

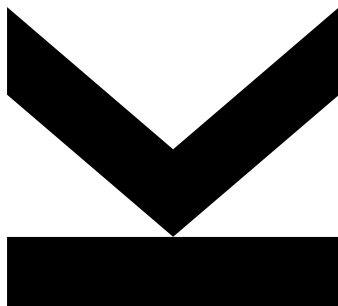
Eingereicht von
Jakob Zaunmayr

Angefertigt am
Ordensklinikum Linz
Barmherzige Schwestern
Interne IV -
Gastroenterologie

Beurteiler / Beurteilerin
Univ. Prof. Dr. Rainer
Schöfl

November 2025

GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG DER ERCP



Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Dr. med. univ.

im Masterstudium

Humanmedizin

Gendererklärung:

Um einen angenehmen Lesefluss zu gewährleisten, werden in diesem Text personenbezogene Bezeichnungen einheitlich in einer Geschlechtsform verwendet. Diese Formulierungen beziehen sich selbstverständlich auf alle Geschlechter und sind nicht diskriminierend gemeint.

GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG DER ERCP

Inhaltsverzeichnis

Abstrakt	5
Abstract	6
1. Einleitung.....	7
2. Historische Entwicklung in der Endoskopie.....	8
2.1. Die Anfänge der Endoskopie	8
2.2. Der Bozzini Lichtleiter	8
2.3. Das Endoskop von Antonin Jean Desormeaux	11
2.4. Die erste Gastroskopie durch Kussmaul.....	13
3. Historische Meilensteile der starren Endoskopie	14
3.1. Der Begründer der modernen Urologie – Maximilian Nitze	14
3.2. Das erste starre Endoskop von Mikulicz.....	18
4. Flexibles Endoskop – der Weg zur modernen Technik.....	21
4.1. Das semiflexible Wolf-Schindler-Gastroskop.....	21
4.2. Entwicklung der endoskopischen Bilddokumentation	24
4.3. Das Fiberglas Endoskop von Hirschowitz.....	25
5. Erste radiologische und diagnostische Verfahren an den Gallenwegen	28
5.1. Fortschritte der Durchleuchtungstechnik	28
5.2. Kontrastmitteldarstellung vor der ERCP	30
6. Die Entwicklung der ERCP.....	32
6.1. Die erste Durchführung durch McCune	32
6.2. Entwicklung und Weiterentwicklung in Japan	33
6.3. Der Übergang zur interventionellen ERCP	35
6.3.1. Die endoskopische Papillotomie durch Demling und Classen.....	35
6.3.2. Die Entwicklung der Papillotomie in Japan.....	37
6.3.3. Instrumentelle Weiterentwicklung und neue Therapieansätze	38
6.3.4. 1979 Erster endoskopischer biliärer Plastikstent.....	38
6.3.5. 1989 Erste endoskopische biliäre Metallstents.....	39
7. Technische Innovationen in der ERCP	40
7.1. Videoendoskopie	40

7.2. Fortschritte bei Instrumenten	41
7.2.1. Katheter	41
7.2.2. Papillotome	42
7.2.3. Stents	43
7.2.4. Steinextraktion	44
7.3. Integration der Cholangioskopie	45
7.3.1. Mother-Baby-Systeme in der Cholangioskopie	46
7.3.2. Digitale Cholangioskopie und das SpyGlass-System	46
8. Aktuelle klinische Anwendung der ERCP	47
8.1. Heutiger Stand der Technik	47
8.2. Indikationen und klinische Relevanz heute	50
8.3. Risiken und Komplikationen	51
8.4. ERCP in Österreich	52
8.5. Die Rolle der Endosonographie (EUS) im Kontext der ERCP	53
8.6. MRCP versus ERCP	54
9. Ausblick in die Zukunft	55
9.1. Einsatz künstlicher Intelligenz in der ERCP	55
9.2. Telemedizin in der Gastroskopie	57
9.3. Herausforderungen beim Einsatz künstlicher Intelligenz	58
9.4. Roboter-gestützte-ERCP-Systeme	58
10. Conclusio:	59
11. Interview Prof. Hagenmüller	60
12. Abbildungsverzeichnis:	63
13. Literaturverzeichnis	64

Abstrakt

Die endoskopisch retrograde Cholangiopankreatikographie (ERCP) zählt seit mehr als fünfzig Jahren zu den bedeutendsten Verfahren in der interventionellen Gastroenterologie. Ursprünglich als diagnostische Methode entwickelt, hat sie sich im Laufe der Zeit zu einer überwiegend therapeutischen Technik weiterentwickelt. Ziel dieser Arbeit war es, die historische Entwicklung der ERCP systematisch darzustellen, zentrale technische und klinische Meilensteine nachzuzeichnen sowie die aktuelle Rolle im Vergleich zu alternativen bildgebenden Verfahren kritisch zu beleuchten. Darüber hinaus werden zukünftige Entwicklungen und Perspektiven diskutiert.

Die historische Betrachtung zeigt, dass die Grundlagen bereits im 19. Jahrhundert durch frühe Endoskopieversuche mit starren Geräten gelegt wurden. Einen entscheidenden Fortschritt brachte die Entwicklung flexibler Glasfaserendoskope durch Hirschowitz in den 1950er-Jahren, die erstmals eine sichere Darstellung des oberen Gastrointestinaltrakts ermöglichten. Der Durchbruch gelang schließlich 1968 mit der ersten erfolgreichen Durchführung einer ERCP durch McCune. In den frühen 1970er-Jahren erweiterten Demling, Classen und Kawai die Methode durch die Einführung der endoskopischen Papillotomie, womit die ERCP eine therapeutische Dimension erhielt. Seither haben kontinuierliche technische Verbesserungen, wie die Einführung der Drahttechnik, moderner Kathetersysteme und die Entwicklung biliärer und pankreatischer Stents, das Spektrum der Anwendung stetig vergrößert.

Neben den Erfolgen werden auch die Limitationen der Methode aufgezeigt. Komplikationen wie die post-ERCP-Pankreatitis, Blutungen oder Perforationen stellen trotz Präventionsstrategien nach wie vor klinische Herausforderungen dar. Maßnahmen wie die prophylaktische Gabe rektaler NSAR, die selektive Stenteinlage oder eine verbesserte Patientenselektion tragen heute wesentlich zur Risikoreduktion bei. Parallel dazu haben nicht-invasive Verfahren wie die Magnetresonanztomographie-Cholangiopankreatikographie (MRCP) und die Endosonographie (EUS) die Rolle der ERCP nachhaltig verändert, indem sie die rein diagnostische Anwendung weitgehend abgelöst haben.

Abschließend werden zukünftige Entwicklungen beleuchtet. Der Einsatz künstlicher Intelligenz verspricht Fortschritte bei Bildinterpretation, Komplikationsprävention und Training. Robotik und Telemedizin könnten die Durchführung erleichtern, standardisieren und die Qualitätssicherung verbessern. Damit zeigt die Arbeit, dass die ERCP nicht nur eine Erfolgsgeschichte medizinisch-technischer Innovation ist, sondern ein dynamisches Verfahren, das sich stets neuen klinischen und technologischen Anforderungen angepasst hat. Auch im Zeitalter moderner Bildgebung bleibt sie durch ihre einzigartigen therapeutischen Möglichkeiten unverzichtbar und wird weiterhin eine zentrale Rolle in der Gastroenterologie einnehmen.

Abstract

Endoscopic retrograde cholangiopancreatography (ERCP) has been one of the most important procedures in interventional gastroenterology for more than fifty years. Initially developed as a purely diagnostic tool, it has gradually evolved into a predominantly therapeutic intervention. The aim of this thesis was to systematically analyze the historical development of ERCP, highlight key technical and clinical milestones, critically evaluate its current role compared to alternative imaging modalities, and discuss future perspectives.

The historical analysis demonstrates that the roots of endoscopy date back to the 19th century, when early rigid instruments were used for visualizing the gastrointestinal tract. A major breakthrough came in the 1950s with the invention of flexible fiberoptic endoscopes by Hirschowitz, which allowed safe and detailed examination of the upper gastrointestinal tract. In 1968, McCune performed the first successful ERCP, and in the early 1970s, Demling, Classen, and Kawai introduced endoscopic sphincterotomy. This innovation transformed ERCP into a therapeutic procedure. Since then, continuous technical progress – such as the introduction of guidewire-assisted cannulation, advanced catheter systems, and biliary and pancreatic stents – has steadily expanded its therapeutic spectrum.

In addition to its success, the limitations of ERCP are addressed. Complications such as post-ERCP pancreatitis, bleeding, and perforation remain significant challenges, despite advances in prevention. Today, prophylactic measures such as rectal NSAIDs, selective pancreatic stenting, and improved patient selection are integral parts of risk management. At the same time, non-invasive imaging modalities like magnetic resonance cholangiopancreatography (MRCP) and endoscopic ultrasound (EUS) have largely replaced ERCP in diagnostic settings, redefining its role as primarily therapeutic.

Finally, this thesis explores future perspectives. Artificial intelligence offers opportunities for improving image interpretation, complication prediction, and training. Robotic-assisted endoscopy and telemedicine may further enhance performance, standardization, and quality assurance. Overall, ERCP is not merely a success story of medical and technical innovation, but rather a dynamic procedure that has continuously adapted to new clinical and technological challenges. Despite competition from non-invasive modalities, ERCP remains indispensable due to its unique therapeutic capabilities and will continue to play a central role in gastroenterology in the future.

1. Einleitung

Die endoskopisch retrograde Cholangiopankreatikographie (ERCP) zählt seit ihrer Einführung Ende der 1960er-Jahre zu den zentralen Verfahren der interventionellen Gastroenterologie. Als Kombination aus Endoskopie und Röntgendiagnostik ermöglicht sie nicht nur die Darstellung der Gallen- und Pankreasgänge, sondern zugleich deren direkte therapeutische Behandlung. Diese Doppelrolle, diagnostisch und therapeutisch, hat die gastroenterologische Praxis entscheidend geprägt und den Umgang mit hepatobiliären und pankreatischen Erkrankungen nachhaltig verändert.

Die Geschichte der ERCP ist eng mit der allgemeinen Entwicklung der Endoskopie verknüpft. Von den frühen Versuchen Philipp Bozzinis mit seinem „Lichtleiter“ im frühen 19. Jahrhundert über die Arbeiten von Desormeaux, Kussmaul und Nitze bis hin zu den bahnbrechenden Innovationen des 20. Jahrhunderts spannt sich ein weiter Bogen medizinischer Pionierleistungen. Einen entscheidenden Durchbruch markierte die Entwicklung des flexiblen Glasfaserendoskops durch Basil Hirschowitz in den 1950er-Jahren, das erstmals eine sichere und präzise Untersuchung des oberen Gastrointestinaltrakts erlaubte. Auf dieser Grundlage gelang es William S. McCune 1968, die erste ERCP erfolgreich durchzuführen, ein Meilenstein, der die Weichen für die weitere Entwicklung stellte.

In den folgenden Jahren trugen zahlreiche Forscher und Kliniker dazu bei, die Methode zu erweitern und zu verbessern. Besonders hervorzuheben sind die Einführung der endoskopischen Papillotomie durch Classen, Demling und Kawai Anfang der 1970er-Jahre, die die ERCP endgültig zu einem therapeutischen Verfahren machte, sowie die Entwicklung von Stents und weiteren Instrumenten zur Behandlung biliärer und pankreatischer Erkrankungen. Parallel zu diesen Fortschritten etablierten sich Standards zur Risikominimierung, etwa in der Definition und Prävention der post-ERCP-Pankreatitis.

Heute nimmt die ERCP trotz der Konkurrenz moderner bildgebender Verfahren wie der Magnetresonanztomographie-Cholangiopankreatikographie (MRCP) oder der Endosonographie (EUS) eine unverzichtbare Stellung ein. Während die nicht-invasiven Methoden vor allem für die Diagnostik genutzt werden, bleibt die ERCP durch ihre einzigartigen therapeutischen Möglichkeiten, etwa bei der Steinextraktion oder der Stenteinlage, von zentraler Bedeutung. Gleichzeitig stellen Komplikationen und die Notwendigkeit einer hohen praktischen Expertise nach wie vor eine Herausforderung dar, sodass kontinuierliche technische Innovationen, Qualitätsstandards und Trainingskonzepte eine entscheidende Rolle spielen.

Ziel dieser Arbeit ist es, die geschichtliche Entwicklung der ERCP von ihren frühesten Vorläufern bis hin zum aktuellen Stand systematisch darzustellen. Im Mittelpunkt stehen die technischen Innovationen, die klinischen Meilensteine und die Persönlichkeiten, die durch ihre Arbeit den Weg zur modernen ERCP geebnet haben. Darüber hinaus wird die heutige Bedeutung der Methode im Vergleich zu alternativen Verfahren eingeordnet, und es werden Perspektiven für zukünftige Entwicklungen aufgezeigt, von der Integration künstlicher Intelligenz über roboterassistierte Systeme bis hin zu Möglichkeiten der Telemedizin. Damit soll ein umfassendes Bild der ERCP entstehen, das sowohl ihre historische Bedeutung als auch ihre aktuelle und zukünftige Rolle in der Patientenversorgung verdeutlicht.

2. Historische Entwicklung in der Endoskopie

2.1. Die Anfänge der Endoskopie

Die Neugierde der Menschen das Innere des menschlichen Körpers zu erforschen und Krankheiten zu heilen, reicht weit zurück. Die ersten Dokumente, welche auf minimal-invasive Eingriffe hindeuten, stammen von den Ägyptern 2000 vor Christus. Dabei wurde ein Hakenförmiger Stab nasal eingeführt. Unter Hippokrates (460 -370 v. Chr.) wurden die ersten Beschreibungen von endoskopischen Untersuchungen vorgenommen. Mithilfe der ersten Spekula wurden das Rektum und die Vagina untersucht und die ersten Kondylome entfernt. Der endoskopisch relevante Durchbruch gelang im 19. Jahrhundert durch den Mediziner Philipp Bozzini und den Urologen Antoine Jean Desormeaux. (1,2)

2.2. Der Bozzini Lichtleiter

Der Mediziner Philipp Bozzini (siehe Abb. 1) wurde am 25. Mai 1773 in Mainz geboren und er legte den Grundstein für die moderne Endoskopie. Sein aus Italien stammender Vater Nicolaus Maria Bozzini de Bozza hatte sich jedoch als Teilhaber einer Seidenfabrik in Mainz niedergelassen. Im Jahr 1772 heiratete Bozzini seine Mutter, die Frankfurterin Anna Maria Florentin de Cravatta. Bozzini studierte Medizin in Mainz, hier lernte er unter dem Anatomen Samuel Thomas Soemmerring. Im Jahr 1794 wechselt Bozzini, aufgrund des ersten Koalitionskrieges, an die Friedrich-Schiller-Universität in Jena, wo ihn renommierte Professoren wie Christian Gottfried Gruner und Christoph Wilhelm Hufeland lehrten. 1796 promovierte Bozzini und ließ sich als praktischer Arzt in Mainz nieder. Durch seine Reisen nach Frankreich und Niederlande erweiterte er seine medizinischen Kenntnisse. Während des Zweiten Koalitionskrieges diente Bozzini als Feldarzt der kaiserlichen Armee und leitete ein Lazarett in Mainz. Im Jahre 1798 heiratete Philipp Bozzini Margarete Reck und gemeinsam bekamen sie 3 Kinder. Als der Krieg 1801 endete, versuchte Bozzini, aufgrund der französischen Besetzung in Mainz, nach Frankfurt umzuziehen. Dies wurde ihm jedoch anfangs wegen des zu geringen Einkommens verwehrt. Nur durch starken Druck des Erzherzogs Karl von Österreich, welcher auf seine Tätigkeit im Lazarett von Mainz hinwies, wurde die Bewilligung des Bürgerrechts durch den Rat in Frankfurt am 10. Mai 1803 akzeptiert. In Frankfurt widmete sich Bozzini wissenschaftlichen Studien, deren Schwerpunkt ab 1804 der Lichtleiter war. Obwohl seine Praxis anfangs nur durchschnittlich lief, wurde Bozzini am 19. Mai 1808 zu einem von 4 Stadtärzten von Frankfurt ernannt. Damit war er für die Gesundheitsvorsorge der Frankfurter Bevölkerung zuständig. Während einer Typhusepidemie erkrankte auch Bozzini daran. Nachdem er bereits 42 Personen erfolgreich behandelt hatte, verstarb Bozzini am 4. April 1809 im Alter von 35 Jahren an dieser Infektion. Er hinterließ seine Frau mit den 3 Kindern, jedoch verstarb auch Margarete bereits ein halbes Jahr darauf und die Kinder wurden von Freunden aufgenommen. (3–5)



Abbildung 1: Portrait Philipp Bozzini

Quelle:(6)

Philipp Bozzinis Lichtleiter war ein einfach konstruiertes Instrument, mit dem Ziel verschiedene innere Organe und Körperhöhlen darstellen zu können. Das Gerät, welches in Form einer Vase ähnelt, besteht aus 2 Teilen: dem optischen Teil mit einer Kerze, sowie dem mechanischen Teil mit den Sehröhren. Diese wurden für den anatomischen Zugang verwendet. Der Lichtleiter war circa 35 cm hoch und 10 cm breit. Der Rahmen bestand aus Zinn und war mit Leder überzogen. Der oberste und abnehmbare Abschnitt des Lichtleiters enthielt einen feuchten Schwamm, zur Kühlung der Abgase und ermöglichte den Austausch der Lichtquelle, den Spiegeln und den Leitungsröhren. Im Mittelteil des Lichtleiters befand sich eine Wachskerze, welche durch ein Federsystem fixiert war. Die Kerze galt als Lichtspender und erhellte das Körperinnere. Hinter der Kerze waren Hohlspiegel angebracht und durch zwei parallel verlaufende Röhrchen aus Aluminium, wurde die Lichtzufuhr von der Bildübertragung getrennt. Der Spiegel leitete das Bild vom Körperinneren zum Auge des Betrachters, während der zu untersuchende Bereich beleuchtet wurde. Je nach zu untersuchender gewünschter Körperhöhle verwendete Bozzini unterschiedliche Spekula. Diese bestanden aus Blättern, welche gespreizt werden konnten und somit die Körperöffnungen erweiterten. In seinen Aufzeichnungen dokumentierte und skizzierte Bozzini sorgfältig die einzelnen Bestandteile des Lichtleiters. Bozzini versuchte mit dem Lichtleiter die Öffnungen des Mundes, Nase, Ohren, Scheide, männliche und weibliche Harnröhre,

Mastdarm und die weibliche Blase darzustellen. Durch die Entnahme eines einzelnen Blattes des Spekulum konnte er Platz schaffen, um den Finger oder Instrumente einzuschieben. Somit versuchte Bozzini die ersten endoskopischen Operationen vorzunehmen. Die Schwäche des Lichtleiters war jedoch die Lichtquelle, da die Hitze der Wachskerze oftmals zu Verbrennungen der Patienten führte. (3,4)



Abbildung 2: Bozzini's Lichtleiter mit Spekulum

Quelle: (7)

Die erstmalige Veröffentlichung seiner wissenschaftlichen Ergebnisse machte Buzzini am 7 Februar 1805 im kaiserlich privilegierten Reichsanzeiger publik. Die Reaktionen auf die Bekanntmachung des Lichtleiters waren sehr gemischt. Einige Mediziner erkannten das Potential der Erfindung, jedoch gab es auch genug kritische Stimmen von Fachkollegen. Im Jahr 1805 versandte Buzzini eine detaillierte Beschreibung des Lichtleiters an Erzherzog Karl. Dieser bestellte daraufhin ein Exemplar und ließ es von der Wiener Josephs-Akademie wissenschaftlich prüfen. Diese Akademie bewertete den Lichtleiter als vielversprechend, jedoch benötigte Buzzini die Zustimmung von Kaiser Franz für die breite Einführung. Dieser beauftragte den Direktor der Medizinischen Universität Wien Joseph Andreas Städt für die Überprüfung. Aufgrund der Rivalität zwischen der medizinischen Universität Wien und der Josephs-Akademie wurde der Lichtleiter im

Jahr 1807 nach kurzer Begutachtung als ‚Spielerei‘ abgewertet. Dieses Urteil schadete Buzzinis Ruf enorm. Es gab jedoch auch positive Rückmeldungen aus Deutschland. Der Gynäkologe Professor Ludwig Friedrich Friep aus Halle wandte den Lichtleiter erfolgreich an. Ludwig Friedrich Friep und einigen anderen Universitätskollegen stellte Buzzini schon im Jahr 1806 seine Erfindung vor. Dieser war so überzeugt und bat Bozzini um eine eigene Anfertigung des Lichtleiters. Es gab dokumentierte Fälle, dass mithilfe des Lichtleiters pathologische Verhältnisse im Vaginalkanal erkannt und behandelt wurden. Trotz der positiven Einschätzung der Josephs-Akademie und weiteren Forschungen mit dem Lichtleiter kam es aufgrund des frühen Todes von Buzzini zu keiner Weiterentwicklung. (3,5,7)

2.3. Das Endoskop von Antonin Jean Desormeaux

Antonin Jean Desormeaux (siehe Abb. 3) kam am 25. Dezember 1815 in Saint-Germain-des-Pres in Paris auf die Welt. Er entstammte aus einer langjährigen Ärztefamilie. Bereits sein Urgroßvater war als Arzt in Blois tätig. Sein Großvater lehrte als Geburtshelfer in Paris und sein Vater Marie-Alexandre Desormeaux war als Chirurg, als auch Geburtshelfer tätig. Marie-Alexandre Desormeaux war der Chefarzt an der Maternite-Klinik während der turbulenten Zeit der Französischen Revolution. Antonin Jean Desormeaux erlangte im Jahr 1844 seinen Dokortitel, nachdem er seine Dissertation über die Entstehung von Narbengewebe eingereicht hatte. 1853 präsentierte Desormeaux der „Académie de Médecine“ sein Werk über die Endoskopie. Im Jahr 1862 wurde er Chefarzt am Krankenhaus Necker in Paris. Mit dieser Stelle konnte er seine Forschungen mit der Endoskopie verstärken und führte Ärzte aus ganz Europa in diese Technik ein. Im Oktober 1894 verstarb Antonin Jean Desormeaux im Alter von 79 Jahren. (8,9)



Abbildung 3: Jean Antonin Desormeaux

Quelle: (9)

Die Idee für ein urologisches Instrument entwickelte Desormeaux im Oktober 1852. Die Erfindung des Anagnostakis-Ophtalmoskop von 1852 hatte ihn veranlasst über ein diagnostisches Gerät für urologische Zwecke nachzudenken. Er setzte sich mit dem Irrtum auseinander, dass die Urologie aufgrund ihrer vielen Innovationen weiterentwickelt sei. Er empfand, dass viele urologische Diagnosen zu oberflächlich und sich viele Ärzte mit einfachen Diagnosen zufriedengaben. In seiner Veröffentlichung „*De l'endoscope et de ses applications au diagnostic et au traitement des affections de l'urèthre et de la vessie*“ schreibt Desormeaux über seine Weiterentwicklung des Endoskops und die richtige Anwendung. Er behauptet auch, dass Patienten oftmals mit ihren Erkrankungen dem Schicksal selbst überlassen wurden, in der Hoffnung auf eine spontane Abheilung. Im schlimmsten Fall führte die oberflächliche Behandlung zu chronischen urogenitalischen Erkrankungen. Laut ihm gab es auch in anderen Fachdisziplinen dieses Problem, dabei nannte er die Augenheilkunde als Beispiel. Erkrankungen wie das Glaukom wurden nur anhand von äußeren Farbeindrücken diagnostiziert, während die zugrunde liegende Pathophysiologie weitgehend unbekannt war. Desormeaux setzte sich zum Ziel ein Gerät zu entwickeln, das ihm ermöglichen sollte, den Urogenitaltrakt zu inspizieren. (10)

Desormeaux hatte als Inspiration den Bozzini Lichtleiter und Segalas Spekulum. Der Pariser Chirurg nutzte ein Gemisch aus Alkohol und Terpentin als Lichtquelle. Dies erzeugte eine intensivere Beleuchtung als mit einer Kerze. Mit dieser Entwicklung schaffte Desormeaux die Grundlage für eine effektive Beleuchtung. An der Verbindung zwischen der Röhre und dem Instrument befand sich ein Spiegel, der in einem Winkel von 45 Grad angebracht war. Dieser Spiegel reflektierte die Lichtstrahlen entlang der Achse und erhellte das zu untersuchende Körperinnere. Mit diesem Gerät entwickelte er eines der ersten Endoskope, welches vor allem für die Zystoskopie äußerst nützlich war. Er untersuchte vor allem die Schleimhäute der Harnröhre und Blase bei gesunden und kranken Patienten. Durch die Verbesserungen konnte Desormeaux das Endoskop nicht nur diagnostisch verwenden, sondern auch bei therapeutischen Eingriffen an lebenden Patienten. (9,10)



Abbildung 4: Desormeaux Endoskop

Quelle: (11)

2.4. Die erste Gastroskopie durch Kussmaul

Den nächsten großen Erfolg in der Geschichte der Gastroskopie erzielte der deutsche Arzt Adolph Kussmaul (siehe Abb. 5). Der erstgeborene Sohn eines deutschen Militärchirurgen und ältester von sieben Geschwistern, wurde am 22 Februar 1822 in Graben, Deutschland, geboren. Er studierte Medizin in Heidelberg und trat anschließend selbst als Militärarzt in den Dienst, wo er unter anderem am Deutsch-Dänischen Krieg teilnahm. Aufgrund von gesundheitlichen Einschränkungen infolge einer Meningitis musste er seine klinische Tätigkeit aufgeben und zog nach Würzburg. Dort wurde er von dem bekannten Mediziner Rudolf Virchow an der Julius-Maximilians-Universität unterrichtet, wo Kussmaul auch 1854 promovierte. Im Jahr 1857 kehrte Kussmaul nach Heidelberg zurück und übernahm eine Professur in Medizin. Kussmaul hatte 5 Kinder mit seiner Frau Luise Amanda, wobei zwei im jungen Alter verstarben. Im Laufe des Lebens arbeitete Adolph Kussmaul in Erlangen, Freiburg sowie in Straßburg. Am 28 Mai 1902 verstarb der Mediziner aufgrund von Herzinsuffizienz.(12)

