
Biomedizinische Technik: Minimal- und nichtinvasive Verfahren als technische Voraussetzung für neue Formen der Diagnostik und Therapie

Peter Niederer & Peter Boesiger

Minimal- und nichtinvasive Verfahren für die Diagnostik und Therapie haben in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung erfahren. Nebst besserer medizinischer Versorgung verspricht man sich längerfristig davon auch eine Verlangsamung des Anstiegs der Kosten im Gesundheitswesens. Zunächst wird exemplarisch gezeigt, wie sich mit Hilfe der (nichtinvasiven) Magnetresonanztchnik neue diagnostische Ansätze bei Herz- und Kreislaufkrankheiten und bei der Untersuchung der Magenfunktionalität ergeben. Die Endoskopie ist sodann eine wichtige Voraussetzung zur Durchführung minimal invasiver Eingriffe, beispielsweise im Auge. Schliesslich werden zukünftige Entwicklungen der biomedizinischen Technik diskutiert.

1 NEUE METHODEN DER MEDIZINTECHNIK UND KOSTEN DES GESUNDHEITSWESENS

Im heutigen Gesundheitswesen stellt sich die schwierige Aufgabe, einerseits eine allen Menschen zugängliche medizinische Versorgung hoher Qualität sicherzustellen und andererseits die Kostenentwicklung unter Kontrolle zu halten. Diese vorwiegend politische Forderung hat auch einen technisch-wissenschaftlichen Aspekt, und dieser ist Gegenstand des vorliegenden Aufsatzes.

Die Medizintechnik wird häufig als mitverantwortlich für übermässige Kostensteigerungen im Gesundheitswesen gemacht. Insbesondere befinden sich Methoden der nichtinvasiven Diagnostik hoher Sensitivität und Spezifität (z. B. auf der Anwendung von Ultraschall oder auf magnetischer Kernresonanz basierende bildgebende Verfahren) sowie der minimal invasiven Diagnostik und Therapie (z. B. endoskopische Verfahren) seit mehreren Jahren in rasanter Entwicklung. Ein inhärenter «Nachteil» solcher Methoden besteht aber *eo ipso*: Den Patienten nicht belastende diagnostische Methoden können vom medizinischen Standpunkt bedenkenlos angewendet werden, und sie bringen dank hoher Sensitivität und Spezifität dem Arzt und dem Patienten bezüglich seines Leidens Gewissheit; eine enorme Mengenausweitung, bedingt durch Mehrfachuntersuchungen und Anwendung auch bei nur geringster Indikation oder zur zusätzlichen Absiche-

zung einer Diagnose ist die unausweichliche Folge davon. Die Aufgabe des medizintechnischen Ingenieurs besteht deshalb insbesondere darin, derartige Verfahren durch konsequentes Ausnützen des technischen Fortschrittes fortlaufend billiger zu gestalten, so dass trotz Mengenausweitung insgesamt keine Verteuerung eintritt. (Das wiederum politische Problem besteht allerdings darin, dass die bei der Einführung eines neuen Verfahrens von den zuständigen Stellen bewilligten Tarife in der Regel das Ergebnis eines mühsam ausgehandelten Kompromisses darstellen und später, trotz technischen Fortschrittes, kaum mehr nach unten angepasst werden.)

Methoden der nichtinvasiven Diagnostik sind aber nicht nur für die klinische Routine, sondern auch für die klinische Forschung von zentraler Bedeutung. Es gibt heute (immer noch) viele schwere Krankheiten, bei denen keine Heilung oder höchstens eine Symptombehandlung möglich ist, wie beispielsweise bei gewissen Neoplasmen, bei der multiplen Sklerose, bei AIDS, bei psoriatischen Erkrankungen, bei Rheuma, Osteoporose oder Arthritis. Für die klinische Erforschung solcher Erkrankungen, insbesondere für die Abklärung der Wirksamkeit neuer Therapieformen, sind nichtinvasive Methoden unerlässlich.

Anhand spezieller Beispiele wird im folgenden versucht, nicht bzw. minimal invasive Verfahren sowie deren Wirksamkeit bei neuartigen Anwendungen darzustellen.

2 BILDGEBENDE MAGNETRESONANZ-VERFAHREN ZUR ERFASSUNG VON KÖRPERFUNKTIONEN

Die auf magnetischer Kernresonanz basierende sog. Magnetresonanz- (MR-) Tomographie ist ein bildgebendes Verfahren (MRI) zur Abbildung von anatomischen Strukturen des menschlichen Körpers und deren Veränderungen infolge verschiedenster Erkrankungen. Es zeichnet sich aus durch eine hohe Differenzierung der Weichteilstrukturen des Körpers und durch die Tatsache, dass zur Bilderzeugung magnetische Felder und Radiowellen, aber keine ionisierende Strahlung eingesetzt werden. Neue bildgebende und spektroskopische MR-Verfahren eröffnen aber auch neue Wege zur nichtinvasiven Analyse von funktionellen Eigenschaften des menschlichen Körpers und seiner Organe. Mit neuen Untersuchungstechniken wird es damit möglich, Funktionen des Herz-Kreislaufsystems (Herzbewegung, Blutfluss), des Magens (Motilität, Nahrungsverarbeitung), des Gehirns (Hirnaktivierungen, Stoffwechsel) und weiterer Organe zu erfassen. Daraus lassen sich neue Erkenntnisse über die Funktionen des menschlichen Körpers und seiner Organe ableiten und diagnostische Untersuchungsverfahren erarbeiten.

