

Vorlesung

„Bildverarbeitung in der Medizin“

Teil 3: Bildgebende Modalitäten

Jürgen Braun, Dagmar Krefting – Institut für Medizinische Informatik



Bildgebende Modalitäten

2

Übersicht Bildgebende Verfahren

- I. Radiographie und Mammographie
- II. Computertomographie
- III. Nuklearmedizinische Verfahren
- IV. Magnetresonanztomographie
- V. Sonographie
- VI. Bildkontrast und Auflösung
- VII. Vor- und Nachteile der Verfahren

Bildgebende Modalitäten

2

Ziele der Vorlesung

Nach dieser Veranstaltung sollten Sie wissen:

- welche wichtigen bildgebenden Modalitäten es in der Medizin gibt
- auf welchen Prinzipien die Verfahren basieren
- ob sie anatomische und/oder funktionelle Informationen liefern
- für welche diagnostischen Fragestellungen die Verfahren eingesetzt werden
- was die jeweiligen Kontrastmechanismen sind
- welche Ortsauflösung die Verfahren haben
- welche Vor- und Nachteile die einzelnen Verfahren besitzen

Bildgebende Modalitäten

3

I. Bildgebende Modalitäten: Radiographie

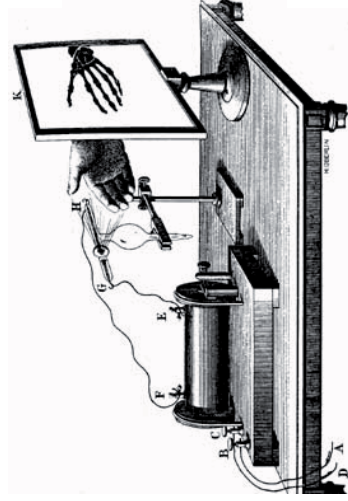
Erste Technologie zur Medizinischen Bildgebung

1895 berichtete ein bis dahin unbekannter Würzburger Physiker von einer folgenreichen Beobachtung:

„Hält man die Hand zwischen den Entladungsapparat und den Schirm, so sieht man die dunkleren Schatten der Handknochen, in dem nur wenig dunklen Schattenbild der Hand“.

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

4



Bildgebende Modalitäten: Radiographie

5

I. Radiographie – Entdeckung der Röntgenstrahlung

Als sorgfältiger Experimentator setzte Röntgen alles der Strahlung aus, die scheinbar für die Leuchterscheinung verantwortlich ist:

*„ein Buch von 1000 Seiten,
ein doppeltes Whistspiel,
einzelne Spielkarten“, und
die Hand seiner Frau.*



Erstes Röntgenbild 1895:
die Hand von Wilhelm Röntgens Frau Berta.

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

6

I. Erste Ergebnisse zur Untersuchung des Phänomens

- die meisten Materialien schwächten die X-Strahlen (wie Röntgen sie taufte) nicht nennenswert ab.
- Verschiedene Metalle vermochten die Strahlung dagegen deutlich abzuschirmen.

Folgen:

- Explosion wissenschaftlicher Arbeiten auf dem Gebiet der Röntgenstrahlung
- Mediziner begeistern sich für den unverstellten Einblick in menschliche Körper → Geburtsstunde der Radiologie
- Es entstehen völlig neue diagnostische Möglichkeiten

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

7

I. Erste Röntgenuntersuchungen am Menschen



Röntgenuntersuchung anno 1897

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

8

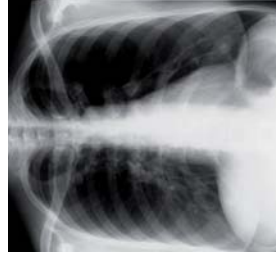
I. Röntgendiagnostik

- degenerative Veränderungen wie Arthrose,
- Knochenbrüche / Luxationen (ausgeklügelt),
- Fehlbildungen,
- rheumatische Veränderungen,
- Entzündungen wie Osteomyelitis,
- benigne Knochentumoren / maligne Knochentumoren,
- Auswirkungen von Stoffwechselerkrankungen wie Gicht,
- Osteoporose (Ursachen: chronische Niereninsuffizienz oder postmenopausaler Östrogenmangel).

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

9

I. Röntgenanwendungen: Thoraxuntersuchungen



Es können im wesentlichen

- das Herz,
- das Lungen- und Bronchialsystem,
- knöcherner Thoraxanteil,
- Thoraxgefäße sowie Lungenwurzel (Hilus),
- Mediastinum (mittlerer Bereich des Thorax)
- und das Rippenfell (Pleura)

beurteilt werden.