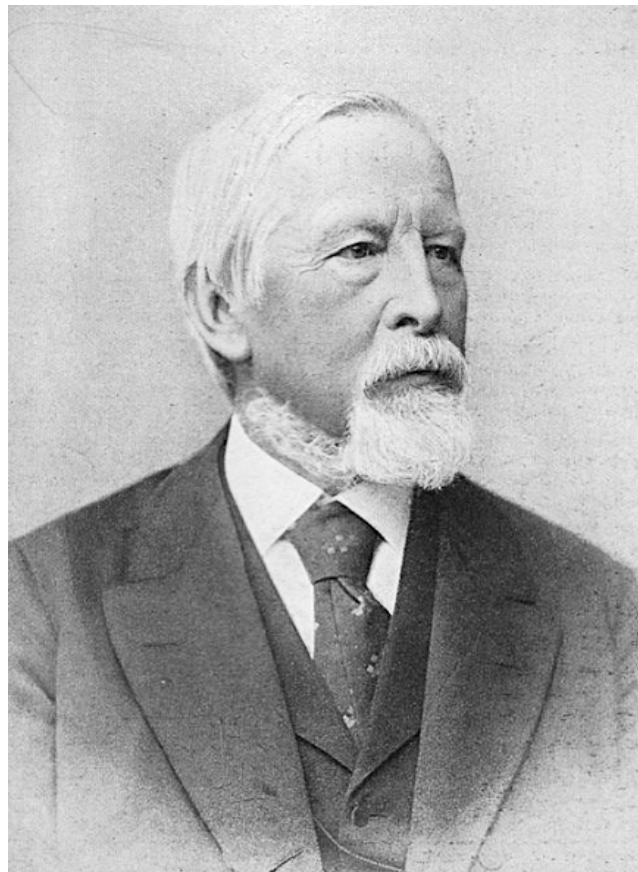


Abbildung 5: Adolf Kussmaul

Quelle: (13)

Kussmaul kannte bereits die ersten Endoskope von Desormaux. Er entschied sich, eine ähnliche Methode anzuwenden, um einen Tumor im Halsbereich seines Patienten sichtbar zu machen. Dazu modifizierte er das Gerät, indem er ein neun Zoll langes, gerades Rohr hinzufügte. Beim Versuch, die Speiseröhre zu durchqueren, stieß er jedoch auf Schwierigkeiten und unterbrach seine Experimente vorerst. Erst nachdem er bei einem Zirkusauftritt den Schwertschlucker „The Iron Henry“, der durch Entspannung der Nackenmuskulatur und Streckung der Speiseröhre ein Schwert schluckte, beobachtet hatte, bat Kussmaul sein Gastroskop bei dem Künstler

anzuwenden. Dabei führte er ein 18,5 Zoll langes Rohr in den Rachen des Schwertschluckers ein, was 1868 zur ersten Endoskopie des oberen Gastrointestinaltrakts führte. Bei einem Patienten konnte Kussmaul damit erfolgreich ein hochgelegenes Karzinom der Speiseröhre sichtbar machen. Anschließend wurden längere Endoskop-Rohre hergestellt, mit denen es gelang, die Cardia zu passieren. Die Beleuchtung mittels des Endoskops war jedoch unzureichend, sodass Kussmaul vergeblich in die Dunkelheit blickte. Kussmaul war somit der Erste, der mit einem starren, geraden Gastroskop erste Teilerfolge erzielte. (14)

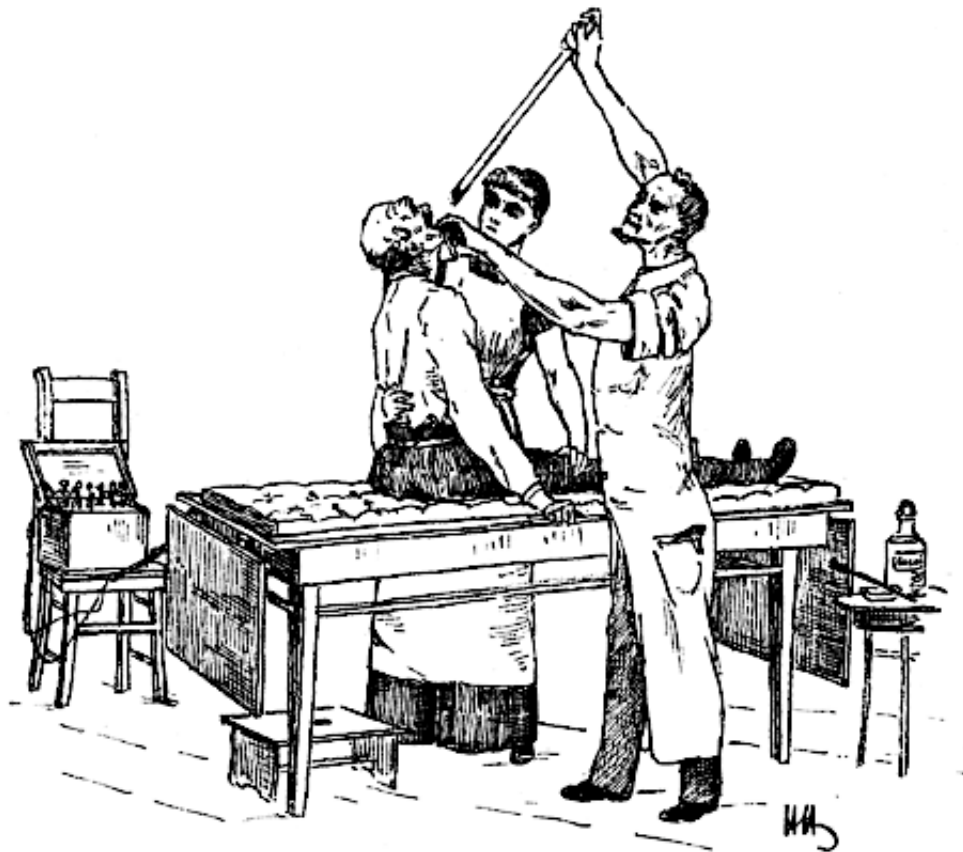


Abbildung 6 Präsentation des Kussmaul Gastroskop's

Quelle: (14)

3. Historische Meilensteile der starren Endoskopie

3.1. Der Begründer der modernen Urologie – Maximilian Nitze

Maximilian Nitze (siehe Abb. 7) wurde am 18. September 1849 in Berlin geboren. Sein Vater, Gustav Nitze, war Regierungsassessor, seine Mutter Berta stammte aus der Familie Kreyenberg. Berichten zufolge zeigte Nitze bereits in jungen Jahren eine zurückgezogene, mitunter schwierige Persönlichkeit. Sein Medizinstudium absolvierte er an den Universitäten Heidelberg, Würzburg und Leipzig und schloss es 1874 erfolgreich ab. Nach dem anschließenden einjährigen Militärdienst begann er als Assistenzarzt in der Inneren Abteilung des Stadtkrankenhauses Dresden-Friedrichstadt. Dort fiel er durch seine große Einsatzbereitschaft und seinen Fleiß auf. Zeitgleich war der Gynäkologe Justus Schramm-Vogelsang an der Poliklinik des Carola-Frankenhauses tätig, wo er sich, inspiriert durch eine Veröffentlichung von Lazarewitsch, mit der Diaphanoskopie zur Durchleuchtung weiblicher Beckenorgane beschäftigte. Nitze nahm an

diesen Untersuchungen teil und machte auf diesem Wege erstmals Bekanntschaft mit der von Bruck entwickelten Beleuchtungstechnik, bei der ein wassergekühlter Platindraht als Lichtquelle zum Einsatz kam. Diese Erfahrungen dürften ihn maßgeblich zu seinen ersten Überlegungen hinsichtlich einer endoskopischen Betrachtung der Harnblase angeregt haben. (11,12)



Abbildung 7: Maximilian Nitze

Quelle: (17)

Eines Tages reinigte er das staubige Objektiv seines Mikroskops. Als er hindurchblickte, sah er zufällig das kleine, spiegelverkehrte Bild einer Kirche auf der gegenüberliegenden Straßenseite. Diese Beobachtung brachte ihn auf die Idee, ein Gerät zu entwickeln, mit dem man das Innere von Körperhöhlen vergrößert sehen kann, ähnlich wie bei einem Fernrohr. Von Anfang an hatte Nitze den Plan, möglichst viele Körperhöhlen sichtbar zu machen. Er orientierte sich dabei an Bozzini, der bereits 1807 in Frankfurt den „Lichtleiter“, erfunden hatte. Nitze konzentrierte sich jedoch zunächst bewusst nur auf die Harnröhre und die Blase. Er wollte deren Inneres sichtbar machen und Möglichkeiten zur Untersuchung und Behandlung entwickeln. Zusammen mit dem Messerschmied Wilhelm Heinrich Deicke und dem Universitätsoptiker Louis Beneche entwickelte er ein praxisorientiertes System mit drei Linsen, das bei einem Objektabstand von 6 cm ein Bildfeld von 6 cm² übertrug. Für die Beleuchtung nutzte Nitze einen Platinglühdraht, welchen er irrtümlicherweise als kühlungsbedürftig einschätzte. Der Draht wurde durch eine Batterie erhitzt und erzeugte somit Licht. (16,18)

Am 2. Oktober 1877, mit 28 Jahren, zeigte Nitze zusammen mit seinem Assistenten Alexander Schwede zum ersten Mal das von ihnen entwickelte Urethroskop und Zystoskop. Dabei demonstrierten die beiden die Erfindungen an einer Leiche. Die Präsentation war vor den Mitgliedern des „Nationalen Medizinerkollegium“ in der pathologischen Anstalt zu Dresden-

Friedrichstadt. Dies gilt bis heute als Geburtsstunde der modernen Urologie. Die Geräte wurden nicht nur für die Blase und Harnröhre verwendet, sondern auch für Kehlkopf, Nasenrachen, Speiseröhre und Rachen. Die Endoskope hatten bereits zwei richtungsweisende Neuerungen:

- Die Lichtquelle war direkt an der Spitze des Instruments angebracht.
- Durch das optische System konnte das Bild im Inneren der Blase vergrößert dargestellt werden. (16)



Abbildung 8: Zystoskop nach Nitze (hergestellt von Josef Leiter)

Quelle: (19)

Da die Erfindung zu diesem Zeitpunkt noch nicht an lebenden Personen angewendet werden konnte, wandte sich Nitze an den österreichischen Instrumentenbauer Josef Leiter. Um die Zusammenarbeit zu intensivieren, ging Nitze nach Wien, wo beide gemeinsam an der Weiterentwicklung des Instruments für den praktischen Einsatz arbeiteten. Bereits 1879 wurde das Zystoskop um ein Prisma ergänzt, das eine Betrachtung der Blase im rechten Winkel ermöglichte. Das erste klinisch nutzbare Zystoskop wurde am 9. Mai 1879 während einer Sitzung der Kaiserlich-Königlichen Gesellschaft der Ärzte in Wien vom Chirurgen Leopold von Dittel demonstriert, einem großen Befürworter der Arbeiten von Nitze und Leiter. Noch im selben Jahr ließ Nitze seine Instrumente in Europa und den USA patentieren. Doch aufgrund von Prioritätsstreitigkeiten verschlechterte sich das Verhältnis zwischen Nitze und Leiter bald erheblich. Die beiden starken Persönlichkeiten konnten nicht mehr zusammenarbeiten und bereits im Dezember 1879 kehrte Nitze nach Dresden zurück. Im April 1880 zog er nach Berlin, wo er eine Praxis für Harn- und Nierenerkrankungen eröffnete. Dort hielt er Vorträge über die Zystoskopie für Ärzte aus aller Welt. In den darauffolgenden Jahren zog sich Nitze jedoch infolge anfänglicher Misserfolge und zahlreicher kritischer Kommentare seiner Kollegen zunehmend zurück. Die komplizierte und kostenintensive Wasserkühlung des Glühdrahtes erwies sich als Konstruktionsfehler und stellte eine erhebliche Erschwernis für die Durchführung der Zystoskopie dar. (15,16)



Abbildung 9: Ösophagoskop von Nitze/Leiter 1880 hergestellt

Quelle:(20)

1886 nahm Max Nitze seine Arbeit wieder auf. Die Einführung der kleinen Mignon-Glühlampe, basierend auf Thomas Edisons Erfindung von 1879, brachte einen entscheidenden Fortschritt für die Zystoskopie und Endoskopie. Am 15. Januar 1887 sprach er erstmals seit längerer Zeit wieder vor der Berliner Medizinischen Gesellschaft über die „Physikalische Untersuchung der Harnblase“. Am 15. April desselben Jahres stellte er auf dem 16. Kongress der Chirurgen in Berlin sein neu entwickeltes Zystoskop mit Mignonlämpchen vor. Durch diese technische Neuerung wurde das zuvor komplizierte und teure Instrument schlagartig zu einem handlichen, preiswerten und einfach bedienbaren Gerät. Nitze konnte nun mit Freude beobachten, wie sich seine Untersuchungsmethode rasch durchsetzte. Das „Lehrbuch der Kystoskopie“ von Nitze erschien im Jahre 1889 als erstes Buch dieser Art, dabei würdigte er auch Bozzini. (16)

Am 21.02.1906 erlitt Maximilian Nitze im 57. Lebensjahr einen Schlaganfall und verstarb am Tag darauf an den Folgen. Seine Leiche wurde eingeäschert und nach Eisenach, dem Wohnsitz seiner Mutter überführt und dort am Friedhof eingesetzt. Nach Nitzes Tod wurde 1906 die Deutsche Gesellschaft für Urologie gegründet. (16)

3.2. Das erste starre Endoskop von Mikulicz

Johann von Mikulicz-Radecki (siehe Abb. 10) ist wohl den meisten Medizinern aufgrund seiner zahlreichen Erfindungen wie zum Beispiel die Mikulicz Klemme bekannt. Der Mediziner hatte jedoch auch bedeutenden Einfluss auf die Entwicklung der ersten Gastroskope. (21)

Johann von Mikulicz-Radecky wurde 1850 in Czernowitz geboren, dass zu dieser Zeit als Hauptstadt der Bukowina Teil des Kaisertums Österreich war. Sein Vater entstammte einer alten polnischen Adelsfamilie, während seine Mutter, Emilia Freiin von Damnitz, dem preußischen Adel angehörte. Johann war das jüngste von insgesamt fünf gemeinsamen Kindern. Zeitgenössische Beschreibungen charakterisieren ihn als schwächlich gebaut, zurückhaltend und wenig dazu geneigt, sich in den Vordergrund zu drängen. Das Aufwachsen in der kulturell vielfältigen Bukowina ermöglichte es ihm bereits früh, mehrere Sprachen zu erlernen, darunter Polnisch, Deutsch, Russisch und Jiddisch. Im Alter von acht Jahren veranlasste der Vater den Umzug der Familie nach Prag, um den Kindern den Zugang zu besseren Schulen zu sichern, da die Bildungseinrichtungen in Czernowitz als wenig leistungsfähig galten. Nach drei Jahren kehrte die Familie zunächst in ihre Heimat zurück, siedelte aber 1863 erneut um, diesmal nach Wien. Dort besuchte Mikulicz-Radecki zunächst als Externer das Theresianum. Bereits ein Jahr darauf wechselte er an das Benediktiner-Gymnasium in Klagenfurt, wohin seine Schwester Karoline aufgrund eines Engagements als Sängerin gezogen war. In dieser Zeit erwog Johann, der regelmäßig als Organist in der Kirche spielte, dem geistlichen Leben beizutreten, was sein Vater jedoch strikt ablehnte. (21,22)

Auch als Johann den Entschluss fasste, Medizin zu studieren, stellte sich der Vater dagegen, da er für seinen Sohn eine juristische Laufbahn vorsah. Diesmal setzte sich Johann jedoch über den elterlichen Willen hinweg. Als Konsequenz verweigerte der Vater die finanzielle Unterstützung seiner weiteren Ausbildung. Dennoch nahm Mikulicz-Radecki 1869 das Medizinstudium an der Universität Wien auf. Seinen Lebensunterhalt bestritt er zunächst mit Klavierunterricht und Nachhilfestunden. Bald jedoch erhielt er durch die Förderung eines Hochschullehrers ein Stipendium der Silberstein-Stiftung, dass es ihm ermöglichte, sich vollständig auf sein Studium zu konzentrieren. (21)

Im Jahr 1875 schloss Mikulicz sein Medizinstudium mit der Promotion ab. Anschließend erhielt er eine Stelle an der Chirurgischen Universitätsklinik in Wien, die unter der Leitung von Theodor Billroth stand. Ein Jahr nach seiner Eheschließung mit der Österreicherin Henriette Pacher war Mikulicz gezwungen, seine Tätigkeit an der Universitätsklinik aufzugeben. Nach den damaligen Bestimmungen war es verheirateten Assistenten nicht gestattet, eine planmäßige Stelle an der Klinik zu bekleiden. Daraufhin übernahm er die Leitung der chirurgischen Poliklinik. Diese Funktion erlaubte ihm jedoch keine eigenständige wissenschaftliche Forschung. (21)



Abbildung 10: Johann von Mikulicz-Radecky

Quelle:(23)

Im Jahr 1882 erhielt Johann Mikulicz auf Empfehlung von Theodor Billroth den Lehrstuhl für Chirurgie in Krakau, obwohl er unter den Bewerbern zunächst nicht als Favorit galt. Ein wesentlicher Kritikpunkt der Auswahlkommission war seine unzureichende Beherrschung der polnischen Sprache. In einem Schreiben an Krakauer Kollegen warb Billroth, man solle Mikulicz bei einer Operation beobachten, um seine fachlichen Qualitäten zu erkennen. Unter der Leitung von Johann Mikulicz entwickelte sich die chirurgische Klinik in Krakau in kurzer Zeit zu einer der angesehensten Einrichtungen im gesamten Kaiserreich. Sie zog zahlreiche Mediziner an, auch aus anderen Teilen Österreichs, die dort im Rahmen von Stipendien ihre chirurgischen Kenntnisse vertieften. Trotz seiner herausragenden Stellung als Klinikleiter gelang es Mikulicz jedoch nicht, sein wichtigstes Vorhaben zu realisieren: den Neubau einer modernen Klinik in Krakau. (21)

Als ihm im Jahr 1887 der Lehrstuhl für Chirurgie in Königsberg angeboten wurde, nahm er dieses Angebot ohne Zögern an. Zu dieser Zeit ist die Ausstattung der Chirurgischen Klinik der Albertus-Universität Königsberg besser als die der Klinik in Krakau, auch wenn sie über keinen OP-Saal verfügt und die Eingriffe im Hörsaal durchgeführt werden, in den die Patienten hineingetragen werden. In Königsberg ist Mikulicz vor allem mit der Chirurgie der Bauchhöhle befasst. (21)

Im Jahr 1890 wurde Johann Mikulicz zum Direktor der neu errichteten Chirurgischen Klinik in Breslau berufen. Vor seiner Amtsübernahme war er verpflichtet, eine Erklärung zu unterzeichnen, in der er zusicherte, das preußische Staatsgebiet für einen Zeitraum von mindestens fünf Jahren nicht zu verlassen. Zum Zeitpunkt seines Dienstantritts war das nach modernen wissenschaftlichen Maßstäben geplante Klinikgebäude noch nicht vollständig fertiggestellt. Dadurch hatte Mikulicz die Möglichkeit, seine eigenen Vorstellungen in die Gestaltung

insbesondere des Operationsbereichs einzubringen. Auch international genoss Mikulicz hohes Ansehen und er reiste weltweit, um Schauoperationen durchzuführen. (21)

Eine Krebserkrankung machte schließlich die weiteren beruflichen Pläne von Johann Mikulicz zunichte. Obwohl ihm bewusst war, dass ihm nur noch wenig Zeit blieb, setzte er seine chirurgische Tätigkeit mit großer Hingabe nahezu bis zu seinem Tod fort. Professor Mikulicz verstarb am 14. Juni 1905 im Alter von 55 Jahren. (21)

Im Jahr 1880 nahm Johann von Mikulicz-Radecki in Zusammenarbeit mit Josef Leiter die Entwicklung klinisch einsatzfähiger Ösophagoscope und Gastroskope in Angriff. Leiters bisherige Konstruktionen, die auf dem Zystoskop und Urethroskop basierten, erwiesen sich am lebenden Patienten als unbrauchbar. Mikulicz formulierte daher drei zentrale Anforderungen: Das Instrument sollte bis in den Magen vordringen können, verschiedene Blickrichtungen im Organ ermöglichen und Raum für eine zuverlässige Beleuchtung sowie ein Kühlsystem bieten. Nach vergeblichen Versuchen mit flexiblen Modellen entschieden sich Mikulicz und Leiter für starre Geräte. Das Ösophagoskop bestand aus einem geraden Rohr (Durchmesser 12 mm), das mit einem Mandrin eingeführt und anschließend mit einem Beleuchtungsaufsatz ausgestattet wurde. Dieser enthielt eine Platinschlinge als Lichtquelle sowie integrierte Wasser- und Stromleitungen. Das neu entwickelte Gastroskop war etwa 65 cm lang, im distalen Drittel um 150° geknickt und ebenfalls mit einem Kühlsystem, einer Luftleitung zur Mageninsufflation und einem optischen System aus Prismen ausgestattet. Eine Schutzplatte verhinderte Verschmutzungen beim Einführen. Um die vollständige Inspektion des Magens zu ermöglichen, wurden zwei spiegelbildlich konstruierte Geräte eingesetzt. Die klinische Anwendung erforderte eine gründliche Magenreinigung und Luftfüllung. Anfangs verhinderten starker Würgereiz und Angstzustände längere Untersuchungen. Mikulicz optimierte die Lagerung der Patienten und führte eine Sedierung mit Morphin ein, die sowohl Brechreiz als auch Panik minderte. Damit gelang es erstmals, eine Magenspiegelung von bis zu 15 Minuten Dauer bei wachem Patienten durchzuführen. (24)



Abbildung 11: Mikulicz-Leiter Gastroskop

Quelle:(20)

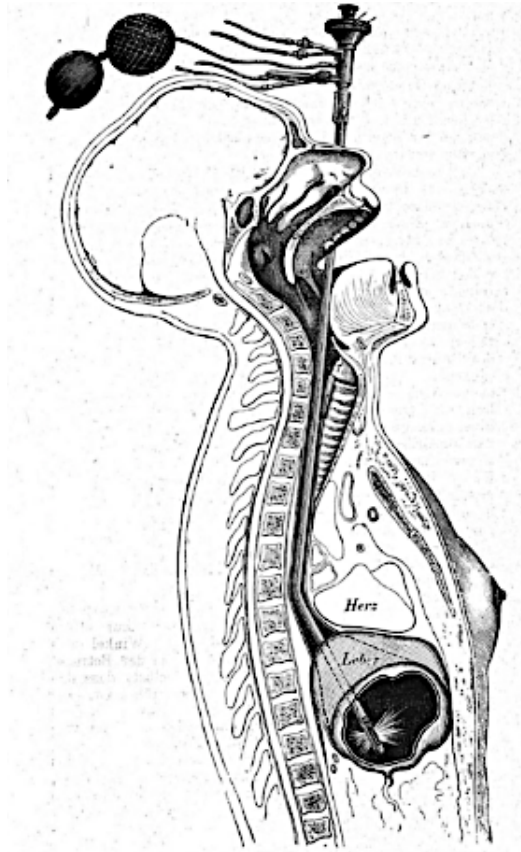


Abbildung 12: Zeichnung der Lage des Mikulicz Gastroskops

Quelle: (24)

4. Flexibles Endoskop – der Weg zur modernen Technik

4.1. Das semiflexible Wolf-Schindler-Gastroskop

Rudolf Schindler (siehe Abb. 13) wurde am 10. Mai 1888 geboren. Sein Vater war jüdischer Herkunft und als Bankier tätig, seine Mutter stammte aus einer nicht-jüdischen Familie. Schindler promovierte bereits im Alter von 22 Jahren in Medizin. Seine Tätigkeit als Assistenzarzt begann jedoch erst mit 31 Jahren, da der Erste Weltkrieg seine berufliche Laufbahn unterbrach. Während des Kriegs war er als Truppenarzt und Pathologe im Einsatz. Im Verlauf seines Kriegseinsatzes erlitt Schindler eine vorübergehende Lähmung eines Beines, die er später selbst als psychisch bedingt einschätzte. Zudem erkrankte er an einer schweren Dysenterie, deren Spätfolgen ihn dauerhaft belasteten. Diese persönlichen gesundheitlichen Erfahrungen weckten sein besonderes Interesse an chronischen abdominalen Erkrankungen, die im Zusammenhang mit Kriegseinwirkungen auftraten. Bereits 1923 gab er den ersten Gastroskopiemarkt heraus. Im Jahr 1933 wurde Schindler aufgrund von kritischen Äußerungen über Hitler im Münchner Zentralgefängnis inhaftiert. Im darauffolgenden Jahr konnte Schindler im Alter von 46 Jahren Deutschland mit seiner Frau und Kindern verlassen. Gemeinsam wanderten sie nach Chicago aus und Schindler arbeitete als angesehener Arzt weiter. Über einen langen Zeitraum galt er als eine der prägendsten Persönlichkeiten im Bereich der Gastroskopie in den Vereinigten Staaten. Im Alter von 55 Jahren verließ Schindler Chicago und ließ sich anschließend in Kalifornien nieder. Zunächst war er in Los Angeles sowohl als Mediziner als auch als Dozent an der Loma-Linda-Universität tätig. 1965 kehrte Schindler nach Deutschland zurück. Die letzten Jahre seines Lebens

verbrachte Schindler in München, wo er seine Jugendfreundin Marie Koch heiratete. Am 6 September 1968 verstarb Schindler in München. (25)



