

1. Einleitung

1.1. Methoden der ventrikulären Funktionsdiagnostik

Der Beurteilung der myokardialen Funktion kommt in der Diagnostik kardiovaskulärer Erkrankungen eine zentrale Rolle zu. Parameter, die es zu erfassen gilt, betreffen die globale rechts- und linksventrikuläre Funktion, regionale Kinetikstörungen sowie die Bestimmung der ventrikulären Volumina und der myokardialen Masse. Verfahren, die in der Diagnostik zum Einsatz kommen, umfassen die Echokardiographie, nuklearmedizinische Untersuchungen (SPECT, PET), die Computertomographie (CT) als Elektronenstrahl-Computertomographie (EBT, EBCT, ultrafast CT) und die Mehrzeilen- oder Multislice-Computertomographie (MSCT), die Magnetresonanztomographie (MRT; Kernspintomographie, KST) sowie die invasive Ventrikulographie.

Die Echokardiographie gilt als Methode der ersten Wahl, da sie nichtinvasiv, einfach anwendbar und weit verfügbar ist. Sie vermag in Echtzeit die Herzbewegung mit hoher zeitlicher Auflösung darzustellen. Mit der farbkodierten Gewebe-Doppler-Echokardiographie (Gewebe-Tracking) steht eine neue Technik zur Verfügung, die regionale radiale und longitudinale myokardiale Geschwindigkeiten berechnen und die systolische Bewegungsamplitude bestimmen kann. Nachteile liegen in der Abhängigkeit von einem geeigneten Schallfenster und dem gegenüber der MRT geringeren Kontrast-zu-Rausch-Verhältnis. Zudem ist im klinischen Alltag die echokardiographische Beurteilung regionaler Wandbewegung und der semiquantitativen Einschätzung untersucherabhängig und unvermeidbar subjektiv¹. Die dreidimensionale (3D) echokardiographische Bildgebung stellt einen neu eingeführten Ansatz zur Verbesserung der Analyse von sowohl morphologischen als auch funktionellen Parametern in der Herzdiagnostik. Die 3D-Echokardiographie bietet die Möglichkeit, unabhängig von der Geometrie der Kammer, hinreichend genau Ventrikelvolumina zu berechnen, zum gegenwärtigen Zeitpunkt scheint jedoch die MRT für die Muskelmassenbestimmung und die Analyse des linken Ventrikels noch überlegen zu sein²⁻⁶.

Im Vergleich zu den anderen bildgebenden Verfahren liegt der Schwerpunkt der nuklearmedizinischen Verfahren weniger in der morphologischen Bildgebung als mehr in der funktionellen Diagnostik. Die Herzsintigraphie wird eingesetzt, um

Durchblutung, Stoffwechsel, Vitalität und auch Wandbewegung des Myokards zu evaluieren. Obwohl die Positronenemissionstomographie (PET) derzeit als Goldstandard für Perfusion und Vitalität gilt, ist sie aufgrund der gegenüber den anderen Verfahren geringeren Ortsauflösung, hohen Kosten und eingeschränkten Verfügbarkeit limitiert. Zur Beurteilung der myokardialen Funktion wird die Äquilibrium-Radionuklidangiographie eingesetzt, für die ^{99m}T Technetium als Radiopharmakon verwendet wird. Die Aufnahmen erfolgen dabei EKG-gated über viele Herzzyklen hinweg. Die Single-Photonen-Emissions-Tomographie (SPECT) ermöglicht Schichtaufnahmen, die sich wie die anderen Schnittbildverfahren an den herzeigenen Achsen orientiert und erlaubt durch eine rotierende Gammakamera die Darstellung der Aktivitätsverteilung des Herzens in Form beliebig orientierbarer Schnittbilder. Die Radionuklidventrikulographie (RNV) ist eine klinisch nur noch gelegentlich angewandte Methode und wurde inzwischen vor allem durch die Echokardiographie, aber auch durch die MRT, weitgehend verdrängt. Sie ist zudem bei sehr dünnen sowie adipösen Patienten und bei großen Herzvolumina fehlerbehaftet.