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

10

I. Röntgenanwendungen: Knöchernes Skelettsystem



Alle knöchernen Teile vom Scheitel bis zur Fußsohle:

- Schädel,
- Schlüsselbein,
- Rippen,
- Wirbelsäule,
- Schulterblatt (Skapula),
- die Arm- und Beinknochen,
- das Becken sowie
- die großen und kleinen Gelenke.

Bildgebende Modalitäten: Radiographie

11

I. Röntgenanwendungen: Mammographie

1927: die erste Mammographie wird vom Leipziger Arzt Otto Kleinschmidt durchgeführt.

1951: die für die frühzeitige Entdeckung von Brustkrebs wichtigen Mikroverkalkungen werden von Raul Leborgne, einem Arzt aus Uruquay beschrieben.

Bis heute: stetige Verbesserung der Bildqualität bei gleichzeitiger Reduktion der applizierten Strahlendosis.

Bildgebende Modalitäten: Mammographie

12

I. Röntgenanwendungen: Mammographie

Stellenwert: Einführung Mammographie-Screening (flächendeckend bis Ende 2005)

BERLIN. Die Kosten für das geplante Mammographie-Screening in Deutschland werden sich jährlich auf schätzungsweise 250 bis 300 Millionen Euro belaufen. Die Krankenversicherer in Deutschland seien bereit, Geld für eine sinnvolle, evidenzbasierte Früherkennung auszugeben, sagte Dr. med. Bernd Metzinger im Vorfeld der jüngsten Sitzung des Gemeinsamen Bundesausschusses (GBA).

Deutsches Ärzteblatt 15.11.2004 - 19.11.2004

Bildgebende Modalitäten: Mammographie

13

I. Röntgenanwendungen: Mammographie



Mammographie-Anlage



Mammogramm

Bildgebende Modalitäten: Mammographie

14

II. Computertomographie (CT)

Eine Tomographie ist ein Querschnittbild das bei bildgebenden Verfahren mit Hilfe eines Rechners erstellt wird.

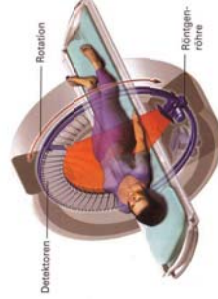
Bei der CT-Bildakquisition dreht sich senkrecht zur Körperachse des Patienten eine Röntgenröhre. Diese Röhre erzeugt mit einer Hochspannung von 120 bis 150 kV (1 kV = 1.000 Volt) einen fächerförmigen Röntgenstrahl, der den Körper in der gewünschten Ebene durchleuchtet.

Bildgebende Modalitäten: CT

15

II. CT - Bilderzeugung

In Abhängigkeit von der Dichte, der Dicke sowie der Ordnungszahl Z der durchstrahlten Materie wird der Strahl mehr oder weniger stark geschwächt.

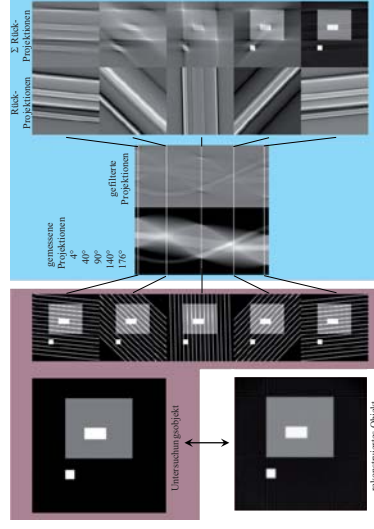


Gegenüber der Röhre befinden sich, halbkreisförmig angeordnet, Detektoren, die in Abhängigkeit der auftretenden Röntgenstrahlenintensität elektrische Signale erzeugen.

Bildgebende Modalitäten: CT

16

II. CT – Schematische Übersicht Bildrekonstruktion



Bildgebende Modalitäten: CT

18

II. CT - Bildrekonstruktion

Röhre und gegenüberliegende Detektoren drehen sich in kleinen Winkelschritten weiter ($2^\circ, 1^\circ, 0.5^\circ$).

Rechnergestützt werden die detektierten Signale zu einem in der Dicke (1 – 8 mm) einstellbaren Querschnittsbild zusammengesetzt.

