



S. Delorme · P. Reimer · W. Reith · C. Schäfer-Prokop
C. Schüller-Weidekamm · M. Uhl *Hrsg.*

Weiterbildung Radiologie

CME-Beiträge aus:
Der Radiologe Januar 2015 – Dezember 2015

Weiterbildung Radiologie

Stefan Delorme
Peter Reimer
Wolfgang Reith
Cornelia Schäfer-Prokop
Claudia Schüller-Weidekamm
Markus Uhl
(Hrsg.)

Weiterbildung Radiologie

CME-Beiträge aus: Der Radiologe
Januar 2015 – Dezember 2015

Mit über 217 größtenteils farbigen Abbildungen

Herausgeber

Prof. Dr. med. Stefan Delorme (Leitung)
Deutsches Krebsforschungszentrum
Forschungsschwerpunkt Bildgebung
und Radiologie,
Heidelberg, Deutschland

Prof. Dr. med. Peter Reimer
Institut für Diagnostische und Interventionelle
Radiologie
Städtisches Klinikum Karlsruhe, Deutschland

Prof. Dr. med. Wolfgang Reith
Institut für Diagnostische und Interventionelle
Neuroradiologie
Universitätsklinikum des Saarlandes
Homburg/Saar, Deutschland

Prof. Dr. Cornelia Schaefer-Prokop
Meander Medical Center
Amersfoort, Niederlande

Assoc. Prof. PD Dr. med. Claudia Schüller-Weidekamm
Klinik für Radiologie & Nuklearmedizin
AKH der Medizinischen Universität Wien
Wien, Österreich

Prof. Dr. med. Markus Uhl
Klinik für Diagnostische Radiologie, Kinderradiologie,
Neuroradiologie und Interventionelle Radiologie/
Nuklearmedizin
St. Josefskrankenhaus
Freiburg, Deutschland

ISBN 978-3-662-52751-1

ISBN 978-3-662-52752-8 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-52752-8

Auszug aus: Der Radiologe, Springer-Verlag 2015

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2017

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg

Inhaltsverzeichnis

1	Digitale Tomosynthese der Mamma	1
	<i>H. Preibsch, K. C. Siegmann-Luz</i>	
2	Zystische Tumoren des Pankreas	11
	<i>B. Buerke, C. Schülke</i>	
3	Pulmonale Beteiligung bei Kollagenosen	23
	<i>B. Rehbock</i>	
4	Entzündliche Wirbelsäulenerkrankungen: Spondylarthritis. Zentrale Bedeutung der Bildgebung	37
	<i>C. Schueller-Weidekamm</i>	
5	Akute Sportverletzungen und chronische Überlastungsschäden an Vor- und Mittelfuß . .	47
	<i>K. Wörtler, C. Schöffeler</i>	
6	Medikamentöse Therapie in der interventionellen Radiologie	61
	<i>M. Sumkauskaitė, M. Bryant, N. Kortes, U. Stampfl, B. Radeleff</i>	
7	Verfahren der Dopplersonographie	71
	<i>K.-V. Jenderka, S. Delorme</i>	
8	Orbita. Teil 1: Anatomie, bildgebende Verfahren und retrobulbäre Läsionen	89
	<i>W. Reith, U. Yilmaz</i>	
9	Akute Aortenerkrankungen: Aktuelle Diagnostik und Therapie	107
	<i>P. Reimer, R. Vosschenrich, M. Storck</i>	
10	Klinisch-forensische Bildgebung: Erfassung und Dokumentation innerer Verletzungsbefunde bei lebenden Gewaltopfern	121
	<i>P. A. Glemser, A. Krauskopf, D. Simons, H. P. Schlemmer, K. Yen</i>	
11	Lokale Bildgebung beim Rektumkarzinom – Update 2015: MRT als „Imaging“-Biomarker	133
	<i>A.-O. Schäfer</i>	
12	Gynäkologische Tumoren im kleinen Becken: Radiologische Diagnostik bei Beckentumoren leicht gemacht	145
	<i>M. Meissnitzer, T. Meissnitzer, R. Forstner</i>	

Mitarbeiterverzeichnis

Buerke, B., Prof. Dr. med.

Institut für Klinische Radiologie
Universitätsklinikum Münster
Albert-Schweitzer-Campus 1
48149 Münster

Forstner, R., Prof. Dr. med.

Universitätsinstitut für Radiologie
Landeskrankenhaus Salzburg,
Paracelsus Medizinische Privatuniversität
Müllner Hauptstraße 48
5020 Salzburg, Österreich

Glemser, P. A., Dr. med.

Abteilung Radiologie
Deutsches Krebsforschungszentrum
Im Neuenheimer Feld 280
69120 Heidelberg

Jenderka, K.-V., Prof. Dr. med.

Physik, Sensorik und Ultraschalltechnik
Hochschule Merseburg FB INW
Eberhard-Leibnitz-Str. 2
06217 Merseburg

Preibsch, H.

Abteilung für Diagnostische und Interventionelle
Radiologie
Universitätsklinikum Tübingen
Hoppe-Seyler-Straße 3
72076 Tübingen

Rehbock, B., Dr. med.

Praxis für Diagnostische Radiologie
Spezialgebiet Lunge
Bismarckstr. 45–47
10627 Berlin

Reimer, P., Prof. Dr. med.

Institut für Diagnostische und Interventionelle
Radiologie
Klinikum Karlsruhe
Moltkestraße 90
79133 Karlsruhe

Reith, W., Prof. Dr. med.

Klinik für Diagnostische und Interventionelle
Neuroradiologie
Universitätsklinikum des Saarlandes
Kirrberger Straße 1
66424 Homburg/Saar

Schäfer, A.-O., Prof. Dr. med.

Klinik für Diagnostische und Interventionelle
Radiologie
Klinikum St. Georg Leipzig
Delitzscher Straße 141
04129 Leipzig

Schaefer-Prokop, C., Prof. Dr. med.

Meander Medical Center Amersfoort
Utrechtseweg 160
NL-3800 BM Amersfoort, Niederlande

Schueller-Weidekamm, C., Assoc. Prof. PD Dr. med.

Klinik für Radiologie & Nuklearmedizin
AKH der Medizinischen Universität Wien
Währinger Gürtel 18–20
A-1090 Wien, Österreich

Sumkauskaitė, M.

Diagnostische und Interventionelle Radiologie
Universitätsklinikum Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 110
69120 Heidelberg

Uhl, M., Prof. Dr. med.

Klinik für Diagnostische Radiologie, Kinderradiologie,
Neuroradiologie und Interventionelle Radiologie/
Nuklearmedizin
St. Josefskrankenhaus
Sautierstraße 1
79104 Freiburg

Wörtler, K., Prof. Dr. med.

