

Thierry Huismann:

Fetale MR-Tomographie

Das Studium des ungeborenen Kindes im Mutterleib hat sowohl Wissenschaftler als auch Künstler über Jahrhunderte hinweg fasziniert. Leonardo da Vinci (1452-1519) hat in seinen berühmten anatomischen Studien und Zeichnungen als einer der ersten das Kind anatomisch korrekt in utero gezeichnet (Abb. 1 a). Viele Künstler und Anatomen haben sich seitdem mit der „bildliche Darstellung“ der Schwangerschaft im Allgemeinen sowie mit dem ungeborenen Kind im Speziellen beschäftigt.

Mit der Entdeckung der Röntgenstrahlen konnte der Fetus zum ersten Mal nicht invasiv intrauterin dargestellt werden (Abb. 2a). Abdomenübersichtsaufnahmen sowie gezielte Fetographien erlaubten das Studium des fetalen Skeletts,

der fetale Lage sowie der Grösse des Kindes. Informationen über die fetalen Weichteile waren jedoch eingeschränkt. Thorne Griscom, publizierte 1979 eine radiologische Technik, welche indirekt die fetalen Weichteile abgrenzen konnte. Nach Injektion von Röntgendichtes Kontrastmittel in die Amnionhöhle

konnte die Weichteilkontur des Kindes studiert werden. Diese Methode wurde zum Beispiel eingesetzt um dysraphische Störungen zu

untersuchen (Abb. 2b). Erst mit der Entwicklung der Ultrasonographie (US) wurde es möglich, den gesamten Feten ohne Anwendung von ionisierenden Strahlen intrauterin zu untersuchen (Abb. 3). Heutzutage ist die US nicht mehr aus der prä-

ne relativ kostengünstige Untersuchungsmodalität, weit verbreitet, nicht invasiv, benutzt keine ionisierenden Strahlen und gibt neben anatomischen Informationen auch einen Einblick über die Beweglichkeit des Kindes sowie Herzaktivität



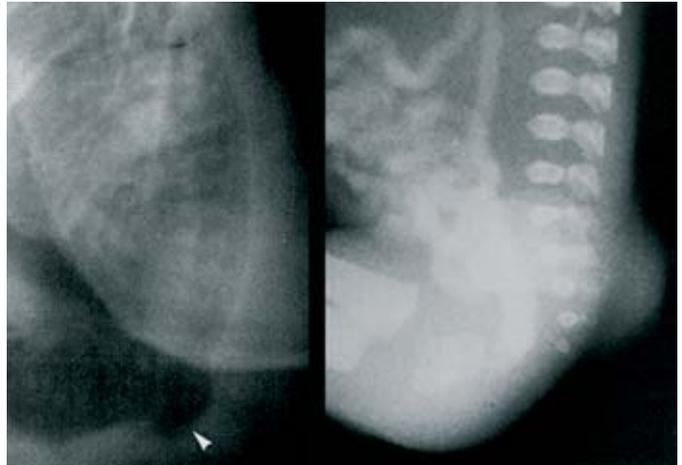
- *Abb 1a/1b: a.) Anatomische Zeichnung von Leonardo da Vinci (1452-1519). b.) MR-Fetographie. Die schwere T2-Gewichtung lässt eine fetographische Darstellung zu, welche es erlaubt, die Konturen des Feten abzugrenzen. Die Beine sind gestreckt, die Hände angewinkelt bei Arthrogryposis multiplex.*

natalen Vorsorgediagnostik wegzu-denken und wird ohne Einschränkungen von den werdenden Eltern und Ärzten akzeptiert. Die US ist ei-

und Blutfluss. Mit der US kann die Schwangerschaft bestätigt werden, beurteilt werden ob es sich um eine Einling- oder Mehrlingsschwanger-



■ Abb 2a: Konventionelle Röntgenaufnahme des Abdomens. Das fetale Skelett kann gut abgegrenzt werden und zeigt die Lage und Grösse des Kindes.



■ Abb 2b: Fetale Amniographie und korrespondierendes postnatales seitliches Bild. Das Kontrastmittel innerhalb der Amnionhöhle umgibt den Feten und grenzt eine lumbale Meningomyelocele ab (Griscon NT et al, Am J Roentgenol, AJR, 1979; 133: 1151-1156).

schaft handelt, das Gestationsalter, fetales Wachstum, Position und Mobilität bestimmt werden und eine Amniozentese gelenkt werden. Die US kann jedoch durch maternaler Adipositas, Luft im Gastrointestinaltrakt sowie ossäre Strukturen behindert werden in den Einblick des Feten. Insbesondere wenn der Kopf des Kindes ins kleine Becken eingetaucht ist, ist das Gehirn schwierig detailliert zu beurteilen (Abb. 4).

