruck der drei verschiedenen unterschiedlichen Systeme gemessen. Jedes System war konnektiert an eine 40 cm lange 10 F-Silikonröhre (Web-Sil Flat drain, 10 mm, Websinger, Wolkersdorf, Österreich) und ein standardisiertes digitales Manometersystem (Reed 8230 Digital 30 psi Manometer). Die Messungen wurden dreimal an zwei verschiedenen Tagen wiederholt, mit einer sich daraus ergebenden Gesamtheit von sechs Messungen pro System.

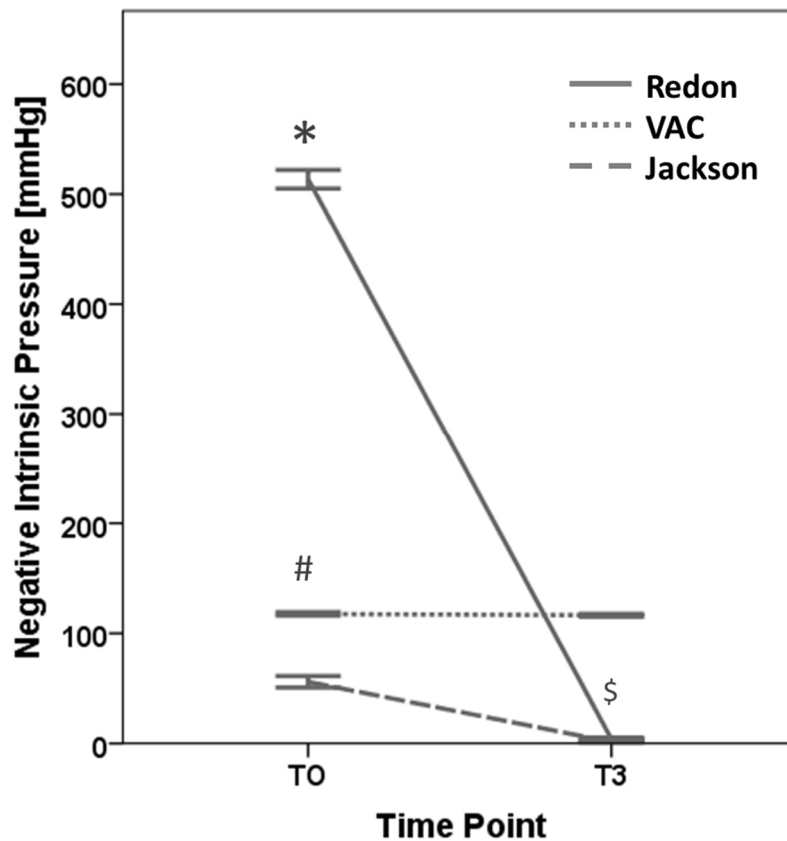
Im zweiten Versuchsaufbau wurden abdominelle Organe eines männlichen Schweinekadavers im Ganzen in eine Plastikhülle gelegt. Ein 10 F Jackson-Pratt Silikon-Flat-Drain wurde zwischen die Darmschlingen gelegt und zwischen diesen Schlingen positioniert. Zur Beobachtung des wesentlichen intrinsischen Drucks (IP) ein Druckaufnehmer eng anliegend an die Spitze des Drains (Abb. 7) platziert. Der Plastikbeutel wurde dicht versiegelt. Vor jeder Messung wurde die Luft unter Anwendung einer an den Katheter angeschlossenen Vakuumpumpe aus dem verwendeten Plastikbeutel herausgepresst, so lange, bis der Druckaufnehmer weder einen negativen noch positiven Druck – sprich weder Druck noch Gegendruck - innerhalb des Beutels anzeigte. Danach wurde der Katheter blockiert. Um jedes Leck und jede Undichtheit des Plastikbeutels auszuschließen, wurde der Druck innerhalb des Beutels fünf Minuten lang erfasst

Für die statistische Analyse wurde SPSS 22 verwendet. Der Kolmogorov-Smirnov-Test bestätigte eine nicht-parametrische Streuung und Verteilung aller gemessenen Werte. In Bezugnahme auf dieses Ergebnis wurde der Kruskal-Wallis-Test zum Vergleich der blanken Negativwerte, der intrinsischen Druckwerte (IP) und der Menge der entleerten Flüssigkeit bei den drei getesteten unterschiedlichen Systemen angewandt. Zusätzlich wurde der Mann-Whitney-U-Test zum Vergleich der intrinsischen Gegendruckwerte (negative IPs) jedes einzelnen Systems bei T0 und T3 verwendet. Ein P-Wert von kleiner als 0,05 wurde als statistisch signifikant angenommen.

6.3 Ergebnisse

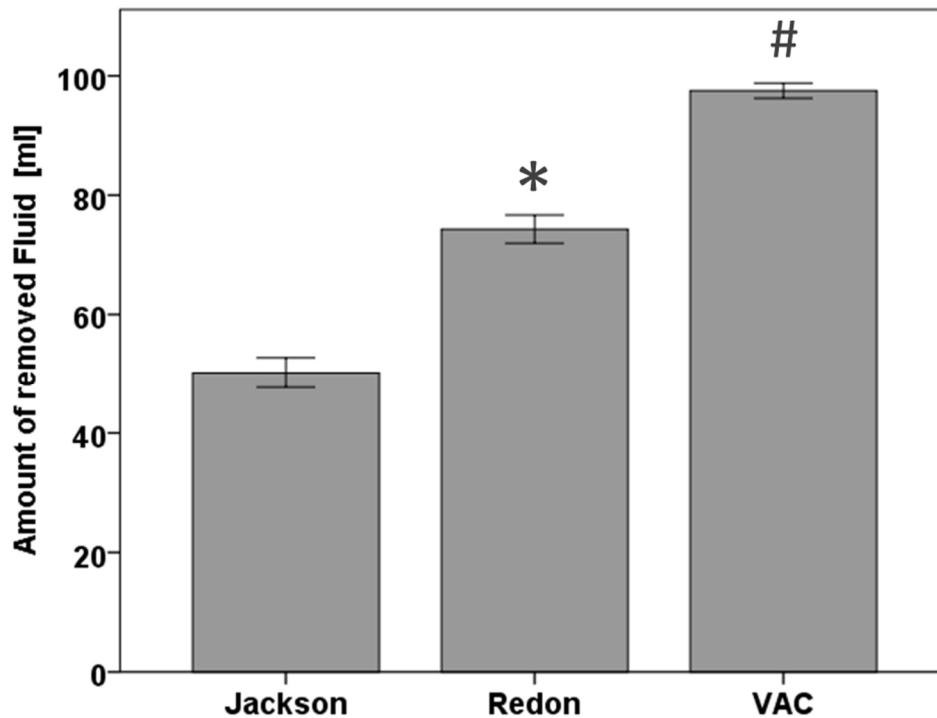
Zuallererst wurden die Anfangsdruckwerte der drei Absaugsysteme gemessen. Während das V.A.C.®-System einen durchschnittlichen Vakuumsog von -125,5mmHg (Bandbreite -123 bis -130 mmHg; SD 2.4) aufzeigte, wies die Jackson-Pratt-Drainage mit maximaler Kompression einen signifikant höheren ($p=0.03$) durchschnittlichen Sogwert von -151,6 mmHg (Bandbreite -135 bis -161 mmHg; SD 8.9) auf. Mit einem durchschnittlichen Druckwert von -608.6 mmHg (Bandbreite -598 bis -622 mmHg; SD 8.6) zeigte die Redonflasche verglichen mit den anderen Systemen signifikant höhere Werte ($p=0.03$ vs. Jackson Plastikröhre, $p=0.00$ vs. V.A.C.®-System).

Die negativen intrinsischen Druckwerte der drei Drainagesysteme wurden in einem zweiten experimentellen Setting, basierend auf der in Abbildung 7 dargestellten Versuchsanordnung mit Schweinekadavern, durchgeführt. Bei T0 wies die Redonflasche signifikant höhere Druckwerte (negative IPs), verglichen mit den Jackson-Pratt und V.A.C.®-Systemen auf. Nach drei Minuten (T3) zeigten beide – sowohl die Redon- als auch die Jackson-Pratt – Drainagen einen rapiden Abfall der Sogstärke bis hin zu beinahe 0 mmHg. Nur das V.A.C.®-System war in der Lage, konstante Werte des negativen intrinsischen Druckes bei beiden Zeitmesspunkten zu gewährleisten (Fig. 1).



