

DER EINSATZ HOLOGRAPHISCHER VERFAHREN IN DER MEDIZIN*

BALLY G.

Labor für Medizinische Akustik und Biophysik,
Institut für Experimentelle Audiologie
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster,
Eingegangen am 28. Juni 1988
Vorgelegt von Prof. Dr. O. Petrik

Abstract

The author reviews present and future medical applications — both in medical research and clinical practice — of holography and holography-based procedures, including 3-D images of high depth of focus in the object space, holography with waves outside the visible range (microwaves, infrared, ultrasonics, X-rays), holographic analysis of movements, holographic endoscopy and military applications ("Star Wars Medicine").

Einleitung

Die Holographie ist vor allem bekannt als eine photographische Technik zur Speicherung und dreidimensionalen Rekonstruktion eines Objektes unter Verwendung eines Lasers als Lichtquelle. Damit sind jedoch die Möglichkeiten der laseroptischen Verfahren, die auf dem holographischen Prinzip beruhen, bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Diese erlauben vielmehr darüber hinaus eine Vielzahl von Anwendungen im Bereich der Bildverarbeitung und Meßtechnik. Es haben daher bereits seit der Entwicklung des Lasers im Jahre 1960, durch welche die Holographie ein praktikables Forschungswerkzeug wurde, immer wieder Forschungsgruppen auch die Anwendungsmöglichkeiten in der Medizin untersucht (3—6). Die Grundlagen und der praktische Einsatz holographischer Verfahren sind anschaulich in (1) dargestellt.

* Diese Arbeit ist Herrn Prof. Dr. Pál Greguss und seinen Mitarbeitern zum 10-jährigen Bestehen des Labors für angewandte Biophysik der Technischen Universität Budapest gewidmet.

Dreidimensionale Bilder mit großer Schärfentiefe

Die Möglichkeit der dreidimensionalen Darstellung eines Objektes mit dem zusätzlichen Vorteil großen Schärfentiefe ist eine der grundlegenden Eigenschaften der Holographie. Damit ist es — im Gegensatz zur konventionellen Photographie — möglich, die gewünschte Schärfenebene erst während des Rekonstruktionsprozesses auszuwählen, also nach der holographischen Aufnahme und sogar nach Entfernung des Untersuchungsgegenstandes. Auf diese Weise kann z. B. in der sog. Fundusholographie mit einem einzigen Hologramm der stark gekrümmte Augenhintergrund vollständig erfaßt, damit einer Diagnose zugänglich gemacht und der Status dokumentiert werden.

Als interferometrische Technik erfordert die Holographie eine Ruhigstellung des Objektes sowie des gesamten optischen Aufbaues während der Belichtungszeit. Die zulässige Bewegungsamplitude darf $1/10$ der Wellenlänge des Laserlichtes (einige zehntausendstel Millimeter) nicht überschreiten. Um diese Forderung auch bei der Untersuchung an Patienten ohne Anästhesie erfüllen zu können, müssen Laser mit sehr kurzen Belichtungszeiten von ca. 30 ns Energie eingesetzt werden. Mit derartigen PulsLasern können dann auch schnell bewegte Objekte holographisch aufgenommen werden. Dies macht man sich zunutze bei der Untersuchung der Tröpfchengröße und -verteilung von Sprays, die sich optimal in der Lunge verteilen sollen, wie z. B. bei Anti-Asthma-Sprays, oder zur optimalen Versprühung bei Insektiziden und Pestiziden in der Landwirtschaft. Das gleiche Verfahren wurde auch zum Einsatz bei der Entlaubungsaktion im Vietnamkrieg vorgeschlagen.

Holographie mit nicht-sichtbaren Wellen

Die Anwendung nicht-sichtbarer Wellen, wie etwa Mikro-, Infrarot-, Ultraschall- und Röntgenwellen, ist in der Medizin für Diagnostik- und Therapiezwecke verbreitet. Während die Erzeugung von Hologrammen mit Mikro- und Infrarotwellen zu biologischen und medizinischen Forschungszwecken bisher nur vorgeschlagen wurde, etwa zur Früherkennung von Haut- und Brustkrebs, sind für die Anwendung der Ultraschallholographie in der Medizin — insbesondere der Gynäkologie und Orthopädie — bereits umfangreiche Untersuchungen durchgeführt worden. Bei der Verwendung von Röntgenstrahlen wird das Problem nicht-kohärenter Quellen durch die Erstellung von Multiplex-Hologrammen aus zweidimensionalen Röntgenaufnahmen gelöst.