2.1 Bildgebende Magnetresonanzverfahren zur Analyse von Herz- und Kreislauf-Funktionen

Zur Analyse der Bewegung des Herzens wird eine neue Technik des *Myocardial Tagging* entwickelt. Dabei wird enddiastolisch durch räumlich periodische Modulation der Magnetisierung des Herzmuskelgewebes ein muskelfestes Gittermuster über das Herz gelegt. Dieses Gitter bleibt über den gesamten Herzzyklus sichtbar. Aus den Verschiebungen und den Verzerrungen dieses Gitters in Zeitreihen von Bildern, die anschließend während des Herzzyklus aufgenommen werden, lassen sich charakteristische Bewegungsmuster des gesunden Herzens und bei verschiedenen Erkrankungen ableiten. Aufgrund der Ergebnisse von Modellrechnungen zum Kontrast zwischen dem Gitter und dem nicht markierten Gewebe wurden neue Messtechniken entwickelt, die eine signifikante Verbesserung des Kontrastes zwischen dem Gitter und dem Gewebe erbrachten. Zugleich lassen sich damit Bewegungseffekte senkrecht zur abgebildeten Schicht eliminieren (Abb. 1). Neue Bildverarbeitungsverfahren zur Auswertung der Bildsequenzen identifizieren in einem ersten Schritt die Gittermuster auf den Bildern. Anschließend werden die Veränderungen der Lage der Kreuzungspunkte des Gitters vom einen zum jeweils nächsten Bild durch die gesamte Sequenz bestimmt und Bilder errechnet, auf denen die Bewegungsvektoren jedes Gitterpunktes für verschiedene Schichten während des gesamten Herzzyklus dargestellt sind (Abb. 2).

Erste Ergebnisse einer Studie zeigen beim gesunden Herzen für basale Schichten neben der Bewegung des Muskelgewebes in der Richtung des Kammerzentrums eine leichte Drehbewegung im Uhrzeigersinn. Bei Gewebe an der Herzspitze tritt eine erhebliche Drehung im Gegenuhreigersinn auf. Es findet also gleichsam ein Auswringen des Blutes aus dem Herzen statt. Bei Patienten mit Hypertrophien infolge von Aortenstenosen ist der zeitliche Ablauf der Bewegung stark verändert, während die Bewegung bei Ruderern mit physiologischen Hypertrophien wie bei Gesunden abläuft. Bei Herzinfarkten liegen sowohl bei der systolischen

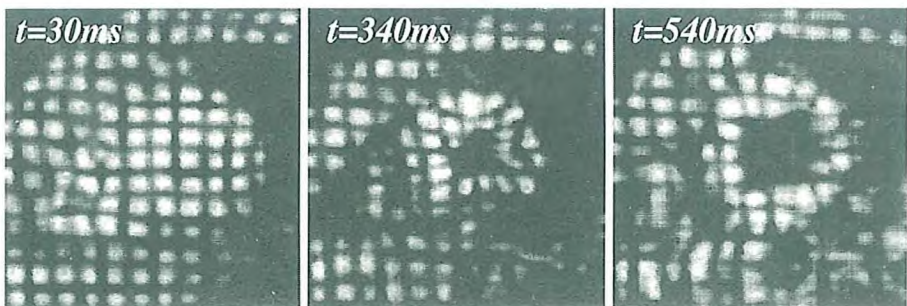


Abb. 1. Schichtbilder des Herzens (Kurzachsebene) mit aufmoduliertem Gittermuster zu drei verschiedenen Zeitpunkten des Herzzyklus (Bild S.E. Fischer, M. Stuber, Inst. f. Biomed. Technik der Universität und der ETH Zürich).

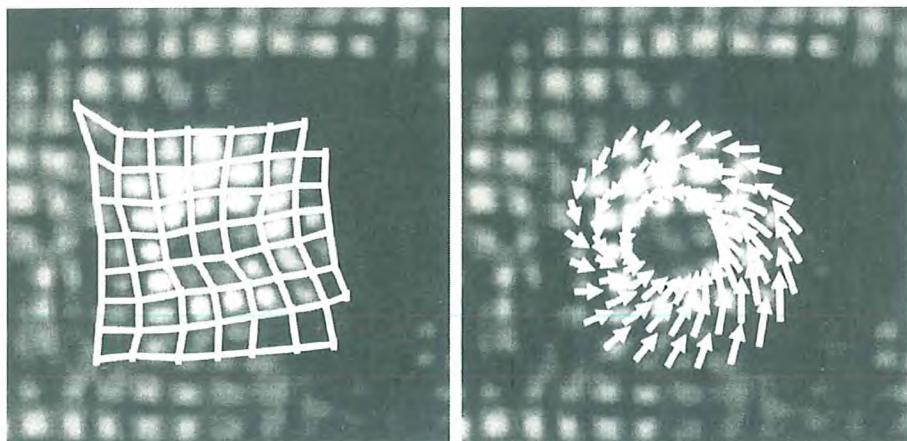


Abb. 2. Bewegungsmuster der linken Herzkammer an der Herzspitze. Links: Deformiertes Gitter am Ende der Kontraktionsphase. Rechts: Trajektorien der lokalen Bewegung während der Kontraktion. Neben der Bewegung des Gewebes in Richtung des Kammerzentrums sind deutlich die Drehbewegungen der Herzspitze im Gegenuhrzeigersinn erkennbar (Bild M. Stuber, Inst. f. Biomed. Technik).