Institut für Diagnostische und Interventionelle
Radiologie
Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität
München
Ismaninger Straße 22
81675 München

Redaktion

S. Delorme, Heidelberg (Leitung)
P. Reimer, Karlsruhe
W. Reith, Homburg/Saar
C. Schäfer-Prokop, Amersfoort
C. Schüller-Weidekamm, Wien
M. Uhl, Freiburg

H. Preibsch¹ · K.C. Siegmann-Luz²

¹ Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie,
Universitätsklinikum Tübingen, Tübingen

² Diagnostisches Brustzentrum und Mammografiescreening Brandenburg Ost, Königs Wusterhausen

Digitale Tomosynthese der Mamma

Zusammenfassung

Bei der digitalen Tomosynthese der Mamma werden aus mehreren Niedrigdosisaufnahmen, die aus verschiedenen Winkeln aufgenommen werden, durch Rechenalgorithmen Schichten synthetischer Mammographiebilder erzeugt. Ähnlich wie in der Schnittbildgebung kann das Brustdrüsengewebe auf den Schichtbildern nahezu überlagerungsfrei dargestellt werden. Insbesondere bei hoher mammographischer Brustdichte können so Summationseffekte von echten Herdbefunden differenziert und Architekturstörungen besser sichtbar gemacht werden. Dadurch ist die Tomosynthese im Vergleich zur digitalen Vollfeldmammographie in der Lage, die Karzinomdetektionsrate zu erhöhen und die Anzahl von Kontrolluntersuchungen zu reduzieren. Nachteilig sind die im Vergleich zur digitalen Vollfeldmammographie höhere Strahlendosis und die längere Befundungsdauer der Tomosynthese. In Deutschland wird die Tomosynthese als zusätzliches Verfahren zur digitalen Vollfeldmammographie in der Abklärung unklarer mammographischer Befunde eingesetzt.

Schlüsselwörter

Brustkrebs · Screening · Mammographie · Diagnostische Genauigkeit · Krebsfrüherkennung

Die Mammographie ist das einzige für die Brustkrebsfrüherkennung allgemein anerkannte Verfahren

Lernziele

Nach der Lektüre dieses Fortbildungsbeitrags ...

- kennen Sie die Technik der Tomosynthese der Mamma.
- wissen Sie, was eine virtuelle (= synthetische) 2-D-Mammographie ist.
- wissen Sie, bei welchen Fragestellungen die Tomosynthese eingesetzt werden kann.
- sind Sie über wesentliche Erkenntnisse bisheriger Tomosynthesestudien informiert.
- kennen Sie die Limitationen der Tomosynthese.

Hintergrund

Das Mammakarzinom ist die häufigste maligne Tumorerkrankung der weiblichen Bevölkerung in Deutschland und der westlichen Welt. Neben Verbesserungen in der Brustkrebstherapie ist die Brustkrebsfrüherkennung die einzige Methode, um die durch Brustkrebs bedingte Morbidität und Mortalität zu senken. Die Mammographie ist das einzige für die Brustkrebsfrüherkennung allgemein anerkannte Verfahren [1]. Dabei hat die **digitale Vollfeldmammographie (2-D-Mammographie)** mittlerweile die Film-Folien-Mammographie weitgehend ersetzt und stellt heutzutage das Standardverfahren zur Mammakarzinomdetektion dar. Bei vollständiger Fettgewebsinvolution erlaubt die Mammographie eine Karzinomdetektion mit einer Sensitivität von annähernd 100%. Die mammographische Sensitivität nimmt mit steigender Brustdicke durch Drüsenparenchymüberlagerung ab und beträgt bei sehr hoher Brustdicke nur noch rund 50% [2].

Die **digitale Tomosynthese der Mamma (synonym: 3-D-Mammographie)** ist ein seit 2008 in Deutschland kommerziell erhältliches und seit 2011 von der Food and Drug Administration (FDA) in Kombination mit der 2-D-Mammographie in den USA zugelassenes Verfahren [3], mit dem eine weitgehend überlagerungsfreie Darstellung des Brustdrüsengewebes möglich ist. Insbesondere bei höherer Brustdicke (ACR 3 und 4) können auch solche Karzinome dargestellt werden, die aufgrund von Überlagerungsphänomenen in der Mammographie nicht detektierbar sind. Die Verfügbarkeit der digitalen Tomosynthese ist derzeit noch limitiert, jedoch ist eine kontinuierliche Zunahme von tomosynthesefähigen Mammographiegeräten insbesondere auch in den USA zu verzeichnen [4].

Ziel des vorliegenden Fortbildungsbeitrags ist die Vermittlung der technischen Grundlagen der digitalen Tomosynthese der Mamma, die Darstellung der Vor- und Nachteile gegenüber der 2-D-Mammographie sowie die Vorstellung aktueller wissenschaftlicher Studien und des derzeitigen klinischen Stellenwerts der Tomosynthese in der Brustkrebsdiagnostik.

Digital breast tomosynthesis

Abstract

In digital breast tomosynthesis several low dose mammograms are acquired from different angles to calculate thin slices of synthetic mammograms from algorithms. Similar to computed tomography and magnetic resonance imaging, breast tomosynthesis provides breast images which are virtually free from superimposition. This is in particular important in cases of high mammographic density to differentiate real masses and architectural distortions from the overlying parenchyma. In comparison to full field digital mammography tomosynthesis can improve the cancer detection rate and reduce the recall rate. The limitations of tomosynthesis are the higher radiation dose and the longer reporting time compared to full field digital mammography. Until the radiation dose can be significantly reduced it is advisable to use tomosynthesis in addition to full field digital mammography primarily for the assessment of suspicious mammographic findings and not for breast cancer screening.

Keywords

Breast neoplasms · Screening · Mammography · Diagnostic accuracy · Early detection of cancer

Tab. 1 Funktionseigenschaften der aktuell erhältlichen Tomosynthesegeräte. (In Anlehnung an [5])

	General Electric Essential	Hologic Selenia Dimensions	IMS Giotto TOMO	Philips Microdose	Planmed Clarity3D	Siemens Mammomat Inspiration	Fujifilm Amulet Innovality
Röhrenbewegung	„Step and shoot“	Kontinuierlich	„Step and shoot“	Kontinuierlich	Kontinuierlich, „sync and shoot“	Kontinuierlich	Kontinuierlich
Rotationswinkel (°)	25	15	40	n. a. ^a	30	50	15/40
Anzahl der Projektionen	9	15	13	21	15	25	15

^aRöhrenbewegung: 34. n. a. nicht angegeben.