Rekonstruktionsverfahren: gefilterte Rückprojektion

Bildgebende Modalitäten: CT

17

II. CT – 16 Zeiler



gleichzeitige Aufnahme von 16 Schichten

Bildgebende Modalitäten: CT

19

II. CT - Strahlenbelastung

Die Strahlenexposition beträgt, je nach Untersuchung, zwischen 3 mSv und 10 mSv für den untersuchten Körperbereich.

Diese Strahlenexposition ist, verglichen mit konventionellem Röntgen (Thorax ca. 0.3 mSv) deutlich höher (die natürliche Strahlenexposition auf Meereshöhe beträgt in Deutschland ca. 2,5 mSv pro Jahr).

Bildgebende Modalitäten: CT

20

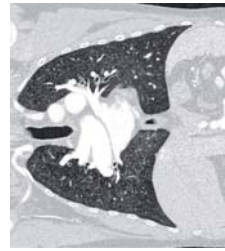
II. CT – Diagnostik

Körperregion	Fragestellung
Kopf	Blutungen, Infarkte, Traumata, Schädelbasisfrakturen, Tumordiagnostik.
Knochen	Komplizierte Frakturen, z.B. des Beckens, der Wirbelsäule, der Gelenke, sowie Bandscheibenprolapse, ausserdem Tumoren und Metastasen.
Lunge	Tumordiagnostik, Metastasen, Entzündungen, Lungenparenchymerkrankungen.
Abdomen, Leber	Fast alle Lebererkrankungen mit morphologischen Veränderungen sind gut diagnostizierbar; Ascites.
Lymphknoten	Metastasen nachweis, reaktive Veränderungen
Magen, Darm	paraoikale Abszesse bei Morbus Crohn, größere Tumoren, sowie Tumoren im Enddarmbereich, Ausbreitungsdiagnostik von Tumoren im Bereich der Speiseröhre.
Gefäße	Akute Blutungen nach Unfällen oder Aneurysmen.

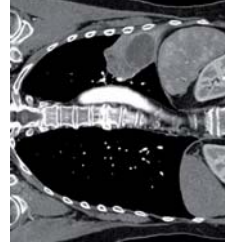
Bildgebende Modalitäten: CT

21

II. CT – Lunge



Weichteilfenster

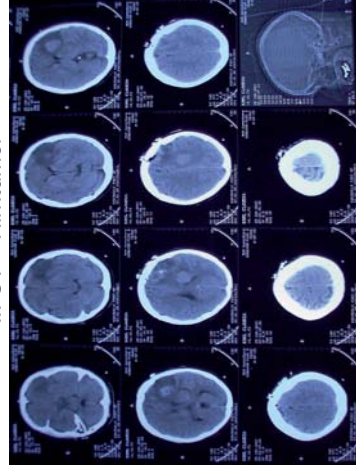


Knochenfenster

Bildgebende Modalitäten: CT

22

II. CT – Hirntumor



Bildgebende Modalitäten: CT

23

II. CT – Extremitäten



Knie sagittal



Knie coronar

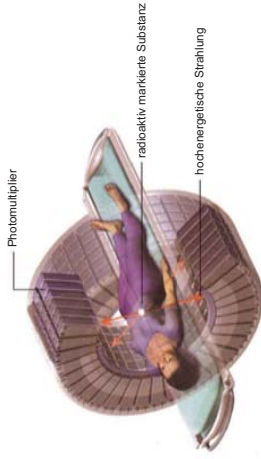
3D-Modell berechnet aus Schichtbildern künstlich eingefärbt

Bildgebende Modalitäten: CT

24

III. Bildgebende Verfahren in der Nuklearmedizin

Anwendungen basieren auf dem Nachweis radioaktiv markierter Verbindungen (oral / Injektion / Inhalation).



Bildgebende Modalitäten: Nuklearmedizin 25

III. Bildgebende Verfahren in der Nuklearmedizin

Verteilung der Tracer im Körper im Körper in Abhängigkeit des physiologischen Status der Patienten.

Die nach Traceraufnahme vorhandene Aktivität zeigt, ob die chemische Funktion eines Organs / Gewebes normal oder pathologisch ist.

Keine Aussagen zur Anatomie sondern zur Funktionalität von Organen / Geweben.

Bildgebende Modalitäten: Nuklearmedizin 26

III. Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT)

Nachweis der Emission von Röntgenstrahlen (Emission einzelner Photonen).

Detektion aus verschiedenen Blickwinkeln mit synchron schwenkbaren Kameras.

Projektionsdaten werden zur Rekonstruktion tomographischer Emissionsbilder verwendet.

