

Thèse ETHZ n° 7200

**DIAGNOSE FONCTIONNELLE
DU SYSTEME SANGUIN PAR
ANGIOGRAPHIE SPATIALE ULTRASONORE
INFORMATISEE**

présentée à
l'ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE de ZURICH

pour l'obtention
du titre de
docteur ès sciences techniques

par

ALAIN FERRU

Dipl. El.-Ing. ETHZ
né le 31 août 1953
originaire de France

acceptée sur proposition
du Professeur Dr.sc.nat. M. Anliker, rapporteur
du Professeur Dr.sc.nat. E. Mooser, corapporteur

Zürich
1983

RESUME

Par l'analyse de la réflexion des ultrasons il est possible d'élaborer des méthodes diagnostiques qui servent à l'évaluation du fonctionnement de l'appareil circulatoire. Dans le cas de la prévention des attaques cérébrales et des maladies cérébro-vasculaires, l'angiographie ultrasonore vient au secours d'autres méthodes présentant certains risques opératoires, par exemple celui de l'angiographie par injection de liquide contrastant. Grâce à son caractère non sanglant, celle-ci permet des examens répétés, donc le contrôle de l'évolution de ces maladies.

La réalisation expérimentale proposée vise plus particulièrement l'étude qualitative et quantitative du fonctionnement de la bifurcation précrânienne de la carotide.

Dans le cadre des recherches menées par le groupe d'angiographie ultrasonore de l'Institut de génie biomédical de Zurich (IBTZ), cette étude présente un système robotique informatisé de maintien et d'asservissement de la position du transducteur. Le robot, de pair avec les appareils vélocimétriques multicanaux bidirectionnels que développe ce groupe, permet une modélisation simplifiée de l'anatomie du vaisseau et différentes représentations spatiales du flux sanguin. Il est également à l'origine d'une variété de mesures quantitatives basées sur une connaissance exacte de l'angle d'incidence du faisceau, et ce pour un ensemble prédéterminé de positions du transducteur.

Dans une première phase interactive de recherche de points définissant l'axe du vaisseau, le praticien dispose, sur une unité de visualisation digitale, d'un traçage continu des mouvements du transducteur. Ce traçage permet une localisation spatiale instantanée des structures apparaissant sous le faisceau et, ainsi, un enregistrement correct et ordonné des centres virtuels choisis le long du vaisseau. L'ordinateur, à partir de cet ensemble de points, génère une ligne approchée continue qui, grâce au type d'interpolation utilisé, reflète de manière satisfaisante la trajectoire du vaisseau.

La définition géométrique, une fois mémorisée, permet de choisir avec précision le point d'examen et l'angle d'incidence du faisceau à cet endroit. Elle est également à la base de l'implémentation d'une série d'algorithmes de balayage. Les premiers, d'un type classique et bien connu en échographie (Linear-scan, Sector-scan, Compound-scan) pourront être expérimentés dans le cas de saisies vélocimétriques. D'autres (Axis-scan, Compound-Doppler-scan), ont été spécialement élaborés pour permettre certaines nouvelles applications: ils sont caractérisés par des mouvements non plans du transducteur.

On trouvera en fin d'ouvrage une citation sommairement illustrée de deux études expérimentales effectuées par des médecins à l'aide de ce système et documentées de façon détaillée dans / 5/ et /40/. C'est seulement à l'aide de tels résultats et de l'expérience gagnée dans des applications cliniques similaires que l'on pourra envisager de manière

optimale des perfectionnements, voire des simplifications, du prototype flexible proposé ici.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Analyse von reflektierten Ultraschall-Pulsen ermöglicht die Erarbeitung von diagnostischen Kriterien, die einer Abklärung der Funktionstuechtigkeit des Kreislaufes dienen. Bei der Praevention und Diagnostik cerebrovaskulaerer Erkrankungen, insbesondere des Schlaganfalles, ergaenzt die Ultraschall-Doppler-Untersuchung andere, mit gewissen Risiken behaftete Verfahren, unter anderem die Kontrastmittelangiographie. Dank ihres nichtinvasiven Charakters ermöglicht die Ultraschall-Diagnostik wiederholte Untersuchungen, d.h. Verlaufskontrollen.

Das Ziel der vorgeschlagenen Methode liegt hauptsaechlich in der Durchfuehrung qualitativer und quantitativer Untersuchungen im Bereiche der Karotisbifurkation.