Holographische Endoskopie

Die Möglichkeit zur dreidimensionalen Erfassung mit großer Schärfentiefe kann auch vorteilhaft in Verbindung mit endoskopischen Aufnahmeeinrichtungen eingesetzt werden, wenn die holographische Aufzeichnung im Kopf des Endoskopes erfolgt — also speziell entwickelte holographische Endoskope verwendet werden. Es können jedoch auch Standardendoskope Verwendung finden. Am Labor für Biophysik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster wurde hierfür eine holographisch-endoskopische Kamera entwickelt. Ein Prototyp befindet sich in Erprobung. Hierbei erlauben sog. Monomodefasern eine flexible Laserstrahlführung und damit eine leicht handhabbare Konstruktion. Es wird erwartet, daß damit neue diagnostische Möglichkeiten in den verschiedenen medizinischen Fachgebieten, in denen endoskopische Untersuchungen durchgeführt werden, eröffnet werden können. Dies gilt insbesondere für die meßtechnischen Möglichkeiten der holographischen Verfahren, die eine hochauflösende Verformungs- und Schwingungsanalyse erlauben, wie dies im folgenden Abschnitt beschrieben wird.

Holographische Bewegungsanalyse

Holographische Bewegungsanalysen lassen sich je nach Fragestellung und gefordertem Auflösungsvermögen mit Hilfe einer sequentiellen Aufzeichnung von Hologrammen in der Art eines Films oder durch die Verfahren der holographischen Interferometrie durchführen.

Die erstgenannte holographische Technik — auch als Cineholographie bezeichnet — wurde u. a. zur Erforschung der Dekompressionskrankheit bei Tiefseekampftauchern eingesetzt. Dabei wurde die Entstehung kleiner Gasbläschen in den Blutgefäßen der Backentasche von Hamstern analysiert, indem in geeigneter Weise der Luftdruck innerhalb einer Druckkammer verändert wurde. Zugleich wurden Hologramme synchron zur Aufnahme einer Kamera aufgezeichnet.

Werden zwei Hologramme zweier verschiedener Bewegungszustände eines Untersuchungsobjektes auf derselben Hologrammplatte überlagert, so erscheint in der Rekonstruktion das Bild der Objektoberfläche überzogen von einem System heller und dunkler Linien, sogenannter Interferenzlinien. Diese Linien verbinden Orte gleicher Auslenkung. Aus ihnen läßt sich die Bewegung der Objektoberfläche mit einer Genauigkeit von Bruchteilen der Wellenlänge des verwendeten Laserlichtes quantitativ bestimmen. Diese Verfahren — auch als holographische Interferometrie bezeichnet — erlauben daher eine hochauflösende, berührungslose, dreidimensionale, zerstörungsfreie Bewegungsanalyse. Dabei kann diese Bewegung eine periodische Schwingung oder ein einmaliger Vorgang, wie z. B. eine Verformung, sein.

Holographische Verformungsanalysen werden insbesondere zur Untersuchung der Biomechanik des menschlichen Bewegungsapparates durchgeführt. Wegen der

möglicherweise ungünstigen Beeinflussung der Osteosynthese durch unphysiologische Belastungen, z. B. nach Implantationen von Prothesen oder Fixation durch Platten nach Brüchen, ist die Kenntnis der mechanischen Eigenschaften der entsprechenden Knochen von Bedeutung. Hierzu sind vergleichende in-vitro-Untersuchungen am menschlichen Femur vor und nach Implantation zur Optimierung von Hüftgelenkprothesen und an der menschlichen Tibia nach Bruchfixation mit Kompressionsplatten ausgeführt worden. Neueste Untersuchungen beziehen auch die Technik der externen dynamischen Fixation mit ein.