Technik

Funktionsprinzip

Die Durchführung der Tomosynthese erfolgt an einem digitalen Mammographiegerät mit integrierter Tomosynthesefunktion. Grundsätzlich können alle in der 2-D-Mammographie gebräuchlichen digitalen Detektoren verwendet bzw. alle derzeit gebräuchlichen digitalen Mammographiegeräte umgebaut werden. Lediglich Speicherfoliengeräte sind nicht tomosynthesefähig. Auch die Einstelltechnik der 2-D- und der 3-D-Mammographie ist identisch. Die Tomosynthese kann bei einem Hersteller während einer Brustkompression gemeinsam mit einer 2-D-Mammographie akquiriert werden („combo mode“). Bei den übrigen Herstellern erfolgt die Tomosynthese als separate Untersuchung. Je nach Hersteller differiert die Anzahl der Niedrigdosisaufnahmen pro Röntgenröhrenrotation sowie der Rotationswinkel ([5]; ■ **Tab. 1**).

Dabei sind sowohl eine kontinuierliche Bogenbewegung der Röntgenröhre um die Brust während der Bildakquisition als auch eine Abstopfung des Geräts bei jeder Aufnahme („**Step-and-shoot-Technik**“) möglich (■ **Abb. 1**).

Die Scan-Dauer liegt je nach Hersteller zwischen 4 und 25 s, die Rekonstruktionszeit beträgt wenige Sekunden. Dabei ist ein größerer Scan-Winkel mit einer höheren Ortsauflösung in der Z-Achse vergesellschaftet. Allerdings ist anzunehmen, dass Bewegungsartefakte mit längerer Scan-Dauer zunehmen. Es liegen hierzu jedoch bislang keine publizierten Daten vor. Es ist noch nicht ausreichend evaluiert, welche Technik (Scan-Winkel, Aufnahmenanzahl, Röntgendosis, Röntgenstrahlenqualität, Detektorart) die besten Tomosynthesebilder liefert [6]. Aus den gewonnenen Bilddaten der Niedrigdosisserie einer Tomosynthese können durch Rechenalgorithmen synthetische Mammographieebenen erstellt werden. Das Grundprinzip ist hierbei eine geeignete Verschiebung und Summation von Bilddaten („**shift and add**“), wodurch die in der jeweiligen Schicht befindlichen Strukturen verstärkt werden. Zur Reduktion von Artefakten vor allem durch nicht in der jeweiligen Schicht befindliche Strukturen wurden weitere Rechenalgorithmen entwickelt [6]. Das Rechenergebnis ist ein aus vielen dünnen Schichten bestehender Mammographiedatensatz. Summationseffekte der 2-D-Mammographie können so weitgehend eliminiert werden ([7]; ■ **Abb. 2, 3**). Die Schichtdicken geben dabei nicht wie bei der Computertomographie die Dicke einer rekonstruierten Schicht, sondern den Abstand von konsekutiv berechneten Tomosyntheseschichten an. Da diese einzelnen Schichten bei der Befundung an einer geeigneten Workstation durchgeblättert werden können und so der Eindruck eines lückenlosen 3-D-Datensatzes entsteht, wird die Tomosynthese der Mamma synonym als 3-D-Mammographie bezeichnet, auch wenn dies nicht ganz den Tatsachen entspricht. Die Schichtdicken bzw. Abstände zwischen den Tomosyntheseschichten differieren je nach Hersteller und Rechenalgorithmus. Meist werden Schichtabstände von 0,5 oder 1 mm gewählt. Eine Zusammenfassung mehrerer Schichten („**thick slab**“) ist an der Workstation möglich und kann z. B. zur Darstellung von Mikrokalkgruppen, die sich auf mehreren Schichten befinden, sinnvoll sein [6]. Allerdings haben bisherige Studien gezeigt, dass die Tomosynthese keine signifikant verbesserte Diagnose von Mikroverkalkungen erlaubt [8], sodass zur Abklärung unklarer Mikroverkalkungen weiterhin Kompressionsvergrößerungsaufnahmen sinnvoll erscheinen.

Es ist noch nicht ausreichend evaluiert, welche Technik die besten Tomosynthesebilder liefert

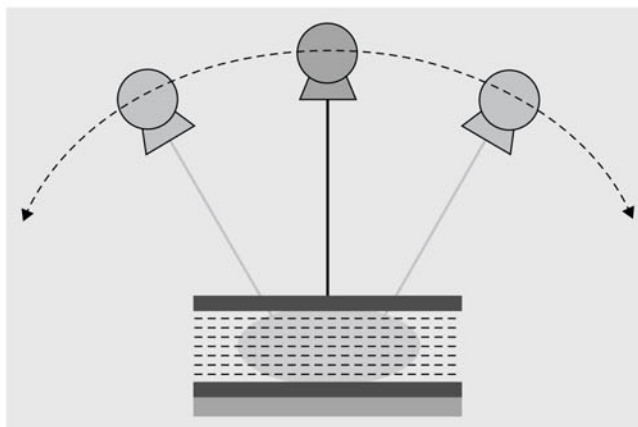


Abb. 1 ◀ Schema der Bogenbewegung um die komprimierte Brust bei der Anfertigung einer Tomosynthese. (Mit freundlicher Genehmigung von J. Strobel)

Die Tomosynthese ist als mammographisches Zusatzverfahren entwickelt worden

Die synthetische 2-D-Mammographie ist in Deutschland noch nicht zur Befundung zugelassen

Neben der verbesserten Karzinomdetektion kann die Tomosynthese die Rate falsch-positiver Befunde reduzieren

Synthetische (= virtuelle) 2-D-Mammographie

Die Tomosynthese ist als mammographisches Zusatzverfahren entwickelt worden. Nach Meinung der Autoren sollten zur Befundung weiterhin auch 2-D-Mammographien zur Verfügung stehen, da diese im Gegensatz zur Tomosynthese eine vollständige Übersichtsaufnahme der Brust und damit wichtige Informationen liefern. Durch geeignete Rechenalgorithmen können aus den Tomosynthesebildern virtuelle (= synthetische) 2-D-Mammographien berechnet werden. Diese gleichen vom Bildeindruck her „echten“ digitalen Vollfeldmammographien. Erste klinische Ergebnisse zeigen, dass die diagnostische Genauigkeit der synthetischen 2-D-Mammographie allein oder in Kombination mit der Tomosynthese derjenigen der „echten“ digitalen 2-D-Mammographie allein oder in Kombination mit der Tomosynthese vergleichbar ist [9, 10, 11].

Seit dem Jahr 2013 ist die Verwendung der synthetischen 2-D-Mammographie in den USA von der FDA zur Befundung zugelassen. In Deutschland ist eine entsprechende behördliche Genehmigung noch nicht erfolgt. Daher kann die Kombination aus virtueller 2-D-Mammographie und Tomosynthese derzeit noch nicht als Ersatz für die digitale Vollfeldmammographie eingesetzt werden.