Abbildung 13: Rudolf Schindler

Quelle:(26)

Die wesentlichen Fortschritte, die Rudolf Schindlers internationalen Ruf als Pionier der modernen Gastroskopie begründeten, erfolgten innerhalb eines kurzen Zeitraums von etwa zehn Jahren. Bereits nach nur vier Jahren als Assistenzarzt am Städtischen Krankenhaus München-Schwabing erlangte er internationale Anerkennung. Den entscheidenden Impuls lieferte ein veraltetes, rund zehn Jahre nicht mehr verwendetes starres Gastroskop, das ursprünglich vom Boas-Schüler Elsner entwickelt worden war. Schindler griff dieses Instrument auf und modifizierte es grundlegend: Er integrierte technische Elemente aus den Geräten von Loening und Stieda, insbesondere die platzsparende Positionierung von Lichtquelle und Prisma möglichst nahe an der Spitze, sowie einen effektiven Schutz des Sichtfensters vor Verschmutzung. (25)

Die wohl bedeutendste Leistung Rudolf Schindlers während seiner Zeit in München war die Entwicklung des ersten semiflexiblen Gastroskops, ein Meilenstein in der Geschichte der Endoskopie. Gemeinsam mit dem Berliner Instrumentenbauer Georg Wolf konstruierte er ein Gerät, das eine höhere Flexibilität bei gleichzeitig ausreichender Stabilität ermöglichte. Zwischen 1928 und 1932 entstanden insgesamt sechs Prototypen, von denen erst der letzte den Ansprüchen der beiden Entwickler genügte. Dieses unter dem Namen „Schindler-Wolf-

Gastroskop“ bekannt gewordene Instrument, setzte einen neuen Standard und blieb für etwa 25 Jahre weltweit das führende Modell in der diagnostischen Gastroskopie. Das Herzstück des semiflexiblen Gastroskops war eine spiralförmig gewundene Stahldrahtstruktur, die von zwei Gummischichten umgeben war. Der Raum zwischen diesen Gummischichten diente sowohl der Luftinsufflation in den Magen als auch zur Führung eines Kabels für die spitzennahe Beleuchtung mittels einer kleinen Glühbirne. Der proximale Teil des Geräts ähnelte im Aufbau noch stark den starren Endoskopen jener Zeit. Eine zentrale Erkenntnis für sein Design war die Entdeckung, dass sich durch den Einsatz eines mit dicken Linsen und kurzen Brennweiten ausgestatteten Tubus eine Bildübertragung auch bei Mehrfachkrümmung ohne nennenswerte Verzerrung realisieren ließ. In der Mittelachse des Instruments befanden sich insgesamt 51 optische Elemente, hauptsächlich Sammellinsen, die in Serie geschaltet waren. Am distalen Ende ermöglichte ein seitlich ausgerichtetes Prisma die Rundumsicht. Der maximale Biegewinkel lag bei lediglich 30°, da größere Krümmungen die Bildübertragung verhinderten. Infolgedessen gab es erhebliche Bereiche im Sichtfeld, die mit dem Endoskop nicht erfasst werden konnten. Durch diese technische Konstruktion konnte das Instrument gegenüber den bisherigen starren Modellen die Risiken und Komplikationen der Untersuchung deutlich reduzieren und erlaubte gleichzeitig eine verbesserte Visualisierung der Mageninnenräume. Trotz der technischen Verbesserungen blieb die Position der Patienten während der Untersuchung unverändert anspruchsvoll. Sie mussten weiterhin in einer stark überstreckten Kopfhaltung verharren, was eine gewisse körperliche Belastung darstellte. Um diese unangenehme Zwangshaltung erträglicher zu machen, wurde in der Regel eine Lokalanästhesie mit Kokain in Kombination mit einer Morphinum Injektion verabreicht. Diese Form der Sedierung erwies sich als ausreichend wirksam, sodass der Großteil der Patienten die Untersuchung in der Regel gut tolerierte. (25,27)



Abbildung 14: Wolf-Schindler Gastroskop

Quelle: (20)

Nach der Erfindung des Wolf-Schindler Gastroskops trugen insbesondere US-amerikanische Hersteller wesentlich zur technischen Weiterentwicklung der Endoskopie bei. So entwickelte William J. Cameron das sogenannte „Omni-Angle“-Gastroskop, das am distalen Ende mit einem schwenkbaren Spiegel ausgestattet war. Diese Innovation ermöglichte eine erweiterte Sicht, ohne dass das Gerät selbst bewegt werden musste. Donald T. Chamberlin wiederum führte ein steuerbares Endoskopspitzen-Design ein, das bestehende tote Winkel minimierte und eine deutlich präzisere Diagnostik erlaubte. (27)

4.2. Entwicklung der endoskopischen Bilddokumentation

Die visuelle Dokumentation war von Beginn an ein entscheidender Faktor für die Etablierung der Endoskopie. Schindlers frühe Publikationen erzielten große Aufmerksamkeit, nicht zuletzt durch seine hochwertigen Farbillustrationen, da Fototechnik und Filme anfangs keine zuverlässige Farbreproduktion oder Bildschärfe bei schlechten Lichtverhältnissen ermöglichten. Erste klinisch nutzbare Fotografien wurden 1948 möglich, durch Verbesserungen der Kodak-Filme und die Entwicklung einer externen integrierten Kamera durch Segal und Watson. Obwohl etwa 61 % der Aufnahmen als qualitativ gut bewertet wurden, entsprach dies nicht der Erfahrung aller Anwender. Zwar gab es bereits 1848 Versuche zur Entwicklung einer intragastrischen Kamera (Lange und Meltzong), doch ein praxisgerechtes System wurde erst 1950 vorgestellt. Uji, Sugiura und Fukami entwickelten in Zusammenarbeit mit Olympus die sogenannte Gastrokamera. Diese besaß einen synchronisierten Blitz sowie eine steuerbare distale Spitze und ermöglichte Serienaufnahmen des gesamten Magens durch ein festgelegtes Rotations- und Flexionsmuster. Ein wesentlicher Nachteil bestand jedoch darin, dass die Untersuchung ohne direkte Sichtkontrolle erfolgte. Die Auswertung der Bilder war erst nach der Entwicklung der schmalen 5-mm-Filme möglich, was zusätzliche Zeit für die Bildvergrößerung und -aufbereitung im Fotolabor erforderte. (28)

Mit der Einführung der Faserendoskopie 1961 begann eine neue Ära. Olympus brachte 1964 das Kombinationssystem „Gastrocamera-Fiberscope“ (GTF-A) (siehe Abb. 15) auf den Markt, das jedoch keine breite Akzeptanz fand. Parallel dazu setzten sich flexible Faserendoskope in Kombination mit modernen 35-mm-Kameras und externen Adaptern durch. Diese Innovation machte die Gastrokamera innerhalb kurzer Zeit obsolet. (28)



Abbildung 15: Gastrokamera GTF-A der Firma Olympus (1966)

Quelle: (20)

4.3. Das Fiberglas Endoskop von Hirschowitz

Basil Isaac Hirschowitz (siehe Abb.16) wurde 1925 in Bethal, Südafrika, geboren. Er entstammte einer Familie jüdisch-litauischer Einwanderer. 1947 erhielt er seinen medizinischen Abschluss an der Universität Witwatersrand in Johannesburg und absolvierte anschließend eine Facharztausbildung in Innerer Medizin am Johannesburg General Hospital. Im Jahr 1950 verließ Hirschowitz Südafrika, um seine Weiterbildung am Central Middlesex Hospital in London fortzusetzen. Im Jahr 1964 erhielt Hirschowitz eine Professur am Medical College of Alabama, an dem er bereits seit 1959 tätig war und bis 1989 die gastroenterologische Abteilung leitete. Er verstarb am 13. Jänner 2013 im Alter von 89 Jahren. (29)



Abbildung 16: Basil Isaac Hirschowitz

Quelle: (30)

Bis in die 1950er-Jahre hinein war das Ziel, ein vollständig flexibles Endoskop für gastrointestinale Untersuchungen zu entwickeln, noch nicht erreicht. Zwar waren halbflexible Geräte mit Biopsiefunktion für die meisten klinischen Zwecke ausreichend, doch sie wurden trotz ihrer begrenzten Flexibilität nicht sofort durch das neue, hochbewegliche Fiberskop ersetzt. Der entscheidende Fortschritt gelang durch die Anwendung der Glasfasertechnologie, die die diagnostischen und später auch therapeutischen Möglichkeiten der Endoskopie grundlegend veränderte. (28)

Ein früherer Ansatz zur Nutzung von Lichtleitung über Glasfasern stammt von Lamm (1930), der das Prinzip der Totalreflexion anwandte. Seine Versuche scheiterten jedoch an der schlechten Bildqualität und dem fehlenden Interesse der Fachwelt, sodass das Projekt eingestellt wurde. Erst rund 25 Jahre später griff Basil Hirschowitz während seiner Ausbildungszeit an der University of Michigan diese Idee wieder auf. Nach einem Besuch bei Harold Hopkins und Narinder Kapany in London, die intensiv an der Glasfaseroptik forschten, erkannte Hirschowitz das Potenzial dieser Technologie für die Endoskopie. Gemeinsam mit dem Physikstudenten Curtiss entwickelte er beschichtete Glasfasern, die durch eine Hülle mit abweichendem Brechungsindex Lichtverluste verhinderten, ein entscheidender Durchbruch. (28)

1957 stellte Hirschowitz sein erstes funktionierendes Fiberskop vor, 1958 folgte die wissenschaftliche Publikation. Die Fachwelt reagierte zunächst verhalten. Erst nach weiteren drei Jahren Entwicklung in Zusammenarbeit mit der Firma ACMI konnte ein marktreifes Modell unter dem Namen „Hirschowitz Gastroduodenal Fiberscope“ veröffentlicht werden. Dieses Endoskop war hochflexibel, verfügte über eine elektrische Lichtquelle an der Spitze, einen Luftkanal und eine verstellbare Optik. Trotz einzelner Kritik an der Bildqualität setzte sich das Gerät aufgrund seiner deutlich verbesserten Helligkeit und Handhabung durch. Das Modell ACMI 4990 wurde 1960 eingeführt und zunächst von Hirschowitz selbst an Patienten sowie an sich selbst getestet. (28)

Trotz ihres revolutionären Potenzials wiesen die ersten Fiberskope aus Anwendersicht eine Reihe technischer Schwächen auf. So konnte sich das distale Leuchtelement stark erhitzen, was bei längerem Stillstand des Endoskops zu thermischen Schleimhautschäden im Magen führen konnte. Bei ausgedehnten Untersuchungen kam es zudem häufig zur Eiweißkoagulation aus Magensaft auf der Beleuchtungseinheit und der Optik, was die Sicht vollständig trübte. Ein weiteres Problem war die Anfälligkeit der Glasfasern: Mit zunehmender Nutzung brachen vereinzelt Fasern, was sich als schwarze Punkte im Sichtfeld zeigte, ein besonders häufiges Phänomen in Ausbildungszentren, in denen ein einzelnes Gerät von vielen Nutzern eingesetzt wurde. Auch die seitliche Blickrichtung der Linse brachte Einschränkungen mit sich: Die Speiseröhre war nicht einsehbar, da das Endoskop blind durch den Rachen eingeführt werden musste. (28)

Viele erfahrene Gastroenterologen zeigten sich anfangs skeptisch gegenüber dem neuen System, auch wegen der höheren Anschaffungskosten im Vergleich zu den etablierten Linsensystemen, mit denen sie seit Jahren erfolgreich arbeiteten. Selbst der Hersteller ACMI betrachtete das Fiberskop zunächst nicht als vollständigen Ersatz. Dennoch belegten vergleichende Studien und die zunehmende klinische Erfahrung den praktischen Mehrwert der Glasfaseroptik. Da viele Ärztinnen und Ärzte bereits routiniert im Umgang mit dem Eder-Hufford-Ösophagoskop waren und es zunächst keine vorwärtsblickenden Fiberskope gab, blieb dieses konventionelle Instrument weiterhin im klinischen Einsatz. Der Bedarf an einem Endoskop mit direkter Frontalansicht war jedoch evident. 1964 modifizierte LoPresti die Spitze des Fiberskops und entwickelte das „foroblique“ (schräg-vorausblickende) faseroptische Ösophagoskop. Dadurch war es erstmals möglich, das Gerät unter Sichtkontrolle einzuführen und neben der Speiseröhre auch große Teile des proximalen Magens zu untersuchen. Allerdings war das ursprüngliche Modell mit einer Länge von 90 cm zu kurz, um das Duodenum zu erreichen. (28)

Auch der Ausbildungsaspekt wurde berücksichtigt: Es entstand ein sogenanntes „Teaching Head“-System, bei dem das Licht über eine spezielle Glasfaserbündelung aufgeteilt und an zwei Okulare weitergeleitet wurde, so konnten sowohl Untersucher als auch Auszubildende gleichzeitig das Bild betrachten. Aufgrund der damit einhergehenden Helligkeitsreduktion wurde dieses System jedoch fast ausschließlich in Lehrkliniken eingesetzt. Parallel zur technischen Weiterentwicklung der Endoskopie wuchs auch das Fachgebiet der Gastroenterologie rasant. Zwischen 1958 und 1965 vervierfachte sich die Zahl der gastroenterologischen Ausbildungsprogramme in den USA, von ursprünglich 10 auf 44. Diese Programme bildeten eine neue Generation von Fachärzten aus, die von Beginn an den Umgang mit faseroptischen Endoskopen erlernten. Gegen Ende der 1960er-Jahre begann das Vertrauen in die herkömmlichen Gastroskope zu schwinden, ihre Nutzer gehörten meist einer älteren Generation an. Spätestens Anfang der 1970er-Jahre war der technologische Paradigmenwechsel vollzogen:

Die von Hirschowitz angestoßene Revolution der Glasfaseroptik hatte sich endgültig durchgesetzt.
(28,30)



Abbildung 17: Flexibles Glasfaser Gastroduodenoskop (ca. 1965)

Quelle: (20)

5. Erste radiologische und diagnostische Verfahren an den Gallenwegen

5.1. Fortschritte der Durchleuchtungstechnik

Die Durchleuchtung stellte eine zentrale Innovation in der medizinischen Bildgebung dar. Ihren Ursprung nahm sie mit der Entdeckung der Röntgenstrahlen durch den deutschen Physiker Wilhelm Conrad Röntgen (siehe Abb. 19). Er führte Experimente mit Kathodenstrahlen in nahezu luftleeren Glasröhren durch und beobachtete dabei zufällig eine bisher unbekannte Strahlung, die feste Materialien durchdringen und auf fluoreszierenden Schirmen sichtbar werden konnte. Diese Strahlung bezeichnete er zunächst als „X“. Für eine seiner Versuchsreihen fertigte Röntgen mithilfe der linken Hand seiner Ehefrau Anna Bertha Röntgen die erste Röntgenaufnahme an, die später als „Hand mit Ringen“ bekannt wurde (siehe Abb. 18). Seine Entdeckung veröffentlichte er 1895 unter dem Titel „Über eine neue Art von Strahlen“, wofür er 1901 den ersten Nobelpreis für Physik erhielt. Die Veröffentlichung seiner Ergebnisse löste weltweit großes Interesse aus, und innerhalb weniger Wochen richteten zahlreiche Kliniken Räume für die neue Röntgentechnik ein. (31)

Nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen begann Thomas Edison, mit verschiedenen Materialien zu experimentieren, um deren Fluoreszenzeigenschaften bei Röntgenbestrahlung zu untersuchen. Dabei stellte er fest, dass Kalziumwolframat-Screens besonders effektiv darin waren, Röntgenstrahlen in sichtbares Licht umzuwandeln. Das ermöglichte Ärzten erstmals die Betrachtung innerer Organe in Echtzeit. Dies markierte den Beginn der Durchleuchtungstechnik. Die frühen Verfahren waren jedoch durch eine geringe Lichtausbeute und eine hohe Strahlenbelastung für Patienten und Personal limitiert. Außerdem wurden Aufnahmen zunächst auf Glasplatten festgehalten, bis George Eastman 1918 den Röntgenfilm als neues Aufzeichnungsverfahren einführte. (32–34)

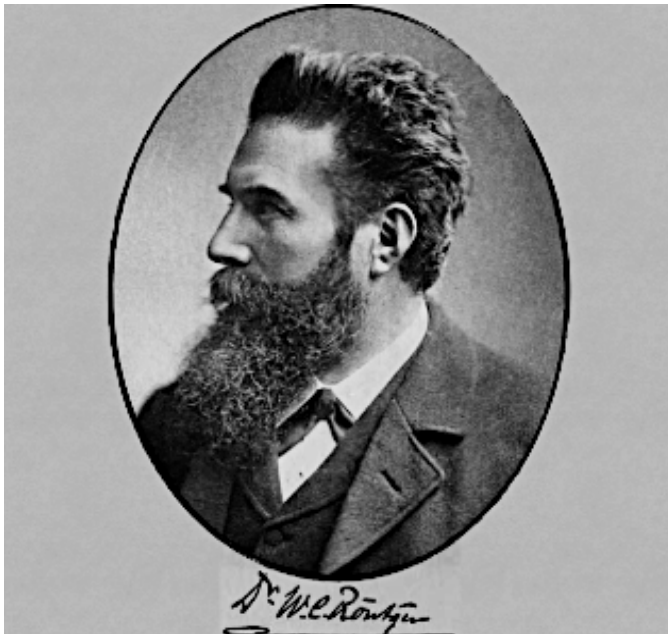


Abbildung 19: Wilhelm Conrad Röntgen



Abbildung 18: "Hand mit Ringen" Röntgenaufnahme von Anna Bertha Ludwig (Ehefrau W.C Röntgen)

Quelle: (35)

Quelle:(36)

Im Dezember 1913 wurde in Schenectady, New York, erstmals die Hochvakuumröntgenröhre vorgestellt, die als Coolidge-Röhre bekannt wurde. Diese Innovation stellte einen entscheidenden Wendepunkt dar, da die Einführung eines beheizten Wolframfilaments als Elektronenquelle und eines nahezu luftleeren Vakuums stabile und gleichbleibende Strahlenbedingungen ermöglichte. Dadurch entwickelte sich der Röntgenapparat von einem experimentellen Gerät zu einer präzisen steuerbaren technischen Einheit. Reproduzierbare Bedingungen führten nicht nur zu einer erheblichen Qualitätssteigerung der Bildgebung, sondern auch zu einer verbesserten Dosiskontrolle, was den klinischen Einsatz erheblich erweiterte. (37)

Einen weiteren Fortschritt brachte die Entwicklung des Bildverstärkers in den 1940er-Jahren. Diese Technologie machte es möglich, das schwache Fluoreszenzbild elektronisch zu verstärken und auf Monitore zu übertragen, wodurch die Untersuchungen sicherer und detailreicher wurden. Bildverstärker basieren auf einer Szintillatorschicht, die Röntgenstrahlen in sichtbares Licht umwandelt, und einer Photokathode, die dieses Licht in Elektronen umsetzt. Die Elektronen werden anschließend durch ein elektrisches Feld beschleunigt und auf einen Leuchtschirm fokussiert, wodurch ein vergrößertes Bild entsteht. Trotz ihrer bewährten Funktion weisen Bildverstärker Nachteile auf, wie geometrische Verzerrungen an den Bildrändern und eine inhomogene Helligkeitsverteilung, die die Bildqualität beeinträchtigen. (38)

Neben stationären Röntgensystemen kommen seit den 1950er in der Endoskopie zunehmend mobile C-Bögen (siehe Abb. 20) zum Einsatz. Diese bestehen aus einem Fahrstativ mit Generator und Detektor sowie einem Monitorwagen, die über Kabel miteinander verbunden sind. Der namensgebende C-förmige Träger verbindet Röntgenröhre und Bildempfänger. Moderne mobile Anlagen bieten eine Funktionalität, die nahezu stationären Systemen entspricht. Die Steuerung erfolgt über das Fahrstativ oder den Monitorwagen, auf dem auch Bildanzeige, -speicherung und -verarbeitung realisiert werden. Die Bildspeicher können mehrere Tausend Aufnahmen sowie Durchleuchtungssequenzen erfassen, was insbesondere bei dynamischen Vorgängen wie Kontrastmittelapplikationen relevant ist. Die Generatorleistung liegt typischerweise zwischen 2 und 20 kW. Leistungsstärkere Systeme mit Drehanoden und aktiver Kühlung ermöglichen längere Durchleuchtungszeiten ohne Überhitzung. Zur Dosisreduktion werden moderne Systeme mit Pulsdurchleuchtung, automatischer Dosisleistungsregelung und Bildverarbeitungsfiltern ausgestattet. Diese Technologien ermöglichen gleichzeitig eine kontrastreiche Darstellung bei niedriger Strahlendosis und eine scharfe Abbildung bewegter Strukturen. (39)

Quelle: (40)

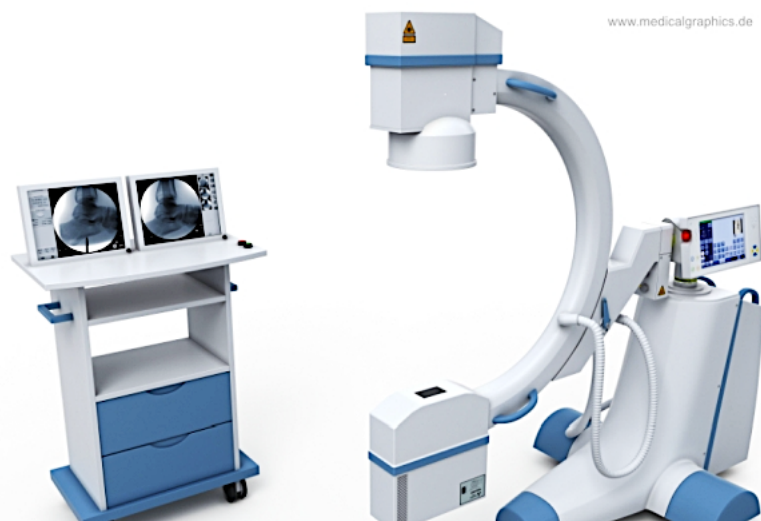


Abbildung 20: mobiler C-Bogen

Seit Anfang der 2000er-Jahre fand in der diagnostischen und interventionellen Radiologie ein umfassender Technologiewechsel statt. Konventionelle Bildverstärker, die über mehr als vier Jahrzehnte in der Fluoroskopie eingesetzt wurden, wurden zunehmend durch digitale Flat-Panel-Detektoren (FD) ersetzt. Diese Detektoren nutzen Cäsiumjodid als Detektormaterial und lesen die Bildinformationen über eine hochauflösende Photodiodenmatrix aus. Die Technologie ermöglicht eine verbesserte Hoch- und Niedrigkontrastauflösung und eliminiert gleichzeitig die geometrischen Verzerrungen sowie die Helligkeitsinhomogenität der Bildverstärker. (40)

5.2. Kontrastmitteldarstellung vor der ERCP

Obwohl die Röntgentechnik von Beginn an zur Darstellung dichter Strukturen wie Knochen und Metall gut geeignet war, zeigte sich rasch eine ihrer größten Schwächen: Die Unterscheidbarkeit von Weichteilen war stark eingeschränkt. Unterschiede zwischen Geweben konnten nur dann sichtbar gemacht werden, wenn sie in direkter Nachbarschaft zu luftgefüllten Bereichen oder Knochen lagen. Aufbauend auf Röntgens Erkenntnis, dass Elemente mit hoher Ordnungszahl besonders dichte Schatten auf Röntgenaufnahmen erzeugen, konzentrierten sich frühe Entwicklungen darauf, solche Substanzen als Kontrastmittel nutzbar zu machen. (41)

Als erste dokumentierte Anwendung eines externen Kontrastmittels zur Verbesserung radiologischer Bildgebung gilt ein Versuch der Wiener Ärzte Haschek und Lindenthal. Nur einen Monat nach der Entdeckung der Röntgenstrahlung gelang es ihnen im Jahr 1896, eine erste Angiografie an einer amputierten menschlichen Hand durchzuführen. Sie injizierten dazu eine Mischung aus Zinnober, Kalk und Petroleum, wodurch die Blutgefäße auf der Aufnahme sichtbar gemacht werden konnten. (41)

Die erste erfolgreiche Darstellung der Gallenblase mittels Kontrastmittel wurde 1924 von den US-amerikanischen Forschern Evarts Ambrose Graham (siehe Abb.21) und Warren Henry Cole beschrieben. Sie veröffentlichten einen wegweisenden Artikel im „Journal of the American Medical Association“ mit dem Ziel, die chirurgische Diagnostik von Bauchkrankheiten, durch eine neue Methode der Bildgebung der Gallenblase zu verbessern. In den 1920er Jahren befand sich die radiologische Bildgebung noch im sehr frühen Entwicklungsstadium. Die Anwendung beschränkte sich damals hauptsächlich auf die Darstellung anatomischer Strukturen des Brustkorbes und der Extremitäten, wobei Barium als „kontrastgebende Mahlzeit“ für Untersuchungen des Magen-Darm-Trakts zunehmend an Bedeutung gewann. Auf einer Konferenz erfuhr Graham von einer Beobachtung, dass Phenolphthalein, ein orales Abführmittel, im Verdauungstrakt aufgenommen, von der Leber angereichert, über die Galle ausgeschieden und schließlich in der Gallenblase gespeichert wird. Nach seiner Rückkehr nach St. Louis beauftragte er einen seiner besten Chirurgen, Cole, mit diesem Projekt. Graham und Cole verbrachten viele Monate damit, verschiedene Substanzen in Hunde zu injizieren und deren Bauchraum mittels Röntgenstrahlung darzustellen, in der Hoffnung die Gallenblase sichtbar zu machen. Zunächst blieben ihre Versuche erfolglos. Doch bei einem Hund war die Gallenblase auf dem Röntgenbild deutlich zu erkennen. Trotz mehrerer Wiederholungen in den darauffolgenden Tagen konnte dieser Erfolg zunächst nicht reproduziert werden. Das gesamte Forschungsteam wurde zusammenberufen, und ein wichtiger Hinweis kam vom Tierpfleger: Der Hund, bei dem die Gallenblase sichtbar war, hatte am Morgen der Untersuchung kein Futter erhalten. Daraus wurde geschlossen, dass das Verabreichen des Kontrastmittels in nüchternem Zustand entscheidend für die erfolgreiche Darstellung der Gallenblase ist. Damit führten sie die orale Cholezystographie ein. Das