(Fig. 1): Darstellung der negativen Sogstärke der drei getesteten Systeme bei beiden Zeitmesspunkten (T0 und T3). Angegeben sind Mittelwerte \pm Standardabweichung
 * $p < 0.05$ vs. VAC T0 und Jackson-Pratt T0; # $p < 0.05$ vs. Redon T0 und Jackson-Pratt T0
 \$ $p < 0.05$ vs. entsprechendes T0 versus VAC T3

Nach drei Minuten (T3) konnte die Jackson-Drainage beinahe die Hälfte der eingeleiteten Flüssigkeit ableiten. Die Menge der drainierten Flüssigkeit war signifikant höher, wenn das Redon-System angewandt wurde. Nur das V.A.C.[®]-System konnte annähernd die gesamte Menge der eingeleiteten Flüssigkeit nach außen absaugen. (Fig. 2).



(Fig.2): Grafische Darstellung der entleerten Flüssigkeitsmenge der getesteten Systeme.
 * $p < 0.05$ vs. Jackson-Pratt-Drainage; # $p < 0.05$ vs. Jackson-Pratt und Redondrainage

6.4 Diskussion

Während es eine beachtliche Anzahl an Studien gibt, die die Notwendigkeit, Darstellung und Durchführung von abdominellen Drainagen im Klinikalltag abbilden, ist die Anzahl an experimentellen Studien, die eine Leistungsbeurteilung unterschiedlicher Drainagesysteme zulassen, überraschenderweise äußerst niedrig. Whitson et al. haben vier gängige Drainagevorrichtungen unter Verwendung eines geeichten digitalen Erhebungssystems getestet (130): In Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen war das Jackson-Pratt-System das am wenigsten zuverlässige und hat weit vor Erreichen des Maximums seines 100 ml-Volumenreservoirs die Flüssigkeitsableitung eingestellt. Jede der vier getesteten Vorrichtungen verlor absoluten Gegendruck, wenn sich das Sammelvolumen erhöhte, was darauf hinweist, dass die Entleerung des Reservoirs zu bestimmten Intervallen

notwendig ist, um einen konstanten Gegendruck (negative IP) sicherzustellen. Wir konnten diese Erkenntnisse und Ergebnisse durch Aufzeigen des rapiden Verlustes des intra-abdominellen Gegendrucks beim Jackson-Pratt-System und der Vakuumflasche (Exulock Large 400) bestätigen. In einer Prüfsituation mit verschiedenen unterschiedlichen geschlossenen Absaugdrainagesystemen, verbunden mit pneumatischem Druckaufnehmer, haben Grobmyer et al. ebenfalls aufgezeigt, dass bei leeren Behältern ein maximaler Gegendruck von -71 bis -175 mmHg hervorgerufen wird (131). In unserer Studie erzeugte die Redonflasche bei einem leeren Reservoir sogar einen Gegendruck von über 500 mmHg. Ein an einen Silikonrain angeschlossenes V.A.C.[®]-Wundtherapiesystem wurde für eine intraperitoneale Drainage (Bauchfelldrainage) noch nicht erfasst, könnte aber den Vorteil eines kontrollierten und vorhersehbaren Gegendrucks aufweisen. In Ergänzung dazu kann die Anwendung von zyklischen Absaugungsintervallen, mit intermittierendem Wechsel der Sogstärke, im Verbund mit einer V.A.C.[®]-Pumpe potenzielle Gewebeschäden vermeiden.

Eine andere sehr interessante Studie vergleicht die Handhabung eines flachen und runden Jackson-Pratt-Drains im Labormodell unter Verwendung von drei Lösungen, um verschiedene Körperflüssigkeitskonditionen, nämlich seröse, eitrig und nekrotische Ablagerungen, nachzuahmen (129). Die Drains förderten, abhängig von der Drainagesituation, unterschiedlich. Während die V.A.C.-Pumpe in unserem Versuchsumfeld sich als nützlich im Entleeren des Wassers (seröse Flüssigkeit nachahmend) bewies, haben wir die Flüssigkeiten im Hinblick verschiedener Viskosität nicht geprüft, da unser Fokus auf die verschiedenen unterschiedlichen Absaugsysteme gerichtet ist und nicht auf die Suche nach dem perfekten Drain für unterschiedlich visköse Lösungen.

Im Klinikalltag ist nach einer abdominalen Operation die postoperative Platzierung von intraperitoneal negativen Absauggeräten zur Entleerung postoperativer Flüssigkeiten eine weit verbreitete Praxis. Jedoch sind das optimale Drainagesystem einerseits und der Zeitpunkt des Entfernens andererseits noch immer Gegenstand von Diskussionen, und die Frage, ob es angezeigt und notwendig ist, postoperativ auftretende Flüssigkeiten überhaupt zu entleeren, oder nicht, bleibt noch immer weitgehend unbeantwortet (132).

Darüber hinaus gibt es zunehmendes Beweismaterial, dass der postoperative Gebrauch abdomineller Drainagesysteme und die Entleerung postoperativer intraabdomineller Flüssigkeiten letztlich überhaupt nicht notwendig sein könnten. Unglücklicherweise werden in vielen der Studien der exakte Typus und zeitliche Umfang und Dauer des Gebrauchs von Drainagen im Detail nicht wiedergegeben und beschrieben. Eine kürzlich publizierte Meta-Analyse bemisst und bewertet die Effizienz einer intraabdominellen Drainage nach laparoskopischer Cholezystektomie (126). Zwölf randomisiert kontrollierte Versuchsreihen unter Einbeziehung von 1.763 Patienten (897 drainiert vs. 866 Patienten ohne Drain) wurden durchgeführt, abschließend zusammengefasst und ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass es keine Korrelation zwischen der Wundinfektionsrate und der Verwendung eines Drainagesystems gibt. Eine andere Studie bewertete die Vor- und Nachteile einer routinemäßigen abdominellen Drainage nach einer Gastrektomie bei Magenkarzinom und inkludierte vier randomisiert kontrollierte Versuchsreihen mit insgesamt 438 Patienten (127). In dieser Studie wurde kein überzeugender Beweis für eine Unterstützung einer routinemäßigen Verwendung des Drains nach einer Gastrektomie bei Magenkarzinom gefunden.

Bei perforierter Appendizitis im Kindesalter verlängert die Anlage einer Peritonealdrainage sogar die Dauer des Klinikaufenthaltes und die Operationszeit. Zusätzlich kommt es zu keiner Senkung der Wundinfektionsrate und zu einem Anstieg intraabdomineller Abszesse sowie zu einem gesteigerten Auftreten von Darmobstruktionen, welche eine chirurgische Intervention nach sich ziehen (133). Eine Studie hat pädiatrische Patienten, welche einer Appendektomie unterzogen wurden, in zwei Gruppen eingeteilt und miteinander verglichen: die eine Kohorte bekam einen Peritonealdrain (Jackson-Pratt-Drainage) eingesetzt, die andere wurde ohne Drainageanlage therapiert. Die Ergebnisse waren ein längerer Klinikaufenthalt und höhere Komplikationsraten in der Patientengruppe mit Drainageanlage (134).

Im Gegensatz dazu zeigte die Arbeit von Beek et al., dass die Anlage einer peritonealen Drainage bei chirurgischer Therapie der perforierten Appendizitis, die Komplikationsrate und die Reinterventionsrate insgesamt reduziert (135). Diese und andere ähnliche Forschungsergebnisse (136) schüren die andauernde

Argumentation und Debatte über Vor- und Nachteile der postoperativen intraabdominellen Drainage.

Nichtsdestotrotz, die gegenwärtig verfügbare Studienlage scheint die postoperative Therapie ohne Verwendung einer intraabdominellen Drainage für eine Vielzahl verschiedener Herangehens- und Vorgehensweisen zu unterstützen und zu untermauern. Die Frage sollte nicht lauten „drainieren oder nicht drainieren“, sondern eher die nach einer geeigneten Methode und Verfahrensweise, wenn eine Drainage indiziert ist. Die Forschungsergebnisse der vorliegenden Studie (rasches Nachlassen des intrinsischen Sogs im Verlauf der Zeit und eine niedrige Menge der entleerten Flüssigkeit bei zwei weitverbreitet angewandten Drainagesystemen) dürften die provokative Mutmaßung und These, dass das ideale Drainagesystem bis jetzt noch nicht gefunden wurde, stützen und untermauern. Basierend auf diesem Hintergrund könnte bei vielen Patienten eine insuffiziente Drainageanlage durchgeführt worden sein.