als auch bei der anschliessenden diastolischen Phase vor allem im Bereich des Infarktes, aber auch global massiv veränderte Bewegungsmuster vor.

Bildgebende MR-Verfahren erlauben im weiteren die angiographische Darstellung von Gefässstrukturen und die Erfassung der Blutgeschwindigkeitsverteilungen in Gefässen des menschlichen Körpers. Zur Analyse des Blutflusses werden die Phasenverschiebungen der MR-Signale ausgewertet, welche durch die Bewegung der angeregten Spins entlang von externen Magnetfeldgradienten induziert werden. Die Verschiebungen sind in erster Näherung proportional zur lokalen Blutflussgeschwindigkeit. Speziell entwickelte Techniken wie *FAcE* (free induction decay acquired echos) oder *Half-Echo-Sampling-Techniken* zeichnen sich durch extrem kurze Echozeiten und damit durch hohe Unterdrückung von flussinduzierten Bildartefakten aus. Sie ermöglichen die sehr detaillierte Erfassung der über eine gewisse Anzahl von Herzzyklen gemittelten axialen und transversalen Geschwindigkeitskomponenten auch in Gefässstrukturen mit komplizierten Flussverhältnissen, wie sie bei Gefässverzweigungen, bei Stenosen und Aneurysmen vorliegen und in Gefässen innerhalb des Schädels und des Beckens.

Abb. 3 zeigt die axialen Komponenten der lokalen Flussgeschwindigkeiten einer Messung an der Aorta eines gesunden Probanden unmittelbar nach der Verzweigung in die beiden Beckenarterien. Deutlich sind die teilweise sehr komplizierten Geschwindigkeitsprofile in den beiden Gefässen erkennbar. Der kurzzeitige Rückfluss, die sogenannte dichrotische Welle, ist typisch für gesunde Probanden im Ruhezustand und wird durch die teilweise Reflexion des Flusspulses in peripheren Gefässen mit veränderter Gefässimpedanz erzeugt. Gegenwärtig sind Weiterentwicklungen dieser Flussmesstechnik im Gange, die auch Messungen des Flusses in Koronararterien ermöglichen werden.

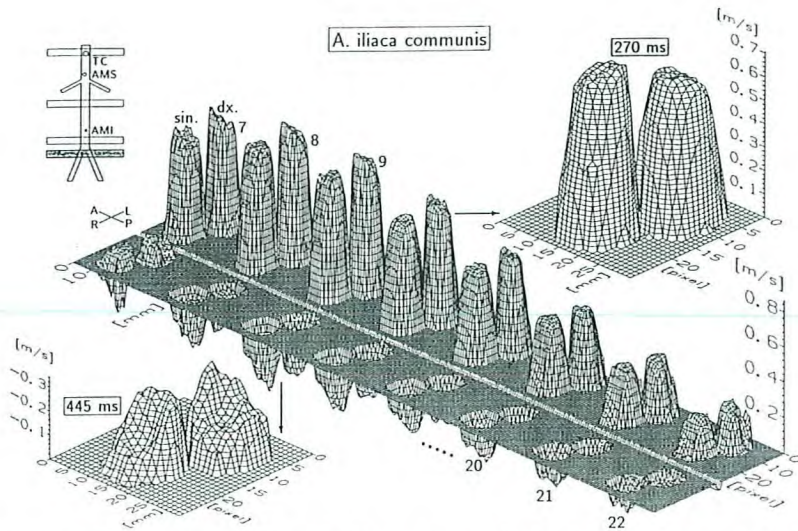


Abb. 3. Blutgeschwindigkeitsprofile an der Verzweigungsstelle der abdominalen Aorta in die beiden Beckenarterien eines gesunden Probanden. Die Profile wurden in zeitlichen Abständen von jeweils 25 ms aufgenommen (Bild S.E. Maier, D. Meier, Inst. f. Biomed. Technik).

