



Zahlreiche Faktoren beeinflussen eine Schielstellung der Augen. So kann ein auffälliges „Höhenschielen“ beispielsweise bei einer Kopfeigung zur Schulter verschwinden, weil die Richtung des Schwerkraftvektors über das Innenohr auf die Augenmuskeln einwirkt. Auch eine Brille kann das Schielen beeinflussen. Die Augenmuskeln selbst haben durch ihren komplizierten Verlauf unterschiedliche Wirkungen auf die dreidimensionale Position des Auges. Die operative Behandlung von Schielerkrankungen erfordert deshalb die genaue Dokumentation von Fehlstellungen der Augen um alle drei Achsen (siehe Kasten „Schielen“) und die Dokumentation aller Einflußvariablen. Mit Hilfe von Raumfahrttechnologie gelingt die Präzisionsmessung in diesen drei Dimensionen an beiden Augen erstmals gleichzeitig. Ein DFG-Projekt an der Augenklinik für Schielbehandlung und Neuroophthalmologie der Universität Gießen befaßt sich mit den notwendigen Anpassungen für den klinischen Einsatz, so daß das neue Verfahren zuerst Gießener Patienten zugute kommen kann.

Schielheilkunde mit Raumfahrttechnologie

Dreidimensionale Positionsbestimmung beider Augen

Von Klaus-Heiko Wassill

Unser Gleichgewichtsorgan kann Neigungen, Bewegungen, Beschleunigungen und Positionen messen. In Übereinstimmung mit den visuellen Eindrücken, den Meldungen über körpereigene Gelenkstellungen und Bewegungsentwürfen schicken Gehirnzentren Nervenimpulse zu den Augenmuskeln, die das „kardanisch“ gelagerte Auge bewegen. Beide Augen zusammen mit der Halswirbelsäule bilden ein dreifaches „kardanisches Gelenk“, das viele Freiheitsgrade der Bewegung hat.

Störungen in diesem Bereich werden häufig als Schwindel wahrgenommen. Dies empfinden auch Astronauten, wenn sie das gewohnte Schwerfeld der Erde verlassen. Zur Klärung und Vorhersage der Übelkeit im Weltall suchte man mit großem finanziel-

len Aufwand nach Funktionsproben des Innenohres, denn die Übelkeit als Antwort auf den Schwerkraftentzug trat zu unspezifisch und mit zu großer Verzögerung auf. Die ideale Methode zur Ursachenforschung in Schwerelosigkeit war eine Videoaufnahme derjenigen Augenbewegungen, die von den Bewegungsrezeptoren im Innenohr ausgelöst werden. Die Astronauten wurden auf Drehstühlen und Bewegungsschlitten solange mit einer Videobrille (vgl. Abb. 1) untersucht, bis man eine Vorstellung über die Einzelfunktionen der Teilorgane des Innenohres hatte. Eine Methode zur Vorhersage der Übelkeit fand man zwar nicht, doch die Videomethode zur Positionsbestimmung der Augen war reif für einen Transfer in den klinischen Bereich.

Das erste Konzept der beidäugigen 3D-Positionsbestimmung entstand 1996 während eines Kongresses für Luftfahrtmedizin, ange-

Foto: Wassill



Abb. 1: Meßbrille mit zwei Videokameras und Kinnstütze. Gesamtgewicht: rund 750 Gramm.

regt durch einen Vortrag des Astronauten Dr. Dr. Ulf Merbold über Vestibularisdiagnostik im Weltall, in 6000 m Höhe im Segelflugzeug (Abb. 2) über der Provence. Dank DFG-Förderung befindet sich seit Dezember 1998 der Prototyp in der klinischen Erprobung.

Was muten die Augenärzte bei dieser neuen Meßmethode ihren Patienten zu? Der Untersuchte trägt eine Art Taucherbrille mit Kinnstütze, die zwei kleine Videokameras enthält (Abb. 1). So erklärt sich auch ihr Gewicht von rund 750 Gramm. Der Proband blickt in die vom Untersucher genannten Richtungen. Die Videobilder der Augen werden aufgezeichnet und von einem speziellen Computerprogramm ausgewertet.