Kontrastmittel Tetrabromphenolphthalein-Natrium ermöglichte erstmals eine direkte röntgenologische Visualisierung der Gallenblase beim Menschen. (42)



Abbildung 21: Everts Ambrose Graham

Quelle: (43)

Heutige Kontrastmittel enthalten überwiegend die Elemente Jod und Barium. Jod wird in organische Moleküle eingebunden und dient vor allem der Darstellung von Gefäßen, Gelenken und bestimmten Darmabschnitten. Barium hingegen wird ausschließlich zur Kontrastierung des Darms eingesetzt und in Form einfacher Salze verabreicht. Jodhaltige Kontrastmittel werden nach der Anwendung schnell über die Nieren ausgeschieden. Während frühere Präparate bei der Injektion oft Schmerzen verursachten, sind die in den letzten 30 Jahren entwickelten jodhaltigen Substanzen deutlich besser verträglich und nahezu frei von Nebenwirkungen. (44)

6. Die Entwicklung der ERCP

6.1. Die erste Durchführung durch McCune

Die erste Durchführung einer endoskopischen retrograden Darstellung der Gallengangs- und der Pankreasgänge gelang den amerikanischen Medizinern William S. McCune (siehe Abb. 22), Paul E. Shorb und Herbert Hirschowitz im Jahre 1968. Davon berichteten die Ärzte das Erste Mal in der Mai-Ausgabe der „Annals of Surgery“ und beschrieben dabei die Durchführung ihrer ERCP. Für die Untersuchung wurde ein Eder-Fiberoptik-Duodenoskop verwendet, das lange genug war, um in den zweiten Abschnitt des Duodenums zu gelangen. Das Duodenoskop verfügte über eine proximale Lichtquelle, eine bewegliche Spitze, die vom Bediener über einen Hebel am Griff gesteuert werden konnte und eine Vorwärts- sowie eine Seitenoptik für die Bildübertragung. Zu Beginn war an der Rückseite des Duodenoskops ein Kanal vorgesehen, um eine flexible Kanüle einführen zu können. Die Platzierung war jedoch problematisch, da die Kanüle zu leicht an der Duodenalschleimhaut anlag und die Bewegung dadurch eingeschränkt war. Als Lösung nutzten die drei Ärzte eine temporäre Führung an der Vorderseite des Endoskops, wodurch die Kanüle im Sichtfeld der Seitenlinse war und gezielt in die Papilla Vateri eingeführt werden konnte. Ein weiteres technisches Hilfsmittel war ein aufblasbarer Ballon, unmittelbar proximal zur Seitenlinse. Durch kontrolliertes Aufblasen des Ballons konnten die Ärzte eine optimale Positionierung und die genaue endoskopische Betrachtung der Papilla Vateri ermöglichen. (45)

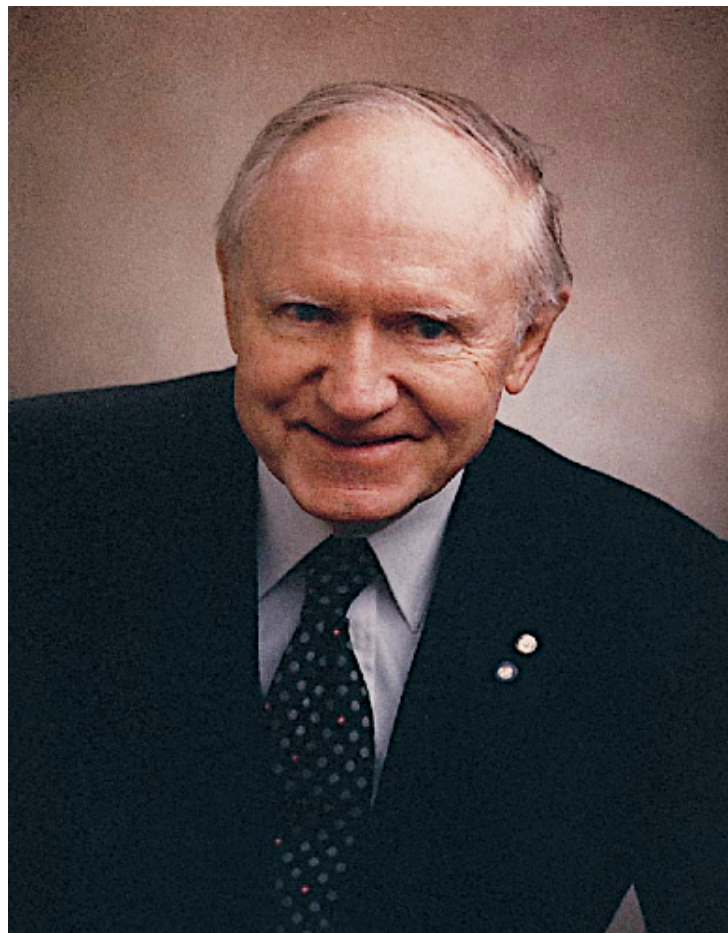


Abbildung 22: William S. McCune

Quelle: (46)

Die erste endoskopisch-retrograde Cholangio-Pankreatikographie erfolgte unter einer intravenösen Sedierung aus Diazepam (Valium) und Meperidin (Demerol). Für die lokale Betäubung des Rachens wurde dem Patienten Lidocain (Xylocain) verabreicht. Nach der oralen Einführung des Endoskops wurde der Pylorus mithilfe der Vorwärtslinse dargestellt. Anschließend erhielt der Patient 10mg Probanthine um die Magen-Darm-Motilität zu reduzieren. Im Duodenum erkannten die Ärzte die Papille Vateri aufgrund der erhabenen rötlichen Struktur und der periodischen Freisetzung von Galle und Pankreassekret. Durch gezielte Manipulation wurde die Kanüle in die Papille eingeführt. Nach Platzierung der Kanüle wurde unter Röntgendurchleuchtung eine Kontrastmittelinjektion durchgeführt. Dabei verabreichten die drei Ärzte 5 ml einer 50-prozentigen Hypaque-Lösung langsam über die eingeführte Kanüle. Somit konnte der Pankreasgang dargestellt werden. Nach Abschluss der Bildgebung wurde das Endoskop und die Kanüle entfernt. (45)

McCune beschrieb die Durchführung einer ERCP als äußerst anspruchsvoll und es benötige eine hohe praktische Erfahrung. Die Erfolgsrate beim Vorschieben des Endoskops in das Duodenum lag bei circa 50 Prozent. Dort angelangt war die Erfolgsrate die Papilla Vateri erfolgreich zu kanülieren wieder nur bei der Hälfte an Patienten. Die Gesamt-Erfolgsrate lag also bei den 3 Ärzten bei 25 Prozent. Allerdings trat bereits in dieser frühen Phase eine Komplikation auf: Bei einem Patienten entwickelte sich eine akute Pankreatitis nach dem Eingriff, womit die heute bekannte häufigste Nebenwirkung der ERCP erstmals dokumentiert wurde. Sie schrieben jedoch, dass bei zunehmender Erfahrung und einer technischen Weiterentwicklung die Erfolgsaussichten verbessert sein sollen. Damit war ein erster Schritt zur gezielten Darstellung des Pankreasganges getan, die Darstellung des Gallenganges wurde in dieser Arbeit allerdings nicht beschrieben. Zudem war das verwendete duodenale Endoskop mit faseroptischer Technik nicht kommerziell verfügbar. (45,47)

6.2. Entwicklung und Weiterentwicklung in Japan

Zeitgleich und unabhängig von McCune entwickelten auch die Japaner S. Oi und K. Takadi die erste Technik zur Darstellung der Gallenwege. Im Jahr 1969 gelang es Oi und seinem Team in Japan, mithilfe eines Machida-Fibergastroskops mit Kaltlichtsystem, bei etwa zwei Dritteln der untersuchten Fälle das Duodenum zu erreichen und in einigen Fällen die Papilla Vateri unter direkter Sicht darzustellen. Aufbauend auf diesen ersten Erfolgen wurde in Zusammenarbeit mit der Firma Machida ein neues Instrument entwickelt, ein seitenoptisches Faserduodenoskop, das speziell zur gezielten Visualisierung des Duodenums und insbesondere der Papilla Vateri konzipiert war. (47)

Das neu entwickelte Faserduodenoskop hatte eine Länge von 50 cm und einen Durchmesser von 11 mm. Die flexible Spitze des Endoskops, ausgestattet mit einem seitlich ausgerichteten optischen System, Luft- und Biopsiekanälen, konnte über den Handgriff gezielt gesteuert, gebogen und rotiert werden. In sämtlichen Fällen war es möglich, den Bulbus duodeni und den ersten Abschnitt des Duodenums zu erreichen, auch bei durch Ulzera verformter Anatomie. Der zweite Abschnitt des Duodenums konnte in etwa zwei Dritteln der Fälle eingesehen werden, wobei die Papilla Vateri in rund der Hälfte der insgesamt 105 untersuchten Patienten sichtbar gemacht werden konnte. Die charakteristischen Merkmale der Papilla Vateri konnten endoskopisch als weißliche, halbkugelförmige Vorwölbung dargestellt werden. In einigen Fällen wurde unter Gabe

von Pankreozymen ein Galleabfluss über die Papille beobachtet, was als funktioneller Hinweis auf die Durchgängigkeit der Gallenwege gewertet werden konnte. Die Durchführung der Faserduodenoskopie war unter lokaler Rachenanästhesie möglich und nahm etwa 30 Minuten in Anspruch, wodurch sich die Methode auch für ambulante Untersuchungen eignete. Bereits 1970 stellte Oi eine weiterentwickelte Version des Endoskops (Machida Endoskop) vor, mit dem die Papille bei über 90 Prozent der Patienten sichtbar gemacht werden konnte. Im Gegensatz zum Endoskop von McCune war dieses nun frei erhältlich. (47,48)

Im selben Jahr beschrieben Dr. Takagi und Kollegen ebenfalls die gleichzeitige Darstellung von Pankreas- und Gallengängen mit einem vergleichbaren Endoskop, hatten aber geringeren Erfolg. In Ihren Untersuchungen konnte die Papille bei vier von sieben Patienten dargestellt werden. Eine erfolgreiche Sondierung gelang dabei nur bei 2 Personen. (47)

Das bei der Untersuchung eingesetzte Faserduodenoskop wurde von der Firma Machida Endoscope Company, Tokio hergestellt. Es wies eine Gesamtlänge von 1465 mm und einen Durchmesser von 12 mm auf. Der starre distale Abschnitt maß 28,5 mm, während der flexible Abschnitt im Bereich des Winkelmechanismus 55 mm lang war. Die gesamte flexible Einheit betrug 1300 mm. Durch den integrierten Winkelmechanismus konnte die distale Spitze des Geräts um bis zu 120° nach oben und 90° nach unten bewegt werden.

Die Spitze des Duodenoskops war mit einer Beobachtungslinse sowie einem Lichtleitsystem ausgestattet, das über Glasfasern Kaltlicht aus einer externen Lichtquelle zur Ausleuchtung des Untersuchungsfeldes übertrug. Zusätzlich war dieser Abschnitt mit einer Vorrichtung versehen, die das Einführen von Biopsiezangen und Kanülen ermöglichte. Der Sichtwinkel der Beobachtungslinse betrug 52° und erlaubte durch das integrierte Fokussierungssystem eine Einstellung des Sichtabstands von mindestens 3,5 mm bis zu einem unbegrenzten Bereich.

Die Duodenoskopie wurde unter Allgemeinanästhesie durchgeführt. Das Endoskop wurde oral eingeführt und über den Pylorus in den oberen Abschnitt des Duodenums vorgeschoben. Anschließend wurde das Gerät bis in den absteigenden Teil des Duodenums weitergeleitet. Die Untersuchung wurde mittels Röntgen-Durchleuchtung überwacht.

Um eine adäquate Sicht auf den absteigenden Duodenalabschnitt zu ermöglichen, musste das Lumen erweitert werden. Gleichzeitig sollte verhindert werden, dass Luft in den distalen Dünndarm übertrat. Hierzu wurde eine Kompressionsbandage auf Höhe des Nabels angelegt und die Region um das Treitz'sche Band mit einem Kissen komprimiert. Diese Vorgehensweise ermöglichte eine ausreichende Entfaltung des Duodenums zur endoskopischen Inspektion, obwohl eine vollständige Verhinderung des Luftdurchtritts nicht in allen Fällen gewährleistet war. (49)

Im Gegensatz zu dem Fibergastroskop von Hirschowitz konnten mit dem Fiberduodenoskop von Machida bereits pathologische Veränderungen im Dünndarm erkannt werden. Neben Duodenalulzera, duodenale Polypen, Divertikel konnten auch maligne Tumore im Bereich der Papilla Vateri zuverlässig endoskopisch diagnostiziert werden. (16)

Im Jahr 1970 entwickelten Shindo, Ogoshi und Fujita ein neues Faserduodenoskop, das von der Firma Olympus Medical in Tokio hergestellt wurde. Nach Einführung des innovativen japanischen Duodenoskops reisten Endoskopiker von der ganzen Welt nach Japan und die neue Technik der endoskopisch retrograden Cholangiopankreatikographie zu erlernen. In weiterer Folge wurde das Duodenoskop weltweit verbreitet und fand Anwendung in der klinischen Praxis. (47)

6.3. Der Übergang zur interventionellen ERCP

6.3.1. Die endoskopische Papillotomie durch Demling und Classen

Am 6. Juni 1973 führten die deutschen Gastroenterologen Prof. Dr. Ludwig Demling und Prof. Dr. Meinhard Classen an der Universität Erlangen erstmals erfolgreich eine endoskopische Papillotomie (EPT) durch. Für diesen Eingriff entwickelten sie ein spezielles Instrument, das sogenannte „Erlanger Papillotom“, welches auf einer abgewandelten Polypektomieschlinge basierte. Die Ergebnisse und Details des Verfahrens wurden ein Jahr später in der *„Deutschen Medizinischen Wochenschrift“* veröffentlicht. Darin beschrieben die beiden Gastroenterologen ihre Durchführung der endoskopischen Papillotomie.(50)



Abbildung 23: Ludwig Demling und Meinhard Classen bei der Durchführung der ersten ERCP

Quelle: (51)

Der endoskopische Eingriff wurde an einer 59-jährigen Patientin mit Ikterus und rechtsseitigen Oberbauchschmerzen durchgeführt. In der Anamnese war eine vorangegangene Cholezystektomie dokumentiert. Klinische und laborchemische Befunde deuteten auf eine extrahepatische Gallenwegsobstruktion hin. Geplant war zunächst eine diagnostische ERCP zur Lokalisation der Stenose, gefolgt von einem chirurgischen Eingriff. Am 6. Juni 1973 zeigte die ERCP bei der Patientin eine Stenose an der Papilla sowie eine weitere Verengung im Leberhilus. Das Erlanger Papillotom wurde über den Gallengang eingeführt, und die Papille wurde schrittweise durch elektrische Schneidung inzidiert, bis die Gallenwegsschleimhaut sichtbar wurde. Ein Gallenstein konnte daraufhin mithilfe eines Dormia-Korbs geborgen werden. Obwohl die Cholestase aufgrund der weiteren Stenose im Leberhilus fortbestand, war der Eingriff ein bedeutender Meilenstein. (50)

Bereits seit 1968 hatten Prof. Dr. Ludwig Demling und Prof. Dr. Meinhard Classen versucht, mit verschiedenen Endoskopen die Papilla Vateri durch den Pylorus zu erreichen. Ab 1970 gelang dies regelmäßig mithilfe von Geräten der Firmen Olympus und Machida. Im selben Jahr wurde erstmals ein JF-Duodenoskop geliefert, mit dem eine erfolgreiche Darstellung eines oder beider Gangsysteme in 16 von 20 Fällen gelang. In einem dieser Fälle wurde das Papillenostium mit einer Polypektomieschlinge erweitert – ein Schritt, der erstmals die Idee einer minimalinvasiven Alternative zur chirurgischen Papillotomie aufwarf. Daraus entstand das sogenannte „Erlanger Papillotom“. (50)

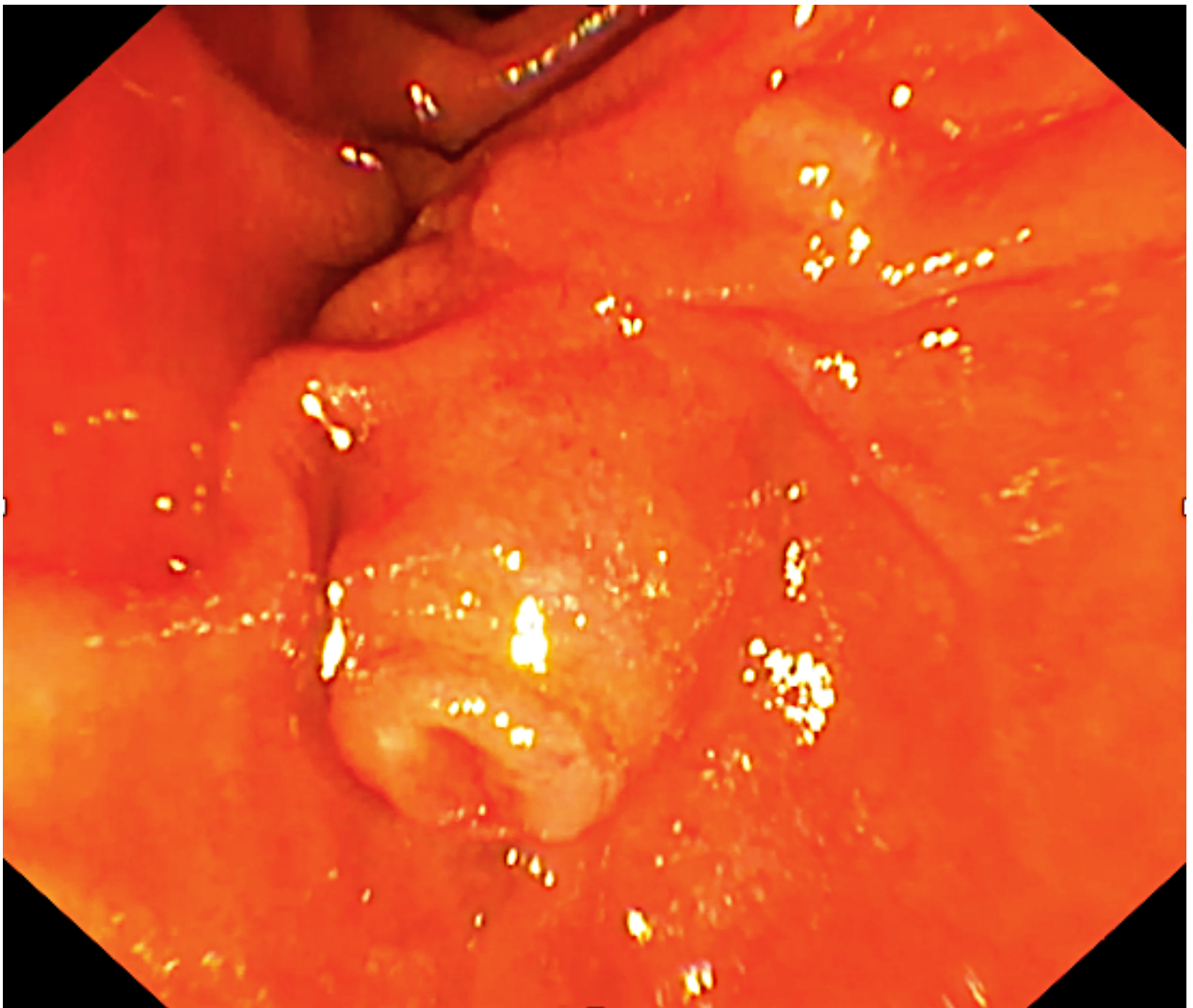


Abbildung 24: heutige endoskopische Darstellung der Papille

Quelle: (52)

6.3.2. Die Entwicklung der Papillotomie in Japan

Abermals wurde nahezu gleichzeitig und unabhängig voneinander die erste Papillotomie 1973 in Japan durchgeführt. Nach dem erfolgreichen Einsatz der koloskopischen Polypektomie entwickelte sich bei Dr. Keiichi Kawai und seinem Team in Japan das Interesse, elektrophysiologische Verfahren mit der endoskopisch-retrograden Cholangiopankreatikographie (ERCP) zu kombinieren, um die Papilla Vateri inzidieren zu können. Inspiriert durch chirurgische Techniken der Sphinkterotomie bzw. Sphinkteroplastik, entwickelte das Team ein eigenes Papillotom, dessen Design sich an einem chirurgischen Messer mit dreieckiger Form orientierte. Der vorderste Teil dieses Instruments konnte mechanisch in die Papille eingeführt werden, wobei die Dilatation des Ausführungsganges durch die Formgebung selbst unterstützt wurde. Eine der Schneidkanten war elektrisch aktiv und ermöglichte die kontrollierte Inzision im Rahmen tierexperimenteller Studien.(53)

Anfang 1972 entwarf die technische Abteilung von Olympus ein sogenanntes „Push-Papillotom“, das sich als effektiv und komplikationsarm hinsichtlich postinterventioneller Stenosen erwies. Erste Ergebnisse wurden in einem universitätsinternen Bericht unter dem Titel „Report of endoscopic papillotomy“ im Jahr 1973 veröffentlicht.(53)

Der erste klinische Einsatz erfolgte bei einem 48-jährigen Patienten mit rezidivierenden Schmerzen im rechten Oberbauch nach vorausgegangener Cholezystektomie und Choledocholithotomie. Die ERCP zeigte ein verbliebenes kleines Konkrement im distalen Ductus choledochus. Aufgrund der ablehnenden Haltung des Patienten gegenüber einer erneuten Operation wurde endoskopisch interveniert. Bereits am Folgetag, dem 10. August 1973, konnte durch erneute ERCP der steinfreie Gallengang bestätigt werden. (53)

Ein zweiter Patient, 29 Jahre alt und ebenfalls nach Choledocholithotomie, wies ein rundes Residualkonkrement im mittleren Gallengang auf. Nach erfolgreicher EPT fand sich ein 5 × 5 mm großer Cholestein in den ausgeschiedenen Fäzes. Trotz dieser positiven Ergebnisse blieb das Team zunächst zurückhaltend, da eine spontane Passage der Steine nicht ausgeschlossen werden konnte.(53)

Der dritte Fall überzeugte schließlich von der Wirksamkeit der Methode: Eine 68-jährige Patientin zeigte eine deutlich dilatierte Choledochus-Struktur mit einem großen Gallengangsstein. Nach erfolgreicher Papillotomie kam es zwei Tage später zu kolikartigen Beschwerden, und am folgenden Tag wurde das große Konkrement im Stuhl gefunden. Eine explorative Laparotomie bestätigte die vollständige Steinfreiheit. Dies markierte für Kawai und sein Team den endgültigen Nachweis der therapeutischen Effektivität der endoskopischen Papillotomie. Die gesammelten klinischen Erfahrungen wurden 1975 in der Fachzeitschrift „American Journal of Gastroenterology“ publiziert. Im Jahr 1995 veröffentlichte Kawai einen retrospektiven Beitrag zur Entwicklung der EPT in der *World Gastroenterology News*. (53)

6.3.3. Instrumentelle Weiterentwicklung und neue Therapieansätze

Die Erfindung der ERCP 1968 durch McCune hatte zur Folge, dass die ERCP als rein diagnostisches Verfahren eingeführt wurde. Zu Beginn bestand die Methode darin, ein Kontrastmittel zu injizieren, um anschließend je nach Befund, eine Überweisung an den Chirurgen oder Radiologen zu veranlassen. Durch die erste endoskopische Papillotomie hat sich die ERCP von einer rein diagnostischen Methode zu einem therapeutischen Verfahren weiterentwickelt.