Für die Gefäßangiographie mittels MR wird die Tatsache ausgenützt, dass bei gewissen Messtechniken infolge der repetitiven Anregung der bei der Bilderzeugung beobachteten Spins der Wasserstoffkerne einer Schicht eine teilweise Sättigung auftritt. Dadurch nimmt die Signalintensität des stationären Gewebes ab; das Gewebe erscheint dunkel im Bild. Liegen Blutgefäße in dieser Schicht, wird das gesättigte Blut zwischen den Anregungen durch neu in die Schicht einfließendes ungesättigtes Blut ersetzt, welches starke Kernresonanzsignale erzeugt. Die Blutgefäße erscheinen deshalb als helle Strukturen. Aus Stapeln von Schichtbildern lassen sie sich segmentieren und als dreidimensionale Gebilde darstellen. Für die Darstellung der Herzkranzgefäße ist eine Synchronisation der Messzyklen sowohl auf das Elektrokardiogramm (EKG) als auch auf die Atembewegung des Patienten notwendig. Abb. 4 zeigt links die dreidimensionale angiographische Rekonstruktion der grossen Herzkranzgefäße eines Patienten mit einem Verschluss der linken Koronararterie, wie er nach starken Herzbeschwerden diagnostiziert wurde. Rechts ist die Situation nach Erweiterung mit einem Ballonkatheter gezeigt, nach der sich wieder normaler Blutfluss eingestellt hat. Da die MR-Angiographie völlig nichtinvasiv ist und dabei keine den Organismus belastenden Kontrastmittel und keine ionisierende Strahlung eingesetzt wird, eignet sie sich vorzüglich für periodische Nachkontrollen der Durchgängigkeit behandelter Gefäße. Sie wird gegenwärtig in einer klinischen Studie zur Erkennung einer nach der Ballondilatation in gewissen Fällen auftretenden Restenose eingesetzt.

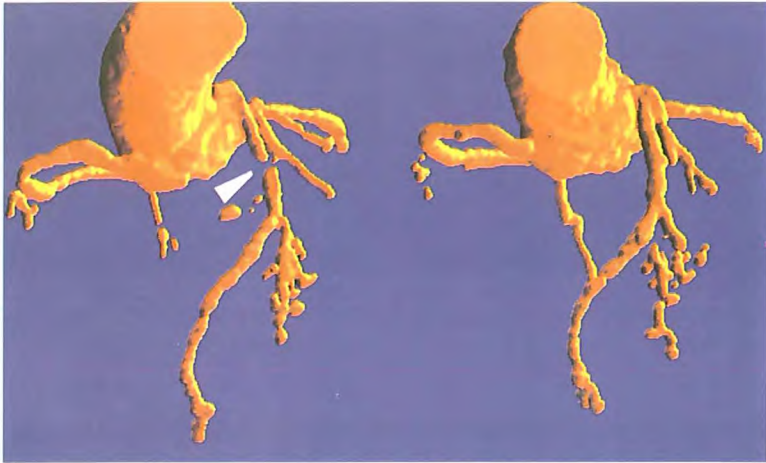


Abb. 4. Magnetresonanzt-Angiogramme der grossen Koronararterien, wie sie heute ohne Kontrastmittel und ohne ionisierende Strahlung aufgenommen werden können. Das Bild links zeigt einen Verschluss der linken Koronararterie (Pfeil), der im rechten Bild nach der Dilatation des Gefässes mit einem Ballonkatheter verschwunden ist (Bild M.B. Scheidegger, Inst. f. Biomed. Technik und Philips AG).

2.2 Bildgebende Magnetresonanzverfahren zur Messung der Magenfunktionalität

In der Gastroenterologie stellen Untersuchungen der Magenfunktionalität ein zentrales Arbeitsgebiet dar. Die Kenntnis des zeitlichen Verlaufs der Magenentleerung nach Aufnahme einer Testmahlzeit und der Kontraktionen der Magenwand, d. h. der Magenmotilität, welche die Zerkleinerung und den Weitertransport der Nahrung bewirken, hilft, die Vorgänge bei der Nahrungsverarbeitung zu verstehen, Magenkrankungen zu diagnostizieren und die Wirkung von Therapien zu quantifizieren.

Im Gegensatz zu anderen verwendeten Methoden (Szintigraphie, Manometrie, Ultraschall) erlauben bildgebende MR-Verfahren eine direkte nichtinvasive Erfassung der Magenentleerung und der Motilität, bei welcher der Patient auch keiner radioaktiven Belastung ausgesetzt wird. Dazu wird dem nüchternen Probanden vor der Untersuchung eine flüssige oder feste Testmahlzeit mit genau definiertem Nährwert unter Zugabe eines Kontrastmittels verabreicht. Unmittelbar nach Aufnahme der Testmahlzeit wird die Untersuchung mit einer Messung des Volumens des Mageninhaltes begonnen. Dazu werden in einer transversalen Schichtorientierung mehrere Schichtbilder aufgenommen, welche den gesamten Magen überdecken. Abb. 5 zeigt zwei Bilder dieser Volumenmessung, auf welchen der Mageninhalt wegen des Kontrastmittels deutlich als helle Fläche zu erkennen ist. Die ebenfalls sehr helle runde Fläche ausserhalb des Körpers stammt von einer Referenz, welche neben dem Probanden liegend mitgemessen wird, um die Magensaftsekretion rechnerisch abschätzen zu können.