Eine einschränkende Eingrenzung der gegenwärtigen Studie ergibt sich daraus, dass wir ausschließlich geschlossene Drainageabsaugsysteme mit aktiver Soganlage verglichen haben. Allerdings sind offene Systeme bei kinderchirurgischen abdominellen Operationen nicht allgemein üblich und in Verwendung stehend. Des Weiteren würde bei Anwendung eines offenen Drainagesystems in unserem, das Abdomen nachahmende Modell, keine aussagekräftigen Resultate liefern, da wir auf Grund des verwendeten experimentellen Settings keine Möglichkeit haben, einen natürlichen Druck innerhalb einer experimentellen Abdominalhöhle zu erzeugen.

Eine weitere Frage, die mit und in unserem angewandten Versuchsumfeld nicht beantwortet werden kann, ist der möglicherweise auftretende Arrosionsschaden an der Darmoberfläche, verursacht durch die Anwendung hoher Sogstärken, wie zum Beispiel bei der Redonflasche und dem V.A.C.[®]-System. Dennoch erlaubt der Aufbau und das programmierbare Setup der V.A.C.[®]-Pumpe den Wechsel zu einer intermittierenden Absaugung. Jedoch erfordert das damit einhergehende Risiko einer möglichen Darmverletzung weitere Fragestellungen und Untersuchungen. Der flexible Plastikdrain, entworfen für die Jackson-Pratt-Drainage, wird häufig nach einer abdominellen Operation angewandt (134), und

wir haben einen für dieses Drainagesystem maximalen intraperitonealen Gegendruck von 56 mmHg gemessen. Ob die anderen zwei in unsere Studie inkludierten Systeme mit ihrem höheren Vakuumsog Schäden am Darm, wie Darmperforationen und Fistelbildungen, verursachen können, muss zukünftig Gegenstand von *in vivo* durchgeführten Tierversuchsstudien sein.

6.5 Zusammenfassung

Die klinische Effizienz kommerziell zur Verfügung stehender und erhältlicher abdomineller Drainagesysteme scheint beträchtlich zu variieren. Zusammenfassend wird festgehalten, dass das V.A.C.[®]-System, programmiert zur Bereitstellung und Verwendung eines kontinuierlichen Gegendrucks von 125 mmHg, in unserem experimentellen Setting den anderen zwei getesteten Systemen sowohl in der Gewährleistung einer konstanten, intrinsischen Sogstärke, als auch in der Menge der entleerten Flüssigkeit überlegen war. Es ist jedoch zu früh, auf Basis unserer Erkenntnisse die klinische Anwendung dieses Systems weiterzuempfehlen. Zur Untersuchung und Überprüfung der Effizienz und Sicherheit eines intraabdominellen Drainagesystems in Zusammenhang mit einer V.A.C.[®]-Pumpe, die kontinuierliche Sogstärken appliziert, und um den besten Drainagetyp zu eruieren, ist es notwendig, zukünftig weitere experimentelle Studien durchzuführen. Des Weiteren sind zur Erforschung des Verhaltens des V.A.C.[®]-Systems die Anwendung an verschiedenen Flüssigkeiten, seröse oder purulente Bedingungen nachahmend, in nachfolgende Studiendesigns miteinzuschließen.

7. Literaturverzeichnis

1. Adams , Francis. From The Genuine Works of Hippocrates. Wilkins & Wilkins, Baltimore. 1939;205-214.
2. Belova L. Aurelius Cornelius Celsus on cutaneous and venereal diseases. Vestn Dermatol Venerol. 1986;(5):75-7.
3. Aschoff A, Kremer P, Hashemi B, Kunze S. The scientific history of hydrocephalus and its treatment. Neurosurg Rev. 1999 Oct;22(2-3):67-93; discussion 94-5.
4. Mudry A. Contribution of Ambroise Paré (1510-1590) to otology. Am J Otol. 1999 Nov;20(6):809-13.
5. Quijano-Pitman J. Surgical drainage with rubber tubes and Baron Larrey's mobile ambulances. Gac Med Mex. 1997 May-Jun;133(3):249.
6. Newsom S. Pioneers in infection control-Joseph Lister. J Hosp Infect. 2003 Dec;55(4):246-53.
7. Lüllmann H, Mohr K, Hein L. Pharmakologie und Toxikologie Stuttgart: Georg Thieme; 2010.
8. von Mikulicz J. Classic articles in colonic and rectal surgery. Johann von Mikulicz-Radecki 1850-1905. Dis Colon Rectum. 1980 Oct;23(7):513-21.
9. Abramson DJ. Charles Bingham Penrose and the Penrose drain. Surg Gynecol Obstet. 1976 Aug;143(2):285-6.
10. Bülau G. Für die Heber-Drainage bei Behandlung des Emyems. Zeitschrift Klin Med. 1891;380-92.
11. Mclauchlin RA, Schilling JA. Abdominal drainage: review of Yates' classic monograph; present concepts. J Okla State Med Assoc. 1957 Apr;50(4):143-6.
12. Willy C, Sterk J, Gerngross H, Schmidt R. Drainage in soft tissue surgery. What is "evidence based"? Chirurg. 2003 Feb;74(2):108-14.
13. Böhler L. Die Technik der Knochenbehandlung im Frieden und im Kriege. 911th ed. Wien: Verlag Wilhelm Maudrich; 1943.
14. Redon H, Jost A, Troques A. La fermeture sous dépression des plaies étendues. Mem Acad Chir. 1954 Mar;80(12-14):394-6.

15. Robinson JO, Brown AA. A new closed drainage system. Br J Surg. 1980 Apr;67(4):299-300.
16. Morykwas MJ, Argenta LC, Shelton-Brown EI, McGuirt W. Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment: animal studies and basic foundation. Ann Plast Surg. 1997 Jun;38(6):553-62.
17. Zamierowski DS, inventor; Wound dressing and treatment method. US - Patent patent 4 969 880. 1989.
18. Härle H. Postoperative wound suction drainage and its effect on wound healing. Z Orthop Ihre Grenzgeb. 1985 May-Jun;123(3):395-402.
19. Willy C, Steinbronn S, Gerngroß H. Ergebnisse einer Umfrage zu Indikation, Art und Handling von Wunddrainagen in der Weichteil- und Extremitätenchirurgie. Swiss Surg Suppl. 1996;2:81.
20. Schweiberer L, Geissler K. Drainagesysteme und -Verfahren; Beilage zu den Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie. 1998;38:1.
21. Schweiberer L, Geissler K. Drainagesysteme und -verfahren. Grundlagen der Chirurgie. Mitt Dtsch Ges Chir. 1988;5.
22. Waugh TR, Stinchfield FE. Suction drainage of orthopaedic wounds. J Bone Joint Surg Am. 1961 Oct;43-A:939-46.
23. Raves JJ, Slifkin M, Diamond DL. A bacteriologic study comparing closed suction and simple conduit drainage. Am J Surg. 1984 Nov;148(5):618-20.
24. Eckert P. Drainagen und Drainagetechniken in der operativen Medizin. In Eckert P, editor.. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag; 1986;13.
25. Wolter D, Jürgens C, Neikes M. Drainage in accident and reconstructive surgery. Chirurg. 1993 Feb;64(2):96-102.
26. Becker D. Robinson drainage as a new principle of wound drainage in accident surgery. Unfallheilkunde. 1981 Oct;84(10):413-7.
27. Oberhammer E. Closed abdominal wound drainage by the Robinson technic. Technology and experience report. Zentralbl Chir. 1982;107(15):964-8.
28. Dominguez-Fernández E, Post S. Abdominelle Drainagen. Chirurg. 2003;74:91-98.

