



Doctoral Thesis

Nichtinvasive Quantifizierung der Strömung in Blutgefässen mittels Ultraschalls und digitaler Signalverarbeitung

Author(s):

Huebscher, Werner

Publication Date:

1979

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000190232> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH 6375

NICHTINVASIVE QUANTIFIZIERUNG DER
STROEMUNG IN BLUTGEFAESSEN MITTELS
ULTRASCHALLS UND DIGITALER SIGNALVERARBEITUNG

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Technischen Wissenschaften
der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZUERICH

vorgelegt von

WERNER HUEBSCHER

Dipl. El. Ing. ETH-Zürich

geboren am 2. August 1949

von Malters (Kt. Luzern)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. M. Anliker, Referent

Prof. Dr. P. Leuthold, Korreferent

Zürich 1979

Zusammenfassung

=====

Nichtinvasive Untersuchungsmethoden, die zudem ohne Strahlenbelastung auskommen, verdienen sowohl aus der Sicht des Patienten wie auch des Diagnostikers besondere Beachtung. Seit etwa acht Jahren werden mehrkanalige Ultraschall-Doppler-Geräte mit einer Reichweite von etwa 3,5 cm mit Erfolg in der Kreislaufdiagnostik eingesetzt. Mit diesen gelang es erstmals, die spatiale Geschwindigkeitsverteilung innerhalb von Blutgefässquerschnitten zu untersuchen und den quasi-instantanen Fluss zu bestimmen. In der vorliegenden Arbeit wird ein 128-kanaliges gepulstes Ultraschall-Doppler-Gerät mit digitaler Signalverarbeitung vorgestellt. Die Sendefrequenz beträgt 4,25 MHz, die Reichweite 10 cm.

In diesem Gerät gelangen die von Streuzentren reflektierten Echoamplituden über einen Eingangsverstärker an den Demodulator, der die Dopplerfrequenz in den Audibereich hinuntermischt. Durch regelmässiges Abtasten des demodulierten Echosignals wird dieses in 128 Kanäle oder Zeitintervalle und damit in ebensoviele Reichweiteintervalle unterteilt. Eingangsverstärker und Demodulator wurden mit rauscharmen integrierten Schaltkreisen aufgebaut. Um ein störendes Uebersprechen zu verhindern, wurden Sender und Empfänger bei der Auslegung der Printplatten örtlich getrennt und gegenseitig abgeschirmt.

Bei der Digitalisierung wird von der Tatsache Gebrauch gemacht, dass das demodulierte Signal aus einem Stationäranteil und einem Doppleranteil zusammengesetzt ist. Die stationäre Komponente entsteht durch die Reflexion des Schalls an Körperstrukturen und Gefässwänden und bewirkt eine grosse, zeitlich langsam veränderliche Signalkomponente. Im Gegensatz dazu manifestiert sich der Doppleranteil als ein Signal mit kleiner Amplitude und höherer Frequenz. Da die Signaldynamik 80 - 100 dB betragen kann, ist eine direkte A/D-Wandlung mit genügender Auflösung in der zur Verfügung

stehenden Zeit nicht möglich. In Anlehnung an das MTI-Filter in der Radartechnik wurde deshalb eine rekursive Schleife eingebaut, die gleichzeitig noch eine Filterfunktion übernimmt, mit der das Dopplersignal von den stationären oder quasistationären Echos getrennt werden kann.

Die digitale Dopplerfrequenz-Analyse untersucht für jeden Kanal das in den niederfrequenten Bereich hinuntergemischte Echosignal. Neue Wege wurden eingeschlagen bei der Richtungsdetektion, da diese an schnellen negativen Geschwindigkeiten zu scheitern drohte. Die Frequenz/Spannungs-Wandlung geschieht durch zeitdiskrete Nulldurchgangszählung, die in der Lage ist, die Geschwindigkeiten über den ganzen Beobachtungsbereich von 10 cm mit einer Auflösung von 1,6 cm/s bis 150 cm/s in beiden Flussrichtungen zu bestimmen.