Klinische Studienergebnisse

Einsatz der Tomosynthese im Mammographiescreening

Architekturstörungen, die bei Karzinomen zumeist aufgrund einer desmoplastischen Umgebungsreaktion entstehen, können durch Summationseffekte in der 2-D-Mammographie maskiert und auf Tomosyntheseaufnahmen als spikulierte Strukturen sichtbar werden ([12]; **Abb. 3**). In mehreren Studien konnte nachgewiesen werden, dass die Tomosynthese mit einer höheren Sensitivität bzw. Karzinomdetektionsrate im Vergleich zur digitalen 2-D-Mammographie einhergeht [13, 14]. Neben der verbesserten Karzinomdetektion kann die Tomosynthese die Rate falsch-positiver Befunde reduzieren. Eine prospektive Vergleichsstudie mit 7292 Frauen, die im Rahmen des Mammographiescreenings untersucht wurden, kam zu dem Ergebnis, dass 20 von 59 Karzinomen nur durch die Kombination von Tomosynthese und digitaler 2-D-Mammographie detektiert wurden. Die Detektionsraten bei 1000 Untersuchungen waren 5,3 Karzinome mittels 2-D-Mammographie und 8,1 Karzinome mittels Kombination von 2-D-Mammographie und Tomosynthese. Es traten keine falsch-negativen Befunde, d. h. Karzinome, die nur mit der 2-D-Mammographie und nicht mit der Tomosynthese detektiert wurden, auf [13]. Dieselben Autoren berichten, dass sie durch die Einführung der additiven Tomosynthese im Mammographiescreening die Rate falsch-positiver Recalls, d. h. benignen Veränderungen, die aufgrund auffälliger Mammographiebefunde weiter abgeklärt wurden, um 17% reduzieren konnten. Auch in einer großen retrospektiven Studie führte die Kombination von Tomosynthese und 2-D-Mammographie zu einer Senkung der Wiedereinbestellungsrate und zu einer Erhöhung der Karzinomdetektionsrate (von 4,2 auf 5,4 pro 1000 Untersuchungen; [14]). Ähnliche Ergebnisse, bezogen auf die Wiedereinbestellungsrate, wurden von anderen Autoren publiziert [15]. Hier war die ergänzende Tomosynthese mit einer reduzierten Abklärungsrate im Mammographiescreening vergesellschaftet.

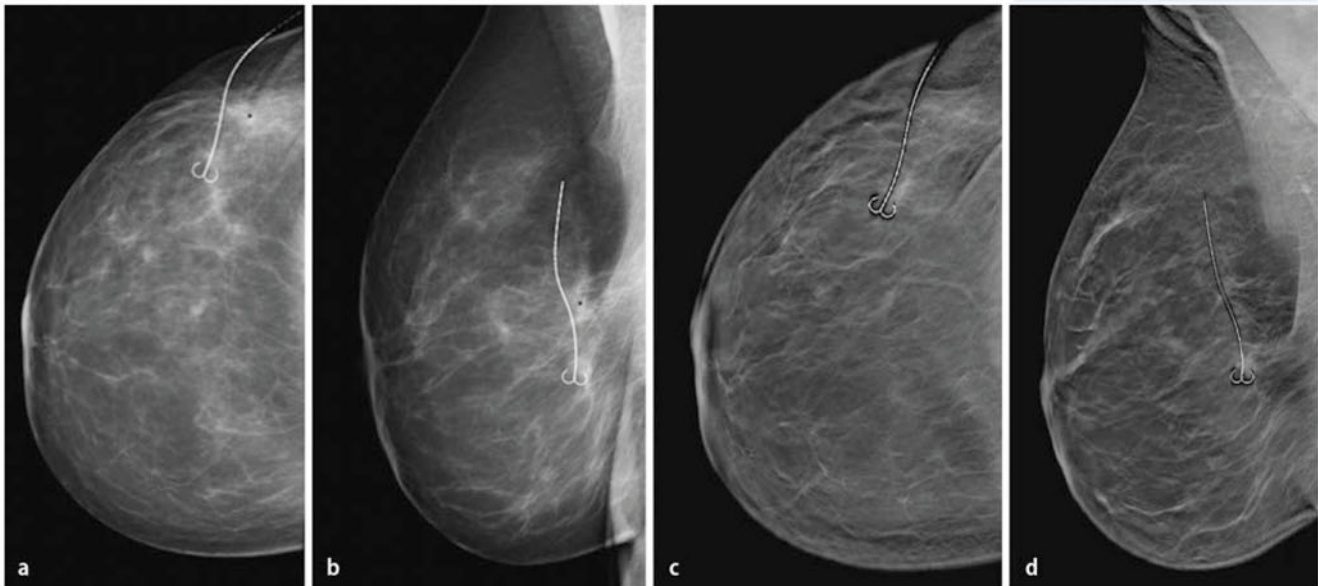


Abb. 2 ▲ 43-jährige Patientin mit histologisch gesichertem Mammakarzinom (durch die Drahtspitze markiert) und einer in den präoperativen Aufnahmen neu abgrenzbaren Verdichtung (Stern, **a** CC, **b** ML): In der anschließend durchgeführten Tomosynthese (**c** CC, **d** MLO) löst sich diese Verdichtung vollständig auf, sodass sich der Verdacht eines weiteren Karzinomherds nicht erhärtet [Histologie: unifokales invasives duktales Mammakarzinom (NST) G3 mit 13 mm Größe]