29. Hirsch CJ, Gingold BS, Wallack MK. Avoidance of anastomotic complications in low anterior resection of the rectum. *Dis Colon Rectum*. 1997 Jan;40:42-6.
30. Moss JP. Historical and current perspectives on surgical drainage. *Surg Gynecol Obstet*. 1981 Apr;152(4):517-27.
31. Willenegger H. Local antiseptics in surgery-rebirth and advances. *Unfallchirurgie*. 1994 Apr;20(2):94-110.
32. Michiels I, Schmitz B, Stridde E. Irrigation-suction drainage and synovectomy in the treatment of empyema of the knee joint. *Unfallchirurg*. 1993 Oct;96(10):508-16.
33. Riel KA, Primbs J, Bernett P. Arthroscopic distension irrigation in acute postoperative infection of the knee joint--long-term follow-up. *Chirurg*. 1994 Nov;65(11):1023-7.
34. Wirbel R, Mutschler W. Die postoperative Wunddrainage in der Chirurgie des Bewegungsapparates. *Operat Orthop Traumatol*. 2001;13:312-18.
35. Koepfen P, Sterk P. Arbeitstechniken Chirurgie. In. München: Urban & Fischer; 2009;69.
36. chemie.de. [Online]. [cited 2017 Mär 10. Available from: <http://www.chemie.de/lexikon/Kautschuk.html>.
37. Treutner KH, Bertram P, Müller SA, Schumpelick V. Material and structure of drainages. *Chirurg*. 2003 Feb;74(2):85-90.
38. mk2000. Chemie FU-Berlin. [Online]. [cited 2017 Mär 10. Available from: <https://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/polyadd.htm>.
39. Schumpelick V, Klever P, Töns C, Zeller H. Drainage-materials and physical principles. *Chirurg*. 1993 Feb;64(2):77-84.
40. Ernst R, Wiemer C, Rembs E, Friemann J, Theile A, Schäfer K, et al. Local effects and changes in wound drainage in the free peritoneal cavity. *Langenbecks Arch Chir*. 1997;382(6):380-92.
41. Marx G, Muhl E, Zacharowski K, Zeuzem S. In *Die Intensivmedizin*: Springer Verlag; 2014;380-81.
42. Guo W, Andersson R, Ljungh A, Wang XD, Bengmark S. Enteric bacterial translocation after intraperitoneal implantation of rubber drain pieces. *Scand J Gastroenterol*. 1993 May;28(5):393-400.

43. Guo W, Soltesz V, Ding JW, Willén R, Liu X, Andersson R, et al. Abdominal rubber drain piece aggravates intra-abdominal sepsis in the rat. *Eur J Clin Invest.* 1994 Aug;24(8):540-7.
44. Guo W, Andersson R, Wang X, Bengmark S. Effect of intraperitoneal prosthetic materials on reticuloendothelial function in the rat. *J Surg Res.* 1993 Jul;55(1):80-6.
45. Oberhammer E. A new method of gravity drainage. *Chirurg.* 1980 Apr;51(4):223-7.
46. Mora EM, Cardona MA, Simmons RL. Enteric bacteria and ingested inert particles translocate to intraperitoneal prosthetic materials. *Arch Surg.* 1991 Feb;126(2):157-63.
47. Guo W, Willén R, Andersson R, Pärsson H, Liu X, Johansson K, et al. Morphological response of the peritoneum and spleen to intraperitoneal biomaterials. *Int J Artif Organs.* 1993 May;16(5):276-84.
48. Hagel C, Schilling M. Abdominal approaches and drainages of the abdominal cavity. *Chirurg.* 2006 Apr;77(4):383-92.
49. Härle H. Wound drainage. *Hefte Unfallheilkd.* 1982;158:491-501.
50. Arbogast R, Kaufner HK, Friedrich B. Bakteriologische Untersuchungen zur Frage der ascendierenden Wundinfektion. *Chir Prax.* 1978;24:173-6.
51. Magee C, Rodeheaver GT, Golden GT, Fox J, Edgerton MT, Edlich RF. Potentiation of wound infection by surgical drains. *Am J Surg.* 1976 May;131(5):547-9.
52. Kim DK, Uttley D, Bell BA, Marsh HT, Moore AJ. Comparison of rates of infection of two methods of emergency ventricular drainage. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1995 Apr;58(4):444-6.
53. Overgaard S, Thomsen NO, Kulinski B, Mossing NB. Closed suction drainage after hip arthroplasty. Prospective study of bacterial contamination in 81 cases. *Acta Orthop Scand.* 1993 Aug;64(4):417-20.
54. Kaufner HK, Friedrich B. Does prolonged insertion of the Redon drain increase the postoperative risk of infection? *Chirurg.* 1974 Mar;45(3):137-8.
55. Wolter D, Müller A, Kinzl L, Burri C. Flow examination of redon-suction drainage. *Langenbecks Arch Chir.* 1974;336(2):163-72.

56. Tittel K, Hufnagel F, Schauwecker F. Spiral drainage. An improved suction drainage. *Chirurg*. 1980 Mar;51(3):185-6.
57. Gerngross H, Marquardt KJ. What suction drainage is optimal for drainage of wound secretion? A clinico-experimental study exemplified by the knee joint. *Chirurg*. 1992 May;63(5):447-53.
58. Burri C. Surgical suction drains. A comment on the paper by H. Lohfert. *Unfallheilkunde*. 1980 Jul;83(7):377-9.
59. Brandner P, Neis KJ, Hettenbach A, Schmidt W. Slit drainage versus Redon drainage in a clinical comparison--initial experiences with a new kind of wound drainage system. *Geburtshilfe Frauenheilkd*. 1991 May;51(5):393-7.
60. de Massol E, Girault D. Care and removal of Redon drains. *Rev Infirm*. 2016 Feb;(218):53-4.
61. Morris AM. A controlled trial of closed wound suction. *Br J Surg*. 1973 May;60(5):357-9.
62. Jackson FE, Pratt RA. Technical report: a silicone rubber suction drain for drainage of subdural hematomas. *Surgery*. 1971 Oct;70(4):578-9.
63. Jackson FE, Pratt RA. Silicone rubber "brain drain". *Z Neurol*. 1972;201(1):92-4.
64. Center MSKC. [Online].; 2016 [cited 2017 Mar 10. Available from: <https://www.mskcc.org/cancer-care/patient-education/caring-your-jackson-pratt-drainage-system>.
65. Berger D, Burri C, Strobel G. Schwerkraftdrainage—eine Alternative zur Saugdrainage in der Unfallchirurgie? *Unfallchirurgie*. 1991;17: 236.
66. Greer SE. Whither subatmospheric pressure dressing? *Ann Plast Surg*. 2000 Sep;45(3):332-4.
67. Teder H, Sandén G, Svedman P. Continuous wound irrigation in the pig. *J Invest Surg*. 1990;3(4):399-407.
68. Fleischmann W, Strecker W, Bombelli M, Kinzl L. Vacuum sealing as treatment of soft tissue damage in open fractures. *Unfallchirurg*. 1993 Sep;96(9):488-92.

69. Argenta L, Morykwas M. Vacuum-assisted closure: a new method for wound control and treatment: clinical experience. *Ann Plast Surg.* 1997 Jun;38(6):563-76; discussion 577.
70. Morykwas MJ, Faler BJ, Pearce DJ, Argenta LC. Effects of varying levels of subatmospheric pressure on the rate of granulation tissue formation in experimental wounds in swine. *Ann Plast Surg.* 2001 Nov;47(5):547-51.
71. Bauer P, Schmidt G, Partecke BD. Possibilities of preliminary treatment of infected soft tissue defects by vacuum sealing and PVA foam. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 1998 Jan;30(1):20-3.
72. Enecov DG, Schneider AM, Morykwas MJ, Parker D, White WL, Argenta LC. A controlled subatmospheric pressure dressing increases the rate of skin graft donor site reepithelialization. *Ann Plast Surg.* 1998 Mar;40(3):219-25.
73. Peinemann F, Sauerland S. Negative-pressure wound therapy: systematic review of randomized controlled trials. *Dtsch Arztebl Int.* 2011 Jun;108(22):381-9.
74. Webb LX, Schmidt U. Wound management with vacuum therapy. *Unfallchirurg.* 2001 Oct;104(10):918-26.
75. Fleischmann W, Russ M, A. W, Stampehl M. Vacuum sealing as carrier system for controlled local drug administration in wound infection. *Unfallchirurg.* 1998 Aug;101(8):649-54.
76. DeFranzo AJ, Argenta LC, Marks MW, Molnar JA, David LR, Webb LX, et al. The use of vacuum-assisted closure therapy for the treatment of lower-extremity wounds with exposed bone. *Plast Reconstr Surg.* 2001 Oct;108(5):1184-91.
77. Ford CN, Reinhard ER, Yeh D, Syrek D, De Las Morenas A, Bergman SB, et al. Interim analysis of a prospective, randomized trial of vacuum-assisted closure versus the healthpoint system in the management of pressure ulcers. *Ann Plast Surg.* 2002 Jul;49(1):55-61.
78. Wolff J. *Das Gesetz der Transformation der Knochen.* 1892. Hirschwald, Berlin.
79. Wassel P, Gerngroß H. *Moderne Wundbehandlung Heidelberg:* Springer-Verlag; 2013.

