

J. A. Nakhosteen (Hrsg.)

B. Khanavkar (Hrsg.)

K. Darwiche (Hrsg.)

A. Scherff (Hrsg.)

E. Hecker (Hrsg.)

S. Ewig (Hrsg.)

Atlas und Lehrbuch der Thorakalen Endoskopie

Bronchoskopie, Thorakoskopie

4., vollständig neu bearbeitete und aktualisierte Auflage



*Herz-Lungen-Tischmodell nach Nakhosteen
Herstellung: CLA, Coburg*

J. A. Nakhosteen (Hrsg.)
B. Khanavkar (Hrsg.)
K. Darwiche (Hrsg.)
A. Scherff (Hrsg.)
E. Hecker (Hrsg.)
S. Ewig (Hrsg.)

Atlas und Lehrbuch der Thorakalen Endoskopie

Bronchoskopie, Thorakoskopie

4., vollständig neu bearbeitete und aktualisierte Auflage

Mit 704 Abbildungen und 58 Tabellen

Prof. Dr. med. J.A. Nakhosteen
Chefarzt der Klinik für Pneumologie
und ärztlicher Direktor a. D.
Augusta-Kranken-Anstalt Bochum
Bergstr. 26
44791 Bochum

Dr. med B. Khanavkar
Oberärztin für Pneumologie und Innere Medizin
an der Klinik für Innere Medizin
Altmark-Klinikum Krankenhaus Salzwedel
Brunnenstr. 1
29410 Salzwedel

Dr. med. K. Darwiche
Ltd. Oberarzt der Klinik
für Interventionelle Pneumologie
Ruhrlandklinik Essen
Westdeutsches Lungenzentrum
am Universitätsklinikum Essen gGmbH
– Universitätsklinikum–
Tüschener Weg 40
45239 Essen

Dr. med. A. Scherff
Thoraxzentrum Ruhrgebiet
Oberarzt der Klinik für Pneumologie
und Infektiologie
Augusta-Kranken-Anstalt Bochum
Bergstr. 26
44791 Bochum

Dr. med. Dipl.-Oec. E. Hecker
Thoraxzentrum Ruhrgebiet
Chefarzt der Klinik für Thoraxchirurgie
Evangelisches Krankenhaus Herne
Hordeler Str. 7–9
44651 Herne

Prof. Dr. med. S. Ewig
Thoraxzentrum Ruhrgebiet
Chefarzt der Kliniken für Pneumologie
und Infektiologie
Evangelisches Krankenhaus Herne und
Augusta-Kranken-Anstalt Bochum
Bergstr. 26
44791 Bochum

ISBN 978-3-540-79939-9 Springer Medizin Verlag Heidelberg

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Springer Medizin Verlag
springer.de

© Springer Medizin Verlag Heidelberg 2009

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Planung: Peter Bergmann, Heidelberg
Projektmanagement: Ina Conrad und Claudia Kiefer, Heidelberg
Lektorat: Ursula Illig, Stockdorf
Einbandgestaltung: deblik Berlin
Satz und Digitalisierung der Abbildungen: Fotosatz-Service Köhler GmbH – Reinhold Schöberl, Würzburg

SPIN: 10817467

Gedruckt auf säurefreiem Papier 2111 – 5 4 3 2 1 0

Vorwort

Seit dem Erscheinen der 4. Auflage des »Lehrbuch und Atlas der Bronchoskopie und Thorakoskopie« von John Nakhosteen und Koautoren sind 14 Jahre vergangen. In der Zwischenzeit haben diese Techniken in der pneumologischen Diagnostik einen rasanten Fortschritt gemacht. Wesentliche Durchbrüche waren dabei die Entwicklung der Chip-Technologie bzw. Videobronchoskopie, die eine deutliche Verbesserung der Bildqualität und -dokumentation mit sich gebracht hat, die Einführung des endobronchialen Ultraschalls zur besseren Auffindung peripherer Prozesse sowie zur Evaluation mediastinaler und hilärer Lymphknoten. Außerdem wurde die »internistische« videoassistierte Thorakoskopie durch das neu entwickelte semiflexible Thorakoskop verbessert. Dazu kommen bedeutende Entwicklungen auf dem Gebiet der interventionellen Bronchologie, die heute bereits zum Teil in flexibler Technik und Lokalanästhesie möglich sind.

Diese Fortschritte lassen es umso wichtiger erscheinen, dass die Grundlagen der Bronchoskopie und Thorakoskopie in methodischer und praktischer Hinsicht systematisch erlernt werden können. Aus diesen Gründen haben sich die Autoren dieses Buches entschieden, im Rahmen des bewährten Grundkonzepts des »Nakhosteen« die vielfältigen wichtigen Neuerungen darzustellen. Nichtsdestoweniger hat dies eine vollständige Neubearbeitung des Textes und Bildmaterials erforderlich gemacht. Die Leserin und der Leser können somit sicher gehen, gleichzeitig in den Genuss der Vorteile einer auf langjähriger Erfahrung basierenden praxisorientierten Darstellung bewährter Techniken der Bronchoskopie und Thorakoskopie sowie einer umfassenden und ausgewogenen Darlegung aller aktuellen Entwicklungen auf diesen Gebieten zu kommen.

Das vorliegende Buch reflektiert die Erfahrungen und Sichtweisen des Teams des vor einigen Jahren etablierten »Thoraxzentrums Ruhrgebiet«. In unserem Zentrum bemühen wir uns besonders um eine intensive Interdisziplinarität der Pneumologie, Thoraxchirurgie und Anästhesiologie. Diese Interdisziplinarität scheint durch alle Beiträge dieses Buches durch – wie wir meinen, zum Vorteil der Inhalte. Dabei leitet die Autoren weniger der Wunsch, alles einheitlich zu betrachten, sondern die besonderen Sichtweisen und Erfahrungen konservativer und chirurgischer Disziplinen für eine optimale Behandlung unserer Patienten fruchtbar zu machen, ist doch die Trennung dieser Disziplinen eine zwar notwendige, aber immer auch künstliche. Schließlich basiert alle Fertigkeit und Erfahrung in der Endoskopie nicht zuletzt auf einem hochqualifizierten Endoskopie-Team; unseren Schwestern und Pflegern an beiden Standorten gilt daher unser besonderer Dank.

Unser Buch richtet sich somit an alle endoskopisch tätigen und interessierten Kolleginnen und Kollegen aus Innerer Medizin, Pneumologie, Chirurgie und Thoraxchirurgie, die lungenkranke Patienten versorgen. Ebenso mag es Pflegekräften in ihrer Ausbildung zur Fachkraft Endoskopie sowie in ihrer täglichen Arbeit ein nützlicher Leitfaden sein. Möge das Buch dazu beitragen, die Versorgung unserer Patienten weiter zu verbessern!

Die Autoren
Herne und Bochum, im März 2009

Inhaltsverzeichnis

1	Gustav Killian und Shigeto Ikeda: die Väter der Bronchoskopie	1	3.2.2 Kontraindikationen	39	
	<i>J.A. Nakhosteen</i>		3.2.3 Prämedikation	39	
1.1	Gustav Killian und die Entwicklung der starren Bronchoskopie	2	3.2.4 Monitoring	40	
1.1.1	Studienzeit	2	3.2.5 Lokalanästhesie	41	
1.1.2	Klinische Weiterbildung	2	3.2.6 Untersuchungsablauf	42	
1.1.3	Niederlassung in Mannheim	2	3.2.7 Methoden der Probengewinnung	47	
1.1.4	Berufung nach Freiburg	3	3.2.8 Bildgebung während der Bronchoskopie	55	
1.1.5	Berufung nach Berlin	5	3.2.9 Nachbereitung des Patienten	60	
1.1.6	Erster Weltkrieg	5	3.3 Starre Bronchoskopie	60	
1.1.7	Abschied	5	3.3.1 Anästhesie	60	
1.2	Shigeto Ikeda und die Entwicklung des flexiblen Bronchoskops	6	3.3.2 Intubationsverfahren	62	
1.2.1	Gestaltende Einflüsse	6	3.3.3 Instrumentierung	64	
1.2.2	Eine Idee reift heran	7	3.4 Interventionelle Verfahren	65	
1.2.3	»Never give up«	8	3.4.1 Debridement/Dilatation	65	
1.3	Killian und Ikeda: Gemeinsamkeiten und Kontraste	9	3.4.2 Laserkoagulation	66	
1.3.1	Gemeinsamkeiten	9	3.4.3 Argon-Plasma-Koagulation	67	
1.3.2	Kontraste	9	3.4.4 Elektrische Hochfrequenztherapie	69	
2	Instrumentarium	11	3.4.5 Kryotherapie	71	
	<i>B. Khanavkar, K. Darwiche</i>		3.4.6 Photodynamische Therapie	72	
2.1	Flexible Bronchoskopie	12	3.4.7 Brachytherapie	73	
2.1.1	Aufbauelemente	12	3.4.8 Stent-Implantation	75	
2.1.2	Lichtquelle	15	Literatur	85	
2.1.3	Bildverarbeitung	16	4	Pflege und Hygiene	87
2.1.4	Spezifikationen	16		<i>S. Ewig</i>	
2.1.5	Spezialfunktionen	17	4.1	Einleitung	88
2.1.6	Zubehör	22	4.2	Prinzipien der Reinigung, Desinfektion und Sterilisation	88
2.1.7	Bronchologie-Einheit	26	4.3	Praktische Durchführung	88
2.2	Starre Bronchoskopie	27	4.4	Aufbewahrung	89
2.2.1	Aufbauelemente	27	4.5	Qualitätssicherung	89
2.2.2	Bildverarbeitung	27	4.6	Einmalmaterialien versus Wiederaufbereitung	90
2.2.3	Bronchoskoptypen	28	4.7	Vermeidbare Schäden	90
2.2.4	Beatmungsanschlüsse	29		Literatur	90
2.2.5	Zubehör	29	5	Indikationen	91
	Literatur	30		<i>B. Khanavkar, S. Ewig, K. Darwiche, E. Hecker, J. Volmerig, M. Bollow</i>	
3	Standardverfahren – Empfehlungen	31	5.1	Diagnostische Bronchoskopie	93
	<i>B. Khanavkar, K. Darwiche</i>		5.1.1	Tumordiagnostik	93
3.1	Für alle thorakalen Endoskopien relevante Voraussetzungen	33	5.1.2	Sonderfall Frühkarzinom	107
3.1.1	Aufklärung – Einverständniserklärung	33	5.1.3	Bronchoskopische Erregerdiagnostik bei bronchopulmonalen Infektionen	113
3.1.2	Dokumentation	33	5.1.4	Bronchoskopische Diagnostik interstitieller Lungenerkrankungen	124
3.1.3	Endokarditisprophylaxe	33	5.1.5	Hämoptysen ohne radiologisches Substrat	134
3.1.4	Qualitätskontrolle	35	5.1.6	Chronischer Husten	134
3.1.5	Probenverarbeitung	35	5.1.7	Vocal cord dysfunction (VCD-Syndrom)	135
3.2	Flexible Bronchoskopie	37	5.2	Therapeutische Bronchoskopie	135
3.2.1	Patientenvorbereitung	37	5.2.1	Atemwegsmanagement	135
			5.2.2	Bronchiallavage	143

5.2.3	Fremdkörperextraktion	144	7	Bronchoskopie in der Thoraxchirurgie	195
5.2.4	Spezialfälle	145		<i>E. Hecker, M. Oggiano</i>	
5.3	Bronchoskopische Lungenvolumenresektion	150	7.1	Einleitung	196
5.3.1	Einleitung	150	7.2	Diagnostische Bronchoskopie	196
5.3.2	Entwicklung der bronchoskopischen Lungenvolumenreduktion	151	7.2.1	Präoperativ	196
5.3.3	Ein- und Ausschlusskriterien der BLVR	152	7.2.2	Intraoperativ	197
5.3.4	Klinisch-technische Evaluation	152	7.2.3	Frühpostoperativ	198
5.3.5	Rehabilitation	152	7.2.4	Spätpostoperativ	198
5.3.6	Ventilimplantation	152	7.3	Therapeutische Bronchoskopie	201
5.3.7	Risiken	153	7.3.1	Sekretabsaugung	201
5.3.8	Nachbehandlung	153	7.3.2	Diagnose von Bronchusstumpf- und Anastomoseninsuffizienzen	201
	Literatur	154	7.3.3	Therapeutische Verfahren bei Stumpfsuffizienz	202
6	Sicherung und Seitentrennung der Atemwege	157	7.3.4	Therapeutische Verfahren bei Anastomoseninsuffizienz	203
	<i>K. Wiedemann</i>		7.3.5	Therapeutische Verfahren bei postoperativen Stenosen	204
6.1	Indikationen	159	7.3.6	Therapeutische Verfahren bei bronchopleuralen Parenchymfisteln	204
6.2	Luftwege	159	7.3.7	Therapeutische Verfahren bei endobronchialen Blutungen	205
6.2.1	Atemhilfen	159	7.4	Dilatationstracheotomie	205
6.2.2	Gesichtsmasken	161	7.4.1	Historische Entwicklung	205
6.2.3	Supraglottische Luftwege	162	7.4.2	Vorteile der Dilatationstracheotomie	206
6.2.4	Endotracheale Luftwege	168	7.4.3	Indikationen und Kontraindikationen	206
6.2.5	Infraglottische Luftwege	170	7.4.4	Technik der perkutanen Dilatationstracheotomie	206
6.3	Endoskope	171	7.4.5	Komplikationen	207
6.3.1	Laryngoskope	171		Literatur	208
6.3.2	Fiberoptische Bronchoskope	172	8	Komplikationen	209
6.4	Hilfsmittel zur Handhabung des schwierigen Atemweges	173		<i>B. Khanavkar</i>	
6.4.1	Luftwegsadapter	173	8.1	Einleitung	210
6.4.2	Intubationshilfen	173	8.2	Blutung	210
6.5	Der schwierige Atemweg	174	8.2.1	Verhalten im Fall einer schweren Blutung	211
6.5.1	Definition des schwierigen Atemweges	174	8.2.2	Blutstillung mittels starrer Technik	212
6.5.2	Hinweise auf den schwierigen Atemweg	175	8.2.3	Nichtbronchoskopische Methoden zur Blutstillung	212
6.5.3	Handhabung des erwartet schwierigen Atemweges	176	8.3	Infektionen	212
6.5.4	Handhabung des unerwartet schwierigen Atemweges	179	8.3.1	Infekte der unteren Atemwege	213
6.6	Seitentrennung der Atemwege	180	8.3.2	Nosokomiale Infektionen	213
6.6.1	Indikationen	180	8.4	Pneumothorax	214
6.6.2	Instrumente	181	8.4.1	Präventive Maßnahmen während und nach der Untersuchung	214
6.6.3	Seitentrennung der Atemwege bei schwieriger Intubation	187	8.4.2	Management des iatrogenen Pneumothorax	215
6.7	Ein-Lungen-Ventilation	190	8.4.3	Aufklärung und Dokumentation	215
6.7.1	Indikationen	190	8.5	Dyspnoe/Entsättigung	216
6.7.2	Pathophysiologische Gesichtspunkte	190	8.6	Laryngospasmus, schwer zu untersuchende Patienten	216
6.7.3	Risiko der Hypoxämie	190	8.7	Apparative Komplikationen	217
6.7.4	Maßnahmen zu Sicherung der Oxygenierung	191	8.7.1	Beschädigung der Instrumente	217
6.7.5	Ein-Lungen-Ventilation und videoassistierte Thoraxchirurgie	192		Literatur	220
	Literatur	192			