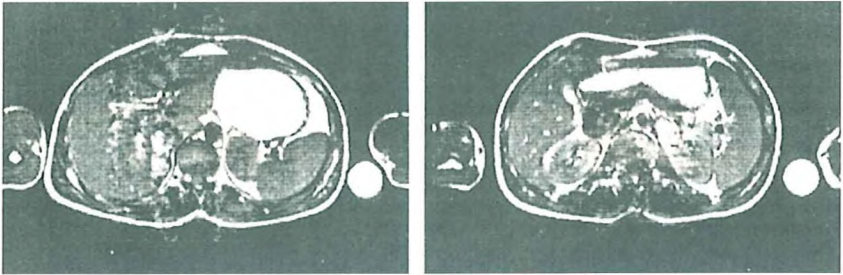


Abb. 5. Zwei transversale Schichtbilder des Magens nach Verabreichung der Testmahlzeit, wie sie zur Volumenmessung des Mageninhalts angefertigt werden. Der Mageninhalt ist als weisse Fläche deutlich sichtbar (Bild P. Kunz, C.R. Crelier, Inst. f. Biomed. Technik).

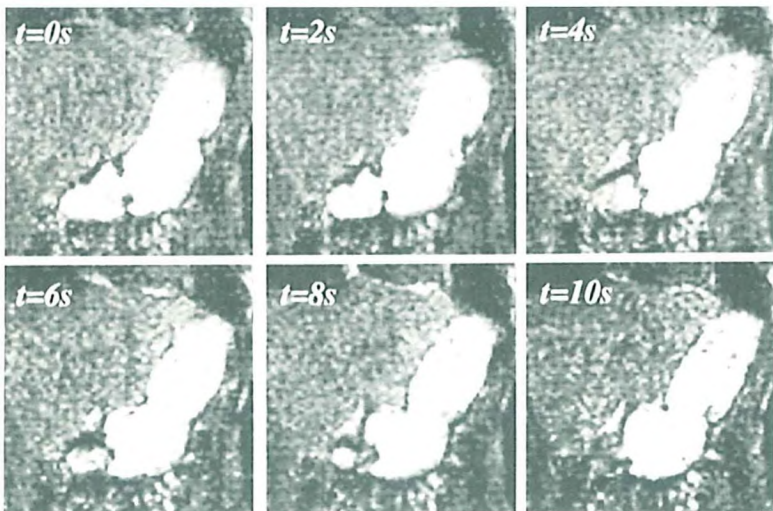


Abb. 6. Sechs koronale Schichtbilder einer dynamischen Messung zur Erfassung der Magenmotilität. Von Bild zu Bild sind die gegen den Magenausgang laufenden Kontraktionen der Magenwand klar zu erkennen (Bild P. Kunz, Inst. f. Biomed. Technik).

Zur Erfassung der Motilität werden die fortlaufenden im proximalen Magen ihren Anfang nehmenden und bis zum Pylorus, d. h. zum Magenende, verlaufenden Kontraktionen mittels einer koronalen Schichtorientierung in einer Reihe von Bildern im zeitlichen Abstand von je einer Sekunde erfasst. Abb. 6 zeigt eine Folge von derartigen Motilitätsbildern, auf denen die Magenwandkontraktionen ersichtlich sind. Die beiden Messungen werden, ineinander verschachtelt, während 120 Minuten alle 15 Minuten wiederholt, um die Volumenabnahme des Mageninhaltes während der Entleerungsphase zu beobachten und Zusammenhänge zwischen dem Entleerungsgrad des Magens und der Stärke der Motilität zu erkennen.

Zur Auswertung der Bildsequenzen wird zuerst in den Entleerungs- und den Motilitätsbildern der Mageninhalt aufgrund des Helligkeitsunterschiedes mit Hilfe eines Konturdetektionsalgorithmus segmentiert. Anschliessend wird durch dreidimensionale Rekonstruktion zu jedem Zeitpunkt das Volumen des Mageninhaltes berechnet, die daraus resultierende Entleerungskurve aufgezeichnet und die Halbwertszeit der Entleerung bestimmt. Gleichzeitig werden Motilitätsparameter wie Ausbreitungsgeschwindigkeit, Frequenz und Amplitude der Kontraktionen bestimmt. Erste Ergebnisse von Studien zeigen, dass es mit dieser Methode möglich ist, den Einfluss verschiedener Testmahlzeiten oder die Wirkung von Medikamenten auf die Magenentleerung und die Motilität zu dokumentieren.

Die Autoren danken den Herren Prof. Dr. O.M. Hess, Kardiologie, und Prof. Dr. M. Fried, Gastroenterologie des Universitätsspitals Zürich sowie ihren Arbeitsgruppen für die wertvolle wissenschaftliche Zusammenarbeit.