Die nach Traceraufnahme vorhandene Aktivität zeigt, ob die chemische Funktion eines Organs / Gewebes normal oder pathologisch ist.

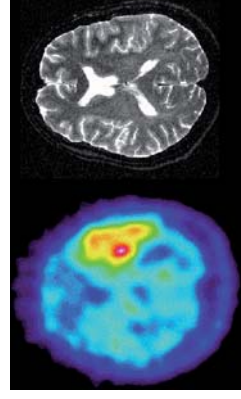
Bildgebende Modalitäten: SPECT 27

III. SPECT-Anlage



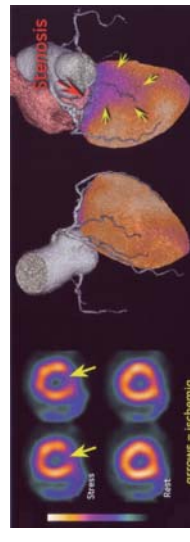
Bildgebende Modalitäten: SPECT 28

III. SPECT-Anwendung: Hirntumore



Bildgebende Modalitäten: SPECT 29

III. SPECT: Anwendung in der Kardiologie



SPECT vom Herzen funktionelle Information

Image Fusion: SPECT - CT Kombination funktioneller und anatomischer Information

Bildgebende Modalitäten: SPECT 30

III. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

Nachweis der Emission gepaarter Röntgenstrahlung (Emission von Positronen).

Positronen sind positiv geladene Elektronen (e^+).

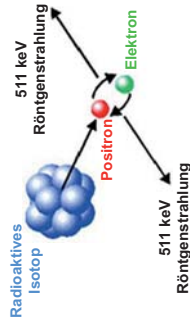
Positronenquellen: ^{18}F , ^{15}O , ^{13}N , ^{11}C .

Positronen (e^+) rekombinieren sofort mit Elektronen (e^-)
→ Zerstrahlung, die Masse beider Teilchen wird in Röntgenstrahlung umgewandelt.

Bildgebende Modalitäten: PET

31

III. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)



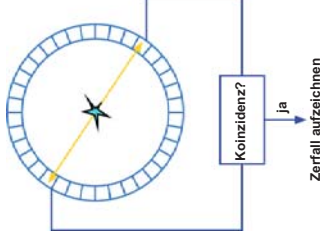
Besonderheit:

die bei der Zerstrahlung entstandene Röntgenstrahlung ist genau entgegengesetzt gerichtet

Bildgebende Modalitäten: PET

32

III. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)



Detektion:
Koinzidenzdetektion mit einem Detektorpaar.
Bei der simultanen Detektion zweier 511 keV Photonen muß die Zerstrahlungsposition auf einer Geraden durch die beiden Detektoren stattgefunden haben.

Bildgebende Modalitäten: PET

33

III. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)

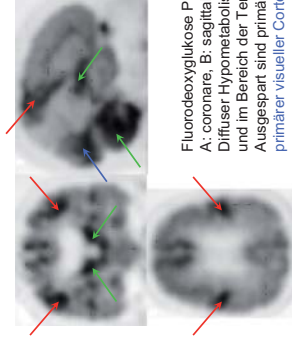
Anwendungen PET:

- Tumordiagnostik / -therapie:
generell anwendbar für Tumore die Tracer aufnehmen:
Kopf, Rückenmark, Lunge, Speiseröhre, Magen, Darm, Eierstöcke, Gebärmutter, Brust, Lymphome, maligne Melanome, manche Knochtumore, Therapiemonitoring.
- Epilepsie:
Identifikation von MS-spezifischen Läsionen im Gehirn.
- Kardiologie:
Herzfunktion, Vitalität von Herzregionen, Blutversorgung des Herzmuskels (Perfusion).

Bildgebende Modalitäten: PET

34

III. Positronen-Emissions-Tomographie (PET)



Anamnese:
34-jährige Frau,
verwirrter Geisteszustand
Diagnose:
Alzheimer
(autosomal dominant)

Fluorodeoxyglukose PET
A: coronare, B: sagittale, C: axiale Schichtführung.
Diffuser Hypometabolismus frontal (bilateral), parietal und im Bereich der Temporalappen.
Ausgespart sind primärer sensorimotorischer Cortex, primärer visueller Cortex und subcortikale Strukturen.

Bildgebende Modalitäten: PET

35

IV. Magnetresonanztomographie - MRT

Es wird keine ionisierende Strahlung (Röntgen- oder Gammastrahlung) eingesetzt.