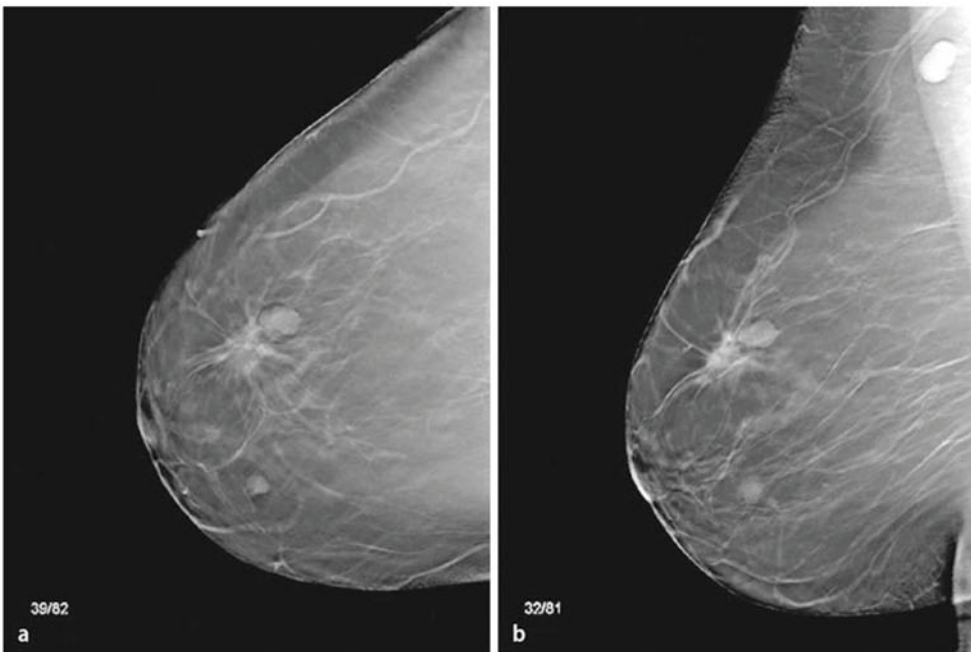


Abb. 3 ▲ 65-jährige Patientin mit sonographisch suspektem Befund rechts bei 12 Uhr: In der Tomosynthese (**a** CC, **b** MLO) rechts oben außen spikulierter BI-RADS®-5-Befund mit Nachweis von 2 weiteren glatt berandeten BI-RADS®-3-Befunden. Diese sich teilweise mammographisch überlagernden Befunde können in der Tomosynthese besser voneinander abgegrenzt und beurteilt werden [Histologie: unifokales 30 mm messendes (T2) invasiv-lobuläres Mammakarzinom mit Infiltration eines benachbarten, regressiv veränderten Fibroadenoms]

Durch die bessere Befundabgrenzbarkeit erlaubt die Tomosynthese der Mamma im Vergleich zur 2-D-Mammographie nicht nur eine bessere Karzinomdetektion, sondern auch eine genauere Karzinomgrößenbestimmung ([16]; ■ **Abb. 4**).

Die Tomosynthese der Mamma erlaubt im Vergleich zur 2-D-Mammographie auch eine genauere Karzinomgrößenbestimmung

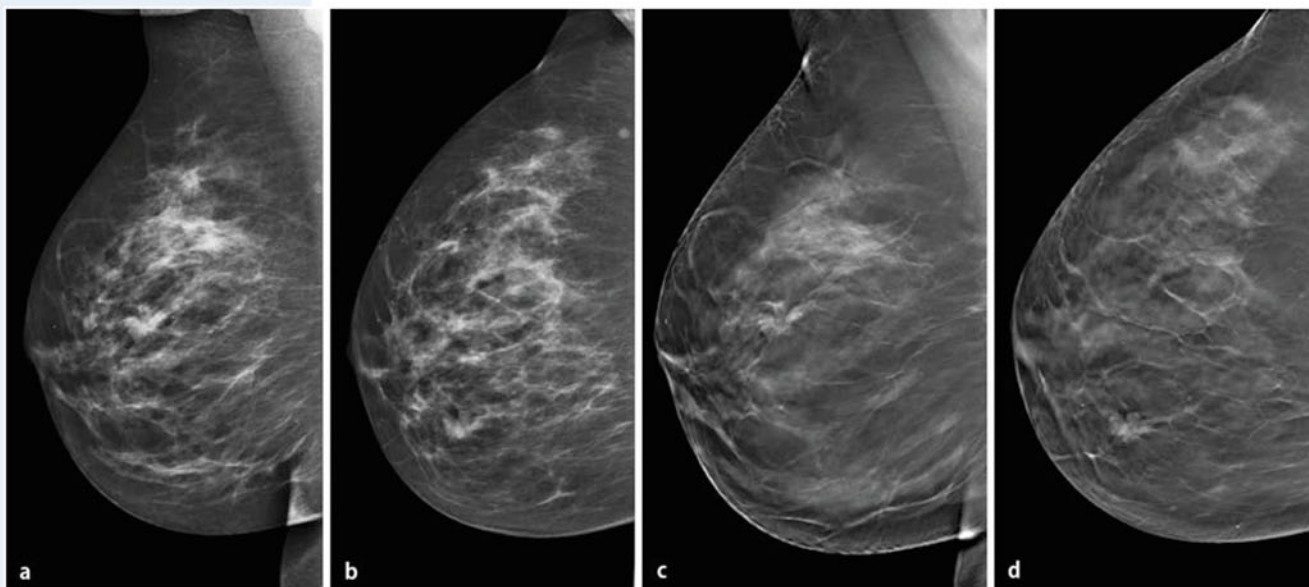


Abb. 4 ▲ 49-jährige Patientin mit sonographischem BI-RADS®-5-Befund rechts bei 2 Uhr (nicht dargestellt): In der 2-D-Mammographie der rechten Mamma Nachweis einer Verdichtung in der MLO-Aufnahme (**a**) mit nur flauem Korrelat in der CC-Ebene (**b**). In der Tomosynthese der rechten Mamma (**c** MLO, **d** CC) demarkiert sich die lobulierte, maximal 19 mm durchmessende Opazität rechts oben innen bei 2 Uhr mit spikulierten Ausläufern, BI-RADS® 5; histologisch Nachweis eines unifokalen, 19 mm messenden (pT1c) invasiv-duktales Mammakarzinoms

Einsatz der Tomosynthese in der Abklärungsdiagnostik

In einer Studie wurde die diagnostische Genauigkeit von Ein-Ebenen-Tomosynthese und Ein-Ebenen-Tubuskompressionsaufnahme in der Abklärung mammographisch auffälliger Befunde vergleichend analysiert. Dabei war die Tomosynthese der Tubuskompressionsaufnahme signifikant überlegen [17].

Eine weitere Studie untersuchte die Wertigkeit einer Tomosynthese bei Patientinnen mit mammographischen BI-RADS®-4- oder -5-Läsionen. Die Autoren berichten, dass die Tomosynthese bei 10% der Patientinnen mehr Befunde als die Mammographie zeigte und dass zudem das lokale Staging bei Patientinnen mit Mammakarzinom optimiert werden konnte. Allerdings war die Tomosynthese dabei der MR-Mammographie unterlegen [18].

Der Einfluss der Tomosynthese auf die Karzinomdetektion bei Patientinnen, die aufgrund von auffälligen Befunden im Mammographiescreening zur Abklärung einbestellt worden waren, wurde in einer anderen Studie untersucht. Hier konnte durch die Tomosynthese eine Erhöhung der Karzinomdetektionsrate um 20% erzielt werden [19].