3 ENDOSKOPIE ALS VORAUSSETZUNG FÜR MINIMAL INVASIVE VERFAHREN IN DIAGNOSTIK UND THERAPIE

Die medizinische Endoskopie gestattet die Inspektion des Körperinneren durch eine natürliche oder künstliche Öffnung in der Haut. Im Fall eines künstlichen Zuganges soll der dafür notwendige Schnitt möglichst klein sein. Ein medizinisches Endoskop besteht deshalb erstens aus einem dünnen Katheter, welcher durch die Öffnung in den Körper eingeführt wird. Dieser enthält ein System zur Bildübertragung, eine Beleuchtungseinrichtung sowie einen offenen Kanal, welcher für verschiedene diagnostische oder therapeutische Zwecke, beispielsweise das Einführen einer Laserfaser zur Koagulation, verwendet werden kann. Der Durchmesser des Katheters soll dabei – je nach Anwendung – unter Umständen weniger als 1 mm betragen. Seine Länge richtet sich nach der spezifischen Anwendung und beträgt typischerweise zwischen wenigen cm (Anwendung im Auge) bis zu mehr als 1 m (Anwendung im Darm). Zweitens gehört zum vollständigen Endoskop (Abb. 7) eine Manipuliereinrichtung in der Form eines Handstückes oder eines Roboters für die Bedienung sowie ein Bildaufnahme-, Darstellungs- und Verarbeitungssystem.

Die Endoskopie hat im Zusammenhang mit sog. minimal invasiven Verfahren in den letzten Jahren eine rasch zunehmende Bedeutung erhalten. Minimal invasive haben im Vergleich zu konventionellen Methoden der Diagnose und Therapie den Vorteil geringerer Traumatisierung und damit einer kürzeren Heilungsdauer. Nebst oftmals besserer medizinischer Qualität ist dies auch enorm kostensparend.

Die Endoskopie als solche ist nicht neu. Seit langem erfolgt beispielsweise die Beobachtung von Magen oder Darm endoskopisch. Bei gewissen chirurgischen Eingriffen, beispielsweise bei Gallenblasenoperationen, bei der Inspektion von Gelenken und der Wirbelsäule oder generell bei laparoskopischen Untersuchun-

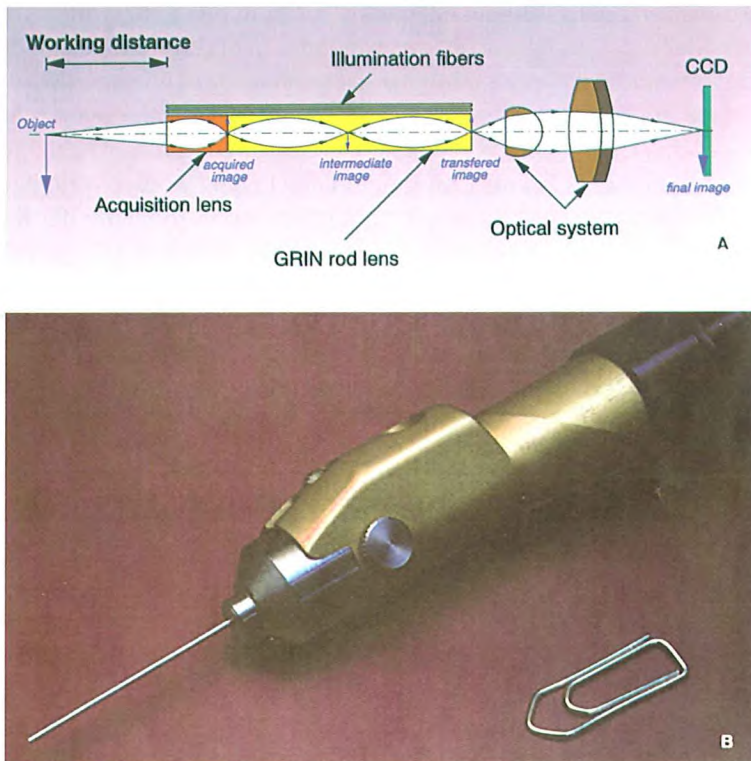


Abb. 7. A. Schematische Darstellung eines miniaturisierten Endoskopes. Die Gesamtlänge beträgt einige cm, der Durchmesser des vorderen Teiles 0,89 mm. Der Arbeitsabstand ist zwischen praktisch 0 und ∞ einstellbar. Die Bildaufnahmelinse funktioniert nach dem Gradienten-Index- (GRIN-) Prinzip, hat eine Länge von etwa 3 mm und im Vergleich zum GRIN Stab eine wesentlich stärkere radiale Abhängigkeit des Brechungsindex. Zur Bildaufnahme dient ein CCD (Charge Coupled Device) Chip mit zurzeit bezüglich Bildqualität konventionellen Fernseh-Spezifikationen. B. Bild des in A schematisch dargestellten Endoskopes (Bilder P. Rol, Augenklinik der Universität Zürich und Inst. f. Biomed. Technik).

gen wird jedoch dank technischer Verbesserungen mehr und mehr auf endoskopische Verfahren gewechselt. Auch bei der Untersuchung von Verunfallten bewährt sich die Endoskopie zur raschen Abklärung innerer Verletzungen.

