

Kernspintomographische Blutflußmessungen an größeren Gefäßen

P. Böslger, D. Meler, S. Maler, U. Moser, A. Viell

Institut für Biomedizinische Technik der Universität und ETH Zürich

Bei der konventionellen Kernspintomographie werden Schichtbilder des menschlichen Körpers aufgenommen zur Beurteilung der anatomischen Strukturen des Körperinnern. Auf diesen Bildern, die meist mit sogenannten Spin-Echo-Anregungspulssequenzen erzeugt werden, ist der Modulus oder Betrag des komplexen Kernresonanzsignals als Grauton kodiert dargestellt. Die Grautonwerte und damit der Bildkontrast hängen in komplizierter Weise sowohl von den Gewebeparametern Spindichte und Relaxationszeiten T_1 und T_2 als auch von gewählten Anregungspulssequenzen und von deren Zeitkonstanten ab.

Zusätzliche Information über die Bewegung von Strukturen, insbesondere über die Blutflussgeschwindigkeit in größeren Gefäßen, lässt sich aus den bildlich dargestellten Phasen der Kernresonanzsignale ableiten. Die bei Spin-Echo-Sequenzen infolge eines magnetischen Feldgradienten G_z durch den Blutfluss in z-Richtung induzierte Phasenverschiebung $\Delta \phi$ beträgt

$$\Delta \phi = 1/4 \gamma G_z v_z T_E^2$$

γ gyromagnetisches Verhältnis
 v_z Geschwindigkeit des Blutflusses
 T_E Echozeit

Zur Quantifizierung des Blutflusses wurde ein MR-taugliches Flussphantom entwickelt. Es besteht aus vier Plexiglas-Rohren mit verschiedenen Durchmessern, welche durch einen wassergefüllten Zylinder von 20 cm Durchmesser führen. Es erlaubt die Erzeugung von kontinuierlichen oder pulsatilem Fluss einer verdünnten CuSO_4 -Lösung durch die vier Rohre.

In einem ersten Schritt wurde auf einer Ganzkörper-MR-Anlage Gyroscan S15 von PHILIPS (Feldstärke 1.5 Tesla) der kontinuierliche Fluss durch eine Ebene transversal zu den Rohren analysiert. Fig. 1 zeigt die Korrelation zwischen den mit MR gemessenen Flusswerten und den an einem geeichten Flussmeter eingestellten Sollwerten für zwei Rohre mit

entgegengesetzter Flussrichtung und 12 mm resp. 16 mm Durchmesser. Die maximalen Geschwindigkeiten bei der maximalen Flussrate betragen etwa 30 cm/s.

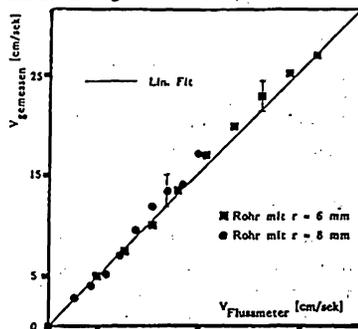


Fig. 1: Vergleich der mittleren Sollflussgeschwindigkeiten und der mittels MR bestimmten Geschwindigkeiten bei konstantem Fluss.

Zur Analyse von pulsatilem Fluss werden schnelle Pulssequenzen eingesetzt, bei denen die Spinechos durch Gradienteninversion entstehen. Sie erlauben bei Triggerung der Messzyklen auf das EKG stroboskopisch die Erzeugung von bis zu 16 Momentanbildern innerhalb des Herzzyklus. Aus den entsprechenden Phasenbildern kann wiederum unter detaillierter Kenntnis der Gradientensequenz die instantane Blutflussgeschwindigkeit räumlich aufgelöst über den Gefässquerschnitt ermittelt werden.

Die Integration über den Querschnitt führt zum instantanen Blutfluss; die zeitliche Mittelung dieser Instantanwerte über einen Herzzyklus erlaubt die Bestimmung des mittleren Blutflusses.

In einem zweiten Schritt erfolgte die Evaluation dieser Technik anhand von pulsatilem Fluss am Flussmodell. Die Ergebnisse zeigen ähnliche Übereinstimmung der gemessenen, mittleren Flusswerte mit den eingestellten Sollwerten wie bei der stationären Strömung.