80. Song DH, Wu LC, Lohmann RF, Gottlieb LJ, Franczyk M. Vacuum assistet closure for the treatment of sternal wounds: the bridge between debridement and definitive closure. *Plast Reconstr Surg.* 2003;111:92-7.
81. Joseph E, Hamori CA, Bergman S, Roaf E, Swann NF, Anastasi GW. A prospective randomized trial of vacuum-assited closure versus standard therapy of chronic nonhealing wounds. *Wounds.* 2000;12:60-7.
82. McCallon SK, Knight CA, Valiulus JP, Cunningham MW, McCulloch JM, Farinas LP. Vacuum-assisted closure versus saline-moistened gauze in the healing of postoperative diabetic foot wounds. *Ostomy Wound Manage.* 2000 Aug;46(8):28-32, 34.
83. Eginton MT, Brown KR, Seabrook GR, Towne JB, Cambria RA. A prospective randomized evaluation of negative-pressure wound dressings for diabetic foot wounds. *Ann Vasc Surg.* 2003 Nov;17(6):645-9.
84. Gwan-Nulla DN, Casal RS. Toxic shock syndrome associated with the use of the vacuum-assisted closure device. *Ann Plast Surg.* 2001 Nov;47(5):552-4.
85. Horch RE, Bach A, Loos B, Kopp J. Sicherheitsaspekte und Indikationen der VAC®-Therapie in der plastischen Chirurgie. *Eur Surg.* 2003;35:5.
86. Quyn AJ, Johnston C, Hall D, Chambers A, Arapova N, Ogston S, et al. The open abdomen and temporary abdominal closure systems--historical evolution and systematic review. *Colorectal Dis.* 2012 Aug;14(8):429-38.
87. Roberts DJ, Zygun DA, Grendar J, Ball CG, Robertson HL, Ouellet JF, et al. Negative-pressure wound therapy for critically ill adults with open abdominal wounds: a systematic review. *J Trauma Acute Care Surg.* 2012 Sep;73(3):629-39.
88. Boele van Hensbroek P, Wind J, Dijkgraaf MG, Busch OR, Goslings JC. Temporary closure of the open abdomen: a systematic review on delayed primary fascial closure in patients with an open abdomen. *World J Surg.* 2009 Feb;33(2):199-207.
89. Ubbink DT, Westerbos SJ, Evans D, Land L, Vermeulen H. Topical negative pressure for treating chronic wounds. *Cochrane Database Syst Rev.* 2008 Jul;16;(3):CD001898.
90. Nord D. Effektivität und Effizienz in der Wundversorgung- Moderne Wundversorgung vs. Vakuumversiegelungstherapie. Wien: Springer Verlag; 2007.

91. Karl T, Modic PK, Voss EU. Indications and results of v.a.C therapy treatments in vascular surgery - state of the art in the treatment of chronic wounds. *Zentralbl Chir.* 2004 May;1:74-9.
92. Nord D, Pfänder J. V.A.C. therapy with reference to economic health care aspects: saving money and suffering. *Pflege Z.* 2003 Jun;56(6):434-7.
93. Graf J, Stofft E, Tittel K. Muscular changes caused by suction drainage. Scanning electron microscopy, transmission electron microscopy, light microscopy and morphometric studies of dorsal muscles of the rat (*Rattus rattus*) using drainage. *Unfallchirurgie.* 1983 Aug;9(4):223-8.
94. Werner HP. Complications and risks of suction drainage. *Z Gesamte Hyg.* 1990 Feb;36(2):94-9.
95. Kirschner P, Römer H. Clinical experiences with use of the DRAINTEC-system for closed rinse-suction drainage. *Krankenpfl J.* 1991 Nov;29(11):508.
96. Heissing R, Kirschner P, Römer H. Wound drainage with a continuous high vacuum drainage system and a drainage system with variable vacuum. *Unfallchirurg.* 1995 Oct;98(10):522-5.
97. Gerngross H, Engler V. Gravity drainage versus suction drainage: an experimental and clinical study. *Unfallchirurg.* 1989 Jan;92(1):37-42.
98. Schwarz W, Willy C, Ndjee C. Gravity or suction drainage in thyroid surgery? Control of efficacy with ultrasound determination of residual hematoma. *Langenbecks Arch Chir.* 1996;381(6):337-42.
99. Young HB, Twiss DH, Evans M. Hormonal aspects of suction drainage after thyroidectomy. *Surg Gynecol Obstet.* 1979 Sep;149(3):343-5.
100. Peiper C, Conze J, Ponschek N, Schumpelick V. Value of subcutaneous drainage in repair of primary inguinal hernia. A prospective randomized study of 100 cases. *Chirurg.* 1997 Jan;68(1):63-7.
101. Lauer G, Choi BH, Dibah K, Schmelzeisen R. A clinical audit on the effect of suction drainage on microvascular anastomosis. *J Craniomaxillofac Surg.* 2001 Oct;29(5):298-301.
102. Morgan-Jones RL, Perko MM, Cross MJ. Uncemented total knee replacement - the favourable influence of low over high pressure drainage. *Knee.* 2000 Jul;1;7(3):149-150.

103. Calvo R, Martínez-Zapata MJ, Urrútia G, Gich I, Jordán M, Del Arco A, et al. Low- vs. high-pressure suction drainage after total knee arthroplasty: a double-blind randomized controlled trial. *J Adv Nurs*. 2012 Apr;68(4):758-66.
104. Wedderburn A, Gupta R, Bell N, Royle G. Comparison between low and high pressure suction drainage following axillary clearance. *Eur J Surg Oncol*. 2000 Mar;26(2):142-4.
105. Varley GW, Milner SA. Wound drains in proximal femoral fracture surgery: a randomized prospective trial of 177 patients. *J R Coll Surg Edinb*. 1995 Dec;40(6):416-8.
106. Sasso RC, Williams JI, Dimasi N, Meyer PRJ. Postoperative drains at the donor sites of iliac-crest bone grafts. A prospective, randomized study of morbidity at the donor site in patients who had a traumatic injury of the spine. *J Bone Joint Surg Am*. 1998 May;80(5):631-5.
107. Ravikumar KJ, Alwan T, Fordyce MJF, Tuson KWR. Drainage vs. non-drainage in total hip arthroplasty. A prospective randomized study. *Hip. Intern*. 2001;11:49-54.
108. Laubenthal H. S3-Leitlinie "Behandlung akuter perioperativer und posttraumatischer Schmerzen". Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Schmerztherapie; 2007. Report No.: AWMF-Register Nr. 041/001.
109. Parker MJ, Roberts C. Closed suction surgical wound drainage after orthopaedic surgery. *Cochrane Database Syst Rev*. 2001 (4):CD001825.
110. Parker MJ, Roberts CP, Hay D. Closed suction drainage for hip and knee arthroplasty. A meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am*. 2004 Jun;86-A(6):1146-52.
111. Confalonieri N, Manzott A, Pullen C. Is closed-suction drain necessary in unicompartmental knee replacement? A prospective randomised study. *Knee*. 2004 Oct;11(5):399-402.
112. Tjeenk RM, Peeters MP, van den Ende E, Kastelein GW, Breslau PJ. Wound drainage versus non-drainage for proximal femoral fractures. A prospective randomised study. *Injury*. 2005 Jan;36(1):100-4.
113. Purushotham AD, McLatchie E, Young D, George WD, Stallard S, Doughty J, et al. Randomized clinical trial of no wound drains and early discharge in the treatment of women with breast cancer. *Br J Surg*. 2002 Mar;89(3):286-92.