Analyse der Videobilder

Das Computerprogramm färbt alle Grauwerte im Videobild, die dunkler sind als ein bestimmter



Abb. 2: Auch über den Wolken können neue wissenschaftliche Konzepte entstehen; der Autor hier mit Sauerstoffmaske und Pulsoxymeter als „Einhandsegler“ im Segelflugzeug: eine Hand zum Fliegen, eine Hand für das Pulsoxymeter, eine Hand für die Kamera, eine Hand für die Karte, eine Hand für die Satellitennavigation. Bei einem Flug mit dem Astronauten Ulf Merbold im Anschluß an einen Kongreß für Raumfahrtmedizin entstand die Idee, ein Meßverfahren aus der Raumfahrt für die medizinische Praxis nutzbar zu machen.



Klaus-Heiko Wassill, Jahrgang 1961, Studium der Humanmedizin an der Justus-Liebig-Universität Gießen von 1981 bis 1987, Promotion 1989 mit einer Arbeit über die Messung von Augenstellungen um die Blicklinie, Facharztausbildung von 1989 bis 1994. Seit 1994 ist er beim Landesarzt für Sehbehinderte, Prof. Dr. Herbert Kaufmann, an der Augenklinik für Schielbehandlung und Neuroophthalmologie am Klinikum Gießen tätig. Bei der Internationalen Luftfahrtausstellung im Juni in Berlin stellte er die neue Videomeßmethode vor einem Fachpublikum vor.

Schwellenwert, blau ein. In dieser „blauen“ Pupille berechnet dann die Software das geometrische Zentrum (siehe Abb. 3) und legt so die horizontale und vertikale Position des Auges fest. Der Mittelpunkt wird durch das rote Kreuz angezeigt.

Die Besonderheit dieses Verfahrens ist die Bestimmung der rotatorischen Position. Dazu markiert der Untersucher per Maussteuerung ein geeignetes Iris-Areal mit auffälligen Strukturen. Die Software vergleicht danach die Einzelbilder alle 25 Millisekunden miteinander und registriert die rotatorischen Bewegungen des markierten Iris-Areals. In Abbildung 3 sind diese Irisbezirke gelb gekennzeichnet.

Das Prinzip dieser Analyse ist nicht neu, zur Positionsmessung der Augen mußten jedoch einige Fallen per Software umgangen werden: Stellt man sich eine Iris in einer extremen Blickposition vor, z.B. im Blick nach ganz links, dann entspricht die Abbildung der Iris bei frontaler Aufnahme einem Oval. Der Mittelpunkt des Ovals hat einen geometrischen Fehler gegenüber dem der tatsächlichen Iris in der jeweiligen Blickrichtung.

Ebenso weist das Projektionsbild eines um die Blicklinie gedrehten Auges Fehler auf, die durch aufwendige Rechenverfahren kompensiert werden müssen.

Dem Computerprogramm werden in einem Eichverfahren die Bewegung eines bestimmten Irisbildes einer bekannten Blickbewegung – von beispielsweise 15 Grad – zugeordnet. Dieses Kalibrationsverfahren eicht das Programm in Bogengrad für jeden Patienten und jedes Auge individuell. Wenn nun zwei Kameras die Positionen beider Augen messen, dann ist die

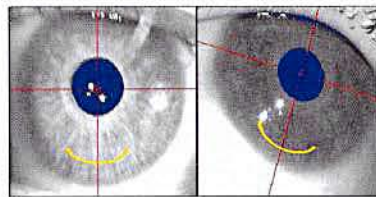


Abb. 3: Das Computerprogramm färbt alle Grauwerte, die dunkler sind als ein bestimmter Schwellenwert, blau ein. In dieser blauen Pupille berechnet dann die Software das geometrische Zentrum. Die gelbmarkierten Areale werden von Bild zu Bild wiedererkannt und so zur Rotationsbestimmung genutzt. Zusammen mit dem Mittelpunkt der Pupille ist die 3D-Position des Auges durch das rote Kreuz dargestellt.

