

2. Grundlagen der ventrikulären Funktion

2.1. Bestimmung globaler ventrikulärer Funktionsparameter

2.1.1. Linksventrikuläre Funktionsparameter

Faktoren, die die linksventrikuläre Funktion beeinflussen, umfassen die Vorlast, die Nachlast, die myokardiale Kontraktilität sowie die Herzfrequenz und den Rhythmus. Die Vorlast ist abhängig von dem enddiastolischen Füllungsdruck und der Wandspannung des Myokards und spiegelt die initiale Länge der Sarkomere wieder. Die Nachlast entspricht der Kraft, die das Myokard aufbringen muss, um zu kontrahieren, und ist durch den diastolischen Aortendruck gegeben.

Mit der funktionellen Bildgebung des linken Ventrikels werden Parameter zur Beschreibung der Ventrikelfunktion ermittelt. Zum einen umfasst sie die Bestimmung der globalen Volumina, nämlich Berechnung des enddiastolischen (EDV) und endsystolischen Volumens (ESV) und der myokardialen Masse (MM), aus denen sich das linksventrikuläre Schlagvolumen und die Ejektionsfraktion (EF) berechnen lassen. Dabei ist die Ejektionsfraktion ein Maß für die systolische Leistung des linken Ventrikels und berechnet sich aus dem Verhältnis des Schlagvolumens (SV) zum enddiastolischen Volumen. Mit Kenntnis der Herzfrequenz kann daraus das Herzzeitvolumen bestimmt werden. Eine Erniedrigung der Ejektionsfraktion resultiert aus einer gestörten myokardialen Funktion, einer erhöhten linksventrikulären Nachlast oder einer strukturellen Veränderung des linken Herzens. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit für die Bildgebung, das zweite Ziel der funktionellen Analyse des linken Ventrikels zu verfolgen, nämlich die Beurteilung und Quantifizierung der regionalen linksventrikulären Funktion.

Die globalen linksventrikulären Parameter haben für verschiedene kardiale Erkrankungen therapeutische und prognostische Konsequenzen. Folglich ist eine Bestimmung dieser Parameter mit hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von großer klinischer und prognostischer Bedeutung. Bereits eine geringe linksventrikuläre Dilatation ist mit einer ungünstigen Prognose vergesellschaftet^{13, 14}, darüber hinaus liegt die Ein-Jahres-Überlebensrate bei Patienten mit ausgeprägter Dilatation nur noch bei 65%¹⁵. Nach einem Myokardinfarkt haben Patienten mit einer linksventrikulären Dilatation eine etwa dreifach höhere Mortalität bei einem erneuten kardialen Ereignis¹⁶. Patienten mit einer EF <40% haben ein erhöhtes Risiko, einen akuten Myokardinfarkt oder plötzlichen Herztod zu erleiden¹⁷, auch für Patienten mit einem Klappenvitium ist die linksventrikuläre systolische Funktion ein wichtiger Faktor der Langzeitprognose¹⁸.

2.1.2. Rechtsventrikuläre Funktionsparameter

Die Beurteilung des rechten Ventrikels ist insbesondere bei der Diagnostik und Verlaufskontrolle kongenitaler Herzvitien von Bedeutung, um eine fortschreitende Dilatation und Funktionsverschlechterung im Langzeitverlauf frühzeitig zu detektieren. Obwohl in der Erwachsenenkardiologie der linke Ventrikel im Mittelpunkt des Interesses steht, spielt der rechte Ventrikel auch bei verschiedenen Erkrankungen, die primär den linken Ventrikel betreffen, eine nicht unerhebliche Rolle. Die rechtsventrikuläre Funktion gilt als unabhängiger Prognosefaktor bei Patienten mit akutem Myokardinfarkt¹⁹ und ist bei verschiedenen Krankheitsbildern wie beispielsweise der pulmonalen Hypertonie^{20, 21}, Lungenarterienembolie²² und Mitralklappenerkrankungen von zentraler Bedeutung. Die Konzepte der Vorlast, Nachlast und Kontraktilität gelten prinzipiell ebenso für die rechtsventrikuläre Funktion wie für den linken Ventrikel. Grundlegende Unterschiede für die Bildgebung liegen in der abweichenden Morphologie des rechten Ventrikels, der eine dünnere Wand mit einem ausgeprägten Trabekelwerk besitzt und keinem geometrischen Modell entspricht, das zur Berechnung der ventrikulären Volumina herangezogen werden kann. Der rechte Ventrikel hat die Form einer Pyramide, umgreift mit seiner medialen Wand die linke Herzkammer schalenartig und lässt deutlich zwei Anteile erkennen, die ihm die Form eines „V“ verleihen. Die beiden Anteile werden durch die Crista supraventricularis in den Einflusstrakt und den Ausflusstrakt (Konus, RVOT) unterteilt. Im Einflusstrakt wird 85 % der Pumpleistung generiert, der Ausflusstrakt ist ein pulsatile Conduit mit nur begrenzter Auswurfleistung. Bildgebende Verfahren wie die Echokardiographie und die rechtsventrikuläre Kardangiographie sind bei der Funktionsanalyse und Volumetrie aufgrund der komplexen Morphologie des rechten Ventrikels limitiert²³, da kein geometrisches Modell existiert, mit dessen Hilfe eine einfache Volumetrie möglich ist.