9	Weiterbildung mit Betonung der pädiatrischen Bronchoskopie	221			
	<i>J.A. Nakhosteen</i>				
9.1	Notwendigkeit von Übungen am Phantom	222			
9.2	Welches Phantom?	222			
9.3	Anfänger	222			
9.4	Fortgeschrittene	223			
9.5	Pädiatrische Bronchoskopie	224			
9.5.1	Flexible Bronchoskopie	224			
9.5.2	Notwendigkeit der starren Technik	224			
9.5.3	Starre Bronchoskopie	224			
9.5.4	Fremdkörperaspiration	224			
9.6	Intubation eines ET-Tubus unter Führung eines flexiblen Bronchoskops	224			
9.7	Empfehlungen der Fachgesellschaft zur Qualitätssicherung in der Bronchoskopie: Kommentar	226			
10	Internistische Thorakoskopie	227			
	<i>A. Scherff</i>				
10.1	Einleitung	229			
10.1.1	Historie der Thorakoskopie und neuere Entwicklungen	229			
10.2	Indikationen	230			
10.3	Pleuraergussdiagnostik	231			
10.3.1	Ätiologie	231			
10.3.2	Anamnese und klinische Untersuchung	231			
10.3.3	Bildgebende Diagnostik	232			
10.3.4	Punktatanalyse	232			
10.3.5	Differenzialdiagnose Transsudat – Exsudat	233			
10.3.6	Diagnose des malignen Pleuraergusses	234			
10.4	Therapieoptionen beim malignen Pleuraerguss	235			
10.4.1	Prognose	235			
10.4.2	Standardverfahren	235			
10.5	Allgemeine Vorbereitung	236			
10.5.1	Präoperative Diagnostik	236			
10.5.2	Patientenvorbereitung	236			
10.5.3	Lokalanästhesie und Analgosedierung	237			
10.5.4	Allgemeinanästhesie	239			
10.5.5	Instrumentarium	241			
10.5.6	Raumbedarf	243			
10.6	Verfahren	244			
10.6.1	Zugang und Pneumothoraxanlage	244			
10.6.2	Endoskopische Anatomie	245			
10.6.3	Biopsien	247			
10.6.4	Pleurodese	248			
10.6.5	Drainage	250			
10.6.6	Drainageanlage außerhalb von Thorakoskopien	251			
10.6.7	Postoperatives Management	251			
10.7	Alternative: getunnelter Pleurakatheter	254			
10.8	Sonderfall: komplizierter parapneumonischer Erguss/Pleuraempyem	255			
10.8.1	Definition und Klassifizierung	255			
10.8.2	Diagnostik	256			
10.8.3	Therapie	257			
10.9	Abgrenzung internistische/chirurgische Thorakoskopie sowie Kontraindikationen und Komplikationen der Thorakoskopie	259			
10.9.1	Abgrenzung internistische/chirurgische Thorakoskopie	259			
10.9.2	Kontraindikationen der Thorakoskopie	260			
10.9.3	Komplikationen der Thorakoskopie	260			
	Literatur	260			
11	Bildatlas der Bronchoskopie und Thorakoskopie	261			
	<i>B. Khanavkar, A. Scherff</i>				
11.1	Einleitung	262			
11.1.1	Anatomie der Nase und des Rachens	262			
11.1.2	Anatomie des Tracheobronchialsystems	262			
11.2	Normale Anatomie	265			
11.3	Normvarianten	283			
11.4	Veränderungen in den oberen Atemwegen	285			
11.5	Akute und chronisch entzündliche Veränderungen	288			
11.6	Sonstige nicht-maligne Strukturveränderungen	291			
11.7	Tumorzeichen	294			
11.8	Tumorbefunde	296			
11.9	Pathologische Befunde in der Trachea	314			
11.10	Endoskopische Aspekte infektiöser Erkrankungen	317			
11.11	Seltener endoskopische Aspekte	322			
11.12	Methoden	329			
11.13	Fallbeispiele	344			
	Sachverzeichnis	357			

Autorenverzeichnis

Prof. Dr. med. M. Bollow

Thoraxzentrum Ruhrgebiet
Klinik für Radiologie
Augusta-Kranken-Anstalt Bochum
Bergstr. 26
44791 Bochum

Dr. med. K. Darwiche

Ltd. Oberarzt der Klinik für Interventionelle Pneumologie
Ruhrlandklinik Essen
Westdeutsches Lungenzentrum
am Universitätsklinikum Essen gGmbH
– Universitätsklinikum –
Tüschener Weg 40
45239 Essen

Prof. Dr. med. S. Ewig

Thoraxzentrum Ruhrgebiet
Chefarzt der Kliniken für Pneumologie und Infektiologie
Evangelisches Krankenhaus Herne und
Augusta-Kranken-Anstalt Bochum
Bergstr. 26
44791 Bochum

Dr. med. Dipl.-Oec. E. Hecker

Thoraxzentrum Ruhrgebiet
Chefarzt der Klinik für Thoraxchirurgie
Evangelisches Krankenhaus Herne
Hordeler Str. 7–9
44651 Herne

Dr. med. B. Khanavkar

Oberärztin für Pneumologie und Innere Medizin
an der Klinik für Innere Medizin
Altmark-Klinikum Krankenhaus Salzwedel
Brunnenstr. 1
29410 Salzwedel

Prof. Dr. med. J.A. Nakhosteen

Chefarzt der Klinik für Pneumologie und ärztlicher Direktor a. D.
Augusta-Kranken-Anstalt Bochum
Bergstr. 26
44791 Bochum

Dr. med. M. Oggiano

Thoraxzentrum Ruhrgebiet
Assistentin der Klinik für Thoraxchirurgie
Evangelisches Krankenhaus Herne
Hordeler Str. 7–9
44651 Herne

Dr. med. A. Scherff

Thoraxzentrum Ruhrgebiet
Oberarzt der Klinik für Pneumologie und Infektiologie
Augusta-Kranken-Anstalt Bochum
Bergstr. 26
44791 Bochum

Dr. med. J. Volmerig

Thoraxzentrum Ruhrgebiet
Oberarzt der Klinik für Thoraxchirurgie
Evangelisches Krankenhaus Herne
Hordeler Str. 7–9
44651 Herne

Prof. Dr. med. K. Wiedemann

Panoramastr. 103
69126 Heidelberg

1 Gustav Killian und Shigeto Ikeda: die Väter der Bronchoskopie

J.A. Nakhosteen

- 1.1 Gustav Killian und die Entwicklung der starren Bronchoskopie – 2**
 - 1.1.1 Studienzeit – 2
 - 1.1.2 Klinische Weiterbildung – 2
 - 1.1.3 Niederlassung in Mannheim – 2
 - 1.1.4 Berufung nach Freiburg – 3
 - Die erste Tracheobronchoskopie – 3
 - Die erste Fremdkörperentfernung – 4
 - Die Resonanz – 4
 - Teamarbeit und der Fall Corina – 4
 - 1.1.5 Berufung nach Berlin – 5
 - 1.1.6 Erster Weltkrieg – 5
 - 1.1.7 Abschied – 5

- 1.2 Shigeto Ikeda und die Entwicklung des flexiblen Bronchoskops – 6**
 - 1.2.1 Gestaltende Einflüsse – 6
 - 1.2.2 Eine Idee reift heran – 7
 - Ikedas erstes Bronchofiberskop – 7
 - Treffen mit Saccomanno 1972 – 7
 - Der Siegeszug des Fiberskops – 8
 - 1.2.3 »Never give up« – 8
 - Erster Weltkongress für Bronchologie (WCB) 1978 und World Association for Bronchology (WAB) – 8
 - Weiterentwicklungen – 8
 - Elektronische Bronchoskope – 8

- 1.3 Killian und Ikeda: Gemeinsamkeiten und Kontraste – 9**
 - 1.3.1 Gemeinsamkeiten – 9
 - 1.3.2 Kontraste – 9

1.1 Gustav Killian und die Entwicklung der starren Bronchoskopie

»Ich glaube, ich habe eine wichtige Entdeckung gemacht!«. Als Gustav Killian (1860–1921), Chef der Poliklinik für Oto-Rhinologie der Universitätskliniken Freiburg diesen knappen Satz in sein Notizbuch schrieb, hatten unermüdlicher Fleiß, Ideenreichtum und technischer Verstand, manuelles Geschick und wagemutiges Vorgehen des erst 36-jährigen Professors das Fundament moderner Lungen-diagnostik und -therapie geschaffen: den direkten Zugang in das Tracheobronchialsystem.

■ Tab. 1.1 zeigt die wichtigsten beruflichen Stationen Gustav Kilians.

1.1.1 Studienzeit

Gustav Killian wurde 1860 in Mainz geboren. Nach dem Abitur 1878 begann er das Medizinstudium zunächst in Straßburg, wo er nach 4 Semestern die ärztliche Vorprüfung mit bester Beurteilung absolvierte. Schon damals fiel er durch hervorragende Kenntnisse in der Anatomie auf. Die klinischen Semester verbrachte er in Berlin, Freiburg i. Br. (■ Abb. 1.1) und Heidelberg. Dort legte er 1884 das Staatsexamen mit summa cum laude ab.

1.1.2 Klinische Weiterbildung

Killian begann seine klinische Weiterbildung am Städtischen Krankenhaus in Mannheim, musste dann aber ab Oktober 1884 seinen Militärdienst in Freiburg ableisten. In seiner Freizeit hatte er dort Gelegenheit, in dem von Professor Robert Wiedersheim geleiteten anatomischen Institut seinen wissenschaftlichen Neigungen und Interessen nachzugehen. Welchen Einfluss diese Tätigkeit und die



■ Abb. 1.1. Killian in seinem letzten Studienjahr als Medizinstudent in Freiburg

Verbindung zu Wiedersheim einmal für ihn haben würden, ahnte er damals noch nicht.

1885 setzte er seine Ausbildung am Bürgerhospital in Frankfurt/Main fort. Die Erwartung, dort als Assistent fest angestellt zu werden, erfüllte sich nicht. Er erschien mit seinen 26 Jahren zu jung und verfügte als »Zugereister« wohl nicht über die notwendigen Beziehungen.

1886 begann er eine oto-laryngologische Weiterbildung bei Fränkel und Hartmann in Berlin, die durch ein gewaltiges Arbeitspensum gekennzeichnet war. In diese Zeit fallen auch seine ersten Erfindungen wie beispielsweise die eines in einen Fächer oder Spazierstock integrierten Hörapparats. Durch Vielseitigkeit, Talent, enormen Fleiß und das Streben nach umfangreichen praktischen Erfahrungen verfügte Killian schon Ende 1886 über genügend allgemein- und fachärztliche Fähigkeiten, die ihn zu einer Niederlassung befähigten.

1.1.3 Niederlassung in Mannheim

Am 17. Januar 1887 gab er die Eröffnung seiner Praxis in Mannheim bekannt. Sein Können brachte ihm schnell einen weit über die Stadtgrenze hinaus eilenden Ruf ein. Doch ein unerwartetes Ereignis sollte schon bald eine bedeutsame berufliche Veränderung bewirken.

Der damalige Leiter der Poliklinik für Oto-Rhinologie der Universitätskliniken Freiburg, Hack, verunglückte 1887 tödlich. Ein Nachfolger wurde dringend gesucht. Auf Befragen nach einem geeigneten Facharzt schlug Prof. Hartmann, inzwischen Chefarzt im Virchow-Krankenhaus Berlin, dem für die Neubesetzung der Vakanz mitverantwortlich Professor Wiedersheim Gustav Killian vor. Wiedersheim erinnerte sich gut an den einstigen außergewöhnlichen Studenten und bat ihn, sich um die Stelle zu bewerben.

■ Tab. 1.1. Gustav Killian – die wichtigsten Daten zu Leben und Karriere

02.06.1860	Geboren in Mainz
1878–1884	Medizinstudium
1884–1886	Weiterbildung: Mannheim, Frankfurt, Berlin
17.01.1887	Niederlassung in Mannheim
02.05.1887	Leitung der Poliklinik für Oto-Rhinologie Freiburg
1888	Privatdozent, Chef der Poliklinik Freiburg
1892	Professor, Ordinarius
30.03.1897	Erste Fremdkörperentfernung
01.10.1911	Ordinarius Charité Berlin
24.02.1921	Verstorben

1.1.4 Berufung nach Freiburg

Killian, der zu diesem Zeitpunkt noch nicht ganze 27 Jahre alt war, wurde unmittelbar nach Einreichen seiner Bewerbungsunterlagen am 2.5.1887 als zunächst provisorischer Leiter der Poliklinik für Rhinolarngologie eingestellt. Er siedelte am 13.5.1887 nach Freiburg über. 1888 habilitierte sich Killian für Rhinologie und Laryngologie, wurde Privatdozent und trat offiziell die Nachfolge Hacks an. Fünf Jahre später, im Jahre 1892, ernannte ihn die Fakultät im Alter von 32 Jahren zum Ordinarius.

Die erste Tracheobronchoskopie

Killian beschäftigte sich seit Jahren mit der Verbesserung laryngologischer Untersuchungen. 1889 hatte er bereits über seine neue Technik zur indirekten Inspektion der schwer einsehbaren hinteren Larynxwand berichtet, eine Technik, die als sog. »Killiansche Stellung« (▣ Abb. 1.2) weltweit angewandt wurde, als ihn auf der zweiten Versammlung der süddeutschen Laryngologen am 4.6.1895 in Heidelberg ein Vortrag nachhaltig beeindruckte. Der Berliner Internist Kirstein berichtete über seine »Autoskopie des Kehlkopfes und der Luftröhre«. Durch übermäßige Streckung der Mund-Kehlkopf-Achse war er zunächst mit



▣ Abb. 1.2. Kehlkopfuntersuchung in »Killianscher Stellung«



▣ Abb. 1.3. Gustav Killian bei einer der ersten »Übungsbronchoskopien« an einem Altersheimbewohner

einem Ösophagoskop versehentlich, dann gezielt statt in den Ösophagus in den Kehlkopf vorgedrungen. Killian erkannte, dass das Verfahren eine verbesserte Untersuchungsmöglichkeit des Larynx darstellen konnte und ließ sich die Methode nochmals vorführen. Da dabei auch die Trachea und die Bifurkation sichtbar wurden, entschloss er sich, diese »direkte Laryngoskopie« systematisch zu überprüfen und weiterzuentwickeln.