Schielwinkelbestimmung eine einfache Subtraktion der Position des einen Auges von derjenigen des anderen Auges.

Vorteile der neuen Methode

Die theoretischen Möglichkeiten der objektiven dreidimensionalen Positionsbestimmung mit Differenzbildung sind erstmals mit einem Prototypen umgesetzt worden. Alle Faktoren, die einen Schielwinkel beeinflussen, sind gleichzeitig und vollständig in die neue Meßmethode einbezogen worden. Das Resultat sind objektive 3D-Schielwinkel in verschiedenen Blickrichtungen und bei verschiedenen Kopfeignungen.

Bisherige Messung der Augenstellungen

Die übliche Schielwinkelbestimmung nutzt optische Mittel. Prismengläser verschiedener Stärke gleichen Schielwinkel aus. Größere Schielwinkel operiert man durch Verlagerungen und/oder Verkürzungen der Augenmuskeln, kleinere Schielwinkel kann man durch Prismenschliff im Brillenglas ausgleichen. Hierbei werden horizontale und vertikale Prismen benutzt. Bei Rotationsstörungen wie

Schielen

Die Bewegungen der menschlichen Augen um ihre horizontale und vertikale Achse, die beispielsweise als „Innenschielen“ auffallen, sind jedem geläufig. Daß die Augen sich auch um eine dritte Achse drehen, dies ist weniger bekannt. Dabei handelt es sich um eine Achse, die genau wie die Blickrichtung durch das Auge geht. Alle Fehlstellungen und Bewegungsstörungen des Auges müssen genau bestimmt werden, damit die richtige Therapie geplant werden kann. Größere Schielwinkel korrigiert man durch operative Verlagerungen an den Augen-

muskeln, kleinere Schielwinkel kann man eventuell durch Prismen im Brillenglas ausgleichen. Die übliche Schielwinkelmessung gleicht Fehlstellungen der Augen für den untersuchten Patienten mit Glasprismen variabler Stärke aus. Diese Stärke gibt Auskunft über die Größe des Schielwinkels. Zwar können auf diese Weise horizontale und vertikale Schielstellungen, jedoch keine Störungen der Rotation um die Blicklinie gemessen werden. Ein Trageversuch mit verschiedenen Prismen in einer Probierbrille macht wichtige Aussagen für eine Operati-

on, jedoch sind zusätzliche Untersuchungen zum beidäugigen Sehen und zur zentralnervösen Verschaltung der Netzhautbilder nötig. Diese Untersuchungen gehören zum Aufgabenbereich der Orthoptistin. Das Berufsbild der Orthoptistin umfaßt die Untersuchung von Störungen der Augenmuskeln und ganz besonders der Sehleistung von Kindern. Am Klinikum der Justus-Liebig-Universität gibt es auch eine Lehranstalt für Orthoptisten. Weitere Informationen unter: <http://www.med.uni-giessen.de/aksn/lehranstalt.html>