Die spatialen Geschwindigkeitsprofile werden in zeitlichen Intervallen von 15,6 msec in den Ausgangsbuffer gegeben und anschliessend von einem Mikroprozessorsystem aufgenommen. Die on-line Mittelung der Profildaten über eine wählbare Anzahl Herzschläge erfolgt getriggert durch die R-Zacke des EKG. Als Speichermedium für die gemittelten Profildaten dient eine Magnetspeicherscheibe (Floppy Disk). Die Flussberechnung und die Darstellung der Profil- und Flussdaten wird mit Hilfe des Mikroprozessors und eines X-Y-Plotters vorgenommen.

An einem Labormodell des Kreislaufsystems, das sowohl stationäre als auch pulsatile Strömungsverhältnisse simuliert, wurde das Gerät bezüglich Reproduzierbarkeit und Genauigkeit geprüft. Dabei konnte die spezifizierte Geschwindigkeitsauflösung und erwartete Genauigkeit verifiziert werden.

Erste klinische Anwendungen des 128-kanaligen Gerätes erfolgten in Form von Strömungsuntersuchungen in der aufsteigenden Aorta, im Aortenbogen und in der Abdominalaorta von Probanden und von Patienten mit Aortenklappeninsuffizienzen. Aus den erzielten Resultaten geht hervor, dass man mit dieser Apparatur in der Lage ist, teure und mit Risiko behaftete Untersuchungsmethoden zu

ersetzen. Insbesondere zeigte sich bei der Abklärung des Schweregrades von Aortenklappeninsuffizienzen, dass die Ultraschall-Ergebnisse innerhalb von ± 15 % mit denjenigen der Herzkathetermessungen übereinstimmen, was für die klinische Beurteilung der Insuffizienzen in jeder Beziehung als ausreichend betrachtet werden darf.

Abstract

A 128-channel pulsed ultrasound velocity meter with digital signal processing has been developed, tested in the laboratory and utilized in new clinical applications. The instrument permits the determination of quasi-instantaneous spatial velocity profiles in larger blood vessels within a range of 10 cm from the skin. The profiles have a quasi-instantaneous character because the time required to determine the velocity with a resolution of 1.6 cm/s is of the order of several milliseconds. As each of the channels provides a spatial average of the velocity in a certain range interval, the profile is synthesized by as many points as there are channels located within the lumen of the blood vessels of interest. If the cross-section of the vessels is assumed to be circular and the velocities are considered to be constant in the lumen domains defined by the corresponding range intervals, the integral of the profiles yield instantaneous volume flow rates.

The principle of the operation of the instrument can be described as follows. An ultrasonic transducer coupled to the skin by means of aqua sonic is excited to emit pulses of 4 to 8 sine waves with a frequency of 4.25 MHz at intervals of 120 μ s. The echo signals of these pulses are detected by the same transducer and are amplified by the receiver in such a manner that the signal amplitude is approximately constant for all range intervals. During the 120 μ s the demodulated signal is scanned with the aid of a sample and hold unit in 128 uniform time intervals, then digitized in a special analog to digital converter and subsequently analyzed in the 128 channels with

reference to Doppler frequencies. In order to determine the sign (+ or -) of the velocity component, the echo signals are mixed with both the original and the orthogonal carrier signals. The digitized demodulated signal is separated into a relatively large "stationary" and a relatively small, rapidly changing component by means of digital filters. A zero crossing detector induces a pulse sequence, from which the Doppler frequency is derived. The pulse sequence is fed into the frequency to voltage converter which generates a voltage proportional to the velocity for each channel. A new method of sign detection has been devised which allows the quantification of velocities up to 150 cm/s in both directions. The velocity profiles are read out with the aid of a microprocessor at intervals of 16 ms. The on-line averaging of the profile data is triggered by the R-wave of the ECG. All the requisite data can be stored on a floppy disc and are thus available at any time for further analysis including the computation of the volume flow rates.

In a first series of clinical applications of this instrument the flow patterns were evaluated in a variety of vessels such as the common carotid artery, the abdominal aorta and the ascending aorta of normal subjects and patients. A relatively extensive effort was made to demonstrate the usefulness of the velocity meter in determining noninvasively the aortic regurgitation fraction on 16 patients with aortic insufficiency. By recording the velocity profiles in the ascending aorta from the suprasternal notch and computing from these the ratio of diastolic back flow to systolic forward flow, one obtains regurgitation fractions which agree within $\pm 15\%$ with those found on the same patients by means of invasive procedures.