Zunächst übte Killian an dem freiwilligen Altersheimbewohner, Herrn Rast, der geduldig und unempfindlich war. An Leichen vergewisserte sich Killian, dass ein tieferes Vordringen in die Trachea mit dem starren Rohr ohne Verletzungen möglich war und studierte die Anatomie.

In seiner klinischen Arbeit hatte er immer wieder beobachtet, dass bei großen einseitigen Flüssigkeitsansammlungen im Brustraum eine Verdrängung des Lungenflügels samt der Bronchien von der betroffenen Seite in Richtung gesunde Seite erfolgte, eine Verlagerung, die nach Ergussentfernung rückgängig gemacht wurde. Er schloss daraus, dass die Bronchien in ein elastisches Gewebe eingebettet sind.

An seiner freiwilligen Versuchsperson gelang es ihm ein zum Bronchoskop umgewandeltes Ösophagoskop durch den Larynx bis in die Trachea vorzuschieben und stellte fest, dass Luftröhre und Bronchialbaum zwischen den elastischen Luftkissen der beiden Lungenflügel keineswegs starr, sondern weitgehend beweglich sind. Dann machte er die entscheidende Beobachtung: Sobald er das eingeführte Rohr nur wenig zur Seite bewegte, konnte er über die Hauptbronchien hinaus auch die Segmentbronchien einsehen. Dieser Einblick in den Bronchialbaum veranlasste ihn zu der anfangs zitierten Notizbucheintragung. Die Tracheobronchos-

kopie war geboren («Ueber die directe Bronchoskopie». MMW, 45:4, 1898). Es war der initiale Schritt zu Gustav Killians Reputation als »Vater der Bronchoskopie«, ein Titel, der ihm noch heute weltweit zugesprochen wird.

Die erste Fremdkörperentfernung

Am 30.3.1897 stellte er die Bedeutung seiner Erkenntnis und seines Könnens eindrucksvoll unter Beweis. Ein 63-jähriger Schwarzwaldbauer hatte einen Schweineknöchensplitter aspiriert, der im rechten Hauptbronchus in 33,5 cm Tiefe stecken geblieben war. Mit Geduld und Geschick gelang Kilian die Extraktion dieses Splitters, die weltweit erste Fremdkörperentfernung mittels direkter Bronchoskopie. Der erste Bericht darüber wurde von seinem Assistenten Kollofrath veröffentlicht. Killian selbst äußerte sich zunächst sehr zurückhaltend. Erst als er mit gutem Gewissen das Verfahren als allgemein anwendbare Behandlungsmethode empfehlen konnte, berichtete er auf der 6. Versammlung der süddeutschen Laryngologen in Heidelberg am 3.4.1899 an Hand von 3 besonders lehrreichen Fällen von der Problematik, aber auch den enormen Möglichkeiten der Fremdkörperentfernung.

Die Resonanz

Sein Vortrag wurde von der Fachwelt mit Begeisterung aufgenommen. Fremdkörper im Bronchialsystem waren in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine häufige Todesursache. Nun schien erstmals eine Wende in Diagnostik und Therapie in Sicht. Killian erlangte weltweite Bekanntheit, Patienten von nah und fern wurden ihm zugewiesen und die Freiburger Klinik wurde zum »Mekka der Laryngologen«. Dabei beschränkte sich die Bronchoskopie nicht nur auf die Fremdkörperextraktion, sondern wurde durch die Möglichkeit von Probeexzisionen wichtiger Bestandteil der Diagnostik bronchialer Erkrankungen.



■ **Abb. 1.4.** Das komplette broncho-ösophagoskopische Instrumentarium von Fischer »nach Brünings«. Diese spezielle Ausrüstung wurde von Minnigerot in Freiburg erworben, später an seinen Sohn, den HNO-Ordinarius der Medizinischen Fakultät Essen weitergereicht, der sie schließlich nach seiner Pensionierung dem Autor überreichte

In den folgenden Jahren beschäftigte sich Killian intensiv mit der technischen Perfektionierung der Bronchoskopie und der Entwicklung neuer Instrumente. Ihm zur Seite standen befähigte Ärzte und Techniker, die einen aktiven Beitrag zu Klinik und Forschung leisteten, unter ihnen sein erster Oberarzt, Carl Otto von Eicken, der besonders naturwissenschaftlich und technisch begabte Wilhelm Brünings wie auch der Instrumentenbauer Rudolf Fischer (■ Abb. 1.4).

Teamarbeit und der Fall Corina

Killian galt als stets freundlicher, ausgeglichener Lehrer und Chef, der trotz seines eigenen überragenden Könnens Wert auf Teamarbeit legte. Das lässt sich am besten am Fall der 7-jährigen Corina demonstrieren:

Corina war die Tochter eines Plantagenbesitzers aus Montevideo. Das Mädchen hatte ein Spielzeugpfeifchen aspiriert, das sich mit der Spitze nach kaudal gerichtet bis tief in den rechten Unterlappenbronchus eingekleimt hatte. Killians erster Versuch, das Pfeifchen mit einer Fremdkörperzange zu fassen, gelang nicht, weil das Pfeifchen immer wieder von der Zange abrutschte. Nach einwöchiger Erholungspause für das Kind wiederholte Killian die Bronchoskopie, doch ebenfalls ohne Erfolg. Das Scheitern der Eingriffe bedrückte ihn sehr. Ihm war nur zu bewusst, dass ein Verbleiben des Fremdkörpers die Lunge schädigen und letztendlich den Tod des Mädchens bedeuten würde. Aber Aufgeben war nicht seine Sache. Er lud seine fähigen wie innovativen Mitarbeiter und auch den Instrumentenbauer Fischer in sein Haus, um einen Weg aus der fast hoffnungslosen Lage zu finden. Der Fall wurde auf alle Alternativen hin eingehend diskutiert. Es ergaben sich zwei Möglichkeiten: Ein Tracheostoma würde die Entfernung zum Pfeifchen verkürzen und dadurch das Instrumentieren vereinfachen. Dennoch konnte Killian sich zu dieser Alternative nicht entschließen. Die zweite Möglichkeit, die Killian favorisierte, war die Entwicklung eines mit Luftlöchern versehenen Hohlstabes, der mit einer Vorrichtung von 3 stumpfen Krallen versehen sein musste. Das Pfeifchen sollte von unten her umfasst, festgehalten und herausgezogen werden. Ein von Brünings skizziertes Modell wurde an diesem Abend lange im Kreis der Kollegen diskutiert und modifiziert bis schließlich der Instrumentenbauer Fischer zustimmend sagte, »So geht's!« und – bereits mit den Zeichnungen unter dem Arm – hinzufügte: »In längstens 4 Tagen haben Sie das Instrument, Herr Professor!«

Das neue Instrument stand schon nach 3 Tagen zur Verfügung. Obleich das Pfeifchen wiederholt an die Öffnung des Bronchoskoprohres angeschlossen und hängen blieb, gelang es Killian schließlich, sämtliche Instrumente mit dem Pfeifchen gleichzeitig herauszuziehen. »Es waren dramatische Augenblicke, und wir atmeten alle wie erlöst auf, als das Pfeifchen am Ende des Tubus auftauchte!«, schilderte Killian das erfolgreiche Ende der Prozedur. – Das Entfernen

des gesamten Instrumentariums samt distal fest gehaltenem Fremdkörper gehört mittlerweile zur Routine der Extraktion größerer Objekte.

1.1.5 Berufung nach Berlin

Das Jahr 1911 brachte für Killian eine wichtige Wende. Der inzwischen 75-jährige Leiter der laryngologischen Klinik in der Charité, Bernhard Fränkel, trat in den Ruhestand. Am 29.5.1911 teilte Fränkel Killian mit, dass er ihn, den damals bekanntesten Spezialisten in seinem Fach, als seinen Nachfolger vorschlug. War auch der prestigeträchtige Aufstieg in die medizinische Fakultät der Berliner Universität verlockend, bedeutete er doch für Killian den schweren Abschied aus Freiburg.

Killians Berufung nach Berlin erfolgte nicht ohne Hindernisse. Insbesondere versuchte sie der Leiter der Ohrenklinik mit Hilfe seiner engen Verbindung zu Hof-, Militär- und Regierungskreisen zu verhindern. Er befürchtete auch für Berlin eine Entwicklung wie in Rostock, wo 1899 mit dem ersten Lehrstuhl für Hals-, Nasen- und Ohrenheilkunde die verwandten Fächer in einer Klinik zusammengefasst worden waren. Die opponierenden Machenschaften schlugen jedoch fehl. Das Ministerium entschied zugunsten Killians, der den Rückhalt der medizinischen Fakultät wie auch der führenden Laryngologen Deutschlands hatte. Am 1.10.1911 übernahm Killian den Lehrstuhl für Rhino-Laryngologie in Berlin.

In seinem neuen Wirkungskreis fasste Killian schnell Fuß und arbeitete nahtlos weiter an der Verbesserung seiner in Freiburg entwickelten endoskopischen Verfahren. Es folgte die Schwebelaryngoskopie, die durch Killians Assistenten Seiffert zur »Seiffertschen Stützautoskopie« und später durch Kleinsasser zur Mikrolaryngoskopie perfektioniert wurde. Die von der Killianschen Klinik in Berlin ausgehenden Anregungen und Neuerungen in bronchologischen Techniken und HNO-Operationsverfahren wurden weltweit von Fachkliniken aufgenommen.

1.1.6 Erster Weltkrieg

Der erste Weltkrieg hemmte wissenschaftliche Arbeit und veränderte klinische Tätigkeit. Immer mehr Ärzte mussten immer schneller ausgebildet werden, um in Lazaretten und bei den Truppen zur Verfügung zu stehen. Eine reduzierte Ärzteschaft in Killians Klinik übernahm zunehmend die langwierige Behandlung von Verwundeten mit schweren Hals- und Kehlkopfdurchschüssen.

Der Krieg sparte auch die Familie Killian nicht aus. Der zweite Sohn Peter stürzte 1918 als Fliegeroffizier ab und verstarb an einer eitrigen Hirnhautentzündung infolge eines Schädelbruchs, die der Vater selbst noch durch eine Operation vergeblich zu beherrschen versuchte.

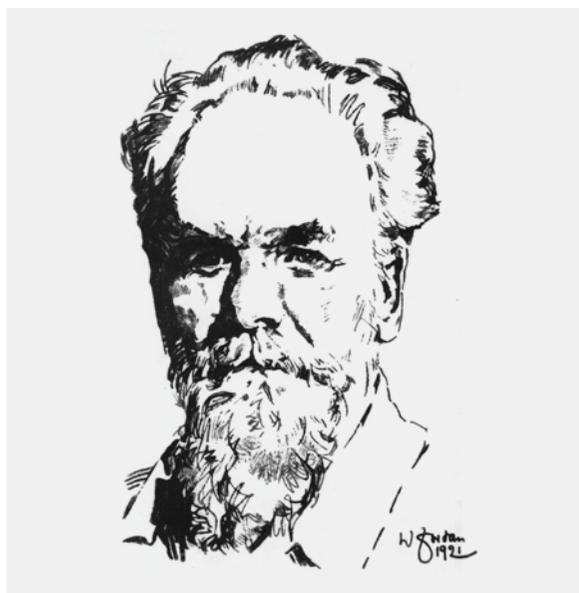
Im Mai 1918 folgte Killian einer Einladung führender schwedischer Laryngologen, um in Stockholm und Uppsala Vorträge über seine Arbeit und den Stand der Bronchoskopie zu halten. Dabei wurde ihm bewusst, wie viele auch schwedische Ärzte schon bei ihm in Freiburg gelernt hatten und welche große Anerkennung er überall genoss.

Auf dieser Reise erhielt Killian aber auch selbst wertvolle wissenschaftliche Anregungen. Bei einer Besichtigung des Röntgen- und Radiuminstitutes von Arthur Forselles erfuhr er von den Erfolgen der Radiumimplantation, einem Vorläufer der heutigen Brachytherapie, bei bösartigen Geschwülsten der Halsorgane.

Innerlich gestärkt und mit optimistischer Entschlossenheit kehrte Killian nach Berlin zurück. Doch die Angst um seinen sich im Krieg befindenden älteren Sohn, die zunehmenden Entbehrungen und Nöte der Bevölkerung und die zu erwartenden Folgen eines verloren gehenden Krieges bedrückten ihn sehr.

1.1.7 Abschied

Noch im Sommer 1920 war Killian voller Tatendrang (Abb. 1.5), als sich auffallende Ermüdungserscheinungen einstellten und er unter zunehmenden Druckgefühlen im Bauch litt, so dass schließlich eine Laparotomie vorgenommen werden musste. Dabei wurde ein weit fortgeschrittenes, metastasierendes Dickdarmkarzinom festgestellt. Angesichts dieser Diagnose nahm Gustav Killian von seiner Familie und allen seinen Assistenten Abschied. Er verstarb am 24.2.1921.



■ **Abb. 1.5.** Handzeichnung von Killian Anfang Januar 1921. Kurz hiernach setzten seine abdominellen Symptome ein

1.2 Shigeto Ikeda und die Entwicklung des flexiblen Bronchoskops

Als Thoraxchirurg hatte Shigeto Ikeda (1925–2001; **Abb. 1.6**) schon früh die Einschränkungen des starren Bronchoskops bei der Diagnose peripherer Lungentumoren erkannt. Sein so einfacher wie genialer Einfall war, dass sich das Endoskop der tracheobronchialen Anatomie anpassen sollte, statt – wie beim starren Endoskop – die Anatomie dem Instrument. Damit setzte er 70 Jahre nach Killians Durchbruch einen neuen Meilenstein in der Bronchoskopie.

Tab. 1.2 zeigt die wichtigsten beruflichen Stationen Shigeto Ikedas.