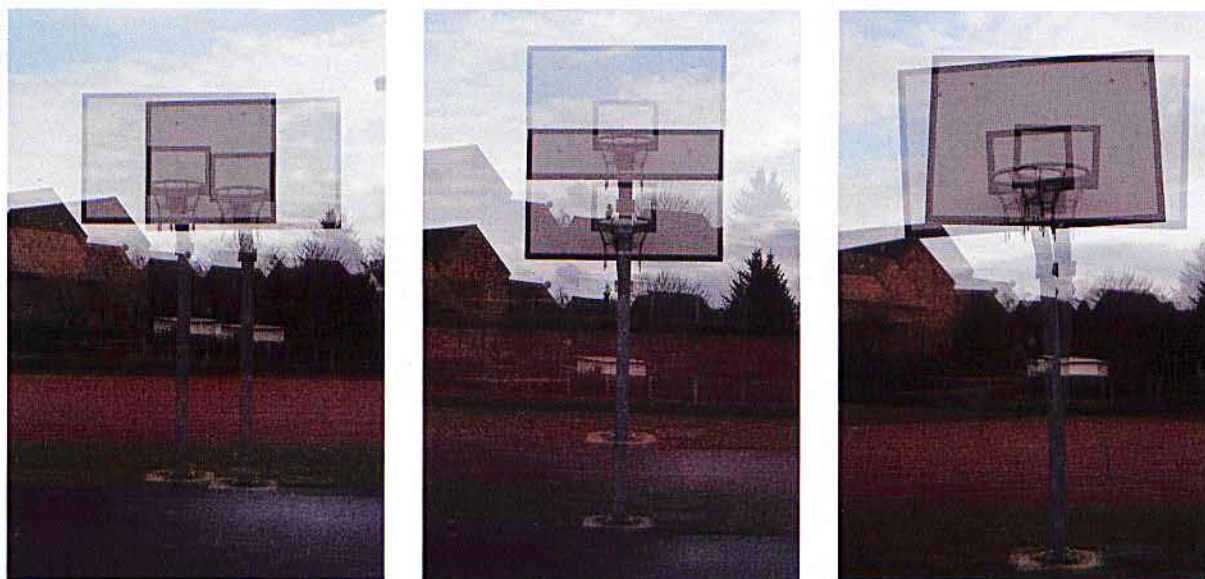


Abb. 4: (a) Horizontales, (b) vertikales und (c) rotatorisches Doppelbild eines Basketballkorbes.

in Abb. 4c ist keine Hilfe mit Prismen möglich, denn einige Augenmuskeln haben durch ihren ungewöhnlichen Ansatz und Verlauf auch eine dreidimensionale Wirkung. Diese komplizierte 3D-Wirkung ändert sich zudem mit der Blickrichtung.

Untersuchung und Therapie

Man trennt den Seheindruck des rechten von dem des linken Auges mit einem FarbfILTER. Viele Patienten können dann Angaben zur dreidimensionalen Lage ihrer Doppelbilder (siehe Abb.4) machen, einige Patienten nehmen dann jedoch kein Doppelbild wahr. Bis jetzt mußte man sich auf die subjektiven Eindrücke verlassen, da es keine objektiven Methoden für den klinischen Routineeinsatz gab. Die neue Methode liefert solche objektiven Positionsdaten in kurzer Untersuchungszeit.

Diejenigen Augenmuskeln, deren Störungen das Schielen mit verdrehten Doppelbildern verursachen, lassen sich durch operative Umlagerungen so verändern, daß meist Doppelbildfreiheit beim Blick nach geradeaus und im Lesebereich nach unten resultiert. Zwar gibt es keine Operation, welche die Beweglichkeit eines Muskels verbessern kann, jedoch ist es mit operativen Mittel möglich, das

Blickfeld ohne Doppelbilder nach geradeaus zu verlagern. Die statistische Analyse der Operationsverfahren zeigt, daß die Ergebnisse sehr gut vorhersagbar sind und daß das Risiko einer Über- oder Unterkorrektur durch sorgfältige

Untersuchungen verringert werden kann. Die neue Methode mit ihrer objektiven dreidimensionalen Schielwinkelmessung, die ursprünglich aus der Weltraumforschung stammt, soll hierzu ihren Beitrag leisten. •

Komplizierte Sehstörungen

Was macht ein Patient, wenn er auf seinem einzigen Auge eine Verdrehungsstörung, also ein verkipptes Bild um die Blicklinie hat? Der Erfahrung nach behindert dieses ver-

kippte Bild ihn beim Sehen nicht. Das Gehirn und die Seherfahrung gleichen den Fehler aus. Der Patient gewöhnt sich sehr schnell an die neue Realität und „programmiert“



Abb. 5: Die Zahnklinik der Justus-Liebig-Universität Gießen als rotatorisches Doppelbild.