In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass insbesondere Frauen mit BI-RADS®-0-Befunden aus dem Mammographiescreening, bei denen Architekturstörungen abgeklärt werden sollten, vom Einsatz der Tomosynthese profitierten. Dabei gelang mittels Tomosynthese nicht nur eine bessere Darstellung der vorbeschriebenen Architekturstörungen, sondern auch die Entdeckung mammographisch okkulten Architekturstörungen. Die Karzinomdetektionsrate in mammographisch okkulten Architekturstörungen betrug 21% [20]. Die subjektive Sicherheit bei der Befundung der Tomosynthese ist im Vergleich zur Mammographie und zu mammographischen Zusatzaufnahmen teilweise so groß, dass die befundenden Radiologen auf einen ergänzenden Ultraschall verzichten können [21]. Allerdings sollte bei unklaren und suspekten Befunden (BI-RADS® 3–5) entsprechend den Empfehlungen der S3-Leitlinie immer ein ergänzender Ultraschall erfolgen, um eine noch bessere diagnostische Einschätzung vorzunehmen zu können und festzustellen, ob eine ultraschallgestützte Biopsie möglich ist [1].

Die subjektive Sicherheit bei der Befundung der Tomosynthese ist teilweise so groß, dass auf einen ergänzenden Ultraschall verzichtet werden kann

Ein- versus Zwei-Ebenen-Tomosynthese

In einer Studie wurde untersucht, ob die Tomosynthese bereits in einer Ebene eine mit der Zwei-Ebenen-Mammographie vergleichbare diagnostische Genauigkeit aufweist. Die Autoren konnten zeigen, dass die in einer Ebene (MLO) durchgeführte Tomosynthese einer digitalen Mammographie in 2 Ebenen (CC und MLO) in Bezug auf Sensitivität und Spezifität beim Mammakarzinom nicht unterlegen ist [22]. Andere Autoren berichten, dass die Tomosynthese in 2 Ebenen signifikant besser abschneidet als die Mammographie in 2 Ebenen, eine Tomosyntheseebene allein jedoch nicht, weshalb Letztere nicht ausreicht [23]. Eine weitere Studie zeigte hingegen eine signifikant erhöhte Sensitivität bereits schon durch eine Ebene [24]. Wenn die Tomosynthese lediglich in einer Projektion durchgeführt wird, dann sollte nach Meinung der Autoren einer weiteren Studie die MLO-Ebene bevorzugt werden [25]. Dies ist vermutlich darauf begründet, dass im Vergleich zur CC-Projektion ein größerer Ausschnitt der Brustdrüse dargestellt wird. Dies gilt vor allem für thoraxwandnahe und axilläre Abschnitte.

Tomosynthesegestützte Vakuumbiopsie

Die Tomosynthesetechnik kann nicht nur zur Optimierung der mammographischen Diagnostik, sondern auch zur Steuerung von Brustbiopsien oder -markierungen herangezogen werden. Dies ist insbesondere in solchen Fällen vorteilhaft, in denen die Befunde lediglich in der Tomosynthese sicher lokalisiert werden können (z. B. 2-D-mammographisch okkulte oder nur in einer Ebene sichtbare Läsionen). Zudem ist im Gegensatz zur stereotaktischen Biopsie oder Markierung lediglich eine Kontrollaufnahme (Tomosynthesebildserie) anstelle eines Stereobildpaars notwendig. Dadurch können die Untersuchungszeit und vermutlich auch die Strahlenexposition reduziert werden. Bisher wird das Verfahren nur von einem Hersteller angeboten. In einer ersten Publikation zur tomosynthesegestützten Vakuumbiopsie konnte gezeigt werden, dass das Verfahren gut funktioniert und mit einer kurzen Untersuchungszeit einhergeht [26].

Limitationen der Tomosynthese

Strahlendosis

Die Strahlendosis einer Tomosynthese in einer Ebene beträgt etwa das 1,1- bis 1,9-Fache einer 2-D-Mammographie in einer Ebene [27]. In bislang publizierten Studien beträgt die Parenchymdosis der Tomosynthese pro Brust etwa 1,5–4 mGy [28]. Damit liegt die Tomosynthese mit ihrer Strahlendosis innerhalb des von den europäischen Leitlinien empfohlenen Bereichs für die Mammographie [29]. Andere Autoren berichten, dass 3-D- und 2-D-Mammographie mit ähnlichen Strahlendosen pro Untersuchung vergesellschaftet sind [6]. Allerdings ist die Strahlendosis stark von der Detektorart und den individuellen Geräteeinstellungen abhängig. Analog zur 2-D-Mammographie steigt die Strahlendosis der Tomosynthese mit zunehmender Kompressionsdicke der Brust an [28]. Ziel ist es, einen optimalen Kompromiss zwischen Strahlendosis und Bildqualität zu finden. Insgesamt muss man davon ausgehen, dass mit den heutigen technischen Gegebenheiten für eine qualitativ hochwertige Tomosynthese die 1- bis 2-fache Parenchymdosis einer digitalen Vollfeldmammographie notwendig ist. Da die diagnostische Genauigkeit der Zwei-Ebenen-Tomosynthese der der Ein-Ebenen-Tomosynthese überlegen ist, sollte eine alleinige Ein-Ebenen-Tomosynthese nur dann erfolgen, wenn dies aus strahlenhygienischen Gründen gerechtfertigt ist (z. B. Patientin <40 Jahre mit erhöhtem Mammakarzinomrisiko und unklarem Mammographiebefund nur in einer Ebene).

Zur Strahlendosisreduktion bei der Tomosynthese werden neben technisch-apparativen Veränderungen [30] vor allem folgende Vorgehensweisen diskutiert:

1. In der Abklärung: Durchführung einer Ein-Ebenen-Tomosynthese (MLO; [22]); zusätzlich ist hier an die Magnetresonanztomographie (MRT) der Mamma zu denken, welche ohne Strahlenexposition auskommt und in einer vergleichenden Studie zumindest beim Staging von Patientinnen mit Mammakarzinom der Tomosynthese bezüglich der Sensitivität überlegen war [18].
2. In der Implementierung im Screening: Berechnung einer synthetischen 2-D-Mammographie aus den Tomosynthesedaten, um eine „echte“ 2-D-Mammographie einzusparen [9, 10].

Die Tomosynthesetechnik kann nicht nur zur Optimierung der mammographischen Diagnostik, sondern auch zur Steuerung von Brustbiopsien oder -markierungen herangezogen werden

Die Strahlendosis der Tomosynthese liegt innerhalb des von den europäischen Leitlinien empfohlenen Bereichs für die Mammographie

Eine alleinige Ein-Ebenen-Tomosynthese sollte nur dann erfolgen, wenn dies aus strahlenhygienischen Gründen gerechtfertigt ist