Werden Puls laser zur holographischen Aufnahme eingesetzt, können schnelle, nicht periodische Prozesse untersucht werden, wie z. B. das Einschwingverhalten des menschlichen Trommelfelles bei impulsförmiger Schallbelastung. Ziel dieser Experimente war eine verbesserte Waffenentwicklung durch die Untersuchung der Entstehung von Trommelfellverletzungen nach Knallbelastung wie z. B. Gewehrschüssen. Die gleiche Technik kann auch für klinisch-diagnostische Zwecke an Patienten eingesetzt werden. Wie Untersuchungen gezeigt haben, läßt sich mit Hilfe der holographischen Interferometrie der Einfluß von krankhaften Veränderungen der Mittelohrmechanik auf das Schwingungsverhalten des Trommelfelles nachweisen. Das eröffnet u.a. prinzipiell die Möglichkeit einer Differentialdiagnostik dieser Veränderungen ohne chirurgische Eröffnung des Mittelohres sowie eine Verlaufskontrolle nach hörverbessernden Operationen.

Weitere holographisch-interferometrische Untersuchungen mit Puls lasern wurden an Patienten ausgeführt, um zur Optimierung zahnprothetischer Arbeiten die Bewegung von Zähnen und Brückenkonstruktionen zu vermessen. Die Möglichkeit, mit Hilfe der holographischen Interferometrie Herzerkrankungen nachzuweisen, wurde geprüft, indem die Laserimpulse in Abhängigkeit vom Herzrythmus ausgelöst und holographische Interferogramme von der vorderen Brustwand aufgenommen wurden. In ähnlicher Weise wurden die Schwingungen der Vorderseite des Halses aufgenommen zur Funktionsanalyse des Stimmapparates und zur nicht-invasiven Früherkennung von Stimmbandkrebs.

„Star Wars Medicine“

Obwohl nur einige Beispiele der zahlreichen Anwendungen erwähnt werden konnten, zeigt bereits diese kurze Übersicht, daß die Holographie inzwischen ihren Platz in der medizinischen Forschung gefunden hat. Es bleibt jedoch auch weiterhin intensive interdisziplinäre Forschungstätigkeit von Physikern, Ingenieuren und Medizinern notwendig, um die Möglichkeiten und Vorteile dieser Technik für die klinische Praxis nutzbar zu machen.

Die bisher veröffentlichten Forschungsarbeiten über holographischen Anwendungen in der Medizin zeigen aber auch, wie weit die Verknüpfung von Wissenschaft und Militär, selbst von medizinischer Forschung und Rüstungsentwicklung, gediehen

ist. Als Zeichen hierfür mag gewertet werden, daß für die medizinischen Anwendungen der Laseroptik einschließlich der Holographie bereits der Begriff „Star Wars Medicine“ geprägt wurde (2). Es steht zu befürchten, daß solche Entwicklungen zu Abhängigkeiten und Zwängen der Forschung und der beteiligten Wissenschaftler in Ost und West führen. Es erscheint mir daher eine vorrangige Aufgabe der Wissenschaftler zu sein, derartigen Entwicklungen, die den freien Informationsaustausch und damit den Fortschritt von Wissenschaft und Forschung behindern, entgegenzuwirken.

Literatur

1. ABRAMSON, N.: The Making and Evaluation of Holograms, Academic Press (1981).
2. ANDRUS, W. S.: Fibers and Lasers: The "Star Wars" Medical Team, *Photonics Spectra* 71 (1985).
3. VON BALLY, G.: Holographische Verfahren in Biologie und Medizin, in H. Kreitlow und W. Jüptner: Frühjahrsschule '78. „Holographische Interferometrie in Technik und Medizin“, Hannover (1978).
4. VON BALLY, G. (ed.): Holography in Medicine and Biology, Springer-Verlag (1979).
5. VON BALLY, G. and GREGUSS, P. (eds): Optics in Biomedical Sciences, Springer-Verlag (1982).
6. GREGUSS, P. (ed.): Holography in Medicine, IPC Science and Technol. Press (1975).

Gert von BALLY, D—4400 Münster, FRG