1.2.1 Gestaltende Einflüsse

Eine schwere Erkrankung in jungen Jahren beeinflusste maßgeblich den beruflichen Werdegang des am 1.7.1925 in Tokio, Japan, geborenen Shigeto Ikeda. Als im Juni 1948 ein schweres Erdbeben die Präfektur Fukui erschütterte, befand sich Ikeda im zweiten Jahr seines Medizinstudiums an der Keio Universität in Tokio. Der junge Student meldete sich sofort als freiwilliger Helfer. Ein von ihm und dem ihn begleitenden Arzt Dr. Iga aufgebautes Zelt diente als Feldlazarett und Schlafquartier. In dieser nasskalten Unterkunft schliefen neben Ikeda auch Tuberkulosekranke. Noch in

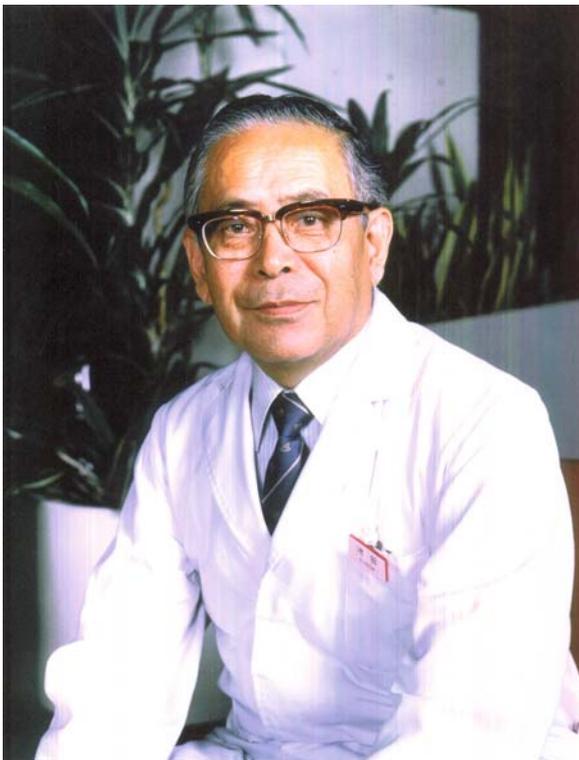


Abb. 1.6. Shigeto Ikeda (1925–2001)

Tab. 1.2. Shigeto Ikeda – die wichtigsten Daten zu Leben und Karriere

01.07.1925	Geboren in Tokio, Japan
1944–1952	Medizinstudium
1952–1962	Assistenzarzt, Thoraxchirurgie, Keio Univ.-Klin.
18.02.1960	Promotion
1962–1964	Radiologische Klinik, National Cancer Center Hospital (NCCH)
1964–1977	Leiter, Sektion Broncho-Ösophagologie, NCCH
1965	Erste Spezifikationen für ein flexibles Bronchoskop
15.08.1967	Erste europäische FB Demonstration, Kopenhagen, 9th World Congress of Chest Disease
1977–1991	Vorstand, Abteilung für Endoskopie, NCCH
1978	1. Weltkongress für Bronchologie World Association for Bronchology
25.12.2001	Verstorben

Fukui entwickelte der knapp 23-Jährige eine linksseitige spezifische Pleuritis, für die in dieser Zeit keine medikamentöse Behandlung zur Verfügung stand, da Streptomycin nur durch die US-Truppen zu unerschwinglichen Preisen erhältlich war. Dennoch erholte sich Ikeda von der Krankheit, die ihn allerdings 2 Jahre des Studiums kostete. In dieser Zeit reifte sein Entschluss, sich intensiv mit der Therapie der Tuberkulose zu beschäftigen.

1952 begann er seine klinische Ausbildung auf der Tuberkulosestation der Keio-Universitätskliniken, wo er eine Röntgenaufnahme seiner Lunge anfertigte. Seine Erkrankung hatte im linken Lungenoberfeld einen Rundherd und eine dicke Schwarte zurück gelassen. Nach Abwägung möglicher Behandlungsalternativen, entschloss sich der behandelnde Chirurg zur damals üblichen Resektion von 3 Rippen, die aber die gewünschte Pneumolyse nicht herbeiführte. Daraufhin wurde eine Lungenteilresektion vorgenommen. Als Ikeda aus der Narkose aufwachte, berichtete ihm sein Bett Nachbar, dass er erst der zweite Patient war, bei dem dieser Eingriff durchgeführt worden war und dass der erste Patient einige Tage nach der Operation verstorben war.

Nach seiner Approbation 1953 trat Ikeda eine Assistenzstelle in der Thoraxchirurgie an. Doch die Krankheit, die ihm fast das Leben gekostet hatte, ließ ihn nicht los. Er betreute weiterhin die Tuberkulosestation und beschäftigte sich intensiv mit bildgebenden und bronchologischen Untersuchungsverfahren. Die Vielzahl von Durchleuchtungsuntersuchungen bei nicht ausreichendem Strahlenschutz führte bei ihm 1955 zu einer lebensbedrohlichen Strahlenkrankheit mit schwerer Hepatitis.

Nach seiner Genesung folgte eine äußerst arbeitsintensive, produktive Phase in relativer Gesundheit. 1962 wech-

selte Ikeda an das National Cancer Center Hospital (NCCH), wo er sich in den Folgejahren eingehend mit bronchologischen Studien beschäftigte und zunehmendes Interesse an der Frühdiagnose des Lungenkrebses entwickelte.

1.2.2 Eine Idee reift heran

Trotz Anwendung immer dünnerer, starrer Geräte erkannte Ikeda die Unzulänglichkeit dieser Instrumente für Diagnose und Therapie peripherer Läsionen. 1964 reifte in ihm die revolutionäre Idee eines »flexiblen« Bronchoskops.

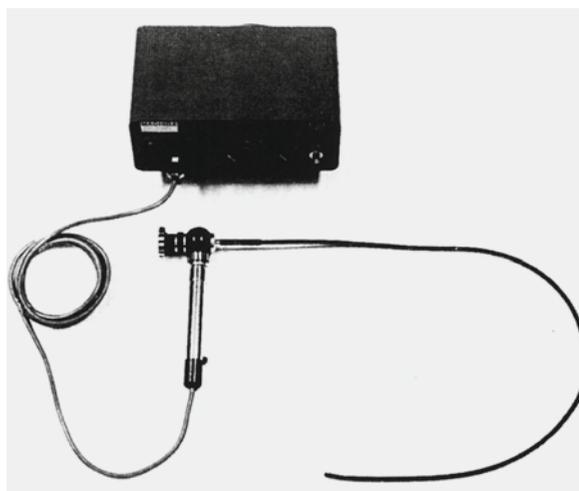
Ikedas erstes Bronchofiberskop

Bis zum Frühling 1965 entwarf Ikeda eine Liste von technischen Voraussetzungen für die Konstruktion eines solchen Instruments und übergab sie gleichzeitig den Firmen Machida Endoscopes (später übernommen von Asahi-Pentax) und Olympus Optical Company (■ Tab. 1.3).

Ikeda arbeitete besonders eng mit Haruhiko Machida, Inhaber der gleichnamigen Firma, zusammen. Am 23. Juli 1966 wurde ein erster Prototyp des Machida Fiberskops Ikeda übergeben und von ihm am 15. August 1966 auf dem 9. Weltkongress für Lungenkrankheiten in Kopenhagen der Fachwelt vorgestellt, obgleich das Instrument noch nicht vollständig seinen Vorstellungen entsprach. Der Abwinklungsmechanismus für die Spitze war extrem begrenzt und ein Instrumentierkanal fehlte. Nacheinander wurden verbesserte Prototypen konstruiert, von denen schließlich der siebte als Machida One (■ Abb. 1.7) 1967 in Produktion gehen konnte.

Die Firma Olympus Optical Company entwickelte gleichzeitig verschiedene Prototypen und brachte schließlich 1969 ihr BF One heraus. Aufgrund eines bereits vorhandenen breiten Verkaufs- und Servicenetzes dominierte Olympus bald den Markt.

In der Folgezeit hatte Ikeda, wo immer er auftrat, sein Fiberskop dabei. So auch im September 1969, als er an der



■ **Abb. 1.7.** Olympus und Machida wurden von Ikeda beauftragt, nach seinen Spezifikationen (■ Tab. 1.3) ein flexibles Bronchoskop zu konstruieren. Hier der Prototyp Nr. 1 von Machida (1966)

Johns-Hopkins-Universität in Baltimore während seines Vortrags einen Film über das Vordringen des flexiblen Instrumentes bis in Sub-Subsegmentbronchien zeigte. Unter seinen begeisterten Zuhörern waren auch bekannte Lungenspezialisten der Mayo Clinic, Rochester, Minnesota, die Ikeda zu einer klinischen Demonstration seines Fiberskops einluden. 1970 folgte Ikeda der Einladung. Der Zeitpunkt war günstig: Das Mayo Lung Project (MLP) zur Frühdiagnose des Lungenkrebs wurde gerade erarbeitet. Vor diesem Hintergrund konnte Ikeda überzeugen, dass das bronchoskopische Spülen einzelner Lungensegmente bei sputumpositiven Probanden diagnostisch wertvoll ist. Aufgrund seiner Präsentation wurde das Verfahren ein Grundbestandteil der MLP.

Treffen mit Saccomanno 1972

Ikeda hatte Kenntnis erhalten von einem Zytologen namens Jenö Saccomanno, der in Grand Junction, einem abgelegenen Örtchen in Colorado, eine Spezialfärbung zur Erkennung von Tumorzellen im Ausstrich entwickelt hatte. Er führte – selbst finanziert – bei Arbeitern eines etwa 100 km weit entfernten Uranbergwerks seine Sputumuntersuchungen als eine Art »Frühdiagnose« durch. Dabei konnte er wiederholt bei Probanden Krebszellen im Sputum nachweisen, obgleich weder auf dem Röntgen-Thoraxbild noch bei der starren Bronchoskopie ein krankhafter Befund vorlag und somit eine Lokalisation des Tumors nicht möglich war. 1972 suchte Ikeda Saccomanno im St. Mary's Hospital in Grand Junction auf und schlug ihm die Bronchofiberskopie als neue diagnostische Möglichkeit vor. Beim ersten von 3 Probanden, die Ikeda daraufhin – in Lokalanästhesie! – bronchoskopierte, konnte er das Frühkarzinom im distalen linken Oberlappenbronchus exakt lokalisieren, ließ Saccomanno selbst die Läsion durch das Fiberskop sehen und entnahm von der kleinen Unregelmäßigkeit eine Bürstenbiopsie. Den Ausstrich färbte Saccomanno und sah unter

■ **Tab. 1.3.** Spezifikationsliste Ikedas an Machida und Olympus für das erste Bronchofiberskop

1	Außendurchmesser: <6 mm
2	Bildgebendes Faserbündel: Einzelfaser <15 µm; >15.000 Fasern im Bündel
3	Lichtleiterbündel: Einzelfaser: 15–20 µm und >10.000 Fasern
4	Fokuslänge: 5–30 mm
5	Beugung am distalen Ende: 60° auf, 30° ab
6	Länge des distalen unbiegsamen Endes: <10 mm
7	Bildrichtung: Geradeaus
8	Gesamtlänge: ~1 m
9	Blickwinkel: 80°

seinem Mikroskop eine Reihe von Plattenepithelkarzinomzellen. Beide, Saccomanno und Ikeda, waren an Hand dieses Nachweises, so berichtete Ikeda, »sehr glücklich und zitterten vor Aufregung«.

Der Siegeszug des Fiberskops

Die flexible Bronchoskopie hielt in den USA, Europa und schließlich weltweit Einzug in die Pneumologie und wurde dank der leichten Erlernbarkeit der Methode, der vergleichsweise einfachen Handhabung des Instruments, der Möglichkeit bis in Sub-Subsegmente vorzudringen und nicht zuletzt wegen der für den Patienten komplikationsarmen Untersuchung in Lokalanästhesie das dominierende endoskopische Verfahren des Tracheobronchialsystems. Obgleich das starre Bronchoskop weiterhin unverzichtbar für bestimmte Indikationen in der Pädiatrie, für die Fremdkörperextraktion und für spezielle interventionelle Indikationen ist, sind über 90% aller Bronchoskopien mit dem flexiblen Gerät durchführbar.

1.2.3 »Never give up«

»Gebe nie auf!« Nach diesem Leitspruch lebte, arbeitete und forschte Ikeda, obgleich schwere Erkrankungen schon bald wieder sein Leben überschatten sollten.

In den frühen 1960er-Jahren entwickelte er bereits einen Bluthochdruck. 1973 wurde erstmals ein Diabetes mellitus diagnostiziert. Multiorgan-Beteiligungen der Krankheit blieben ihm nicht erspart. 1979 begannen Angina-pectoris-Anfälle. In den Folgejahren kam es immer wieder zu Schwächeanfällen, die Ikeda aber nicht daran hinderten, sein Arbeitspensum aufrechtzuerhalten, noch hielten sie ihn von seinen inzwischen häufigen Kongressteilnahmen und Vortragsreisen ab. Es folgten 2 Schlaganfälle 1985 und 1988 und mindestens eine kardiale Dekompensation. Die letzte zerebrale Ischämie verursachte eine inkomplette spastische Parese links, so dass er die letzten 10 Jahre seines Lebens im Rollstuhl verbringen musste.

Erster Weltkongress für Bronchologie (WCB) 1978 und World Association for Bronchology (WAB)

Bereits 1970 nach Rückkehr aus der Mayo Clinic organisierte Ikeda eine erste Forschungsgruppe, die sich mit der Definition hilärer Tumoren befasste. Von 1975–1978 arbeitete eine zweite Gruppe an der Definition und Diagnose des peripheren Lungentumors. Diese durch Ikeda initiierten Forschungsarbeiten und sein persönliches unermüdliches Engagement rückten Japan in den Vordergrund der internationalen Bemühungen um die Früherkennung von Lungentumoren. Ein Ergebnis war, dass im Juli 1978 der erste Weltkongress für Bronchologie (W.C.B.) in Tokio stattfand. Unmittelbar im Anschluss daran gründete Ikeda mit dem Motto »More Hope with the Bronchoscope« die World Association for Bronchology (WAB), die sich von da an alle

2 Jahre auf einem W.C.B. zum Wissensaustausch treffen sollte. Nach dem ersten Treffen in Tokio fand der 2. Weltkongress in Düsseldorf unter der Präsidenschaft von Werner Maaßen statt. Aufbauend auf vorangegangene Studien etablierte Ikeda 1981 eine dritte Forschungsgruppe, die sich mit Reihenuntersuchungen beschäftigte.