2.2. Beurteilung der regionalen Funktion

2.2.1. Linksventrikuläre regionale Funktion

Die normale linksventrikuläre Funktion ist durch ein komplexes Bewegungsmuster charakterisiert, das aus Kontraktion und Rotation besteht. Der linke Ventrikel verfügt über eine sehr kräftige Ringmuskulatur, die den Hauptteil des Myokards ausmacht. Außen und innen dieser zirkulär verlaufenden Fasern sind spiralförmig angeordnete Muskeln angelagert, die von der Herzbasis zur Spitze ziehen. Die enddiastolische Wanddicke sowie der zirkumferente Radius nehmen zur Herzspitze hin kontinuierlich ab, wohingegen der longitudinale Radius zunimmt²⁴. Bei der Kontraktion entsteht eine

Verkürzung des Ventrikels in der Längsachse, die eine Senkung der Klappenebene zur Herzspitze hin zur Folge hat, da der Herzbeutel an der Spitze mit dem Zwerchfell verankert ist. Zusätzlich verursachen die zirkulär verlaufenden Fasern ein wringendes Kontraktionsmuster, das an der Herzbasis im Uhrzeigersinn und in der Mitte des Herzens und an der Herzspitze entgegengerichtet ist²⁵, wobei die Rotation von der Mitte zur Herzspitze hin zunimmt. Die regionale Ejektionsfraktion nimmt von der Basis zur Spitze signifikant zu und ist an der Hinterwand am höchsten²⁴. An der Hinterwand ist die höchste regionaler Ejektionsfraktion mit der geringsten myokardialen Wandverdickung vergesellschaftet, an der Vorderwand finden sich entgegengesetzte Verhältnisse, so dass insgesamt die Beurteilung der Wandverdickung als Parameter allein zur Beurteilung der regionalen Funktion nicht ausreichend ist.

Die Darstellung der regionalen linksventrikulären Funktion ist essentiell bei der Beurteilung eines akuten Myokardinfarktes, da der Ort und die Ausdehnung der Wandbewegungsstörungen unabhängige Determinanten für die globale linksventrikuläre Funktion²⁶ und somit auch für die Prognose sind. Der Wandbewegungsindex (wall motion score index = WMSI) ist ein gebräuchlicher Indikator zur Bewertung regionaler Wandbewegungsstörungen. Er wird berechnet, indem die Summe der Bewertung der einzelnen kardialen Segmente (hyperkinetisch, normokinetisch, hypokinetisch, akinetisch, dyskinetisch) durch die Anzahl der Segmente dividiert wird. Dieser Index ist ein aussagekräftiger Faktor der Langzeitmortalität nach akutem Myokardinfarkt²⁷, wobei bei reduziertem WMSI die Prognose signifikant schlechter wird. Hyperkinesien hingegen haben einen positiven prognostischen Wert²⁸. Regionale Wandbewegungsstörungen sind bei Patienten mit idiopathischer dilatativer Kardiomyopathie häufig, die anteroseptale Hypokinesie ist dabei am häufigsten. Solche regionale Wandbewegungsstörungen sind mit einer ausgeprägten systolischen Dysfunktion, größerer ventrikulärer Dyssynchronie und einer schlechteren Prognose assoziiert²⁹.

2.2.2. Rechtsventrikuläre regionale Funktion

Der rechte Ventrikel wird durch die Crista supraventricularis in den Einflusstrakt und den Ausflusstrakt unterteilt. Im Einflusstrakt wird 85 % der Pumpleistung generiert, der Ausflusstrakt, das Infundibulum (Konus), ist ein muskulärer Schlauch und somit ein pulsatile Conduit mit begrenzter Auswurfleistung.

Der rechte Ventrikel wird in Erkrankungen, die primär den linken Ventrikel betreffen, mit einbezogen. So kann der rechte Ventrikel bei ausgedehnten linksventrikulären Infarkten ebenfalls dilatieren. Konsekutive Funktionseinschränkungen des rechten Ventrikels mit Rechtsherzversagen haben eine schlechte Prognose und die Überlebensrate liegt gewöhnlich unter zwei Jahren^{30, 31}. Ebenso ist die

rechtsventrikuläre Funktion außerhalb der Akutphase eines Infarktgeschehens ein unabhängiger Prognosefaktor bei Patienten mit chronischer Herzinsuffizienz³². Doch auch für viele primär den rechten Ventrikel betreffenden Erkrankungen ist die Funktionsuntersuchung von zentraler Bedeutung. Für die Diagnosestellung der arrhythmogenen rechtsventrikulären Kardiomyopathie gehört die Beurteilung der globalen Volumina und Funktion sowie der regionalen Wandbewegung zu den Major- und Minorkriterien³³.

Patienten mit operativ korrigierten Herzfehlern erreichen zunehmend das Erwachsenenalter und die Spätfolgen der Grunderkrankung rücken in das Interesse der Erwachsenenkardiologie. Nach operativer Korrektur einer Fallot'schen Tetralogie mit Rekonstruktion des rechtsventrikulären Ausflusstraktes tritt gehäuft eine Pulmonalklappeninsuffizienz mit assoziierten Rhythmusstörungen, rechtsventrikulärer Funktionseinschränkung sowie systolischer Dysfunktion im Sinne einer Akinesie und Aneurysmabildung des RVOT auf³⁴. Für die Indikationsstellung zur Re-Operation ist eine zuverlässige funktionelle und morphologische Beurteilung des Ventrikels und der Klappen erforderlich.