

3. Entwicklung der MR - Funktionsdiagnostik

Die Magnetresonanztomographie beruht auf dem physikalischen Prinzip der Kern-Spin-Resonanz (engl. nuclear magnetic resonance = NMR), die in den Naturwissenschaften seit Jahrzehnten breite Anwendung gefunden hat. Die dafür grundlegenden Arbeiten, die den NMR-Effekt beschrieben haben, gehen auf F. Bloch und G.M. Purcell aus dem Jahr 1946 zurück. 1973 gelangen erste kernspintomographische Aufnahmen durch P.C. Lauterbur³⁵. Die ersten statischen Aufnahmen des Herzens wurden 1977 durch Damadian publiziert³⁶. Weitere 4 Jahre später waren die ersten Geräte im klinischen Einsatz und in der ersten wissenschaftlichen Publikation über die MRT des Herzens am Menschen kam R.C. Hawkes³⁷ zum Schluss, dass das „NMR“ mittlerweile in einem Stadium sei, in dem es mit der Darstellung statischer Bilder des Herzens mit der Echokardiographie konkurrieren könne.

Durch die Einführung der EKG- und Puls-Triggerung ließen sich anatomische Details des Herzens wie Herzklappen und Papillarmuskeln an Probanden darstellen³⁸. Die Einführung der EKG-Triggerung erlaubte erstmalig Aufnahmen des Herzens zu unterschiedlichen Zeitpunkten des Herzzyklus und somit eine Berechnung von systolischen und diastolischen Volumina^{39, 40}. Erst die Entwicklung der Gradienten-Echo-Sequenzen durch Haase 1986⁴¹ legte die Basis für die so genannte Cine-MRT, die eine zeitaufgelöste Darstellung des Herzens ermöglichte. Im Gegensatz zu den bis dahin benutzten Spin-Echo-Sequenzen zählt sie zu den „bright-blood“ Sequenzen, die das Blut signalreich gegenüber dem Myokard abbildet. Der Kontrast wird wesentlich durch den Blutfluss bestimmt, da in die Untersuchungsschicht einfließende ungesättigte Spins signalreich zur Abbildung kommen. Nachteilig ist diese Kontrasteigenschaft in Arealen regionaler ventrikulärer Hypokinesien, da stationäres Blut einen verminderten Kontrast zum Myokard aufweist und die endokardiale Kontur unzuverlässig abgrenzbar wird. Die genaueste Methode zur Quantifizierung ventrikulärer Parameter ist die Akquisition eines dreidimensionalen Datensatzes kontinuierlicher Kurzachsenschnitte, die den gesamten Ventrikel abdecken. Linksventrikuläre Volumina werden anschließend durch Einzeichnen endo- und epikardialer Konturen berechnet und addiert⁴². Aus dem selben Datensatz lassen sich analog dazu rechtsventrikuläre Volumina berechnen⁴³⁻⁴⁶. Die Cine-MRT hat sich in zahlreichen Studien als Goldstandard für die Bestimmung kardialer Funktionsparameter⁴⁷⁻⁵³ etablieren können. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber anderen Verfahren ist die geringere Intra- und Interobservervariabilität.

Eine Analyse der Wandbewegung im MRT ist darüber hinaus durch Markierung (=Tagging) des Myokards möglich, die als Tagging-Technik eingeführt wurde⁵⁴⁻⁵⁶. Dabei wird mit selektiven Hochfrequenz-Pulsen ein Linien- oder Gittermuster auf die zu untersuchende Schicht geprägt und das Verziehen des Linienmusters während des Herzzyklus verfolgt. Quantitative Analysen erlauben das Berechnen der Wandspannung und der Wandbewegung. Aufgrund der zeitaufwändigen Nachverarbeitung hat sich diese Methode in der klinischen Routine nicht etablieren können.

Eine wesentliche Verbesserung der MR-Bildgebung brachte die Einführung segmentierter Sequenzen, die die Akquisition einer Schicht während einer Atemanhaltephase erlaubt. So konnten Atemartefakte signifikant reduziert werden⁵⁷. Dies ermöglichte eine deutliche Verkürzung der Untersuchungszeit von mehreren Minuten auf unter 16 Sekunden für eine Schicht⁵⁸.

Mit der Einführung der SSFP (steady state free precession) Sequenz⁵⁹ konnte die Bildqualität weiter gesteigert werden. Der Kontrast zwischen Myokard und Blutvolumen erhöht sich bei den SSFP-basierten Sequenzen, da er weniger von den Sättigungseffekten langsam fließenden Blutes beeinträchtigt wird^{60, 61}, und erlaubt so eine genauere Abgrenzbarkeit der endokardialen Kontur. Folglich wird bei der Auswertung die endokardiale Kontur größer und die epikardiale Kontur kleiner eingezeichnet, so dass ein größeres ventrikuläres Volumen und ein kleineres myokardiales Volumen als mit den herkömmlichen FLASH-Sequenzen resultiert⁶².