Des Weiteren ist das kleine Blickfeld, insbesondere bei komplexen Multiorganfehlbildungen von Nachteil. Die fetale MR-Tomographie (FMRT) steht heutzutage durch die Entwicklung von ultraschnellen Bildsequenzen, welche es erlauben das Kind intrauterin ohne Sedation zu untersuchen, der US zur Seite (Abb.5a,b). Die FMRT kann einer-

seits komplexe US-Befunde bestätigen, andererseits Befunde kompletieren oder korrigieren. Die FMRT kann somit die Betreuung der Schwangerschaft sowie bevorstehende Geburt und postnatale medizinische Versorgung des Feten und der Mutter validieren oder genauer bestimmen. Zusätzlich wird die FMRT in der Planung von intrauterinen Interventionen eingesetzt.

Die FMRT ist jedoch nie als eine einzelne Untersuchungsmodalität zu sehen, sondern als eine ergänzende Untersuchung zur US.

Pädiatrische-Radiologische Überlegungen

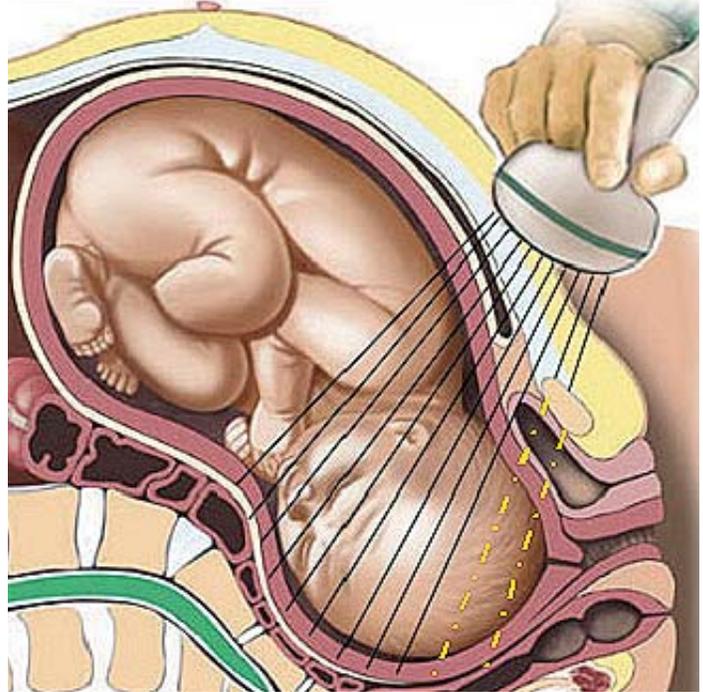
Die fetale MR-Diagnostik ist grundsätzlich anders als die der „Erwachsenen Radiologie“ und konfrontiert den Pädiatrischen Radiologen mit Pathologien, welche ihm nur zum



■ Abb. 3: State-of-the-art prenatale Ultrasonographie fokussiert auf das fetale Gehirn. Die Grösse des Kindes erlaubt nur eine sektorenweise Darstellung der fetalen Anatomie.

Teil vertraut sind. In der FMRT werden Pathologien beobachtet, welche mit einem Leben intrauterin kompatibel sein können, jedoch nicht vereinbar sind mit einem Leben postnatal. Zusätzlich können Pathologien vorkommen, welche ihre Präsentation während der fetalen Entwicklung ändern und somit im Frühstadium für den Radiologen ebenfalls unbekannt sein können. Des Weiteren sind die Strukturen in der Regel sehr klein, die räumliche Auflösung sowie Signal-Rausch-Verhältnisse reduziert, kann kein Kontrastmittel injiziert werden und sind die zur Verfügung stehenden Sequenzen limitiert.

In der Regel werden primär T2-gewichtete Sequenzen eingesetzt. T1-gewichtete Sequenzen als auch funktionelle Sequenzen (z.B. diffusions- und perfusionsgewichtete Sequenzen, Magnet Resonanz Spektroskopie) sind durch die Länge der Akquisitionszeiten nur bedingt einsetzbar. Demzufolge sollte die FMRT-Befunde je nach Pathologie, betroffenes Organsystem sowie Gestationsalter interdisziplinär besprochen werden. An unserer Abteilung werden die Bildbefunde mit Pädiater, pädiatrische Chirurgen, Neurochirurgen, Genetiker, Anatomen, Neurologen, Geburtshelfer und Intensiv-Mediziner diskutiert. Sämtliche FMRT werden am Kinderspital Zürich von Kinderradiologen durchgeführt. Die Spezialausbildung in Pädiatrischer Radiologie



■ *Abb. 4: Ossäre Beckenstrukturen können die Einsicht des Feten einschränken. Teile des fetalen Gehirns sind in der Schallauslöschung dorsal der Symphyse pubis „versteckt“ (gelbe unterbrochene Linien).*

und demzufolge Vertrautheit mit pädiatrischen Pathologien garantiert die korrekte Interpretation der MRT-Befunde. Zudem wird die Durchführung der FMRT an einem Kinderspital von den werdenden Eltern als sehr positiv bewertet. Das Vorhanden sein der pädiatrischen Expertise wird von den Eltern als sehr „beruhigend“ gewertet.