Befundungszeit

Es konnte gezeigt werden, dass die Kombination aus 2-D-Mammographie und Tomosynthese mit einer signifikant längeren Befundungszeit im Vergleich zur alleinigen 2-D-Mammographie einhergeht [31]. Allerdings sinkt in derselben Studie der zusätzliche Zeitaufwand für die Befundung mit zunehmender Erfahrung des Befunders. Der erfahrenste Befunder erzielte sogar gleiche Befundungszeiten für 2-D-Mammographie und die Kombination aus 2-D- und 3-D-Mammographie. Andere Autoren [32] zeigten, dass die mittlere Befundungszeit im Mammographiescreening durch Hinzuziehung der 3-D-Mammographie in etwa verdoppelt wird (2D: 33 s; 2D und 3D: 77 s). Allerdings führt die Tomosynthese im Mammographiescreening zu einer höheren diagnostischen Genauigkeit (höhere Sensitivität und Spezifität) und einer reduzierten Abklärungsrate. Dadurch ist wiederum eine Zeitersparnis möglich, da die Patientin nicht erneut einbestellt werden muss.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Kombination aus digitaler Vollfeldmammographie (2-D) und Tomosynthese der Mamma (3-D) führt zu einer Verbesserung der diagnostischen Genauigkeit im Mammographiescreening und in der kurativen Mammographie. Insbesondere können durch die 3-D-Mammographie nicht nur die Karzinomdetektionsrate gesteigert, sondern auch die Recall- und die Falsch-Positiv-Rate gesenkt werden. In der Abklärung eines mammographischen Befunds sollte eine Tomosynthese möglichst in 2 Ebenen erfolgen. Wenn der Befund nur in einer mammographischen Projektion sichtbar ist und aus strahlenhygienischen Gründen nur eine Ein-Ebenen-Tomosynthese erfolgt, sollte diejenige Ebene für die Tomosynthese gewählt werden, die den Befund am besten zeigt. Falls kein mammographischer Befund vorhanden sein sollte und nur eine Tomosyntheseebene erfolgen soll, ist der MLO-Tomosynthese der Vorzug zu geben.

Es sollte keine isolierte Befundung der Tomosynthese, sondern eine Kombination aus 2-D- und 3-D-Mammographie erfolgen. Die 2-D-Mammographie kann als synthetische (synonym: virtuelle) 2-D-Mammographie aus den 3-D-Daten errechnet werden, sodass keine erneute Strahlenexposition notwendig ist. Bisherige Studienergebnisse zeigen, dass die synthetische 2-D-Mammographie der „echten“ digitalen Vollfeldmammographie in der diagnostischen Aussagekraft mindestens ebenbürtig ist und Letztere dadurch ersetzt werden könnte. Aufgrund der bisher nicht erfolgten behördlichen Genehmigung in Deutschland wird die alleinige Tomosynthese ($\pm$ synthetische 2-D-Mammographie) nicht als Ersatz für die digitale Vollfeldmammographie in der Brustkrebsfrüherkennung eingesetzt. Daher ist der Einsatz der Tomosynthese in Deutschland derzeit auf die Abklärung mammographisch unklarer Befunde beschränkt.

In ersten Studien ist die tomosynthesegestützte Vakuumbiopsie schnell und mit einer geringen Strahlendosis vergesellschaftet. Vergleichsstudien mit der stereotaktischen Vakuumbiopsie fehlen bislang. Da das Verfahren bisher nur an wenigen Standorten verfügbar ist, sind weitere Daten zur Validierung dieser Ergebnisse notwendig. Eine Ablösung der stereotaktischen Vakuumbiopsie durch tomosynthesegezielte Verfahren erscheint wahrscheinlich.

Fazit für die Praxis

- Die zusätzliche Tomosynthese der Mamma erhöht die diagnostische Genauigkeit (Sensitivität und Spezifität) der alleinigen digitalen Vollfeldmammographie. Dies gilt insbesondere für die Detektion von Architekturstörungen in einer mammographisch dichten Brust.
- Die Tomosynthese der Mamma ist zur Abklärungsdiagnostik im Screening und bei symptomatischen Patientinnen gleichermaßen gut geeignet. Die Tomosynthese ist dabei der Tubuskompressionsaufnahme bei Architekturstörungen und fraglichen Herdbefunden überlegen.
- Die Mikrokalkdiagnostik wird durch die Tomosynthese nicht verbessert. Hier sind weiterhin Vergrößerungsmammographien in 2 Ebenen (CC und ML) zur diagnostischen Einschätzung (vor Biopsie) notwendig.

- Die Tomosynthese mit synthetischer 2-D-Mammographie ist bislang nicht in ausreichendem Umfang verfügbar. Das Verfahren hat das Potenzial, die digitale Vollfeldmammographie zu ersetzen.

Korrespondenzadresse



H. Preibsch

Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Tübingen,
Hoppe-Seyler-Str. 3, 72076 Tübingen
heike.preibsch@med.uni-tuebingen.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. H. Preibsch und K.C. Siegmann-Luz geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