Stattdessen werden durch ein sehr starkes statisches Magnetfeld mit Feldstärken von 0,25 bis 3 Tesla (2500 bis 30000-faches Erdfeld) werden die Protonen des zu untersuchenden Objektes beeinflusst.

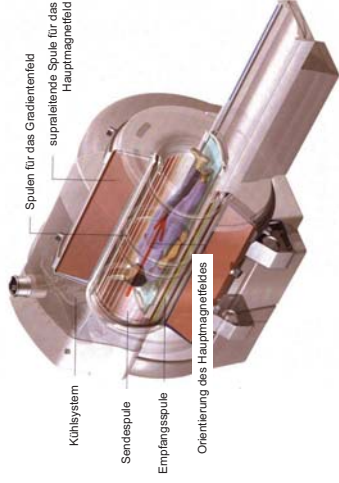
Mit Hilfe eines über Spulen zeitweilig eingestrahlten gepulsten HF-Magnetfelds erfolgt die Anregung der Protonen (Energieübertrag mittels Resonanzeffekt).

Nach Abschalten des HF-Magnetfelds:
Energieabgabe die in Form einer Wechselfeldspannung mit speziellen Empfangsspulen detektiert wird.

Bildgebende Modalitäten: MRT

36

IV. MRT – 1.5 T Ganzkörpergerät



Bildgebende Modalitäten: MRT

37

IV. MRT – 1.5 T Aufnahmespulen



Mehrkanal Kopfspule



Brustspule



flexible Spulen



Extremitätenspule

Bildgebende Modalitäten: MRT

38

IV. MRT – Ortsauflösung / Bildrekonstruktion

Ortsauflösung ist nicht durch die Wellenlänge der eingesetzten Strahlung gegeben (~ 3-5 m), sondern über zeitweilig zugeschaltete Magnetfeldgradienten.

Alle Protonen im Untersuchungsobjekt werden so ortsabhängig magnetisch präpariert (Ortsinformation ist in der abgegebenen Strahlung gespeichert).

Die Vielzahl gleichzeitig gemessener ortsabhängiger Signale wird mit Hilfe von 2D-Fourierverfahren Volumenelementen (Voxeln) zugeordnet und in Form von Schnittbildern visualisiert.

Bildgebende Modalitäten: MRT

39

IV. MRT – Relaxation und Bildkontrast

Der Energieabgabe der Spins nach Anregung liegen 2 Relaxationsmechanismen zugrunde:

Spin-Gitter-Relaxation (T_1) und Spin-Spin-Relaxation (T_2).

Durch individuelle Relaxation unterschiedlicher Gewebe entstehen Kontraste zwischen verschiedenen Gewebearten oder zwischen gesundem und Tumorgewebe.

Ein zusätzlicher Kontrast zwischen Gewebearten beruht auf ihrem unterschiedlichem Wassergehalt oder der Protonendichte (PD).

Bildgebende Modalitäten: MRT

40

IV. MRT – Relaxation und Bildkontrast

Grundsätzlich unterscheidet man 3 Bildkontraste: T_1 -, T_2 - und PD-„Wichtung“.

T_1 -Bilder: Blutungen / Fett hell dargestellt

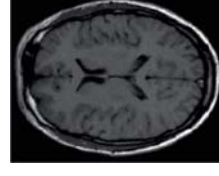
T_2 -Bilder: Flüssigkeiten / Schwellungen hell dargestellt.

Die Art der Gewebekontrastierung lässt sich durch die Wahl entsprechender Parameter in den Aufnahmeprogrammen (Pulssequenzen) festlegen. (z.B. Auslenkwinkel der Magnetisierung, Wiederholungszeit oder Echozeit).