Fotos: Wassill

das Verhältnis von Schwerkraftvektor und Umgebung um. Der Bildinhalt mit Raumkanten, Möbeln, Horizont und anderem ist deshalb so überzeugend, weil die optische Informationsaufnahme die anderen Sinneseindrücke dominiert. Erst wenn der Körper auf die anderen Sinne angewiesen ist, kann es bei Konflikten innerhalb der Sensorik

– wie bei den Astronauten beispielsweise – zu Übelkeit kommen.

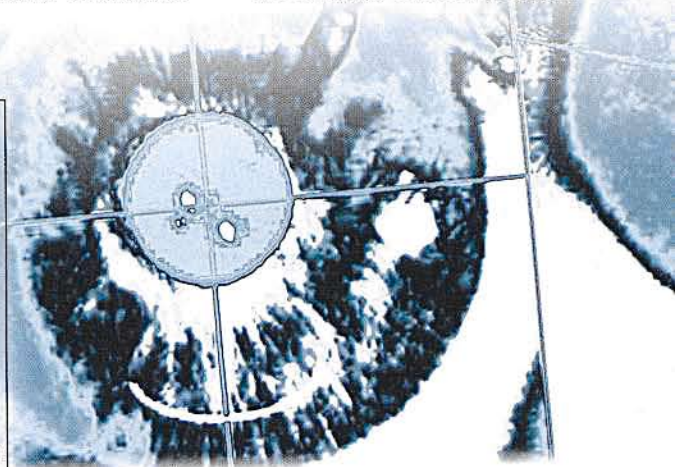
Was macht ein Patient, wenn ein Auge eine Rotationsstörung hat und das andere Auge gesund ist? Wenn früher beide Augen gut gesehen und korrekt zusammengearbeitet haben, der Patient also noch nicht eines der Bilder unterdrückt

hat, nimmt er jetzt Doppelbilder (Abb. 5) wahr. Diese Doppelbilder sind gegeneinander verdreht und meist beim Nach-unten-Blicken (Abblick), etwa beim Treppensteigen, besonders stark verdreht und gefährlich. Glücklicherweise ist in diesem Fall der Patient, der das Bild eines Auges zentralnervös abschalten kann. Der fehlende räumliche Sehein-

JUSTUS-LIEBIG-
UNIVERSITÄT
GIESSEN

Dr. Klaus-Heiko Wassill

Augenklinik für Schielbehandlung
und Neuroophthalmologie
Friedrichstr. 18
35392 Gießen
Tel.: 0641/99-43940
Fax: 0641/99-43919
Email: klaus-heiko.wassill@augen.med.uni-giessen.de





druck ist dann zwar ein Opfer, aber nur ein kleines.

Welches Bild schaltet der Patient ab? Vorsicht! Einige Patienten schalten das gerade Bild ab und verlassen sich auf das verkippte Bild, weil es zum Beispiel schärfer sein kann. Diese Patienten werden genau so die Richtung des schrägen Bildes um, wie es die oben beschriebenen, einäugigen Patienten machen.

Der Name der neuen Meßmethode

Binokulare dreidimensionale Videookulographie ist die vollständige Bezeichnung dieser neuen Methode, mit der Abkürzung B3D-VOG. Binokular steht dabei für beidäugig. Als dritte Meß-Dimension ist die Blicklinien-Achse hinzugekommen, um die das Auge rotiert. Videookulographie bezeichnet die Aufzeichnung der Augenbewegungen.

Darstellung der Ergebnisse

In zwölf Minuten werden bei der „Binokularen dreidimensionalen Videookulographie“ 150.000 Einzelwerte ermittelt. Zur Darstellung der Ergebnisse ist in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe Medizinausbildung (AGMA) am Fachbereich Humanmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen eine realitätsnahe Modellsimulation projiziert worden. Ein erstes Teilergebnis zur Achsensimulation der Augen kann unter der Internet-Adresse <http://www.med.uni-giessen.de/agma/listing> geladen werden. Anhand dieser Simulation kann man einen besseren Einblick in die Besonderheiten der Kugelmechanik bekommen. •