- Leitlinienprogramm Onkologie der AWMF, Deutschen Krebsgesellschaft e. V. und Deutschen Krebshilfe e. V. (Hrsg) (2012) Interdisziplinäre S3-Leitlinie für die Diagnostik, Therapie und Nachsorge des Mammakarzinoms. 3. Aufl. Zuckerschwerdt, Germering
- Kolb TM, Lichy J, Newhouse JH (2002) Comparison of the performance of screening mammography, physical examination, and breast US and evaluation of factors that influence them: an analysis of 27,825 patient evaluations. *Radiology* 225:165–175
- US Food and Drug Administration. Selenia Dimensions 3D System-P080003. http://www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf8/p080003a.pdf. Zugriffen: 18. Nov. 2014
- Hardesty LA, Kreidler SM, Glueck DH (2014) Digital breast tomosynthesis utilization in the United States: a survey of physician members of the Society of Breast Imaging. *J Am Coll Radiol* 11:594–599
- European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services (2014) Protocol for the Quality Control of the Physical and Technical Aspects of Digital Breast Tomosynthesis Systems, Draft Version 0.15
- Kopans DB (2014) Digital breast tomosynthesis from concept to clinical care. *Am J Roentgenol* 202:299–308
- Semturs F, Sturm E, Gruber R et al (2010) Physical aspects of different tomosynthesis systems. *Radiologie* 50:982–990
- Rafferty EA, Park JM, Philpotts LE et al (2013) Assessing radiologist performance using combined digital mammography and breast tomosynthesis compared with digital mammography alone: results of a multicenter, multireader trial. *Radiology* 266:104–113
- Skaane P, Bandos AI, Eben EB et al (2014) Two-view digital breast tomosynthesis screening with synthetically reconstructed projection images: comparison with digital breast tomosynthesis with full-field digital mammographic images. *Radiology* 271:655–663
- Zuley ML, Guo B, Catullo VJ et al (2014) Comparison of two-dimensional synthesized mammograms versus original digital mammograms alone and in combination with tomosynthesis images. *Radiology* 271:664–671
- Van Schie G, Mann R, Imhof-Tas M et al (2013) Generating synthetic mammograms from reconstructed tomosynthesis volumes. *IEEE Trans Med Imaging* [Epub ahead of print]
- Poplack SP, Tosteson TD, Kogel CA et al (2007) Digital breast tomosynthesis: initial experience in 98 women with abnormal digital screening mammography. *Am J Roentgenol* 189:616–623
- Ciatto S, Houssami N, Bernardi D et al (2013) Integration of 3D digital mammography with tomosynthesis for population breast-cancer screening (STORM): a prospective comparison study. *Lancet Oncol* 14:583–589
- Friedewald SM, Rafferty EA, Rose SL et al (2014) Breast cancer screening using tomosynthesis in combination with digital mammography. *JAMA* 311:2499–2507
- Haas BM, Kalra V, Geisel J et al (2013) Comparison of tomosynthesis plus digital mammography and digital mammography alone for breast cancer screening. *Radiology* 269:694–700
- Förnvik D, Zackrisson S, Ljungberg O et al (2010) Breast tomosynthesis: accuracy of tumor measurement compared with digital mammography and ultrasonography. *Acta Radiol* 51:240–247
- Morel JC, Iqbal A, Wasan RK et al (2014) The accuracy of digital breast tomosynthesis compared with coned compression magnification mammography in the assessment of abnormalities found on mammography. *Clin Radiol* 69:1112–1116
- Mercier J, Kwiatkowski F, Abrial C et al (2014) The role of tomosynthesis in breast cancer staging in 75 patients. *Diagn Interv Imaging* [Epub ahead of print]
- Margolies L, Cohen A, Sonnenblick E et al (2014) Digital breast tomosynthesis changes management in patients seen at a tertiary care breast center. *ISRN Radiol* 2014:658929
- Partyka L, Lourenco AP, Mainiero MB (2014) Detection of mammographically occult architectural distortion on digital breast tomosynthesis screening: initial clinical experience. *Am J Roentgenol* 203:216–222
- Hakim CM, Chough DM, Ganott MA et al (2010) Digital breast tomosynthesis in the diagnostic environment: a subjective side-by-side review. *Am J Roentgenol* 195:W172–W176
- Gennaro G, Toledano A, Maggio C di et al (2010) Digital breast tomosynthesis versus digital mammography: a clinical performance study. *Eur Radiol* 20:1545–1553
- Wallis MG, Moa E, Zanica F et al (2012) Two-view and single-view tomosynthesis versus full-field digital mammography: high-resolution X-ray imaging observer study. *Radiology* 262:788–796
- Waldherr C, Cerny P, Altermatt HJ et al (2013) Value of one-view breast tomosynthesis versus two-view mammography in diagnostic workup of women with clinical signs and symptoms and in women recalled from screening. *Am J Roentgenol* 200:226–231
- Baker JA, Lo JY (2011) Breast tomosynthesis: state-of-the-art and review of the literature. *Acad Radiol* 18:1298–1310
- Viala J, Gignier P, Perret B et al (2013) Stereotactic vacuum-assisted biopsies on a digital breast 3D-tomosynthesis system. *Breast J* 19:4–9
- Shin SU, Chang JM, Bae MS et al (2014) Comparative evaluation of average glandular dose and breast cancer detection between single-view digital breast tomosynthesis (DBT) plus single-view digital mammography (DM) and two-view DM: correlation with breast thickness and density. *Eur Radiol* 25:1–8
- Olgar T, Kahn T, Gosch D (2012) Average glandular dose in digital mammography and breast tomosynthesis. *Rofo* 184:911–918
- Perry N, Broeders M, Wolf C de et al (2008) European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis. Fourth edition – summary document. *Ann Oncol* 19:614–622
- Malliori A, Bliznakova K, Sechopoulos I et al (2014) Breast tomosynthesis with monochromatic beams: a feasibility study using Monte Carlo simulations. *Phys Med Biol* 59:4681–4696
- Dang PA, Freer PE, Humphrey KL et al (2014) Addition of tomosynthesis to conventional digital mammography: effect on image interpretation time of screening examinations. *Radiology* 270:49–56
- Bernardi D, Ciatto S, Pellegrini M et al (2012) Application of breast tomosynthesis in screening: incremental effect on mammography acquisition and reading time. *Br J Radiol* 85:e1174–e1178

Redaktion

S. Delorme, Heidelberg (Leitung)
P. Reimer, Karlsruhe
W. Reith, Homburg/Saar
C. Schäfer-Prokop, Amersfoort
C. Schüller-Weidekamm, Wien
M. Uhl, Freiburg

Zystische Tumoren des Pankreas

Zusammenfassung

Mit zunehmender Häufigkeit werden zystische Pankreasläsionen bei asymptomatischen Patienten als Zufallsbefund in der Multislice-Computertomographie oder bei Magnetresonanztomographieuntersuchungen des Abdomens entdeckt. Die meisten dieser Läsionen weisen eine Größe von weniger als 2 cm auf, was ihre Differenzialdiagnose erschwert. Dennoch lässt die hoch auflösende moderne Bildgebung auch bildmorphologisch eine zunehmend detailliertere morphologische Charakterisierung und somit bessere differenzialdiagnostische Aufarbeitung zu. Parallel hat sich innerhalb der letzten Jahre ein zunehmend differenziertes Verständnis der Histopathologie zystischer Pankreasläsionen entwickelt. Radiologen haben neben der intraduktalen papillären muzinösen Neoplasie (IPMN) vor allem die seröse zystische Neoplasie (SZN) und die muzinöse zystische Neoplasie (MZN) zu unterscheiden. Die korrekte Benennung einer zystischen Pankreasläsion, das Erkennen einer malignen Transformation und insbesondere die Abgrenzung von einem malignen Pankreastumor ist dabei nur mit fundierten Kenntnissen des pathomorphologischen Aufbaus unter Berücksichtigung der Alters- und Geschlechterverteilung der jeweiligen Läsion möglich. Neben der Differenzialdiagnose stellt jedoch insbesondere die Entscheidung über das weitere Prozedere, z. B. die Empfehlung von Verlaufskontrollen oder die erforderliche Vorstellung zu einer operativen Versorgung, den Radiologen vor größere Probleme. Die korrekte Empfehlung im Rahmen des weiteren radiologischen Managements ist deshalb von besonderer Bedeutung, da einige der zystischen Pankreastumoren das Potenzial zur malignen Transformation entlang einer Adenom-Karzinom-Sequenz aufweisen und daher mit einem entsprechenden Malignomrisiko verbunden sind. Der vorliegende Beitrag soll einen Überblick über die Komplexität der zystischen Pankreastumoren sowie die erforderlichen Empfehlungen im Rahmen des weiteren klinisch-radiologischen Managements geben.

Schlüsselwörter

Zystische Pankreasläsionen · Intraduktale papilläre muzinöse Neoplasie · Seröse zystische Neoplasie · Muzinöse zystische Neoplasie · Klinisch-radiologisches Management