114. Kahl L. Sonden, Drainagen, Kathetersysteme Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart; 2005.
115. Lozier AP, Sciacca RR, Romagnoli MF, Connolly ESJ. Ventriculostomy-related infections: a critical review of the literature. *Neurosurgery*. 2008 Feb;Suppl 2:688-700.
116. Beer R, Pfausler B, Schmutzhard E. Management of nosocomial external ventricular drain-related ventriculomeningitis. *Neurocrit Care*. 2009;10(3):363-7.
117. Liu H, Wang W, Cheng F, Yuan Q, Yang J, Hu J, et al. External Ventricular Drains versus Intraparenchymal Intracranial Pressure Monitors in Traumatic Brain Injury: A Prospective Observational Study. *World Neurosurg*. 2015 May;83(5):794-800.
118. Raboel PH, Bartek JJ, Andresen M, Bellander BM, Romner B. Intracranial Pressure Monitoring: Invasive versus Non-Invasive Methods-A Review. *Crit Care Res Pract*. 2012;2012:950393
119. Kuwano H, Matsushima T, Ikebe M, Baba K, Kitamura K, Toh Y, et al. Mediastinal drainage prevents fatal pyothorax from anastomotic leakage after intrathoracic anastomosis in reconstruction for carcinoma of the esophagus. *Surg Gynecol Obstet*. 1993 Aug;177(2):131-4.
120. Ishikawa K, Matsumata T, Kishihara F, Fukuyama Y, Masuda H. Laparoscopy-assisted distal gastrectomy for early gastric cancer with versus without prophylactic drainage. *Surg Today*. 2011 Aug;41(8):1049-53.
121. Fong Y BMFBKHNBLH. Drainage is unnecessary after elective liver resection. *Am J Surg*. 1996 Jan;171(1):158-62.
122. Paulus EM, Zarzaur BL, Behrman SW. Routine peritoneal drainage of the surgical bed after elective distal pancreatectomy: is it necessary? *Am J Surg*. 2012 Oct;204(4):422-7.
123. Bernin A, Spencer MP, Wong WD, Rothenberger DA, Madoff RD. Computed tomography-guided percutaneous abscess drainage in intestinal disease: factors associated with outcome. *Dis Colon Rectum*. 1997 Sep;40(9):1009-13.
124. Dougherty SH, Simmons RL. The biology and practice of surgical drains. Part 1. *Curr Probl Surg*. 1992 Aug;29:559-623.

125. Scevola S, Youssef A, Kroll SS, Langstein H. Drains and seromas in TRAM flap breast reconstruction. *Ann Plast Surg.* 2002 May;48(5):511-4.
126. Wong CS, Cousins G, Duddy JC, Walsh SR. Intra-abdominal drainage for laparoscopic cholecystectomy: A systematic review and meta-analysis. *Int J Surg.* 2015 Nov;23:87-96.
127. Wang Z, Chen J, Su K, Dong Z. Abdominal drainage versus no drainage post gastrectomy for gastric cancer. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015 Aug;10;(8):CD008788.
128. Memon MA, Memon B, Memon MI, Donohue JH. The uses and abuses of drains in abdominal surgery. *Hosp Med.* 2002 May;63(5):282-8.
129. Swartz AL, Azuh O, Obeid LV, Munaco AJ, Toursavadkahi S, Adams J, et al. Developing an experimental model for surgical drainage investigations: an initial report. *Am J Surg.* 2012 Mar;203(3):388-91.
130. Whitson BA, Richardson E, Iazzo PA, Hess DJ. Not every bulb is a rose: a functional comparison of bulb suction devices. *J Surg Res.* 2009 Oct;156(2):270-3.
131. Grobmyer SR, Graham D, Brennan MF, Coit D. High-pressure gradients generated by closed-suction surgical drainage systems. *Surg Infect (Larchmt).* 2002;3:245-9.
132. Reiffel AJ, Barie PS, Spector JA. A multi-disciplinary review of the potential association between closed-suction drains and surgical site infection. *Surg Infect (Larchmt).* 2013 Jun;14:244-69.
133. Akkoyun I, Tuna AT. Advantages of abandoning abdominal cavity irrigation and drainage in operations performed on children with perforated appendicitis. *J Pediatr Surg.* 2012 Oct;47(10):1886-90.
134. Song RY, Jung K. Drain insertion after appendectomy in children with perforated appendicitis based on a single-center experience. *Ann Surg Treat Res.* 2015 Jun;88(6):341-4.
135. Beek MA, Jansen TS, Raats JW, Twiss EL, Gobardhan PD, van Rhede van der Kloot EJ. The utility of peritoneal drains in patients with perforated appendicitis. *Springerplus.* 2015 Jul;24;4:371.
136. Pakula AM, Skinner R, Jones A, Chung R, Martin M. Role of drains in laparoscopic appendectomy for complicated appendicitis at a busy county hospital. *Am Surg.* 2014 Oct;80(10):1078-81.

137. Robinson JO BA. A new closed drainage system. Br J Surg. 1980
Apr;67(4):299-300.

8. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Seite 12; Offene Drainage mit Ableitung des Sekretes in einen Verband; Eckert P. Drainagen und Drainagetechniken in der operativen Medizin. In Eckert P, Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag; 1986;13

Abbildung 2: Seite 15; Skizzierung des Prinzips einer Sumpfdrainage; Koeppen P, Sterk P. Arbeitstechniken Chirurgie. In. München: Urban & Fischer; 2009;69

Abbildung 3: Seite 20; Drainagemodelle; 1 T-Drainage, 2 Easy-Flow-Drainage, 3 Jackson-Pratt-Drainage, 4 Robinson-Drainage; Hagel C, Schilling M. Abdominal approaches and drainages of the abdominal cavity. Chirurg. 2006 Apr;77(4):383-92.

Abbildung 4: Seite 23; Jackson-Pratt-Drainage mit 100ml Reservoir; Center MSKC. [Online].; 2016 [cited 2017 Mar 10. Available from: <https://www.mskcc.org/cancer-care/patient-education/caring-your-jackson-pratt-drainage-system>.

Abbildung 5: Seite 25; Geschlossenes Wunddrainagesystem nach Robinson; Eckert P. Drainagen und Drainagetechniken in der operativen Medizin. In Eckert P, Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag; 1986;13.

Abbildung 6: Seite 29; Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme einer Redondrainage nach Entfernung. Es zeigen sich ein Thrombus im Lumen, sowie Gewebsanteile; Graf J, Stofft E, Tittel K. Muscular changes caused by suction drainage. Scanning electron microscopy, transmission electron microscopy, light microscopy and morphometric studies of dorsal muscles of the rat (*Rattus rattus*) using drainage. Unfallchirurgie. 1983 Aug;9(4):223-8.

Abbildung 7: Seite 32; Anlage einer externen Ventrikeldrainage (EVD); Kahl L. Sonden, Drainagen, Kathetersysteme Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH Stuttgart; 2005.

Abbildung 8: Seite 38; Skizze des experimentalen Settings;

Figure 1: Seite 40; Darstellung der negativen Sogstärke der drei getesteten Systeme bei beiden Zeitmesspunkten (T0 und T3);

Figure 2: Seite 41; Grafische Darstellung der entleerten Flüssigkeitsmenge der getesteten Systeme;

9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anforderungsqualitäten an ein Drainagematerial; Seite 17

Tabelle 2: Indikationen und Kontraindikationen zum Einsatz von NPWT; Seite 26

Tabelle 3: Vorteile der Vakuumversiegelung; Seite 27



Contents lists available at ScienceDirect

The American Journal of Surgery

journal homepage: www.ajconline.org

Experimental comparison of abdominal drainage systems

Johannes Schalamon, Thomas Petnehazy, Herwig Ainoedhofer, Christoph Castellani, Holger Till, Georg Singer*

Department of Paediatric and Adolescent Surgery, Medical University of Graz, Auenbruggerplatz 34, 8036, Graz, Austria

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 July 2016

Received in revised form

19 September 2016

Accepted 29 September 2016

Keywords:

Abdominal drainage

Experimental

Redon

Jackson

VAC

ABSTRACT

Background: In an experimental study the performance of different closed abdominal drainage systems was tested.

Methods: A vacuum bottle designed for Redon Drainage, a flexible plastic bulb designed for Jackson-Pratt drains and a V.A.C.[®] Negative Pressure Wound Therapy System were used. In a porcine cadaveric study mimicking the abdominal cavity the intrinsic pressure (IP) at one and three minutes (T0, T3) and the amount of evacuated fluid were measured.

Results: The Redon and Jackson drainage displayed a rapid decline to IP values of almost zero comparing T0 and T3. Only the V.A.C.[®] system was able to preserve constant values of negative IP values measured at both time points. Only the V.A.C.[®] system was able to remove almost the whole amount of inserted fluid.

Conclusions: In an experimental setting the V.A.C.[®] system was superior to the other two tested systems in delivering constant negative IP and the amount of evacuated fluid.

© 2016 Elsevier Inc. All rights reserved.

1. Introduction

Closed suction drainage systems are frequently used in surgical practice¹ and a plethora of different drainage systems is commercially available. The main goal of abdominal drainage is to collect postoperative fluids and to prevent or minimize the risk of wound complications.²

Recently, the usefulness of postoperative drainage in children as well as adults has been challenged by a variety of reports demonstrating no significant advantage of intra-abdominal drain placement when compared to postoperative treatment without drains.^{3,4} The findings of these studies may be related to retrograde bacterial contamination when the inserted drain serve as a portal for bacterial entry into surgical spaces, high negative pressures injuring the tissue or clogging of the drains by tissue or viscous fluids.⁵ Moreover, the drainage systems may even be inefficient in collecting considerable amounts of postoperative fluid.