Weiterentwicklungen

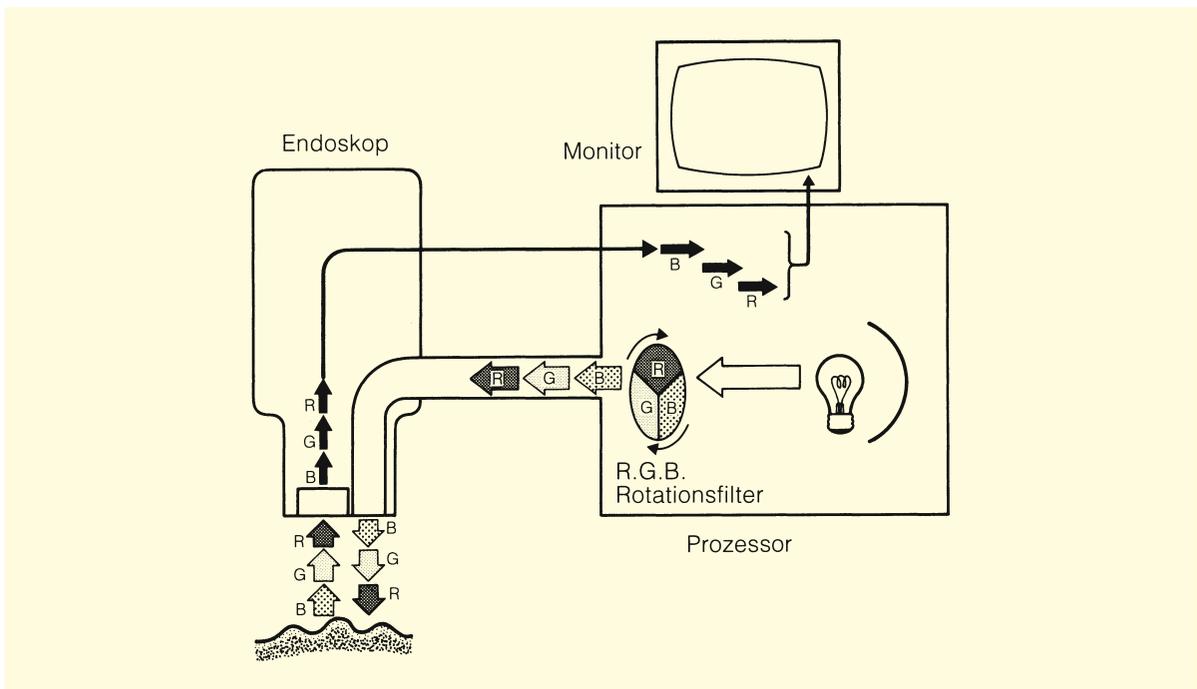
Die beiden Jahrzehnte nach Einführung des Bronchofiberskops sahen ganz erhebliche Fortschritte hinsichtlich der Optik, Mechanik und Lichtquellen. Der Durchmesser der einzelnen Glasfasern konnte von 15 µm auf das theoretische Minimum von 8 µm reduziert werden, wodurch die Zahl der Glasfasern in einem Lichtleiterbündel von 15.000 (Abb. 1.8) auf 24.000 erhöht werden konnte. Die optische Schärfe wurde dementsprechend optimiert und der Blickwinkel mehr als verdoppelt. Die Abwinkelung der distalen Spitze wurde auf maximal 180° auf und 130° ab erhöht. Die Lenk- und Absaugmechanismen am Kontrollteil wurden verbessert. Halogenlichtquellen wurden durch die viel stärkeren und ständig kleiner werdenden Xenonanlagen ersetzt. Damit wurden Foto-, Film- und Videodokumentationen vereinfacht. Gleichzeitig wurde der Außendurchmesser des Intubationsteils unter Beibehaltung aller Funktionen von 5,2 mm auf 3,2 mm reduziert, was besonders für pädiatrische Instrumente vorteilhaft war. Darüber hinaus wurden die Geräte auch robuster konstruiert. Das führte zu einer merklichen Abnahme der Glasfaserbrüche, zu weniger Störungen der Lenkmechanismen und geringeren Schäden am Außenmantel des Intubationsteils.

Elektronische Bronchoskope

Die elektronische Bronchoskopie, deren Prinzip in Abb. 1.9 dargestellt ist, fand eine parallele Entwicklung zum Fiberskop in den 1980er- und 1990er-Jahren und hat bis heute einen bedeutenden Teil der flexiblen Bronchoskopien übernommen. Eine ausführliche Beschreibung wird später in diesem Atlas dargestellt.



Abb. 1.8. Eines der ersten Glasfaserbündel der Firma Machida. Die kohärent angeordneten Fasern wurden an einer Stelle verkettet, getrennt und die freien Enden poliert



■ **Abb. 1.9.** Das Prinzip der elektronischen Endoskopie. Durch einen Hochgeschwindigkeitsrotationsfilter wird das weiße Licht in die Hauptbestandteile rot, blau und gelb zerlegt; diese Hauptfarben werden ge-

trennt mehrere 100-mal/s zur Schleimhaut geleitet, dort reflektiert und vom Photochip aufgenommen, danach zum Prozessor weitergeleitet, der diese Signale in ein Bild umwandelt

1.3 Killian und Ikeda: Gemeinsamkeiten und Kontraste

1.3.1 Gemeinsamkeiten

Gustav Killian und Shigeto Ikeda waren ambitionierte Visionäre, denen die eigene Bedeutung auf ihrem Gebiet durchaus bewusst war. Dabei blieben beide im persönlichen Umgang mit Mitarbeitern und Kollegen bescheiden und freundlich. Ihnen gemeinsam war ein außerordentliches technisches Verständnis, beide waren hervorragende Teamleiter mit einem Talent für Organisation und beide arbeiteten außergewöhnlich viel. In beiden Fällen zeigten die Mitarbeiter ihrem »Chef« ein hohes Maß an Respekt, Sympathie und Loyalität.

1.3.2 Kontraste

Während Killian Macht und Einflussnahme fast automatisch zufielen, musste Ikeda sehr für seine Sache kämpfen. Im Laufe seiner schweren Krankheiten vertraute er auf sein Lebensmotto »Never give up«, eine Lebenseinstellung, die ihn auch gegenüber den vielen konservativen Kräften stärkte, die den Vormarsch der flexiblen Bronchoskopie zu verlangsamen, sogar aufzuhalten versuchten.

2 Instrumentarium

B. Khanavkar, K. Darwiche

2.1 Flexible Bronchoskopie – 12

- 2.1.1 Aufbauelemente – 12
- 2.1.2 Lichtquelle – 15
- 2.1.3 Bildverarbeitung – 16
- 2.1.4 Spezifikationen – 16
- 2.1.5 Spezialfunktionen – 17
 - Fluoreszenzbronchoskop – 17
 - Ultraschallinstrumentarium (endobronchialer Ultraschall – EBUS) – 18
 - Elekromagnetische Navigation – 21
 - Intubationsbronchoskope – 21
 - Sonstige Sonderformen – 22
- 2.1.6 Zubehör – 22
 - Diagnostisches Zubehör – 23
 - Therapeutisches Zubehör – 25
- 2.1.7 Bronchologie-Einheit – 26

2.2 Starre Bronchoskopie – 27

- 2.2.1 Aufbauelemente – 27
- 2.2.2 Bildverarbeitung – 27
- 2.2.3 Bronchoskoptypen – 28
- 2.2.4 Beatmungsanschlüsse – 29
- 2.2.5 Zubehör – 29

Literatur – 30

2.1 Flexible Bronchoskopie

2.1.1 Aufbauelemente

Die flexiblen Bronchoskope, wie alle anderen Endoskope auch, folgen sämtlich einem Grundaufbau. Ein Intubationsgriff gestaltet den Instrumentierteil über. Dieser wiederum ist über ein Kabel mit einem Versorgungsstecker verbunden. Bronchoskope zeichnen sich gegenüber anderen gastroenterologisch genutzten Endoskopen durch die fehlende Möglichkeit der Luftinsufflation sowie eine Spitzenabwinklung in nur einer Ebene aus (■ Abb. 2.1).

Konventionelle fiberoptische Geräte sind, auch wenn sie der ersten Gerätegeneration angehören, weiterhin erhältlich. Der Instrumentenstecker bei diesen Geräten verbindet das System zur Lichtquelle. Durch **Glasfaserlichtleiter** gelangt meist Xenon-generiertes Licht durch 2 Glasfaserbündel an die Endoskopspitze und leuchtet dort das Bronchialsystem aus. Das endoskopische Bild wird von einer optischen Linse an der Instrumentenspitze gesammelt. Eigenschaften der Linse an der Instrumentenspitze bestimmen den Sichtwinkel und auch die Verzerrung (Froschaugenperspektive) des Bildes. Dieses wird über ein Glasfaserbündel zum im Instrumentierteil integrierten Okular geleitet. Das Untersucherauge blickt durch einen Fixfokus, der durch einen Dioptrienausgleich ergänzt wird. Wahlweise kann das dort abgreifbare Bild auch durch einen Kameraaufsatz (■ Abb. 2.2), allerdings unter Lichtstärkenverlust, an einen Monitor bzw. zu Dokumentationszwecken an eine Kleinbildkamera weitergeleitet werden. Es besteht auch die Möglichkeit, durch einen sog. »**Teaching-Aufsatz**« das ankommende Bild auf ein zweites mittels Glasfaserkabel

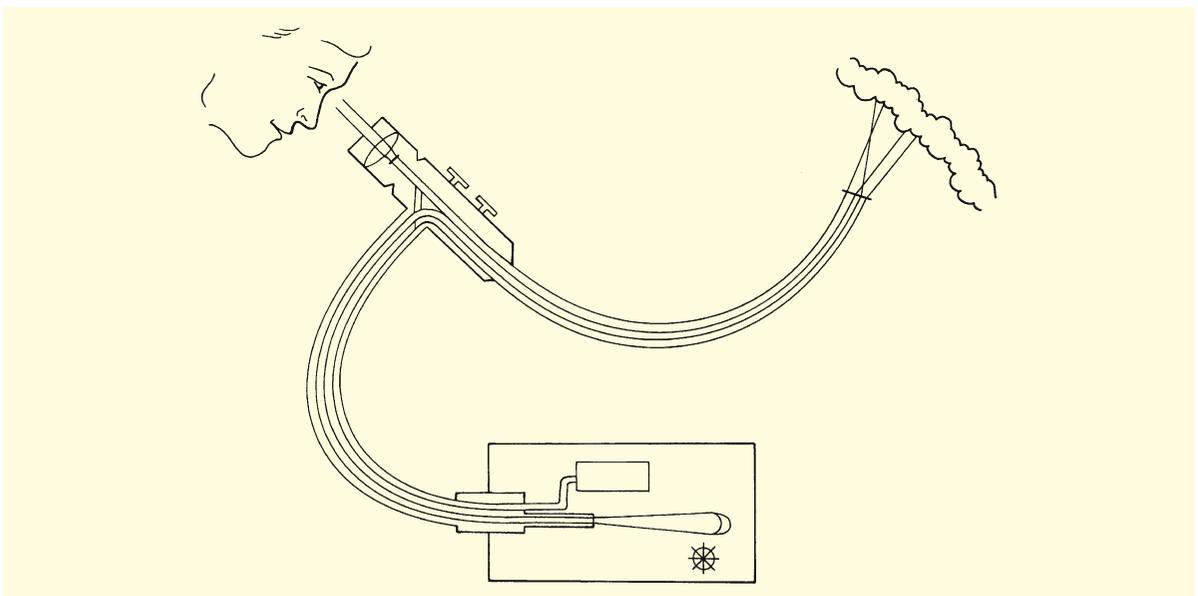


■ **Abb. 2.2.** Der Digitalvideoaufsatz auf einem Bronchofiberskop montiert. Die Aufnahmefunktionen können durch Knöpfe am Kontrollteil kontrolliert werden

verbundenes Okular zu splitten. Auch hierdurch entsteht Lichtstärkenverlust.

Weitere Bestandteile neben der optischen Ausstattung sind die über einen Hebel vom Instrumentiergriff aus zu bedienenden **Seilzüge**. Herkömmlicherweise ist die Abwinklung nach unten größer als die nach oben mögliche (z. B. 180/120°). Die Beweglichkeit in der 2. (und 3.) Dimension ergänzt der Untersucher durch Übertragung der Drehbewegung des Instrumentiergriffes auf den Schaft des Gerätes (■ Abb. 2.3).

Die Spitze des flexiblen Bronchoskops, das Abwinklungsteil, ist der Anteil des Intubationsschaftes, der durch



■ **Abb. 2.1.** Lichtleitsystem flexibler Endoskope. Von der Lichtquelle leitet ein Lichtbündel die Beleuchtung zum Gegenstand, ein zweites Lichtbündel das Bildnis zum Beobachter



■ **Abb. 2.3.** Die Abwinklung durch die im Schaft enthaltenen Seilzüge ist maximal in Richtung der Gerätvorderseite (Hebelaktion nach unten)



■ **Abb. 2.4.** Verschiedene Typen von Ventilen für Olympus-Bronchoskope unterschiedlicher Generationen

die Seilzüge gebogen werden kann. Die Außenummante- lung besteht aus einem besonders flexiblen Material und ist daher auch defektanfälliger. Zwischen Außenmantel und Abwinklungsgummi besteht eine Klebestelle. Die Länge des Abwinklungsteils bestimmt die »Wendigkeit« eines Ge- rätes. Längere Abwinklungsspitzen sind schwerlich in sehr steil abzweigende Segmentbronchien zu dirigieren.

Jedes Bronchoskop hat zumindest einen **Arbeitskanal**. Dieser ist mittels Ventil mit einem Absaugstutzen verbun- den. Ein zweiter Zugang zu diesem Arbeitskanal findet sich meist am Übergang vom Intubations- zum Instrumentier- teil (in den älteren Modellen kombiniert) und erlaubt das Eingeben und manuelle Absaugen von Substanzen über eine Luer-genormte Öffnung oder das Verschieben von Instrumenten (Zange, Bürste, Nadel etc.). Der Zugang ist ebenfalls mit einem Ventil versehen, das in Mehrfach- oder Einmal-Verwendbarkeit vorliegt (■ Abb. 2.4).

! Cave

Anfangs ist die Konzentration auf das endobronchiale Bild groß. Darüber wird gelegentlich vergessen, die Instrumen- tenführung außerhalb des Patienten zu beachten. Schaft



■ **Abb. 2.5.** Beispiele der Dimensionen von Gerätedurchmesser und Arbeitskanalgröße bei einer Reihe von Routinebronchoskopen

■ **Tab. 2.1.** Dimensionen (als Durchmesser in mm) der EVIS-EXERA-II-Videobronchoskope (Olympus)

Bezeich- nung	Distal- ende	Einführ- tubus	Arbeits- kanal	Spezifikation
BF-Q180	5,5	5,1	2,0	Großbild
BF-Q180-AC	5,5	5,3	2,0	Großbild und autoklavierbar
BF-1T180	6,0	6,0	3,0	Therapiegerät
BF-P180	4,9	4,9	2,0	Schlankes Einführteil

und Instrumentiergriff sollten gegeneinander nicht ab- gewinkelt werden, sondern so weit wie möglich in einer Linie verbleiben. Knickdefekte am Übergang von Griff zum Intubationsteil sind allerdings weniger häufig bei okularlosen (elektronischen) Bronchoskopen.

Die Größe des Arbeitskanals gehört neben dem Durchmes- ser des Intubationsteils zu den wesentlichen Charakteristika eines Bronchoskops (■ Tab. 2.1; ■ Abb. 2.5). Weite Arbeits- kanäle (3,2 mm) erlauben das Einführen therapeutischer Instrumente und das Absaugen auch zähen Materials, sind also für Bronchoskope im therapeutischen Einsatz wesent- lich. Schlankere Arbeitskanäle lassen Raum für aufwän- digere optische Ausstattung oder die Inkorporation in ein zierlicheres Bronchoskop, das dem Patienten mehr Kom- fort bei der Intubation bietet und eine Inspektion bis in kleinere Subsegmentbronchien erlaubt. Es gibt Spezial- instrumente mit extragroßen oder sogar 2 Arbeitskanälen. Extradünne Bronchoskope (Baby-Scope) können arbeits- kanallos als Führungsinstrument für einen Katheter dienen oder nur so dünne Kanäle aufweisen, dass eine Zytologie- bürste hindurchpasst. Der Arbeitskanal und seine Zugänge stellen besondere Anforderungen an eine hygienische Auf- bereitung von Bronchoskopen (► Kap. 4).