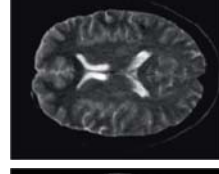
Bildgebende Modalitäten: MRT

41

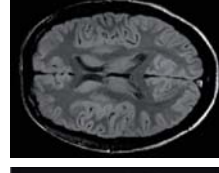
IV. MRT – Bildwichtungen



T_1 -Wichtung



T_2 -Wichtung



PD-Wichtung

Bildgebende Modalitäten: MRT

42

IV. MRT – Diagnostik I

Körperregion	Fragestellung
Becken, Harnblase	Prostatahypertrophie und -karzinome, gynäkologische Tumoren, perirektale Lymphknoten, Rektum-Karzinome, Knochenentzündungen, Hüftgelenkentzündungen, Entzündungen der Ilio-Sacraligen, Beckengefäße, Funktionsdiagnostik von Transplantaten (Niere, Pankreas), Ovarialzysten, Bauchfellkarzinose, freie Flüssigkeit
Brust	Ergänzung zur Mammographie und Ultraschalluntersuchungen, Präoperativer Ausschluss von Multizentrität oder Multifokalität, Postoperative Residualdiagnostik, insbesondere bei Frauen mit Brustimplantaten
Gefäße	arterielle und venöse Gefäße bezüglich Thrombosen, Fehlbildungen, Entzündungen, Verschlüssen, Herzkranzgefäßdarstellung
Gelenke	Bänder, Knorpel, Knochen, Blutungen, Ergüsse
Hals-Nasen-Ohren	insbesondere Tumoren, entzündliche Prozesse oder Fehlbildungen

Bildgebende Modalitäten: MRT

43

IV. MRT – Diagnostik II

Körperregion	Fragestellung
Knochenmark	Markraumverfärbungen, Lymphome, Plasmozytome, Metastasen, Hämangiome
Kopf	Entzündliche Prozesse, Tumoren, Fehlbildungen und Angiographien. Für den Nachweis einer akuten Blutung wird dagegen eine CT empfohlen.
Leber, Niere, Milz, Bauchspeicheldrüse und Gallengänge	Tumore, Entzündungen, Gefäßfehlbildungen, Anatomische Varietäten.
Magen-Darm-Trakt	Cholangiographien, Pankreatographien
Medastinum	Tumore, Schilddrüsenvergrößerungen, Herzdiagnostik tumorbedingte Veränderungen der Speiseröhrenwand sowie pathologische Lymphknoten, Beurteilung der großen Gefäße, wie Aorta, Lungendartern und -venen sowie Aortenbogen; Frühe Erkennung von ischämischen Prozessen (Hirnhirnakt).
Sehnen	Entzündungen, Degenerationen, Rupturen
Thoraxwand	Tumore

Bildgebende Modalitäten: MRT

44

IV. MRT – Diagnostik III

Körperregion	Fragestellung
Weichteile	Musculo-skeletale Tumoren, wie z.B. Sarkome, Entzündungen.
Wirbelsäule	Bandscheibendegenerationen, intra- oder extraaxiale Spinaltumoren, Entzündungen, Myelopathien, Syringomyelien, Fehlbildungen, Wirbelkörperfrakturen, Knochenmetastasen, Zysten.

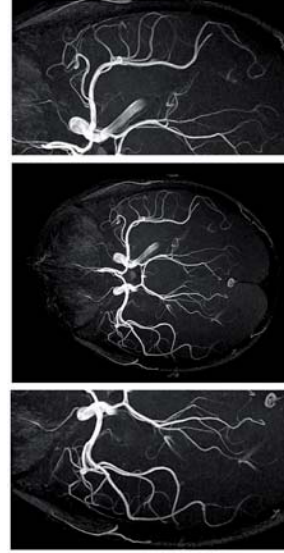
Nach allen zur Zeit vorliegenden Erkenntnissen sind bei MRT-Untersuchungen keinerlei Nebenwirkungen zu erwarten.

Gefahren entstehen bei der Anwesenheit von (magnetisierbaren) Metallen am oder im Körper. Personen mit Herzschrittmachern werden können nicht untersucht werden.

Bildgebende Modalitäten: MRT

45

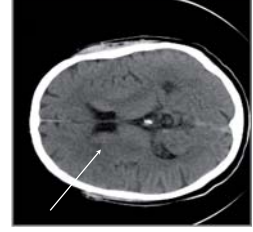
IV. MR-Angiographie



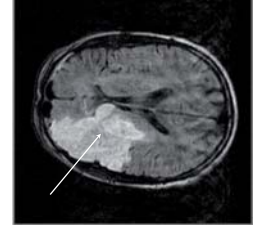
Bildgebende Modalitäten: MRT

46

IV. MR-Diffusionswichtung / Hirninfarktrühdignose



CT



DW-MRT

Bildgebende Modalitäten: MRT

47

V. Ultraschall

Schall ist eine longitudinale Materiewelle
→ Moleküle oder Atome der Materie schwingen in Richtung der Schallausbreitung.

Schall zwischen 20 kHz und 1000 Mhz wird als Ultraschall bezeichnet.