Surprisingly, there is only a small number of studies examining the efficacy of different closed suction drainage systems in an experimental setting.^{6,7} Therefore, the aim of the present study was to assess the efficacy of three different closed abdominal drainage systems (mechanical high negative pressure, mechanical low

negative pressure and electronic controlled constant negative pressure) in terms of applied negative pressures and the amount of collected fluids in an experimental setting mimicking an abdominal cavity.

2. Material and Methods

In the present study the following three different closed suction devices were evaluated: A vacuum bottle designed for Redon Drainage (Exulock Large 400[®], Fresenius Kabi AG, Bad Homburg, Germany); a flexible plastic bulb designed for Jackson-Pratt drain (Pfm Medical Soft-Drain Flat Reservoir 100 mL[®], Nonnweiler, Germany) and a V.A.C.[®] Negative Pressure Wound Therapy System programmed to -125 mmHg (ActiV.A.C.[®], KCI, Acelity, Wiesbaden, Germany).

In a first set of experiments the blank negative pressures of the three different systems were measured. Each system was connected to a 40 cm long 10F silicone tube (Web-Sil Flat drain, 10 mm, Websinger, Wolkersdorf, Austria) and a standard digital manometer system (Reed 8230 Digital 30 psi Manometer). The measurements were repeated three times on two different days resulting in a total of six measurements per system.

In a second set of experiments en bloc abdominal organs of a male pig cadaver were put into a plastic bag. A 10 F Jackson-Pratt silicone flat drain was positioned between the bowel loops. For

* Corresponding author.

E-mail address: georg.singer@medunigraz.at (G. Singer).

assessment of the intrinsic pressure (IP) we placed a pressure transducer close to the tip of the drain (Fig. 1). The plastic bag was tightly sealed. Before each measurement, the air was evacuated from the plastic bag using a vacuum pump connected to the catheter until the pressure transducer showed neither negative nor positive pressure inside the bag. Then the catheter was blocked. In order to rule out any leakage of the plastic bag the pressure inside the bag was recorded for five minutes. No changes of pressure readings were seen within these five minutes. Thereafter, 100 mL of aqua were inserted into the bag through the catheter and the Jackson catheter was connected to the different suction devices. The negative IP was measured at 0 and 3 min (T0, T3) using an electronic manometer (Reed 8230 Digital 30 psi Manometer) and reported in mmHg. The evacuated volumes in ml were determined from the manufacturer's packaging at three minutes. The experiments were repeated three times for each drainage system on two different days resulting in a total of six measurements per system.

For statistical analysis SPSS 22 was used. The Kolmogorov-Smirnov test confirmed non-parametric distribution of all values measured. Therefore, the Kruskal-Wallis test was used for comparison of the blank negative values, the IPs and the amount of removed fluid of the three different systems tested. Additionally, the Mann-Whitney-U test was used for comparison of the negative IPs of each system at T0 and T3. A *P*-value of < 0.05 was considered to be statistically significant.

3. Results

In a first set of experiments the blank negative pressure values of the three suction systems were assessed. While the V.A.C.[®] Therapy-System displayed a mean negative blank pressure of -125.5 mmHg (range -123 to -130, SD 2.4), the Jackson plastic bulb with maximum compression resulted in a significantly higher (*p*=0.03) mean negative blank pressure of -151.6 mmHg (range -135 to -161, SD 8.9). With a mean negative blank pressure of -608.6 mmHg (range -598 to -622, SD 8.6) the Redon bottle showed

significantly higher values compared to the other systems (*p*=0.03 vs Jackson plastic bulb, *p*=0.00 vs V.A.C.[®]-System).

The negative IPs of the three different drainage systems assessed in a second set of experiments in pig cadaver experiments are depicted in Fig. 2. At T0 the Redon bottle caused significantly higher negative IPs compared to the Jackson and V.A.C.[®] systems. At T3, both the Redon and Jackson drainage displayed a rapid decline to IP values of almost zero. Only the V.A.C.[®] system was able to preserve constant values of negative intrinsic pressure values measured at both time points.

After three minutes the Jackson drainage was able to drain almost half of the inserted fluid. The amount of removed fluid was significantly higher when using the Redon system. However, only the V.A.C.[®] system was able to remove nearly the whole amount of inserted fluid (Fig. 3).

4. Discussion

While there is a considerable amount of studies examining the necessity and performance of abdominal drainage in clinical settings, the number of studies investigating the performance of different drainage systems in experimental settings is surprisingly low. Whitson and colleagues have tested four popular suction devices employing a developed calibrated digital collection system.⁷ In concordance with our results the Jackson-Pratt 100 mL system was the least reliable and ceased to collect fluid well before reaching its prescribed 100 mL volume. Each of the four tested devices lost absolute negative pressure as volume collection increased, indicating that emptying the reservoirs at intervals is necessary to ensure constant negative pressure.⁷ We were able to confirm these results by showing a rapid loss of negative intra-abdominal pressure of the Jackson-Pratt system and the vacuum bottle (Exulock Large 400). In an examination with different closed suction drainage systems connected to a pneumatic pressure

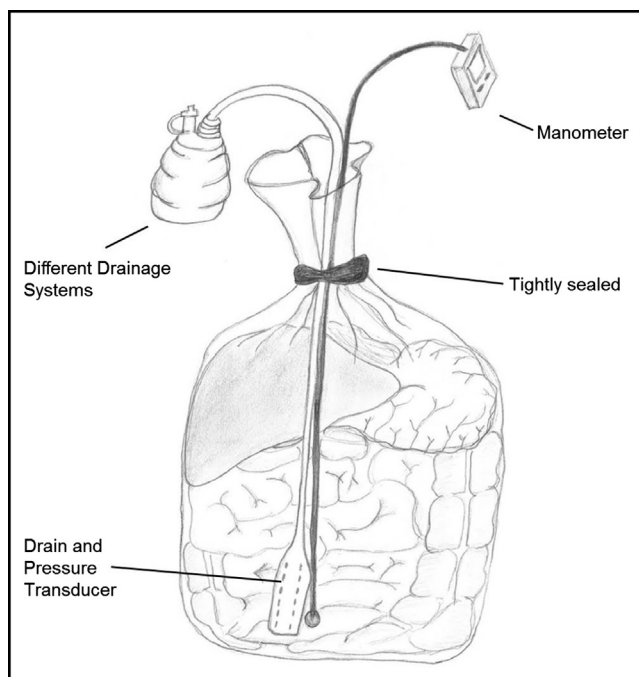


Fig. 1. Illustration of the experimental setup using en bloc abdominal organs of a male pig put in a sealed plastic bag.

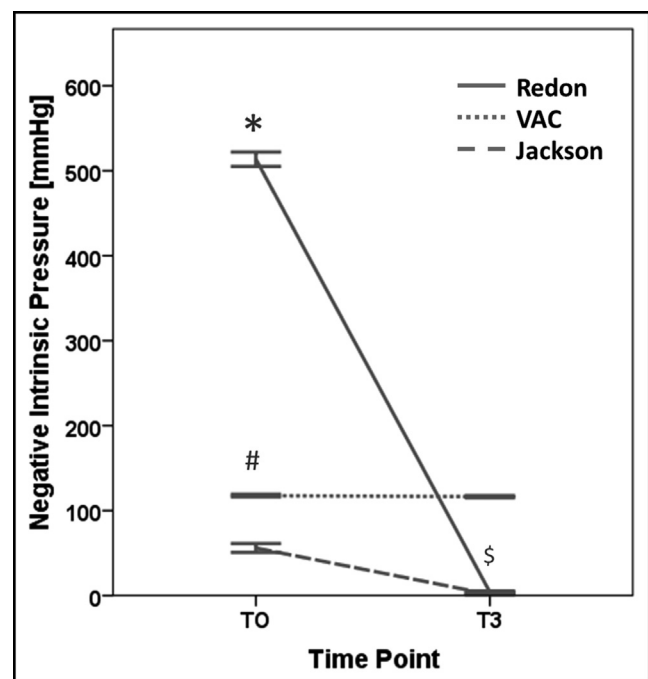


Fig. 2. Line graphs depicting the negative intrinsic pressures of the three different drainage systems measured at T0 and T3. The values are means \pm standard deviation. * *p*<0.05 vs. VAC T0 and Jackson T0; # *p*<0.05 vs. Redon T0 and Jackson T0; \$ *p*<0.05 vs. corresponding T0 and versus VAC T3.