Die Bildübertragung durch den Katheter geschieht mit Hilfe einer geeigneten abbildenden Optik. Häufig werden dafür Bildfaserbündel verwendet. Dabei wird pro Faser (typischer \varnothing 3–10 μm) je ein Bildpunkt übertragen. Mit mehr Fasern, d. h. mit zunehmendem Durchmesser des Bildbündels steigt grundsätzlich die Qualität der Abbildung, da die Rasterung weniger störend ist. Die dünnsten zurzeit erhältlichen Bündel enthalten etwa 14 000 Einzelfasern bei einem Durchmesser von 0,25 mm. Besonders interessant ist aber auch der Einsatz eines sog. Gradienten-Index- (GRIN-) Stabes, in dessen Innerem der Brechungsindex mit dem Radius im Quadrat von innen nach aussen abnimmt. In einem solchen Stab

verlaufen die Lichtstrahlen auf schraubenlinienförmigen Bahnen, und nach je einer vollen Umdrehung (pitch) entsteht ein (theoretisch) exaktes Abbild der Eintrittsfläche (Abb. 7). Wegen der chromatischen Aberration ist aber eine Beschränkung auf etwa 3 pitch, in der Regel etwa 5–7 cm Länge gegeben. GRIN-Stäbe werden durch Diffusion von aussen in radialer Richtung von Ionen, welche den Brechungsindex von Glas verändern, hergestellt. Sie sind bis zu einem minimalen Durchmesser von 0,25 mm verfügbar. Der Vorteil der GRIN-Optik ist die im Vergleich zu Faserbündeln bessere Abbildungsqualität (keine Rasterung des Bildes nach Bildpunkten), der Nachteil besteht in der beschränkten Länge und fehlenden Flexibilität, bzw. leichten Zerbrechlichkeit.

Die Beleuchtung wird sodann durch ein lichtübertragendes Faserbündel realisiert, welches um das Bildbündel, bzw. den GRIN-Stab angeordnet ist. Entscheidend dabei ist einerseits eine homogene Ausleuchtung des Zielgebietes und andererseits die für die Farbqualität entscheidende spektrale Zusammensetzung des Lichtes. Eventuell ist aus Gründen der Sicherheit, z. B. im Auge, dem Ultraviolett-Anteil besondere Beachtung zu schenken. Letzteres ist insofern von Bedeutung, als die für die Bildaufnahme verwendeten CCD (charge coupled device) Chips eine abnehmende Empfindlichkeit im blauen Farbbereich zeigen und man deshalb bestrebt ist, über eine möglichst «blauhaltige» Beleuchtung zu verfügen. Der Arbeitskanal schliesslich dient der Führung einer Therapie-Laserfaser, wie oben erwähnt, der Spülung/Absaugung oder einer Biopsieentnahme usw.

Für die Bildaufnahme und -darstellung wird aus Gründen der Verfügbarkeit und des Preises derzeit ein konventionelles Fernsehsystem verwendet, falls keine direkte Beobachtung möglich ist. In Zukunft werden an medizinische Endoskope bezüglich optischer Qualität aber höhere Anforderungen gestellt, denn es ergeben sich immer anspruchsvollere diagnostische und therapeutische Verfahren, bei denen die Anwendung eines Endoskopes potentiell Verbesserungen bringen kann. Um die zukünftigen Bedürfnisse bezüglich Bildqualität von Endoskopen erfüllen zu können, entwickeln wir zurzeit ein neuartiges Echtfarben-Fernsehsystem hoher Auflösung auf der Basis einer Ein-Chip-Farbkamera mit 1000 x 1000 Bildpunkten. Eine Miniaturisierung der Aufnahmekamera ist dabei notwendig, denn bei den mit Gradienten-Index-Stäben ausgerüsteten Endoskopen muss die Kamera im Handstück untergebracht werden. Hiefür wird in Zusammenarbeit mit Mitarbeitern des Institutes für Integrierte Systeme des Departementes Elektrotechnik der ETH Zürich die VLSI-Technik eingesetzt (Very Large Scale Integration, d. h. Integration von Tausenden bis Millionen von elektronischen Schaltelementen auf einem Chip). Auch Stereo-Endoskope sind in Entwicklung.

Die interdisziplinäre Zusammenarbeit ist bei solchen Projekten von besonderer Bedeutung. Dies betrifft beispielsweise die Augenklinik des Universitätsspitals Zürich, wo die Abklärung des Potentials möglicher endoskopischer Untersuchungen und Behandlungen des Auges im Vordergrund stehen (Abb. 8).