Bildkontrast beruht auf Impedanzänderungen:

→ Gewebe unterschiedlicher Impedanz gut sichtbar
→ Gewebegrenzen (Impedanzsprünge) gut sichtbar
Impedanz:

Gewebedichte x Schallgeschwindigkeit im Gewebe

Bildgebende Modalitäten: US

48

V. Ultraschall

Schallerzeugung: mit Hilfe von piezoelektrischen Kristallen (periodische Größenänderungen bei anliegender Wechsellspannung).

Schallimpulse werden mit einem Schallkopf in das Körpergewebe gesandt und detektiert (Sende- und Empfangsfunktion)

Bildinformation liegt in der unterschiedlichen Reflexion der Schallwellen durch verschiedene Gewebe.

Rechnergesteuerte Steuerung, Bildrekonstruktion und Auswertung.

Bildgebende Modalitäten: US

49

V. Ultraschall



Ultraschallgerät



Schallkopf

Bildgebende Modalitäten: US

50

V. Ultraschall

Medizinische Diagnostik: Ultraschall mit Frequenzen zwischen von 2 MHz und 20 MHz.

Ultraschall dringt um so weiter ins Gewebe ein, je geringer seine Frequenz ist.

Aber: mit abnehmender Frequenz sinkt das räumliche Auflösungsvermögen.

Die von außen auf die Hautoberfläche aufgesetzte Schallsonde (Oberflächenschallkopf) wird mit Frequenzen von 5 MHz bis 13 MHz betrieben. (Guter Kompromiss zwischen Eindringtiefe und Auflösung).

Bildgebende Modalitäten: US

51

V. US zur Diagnose und Verlaufskontrolle

Gynäkologische Ultraschall-Untersuchungen: Veränderungen an Gebärmutter und Eierstöcken, Entwicklung von Schwangerschaften.

Abdomen-Sonographie: Untersuchung des Bauchraums, Veränderungen an Leber, Gallenblase, Milz, Bauchspeicheldrüse, Nieren, Lymphknoten und Gefäße werden dargestellt.

Ultraschall-Untersuchung der Schilddrüse: Zysten, Tumore, Vergrößerung und Verkleinerung von Organen.

Frequenzbereich: 2 MHz bis 5 MHz, bei Kindern 5 MHz, Eindringtiefen ca. 15 - 20 cm.

Bildgebende Modalitäten: US

52

V. US zur Diagnose und Verlaufskontrolle

Intrakavitäre Sonographie (einführbare Schallköpfe): Untersuchung von Ovarien, Uterus, Adnexen und der Prostata.

Frequenzen: zwischen 5 MHz und 7,5 MHz.

Intraluminale Untersuchungen (Gefäße).

Frequenzen: zwischen 10 MHz und 20 MHz.

Nicht zugänglich für US-Untersuchungen: luftgefüllte Organe wie die Lunge oder der Magen-Darmbereich.

Bildgebende Modalitäten: US

53

V. Doppler-Sonographie

Beurteilung der Fließgeschwindigkeit des Blutes
Ein zur Schallquelle relativ bewegtes Objekt verändert die Frequenz der von ihr reflektierten Strahlung.

Die Frequenzänderung wird nach der Reflexion im Gerät bestimmt und daraus Richtung und Geschwindigkeit bestimmt.

Die Blutgeschwindigkeit erlaubt Aussagen über Verengungen oder Verschlüsse von Gefäßen.

Halsgefäße: 5 - 7,5 MHz

Intracranielle Gefäße: 2 MHz (Schädelkalotte)

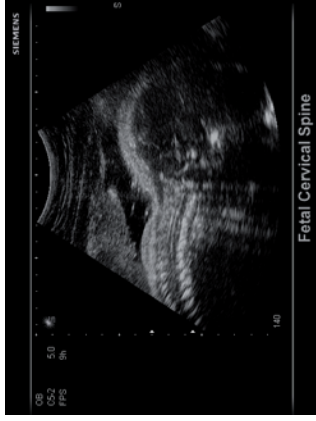
Bauch- / Beckengefäße: 3,5 MHz

Beingefäße: 5 - 7,5 MHz

Bildgebende Modalitäten: US

54

V. US-Anwendung: Untersuchungen an Ungeborenen



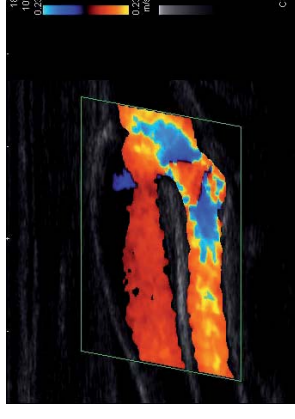
Bildgebende Modalitäten: US

V. US-Anwendung: Gefäßablagerungen



Bildgebende Modalitäten: US

V. US-Anwendung: Farbdoppler der Aortagabelung



Bildgebende Modalitäten: US

VI. Kontrastverhalten bildgebender Modalitäten

Röntgenkontrast: Dichte (g/cm^3) von Gewebe und effektive Ordnungszahl (Röntgen, Mammographie, CT)