In einem dritten Schritt wurde der Blutfluss in der abdominalen Aorta von gesunden Probanden analysiert. Fig. 2 zeigt vier Geschwindigkeitsverteilungen über den Gefäßquerschnitt, die mit dieser schnellen EKG-getriggerten Gradientenechosequenz in Zeitabständen von 80 ms während der Systole aufgenommen wurden. Die Asymmetrien dürften von grösseren Gefäßabgängen in der unmittelbaren Nähe der Messstelle herrühren.

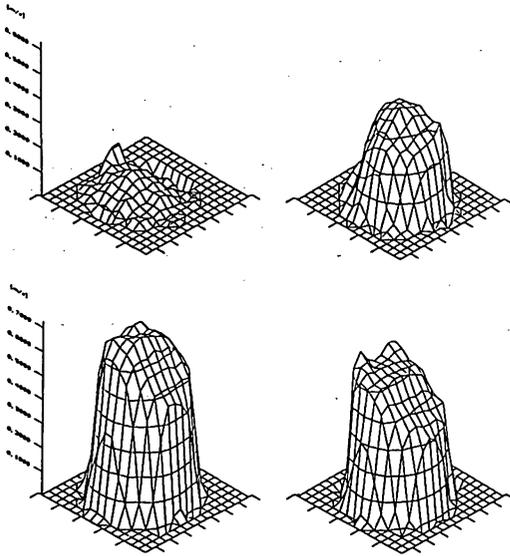


Fig.2: Geschwindigkeitsverteilungen in der abdominalen Aorta in Zeitabständen von je 80 ms während der Systole.

Fig. 3 zeigt oben die über den Gefäßquerschnitt gemittelten instantanen Blutflusswerte zu 16 verschiedenen Zeitpunkten des Herzzyklus. Das untere Bild zeigt im Vergleich dazu die am selben Probanden mit einem 64-kanaligen Ultraschall-Doppler-Gerät gemessene Kurve. Die qualitative Übereinstimmung der beiden Flusspulskurven ist offensichtlich. Eine Analyse der quantitativen Übereinstimmung ist gegenwärtig im Gange.

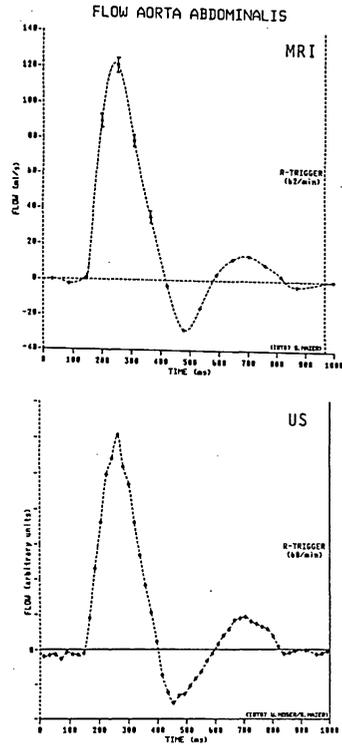


Fig.3: Mit MR gemessene, über den Gefäßquerschnitt gemittelte instantane Blutflusswerte zu 16 verschiedenen Zeitpunkten des Herzzyklus (oben). Im Vergleich dazu (unten) eine entsprechende mit der Ultraschall-Doppler-Technik gemessene Kurve desselben Probanden.

Literatur

- Bösiger, P.: Kernspin-Tomographie für die medizinische Diagnostik. BG Teubner GmbH, Stuttgart, 1985.
- van Dijk, P.: Direct Cardiac NMR Imaging of Heart Wall and Blood Flow Velocity. *J Comp Assisted Tomogr* 8 (3), 429 (1984).
- Katz, J., Peshock, R.M., McNamee, P., Schaefer, S., Malloy, C.R. and Parkey, R.W.: Analysis of Spin-Echo Rephasing with Pulsatile Flow in 2D FT Magnetic Resonance Imaging. *Magnetic Resonance in Medicine* 4, 307 (1987).
- Matsuda, T., Shimizu, K., Sakurai, T., Fujita, A., Ohara, H., Okamura, S., Hashimoto, S., Tamaki, S. and Kawai, C.: Measurement of Aortic Blood Flow with MR Imaging: Comparative Study with Doppler US. *Radiology* 162, 857 (1987).