Mit der Einführung der endoskopischen Papillotomie und der Entwicklung biliärer Stents innerhalb der darauffolgenden fünf Jahre eröffnete sich ein neuer therapeutischer Zugang in der Behandlung von Gallenwegserkrankungen. Diese Innovationen ermöglichten erstmals die Anwendung verschiedenster Instrumente wie Ballonkatheter, Lithotripter und Drainagesets. Diese sind aus der heutigen endoskopischen Praxis nicht mehr wegzudenken. Durch diese Fortschritte konnten Krankheitsbilder wie die biliäre Obstruktion und Cholangitis, die zuvor meist chirurgische Eingriffe erforderten, zunehmend minimalinvasiv und effektiv von erfahrenen Endoskopikern behandelt werden. (54,55)

6.3.4. 1979 Erster endoskopischer biliärer Plastikstent

Ein entscheidender Meilenstein in der Entwicklung palliativer Verfahren zur Behandlung des malignen Verschlussikterus war die Arbeit von Soehendra und Reynders-Frederix 1979. Sie beschrieben erstmals die Möglichkeit einer endoskopischen, transpapillären internen Galleableitung mittels Katheter. Ziel war es, die Nachteile bis dahin etablierter Verfahren, der nasobiliären externen Drainage, sowie der perkutanen transhepatischen Drainage (PTD), zu überwinden. Beide Methoden führten zwangsläufig zu einem kontinuierlichen Verlust von Galle nach außen und erforderten ein Sammel- bzw. Saugsystem, was die Langzeitanwendung in der palliativen Situation erheblich einschränkte. (56)

Das von Soehendra entwickelte Verfahren basierte auf der Verwendung eines pigtailförmigen Angiographie-Katheters. Nach vorangegangener endoskopischer Papillotomie wurde dieser über ein Duodenoskop transpapillär und transtumoral in den Ductus choledochus eingebracht. Durch die Kombination mit einem Teflon-Einführschlauch und einem Stahlmandrin konnte der Katheter zunächst begradigt und vorgeschoben werden. Nach Entfernung des Mandrins nahm er wieder seine charakteristische Spiralform an und verankerte sich selbst im Gallengang. Das distale Ende verblieb frei im Duodenum, sodass die Galle wieder physiologisch in den Dünndarm abfließen konnte. (56)

Die beiden Ärzte betonten mehrere Vorteile: Es kam nicht zu einem äußeren Galleverlust und eine externe Ableitung oder ein Auffangsystem waren nicht erforderlich. Zusätzlich war die Belastung für die Patienten war deutlich geringer. Damit stellte die Methode eine praktikable Alternative zur chirurgischen Bypass-Operation in der palliativen Situation nicht resektabler Tumoren dar. (56)

Aus heutiger Sicht gilt dieser Bericht als die Erstbeschreibung der endoskopischen inneren Galleableitung mittels Katheter, die den Grundstein für die Entwicklung der modernen ERCP-Stentimplantation legte, welche inzwischen zum Standardverfahren in der palliativen Therapie des malignen Verschlussikterus geworden ist. (56)

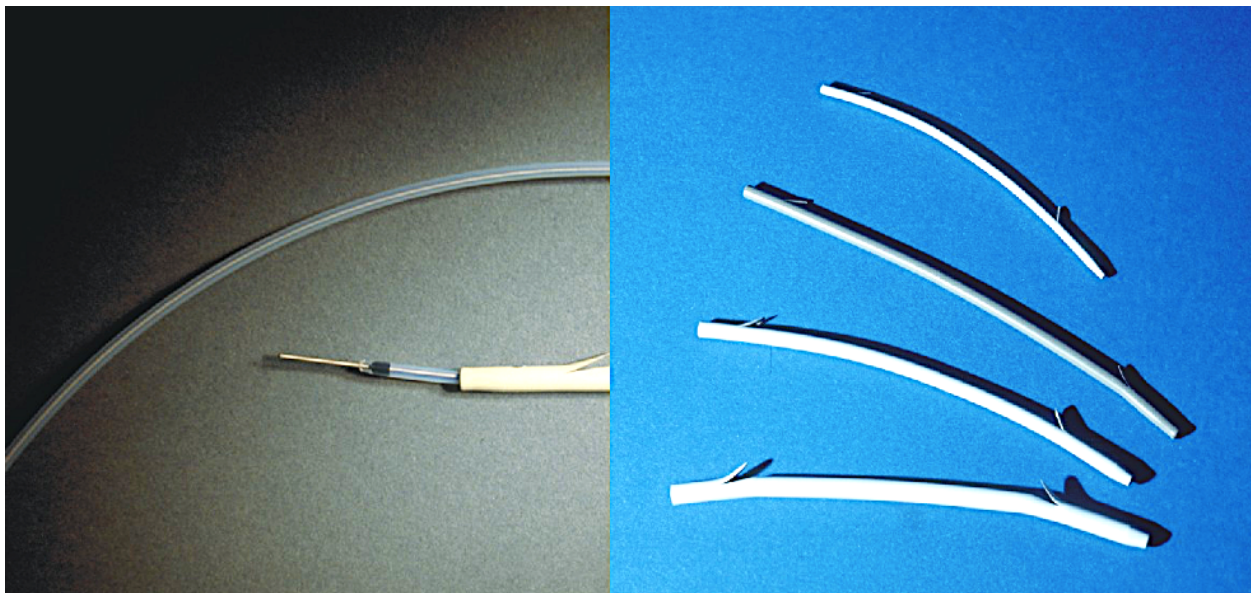


Abbildung 25: biliäre Plastikstents mit Einführungssystem

Quelle:(52)

6.3.5. 1989 Erste endoskopische biliäre Metallstents

Nach der Etablierung von Kunststoffprothesen als Standard in der endoskopischen palliativen Galleableitung zeigte sich im Verlauf der 1980er Jahre ein zentrales Problem: die begrenzte Offenheitsdauer der Plastikstents. Durch Ablagerungen, Bakterienbesiedlung und Sludge kam es häufig bereits nach wenigen Wochen zu einer Okklusion, die eine erneute endoskopische Intervention erforderlich machte. Um diese Einschränkungen zu überwinden, wurden Ende der 1980er Jahre erstmals selbstexpandierende Metallstents (SEMS) entwickelt und klinisch erprobt.(57)

Einer der ersten systematischen Berichte stammte von Doktor Huibregtse 1989. In seiner Arbeit wurden rund 30 Patienten mit malignen Obstruktionen endoskopisch mit Metallprothesen versorgt. Die technische Erfolgsrate lag bei über 90 %. Klinisch kam es in fast allen Fällen zu einer raschen und deutlichen Absenkung des Bilirubinspiegels. Besonders hervorgehoben wurde die verlängerte Funktionsdauer der Stents. Im Median blieben sie etwa 6–7 Monate durchgängig, eine deutliche Verbesserung im Vergleich zu Plastikstents, die oft nach 2–3 Monaten ausgetauscht werden mussten. Hauptprobleme waren Tumoreinwuchs oder Überwucherung am proximalen und distalen Stentende, die aber deutlich später auftraten als bei Kunststoffprothesen. (57)

Nahezu zeitgleich berichteten Doktor Neuhaus, Hagenmüller und Classen 1989 über eine ähnliche Patientenkohorte. Auch hier gelang die Stenteinlage in mehr als 90 % der Fälle, und die klinische Cholestase wurde zuverlässig reduziert. Die mittlere Offenheitsdauer lag bei etwa 5–6 Monaten, einzelne Stents funktionierten sogar bis zu einem Jahr. Die Komplikationsrate blieb

moderat. Neben einzelnen Fällen von Okklusion wurde über gelegentliche Stentmigrationen berichtet. Insgesamt zeigte sich, dass sich die Technik gut in den endoskopischen Arbeitsalltag integrieren ließ und keine höheren Risiken mit sich brachte als die konventionelle Kunststoffdrainage. (58)

Die beiden Publikationen von Huibregtse und Neuhaus markieren damit den Beginn der klinischen Anwendung von Metallstents. Durch ihre deutlich längere Offenheitsdauer reduzierten sie die Zahl notwendiger Reinterventionen erheblich und verbesserten so die Lebensqualität der Patienten mit nicht resektablen Tumoren. Diese Ergebnisse führten in den Folgejahren dazu, dass SEMS zunehmend den Platz der Kunststoffprothesen in der palliativen Therapie maligner Gallengangsobstruktionen einnahmen und sich als Standardverfahren etablierten. (58)

7. Technische Innovationen in der ERCP

7.1. Videoendoskopie

Bereits in den späten 1960er-Jahren wurde mit der Entwicklung des Charge-Coupled Device (CCD) ein entscheidender technologischer Fortschritt in der medizinischen Bildgebung erzielt. Dieses System wandelt optische Signale in elektrische Signale um und ermöglicht somit die Darstellung des Bildes auf einem externen Monitor. Im Gegensatz zur klassischen Endoskopie, bei der nur eine einzelne, erfahrene Person das Bild direkt über das Okular betrachten konnte, erlaubt das Videoskop, die simultane Betrachtung durch mehrere medizinischen Fachkräfte. Dadurch wird nicht nur die Teamarbeit verbessert, sondern auch die Patientensicherheit erhöht, da potenzielle Befunde von mehreren Personen gleichzeitig erkannt und beurteilt werden können. In Folge der Miniaturisierung dieser Technologie wurde 1983 erstmals ein CCD in ein Koloskop der Firma Welch Allyn integriert (siehe Abb. 26). Nur ein Jahr später veröffentlichten Sivak und Fleischer erste Ergebnisse zur Videokoloskopie und beschrieben eine Bildqualität, die jener der bis dahin verwendeten Faseroptik-Systeme ebenbürtig war. Dank einer „Standbild“-Funktion konnten diagnostisch relevante Bildsequenzen eingefroren und dokumentiert werden. (55)

Schon bald reagierten Hersteller wie Fujinon und Olympus mit leistungsfähigeren Geräten. Obwohl Olympus zunächst zögerte, da ihre faseroptischen Systeme zu den besten am Markt gehörten, zeigte sich Mitte der 1980er-Jahre der Durchbruch der Videoendoskopie als wegweisende Entwicklung. Es folgte eine Phase rasanter technischer Innovationen, in der hochauflösende Monitore, digitale Bildspeicherung und die nahtlose Integration von Endoskopie aufnahmen in elektronische Patientenakten ermöglicht wurden. Zusätzlich ermöglichen digitale Bildverarbeitungstechnologien die gezielte Nachbearbeitung der Aufnahmen, etwa durch elektronische Schärfenanpassung oder die Hervorhebung spezifischer Farbspektren. Dadurch können pathologische Veränderungen, insbesondere neoplastische Läsionen, besser sichtbar gemacht werden. Diagnostische und dokumentarische Prozesse konnten damit erheblich verbessert und effizienter gestaltet werden. Einer der wenigen Nachteile von Videoendoskopen waren jedoch die höheren Kosten. Während ein Fiberoptik Endoskop nur rund 6000\$ kostete und kein zusätzliches Material benötigte, so war man bei einem Videoendoskop mit Bildschirm und Prozessor bei rund 30 000 Dollar an Kosten. (28,55)



Abbildung 26: Video-Koloskop von Welch Allyn

Quelle: (20)

7.2. Fortschritte bei Instrumenten

7.2.1. Katheter

Die präzise Kanülierung des gewünschten Ganges, insbesondere des Ductus choledochus, ist ein entscheidender Schritt bei der diagnostischen und therapeutischen ERCP. Um diesen Vorgang zu erleichtern, stehen verschiedene Kathetertypen (siehe Abb. 27) zur Verfügung. Standardkatheter bestehen überwiegend aus Teflon und sind in unterschiedlichen Längen, Spitzenformen und mit variabler Anzahl an Lumina erhältlich. Der Außendurchmesser beträgt in der Regel 5–7 Fr, die Spitze ist auf 3–5 Fr verjüngt. Je nach Modell ist die Spitze gerade, konisch oder abgerundet und erlaubt den Einsatz von Führungsdrähten bis 0,035 Zoll. Katheter können ein-, zwei- oder dreilumig ausgeführt sein. Modelle mit mehreren Lumina ermöglichen die Injektion von Kontrastmittel, ohne den Führungsdraht zu entfernen. Bei Dreilumenkathetern sind zwei Ports für Kontrastmittel und einer für den Draht vorgesehen. Alternativ kann ein Tuohy-Borst-Adapter den gleichzeitigen Einsatz über einen gemeinsamen Zugang ermöglichen. Für selektive Kanülierungen, beispielsweise in den rechten oder linken Lebergang, eignet sich der flexible Swing-tip-Katheter, dessen Spitze in verschiedene Richtungen gebogen werden kann. Bei Eingriffen an der Papille minor sind häufig Katheter mit besonders feinen Spitzen erforderlich, die in Kombination mit hydrophilen Führungsdrähten (0,018–0,021 Zoll) eingesetzt werden können (Cremer-Katheter). Eine nach oben gebogene Katheterspitze erleichtert speziell die Intubation und selektive Kanülierung der Gallengänge, da sie anatomisch besser an den Verlauf des Ductus choledochus angepasst ist. Zudem verfügen viele Katheter über eine röntgendichte Spitze, die eine exakte Lagekontrolle und sichere Navigation unter Durchleuchtung ermöglicht, was

insbesondere bei schwierigen anatomischen Verhältnissen die Erfolgsrate und Sicherheit der ERCP erhöht. (39,59)



Abbildung 27: Diagnostikkatheter

Quelle: (60)

7.2.2. Papillotome

Papillotome, auch Sphinkterotome (siehe Abb. 28) genannt, sind spezielle Katheter für die biliäre Sphinkterotomie. Sie besitzen einen elektrochirurgischen Schneidedraht, der über einen Schieber am Handgriff gespannt wird und dabei die Katheterspitze krümmt. Diese Biegefunktion erleichtert die exakte Ausrichtung zur Papille, der Schnittrichtung nach 12h und steigert die Erfolgsrate der Kanülierung. Sphinkterotome sind in unterschiedlichen Längen und mit variabler Draht- und Lumenzahl erhältlich. Doppel- und Dreilumenversionen erlauben die Kontrastmittelgabe bei liegendem Führungsdraht. Manche Modelle sind zusätzlich mit isolierenden Drahtsegmenten oder Ballons zur Steinextraktion ausgestattet. Für die Stromzufuhr stehen verschiedene Modi zur Verfügung: Reiner Schneidstrom wird bevorzugt bei Pankreaseingriffen genutzt, während der Auto-Cut-Modus Blutungsrisiken reduzieren kann. Wenn eine Standardkanülierung nicht gelingt, kommt die Precut-Technik zum Einsatz. Hierbei wird die Papille freihändig eingeschnitten, um den Gallengang freizulegen. Das am häufigsten verwendete Instrument ist der Needle-Knife-Katheter, der einen ausfahrbaren Schneidedraht an der Spitze besitzt. Alternativ bietet das Erlangen-Papillotom eine besonders kurze Schneide (5 mm) und eine kompakte Spitze (<1 mm), was sehr präzise Schnitte ermöglicht. (39,59)

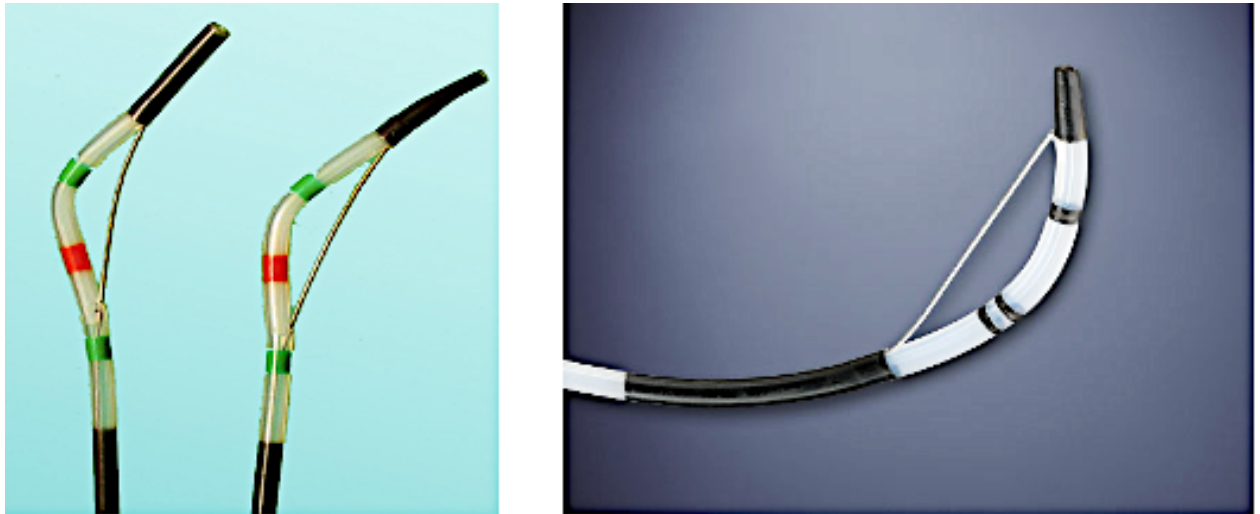


Abbildung 28: Papillotome

Quelle: (60)

7.2.3. Stents

Zur Drainage und Therapie von Gallen- und Pankreasgangserkrankungen werden sowohl Kunststoff- als auch Metallstents eingesetzt. Indikationen umfassen Stenosen, Leckagen oder die Prophylaxe einer post-ERCP-Pankreatitis. (59)

Kunststoffstents bestehen in der Regel aus Polyethylen oder Teflon, sind röntgendicht und in Durchmessern von 5–12 Fr sowie Längen von 1–18 cm verfügbar. Größere Stents erfordern ein Endoskop mit weitem Arbeitskanal. Die Form (gerade oder gebogen) beeinflusst die Stabilität – gebogene Varianten verrutschen seltener und werden bei komplexen Gallengangssituationen bevorzugt. Pankreasstents haben im Unterschied zu biliären Stents multiple Seitenlöcher, sind meist kleiner (3–11,5 Fr) und können je nach geplanter Liegedauer mit oder ohne Flansche ausgestattet sein. (39,59)

Metallstents (SEMS) sind selbstexpandierend und bieten einen deutlich größeren Durchmesser (6–10 mm), wodurch sie länger durchgängig bleiben. Ursprünglich für maligne Stenosen entwickelt, finden sie zunehmend auch bei benignen Erkrankungen Anwendung. Je nach Bedarf gibt es unbeschichtete, teilbeschichtete und vollbeschichtete (=wieder entfernbare) Varianten, häufig mit Überzügen aus PTFE oder Silikon. (39,59)

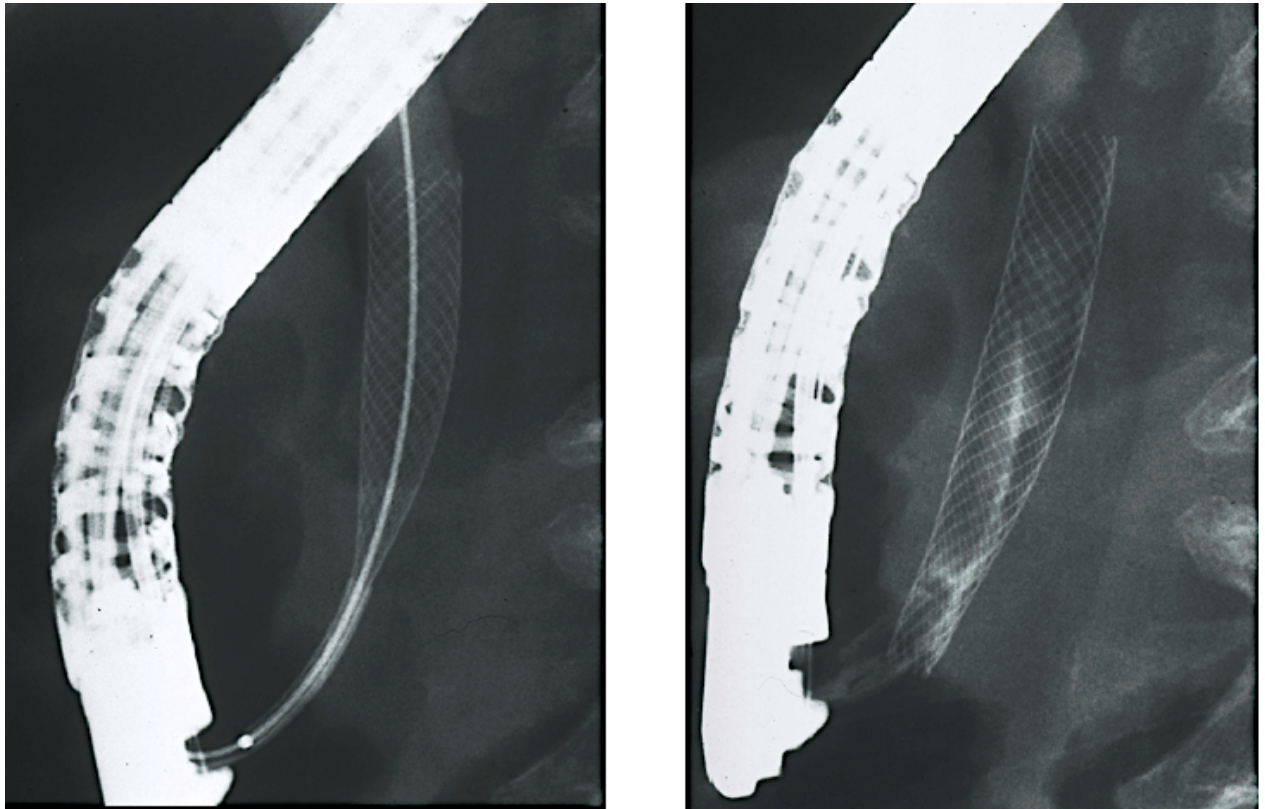


Abbildung 29: selbstexpandierender Metallstent im Choledochus bei und nach Freisetzung

Quelle: (52)

7.2.4. Steinextraktion

Zur Entfernung von Gallensteinen aus dem Gallengang nach einer endoskopischen Papillotomie oder Ballondilatation werden hauptsächlich zwei Instrumente verwendet: Extraktionsballonkatheter und Drahtkörbchen (Dormia-Baskets siehe Abb.30). (59)

Ballonkatheter verfügen über einen aufblasbaren Ballon nahe der Spitze, mit dem Steine im Rückzug durch den Gallengang in den Dünndarm gezogen werden. Es gibt Doppel- und Dreilumenkatheter. Letztere besitzen separate Kanäle für Führungsdraht, Kontrastmittel und Luft zur Ballonfüllung. Je nach Kathetertyp kann der Auslass für das Kontrastmittel vor oder hinter dem Ballon liegen. Wenn sich der Auslass distal befindet, kann der Gallengang bei der sogenannten „Ballon-Sweep“-Technik gut auf Durchgängigkeit geprüft werden. Bei einem proximalen Anschluss hingegen ist die Darstellung des Steins während der Extraktion besser möglich. (59)

Drahtkörbchen, wie das klassische Dormia-Körbchen, bestehen meist aus vier Drähten, die sich fächerartig öffnen. Es gibt auch Varianten mit mehr Drähten (z. B. Spiral- oder Blütenkörbchen), die sich besonders für kleinere Steine eignen. Bei der mechanischen Lithotripsie wird der Stein zunächst mit einem stabilen Korb gefasst und in der Papille fixiert. Nach Entfernen der Teflonhülle wird eine Metallschleife über einen Führungsdraht eingeführt. Durch Drehen am Handgriff zieht sich der Korb langsam in die Spirale, sodass der Stein kontrolliert in kleinere Fragmente zerbrochen wird. Es sollte jedoch nicht mit zu viel Kraftaufwand gezogen werden, um das Risiko für Komplikationen zu minimieren. (39,59)

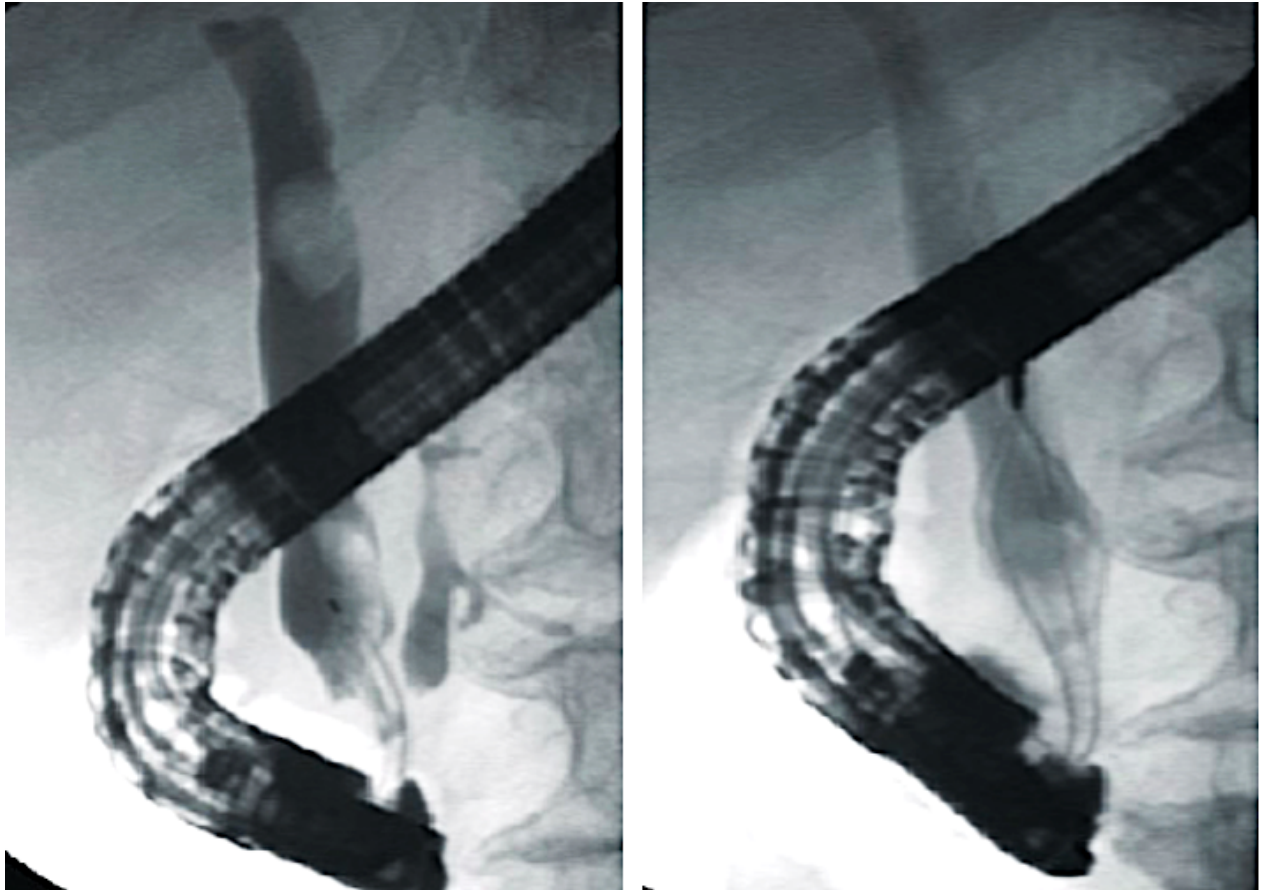


Abbildung 30: Gallengangsteinentfernung mit Dormia-Körbchen

Quelle:(52)