Indikationen für eine fetale MRT

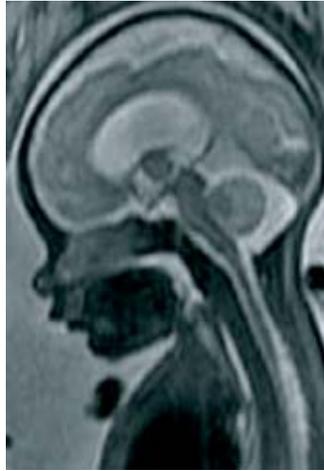
Die Wertigkeit der FMRT wurde in den vergangenen 10 Jahren ausgiebig in der wissenschaftlichen Literatur bestätigt. Die FMRT hat sich vor allem bewährt in der Abklärung von primäre Malformationen und intrauterin erworbenen Pathologien des zentralen Nervensystems (ZNS). Die komplexe Hirnentwicklung gekennzeichnet durch multiple kom-

plizierte, einander beeinflussende Prozesse, wie z. B. neuronale Migration, kortikale Organisation, Hirnfurchung und Myelinisierung kann mit dem Beginn des 2. Trimesters adäquat im FMRT beurteilt werden. In vergleichbaren Studien stellte sich heraus, dass die MRT komplexe Läsionen des ZNS's besser und genauer beurteilen kann. Malformationen des ZNS gehören zu den häufigsten Malformationen und haben in der Regel einen signifikanten Impact auf die Lebensqualität des Kindes. Dementsprechend ist eine exakte und komplette Beurteilung einer ZNS-Läsion für die Bestimmung des weiteren Prozedere von entscheidender Bedeutung.

Mit zunehmender FMRT Bildqualität, ultraschneller Bildsequenzen



■ *Abb. 5a: Sagittales T2-gewichtetes FMRT des normalen fetalen Gehirns in der 21. Schwangerschaftswoche. Die Hirnoberfläche ist glatt, die beginnende Einfaltung im Bereich der Zentralregion und Sulcus calcarinus kann erkannt werden.*



■ *Abb. 5b: Vergleichende T2-gewichtete Aufnahme zu Abbildung 5a. In diesem Feten liegt eine Rhomboencephalopsynapsis vor (Fusion beider Kleinhirnhemisphären bei fehlender Vermis).*

und Form des Kindes und kann als „Localizer“ für die Planung der nachfolgenden Sequenzen benutzt werden (Abb. 7).

Die beste räumliche Auflösung und Signal-Rausch-Verhältnis wird mit T2-gewichteten Single Shot-Fast-spin-Echo Sequenzen erreicht. T1-gewichtete Sequenzen sind bewegungsempfindlicher auf Basis der längeren Akquisitionszeit. Zusätzliche funktionelle Sequenzen sowie diffusionsgewichtete Sequenzen, MR-Spektroskopie und dynamische Sequenzen können ergänzt werden sind aber noch in der Entwicklungsphase und dementsprechend noch nicht überall verfügbar. Die

sowie neue Bildsequenzen wird die Bedeutung der FMRT in der Abklärung von Pathologien des fetalen Thorax, des Abdomens sowie des muskuloskelettalen Systems zunehmen (Abb. 6a,b). Mittels Volumetrie sowie Signalintensitätsanalysen können Aussagen über die zu erwartende Funktionalität der Lunge gemacht werden, dynamische Studien erlauben Einsicht über Organbeweglichkeit sowie Funktion. Zuletzt sollte nicht vergessen werden, dass im FMRT nicht nur der Fetus untersucht wird, sondern auch die Plazenta, Nabelschnur als auch Uterus und Adnexen der Mutter. Die Schwangerschaft wird als eine gesamte feto-maternalen Einheit betrachtet. Des Weiteren kann in der gleichen Untersuchung strah-

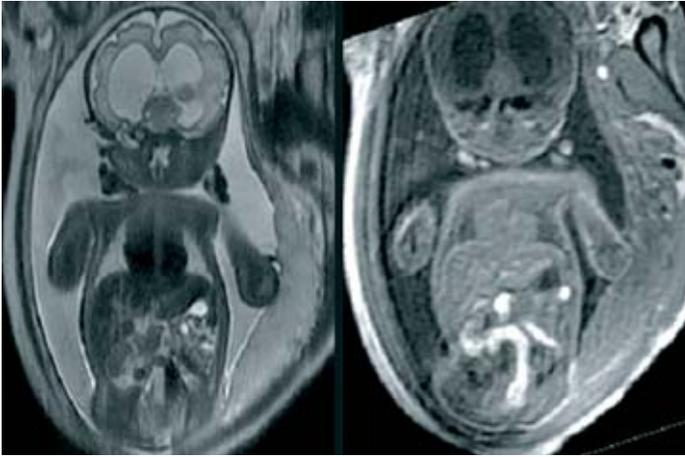
lenschonend eine exakte Pelvimetrie durchgeführt werden.