Nuklearmedizin: Aufnahme der Radiopharmaka abhängig von der pharmakologischen Interaktion mit krankem Gewebe (SPECT, PET)

Keine Verschattung durch umliegende Gewebe
→ besserer Kontrast als Röntgenverfahren

Bildgebende Modalitäten: Bildkontrast

VI. Kontrastverhalten bildgebender Modalitäten

MRT: Protonendichte (\sim Dichte (g/cm^3), Relaxationszeiten:
1. longitudinal und 2. transversal
Komplexe Wechselwirkung der Kontrastmechanismen
→ Vielzahl unterschiedlicher Aufnahmemethoden.

US: durch akustische Eigenschaften von Geweben bestimmt (Impedanz).

Impedanz:
Gewebedichte x Schallgeschwindigkeit im Gewebe
→ Gewebegrenzen (Impedanzsprünge) gut sichtbar

Bildgebende Modalitäten: Bildkontrast

VI. Räumliche Auflösung bildgebender Modalitäten

Modalität	Δ [mm]	Bemerkungen
analoges Röntgen	0.08	Limit: Auflösung des Detektors
digitales Röntgen	0.17	Limit: Größe der Detektorelemente
analoge Mammographie	0.03	höchstes Auflösungsvermögen
digitale Mammographie	0.05 – 0.10	Limit: Größe der Detektorelemente
CT	0.04	Pixelgröße – 0.5 mm
SPECT	7.0	Auflösungsverlust im Schnittbereich überlappender Schichten
PET	5.0	Beste Auflösung aller nuklearmedizinischen Verfahren
MRT	1.0	Auflösungsvermögen steigt mit der verfügbaren magnetischen Feldstärke
US	0.3	Limit: Länge akustischer Wellen

Bildgebende Modalitäten: Auflösung

VII. Vor- und Nachteile der einzelnen Verfahren

Modalität	⊕	⊖
Radiographie	schnell kostengünstig, Verfügbarkeit guter Kontrast für Knochen, Blut	Strahlenexposition Überlagerung anat. Strukturen schlechter Weichteilkontrast
CT	relativ schnell (0,3 - 1s / 2D) guter Kontrast für Knochen, Blut hohe Ortsauflösung	hohe Strahlenexposition schlechter Weichteilkontrast teuer
SPECT	kostengünstig, Verfügbarkeit	nur qualitative oder semi quantitative Aussagen
PET	Ortsauflösung > SPECT quantitativ	geringe Verfügbarkeit teuer (Isotopenlabor)
MRT	guter Weichteilkontrast vielfältige Aufnahmemethoden beliebige 3D-Schichtpositionen keine Strahlenbelastung	relativ langsam (1 - 60s / 2D) Festkörper nicht sichtbar teuer
US	schnelle Bildakquisition kostengünstig, Verfügbarkeit transportabel keine Strahlenbelastung	limitierte Eindringtiefe Abschattung (Knochen, Luft) Bildqualität, Bildartefakte Auflösung abstandsabhängig

Bildgebende Modalitäten: Vor- und Nachteile 60

Zusammenfassung Schnittbildverfahren (Tomographie*)

Modalität	Aufnahmeprinzip	Anwendung
Radiographie	Abschwächung von Röntgenstrahlen	Strukturen mit relativ hoher effektiver Ordnungszahl
CT	Abschwächung von Röntgenstrahlen	Strukturen mit relativ hoher effektiver Ordnungszahl
SPECT	gewebespezifische Akkumulation radioaktiver Moleküle	Stoffwechselfunktionen
PET	radioaktiver Moleküle	Stoffwechselfunktionen
MRT	quantenmechanische Kernspinnrelaxation	Wasserstoffkerne in Weichgeweben / Flüssigkeiten
US	elastische Wellenstreuung	Weichgewebe ohne große mechanische Abschirmung durch Knochen oder Luft

* allgriechisch: tomos - Schnitt, grapho, Schrift

Zusammenfassung

62