7.3. Integration der Cholangioskopie

Die endoskopisch-retrograde Cholangiopankreatikographie (ERCP) gilt als Goldstandard zur Beurteilung biliärer Strikturen sowie zur Behandlung von Gallenwegsteinen. Dennoch stößt die konventionelle ERCP in bestimmten Fällen an ihre Grenzen, sowohl in diagnostischer als auch in therapeutischer Hinsicht. In solchen Situationen bietet die perorale Cholangioskopie (POCS) einen entscheidenden Vorteil, da sie eine direkte Inspektion des Gallengangsystems ermöglicht. Diese direkte Sicht erlaubt eine präzisere Differenzierung zwischen benignen und malignen Veränderungen und trägt wesentlich zur exakten Ausbreitungsbeurteilung eines Cholangiokarzinoms bei. Darüber hinaus ermöglicht die perorale Cholangioskopie (POCS) die Durchführung von Biopsien unter direkter Sichtkontrolle, was die diagnostische Genauigkeit weiter verbessert. Auch bei bestimmten, schwer zu behandelnden Gallensteinen ist POCS von zentraler Bedeutung, da sie eine gezielte Lithotripsie mit Stoßwellen (EHL) oder Laser unter direkter optischer Führung erlaubt. Durch aktuelle technische Weiterentwicklungen wird das Anwendungsspektrum der POCS zunehmend erweitert, wodurch sich auch ihr diagnostischer Nutzen deutlich steigert. (61)

7.3.1. Mother-Baby-Systeme in der Cholangioskopie

Der erste Bericht über eine perorale Cholangioskopie wurde im Jahr 1976 veröffentlicht. Sie berichteten, dass ein dünnes Endoskop (Baby-Endoskop) durch den Arbeitskanal eines Standard-Endoskops (Mother-Endoskop) eingeführt wurde. Für dieses Verfahren sind zwei erfahrene Endoskopiker erforderlich. Ein Vorteil des Mother-Baby-Systems besteht darin, dass das Baby-Endoskop, ähnlich wie ein Korbkatheter, unter Führung eines Drahtes problemlos vom Duodenoskop in den Gallengang eingeführt werden kann. Das ursprüngliche Prototyp-Endoskop zeichnete sich durch eine schlechte Bildqualität aus, verfügte weder über Instrumentierung noch über eine Spülfunktion und besaß keine Spitzenlenkung. Trotz dieser Einschränkungen konnte gezeigt werden, dass eine perorale Cholangioskopie durchführbar ist. Mitte der 1980er Jahre wurden Endoskope der zweiten Generation eingeführt, die über eine Spitzenlenkung sowie einen Arbeitskanal verfügten, der entweder für Spülungen oder Instrumente genutzt werden konnte. Ende der 1990er Jahre und zu Beginn des neuen Jahrtausends führten technologische Fortschritte in der Bildgebung zur Entwicklung von Videocholangioskopen mit verbesserter Bildqualität, die eine zufriedenstellende Darstellung der Gallenwegsschleimhaut ermöglichten. Die Ergänzung um Narrow-Band-Imaging (NBI) führte zu weiteren Verbesserungen bei der Erkennung abnormer Gefäßstrukturen der Gallengangsschleimhaut, was insbesondere für die Diagnose bestimmter biliärer Malignome von Bedeutung ist. (61,62)

7.3.2. Digitale Cholangioskopie und das SpyGlass-System

Aufgrund seiner herausragenden Funktionalität und Benutzerfreundlichkeit hat sich das SpyGlass Direct Visualization System (Boston Scientific Comp.) als das führende System bei der Durchführung einer transpaillären Cholangioskopie durchgesetzt. Dabei wird ein dünnes flexibles Endoskop (SpyGlass) in den Gallen- oder Pankreasgang eingeführt. Zu den wesentlichen Merkmalen gehören eine vierdimensionale Spitzenlenkung, ein separater Kanal für die Wasserinfusion, digitale Bildgebung, ein eigenständiger Arbeitskanal sowie eine schnelle Anschlussmöglichkeit („Plug and Play“). Der separate Wasserinfusionskanal ermöglicht die gleichzeitige Durchführung von Wasserirrigation und Absaugung, auch während der Verwendung von Instrumenten wie Zangen oder Lithotropsiesonden. Zudem lässt sich der Winkel des Endoskops teilweise fixieren, was die Stabilität während der Untersuchung erhöht. Allerdings weist die Bildqualität im Vergleich zu Standardendoskopen Defizite auf, was die diagnostische Aussagekraft einschränken kann. Mit der Einführung der digitalen Versionen SpyGlass DS und SpyGlass DS II (Boston Scientific), die mit einem CCD-Chip ausgestattet sind, konnte die Bildauflösung um das Vier- bis Fünffache verbessert werden. Gleichzeitig sorgt eine ausreichende Lichtintensität für eine klare Sicht selbst in erweiterten Gallengängen. Heutzutage sind die meisten neu entwickelten peroral cholangioskopischen Systeme (POCS) als Single-Operator-Systeme konzipiert, um die Handhabung für den Anwender zu erleichtern. Diese Systeme sind speziell für die Bedienung durch eine einzelne Person ausgelegt. In einigen Kliniken wird jedoch weiterhin ein Zwei-Operatoren-Verfahren angewandt, bei dem ein Operateur das Mutter-Endoskop und ein weiterer das Baby-Endoskop steuert, um eine effizientere Durchführung zu ermöglichen. (61)

8. Aktuelle klinische Anwendung der ERCP

8.1. Heutiger Stand der Technik

Für diagnostische und therapeutische ERCP-Verfahren wird bei erwachsenen Patienten sowie bei Kindern mit einem Körpergewicht über 10 kg üblicherweise ein Seitblick-Duodenoskop eingesetzt. Alle Duodenoskope sind mit einem sogenannten Elevator (Albaran-Hebel) ausgestattet, der verschiedene Bewegungen zur gezielten Kanülierung der Papille ermöglicht, allerdings für die Desinfektion eine Herausforderung darstellt. Zudem verfügen therapeutische, dickere Duodenoskope über einen großen Arbeitskanal mit einem Durchmesser von 4,2 mm, der den Einsatz von größeren Instrumenten erlaubt. (59,63,64)

Seitdem internationalen Hygiene-Skandal 2015, der Olympus schwer traf und zu einem Re-Design der Duodenoskopspitze führte, gibt es auch Einmal-Duodenoskope wie jene von Boston Scientific oder Ambu. Sie setzen sich jedoch aus ökologischen und finanziellen Gründen nicht durch. (65)

Problemstellen für Hygiene

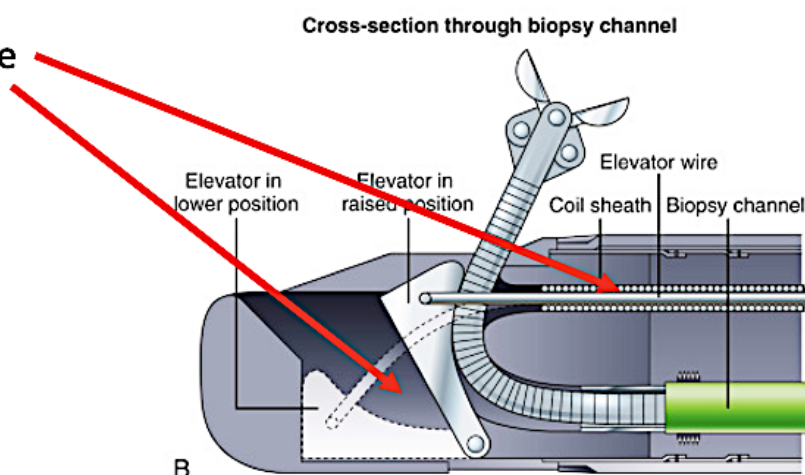


Abbildung 31: Problemstellung für die Hygiene

Quelle: (60)

Die bei der ERCP aktuell verwendeten Kontrastmittel sind alle hydrophile Derivate der Benzoessäure und lassen sich in vier Gruppen einteilen: ionische Monomere, ionische Dimere, nicht-ionische Monomere und nicht-ionische Dimere. Zusätzlich können die Mittel anhand ihrer Osmolalität klassifiziert werden, als Kontrastmittel mit hoher Osmolalität (HOCM)=viskös oder niedriger Osmolalität (LOCM). Beide Typen liefern vergleichbare Bildqualitäten.

Kontrastmittel mit niedriger Osmolalität hat eine niedrigere Konzentration und darum geringeres Risiko für Nebenwirkungen. Die Bildqualität wird wesentlich durch die Injektionstechnik beeinflusst, während die Viskosität des Kontrastmittels eine Rolle bei der einfachen Applikation durch Katheter mit kleinem Durchmesser spielt. (59)

Für die Darstellung von Strikturen oder des Pankreasgangsystems ist die Verwendung von unverdünntem Kontrastmittel vorteilhaft, da es eine höhere Bildqualität liefert. Um hingegen kleine Steine in erweiterten Gängen besser sichtbar zu machen, kann ein verdünntes Kontrastmittel geeigneter sein. Das Verdünnen bringt allerdings auch Nachteile mit sich, wie einen erhöhten

Volumenbedarf und das Risiko der Lufteinbringung beim Spritzenwechsel. Im Hinblick auf die Patientensicherheit wurden Kontrastmittel mit niedriger Osmolalität als potenziell vorteilhafter angesehen. Diese Einschätzung beruht auf der Annahme, dass geringere osmotische Flüssigkeitsverschiebungen über die Gangschleimhaut und Pankreasazini zu einer weniger stark ausgeprägten Druckerhöhung und Reizung in den Gängen führen. Diese theoretischen Vorteile konnten in Studien jedoch nicht durch eindeutige Evidenz untermauert werden, ein klarer Nutzen zur Vermeidung von ERCP-Komplikationen durch niedriger Osmolarität (LOCM) ließ sich nicht nachweisen. (59)

Schon vor der Untersuchung wird der Patient über den Eingriff aufgeklärt und alle möglichen Komplikationen besprochen. Anschließend muss der Patient seine Einwilligung geben. Vor Beginn der Untersuchung muss sichergestellt werden, dass alle notwendigen Voraussetzungen erfüllt sind. Zunächst ist ein stabiler intravenöser Zugang anzulegen, um eine sichere Medikamentenapplikation zu gewährleisten. Darüber hinaus ist eine funktionsfähige Pulsoxymetrie einzurichten, um die kontinuierliche Überwachung der Sauerstoffsättigung sicherzustellen. Ebenso muss eine korrekt positionierte Blutdruckmanschette mit automatischer Messfunktion vorhanden sein, was insbesondere bei einer Sedierung mit Propofol von Bedeutung ist. Zusätzlich sollte die Möglichkeit zur transnasalen Sauerstoffgabe bestehen. Der Patient wird in der Regel in Bauchlage positioniert, da diese Lagerung sowohl das Risiko einer Aspiration reduziert als auch eine bessere Einstellbarkeit der Papille ermöglicht und zudem eine spätere Umlagerung zur optimalen radiologischen Dokumentation überflüssig macht. (39)

Zur Sedierung wurden in der Vergangenheit häufig Benzodiazepine wie Midazolam, teilweise in Kombination mit Analgetika wie Pethidin, eingesetzt. Inzwischen wird überwiegend Propofol verwendet, da es durch seinen raschen Wirkungseintritt, die kurze Eliminationshalbwertszeit und die ausgeprägte amnestische Wirkung deutliche Vorteile bietet. Eine periinterventionelle Antibiotikaphylaxe ist indiziert bei biliärer Obstruktion, die voraussichtlich nicht vollständig behoben werden kann, bei größeren Pankreaszysten oder Pseudozysten sowie vor einer geplanten internen Drainage solcher Zysten. Postinterventionell sollte eine antibiotische Therapie erfolgen, wenn eine vollständige Sanierung der Gallengangsobstruktion nicht erreicht wurde, wie beispielsweise bei primär sklerosierender Cholangitis, großen Konkrementen oder peripheren Gallengangsstenosen. Bei komplexeren Eingriffen wird zudem häufig eine Intubationsnarkose durchgeführt. Zur Prophylaxe einer postinterventionellen Pankreatitis wird routinemäßig ein rektales NSAR verabreicht. Bei erhöhtem Risiko kann zusätzlich die Einlage eines prophylaktischen Pankreasstents erfolgen. Ist dies nicht möglich, stellt eine intensive Flüssigkeitssubstitution (z. B. mit 3 l kristalloider Lösung) eine weitere präventive Maßnahme dar. (39)

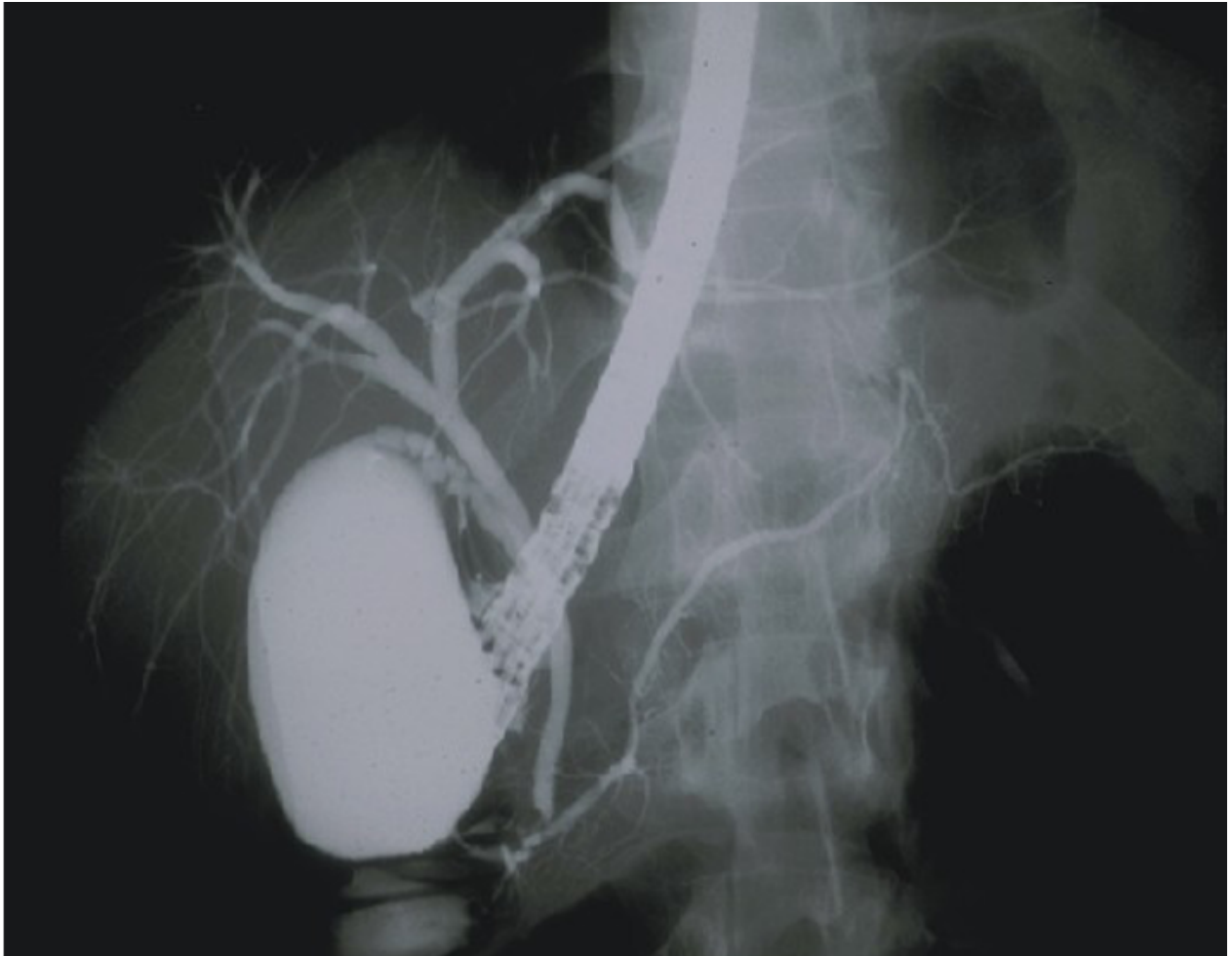


Abbildung 32: unauffällige ERCP

Quelle: (52)

8.2. Indikationen und klinische Relevanz heute

Durch die Entwicklung von nicht invasiven Diagnosemethoden wie Magnetresonanztomographie mit Cholangiographie (MRCP) und der endoskopischen Ultraschalluntersuchung (EUS) hat sich die Indikation für eine endoskopisch-retrograde Cholangiopankreatikographie (ERCP) zu fast ausschließlich therapeutisch genutzten Interventionen weiterentwickelt. Die derzeit anerkannten Indikationen lauten:

Therapeutische Indikationen:	Diagnostische Indikationen: (Strenge Indikationsstellung)
Biliär: • Choledocholithiasis • Benigne & maligne Gallengangsstenosen • Gallengangsleckagen • Papillentumor	• Unklare Gallengangsstenosen trotz durchgeführter Bildgebung (MRCP, EUS) • Erweiterte Gallengangsdiagnostik (Biopsie, Cholangioskopie)
Pankreas: • Chronische Pankreatitis (Steine, Stenosen) • Pankreasgangruptur • Transpapilläre Pseudozystendrainage	

(66)

Die Durchführung einer ERCP kann in bestimmten klinischen Situationen mit erheblichen technischen Herausforderungen verbunden sein. So erschwert eine Magenausgangsstenose häufig den endoskopischen Zugang zum Duodenum und damit die Darstellung der Papille. Auch Patienten mit veränderter Magen-Darm-Anatomie nach chirurgischen Eingriffen, wie etwa Billroth-II-Resektion, Gastrektomie oder Magenbypass, stellen eine besondere Schwierigkeit dar, da die Papille in diesen Fällen nur über komplexe Zugangswege erreichbar ist. Weitere anatomische Varianten wie juxtapapilläre Duodenaldivertikel(siehe Abb. 33)können die Identifikation und Kanülierung der Papille erheblich beeinträchtigen. Schließlich gilt auch das Pancreas divisum als klassische Herausforderung, da hier die Kanülierung über die Minorpapille erfolgen muss, die oft schwer zugänglich und anatomisch variabel lokalisiert ist. In all diesen Konstellationen ist ein erhöhtes Maß an endoskopischer Erfahrung sowie die Verwendung spezieller Techniken und Instrumente erforderlich, um eine erfolgreiche und sichere Durchführung der ERCP zu gewährleisten. (67)

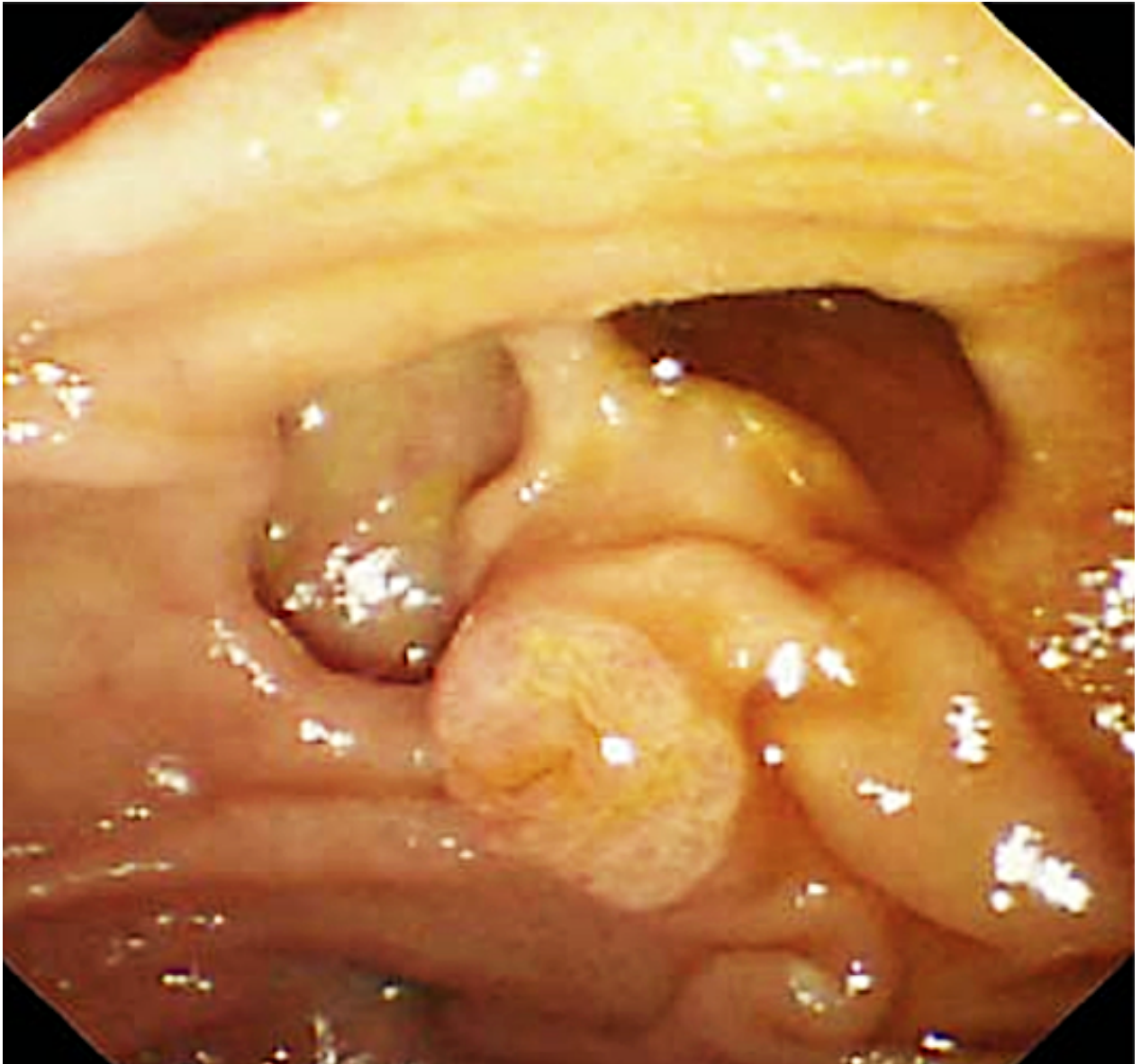


Abbildung 33: Papille und juxtapapilläres Divertikel

Quelle:(60)

8.3. Risiken und Komplikationen

Die ERCP ist insgesamt ein sicheres, jedoch invasives Verfahren, das in etwa 8 % der Fälle zu Komplikationen führt. Einige dieser Komplikationen können potenziell lebensbedrohlich sein. Die häufigste unerwünschte Folge ist die akute Pankreatitis, welche bei rund 4 % auftritt. Zu den eindeutig patientenbezogenen Risikofaktoren für eine Post-ERCP-Pankreatitis zählen eine vermutete Sphinkter-von-Oddi-Dysfunktion, weibliches Geschlecht, bereits durchgemachte Pankreatitiden und insbesondere eine vorausgegangene Post-ERCP-Pankreatitis. Weitere Komplikationen sind papilläres Bluten, retroperitoneale Duodenalperforation sowie septische Erkrankungen der Gallenwege wie akute Cholezystitis oder Cholangitis. (68)

Auch verfahrensbedingte Faktoren spielen eine große Rolle und erhöhen die Komplikationswahrscheinlichkeit. Dazu gehören vor allem eine schwierige Kanülierung,

mehrfaches Einlegen von Führungsdrähten in den Pankreasgang, sowie wiederholte Kontrastmittelinjektionen in das Gangsystem der Bauchspeicheldrüse. Patientenbezogene Risikofaktoren, die mit einem erhöhten Risiko in Verbindung gebracht werden, sind ein jüngeres Alter, ein nicht-erweiterter extrahepatischer Gallengang, das Fehlen einer chronischen Pankreatitis, normale Bilirubinwerte und eine fortgeschrittene Niereninsuffizienz. (68)

Neben der Pankreatitis zählen auch Blutungen zu den relevanten Komplikationen nach ERCP. Das Blutungsrisiko ist insbesondere erhöht bei Patienten, die Antikoagulanzen einnehmen, eine ausgeprägte Thrombozytopenie oder eine Leberzirrhose haben. Patienten, die an terminaler Niereninsuffizienz leiden haben ein erhöhtes Komplikationsrisiko. Auch Blutungen während des Eingriffs, eine geringe Erfahrung des Untersuchers sowie eine fehlgeschlagene Kanülierung mit anschließender Precut-Sphinkterotomie steigern das Risiko. (68)

Wenn diese Risikofaktoren vorliegen, sollte die Patientenauswahl besonders sorgfältig erfolgen. Vor allem bei primär diagnostischer Fragestellung sollte auf eine ERCP möglichst verzichtet und stattdessen auf nicht-invasive Verfahren wie die MR-Cholangiopankreatikografie oder die Endosonografie zurückgegriffen werden. (69)

8.4. ERCP in Österreich

Die endoskopisch-retrograde Cholangiopankreatikographie (ERCP) hat sich in Österreich fest etabliert und wird flächendeckend eingesetzt. Im Jahr 2006 rief die Österreichische Gesellschaft für Gastroenterologie und Hepatologie (ÖGGH) ein freiwilliges, landesweites Benchmarking-Programm für ERCP-Verfahren ins Leben. Ziel war es, die Qualität und Sicherheit der ERCP in verschiedenen medizinischen Einrichtungen zu analysieren und vergleichbar zu machen. Es wird geschätzt, dass österreichweit jährlich zwischen 13 000 und 15 000 ERCPs durchgeführt wurden. Davon wurden etwa 2700 Eingriffe pro Jahr im Rahmen des Benchmarking-Programms dokumentiert, also rund ein Fünftel aller durchgeführten Verfahren. Diese Erhebung liefert wertvolle Erkenntnisse über Erfolgsquoten, Komplikationsraten und strukturelle Unterschiede zwischen Einrichtungen mit hohem und niedrigem Fallaufkommen. Sie dient als wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung der Qualitätsstandards in der interventionellen Endoskopie in Österreich. (70)

Die ERCP hat sich im Laufe der Zeit von einer primär diagnostischen Methode zu einem überwiegend therapeutischen Verfahren entwickelt. Heute zählt sie zu den technisch anspruchsvollsten und potentiell risikoreichsten Interventionen in der gastrointestinalen Endoskopie. Studien aus Österreich zeigen, dass Erfolgs- und Komplikationsraten bei ERCP auf einem ähnlichen Niveau liegen wie in anderen internationalen Vergleichszahlen. Eine Analyse des ERCP-Benchmarking-Programms ergab, dass Untersucher mit einem jährlichen Fallaufkommen von mehr als 50 ERCPs höhere Erfolgsraten erzielen und geringere Komplikationsraten aufweisen. (71)

Im Jahr 2024 wurden am Ordensklinikum Linz 816 ERCPs durchgeführt und in die nationale Benchmarking-Studie eingebracht. Die Patientenkohorte war nahezu ausgeglichen zwischen Frauen (47,9 %) und Männern (52,1 %). In fast der Hälfte der Fälle erfolgte die Untersuchung in Intubationsnarkose, was im Vergleich zu anderen Zentren überdurchschnittlich häufig war. Eine

Antibiotikaphylaxe wurde in 46,3 % verabreicht, zur Pankreatitisprophylaxe überwiegend rektales Diclofenac oder Indometacin (78,1 %).