Der Instrumentiergriff beim fiberoptischen Gerät be- haust an der Vorderseite das Absaugventil und an der Rück-



▣ **Abb. 2.6.** Verbindung des Schutzkappen-Stutzens mit einer manuellen Apparatur für die Dichtigkeitstestung. Bei der automatischen Aufbereitung versieht die über diesen Zugang verbundene Waschmaschine den Test und unterbricht das Programm, wenn ein Druckabfall zu registrieren ist



▣ **Abb. 2.8.** Das nach dem Einschalten des Videobronchoskops auf dem Bildschirm erscheinende Monitorbild orientiert über die Zuordnung der Funktionen zu den Bedienungsknöpfen (blau hinterlegte Legende, Olympus Exera-Serie)



▣ **Abb. 2.7.** Modernes Videobronchoskop des Types BF 180 von Olympus

seite den Hebel für die Spitzenabwinklung. Bei älteren Geräten gibt es für diesen Hebel auch einen Feststellmechanismus.

Zur Grundausstattung des flexiblen fiberoptischen Systems gehört eine Lichtquelle, mit der das Endoskop über den Instrumentenstecker verbunden ist. Zur hygienischen Aufbereitung der Bronchoskope wird eine wasserdicht schließende Kappe über die Kontakte am Stecker gestülpt. An der Kappe findet sich zudem an allen Bronchoskopen ein Verbindungsstutzen für den Dichtigkeitstest (▣ Abb. 2.6). Alle modernen Bronchoskope sind wasserdicht konstruiert und können komplett in Desinfektionslösung eingelegt oder in Waschmaschinen aufbereitet werden.

Die optische Limitierung der herkömmlichen Fiberglasbronchoskope ist seit der Mitte der 1990er-Jahre durch die Entwicklung der **Videobronchoskope** aufgehoben wor-

den. Die neue digitale Technologie hat sich in den vergangenen Jahren rasant weiterentwickelt und hat Bildqualität, Dokumentation und Kommunikation über Befunde, damit auch die Didaktik der Methode, revolutioniert.

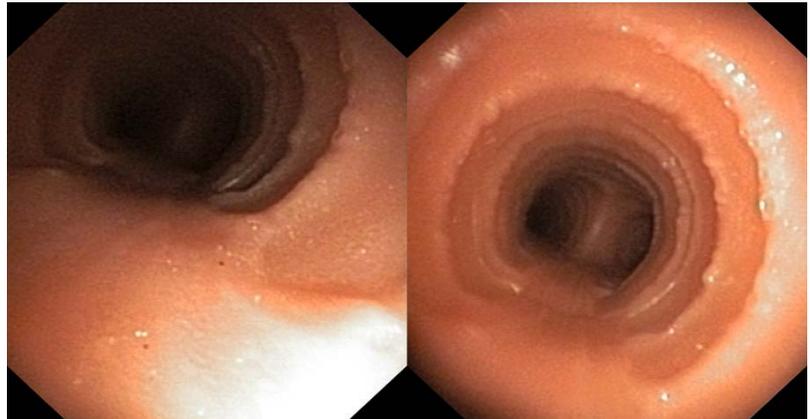
Videobronchoskope tragen einen Photochip in der Spitze des Bronchoskops. Die Übermittlung der Bildsignale durch das Gerät erfolgt digital-elektronisch, nicht mehr durch Lichtfaserbündel. Die Signale werden ohne Qualitätsverlust durch einen Prozessor verarbeitet, der sie zu einem Echtzeitbild auf dem Monitor umsetzt. Über den Instrumentenstecker sind Videobronchoskope nicht nur mit der Lichtquelle, sondern auch mit dem Prozessor verbunden (▣ Abb. 2.7). Die Kontrolle durch den Untersucher erfolgt komplett über den Videomonitor, Okulare finden sich bei dieser Gerätegeneration nicht mehr. Neben dem Abwinklungshebel und dem Absaugventil hat der Untersucher über Schaltknöpfe am Instrumentiergriff die Möglichkeit, das Videobild zu bearbeiten (u. a. Standbildfunktion, Dokumentation, Kantenanhebung, Zuschalten spezieller Filter) oder die Lichtintensität zu variieren (▣ Abb. 2.8). Der Prozessor ermöglicht den Abgleich zwischen Bildhelligkeit und Lichtstärke. Überstrahlen nah gelegene Oberflächen das Bild, werden durch Herunterregeln der Ausleuchtung auch die Strukturen dieser Oberflächen erkennbar, natürlich auf Kosten der Übersicht in der Tiefe (▣ Abb. 2.9).

! Cave

Der untrainierte Untersucher, der mit der Zentrierung des Endoskops im Lumen Schwierigkeiten hat, kann über diese Ablendfunktion Orientierungsschwierigkeiten erfahren oder auch pathologische Veränderungen übersehen.

Geräte der ersten Generation arbeiteten nach dem **RGB-Prinzip** (»red-green-blue«) im PAL-Verfahren. Die Auflösung dieser Instrumente war limitiert, die Darstellung

■ **Abb. 2.9.** In Wandnähe ermöglicht die Abblendfunktion die Inspektion objektiv-naher Details auf Kosten der Übersicht in der Bildtiefe; zum Vergleich *rechts* die Ausleuchtung mit zentraler Ausrichtung des Gerätes



durch die Bildwiederholrate eingeschränkt. Mittlerweile sind Videoendoskope mit farbempfindlichen CCD-Sensoren (»charge coupled device«) ausgestattet, die eine wesentlich höhere Pixel- und Zeilenzahl sowie eine höhere Bildwiederholrate aufweisen, und damit eine höhere Auflösung ermöglichen, farbechter und lichtstärker sind und ein monitorfüllendes Format erlauben (bis zu 1280 Pixel × 1024 Zeilen). Das digitale Format der Bilder ermöglicht das Speichern, beliebiges Reproduzieren und Übermitteln von Stand- und bewegten Bildern über zugeschaltete Festplatten und Schnittstellen zu Netzwerken.

Ein fiberoptisches Instrument kann auch unter Anwendung einer elektronischen Kamera mit der digitalen Weiterverarbeitung verbunden werden. Das resultierende Bild ist in der Brillanz allerdings nicht mit dem ausschließlich in digitaler Technik produzierten zu vergleichen (■ Abb. 2.2).

Tipps

Welches Gerät soll ich kaufen? Angemessen ist bei der Neuanschaffung ein Videobronchoskopie-System. Der potenzielle Käufer sollte sich von entsprechenden Firmen (Kompatibilität zwischen Systemen verschiedener Firmen ist nur bedingt gegeben) das für ihn in Frage kommende Gerät vorführen lassen und vor dem Kauf neben dem Preis auch das Serviceangebot vergleichen. Die Wahl des Geräts muss entscheidend am Anwendungszweck orientiert sein. Will man überwiegend ein diagnostisches Bronchoskop, bietet sich eher ein dünneres Gerät mit einem 2-mm Arbeitskanal an, das geeignet für die gängigen diagnostischen Instrumente ist. Ultraschallsonden verlangen jedoch bisher einen 2,8-mm-Arbeitskanal. Soll das Gerät vorzugsweise therapeutischen Zwecken dienen, z. B. auf einer Intensivstation, dann ist ein großkanaliges Instrument von Vorteil. Sicherlich gibt es aber auch Situationen, auf die sich diese etwas schematische Einteilung nicht anwenden lässt. Bei häufiger Benutzung und größerem finanziellem Spielraum sollte sowohl ein diagnostisches als auch ein therapeutisches Gerät vorhanden sein.

2.1.2 Lichtquelle

Grundsätzlich kommen für Endoskope Kaltlichtquellen in Betracht. Der Infrarot-Anteil üblicher Lichtquellen ist hierbei stark reduziert. Die Illumination innerer Hohlräume führt so nicht zu einer Aufheizung des Gewebes. Das im Brenner erzeugte Licht wird mittels eines Reflektors mit Kaltlichtverspiegelung dem Lichtleiter eingespeist. Die in der Lichtquelle entstehende Wärme wird durch den Einbau von Ventilatoren abgeleitet.

Es lassen sich 2 Lichtquellentypen unterscheiden: Halogen und Xenon. Die **Halogenlichtquellen** sind für den Routinegebrauch fiberoptischer Geräte geeignet und besitzen z. T. auch eine Blitzeinrichtung für endoskopische Aufnahmen. Die Glühbirnen (150 W) haben eine Lebensdauer von etwa 50–60 h.

! Cave

Es empfiehlt sich, Sicherungen und Halogenglühbirnen in ausreichender Zahl vorrätig zu haben. Auch sollten Untersucher und Endoskopiepersonal genau wissen, wo und wie eine defekte Sicherung oder Birne ausgewechselt wird, damit die Routine durch solch einfache Defekte nicht wesentlich gestört wird. Ist bei laufendem Ventilator kein Licht vorhanden, sollte man zunächst den Lichtstärkeregler prüfen (versehentlich heruntergedreht?); ist dieser in Ordnung, dürfte die Birne defekt sein. Läuft aber auch der Ventilator nicht, müssen zuerst Stecker und Steckdose überprüft werden; sind diese intakt, wird die Sicherung ausgewechselt.

Für die Videoendoskopie sind die lichtstärkeren **Xenonlichtquellen** erforderlich. Ihre Lichtausbeute entspricht einer 300-W Glühbirne, sie weisen eine Lebensdauer von über 500 h auf und sind auch in der fiberoptischen Technik unerlässlich für Film-, Fernseh- und Fotoaufnahmen ohne Blitz. Die Aufnahmen dieses Buches wurden mit der Olympus-CLV-Xenonlichtquelle, die mit einer Beleuchtungs- und Belichtungsautomatik ausgerüstet ist, angefertigt. Diese »Hochleistungsgeräte« sind erwartungsgemäß teuer.

Fast alle Bronchofiberskope können über Adapter an die Lichtquellen anderer Firmen angeschlossen werden.

Wegen der unterschiedlichen Technik können elektronische Videoskope nur mit speziellen Lichtquellen benutzt werden. **Integrierte Lichtquellen** – für fiberoptische und elektronische Endoskope – sind heute die Regel.

2.1.3 Bildverarbeitung

In der fiberoptischen Ära boten sich zur analogen Bild-Dokumentation hauptsächlich in das System integrierte Kleinbildkameras sowie Videorekorder an. Die initial benutzten Sofortbildkameras wurden von Videoprintern abgelöst.

Digital-elektronische Bronchoskopiesysteme erlauben es, das bei der Untersuchung aufgezeichnete Bildmaterial umgehend dem Patienten, einem Untersucher und dem dafür verwandten Bronchoskop zuzuordnen. Sämtliche Angaben werden über eine Tastatur eingegeben. Netzwerkschnittstellen ermöglichen es inzwischen auch, Patientendaten aus dem Informationspool des Netzwerkes einzuspeisen. In gleicher Weise können Bildtitel und Kommentare eingegeben werden. Neben Standbildern können so auch Videosequenzen eines Teils der Untersuchung bzw. Gesamtuntersuchungen aufgezeichnet werden.

Die Aufzeichnung von Bildmaterial geschieht über Festplatten oder Speicherchips. Alternativ besteht die Möglichkeit, über den mit einem Netzwerk verbundenen Prozessor Bilder und Filmsequenzen auf einem Zentralserver zu hinterlegen. Während der elektronischen Erstellung eines Untersuchungsprotokolls kann z. B. dann auf das Bildmaterial zurückgegriffen werden. Eine Bearbeitung der Bilder ist im Prozess mittels geeigneter Software ebenfalls möglich.

Bildqualität und Auflösung können durch entsprechende Einstellung im Prozessor festgelegt und an die Bedürfnisse angepasst werden.

Es gibt inzwischen eine Fülle von Modifikationen und Verknüpfungen, die dem Untersucher zur Verfügung stehen. Individuelle Bedürfnisse können von marktüblichem Instrumentarium in erstaunlicher Weise bedient werden. Bilddatenformate und Systemschnittstellen müssen aufeinander abgestimmt sein. Fehlerquellen, die in der Kommunikation mehrerer verknüpfter Systeme auftreten können, sind vielfältig. Ihre Komplexität bedarf nicht selten der Hilfe eines entsprechend geschulten Medizintechnikers oder EDV-Spezialisten.

2.1.4 Spezifikationen

Folgende Eigenschaften charakterisieren ein Bronchoskop: Außendurchmesser, Größe des Arbeitskanals, optische Qualitäten sowie Umfang der Spitzenabwinklung.

Der **Außendurchmesser** ist mitbestimmend für den Patientenkomfort bei der nasalen Intubation (je dünner, desto weniger belastend), aber auch für die optische Reich-

weite der Endoskopie (je dünner, desto weiter peripher gelangt der Blick). In der Therapie oder beim intubierten Patienten behindert ein dünnes Bronchoskop die Beatmung weniger. In der Kombination von starrem und flexiblem Instrumentarium bleibt mit einem schlanken Bronchoskop mehr Manövrierraum. Schmale Geräte können Stenosen passieren und Areale distal davon explorieren. Dies ist besonders wichtig in der Vorplanung interventioneller Verfahren zur Überbrückung von Stenosen. Demgegenüber kann jedoch auch ein Gerät mit größerer Masse Druck besser übertragen und in weichen Stenosen eher rekanalisieren als dünne Instrumente, die leichter abknicken. Wird ein Bronchoskop als Intubationshilfe benutzt, eignen sich stärkerkalibrige Geräte mit größerer Masse deutlich besser als Führungsschiene.

Dagegen birgt der große **Arbeitskanal** gegenüber dem kleinen erhebliche Vorteile: Größere Zubehör-Instrumente sind einsetzbar, damit auch größere Proben für eine sichere Diagnose erzielbar. Ein großer Arbeitskanal ermöglicht größere Saugkraft für die therapeutische Bronchoskopie, Blut und Sekret sind während der diagnostischen Prozeduren leichter zu entfernen, die Untersuchungszeit verkürzt sich dadurch.

Optische Brillanz ist durch einen weiten Blickwinkel, maximale Tiefenschärfe und gute Lichtstärke gewährleistet. Orientierung und rascher Überblick werden durch diese Qualitäten garantiert. Optische Qualitäten und Dokumentationsmöglichkeiten sind zudem wesentlich in der Zusammenarbeit mit Zuweisern oder Experten (Telemedizin), zunehmend auch in der Übermittlung von genauer räumlicher Information für den weiterbehandelnden Arzt. Ein Videobronchoskop mit seinen Möglichkeiten, Bilder und Videos unkompliziert in Netzwerke einzuspeisen, bietet bezüglich dieser Spezifikation unschlagbare Vorteile gegenüber fiberoptischen Instrumenten (▣ Abb. 2.10).