Das Prinzip der Computertomographie beruht auf einer um den Patienten rotierenden Röntgenröhre, die einen fokussierten Röntgenstrahl erzeugt, der eine definierte Körperschicht durchdringt. Die Abschwächung der Photonenflussdichte wird auf der Gegenseite von einem Detektorsystem registriert und anschließend zur Bildberechnung verwendet. 1979 wurde die EKG-Triggerung eingeführt, die eine signifikante Reduktion der Bewegungsartefakte⁷ und somit die klinische Herzbildgebung ermöglichte. Bei der Spiral-CT wird während einer kontinuierlichen Röhrenrotation der Patiententisch mit einer definierten Geschwindigkeit durch die Scanebene bewegt. Die Mehrschicht-Spiral-CT (=Multislice-CT, MSCT) erlaubt eine simultane Abtastung mehrerer Schichten, wobei zum derzeitigen Stand der Technik bis zu 64 Schichten gleichzeitig untersucht werden können. Kombiniert mit einer retrospektiven EKG-Synchronisation können komplette dreidimensionale Datensätze des Herzens zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Herzzyklus aufgenommen werden, die eine Bilddatenrekonstruktion zu enddiastolischen und endsystolischen Zeitpunkten erlauben⁸.

Die Elektronenstrahl-Computertomographie unterscheidet sich von der herkömmlichen Computertomographie durch das Fehlen mechanischer Bewegung bei der Datenakquisition. Ein Elektronenstrahl tastet den Zielring aus Wolfram ab, wobei ein Photonenstrahl entsteht, der auf gegenüberliegende Detektorringe trifft. Bei der Untersuchung der Herzfunktion dauert der Umlauf des Elektronenstrahls 50

Millisekunden, was ausreichend schnell ist, um die Herzbewegung nahezu artefaktfrei darzustellen. Durch Tischkipfung können anatomisch an den herzeigenen Achsen orientierte Schnitfführungen angenähert werden⁹. Nachteile beider CT-Verfahren liegen in der obligaten intravenösen Applikation jodhaltiger Kontrastmittel sowie der Strahlenexposition.

Die invasive Ventrikulographie ist Bestandteil der Herzkatheteruntersuchung und wird in der Routinediagnostik in der rechtsschrägen (30° RAO) und linksschrägen (60° LAO) Projektionsebene durchgeführt. Die RAO-Projektion erlaubt die Beurteilung der anterolateralen Wand, der Herzspitze und der inferioren (diaphragmalen) Anteile der Hinterwand. Die LAO-Projektion eignet sich zur Beurteilung des Septum interventriculare und der posterolateralen Wand sowie der apikalen und inferioren Wand. Bei der Ventrikulographie handelt es sich im Gegensatz zu den anderen vorgestellten Modalitäten um ein Projektionsverfahren, wodurch die Vergleichbarkeit eingeschränkt ist. Trotz der bekannten Limitationen der Linkskardiographie wird sie traditionell auch heute noch als Referenzstandard eingesetzt, um nichtinvasive Verfahren zu bewerten^{8, 10, 11}.

Die Magnetresonanztomographie hat sich in den letzten beiden Jahrzehnten aufgrund der rasanten technischen Entwicklungen als fester Bestandteil in der kardiologischen Diagnostik etablieren können. Sie ermöglicht die Darstellung der Morphologie und Anatomie des Herzens, der Perfusion und gilt als Goldstandard bei der Beurteilung der Funktion. Flussmessungen erlauben ähnlich der Doppler-Echokardiographie nichtinvasive Bestimmungen von Flussgeschwindigkeiten und Flussvolumina. Angiographische Techniken können die Herzkranzgefäße darstellen und mit Hilfe kontrastmittelunterstützter Sequenzen kann das Myokard charakterisiert werden und zuverlässig myokardiale Narben von vitalem Myokard differenziert werden¹².

Die vorliegende Habilitationsschrift beinhaltet Untersuchungen auf dem Gebiet der magnetresonanztomographischen Beurteilung der globalen und regionalen Funktion des linken und auch rechten Ventrikels. Sie legt den Schwerpunkt auf den Methodenvergleich mit CT- und echokardiographischen Techniken und die Problematik der Funktionsuntersuchung bei Patienten mit Herzinsuffizienz mit globalen und regionalen Kinetikstörungen. In einem experimentellen Teil beschäftigt sich die vorliegende Arbeit mit den Problemen der Diagnostik der Koronararterien nach Stentimplantation und zeigt ein innovatives Konzept aktiver Signalverstärkung im Stentlumen in der Magnetresonanztomographie.