Die technische Erfolgsrate war hoch: In über 90 % konnte der gewünschte Gang sondiert und das Therapieziel erreicht werden. Gleichzeitig war der Anteil komplexer Situationen, etwa nach Whipple-Operation (8,6 %) oder mit Kanülierung über die Minorpapille (3,2 %), deutlich erhöht. Therapeutisch dominierten Sphinkterotomien und Steinextraktionen, in mehr als der Hälfte der Fälle erfolgte eine Stenteinlage, überwiegend in die extrahepatischen Gallenwege.

Komplikationen traten insgesamt selten auf: Blutungen in 3,7 %, Perforationen in 1,2 % und post-ERCP-Pankreatitiden in 5,0 % (alle mild). Schwere Komplikationen oder Todesfälle wurden nicht dokumentiert. Bei den Diagnosen standen Gallengangssteine (25,2 %), Cholangitiden (21,6 %), hiläre Stenosen (20,0 %) und chronische Pankreatitis (10,8 %) im Vordergrund. Damit zeigt sich das Ordensklinikum Linz als Zentrum mit hoher Erfolgsrate, niedrigen Komplikationsraten und besonderer Expertise in komplexen Fällen. (72)

Für die Durchführung von ERCPs in Österreich besteht ein strukturiertes Ausbildungscurriculum der ÖGGH/ÖGCH, das im Rahmen des Diploms für gastrointestinale interventionelle Endoskopie absolviert wird. Dieses umfasst sowohl theoretische Kenntnisse im Ausmaß von 100 Stunden (u. a. Indikationen, Komplikationen, Hygiene, Sedierung, Qualitäts- und Risikomanagement) als auch praktische Erfahrungen in speziellen Verfahren wie Cholangioskopie oder endoskopischer Nekroresektomie. Zentrale Fertigkeiten sind mit Richtzahlen hinterlegt und beinhalten unter anderem mindestens 150 eigenständig durchgeführte ERCPs einschließlich Papillotomie, Drainagen und Steinextraktionen sowie 100 Endosonographien und weitere interventionelle Techniken. Durch dieses strukturierte Rasterzeugnis wird eine standardisierte und überprüfbare Qualifikation für interventionelle Endoskopie und insbesondere für ERCP gewährleistet. (73)

8.5. Die Rolle der Endosonographie (EUS) im Kontext der ERCP

Die Endosonographie (EUS) und die endoskopisch retrograde Cholangiopankreatikographie (ERCP) zählen zu den wichtigsten endoskopischen Verfahren in der Gastroenterologie. Während die ERCP seit Jahrzehnten vor allem als therapeutisches Instrument etabliert ist, hat sich die EUS von einer diagnostischen Ergänzung zu einem eigenständigen, vielseitigen Verfahren entwickelt. Der Vergleich beider Methoden zeigt, dass die EUS in vielen Bereichen eine entscheidende Rolle einnimmt, indem sie die diagnostische Genauigkeit verbessert, die Indikationsstellung für die ERCP präzisiert und in bestimmten Situationen sogar therapeutische Alternativen bietet.

Die Stärke der EUS liegt zunächst in ihrer hohen Auflösung und in der Möglichkeit, Veränderungen in den Gallenwegen und im Pankreas detailgetreu darzustellen. Besonders bei unklaren Strikturen oder kleinen Raumforderungen liefert die EUS wertvolle Zusatzinformationen, die mit bildgebenden Verfahren wie CT oder MRT allein oft nicht in dieser Genauigkeit zu erreichen sind. Hinzu kommt die Möglichkeit der Feinnadelpunktion (EUS-FNA), mit der eine histologische Sicherung erzielt werden kann. Damit übernimmt die EUS eine Aufgabe, die über die reine Bildgebung hinausgeht, und erlaubt eine differenzierte Abklärung, bevor ein therapeutischer Eingriff mittels ERCP erfolgt. So trägt die EUS wesentlich dazu bei, die ERCP auf jene Fälle zu beschränken, in denen tatsächlich eine Intervention notwendig ist, und senkt damit das Risiko vermeidbarer Komplikationen. (74,75)

Darüber hinaus zeigt sich zunehmend, dass die EUS auch eigene therapeutische Möglichkeiten eröffnet. So werden EUS-gestützte Drainageverfahren bei biliären Obstruktionen oder Pankreaspseudozysten mittlerweile in vielen Zentren erfolgreich eingesetzt, insbesondere dann, wenn eine konventionelle ERCP technisch nicht möglich oder erfolglos ist. Diese Entwicklung unterstreicht den Wandel der EUS von einer rein diagnostischen Technik zu einem integralen Bestandteil der endoskopischen Therapie. Im Vergleich zur ERCP, die in erster Linie auf den Eingriff in die Gallenwege und den Pankreasgang ausgerichtet bleibt, eröffnet die EUS damit ein erweitertes Spektrum minimalinvasiver Behandlungsoptionen. (74,75)

Ein weiterer Aspekt betrifft die zeitliche und organisatorische Verzahnung beider Verfahren. Studien zeigen, dass die Durchführung von EUS und ERCP in einer Sitzung („same-session approach“) deutliche Vorteile bietet. Patienten müssen nur einmal sediert werden, die Gesamtdauer des Aufenthalts wird verkürzt und Komplikationen treten seltener auf. Gleichzeitig ermöglicht dieser Ansatz eine effiziente Verbindung von Diagnostik und Therapie: Zunächst klärt die EUS die Befundlage, anschließend kann in derselben Sitzung die notwendige Intervention mittels ERCP erfolgen. Damit entsteht ein nahtloser Ablauf, der sowohl die klinischen Ergebnisse verbessert als auch die Belastung für die Patienten reduziert. (74,75)

Zusammenfassend verdeutlicht der Vergleich, dass EUS und ERCP heute keine konkurrierenden, sondern komplementäre Verfahren darstellen. Die EUS hat ihre Rolle weit über die ursprüngliche Diagnostik hinaus ausgeweitet und bietet sowohl präzisere Abklärungen als auch in bestimmten Fällen eigenständige therapeutische Optionen. Die ERCP bleibt das zentrale Verfahren für interventionelle Eingriffe, gewinnt jedoch durch die enge Verzahnung mit der EUS an Sicherheit und Effizienz. In Kombination stellen beide Methoden ein modernes, praxisnahes und patientenschonendes Konzept dar, das die Behandlung von Erkrankungen der Gallenwege und des Pankreas entscheidend verbessert. (74,75)

8.6. MRCP versus ERCP

Die Magnetresonanz-Cholangiopankreatikographie (MRCP) ist ein spezielles Verfahren der Magnetresonanztomographie, das in den 1990er-Jahren entwickelt wurde und heute einen festen Stellenwert in der Abklärung von Erkrankungen der Gallen- und Pankreasgänge hat. Sie nutzt stark T2-gewichtete Sequenzen, wodurch Flüssigkeiten mit hoher Signalintensität abgebildet werden. Auf diese Weise lassen sich die mit Galle oder Pankreassekret gefüllten Gangsysteme kontrastreich darstellen, ohne dass eine invasive Intervention notwendig ist.

Einer der größten Vorteile der MRCP liegt in ihrer Nicht-Invasivität. Im Gegensatz zur ERCP wird kein Kontrastmittel in die Gallenwege eingebracht und es besteht keine Gefahr prozedurbedingter Komplikationen wie Pankreatitis, Blutung oder Perforation. Dadurch ist die MRCP insbesondere in der initialen Diagnostik bei Verdacht auf biliäre oder pankreatische Obstruktionen von großem Nutzen. Sie eignet sich unter anderem für den Nachweis von Choledocholithiasis, zur Beurteilung entzündlicher Veränderungen wie bei der chronischen Pankreatitis, sowie zur Abklärung von benignen und malignen Strikturen.

Darüber hinaus erlaubt die MRCP die Beurteilung der Morphologie des gesamten Gallen- und Pankreasgangsystems in einer Untersuchung. Sie wird häufig als „Gatekeeper“ eingesetzt, um die Indikation für eine interventionelle ERCP gezielter zu stellen. Damit trägt sie wesentlich zur Risikoreduktion bei, da die ERCP vermehrt nur in therapeutischer Absicht durchgeführt wird.

Dennoch weist die MRCP auch gewisse Limitationen auf. Kleinste Konkreme, insbesondere im distalen Ductus choledochus, können gelegentlich übersehen werden. Zudem ist die Bildqualität von Patientenfaktoren wie Atembewegungen oder implantierten Metallkörpern abhängig. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass die MRCP rein diagnostisch bleibt und keine therapeutischen Eingriffe erlaubt. Bei pathologischen Befunden wie Steinen oder höhergradigen Stenosen ist daher eine nachfolgende ERCP erforderlich. (76)



Abbildung 34: unauffällige MRCP

Quelle: (52)

9. Ausblick in die Zukunft

9.1. Einsatz künstlicher Intelligenz in der ERCP

In den letzten Jahren hat die Entwicklung neuartiger Technologien der künstlichen Intelligenz, insbesondere im Bereich des Deep Learning, bemerkenswerte Fortschritte erzielt. Computergestützte Bildanalysen auf Basis tiefer neuronaler Netzwerke haben in vielen Anwendungsfeldern die Leistung menschlicher Experten übertroffen. Diese technologischen Errungenschaften haben erhebliches Interesse an der Integration von künstlicher Intelligenz in die medizinische Diagnostik und Therapie geweckt.

In den letzten Jahren gab es vermehrt Untersuchungen, von der Durchführung einer ERCP, mithilfe von künstlicher Intelligenz. Ein Beispiel für den erfolgreichen Einsatz künstlicher Intelligenz in der Endoskopie, ist die Studie von Takiyama, in der gezeigt wurde, dass Convolutional Neural Networks (CNNs) in der Lage sind, anatomische Lokalisationen in Bildern der Ösophagogastroduodenoskopie zuverlässig zu identifizieren. Hirasawa nutzte ein ähnliches Modell zur Detektion und Lokalisierung von frühem Magenkarzinom in endoskopischen Bilddaten, mit hoher diagnostischer Genauigkeit. Trotz der zunehmenden Bedeutung endoskopischer Verfahren in der Gastroenterologie und Hepatopankreatologie existieren bislang jedoch nur wenige Studien, die sich mit der Anwendung künstlicher Intelligenz in der ERCP beschäftigen. Aktuelle Studien zeigen jedoch, dass KI-basierte Anwendungen das Potenzial haben, sowohl diagnostische als auch therapeutische Aspekte der ERCP signifikant zu verbessern. (77)

In einer Studie stand die automatische Lokalisierung der Papilla Vateri sowie die Einschätzung des Schwierigkeitsgrads der Kanülierung im Fokus. Aufgrund anatomischer Varianten der Papilla Vateri, wie etwa das Vorliegen eines periampullären Divertikels, kann die genaue Lokalisation der Papille im Duodenum insbesondere für wenig erfahrene Endoskopiker, eine Herausforderung darstellen. Diese erschwerte Identifikation kann zu einer relevanten Verzögerung der Kanülierung führen und somit die Qualität der gesamten ERCP negativ beeinflussen. Zu diesem Zweck wurde ein KI-gestütztes System entwickelt, das sowohl die Position der Papille als auch potenzielle Schwierigkeiten beim Zugang zur Duktusöffnung automatisiert vorhersagen kann. Besonders erstaunlich war die Fähigkeit des Modells, die Papilla Vateri trotz ausgeprägter interindividueller Unterschiede hinsichtlich Form, Größe und Textur zuverlässig zu erkennen. Die Leistungsfähigkeit des Systems liegt dabei auf dem Niveau erfahrener Endoskopiker. Zudem zeigt das Modell ein vielversprechendes Potenzial zur Einschätzung des Kanülierungs-Schwierigkeitsgrads. Insgesamt belegt die Studie den möglichen Beitrag KI-basierter Systeme zur qualitativen Verbesserung von ERCP-Prozessen durch gezielte Entscheidungsunterstützung. (77)

Weiters gab es im Jahr 2022 noch Studien über den Einsatz von künstlicher Intelligenz bei der Durchführung von ERCP. Es wurde ein Deep-Learning-Algorithmus entwickelt, der maligne von benignen Strikturen zuverlässig unterscheiden konnte. Diese Studie zeigte, dass der Einsatz von künstlicher Intelligenz das diagnostische Potenzial erheblich steigern kann. Dieselbe Arbeitsgruppe führte im darauffolgenden Jahr eine weitere Studie durch. Sie entwickelten eine Convolution Neural Network zur Differenzierung der Ätiologie biliärer Strukturen. Die Testergebnisse zeigten eine Gesamtgenauigkeit von 82,4 Prozent. (78)

Eine weitere Studie beschäftigte sich mit Vorhersagemodellen, um eine spätere Komplikation bereits frühzeitig zu bemerken. Trotz der Effektivität einer ERCP kommt es oftmals zu relevanten Risiken wie post-ERCP-Pankreatitis, Blutungen oder Perforationen. Diese Vorhersagemodelle eignen sich dabei, um Patienten auszuwählen und das Komplikationsrisiko zu minimieren. Künstliche Intelligenz zeigt dabei ein großes Potential. Besonders in der Vorhersage der post-ERCP-Pankreatitis liefern maschinelle Lernverfahren deutlich bessere Ergebnisse als herkömmliche Methoden. Eine multizentrische Studie mit 1916 Fällen zeigte, dass vor allem Bilddaten und technische Parameter die Prognosequalität erheblich verbessern. Eine große multizentrische Studie kombinierte 49 klinische Merkmale aus elektronischen Gesundheitsakten mit Bilddaten. Sie konnte zeigen, dass vor allem vorangegangene Pankreatitis und schwierige

Kanülierungen das Risiko erhöhen. Bildgebungsdaten verbesserten die Vorhersage zusätzlich deutlich.

Insgesamt bestätigen diese Ergebnisse, dass Deep-Learning-Modelle helfen können, unnötige Eingriffe zu vermeiden, Komplikationen früh zu erkennen und Behandlungsergebnisse bei pankreatikobiliären Eingriffen zu verbessern. Sie ermöglichen eine individualisierte Risikoeinschätzung und könnten in Zukunft zur Standardunterstützung in der endoskopischen Praxis werden. (78)

9.2. Telemedizin in der Gastroskopie

Künstliche Intelligenz revolutioniert die Telemedizin, indem sie Effizienz, Genauigkeit und die allgemeine Qualität der Gesundheitsversorgung verbessert. Ein zentrales Anwendungsfeld liegt in Chatbots. Chatbots sind Computerprogramme, die dafür entwickelt wurden, Gespräche über Text, Bild, Audio oder Video mit menschlichen Nutzerinnen und Nutzern zu simulieren. Seit ihrem Aufkommen verzeichnen sie ein exponentielles Wachstum, das vor allem durch den Einsatz von Natural Language Processing (NLP) vorangetrieben wurde. Dadurch sind Chatbots in der Lage, Anfragen zu verstehen und angemessen zu beantworten. Der Einsatz von Chatbots im Gesundheitswesen ist noch relativ neu, birgt jedoch bei Fehlern erhebliche Risiken. Standardisierte Ansätze („One-size-fits-all“) eignen sich hier nur bedingt, da Gesundheitsanwendungen individuell zugeschnitten sein müssen. In der Gastroenterologie könnten Chatbots vielfältig eingesetzt werden, zum Beispiel für die individuelle Vorbereitung auf Eingriffe, zur Unterstützung von Tele-Radiologie und Tele-Endoskopie, für die Nachsorge und Überwachung der Genesung oder zur automatischen Dokumentation ärztlicher Befunde. So ließen sich unnötige persönliche Termine vermeiden und die Versorgung in Regionen mit begrenztem Zugang zu Fachärzten verbessern.

Trotz ihres großen Potenzials müssen KI-gestützte Chatbots als Ergänzung und nicht als Ersatz für die Expertise von Fachkräften betrachtet werden, da Fragen zu Ethik, Verzerrungen und Genauigkeit weiter bestehen. (78)

Aminoff und Kollegen (2021) untersuchten, wie Ärzte die Möglichkeit bewerten, während einer ERCP, Kollegen per Telekonsultation live zuzuschalten. Dabei wurde in mehreren Kliniken ein System getestet, das es erlaubt, die Untersuchung in Echtzeit an einen erfahrenen Endoskopiker zu übertragen. Dieser konnte sowohl das endoskopische Bild als auch die Röntgendurchleuchtung einsehen und den durchführenden Arzt direkt über Bild- und Tonverbindung beraten. In vielen Fällen wurde diese Unterstützung als wertvoll empfunden, da sie half, schwierige Situationen besser zu meistern und Komplikationen zu vermeiden. Besonders hervorgehoben wurde, dass durch die Live-Konsultation oft unnötige Wiederholungen oder zusätzliche invasive Eingriffe vermieden werden konnten. Die Mehrheit der befragten Ärzte gab an, dass sie die Möglichkeit zur Telekonsultation als deutliche Bereicherung sehen, da sie mehr Sicherheit bei komplexen Fragestellungen bietet und die Behandlungsqualität. (79)

9.3. Herausforderungen beim Einsatz künstlicher Intelligenz

Obwohl der Einsatz von künstlicher Intelligenz beim Einsatz einer ERCP vielversprechende Perspektiven bietet, sind noch einige Herausforderungen absehbar. Ein zentrales Problem ist das Fehlen einer ausreichenden externen Validierung in vielen Studien. Dies schwächt die generelle Evidenzlage. Besonders im Vergleich zur herkömmlichen Endoskopie ist die Entwicklung von künstlichen Intelligenz Systemen in der ERCP deutlich weniger fortgeschritten. Diese Diskrepanz lässt sich durch die verminderte Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigen Bilddaten zurückleiten. Weiters stellen fehlende Schulungsangebote für medizinisches Personal und eine gewisse Zurückhaltung im Umgang mit künstlicher Intelligenz weitere Probleme dar. Die ethischen Fragestellungen, insbesondere im Hinblick auf Datenschutz und algorithmische Verzerrungen müssen in Zukunft auch noch gelöst werden. (78)

9.4. Roboter-gestützte-ERCP-Systeme

Roboter gestützte Systeme zeigen auch ein großes Potential für die Zukunft. Das Unternehmen Shanghai Operation Robot veröffentlichte 2022 Ergebnisse über die erste klinische Anwendung eines chirurgischen Roboters zur Durchführung der endoskopischen retrograden Cholangiopankreatikographie mit biliärer Stenteinlage. Bei diesem Verfahren handelte es sich um die weltweit erste robotergestützte klinische Studie dieser Art am Menschen. Der Eingriff erfolgte durch Professor Doktor Xiaofeng Zhang Leiter des Zentrums für Endoskopie im Krankenhaus Hangzhou. Doktor Zhang steuerte den Roboter außerhalb des Operationssaals, wodurch der Kontakt mit Röntgenstrahlung und das Tragen von schweren Bleischürzen vermieden wurden. Unter präziser robotischer Steuerung konnte der gesamte Eingriff erfolgreich durchgeführt werden, inklusive Papillotomie, Steinextraktion mittels Ballonkathether und der Platzierung eines biliären Stents. Die Operation wurde am 15. Hangzhou Internationalen Symposiums zur Diagnostik und Therapie biliärer und pankreatischen Erkrankungen live übertragen. Dabei betonte Doktor Zhang die hohe Präzision und die Strahlenschutzvorteile des Roboter-Systems.(80)

Die Studie lieferte einen ersten Nachweis für den Einsatz robotischer Systeme im Bereich der endoskopisch retrograden Cholangiopankreatikographie. Das vorgestellte Robotersystem ist modular aufgebaut und lässt sich aufgrund seiner kompakten Bauweise flexibel im Operationssaal positionieren. Die Steuerung der Steuerelemente ist an die konventionelle Handhabung angelehnt und reduziert den Schulungsaufwand. Über beidhändige Kontrolle können diverse Funktionen wie die Endoskopführung, Hebefunktion, Wasser und Gasregulation sowie die Einführung und Entnahme von Führungsdrähten und Instrumenten realisiert werden. Ein integrierter geschlossener Regelkreis verhindert das Abrutschen von Instrumenten und überträgt dem Operateur durch Echtzeitwiderstände ein realistisches Feedback. (80)

10. Conclusio:

Die vorliegende Masterarbeit hat die geschichtliche Entwicklung der endoskopisch retrograden Cholangiopankreatikographie (ERCP) von ihren Anfängen bis in die Gegenwart nachgezeichnet. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Methode ein eindrucksvolles Beispiel für den kontinuierlichen Fortschritt der medizinisch-technischen Innovation in der Gastroenterologie ist. Aus einer zunächst rein diagnostischen Technik hat sich innerhalb weniger Jahrzehnte ein hochspezialisiertes therapeutisches Verfahren entwickelt, das heute aus der klinischen Praxis nicht mehr wegzudenken ist.

Besonders deutlich wurde, dass die Erfolgsgeschichte der ERCP eng mit technischen Meilensteinen verbunden ist. Von den ersten flexiblen Endoskopen über die Einführung der Papillotomie bis hin zur Entwicklung von Führungsdraht-Techniken und modernen Stents war jede Innovation ein Schritt, der das Indikationsspektrum erweiterte und die Sicherheit verbesserte. Parallel dazu haben sich auch die Standards in Bezug auf Sedierung, Hygiene und Komplikationsprophylaxe weiterentwickelt, sodass die Methode trotz ihres Risikoprofils mittlerweile mit hoher Patientensicherheit durchgeführt werden kann.

Zugleich verdeutlicht die Analyse, dass die Rolle der ERCP im Spannungsfeld zwischen alternativen Verfahren wie MRCP und EUS neu definiert wurde. Während nicht-invasive Bildgebungen den diagnostischen Stellenwert der ERCP weitgehend ersetzt haben, ist sie in der therapeutischen Endoskopie weiterhin unangefochten.

Mit Blick in die Zukunft zeigt sich, dass die Dynamik der Weiterentwicklung keineswegs abgeschlossen ist. Fortschritte in der künstlichen Intelligenz eröffnen neue Optionen in der Bildanalyse und Qualitätskontrolle, robotische Assistenzsysteme könnten die Präzision der Eingriffe steigern, und telemedizinische Konzepte tragen dazu bei, Wissen schneller zu verbreiten und Patientinnen und Patienten auch in strukturschwachen Regionen Zugang zu modernster Therapie zu ermöglichen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die ERCP nicht nur eine Methode mit großer klinischer Bedeutung ist, sondern auch ein Spiegelbild für die Innovationskraft der modernen Endoskopie. Sie hat sich seit ihrer Einführung in den 1960er-Jahren stetig an neue Herausforderungen angepasst und wird dies auch in Zukunft tun. Die Auseinandersetzung mit ihrer historischen Entwicklung macht deutlich, dass medizinischer Fortschritt stets das Zusammenspiel aus technischem Erfindergeist, klinischer Erfahrung und dem Streben nach besserer Patientenversorgung erfordert.

11. Interview Prof. Hagenmüller

Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit zur geschichtlichen Entwicklung der Endoskopisch-Retrograden Cholangiopankreatikographie (ERCP) wurde am 20. Oktober 2025 ein Interview mit Prof. Dr. Friedrich Hagenmüller geführt. Im Gespräch berichtete Prof. Hagenmüller über seinen Mentor Prof. Meinhard Classen sowie über die Anfänge und die technische wie organisatorische Entwicklung der ERCP. Das Interview diente der Ergänzung historischer Quellen durch persönliche Erfahrungsberichte eines zentralen Zeitzeugen und ist im Anhang dokumentiert.

„Wie verlief Ihr beruflicher Werdegang in Bezug auf die ERCP und Prof. Classen?“

Ich war Student an der Universität Erlangen, als dort die ersten ERCPs eingeführt wurden. Zu dieser Zeit leitete Prof. Ludwig Demling die Klinik, und Prof. Classen war einer seiner Oberärzte. Meinhard Classen lernte ich während einer Vertretungsvorlesung für Innere Medizin kennen, die er für Prof. Demling hielt. Am Ende der Vorlesung erwähnte Classen, dass er auf der Suche nach einem Doktoranden sei. Da ich zu diesem Zeitpunkt noch kein Dissertationsthema hatte, meldete ich mich, so entstand unser erster Kontakt. Classen wurde schließlich mein Doktorvater und Mentor, mit dem ich regelmäßig in fachlichem Austausch stand. Offenbar war er mit meiner Arbeit zufrieden, denn als er 1974 die Position des Chefarztes am Krankenhaus Hamburg-Barmbek übernahm, kontaktierte er mich und fragte, ob ich dort als Assistenzarzt beginnen wolle. Ich nahm das Angebot an und wechselte nach Hamburg-Barmbek.