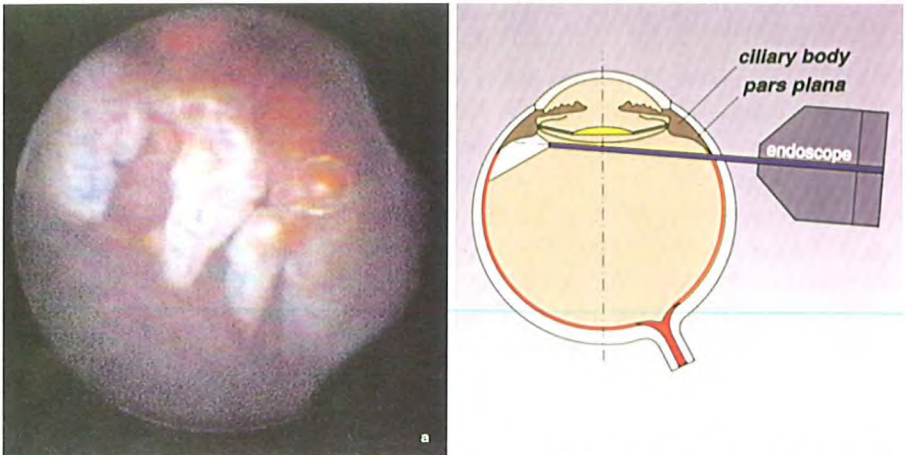


Abb. 8. a) Explorative Inspektion eines Auges hinter der Iris nach Vitrektomie (Entfernung des Glaskörpers). Diese, hinter der Iris liegenden Strukturen können von vorne durch das Operationsmikroskop nicht eingesehen werden. Sichtbar ist ein Teil des Ziliarkörpers. Bei der runden Blase rechts (Durchmesser ca. 0,2 mm) handelt es sich um Silikonöl, welches aus technischen Gründen während der Operation eingeführt wird (experimentelle Aufnahme, Dr. P. Rol, Augenklinik der Universität Zürich und Inst. f. Biomed. Technik, und Dr. med. M. Dominguez, Bordeaux).
 b) Positionierung des Endoskopes bei der Aufnahme (Bild P. Rol, Augenklinik der Universität Zürich und Inst. f. Biomed. Technik).

4 ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN DER BIOMEDIZINISCHEN TECHNIK

In allen medizinischen Fachbereichen findet man in grösserem oder kleinerem Ausmassе Anwendungen der biomedizinischen Technik. Der Einsatz technischer Verfahren erstreckt sich dabei von der Psychiatrie (z. B. Elektroenzephalographie, Positronen-Emissions-Tomographie) über die Innere Medizin (Expertensysteme, Telemedizin, Elektrokardiogramm, künstliche Dialyse, Reinraumtechnik für Knochenmarktransplantationen), die Chirurgie (orthopädische Prothesen, Herz-Lungen-Maschine), die Anästhesie (mechanische Beatmung, Infrarot-Spektroskopie), die Radiologie und Radiotherapie (Magnetresonanz- oder Röntgentomographen, Bestrahlungsgeräte) bis hin zur Rechtsmedizin (genetisches Fingerprinting). Die Aufzählung lässt sich beliebig verlängern, und die Vielfalt ist überwältigend. Selbst bei vordergründig ähnlichen Anwendungen zeigen sich bei vertiefter Analyse wesentliche Unterschiede; beispielsweise werden bei Elektrogrammanalysen (Kardio-, Okulo-, Myo-, Enzephalogramm) zwar ähnliche mathematische Methoden der stochastischen Signalanalyse eingesetzt, die sich aus den spezifischen klinischen Fragestellungen ergebenden Verfahren unterscheiden sich aber grundsätzlich. Die Medizintechnik ist deshalb dadurch charakterisiert, dass sie gemäss medizinischen Fachgebieten ausserordentlich stark fragmentiert ist. Sie erscheint in technisch und medizinisch vielfältigster Ausprägung, und sie ist letztlich ähnlich vielschichtig wie die Medizin selbst.

Historisch gesehen ist in der biomedizinischen Technik eine gewisse Abgrenzung nach Gebieten mit eher chemisch-pharmazeutisch beziehungsweise technisch-instrumentell orientierter Ausrichtung festzustellen. Mit der raschen Entwicklung neuer Technologien, insbesondere der molekular und zellulär basierten Medizin, beginnt sich diese Trennung aber aufzulösen und ihren ursprünglichen Sinn zu verlieren. Heute umfasst die biomedizinische Technik eine ausserordentlich breit gefächerte Reihe von unterschiedlichsten Teilgebieten, welche zum Teil vielfach vernetzt, zum Teil wenig zusammenhängend sind. Die Heterogenität des Gebietes insgesamt einerseits, die interdisziplinäre Verknüpfung aber andererseits nimmt in Zukunft eher noch zu.

Als Bereiche mit besonders ausgeprägtem zukünftigem Potential sind zu nennen:

- Molekulare Medizin (Nutzbarmachung der in den letzten 30 Jahren erarbeiteten Resultate der Molekularbiologie in der klinischen Medizin);
- Zelltechnik («tissue engineering», d. h. Entwicklung von biokompatiblen Zellträgern für funktionelle Implantate wie z.B. das künstliche Pankreas);
- Neuroinformatik (Erforschung der Hirnfunktionen);
- Biosensorik (Messung von Konzentrationen wichtiger körpereigener Stoffe mittels Mikrosonden und zugehöriger Intelligenz *in vivo*).

Daneben haben jedoch auch die eher konventionellen Bereiche, wie die hier dargelegte nicht- oder minimal invasive Diagnostik und Therapie, einen ungeschmälernten Forschungs- und Entwicklungsbedarf, umsomehr als sich durch Fortschritte in den vorstehend erwähnten Bereichen auch neue Impulse und Bedürfnisse hier ergeben.

Literatur

Ein Literaturverzeichnis kann auf schriftliche Anfrage beim Sekretariat der NGZ gratis bezogen werden.