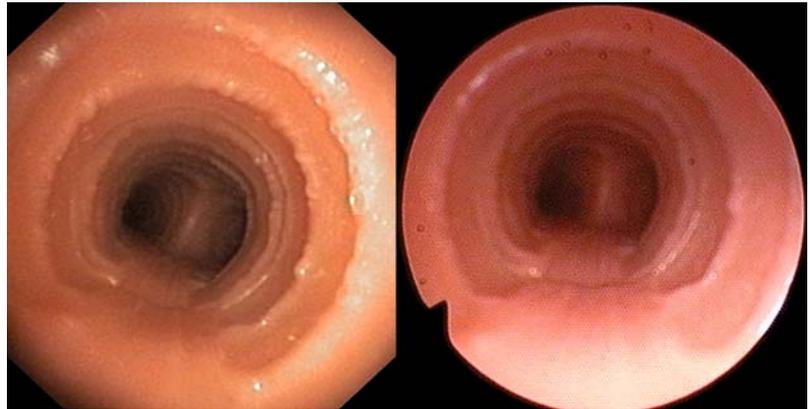
Die **Abwinklungsmöglichkeit** eines Bronchoskops beeinflusst direkt die Reichweite in steilen Bronchialabgängen wie dem apikalen Oberlappensegment oder dem superioren Unterlappensegment. Ob ein Biopsieinstrument in das oberste inneren Subsegment eingefädelt werden kann, hängt vom Abwinklungsumfang des verwendeten Bronchoskops ab. Perpendikuläre Nadelbiopsien in den großen Bronchien haben eine größere Erfolgsquote, wenn die Abwinklung einen möglichst senkrechten Aufsatz der Nadel auf der Schleimhaut erlaubt.

Tipps

Das ideale Bronchoskop ist schlank, weist einen großen Arbeitskanal auf, arbeitet möglichst in Videotechnologie... Letztendlich handelt es sich um die Quadratur des Kreises. Je nach Bedürfnis ist, angepasst an die Indikation zur Bronchoskopie, dasjenige zur Verfügung stehende Gerät zu wählen, dessen Eigenschaften die



■ **Abb. 2.10.** Links eine mittels Videobronchoskop, rechts mittels Fiberbronchoskop gewonnene Abbildung



Zielsetzung der Untersuchung wesentlich unterstützt. Sollte sich im Verlauf einer Untersuchung herausstellen, dass ein besseres Ergebnis mit einem anderen Gerät vorstellbar ist, sollte nicht gezögert werden, das Instrumentarium zu wechseln.

2.1.5 Spezialfunktionen

Fluoreszenzbronchoskop

Die Epidemie maligner Erkrankungen im unteren Respirationstrakt hat seit Jahrzehnten Bemühungen beflügelt, Krebsentstehung in frühen, noch kurativ behandelbaren Stadien zu erkennen. In diesem Rahmen erwies sich die Fluoreszenzbronchoskopie als Mittel, bereits entartete, optisch jedoch kaum veränderte Schleimhaut dem Auge sichtbar zu machen. Fluoreszenz als Phänomen findet kontinuierlich auch während der Weißlichtbronchoskopie statt, ist jedoch so schwach ausgeprägt, dass es unter normalen Bedingungen nicht wahrnehmbar ist. Die für die Bronchialschleimhaut geeignetste anregende Wellenlänge liegt im Blaubereich. Das hierdurch entstehende Fluoreszenzlicht ist grün. Fluoreszenzbronchoskopie bedarf der digitalen Bildbearbeitung (► Kap. 5.1.2, Abschn. Autofluoreszenzbronchoskopie). ■ Tab. 2.2 gibt eine Übersicht über die gängigen Fluoreszenzsysteme.

Es gibt verschiedene Modelle des Fluoreszenzbronchoskops. Ältere Systeme nutzten noch fiberoptische Geräte in Verbindung mit lasergeneriertem monochromatischem Licht und elektronischen Kameras sowie Verstärkersystemen (■ Abb. 2.11). Modernere Versionen inkorporieren einen Fluoreszenzmodus in ein ebenso für Weißlicht geeignetes Videobronchoskop. Dies erfordert sowohl spezielle Lichtquellen als auch eine modifizierte Bearbeitung des endoskopischen Bildes im Prozessor. Durch Umschalten in den Fluoreszenzmodus wird das Weißlicht bereits in der Lichtquelle gefiltert. Lediglich ein schmales für die relevante Gewebsfluoreszenz relevantes Lichtspektrum im

Blaubereich wird über den Lichtleiter ins Bronchialsystem ausgesendet. Das von der Schleimhaut ausgesandte im Vergleich zur Weißlichtbronchoskopie deutlich schwächere Fluoreszenzlicht bedarf der Verstärkung. Es wird in digitaler Verarbeitung dem Betrachter auf dem Monitor in einer von der normalen Darstellung abweichenden Kontrastfarbe in Echtzeit kenntlich gemacht. Areale pathologischer Fluoreszenz werden im Gegensatz zur normalen besonders hervorgehoben, z. B. durch Dunkelfärbung. Komfortabel ist der Wechsel zwischen Weißlicht- und Fluoreszenzmodus, um pathologische Areale optimal zu lokalisieren und zu dokumentieren. Fluoreszenzsysteme werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Vor einer Anschaffung ist stets die Kompatibilität mit den vorhandenen Gerätschaften zu prüfen.

Tipps

Indikationen

Der Einsatz der Fluoreszenzbronchoskopie ist indiziert für Untersuchungen von Patienten mit einem hohen Risikoprofil für die Entwicklung bronchialer Neoplasien. Da die Kosten für ein Fluoreszenzsystem nicht unerheblich sind, sollte vor einer Anschaffung geklärt sein, dass eine entsprechend hohe Anzahl von Untersuchungen mit dieser gezielten Indikation zu erwarten ist. Fluoreszenzbronchoskopie eignet sich für Zentren mit einem hohen Anteil von Patienten mit onkologischer Fragestellung und thoraxchirurgischer Anbindung, möglicherweise auch im Rahmen von Gesundheitszentren, die sich vorwiegend der Prävention widmen. Eine Neuerung auf dem Markt wird derzeit sowohl von Pentax als auch Olympus angeboten. In einem Arbeitssystem finden sich Autofluoreszenz sowie endobronchialer und gastroenterologischer Ultraschall kombiniert. Damit wird der Indikation Früherkennung bzw. präoperatives Staging Rechnung getragen. Eine Mortalitätsreduktion für den Lungenkrebs ist allerdings durch den Einsatz des Fluoreszenzbronchoskops bisher nicht nachgewiesen.

Tab. 2.2. Liste erhältlicher Fluoreszenzsysteme

Modell	Firma	Eigenschaften
Evis Lucera Spectrum	Olympus, Tokyo, Japan	Xenonlichtquelle mit Filtern für 415 und 540 nm Fluoreszenzlicht, spezielles Bronchoskop ist Teil des Systems
Onco-LIFE	Xillix, Vancouver BC	Xenonlichtquelle, kompatibel mit den meisten Endoskopen und »ausgewählten« Videoendoskopen
SAFE 3000	Pentax, Tokyo, Japan	Xenonlichtquelle für Weißlicht, Laserlichtquelle (Diode 408 nm) für das Fluoreszenzlicht, spezielles Bronchoskop ist Teil des Systems
D-Light-System	Storz, Tuttlingen, Deutschland	Xenonlichtquelle mit 2 Belichtungsmodi, kompatibel mit Glasfaserbronchoskopen und starren Optiken
DAFE-System	Wolf, Tuttlingen, Deutschland	Xenonlichtquelle, kompatibel mit Glasfasergeräten und starren Optiken

Neuere Videogeräte halten die Möglichkeit des »**narrow band imaging** (NBI)« vor. Hierbei handelt es sich nicht um eine Anwendung der Fluoreszenz, sondern um die Ausleuchtung des Bronchialsystems mit Licht eines schmalen Wellenlängenbereiches (blau und grün), der besonders von Hämoglobin absorbiert wird. Damit ist es möglich, den Kontrast zwischen Strukturen, die Licht reflektieren wie z. B. die Schleimhaut und absorbierenden Formationen, den Blutgefäßen, sehr deutlich sichtbar zu machen (Abb. 2.12). Es kommen auch kleinere Blutgefäße unterhalb der Schleimhautoberfläche zur Darstellung. In der Frühdiagnose des Kolonkarzinoms und des Barrett-Ösophagus ergeben sich hierdurch Vorteile. Eine klinisch verwertbare Anwendung dieser Technik im Bronchialbereich

Abb. 2.12. Links ein Bronchialabschnitt im Weißlichtmodus, rechts im NBI-Modus. Blutgefäße werden durch die sehr dunkle Schattierung kontrastreich hervorgehoben



Abb. 2.11. Das erste weltweit eingesetzte Autofluoreszenzsystem LIFE-Lung von Xillix, Vancouver, bestehend aus der Laserlichtquelle, der Prozessorkonsole und der ausschwenkbaren CCD-Kamera

ist jedoch zurzeit noch Gegenstand der Forschung. Auch diese Funktion kann am Prozessor durch einfaches Umschalten aktiviert werden.

Ultraschallinstrumentarium (endobronchialer Ultraschall – EBUS)

Gastroenterologisch etabliert ist seit Jahren ein Endoskop mit einem integrierten Ultraschall-Sektorscanner (EUS).

Seit kurzer Zeit steht solch ein Instrument auch für die Bronchoskopie zur Verfügung, das **Punktionsbronchoskop** (seit Oktober 2008 sind bronchial anwendbare Ultraschallgeräte nicht nur über die Fa. Olympus zu beziehen, ein Gerät mit dieser Funktion der Fa. Pentax (EBUSpro) ist nun ebenfalls im Handel). Sein Einsatzgebiet ist vor allem das Lymphknotenstaging des Lungenkarzinoms. Anders als in flüssigkeitsgefüllten Räumen ist zur Darstellung der peribronchialen Weichteile jedoch ein Kopplungsmedium erforderlich, das den störenden Einfluss der bronchialen Luft ausschaltet. Zu diesem Zweck werden Ultraschalltransducer zum bronchialen Einsatz mit einem Ballon umgeben, der je nach Bedarf mit unterschiedlichen Volumina Wasser befüllbar ist (▣ Abb. 2.13 und 2.14). Mit leichtem Druck an die Atemwegswand angelegt entsteht so ein artefaktfreies sonographisches Bild der Peribronchialstrukturen oder des Mediastinums. Wesentlich für eine einwandfreie Funktion ist die Vorbereitung des Ballonsystems ohne Einschluss von Gasblasen. Die Ballons sind so konstruiert, dass sie bei Überdruck nicht zerplatzen und daher keine Latexfetzen im Bronchialsystem verteilen, sondern sich über einen Haltering aus der Position lösen und das Wasser freisetzen. Nach einer solchen Dislokation ist der Ballon oder Ballonkatheter in der Regel erneut einsetzbar, muss aber außerhalb des Patienten wieder exakt positioniert und luftfrei an das Wasserreservoir angeschlossen werden.

Das System beinhaltet einen Ultraschallprozessor sowie ein Bronchoskop mit einem Außendurchmesser von 6,9 mm und einem Arbeitskanal von 2 mm. Das Bronchoskop ist zum einen über den üblichen Instrumentenstecker mit der Lichtquelle (Xenon) verbunden. Zwei Lichtleiter sorgen für ausreichende Illumination für das endoskopische Bild. Zum anderen ist das Gerät mit einem empfindlichen und vielpoligen Stecker zur Verbindung an den Ultraschallprozessor ausgestattet. Eine Neuentwicklung der Olympus-Serie bietet inzwischen einen kompakten Ultraschallprozessor geeignet für Sonden **und** das weiterentwickelte Punktionsbronchoskop an (EU-ME1). Die Instrumentenspitze trägt den Ultraschall-Sektorscanner (7,5 MHz, 50°), um den ein mit Wasser befüllbarer Ballon den störungsfreien Kontakt zur Bronchialwand herstellen kann. Dieser Befüllkanal ist separat vom eigentlichen Arbeitskanal und hat auch einen eigenen Zugang, über den eine Spritze über einen Dreiwegehahn verbunden ist. Proximal des Scannerkopfes mündet der eigentliche Arbeitskanal, durch den eine Punktionsnadel genau in dem Winkel in das anliegende Gewebe penetriert, der durch den Ultraschallscanner eingesehen wird. Die Probeentnahme aus dem angestrebten Zielgebiet kann so komplett unter Sicht erfolgen. Integriert ist ebenfalls eine Doppler-Funktion, die wahlweise zugeschaltet werden kann. So ist es möglich, benachbarte Gefäße und stark vaskularisierte Prozesse zu identifizieren (▣ Abb. 2.15).

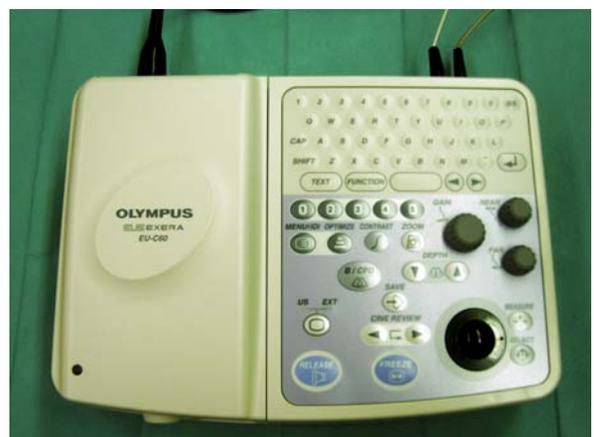
Neben der Öffnung des Arbeitskanals findet sich eine optische Linse im 35°-Winkel. Die endoskopische Bildqualität entspricht der eines Fiberbronchoskops mäßiger Qua-



▣ **Abb. 2.13.** Das Punktionsbronchoskop von Olympus mit eingeführter Punktionsnadel



▣ **Abb. 2.14.** Die Spitze des Punktionsbronchoskops mit wasser-gefülltem Ballon um den Transducer



▣ **Abb. 2.15.** Keyboard für das Punktionsbronchoskop mit Bedienungsmöglichkeit einer Doppler-Funktion



■ **Abb. 2.16.** Zur Erleichterung der Orientierung kann das endoskopische und sonographische Bild auf einer Monitorarstellung betrachtet werden. Wahlweise kann auch die sonographische Darstellung formatfüllend und das endoskopische Bild als Inset fungieren

lität, der Sichtwinkel beträgt 80°, ein zusätzlicher Videochip ist in der Gerätspitze aus Platzmangel nicht vorhanden. Das Bild wird mittels Glasfasern bis in den Instrumentierkopf geleitet und dort zum Videosignal verarbeitet (Hybridendoskop). Das neuere EBUSpro ist demgegenüber ein Videobronchoskop mit einer 45° Winkeloptik, aber einem Sichtwinkel von 100°. Allerdings beträgt der Durchmesser des distalen Ende 0,55 mm mehr (7,45 mm vs. 6,9 mm). Zwischen endoskopischer Sicht und Ultraschallmodus kann gewechselt werden, alternativ besteht die Möglichkeit, beide Bilder parallel auf 2 Monitoren gleichzeitig zu verfolgen oder das endoskopische/sonographische Bild als kleinen Ausschnitt auf dem Monitorbild miteinzublenden (■ Abb. 2.16).