Im Rahmen der Forschungsaufgaben der Ultraschallgruppe des Instituts fuer Biomedizinische Technik (IBTZ) stellt die vorliegende Arbeit eine computergesteuerte Transducerhalterungs- und Positionierungseinheit (Roboter) vor. Zusammen mit den, von dieser Gruppe entwickelten, vielkanaligen Ultraschall-Dopplergeraeten, erlaubt der Roboter eine einfache Modellierung der Arterienanatomie sowie verschiedene rauemliche Darstellungen des Stroemungsverhaltens. Das System unterstuetzt vor allem auch jene Messaufgaben, die eine quantitativ reproduzierbare Schallstrahlpositionierung im Raum erfordern, wie das z.B. fuer quantitative Geschwindigkeits- und Flussmessungen entlang komplizierter Arterienverlaeuft (Carotisbifurkation) zutrifft.

In einer anfaenglichen Phase der interaktiven Suche nach Punkten der Gefaessachse, verfuegt der Arzt ueber eine kontinuierliche Aufzeichnung der Transducerbewegungen auf einer digitalen Darstellungseinheit. Diese Aufzeichnung erlaubt eine instantane rauemliche Lokalisierung der erscheinenden Strukturen und damit ein richtiges Einordnen der gefundenen Mittelpunkte entlang der Gefaessachse. Auf der Basis der so erarbeiteten punktuellen Daten erzeugt der Rechner mittels Interpolationsalgorithmen den kontinuierlichen, approximierten Gefaessverlauf.

Die gespeicherte Definition erlaubt eine genaue Auswahl des Messortes sowie eine praezise Einstellung verschiedener gewuenschter Einstrahlwinkel. Sie ermöglicht weiterhin die Ausfuehrung von verschiedenen Strahlfuehrungsalgorithmen: Verschiedene ebene Bewegungsablaeuft wie Linear-scan, Sector-scan, Compound-scan, die zuerst fuer bildgebende Echoverfahren entwickelt wurden, koennen erstmals auch zur Gewinnung

von Doppler-Daten herangezogen werden. Neue nicht-ebene Strahlfuehrungsablaeufer wurden fuer spezielle Doppler-Messungen entwickelt (Axis-scan, Compound-Doppler-scan).

Am Ende der vorliegenden Arbeit sind zwei experimentelle Studien, die durch Aerzte mit diesem System durchgefuehrt wurden und in / 5/, /40/ eingehend dokumentiert sind, kurz erwahnt. Die Diskussion dieser und weiterer klinischer Resultate wird zur sinnvollen Weiterentwicklung, respektive Vereinfachung dieser flexiblen Apparatur fuehren koennen.

SUMMARY

By analysing the reflected pulses of ultrasound it is possible to devise diagnostic procedures which evaluate the functional state of the circulatory system. For the prevention and diagnosis of cerebro-vascular diseases, specially of the cerebral stroke, the ultrasound-Doppler-examination completes other methods which are subjected to several risks, i.e. the contrast-angiography. The non invasive character of the ultrasound-technique allows for repetitive examination, that means evolution controls.

The proposed method aims more specifically at qualitative and quantitative examination of the carotid bifurcation.

Whithin the framework of the research projects developed by the ultrasound angiography group at the Institute of Biomedical Engineering, Zurich, the presented study proposes a computerized robotic system to maintain the transducer's position and control its displacements. Using the robot in combination with the multichannel pulsed ultrasound Doppler instruments developed by this group, one achieves a simplified modelling of the vessel's anatomy as well as off-line spatial representation of the flow pulse. Furthermore this robot is the mainframe of several quantitative measuring techniques based on an exact knowledge of the ultrasound beam's incident angle for a predetermined set of transducer positions.

At a first interactive stage of searching for points situated on the vessel's axis, a digital visualisation unit, which carries out a continuous drawing of the transducer displacements, is at the physician's disposition. This allows an instantaneous spatial locating of the observed structures, as well as a correct registration of the virtual centers chosen along this axis. Starting from this small set of points, a continuous trajectory is approximated by the computer, using interpolation and reflecting in a satisfactory way the vessel's shape.

This memorized geometric definition makes it possible to choose with precision the place of study and the incident

angle of the beam. Different plane scanning methods such as Linear-scan, Compound-scan and Sector-scan, all of them well-known in echo applications, have been implemented for Doppler-data-acquisition. Furthermore, algorithms providing non-plane transducer motions (Axis-scan, Compound-Doppler-scan) have been created for application in special cases.

Two experimental studies, which were conducted by physicians with the aid of this system and which are exhaustively documented in / 5/ and /40/, have been briefly illustrated at the end of the present work. Discussion of the data and results of clinical application such as the two previously mentioned studies, will then lead in an optimal manner to further development or simplified design respectively, of this flexible instrument.