Wie wird die fetale MRT durchgeführt

Fetale MRT-Untersuchungen werden in der Regel an 1.5 Tesla MRT-Anlagen durchgeführt, eine Mehrkanaloberflächenspule wird auf das untere Abdomen zentriert. Die Mutter wird so bequem als möglich gelagert, falls notwendig in linke Seitenlage um eine Kompression der Vena cava inferior zu verhindern. Eine Sedation der Mutter oder indirekt des Kindes ist bei der ultraschnellen MRT-Bilddiagnostik heutzutage selten notwendig. Eine initiale fetographische Übersichtsaufnahme, schwer T2-gewichtet, gibt einen Überblick über Lage, Größe



■ *Abb. 6a: Coronares T2-gewichtetes FMRT des Thorax. Die Trachea und der Bronchialbaum als auch beide Lungen können einfach abgegrenzt werden, da mit Amnionflüssigkeit gefüllt.*



■ *Abb. 6b: Coronares T2-gewichtetes und T1-gewichtetes FMRT des Thorax und Abdomens. Das Colon ist mit T2-hypointensem und T1-hyperintensem Mekonium gefüllt.*

Gesamtdauer der Untersuchung liegt in der Regel unter 30 Minuten.

Sicherheitsaspekte der fetalen MRT

In den vergangenen Jahren wurden mehrere experimentelle Studien publiziert, wobei keine Nebenwirkungen auf die Entwicklung der Embryonen nachgewiesen werden konnte. Eine retrospektive Studie von schwangeren Röntgen-Assistentinnen, welche im MRT arbeiteten, zeigte kein erhöhtes Risiko für Fehlgeburten oder fetale Malformationen.

Heutzutage kann eine FMRT-Untersuchung bedenkenlos ab dem 2. Semester der Schwangerschaft durchgeführt werden, im 1. Trimester der Schwangerschaft ist die Indikationsstellung weiterhin restriktiver. Zusätzlich ist im 1. Trimester der Schwangerschaft die Aussagekraft der fetalen MRT eingeschränkt, da

der Fetus noch sehr klein ist und in der Regel eine grössere Beweglichkeit innerhalb des Uterus aufweist.

Ausblick

Wir bieten die FMRT seit 10 Jahren an, initial am Universitätsspital Zürich, seit 2002 am Kinderspital Zürich. In unserer Erfahrung ist die fetale MRT insbesondere dann indiziert, wenn die pränatale Ultraschallidiagnostik unklare oder komplexe Malformationen des ZNS's vermutet.

Die FMRT hat häufig die Beurteilung von komplexen Befunden präzisiert und ermöglichte damit eine bessere Einschätzung der Prognose, der zu erwartenden neurologischen Symptome und gegebenenfalls Ausmass und Schweregrad der Behinderung. Diese erhöhte Konfidenz und Spezifität hilft den Geburtshelfern zu entscheiden wie und ob die Schwangerschaft weiter-

geführt werden sollte, wie das Kind geboren werden müsste und welche Massnahmen unmittelbar postnatal vorzubereiten sind.

Zunehmend untersuchen wir Pathologien und Malformationen des fetalen Thorax und Abdomens, eine exakte Beurteilung und Interpretation von Pathologien und Malformation der Extremitäten ist weiterhin Diffizil.

Die enge Zusammenarbeit mit den klinischen Experten erweist sich hier als sehr vorteilhaft. An unserer Abteilung werden im Rahmen der Forschung einerseits FMRT-Bildsequenzen optimiert und entwickelt, andererseits fokussieren wir uns auf die normale und pathologische Entwicklung des ZNS's. Ein Schwerpunkt bildet hier die Abklärung von isolierten und syndromalen Hydrozephalien sowie die Anwendung von diffusionsgewichteten MRT Sequenzen intrauterin.

Letztendliches Ziel ist, den werdenden Eltern die bestmögliche Information zu geben, welche ihnen helfen kann, die richtige Entscheidung bezüglich Ihrer Schwangerschaft zu treffen.

▶ PD Dr. med. Thierry Huisman
Abteilung Bilddiagnostik –
Universitätsspital Zürich
Steinwiesstrasse 75,
CH-8032 ZÜRICH