Punktionsbronchoskopuntersuchungen werden häufig unter Vollnarkose durchgeführt. In der Regel handelt es sich um 2 sequenzielle Bronchoskopien. Auf Grund der eingeschränkten Qualität des endoskopischen Bildes im Punktionsbronchoskop sollte eine ausführliche Voruntersuchung mittels Videobronchoskop vorab erfolgen. Außerdem ist die Punktion eines kleinen Lymphknotens beim spontan atmenden Patienten durch respiratorische Bewegungen schwierig. Die Untersuchung ist trotzdem auch in Lokalanästhesie durchführbar. Die Intubation durch die Nasenpassage wird selten möglich sein, es empfiehlt sich eine orale Intubation, für die durch die abgewinkelte Optik etwas zusätzliche Übung erforderlich ist. Die Dimension des Gerätes und die etwas eingeschränkte Beweglichkeit (120/90°) beschränken die Anwendung auf die Haupt- und Lappenbronchien; Segmentbronchien lassen sich nur in seltenen Fällen instrumentieren. Spezialzubehör wie z. B. maßgeschneiderte Einmalpunktionsnadeln in der Größe 22 G ist erforderlich, konventionelle Biopsienadeln oder Zangen passen nicht durch den Kanal.

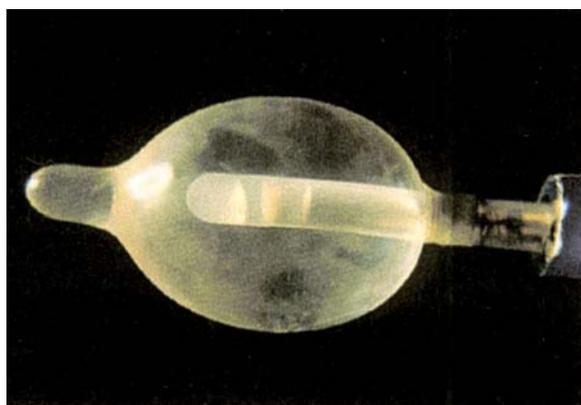
Vorbereitung, Bedienung von Nadel und Bronchoskop und sachgemäße Handhabung zur Vermeidung von Arbeitskanaldefekten durch die ausgefahrene Nadel sind komplex und erfordern ein eingespieltes Team in der Koordination von Darstellung und Probengewinnung. Zur Reinigung des Gerätes, dessen Instrumentenstecker zur Ankopplung an den Ultraschallprozessor eine komplexere Struktur aufweist, ist der Schutz durch eine besondere Kappe notwendig.

! Cave

Wird das Gerät ohne Ballon eingesetzt, ist besonderes Augenmerk auf die anschließende Reinigung des feinen Ballon-Befüllungskanals zu richten. Atemwegssekret steigt auf Grund der Kapillarwirkung in diesen Kanal auf und kann diesen, eingetrocknet, irreversibel verstopfen, so dass ein kostspieliger Austausch erforderlich ist.

Neben dem Punktionsbronchoskop ist ein zweites Ultraschallgerät erhältlich. Es ist in seiner Spitze mit einem Radialscanner (20 MHz) bestückt und hat sein Einsatzgebiet in der Beurteilung der Tiefeninvasion bronchialer Frühkarzinome. Die Auflösung der Wandstrukturen gelingt mit der höherfrequenten Echowiederholung deutlich besser als mit dem Punktionsbronchoskop. Der Arbeitskanal dieses Gerätes ist für die Außendimension (6,2 mm) recht klein (1,2 mm) und bietet lediglich Platz für eine Reinigungsbürste und die Absaugfunktion. Es handelt sich somit um ein **Dokumentationsbronchoskop**.

Endoskopische Sonden zur Anwendung von Ultraschall bis in die peripheren Bronchien hinein sind bereits seit längerer Zeit verfügbar und mit Geräten mit einer Arbeitskanalgröße ab 2 mm nutzbar (**Sonden-EBUS**). Die Sonde besitzt einen radiären Scanner (20 MHz, Mini-Sonde: 30 MHz) und bildet jeweils zirkumferent um den Bronchus/die Trachea befindliche Strukturen ab. Der Transducer rotiert in einer öligen Flüssigkeit und ist mit einem Ultraschallprozessor und dem Rotationsmotor über eine Steckverbindung gekoppelt (■ Abb. 2.17).



■ **Abb. 2.17.** Spitze des EBUS-Ballonkathetersystems. Die den radiären Transducer tragende Sonde ist in den Ballonkatheter eingeführt, der Ballon ist über einen separaten Zugang mit Wasser befüllt

Die Handhabung des Instrumentariums ist einfach, Sonde und Ballonkatheter werden durch den Arbeitskanal eines Videobronchoskops vorgeschoben. Der Ballonkatheter wird durch eine Spritze und einen Dreiwegehahn prozessornah nach Bedarf befüllt. Bilder guter Qualität kommen durch Prallausfüllung des Bronchuslumens zustande. Das sonographische Bild kann entweder simultan auf einem zweiten Monitor bereitgestellt werden oder als Minibild im endoskopischen Monitorbild bzw. vice versa. Schwierig zu erlernen ist die Orientierung im endoskopischen Modus, da die Sonde Querschnitte wechselnder Ausrichtung aneinanderreihet und das Bild im 360°-Radius keine feste Verankerung hat. Genaue Kenntnis der peribronchialen Anatomie ist erforderlich, um sich an markanten Strukturen (Aortenbogen, Speiseröhre) orientieren zu können.

Anders als beim Punktionsbronchoskop ist das endoskopische Bild wesentlich, wenn Probeentnahmen geplant sind. Die genaue Ortsbestimmung für den Einsatz der Nadel erfolgt durch den Vergleich des sonographischen mit dem endoskopischen Bild. Nach Bedarf ist die Ultraschallsonde mehrfach während einer Untersuchung einsetzbar. Inzwischen gibt es bereits unterschiedlich dünne Sonden, die auch durch schlankere Geräte einführbar sind und damit in unzugänglichere Regionen gesteuert werden können. Die Lebensdauer einer solchen Ultraschallsonde beträgt etwa 100–150 Untersuchungen.

Wie bereits erwähnt, ist für den Einsatz in den zentralen Bronchien die Kopplung mit der Bronchialwand durch einen okkludierenden wassergefüllten Ballon notwendig. Diese Technologie bedingt eine wesentliche Einschränkung des Einsatzes. Der wache Patient toleriert eine ausführliche Inspektion der Trachea kaum, da eine für die optimale Bildgebung vollständige Okklusion mittels Ballon die Atmung blockiert, dies wird im wachen Zustand nur sehr kurz toleriert. Ebenso kann für Patienten mit Beeinträchtigung der Atmung einer Lunge durch Tumor oder Embolie eine Ultraschalluntersuchung der Gegenseite in Ballonkatheter-technik an die respiratorische Grenze führen.

Elekromagnetische Navigation

Seit einigen Jahren wird die elektromagnetische Steuerung mit zunehmender Präzision eine Alternative zu Durchleuchtung und endobronchialen Ultraschall. Das inzwischen auf dem Markt erhältliche und in begrenztem Umfang praxiserprobte elektromagnetische Navigationssystem superDimension/bronchus system (superDimension Ltd., Israel) wird in Verbindung mit einem Videobronchoskop zur Steuerung von Biopsieinstrumenten an einen vorbestimmten Ort im Bronchialsystem eingesetzt. Das System besteht aus 3 wesentlichen Komponenten.

- Speziell entwickelte Planungssoftware, die einen Datensatz eines Multislice-Thorax-CT für eine virtuelle Bronchoskopie aufbereiten kann. Bilder werden im gebräuchlichen DICOM-Format verarbeitet.

- Die für die Steuerung vorgesehene Sonde besteht aus einem Sensor in der Spitze und ist in alle Richtungen beweglich, um sämtliche in Frage kommenden Biegungen bewältigen zu können. Über die Sonde bewegt sich ein ausfahrbarer Arbeitskanal, durch den nach Lokalisation der Läsion ein Biopsieinstrument zum Herd vorgeschoben werden kann.
- Generator für ein elektromagnetisches Feld in Form einer Patientenunterlage; er ist mit dem Zentralcomputer verbunden. Die Position der Sonde wird kontinuierlich in die Verarbeitung eingespeist und auf einem Monitor in Relation zu den radiologisch erfassten Thoraxstrukturen in Echtzeit wiedergegeben.

Erste vielversprechende Erfahrungsberichte liegen vor. Seit Ende 2006 zunächst ein Rückruf des Systems wegen beobachteter Komplikationen (Pneumothorax) in der Anwendung erfolgte, ist durch die Modifikation der Sonde der Einsatz inzwischen wieder möglich.

Intubationsbronchoskope

Bronchoskopieren erfordert eine zunehmend kompaktere und umfangreiche Ausrüstung; die Lichtquelle, der Prozessor, mindestens ein Monitor und eine Absaugvorrichtung. Es gibt mobile Instrumentenwagen, auf denen das gesamte Zubehör Platz findet, die wendig zwischen Räumen bewegt werden können und zur Funktionstüchtigkeit nur noch einer Steckdose bedürfen. Für den noch unabhängigeren



■ **Abb. 2.18.** Beispiel eines batteriebetriebenen Intubations- oder Bedside-Bronchoskop

Einsatz möglicherweise außerhalb, z. B. im Rettungswagen oder als Intubationshilfe im Operationssaal wurde ein batteriebetriebenes Bronchoskop entwickelt, das von elektrischer Versorgung abgekoppelt funktioniert und die eigene Lichtquelle inkorporiert hat. Es ist ein leichtes Bronchofiberskop mit Okular, selbstverständlich an eine Saugvorrichtung anzuschließen, am Instrumentiergriff wird eine Kapsel mit starken Batterien angebracht, die die Lichtzufuhr gewährleistet (■ Abb. 2.18). Dieses Gerät kann zu therapeutischen Zwecken eingesetzt werden. Die optischen Qualitäten entsprechen nicht denen eines Lichtquelle-betriebenen Bronchoskops, für den Notfall ist die Handhabung jedoch zufrieden stellend. Eine Betriebszeit von mehreren Stunden kann gewährleistet werden. Der Einsatz liegt hauptsächlich im Anästhesiebereich und in der Notfallversorgung, für diesen Zweck stehen unterschiedlich große Geräte zur Verfügung. Im Routinebetrieb können moderne Ausgaben dieser Geräte auch an Standard-Lichtquellen und digitale Bildverarbeitung angeschlossen werden.

Sonstige Sonderformen

Zurzeit nicht als kommerzielles Gerät erhältlich, aber in der Vergangenheit erprobt ist ein **Bronchoskop mit 2 Arbeitskanälen**. Das Gerätekaliber entspricht den größten Durchmessern, die Arbeitskanäle messen beide 2 mm. Seinen Einsatzbereich hat dieses Gerät im therapeutischen Bereich, da sowohl die Operation eines resezierenden Instrumentes (Laser, Kauter) als auch die simultane Absaugung von Blut und Sekret möglich sind. Hierdurch wird Übersichtlichkeit im Operationsfeld gewährleistet und Untersuchungszeit eingespart. Ähnlich nützlich ist dieses Gerät bei der Entnahme von Proben in stark blutenden Gewebsarealen. Auch hier kann durch simultane Saugung die präzisere und schnellere Platzierung des Biopsieinstrumentes erzielt werden.

In der Entwicklung sind außerdem deutlich größere Instrumente wie das **flexible Großbronchoskop** mit einem Durchmesser von 8 mm und einem 5-mm-Arbeitskanal. Mit solch einem Gerät ist z. B. die Stentfreisetzung aus dem Arbeitskanal in abgewinkelten Bronchien wie den Oberlappen denkbar. Auch in der Fremdkörperentfernung könnte ein solches Instrument sinnvoll eingesetzt werden.

Lange und sehr dünne (<2 mm) fiberoptische Bronchoskope sind seit vielen Jahren als »**Mother-Baby-Scope**«-Systeme in der Erprobung. Sie dienen der Lokalisierung peripher gelegener Herde. Die Baby-Scope enthalten Lichtfasern und eine kleine optische Linse sowie Seilzüge zur Abwinkelung, Platz für einen Arbeitskanal ist nicht vorhanden. Allerdings können die Baby-Scope durch einen Katheter geführt werden, der nach Lokalisation eines peripheren Herdes vor Ort bleibt. Nach Rückzug des Baby-Scopes kann anstelle dessen eine Zange eingeführt werden. Das Mutterbronchoskop stellt die Passage bis in die kleineren Bronchien zur Verfügung, ein so dünnes Bronchoskop ist in den zentralen Atemwegen mangels Masse schwierig zu dirigieren.

Eine neuere Entwicklung ist ein **2,8 mm großes Bronchoskop** mit einem 1,2 mm großen Arbeitskanal, mit dem es möglich ist, bis zu Bronchien der 8. Ordnung vorzudringen. Eine dafür gefertigte kleine Biopsiezange kann histologische Präparate auch durch diesen Arbeitskanal zutage fördern. Der minimierte Arbeitskanal stellt allerdings ein Problem dar, wenn sich erhebliche oder zähe Sekretmengen in den Bronchien befinden oder es zu einer stärkeren Blutung kommt. Die Saugleistung in einem Kanal solcher Abmessung ist äußerst gering und damit die Sicht gefährdet. Zudem, und dies gilt auch für die Babyscope-Systeme, ist die Orientierung in den Bronchien ab der 6. Ordnung zunehmend schwierig, da nicht mehr durchgehend eine durch Knorpel stabilisierte Wand vorhanden ist und sich die Schleimhaut der Linse anlegt.

2.1.6 Zubehör

Selten wird nur das Bronchoskop allein zum Einsatz kommen. Als Beispiel dient die Nachsorgebronchoskopie oder der Einsatz der Methode bei chronischem Husten. Sehr häufig werden zur Erfüllung des Zweckes der Endoskopie Zusatzinstrumente, für die der Arbeitskanal vorgesehen ist, zur Hilfe genommen. Mannigfache Instrumente zur Gewebe- und Sekretgewinnung sind auf dem Markt. Die Auswahl unterliegt Gesichtspunkten, die vom ökonomischen Rahmen, aber auch von der Indikation für die Bronchoskopie und den Zielsetzungen des Gesamtunternehmens abhängig sind (■ Abb. 2.19). Einige allgemeine für die Kaufentscheidung relevante Aspekte sollen hier zur Sprache kommen.

Hersteller von Endoskopen bieten zum Teil speziell für ihre Endoskope ausgelegte Produkte an (als Beispiel Nadeln für das Punktionsbronchoskop); es gibt jedoch auch Firmen, die sich auf die Entwicklung von Zubehör spezialisiert



■ **Abb. 2.19.** Vergleich bioptischer Möglichkeiten des Dokumentationsbronchofiberskops (*links*), das nur eine Bürstenentnahme erlaubt, mit dem dünnen Routineinstrument (*rechts*), bei dem eine Zangenbiopsie möglich ist