„Wie erlebten Sie die ersten ERCP in Erlangen?“

Während die ersten ERCPs in Erlangen durchgeführt wurden, war ich noch Student. Schon damals war deutlich zu erkennen, dass in der endoskopischen Abteilung eine außergewöhnlich rege Tätigkeit herrschte, häufig standen Gastärzte aus dem In- und Ausland bis auf den Flur. Obwohl ich zu jener Zeit noch keinen direkten Bezug zur Gastroenterologie hatte, weckte diese Dynamik mein Interesse. Einmal gelang es mir, einen Blick in den Endoskopieraum zu werfen und zu beobachten, wie Prof. Demling und seine Oberärzte an der Anwendung und Weiterentwicklung endoskopischer Verfahren arbeiteten. Die Begeisterung und das internationale Interesse beeindruckten mich nachhaltig, insbesondere, da die Bildqualität der damaligen Endoskope noch sehr eingeschränkt war. Diese frühen Eindrücke legten den Grundstein für mein späteres Interesse an der Gastroenterologie. Als Prof. Classen 1973 die erste Papillotomie durchführte, war ich jedoch bereits nicht mehr in Erlangen tätig.

„Können Sie von Ihren ersten praktischen Erfahrungen mit der ERCP und der Endoskopie berichten?“

Meine ersten praktischen Erfahrungen mit der Endoskopie sammelte ich in den 1970er-Jahren während meiner Assistenzarztzeit am Krankenhaus Hamburg-Barmbek. Da die Endoskopie noch über keine eigene Röntgenabteilung verfügte, fanden die Untersuchungen in der Radiologie statt. Die Röntgenbilder mussten damals noch auf Film belichtet und in der Dunkelkammer entwickelt werden, was längere Wartezeiten mit sich brachte. Diese nutzten wir, um selbstständig das

Auffinden der Papille und andere technische Fertigkeiten zu üben. Eine zentrale Rolle spielten dabei erfahrene Oberärzte, in meinem Fall insbesondere Dr. Wurbs, sowie die Endoskopie-Schwestern, deren praktische Erfahrung für uns junge Ärztinnen und Ärzte von unschätzbarem Wert war. Eine ERCP dauerte zu jener Zeit oft eine Stunde oder länger.

„Wie hat sich der Erfolg der ersten Papillotomie in Deutschland verbreitet?“

Die Nachricht über die erfolgreiche Durchführung der ersten Papillotomie verbreitete sich sehr schnell. Dies war maßgeblich dem Engagement der Universitätsklinik Erlangen unter der Leitung von Prof. Demling zu verdanken, der das enorme Potenzial der neuen gastroenterologischen Entwicklungen früh erkannte und die Endoskopie zu einem seiner zentralen Schwerpunkte machte. Viele seiner Oberärzte übernahmen später leitende Positionen an anderen deutschen Kliniken und trugen so wesentlich zur Verbreitung der neuen Verfahren bei.

„Gab es damals auch einen Austausch mit den Japanern, welche zeitlich die Erste Papillotomie durchführten?“

Zwischen den deutschen und *japanischen* Pionieren bestand ein enger fachlicher Austausch. Die Zusammenarbeit war intensiv und von gegenseitigem Interesse geprägt, was die Weiterentwicklung der Methode entscheidend förderte.

„Welche Rolle spielten Industriepartner und technische Innovationen bei der Entwicklung der ERCP?“

Die Industrie spielte von Beginn an eine zentrale Rolle bei der Entwicklung der ERCP. Während deutsche Firmen wie Storz und Wolf in der Medizintechnik führend waren, konnten sie sich in der flexiblen Endoskopie nicht gegen die japanische Konkurrenz behaupten. Siemens, obwohl in Erlangen ansässig, griff die Entwicklung der Videoendoskopie zu spät oder gar nicht auf. Auch im Bereich des Zubehörs, etwa bei Kathetern oder Papillotomen, setzten sich japanische und US-amerikanische Hersteller durch. In den 1970er-Jahren verfügte die Klinik über einen engagierten Medizintechniker, Herrn Seubert, der Instrumente in einer kleinen Werkstatt individuell anpasste oder neu konstruierte. Diese enge Zusammenarbeit zwischen Ärztinnen, Ärzten und Technikern war für den Fortschritt der Endoskopie von unschätzbarem Wert.

„Wie gestaltete sich die Ausbildung zur ERCP damals – und welche Herausforderungen sehen Sie heute?“

Die Ausbildung in der ERCP war in den Anfangsjahren äußerst aufwendig und langwierig. Die technischen Möglichkeiten waren begrenzt, und die Fallzahlen niedrig. Man lernte vor allem durch Beobachtung und im direkten Austausch mit erfahrenen Kolleginnen, Kollegen und den sehr erfahrenen Endoskopie-Schwestern, die über ein enormes praktisches Wissen verfügten. Heute ist die Ausbildung dank Videoendoskopie, digitaler Bildgebung und strukturierter Curricula deutlich effizienter. Gleichzeitig entstehen neue Herausforderungen durch Zentralisierungstendenzen und Mindestmengenregelungen: Die Zahl der Ausbildungszentren nimmt ab, wodurch der praktische Zugang für den Nachwuchs schwieriger wird. Zukünftig werden

daher rotierende Ausbildungsmodelle und flexible Standortwechsel an Bedeutung gewinnen, um eine ausreichende praktische Erfahrung zu gewährleisten.

„Wie beurteilen Sie die Pionierleistungen, insbesondere in Erlangen?“

Unter der Leitung von Prof. Demling und mit Oberärzten wie Prof. Classen wurden in Erlangen bedeutende Pionierleistungen erbracht. Die Einführung der Papillotomie und anderer minimalinvasiver Verfahren stellte einen grundlegenden Paradigmenwechsel dar: Eingriffe konnten nun schonender und zugleich sicherer für die Patientinnen und Patienten durchgeführt werden, etwa bei der Behandlung von Gallensteinen. Das Erlanger Team hatte eine enorme Ausstrahlung auf Deutschland und Europa. Viele dort ausgebildete Oberärzte verbreiteten die neuen Methoden an anderen Kliniken. Bedauerlicherweise werden die europäischen Beiträge zur Entwicklung der Endoskopie in der internationalen Literatur, insbesondere in amerikanischen Publikationen, bis heute nicht immer angemessen gewürdigt.

12. Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Portrait Philipp Bozzini.....	9
Abbildung 2: Bozzini's Lichtleiter mit Spekulum	10
Abbildung 3: Jean Antonin Desormeaux	11
Abbildung 4: Desormeaux Endoskop	12
Abbildung 5: Adolf Kussmaul.....	13
Abbildung 6 Präsentation des Kussmaul Gastroskop's	14
Abbildung 7: Maximilian Nitze	15
Abbildung 8: Zystoskop nach Nitze (hergestellt von Josef Leiter).....	16
Abbildung 9: Ösophagoskop von Nitze/Leiter 1880 hergestellt.....	17
Abbildung 10: Johann von Mikulicz-Radecky	19
Abbildung 11: Mikulicz-Leiter Gastroskop	20
Abbildung 12: Zeichnung der Lage des Mikulicz Gastroskop's	21
Abbildung 13: Rudolf Schindler	22
Abbildung 14: Wolf-Schindler Gastroskop.....	23
Abbildung 15: Gastrokamera GTF-A der Firma Olympus (1966).....	24
Abbildung 16: Basil Isaac Hirschowitz.....	25
Abbildung 17: Flexibles Glasfaser Gastroduodenoskop (ca. 1965)	27
Abbildung 18: "Hand mit Ringen" Röntgenaufnahme von Anna Bertha Ludwig (Ehefrau W.C Röntgen).....	28
Abbildung 19: Wilhelm Conrad Röntgen	28
Abbildung 20: mobiler C-Bogen.....	29
Abbildung 21: Evarts Ambrose Graham	31
Abbildung 22: William S. McCune	32
Abbildung 23: Ludwig Demling und Meinhard Classen bei der Durchführung der ersten ERCP	35
Abbildung 24: endoskopische Darstellung der Papille	36
Abbildung 25: biliäre Plastikstents mit Einführungssystem	39
Abbildung 26: Video-Koloskop von Welch Allyn.....	41
Abbildung 27: Diagnostikkatheter.....	42
Abbildung 28: Papillotome	43
Abbildung 29: selbstexpandierender Metallstent im Choledochus bei und nach Freisetzung.....	44
Abbildung 30: Gallengangsteinentfernung mit Dormia-Körbchen	45
Abbildung 31: Problemstellung für die Hygiene.....	47
Abbildung 32: unauffällige ERCP	49
Abbildung 33: Papille und juxtapapilläres Divertikel	51
Abbildung 34: unauffällige MRCP.....	55

13. Literaturverzeichnis

1. Koch H. Endoskopie und Biopsie von Magen und Duodenum. In: Berndt H, Bünte H, Classen M, Demling L, Domschke W, Fahrländer H, u. a., Herausgeber. Magen [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer; 1974 [zitiert 18. Februar 2025]. S. 323–54. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-642-65881-5_7
2. Alkatout I, Pape JM, Mechler U, Mettler L, Maass N, Freytag D. Geschichte und Pioniere der Laparoskopie. Gynäkol. 1. Dezember 2021;54(12):888–96.
3. (PDF) Philipp Bozzini (1773–1809): The Earliest Description of Endoscopy [Internet]. [zitiert 17. Februar 2025]. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/322959774_Philipp_Bozzini_1773-1809_The_Earliest_Description_of_Endoscopy
4. Reuter M. Philipp Bozzini (1773–1809). Urol. 1. September 2006;45(9):1084–91.
5. Sabine Hock. Bozzini, Philipp | Frankfurter Personenlexikon [Internet]. [zitiert 18. Februar 2025]. Verfügbar unter: <https://frankfurter-personenlexikon.de/node/1848?treffer=bozzini>
6. Bozzini, Philipp [Internet]. EAU European Museum of Urology. [zitiert 19. Juli 2025]. Verfügbar unter: <https://history.uroweb.org/biographies/bozzini-philipp/>
7. Bozzini and the Lichtleiter [Internet]. EAU European Museum of Urology. [zitiert 19. Februar 2025]. Verfügbar unter: <https://history.uroweb.org/history-of-urology/diagnosis/looking-into-the-body/bozzini-and-the-lichtleiter/>
8. Hauri D. Ein Blick in die Blase—der Mensch dahinter. Urol Ausg A. 1. April 2005;44(4):401–7.
9. Desormeaux, Antonin Jean [Internet]. EAU European Museum of Urology. [zitiert 19. Februar 2025]. Verfügbar unter: <https://history.uroweb.org/biographies/desormeaux-antonin-jean/>
10. Desormeaux AJ. The Endoscope, and Its Application to the Diagnosis and Treatment of Urinary Affections. Chic Med J. 1867;24(4–5):177–208.
11. Desormeaux's Endoscope [Internet]. EAU European Museum of Urology. [zitiert 19. Februar 2025]. Verfügbar unter: <https://history.uroweb.org/history-of-urology/diagnosis/looking-into-the-body/desormeauxs-endoscope/>
12. Rehnberg V, Walters E. The life and work of Adolph Kussmaul 1822–1902: 'Sword swallows in modern medicine'. J Intensive Care Soc. Februar 2017;18(1):71–2.
13. Plöckstrasse 79 ESH. English: Adolf Kußmaul. [Internet]. 1902 [zitiert 19. Juli 2025]. Verfügbar unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Adolf_Kussmaul.jpg
14. International H. Through hardship comes success—Life of Adolph Kussmaul - Hektoen International [Internet]. 2023 [zitiert 19. Juli 2025]. Verfügbar unter: <https://hekint.org/2023/04/06/through-hardship-comes-success-life-of-adolph-kussmaul/>
15. Nitze, Maximilian [Internet]. EAU European Museum of Urology. [zitiert 12. Mai 2025]. Verfügbar unter: <https://history.uroweb.org/biographies/nitze-maximilian/>
16. Reuter M. [Maximilian Nitze (1848-1906): Obstetrician to urology]. Urol Ausg A. September 2006;45(9):1076–83.
17. Goubert K, Degroote H, De Vos M, Khalenkow M, Hindryckx P. Factors Associated with the Severity of ERCP-Related Complications: A Retrospective Single-Centre Study. J Clin Med. 9. Dezember 2024;13(23):7481.
18. Berci G, Forde KA. History of endoscopy: what lessons have we learned from the past? Surg Endosc. Januar 2000;14(1):5–15.
19. Nitze's Cystoscope [Internet]. EAU European Museum of Urology. [zitiert 19. Juli 2025]. Verfügbar unter: <https://history.uroweb.org/history-of-urology/diagnosis/looking-into-the-body/nitzes-cystoscope/>
20. Internationale Nitze-Leiter Forschungsgesellschaft für Endoskopie. Instrumentensammlung. 2024.
21. Monika Stefanek. Johann von Mikulicz-Radecki – das vergessene Genie der Chirurgie [Internet]. 2020 [zitiert 13. Mai 2025]. Verfügbar unter: <https://www.porta-polonica.de/de/atlas-der-erinnerungsorte/johann-von-mikulicz-radecki-das-vergessene-genie-der-chirurgie?page=1>
22. Kuczkowski J, Stankiewicz C, Kopacz A, Narozny W, Mikaszewski B, Drucis K. Jan Mikulicz-Radecki (1850-1905): pioneer of endoscopy and surgery of the sinuses, throat, and digestive tract. World J Surg. Oktober 2004;28(10):1063–7.
23. Jan Mikulicz-Radecki (1850-1905) – The forgotten surgical genius [Internet]. [zitiert 19. Juli 2025]. Verfügbar unter: <https://www.porta-polonica.de/en/atlas-of-remembrance-places/jan-mikulicz->

radecki-1850-1905-forgotten-surgical-genius?page=3

24. Dr Johann Mikulicz. Über Gastroskopie und Oesophagoskopie. Separatendruck aus dr „Wiener Medizinischen Presse“; 1881. 43 S.
25. Schäfer PK, Sauerbruch T. [Rudolf Schindler (1888--1968)--"father" of gastroscopy]. Z Gastroenterol. Juni 2004;42(6):550–6.
26. Rudolf Schindler [Internet]. Gegen das Vergessen. [zitiert 19. Juli 2025]. Verfügbar unter: <https://www.dgvs-gegen-das-vergessen.de/en/biografie/rudolf-schindler-en/>
27. Lee SW, Ross HM, Rivadeneira DE, Steele SR, Feingold DL, Herausgeber. Advanced Colonoscopy and Endoluminal Surgery [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2017 [zitiert 10. Juli 2025]. Verfügbar unter: <https://link.springer.com/10.1007/978-3-319-48370-2>
28. Achord JL, Muthusamy VR. 1 - The History of Gastrointestinal Endoscopy. In: Chandrasekhara V, Elmunzer BJ, Khashab MA, Muthusamy VR, Herausgeber. Clinical Gastrointestinal Endoscopy (Third Edition) [Internet]. Philadelphia: Elsevier; 2019 [zitiert 21. Mai 2025]. S. 2-11.e1. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323415095000013>
29. Campbell IS, Howell JD, Evans HH. Visceral Vistas: Basil Hirschowitz and the Birth of Fiberoptic Endoscopy. Ann Intern Med. 2. August 2016;165(3):214–8.
30. Schulman AR, Howell JD. From Hirschowitz to 2023: Modern Endoscopy and Beyond. Clin Gastroenterol Hepatol. 1. April 2024;22(4):684–8.
31. A brief history of radiology - Radiology Cafe [Internet]. 2019 [zitiert 7. Juli 2025]. Verfügbar unter: <https://www.radiologycafe.com/blog/a-brief-history-of-radiology/>
32. Wolf J, Seto T, Han JY, Reguart N, Garon EB, Groen HJM, u. a. Capmatinib in MET Exon 14–Mutated or MET-Amplified Non–Small-Cell Lung Cancer. N Engl J Med. 3. September 2020;383(10):944–57.
33. Glasser O. Fluoroskopie. Öffentliche Demonstration der Wirkung der Röntgenstrahlen. Anfänge der Röntgenkinematographie. In: Glasser O, Herausgeber. Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der Röntgenstrahlen [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer; 1959 [zitiert 7. Juli 2025]. S. 199–206. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-662-00956-7_11
34. Dr. Adrian Thomas. Origins of radiology [Internet]. Verfügbar unter: <https://www.bir.org.uk/useful-information/history-of-radiology/origins-of-radiology.aspx>
35. Goel A. Radiopaedia. [zitiert 21. Juli 2025]. Wilhelm Roentgen | Radiology Reference Article | Radiopaedia.org. Verfügbar unter: <https://radiopaedia.org/articles/wilhelm-roentgen-1?lang=us>
36. Photograph of a radiograph of hand taken by Wilhelm Conrad Röntgen, Germany, 1895 | Science Museum Group Collection [Internet]. [zitiert 21. Juli 2025]. Verfügbar unter: <https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co134691/photograph-of-a-radiograph-of-hand-taken-by-wilhelm-conrad-rontgen-germany-1895>
37. e.V DR. 100 Jahre Coolidge-Röhre | DRG.de [Internet]. [zitiert 16. Juli 2025]. Verfügbar unter: <https://www.drg.de>
38. Murphy A. Radiopaedia. [zitiert 7. Juli 2025]. Image intensifier | Radiology Reference Article | Radiopaedia.org. Verfügbar unter: <https://radiopaedia.org/articles/image-intensifier>
39. Keymling M. Das ERCP-Buch [Internet]. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2013 [zitiert 16. Juli 2025]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1055/b-002-44912>
40. Loose R. Dynamische Flat-Panel-Detektoren: Technik und Anwendungen. Radiol Up2date. 20. Mai 2011;11:135–46.
41. Zamora CA, Castillo M. Historical Perspective of Imaging Contrast Agents. Magn Reson Imaging Clin N Am. November 2017;25(4):685–96.
42. Evens RG. Roentgenologic Examination of the Gallbladder (Cholecystography). JAMA. 7. Januar 2009;301(1):100–1.
43. Evarts Ambrose Graham. Photograph. [Internet]. [zitiert 21. Juli 2025]. Verfügbar unter: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Evarts_Ambrose_Graham._Photograph._Wellcome_V0026470.jpg
44. Gustav K. Schulthess. Röntgen, Computertomografie & Co. [Internet]. [zitiert 16. Juli 2025]. Verfügbar unter: <https://link-1springer-1com-1007e95tq268f.han.ubl.jku.at/book/10.1007/978-3-662-53931-6>
45. McCune WS, Shorb PE, Moscovitz H. Endoscopic cannulation of the ampulla of vater: a preliminary report. Ann Surg. Mai 1968;167(5):752–6.
46. Sivak MV. ERCP at thirty years: an interview with Dr. William S. McCune (1909–1998).

- Gastrointest Endosc. 1. Dezember 1998;48(6):643–4.
47. Itoi T. Pancreatobiliary endoscopy: Diagnostic endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Dig Endosc.* 2022;34(S2):99–101.
 48. Oi I, Takemoto T, Kondo T. Fiberduodenoscope: Direct Observation of the Papilla of Vater. *Endoscopy.* 8. Dezember 2008;1:101–3.
 49. Takagi K, Ikeda S, Nakagawa Y, Sakaguchi N, Takahashi T, Kumakura K, u. a. Retrograde Pancreatography and Cholangiography by Fiber Duodenoscope. *Gastroenterology.* September 1970;59(3):445–52.
 50. Classen M. Back to the future: the first papillotomy at Erlangen. *Gastrointest Endosc.* 1. Mai 2000;51(5):637.
 51. Carr-Locke DL. ERCP: a very personal history. *Clin Liver Dis.* 3. April 2023;22(6):211–8.
 52. Endoskopie ERCP Atlas Ordensklinikum Linz.
 53. Kawai K. In the beginning. *Gastrointest Endosc.* 1. Mai 2000;51(5):637–8.
 54. Kozarek RA. The Past, Present, and Future of Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography. *Gastroenterol Hepatol.* Oktober 2017;13(10):620–2.
 55. Sridhar S, Wu GY, Herausgeber. *Diagnostic and Therapeutic Procedures in Gastroenterology: An Illustrated Guide* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2018 [zitiert 21. Mai 2025]. (Clinical Gastroenterology). Verfügbar unter: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-62993-3>
 56. Soehendra N, Reynders-Frederix V. [Palliative biliary duct drainage. A new method for endoscopic introduction of a new drain]. *Dtsch Med Wochenschr* 1946. 9. Februar 1979;104(6):206–7.
 57. Huibregtse K, Cheng J, Coene PP, Fockens P, Tytgat GN. Endoscopic placement of expandable metal stents for biliary strictures--a preliminary report on experience with 33 patients. *Endoscopy.* November 1989;21(6):280–2.
 58. Neuhaus H, Hagenmüller F, Classen M. Self-expanding biliary stents: preliminary clinical experience. *Endoscopy.* September 1989;21(5):225–8.
 59. Lee JE, Daram S. Instruments and Accessories for Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography (ERCP). In: Sridhar S, Wu GY, Herausgeber. *Diagnostic and Therapeutic Procedures in Gastroenterology: An Illustrated Guide* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2018 [zitiert 21. Mai 2025]. S. 349–55. Verfügbar unter: https://doi.org/10.1007/978-3-319-62993-3_27
 60. Endoskopie ERCP Kurs Theorie Ordensklinikum Linz.
 61. Tanisaka Y, Hawes R. Peroral cholangioscopy: past, present and future. *Clin Endosc.* Mai 2025;58(3):360–9.
 62. Parsi MA. Peroral cholangioscopy in the new millennium. *World J Gastroenterol.* 7. Januar 2011;17(1):1–6.
 63. Ha J, Son BK. Current Issues in Duodenoscopy-Associated Infections: Now Is the Time to Take Action. *Clin Endosc.* September 2015;48(5):361–3.
 64. Alfa MJ, Singh H, Duerksen DR, Schultz G, Reidy C, DeGagne P, u. a. Improper positioning of the elevator lever of duodenoscopes may lead to sequestered bacteria that survive disinfection by automated endoscope reprocessors. *Am J Infect Control.* Januar 2018;46(1):73–5.
 65. Peter S, Bang JY, Varadarajulu S. Single-use duodenoscopes: where are we and where are we going? *Curr Opin Gastroenterol.* September 2021;37(5):416–20.
 66. 021-0221_S2k_KF_Qualitaetsanforderungen-gastrointestinale-Endoskopie_2025-01.pdf [Internet]. [zitiert 22. Mai 2025]. Verfügbar unter: https://register.awmf.org/assets/guidelines/021-0221_S2k_KF_Qualitaetsanforderungen-gastrointestinale-Endoskopie_2025-01.pdf
 67. Hochberger J, Meves V, Ginsberg GG. 50 - Difficult Cannulation and Sphincterotomy. In: Chandrasekhara V, Elmunzer BJ, Khashab MA, Muthusamy VR, Herausgeber. *Clinical Gastrointestinal Endoscopy (Third Edition)* [Internet]. Philadelphia: Elsevier; 2019 [zitiert 5. September 2025]. S. 563–570.e2. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323415095000505>
 68. Dumonceau JM, Kapral C, Aabakken L, Papanikolaou IS, Tringali A, Vanbiervliet G, u. a. ERCP-related adverse events: European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE) Guideline. *Endoscopy.* 20. Dezember 2019;52:127–49.
 69. Iorgulescu A, Sandu I, Turcu F, Iordache N. Post-ERCP acute pancreatitis and its risk factors. *J Med Life.* 15. März 2013;6(1):109–13.
 70. Maieron A, Duller C, Püspök A, Steiner E, Kapral C. SASE, Success and Adverse event Score in Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography: a Novel Grading System. *BMC Gastroenterol.* 15. September 2023;23:314.

71. Kapral C, Duller C, Wewalka F, Kerstan E, Vogel W, Schreiber F. Case volume and outcome of endoscopic retrograde cholangiopancreatography: results of a nationwide Austrian benchmarking project. *Endoscopy*. August 2008;40(8):625–30.
72. ERCP-Benchmarking Studie Jahresergebnisse 2024 am Ordensklinikum Linz.
73. Rasterzeugnis Diplom interventionelle Endoskopie 2024.
74. Vila JJ, Fernández-Urién I, Carrascosa J. EUS and ERCP: A rationale categorization of a productive partnership. *Endosc Ultrasound*. 21. Dezember 2020;10(1):25–32.
75. Morell B, The FO, Gubler C. Die flexible Endosonographie in der Gastroenterologie: die Entwicklung von der Diagnostik zur Therapie. *Schweiz Gastroenterol*. 1. Dezember 2020;1(4):121–9.
76. Griffin N, Charles-Edwards G, Grant LA. Magnetic resonance cholangiopancreatography: the ABC of MRCP. *Insights Imaging*. 28. September 2011;3(1):11–21.
77. Kim T, Kim J, Choi HS, Kim ES, Keum B, Jeon YT, u. a. Artificial intelligence-assisted analysis of endoscopic retrograde cholangiopancreatography image for identifying ampulla and difficulty of selective cannulation. *Sci Rep*. 16. April 2021;11(1):8381.
78. Araújo CC, Frias J, Mendes F, Martins M, Mota J, Almeida MJ, u. a. Unlocking the Potential of AI in EUS and ERCP: A Narrative Review for Pancreaticobiliary Disease. *Cancers*. Januar 2025;17(7):1132.
79. Aminoff H, Meijer S, Groth K, Arnelo U. User Experience in Remote Surgical Consultation: Survey Study of User Acceptance and Satisfaction in Real-Time Use of a Telemedicine Service. *JMIR Hum Factors*. 30. November 2021;8(4):e30867.
80. Dropiewski K. Shanghai Operation Robot announced the first Robot-assisted human clinical trial of biliary stent placement surgery [Internet]. *Cardiac Vascular News*. 2022 [zitiert 29. Juni 2025]. Verfügbar unter: <https://cardiovascularnews.com/shanghai-operation-robot-announced-the-first-robot-assisted-human-clinical-trial-of-biliary-stent-placement-surgery/>