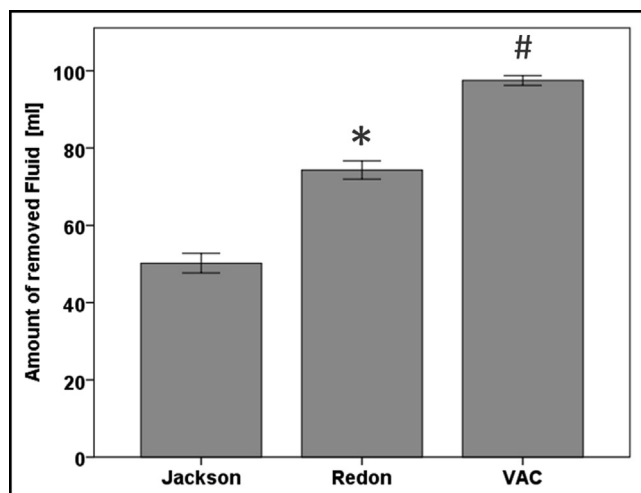


Fig. 3. Amount of removed fluid after three minutes of the three different drainage systems. * $p < 0.05$ vs. Jackson, # $p < 0.05$ vs. Jackson and Redon.

transducer, Grobmyer et al. have also shown that maximal negative pressures ranging from -71 to -175 mm Hg were generated with the reservoirs empty.⁸ In our study the Redon bottle even generated a negative pressure of over 500 mmHg with an empty reservoir. A V.A.C.[®] Negative Pressure Wound Therapy System connected to the drain has not been described for intra-peritoneal drainage but might have the advantage of controllable and predictable negative pressures. In addition, the application of cyclic suction with intermittent pressure changes using a V.A.C.[®] pump may prevent potential tissue damage.

Another interesting study has compared the performance of a flat and round Jackson-Pratt drain in a laboratory model using three soups to emulate different body fluid conditions, namely serous, purulent, and necrotic debris.⁶ The drains performed differently depending on the drainage situation. While the V.A.C.[®] pump in our experimental setting proved to be beneficial in evacuation of water (mimicking serous fluid), we did not examine fluids with different viscosity since we were focused on different suction systems and not in search for the perfect drain.

In a routine clinical setting after abdominal surgery, postoperative placement of intraperitoneal negative suction devices to remove postoperative fluids is a widely used practice. However, both the optimal drainage system and the time of removal are still a matter of vivid debate and the question whether it is necessary to evacuate postoperative fluids still remains unanswered.⁹ Moreover, there is an increasing body of evidence that the postoperative use of abdominal drainage and the evacuation of postoperative intra-abdominal fluids might not even be necessary. Unfortunately, in many of the studies the exact type and duration of the drainage devices are not described in detail. A recently published meta-analysis, for instance, assessed the effectiveness of intra-abdominal drainage post laparoscopic cholecystectomy.³ Twelve randomized controlled trials involving 1,763 patients (897 drained versus 866 without drain) were included in the final pooled analysis. The rate of wound infection was found to be unrelated to the use of a drain. Another analysis has assessed the benefits and harms of routine abdominal drainage post-gastrectomy for gastric cancer and included four randomized controlled trials involving 438 patients.⁴ Convincing evidence to support routine drain use after gastrectomy for gastric cancer was not found in this study. Even for perforated appendicitis in children peritoneal drainage seems to increase length of hospital stay and operation time without decreasing wound infection rates, intra-abdominal abscess

formation and small bowel obstruction requiring surgery.¹⁰ One study has compared pediatric patients with a peritoneal drain (closed negative pressure system, Jackson-Pratt) inserted after appendectomy to patients treated without drainage. Main findings were longer hospital stay and higher complication rates in the drainage groups.¹¹ In contrary, Beek and coworkers have demonstrated that peritoneal drainage reduces overall complication rate, re-intervention rate and readmission rate in patients treated with perforated appendicitis.¹² These and other similar findings¹³ fuel the ongoing debate about the advantages and disadvantages of postoperative intra-abdominal drainage. Nevertheless, the presently available evidence seems to support postoperative treatment without abdominal drainage for a variety of different procedures. The question may not be “to drain or not to drain” but rather to find an appropriate method of draining if indicated. The findings of the present study (rapid decline in intrinsic pressure over time and a low amount of removed fluid for two widely applied drainage systems) may enable the provocative assumption that the ideal drainage system has not been found yet and therefore insufficient drainage may have been performed in many patients.

One limitation of the present study is that we have compared closed active suction systems only. However, open systems are not commonly used following pediatric abdominal surgery. Moreover, using an open drainage system in our model mimicking the abdominal cavity would not produce meaningful results because we are not able to create the natural positive pressure within the experimental abdominal cavity.

Another question that cannot be answered by the applied experimental setup is the potential harm to the bowel surface caused by applying high or constant negative pressure as caused by the Redon bottle and the V.A.C.[®] system, respectively. Nevertheless, the setup of the V.A.C.[®] pump allows changing to intermittent suction. The associated risk of bowel injury, however, needs further investigations. The flexible plastic bulb designed for the Jackson-Pratt drain is frequently used following abdominal surgery¹¹ and we have shown a maximum negative intraperitoneal pressure of 56 mm Hg caused by this system. Whether the other two systems with much higher negative pressures can cause intestinal damage leading to, for instance, bowel perforation and fistulas needs to be answered in future *in vivo* animal models.

In conclusion, in an experimental setting the V.A.C.[®] system programmed to apply a continuous negative pressure of 125 mmHg was superior to the other two tested systems in delivering constant negative intrinsic pressures and the amount of evacuated fluid. However, it is too early to recommend the clinical use of this system. In order to examine the efficacy and safety of an intra-abdominal drainage system connected to a V.A.C.[®] pump applying continuous negative pressures and to identify the best drain type future experimental studies including the use of different fluids mimicking serous or purulent conditions in *in vivo* experiments are necessary.

Summary for table of contents

The clinical efficacy of commercially available abdominal drainage systems seems to vary considerably. This experimental study compares the performance of three different commercially available drainage systems.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

References

1. Dougherty SH, Simmons RL. The biology and practice of surgical drains. Part 1. *Curr Probl Surg*. 1992;29:559–623.
2. Scevola S, Youssef A, Kroll SS, et al. Drains and seromas in TRAM flap breast reconstruction. *Ann Plast Surg*. 2002;48:511–514.
3. Wong CS, Cousins G, Duddy JC, et al. Intra-abdominal drainage for laparoscopic cholecystectomy: a systematic review and meta-analysis. *Int J Surg*. 2015;23:87–96.
4. Wang Z, Chen J, Su K, et al. Abdominal drainage versus no drainage post-gastrectomy for gastric cancer. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;5:CD008788.
5. Memon MA, Memon B, Memon MI, et al. The uses and abuses of drains in abdominal surgery. *Hosp Med*. 2002;63:282–288.
6. Swartz AL, Azuh O, Obeid LV, et al. Developing an experimental model for surgical drainage investigations: an initial report. *Am J Surg*. 2012;203:388–391. discussion 391.
7. Whitson BA, Richardson E, Iaizzo PA, et al. Not every bulb is a rose: a functional comparison of bulb suction devices. *J Surg Res*. 2009;156:270–273.
8. Grobmyer SR, Graham D, Brennan MF, et al. High-pressure gradients generated by closed-suction surgical drainage systems. *Surg Infect (larchmt)*. 2002;3:245–249.
9. Reiffel AJ, Barie PS, Spector JA. A multi-disciplinary review of the potential association between closed-suction drains and surgical site infection. *Surg Infect (larchmt)*. 2013;14:244–269.
10. Akkoyun I, Tuna AT. Advantages of abandoning abdominal cavity irrigation and drainage in operations performed on children with perforated appendicitis. *J Pediatr Surg*. 2012;47:1886–1890.
11. Song RY, Jung K. Drain insertion after appendectomy in children with perforated appendicitis based on a single-center experience. *Ann Surg Treat Res*. 2015;88:341–344.
12. Beek MA, Jansen TS, Raats JW, et al. The utility of peritoneal drains in patients with perforated appendicitis. *Springerplus*. 2015;4:371.
13. Pakula AM, Skinner R, Jones A, et al. Role of drains in laparoscopic appendectomy for complicated appendicitis at a busy county hospital. *Am Surg*. 2014;80:1078–1081.