

Beeldvormende diagnostiek

O.M.van Delden, M. Maas en J.S. Laméris

- 2.1 Inleiding – 22**
- 2.2 Conventionele radiologie – 22**
 - 2.2.1 Fysica en techniek van de röntgenfoto – 22
 - 2.2.2 De thoraxfoto – 22
 - 2.2.3 De buikoverzichtsfoto (BOZ) – 28
 - 2.2.4 Conventionele skeletradiologie – 29
 - 2.2.5 Mammografie – 31
- 2.3 Computertomografie (CT-scan) – 31**
 - 2.3.1 Fysica en techniek – 31
 - 2.3.2 Indicaties – 32
 - 2.3.3 Beperkingen van CT – 35
- 2.4 Echografie, dopplerechografie en musculoskeletale echografie (echo) – 35**
 - 2.4.1 Fysica en techniek – 36
 - 2.4.2 Indicaties – 36
- 2.5 Magnetic resonance imaging (MRI-scan) – 38**
 - 2.5.1 Fysica en techniek – 38
 - 2.5.2 Risico's en beperkingen – 39
 - 2.5.3 Indicaties – 39
- 2.6 Interventieradiologie – 40**
 - 2.6.1 Indicaties – 41
 - 2.6.2 Complicaties bij interventieradiologie – 42
- 2.7 Risico's van beeldvormend onderzoek en voorzorgen – 43**
 - 2.7.1 Röntgenstraling – 43
 - 2.7.2 Intraveneuze contrastmiddelen – 44
 - 2.7.3 'Incidentaloorn' – 44
- 2.8 Nucleaire geneeskunde: scintigrafie en positronemissietomografie (PET/CT-scan) – 45**
 - 2.8.1 Fysica en techniek – 45
 - 2.8.2 Indicaties – 45
- Literatuur – 47**

2.1 Inleiding

Radiologie is een vakgebied waarin de opleiding en de expertise van radiologen naar orgaansysteem zijn georganiseerd. Sinds 2015 is nucleaire geneeskunde in Nederland onderdeel van de opleiding tot radioloog. In dit hoofdstuk wordt de radiologie echter om praktische redenen besproken per beeldvormende techniek. In de volgende hoofdstukken komt de radiologie waar nodig steeds per orgaansysteem of deelgebied van de interne geneeskunde aan de orde.

De technieken die in dit hoofdstuk besproken worden, zijn de conventionele radiologie (de röntgenfoto), de computertomografie (CT-scan), de echografie (echo) de magnetische resonantie imaging (MRI-scan) en de nucleaire geneeskunde (scintigrafie) en positronemissietomografie (PET). Per techniek wordt de technische achtergrond kort besproken en komen de meest voorkomende ziektebeelden die voor de interne geneeskunde van belang zijn aan de orde. De interventieradiologie is eveneens een onderdeel van de radiologie en hoewel die gebruikmaakt van de verschillende beeldvormende technieken, wordt dit onderwerp hier apart besproken.

In de praktijk is het van groot belang dat het gebruik van de verschillende technieken geïntegreerd en gecoördineerd wordt en dat per patiënt en per klinisch probleem de juiste techniek of combinatie van technieken gebruikt wordt. Overwegingen hierbij zijn de te verwachten opbrengst (sensitiviteit, specificiteit en voorspellende waarden) van het beeldvormend onderzoek, maar ook de risico's en de belasting voor de patiënt, waarbij gedacht moet worden aan stralenbelasting (risico van kankerinductie door CT-scans), belasting van de nierfunctie (risico van contrastnefropathie bij intraveneus contrastgebruik), en de kosten van beeldvormend onderzoek. Zo zal bijvoorbeeld bij verdenking op appendicitis acuta in eerste instantie voor echografie als beeldvormende test gekozen worden en wordt alleen wanneer deze test niet conclusief is, overgegaan tot het verrichten van een CT-scan, die duurder is en stralenbelasting met zich meebrengt.

De risico's van beeldvormend onderzoek en de voorzorgen die genomen moeten worden om deze zo veel mogelijk te beperken, worden aan het eind van dit hoofdstuk besproken.

2.2 Conventionele radiologie

2.2.1 Fysica en techniek van de röntgenfoto

Röntgenstralen ontstaan als energierijke elektronen plotseling worden afgeremd doordat ze tegen materie botsen. De straling wordt opgewekt in een röntgenbuis, waarin tussen een kathode en een anode een hoge spanning (buisspanning) wordt aangelegd. Uit de kathode komen elektronen vrij, die in een smalle bundel gericht zijn op een deel van de anode, de focus geheten. Bij de botsing van de elektronen tegen de focus wordt een deel van hun bewegingsenergie in röntgenstraling omgezet en deze wordt als een divergerende bundel gericht op het lichaam, waarbij de straling interacties aangaat met de weefsels die in de bundel liggen. Een loden omhulsel van de buis voorkomt dat straling in ongewenste richtingen uittreedt. Het doordringend vermogen

van röntgenstralen in weefsel hangt af van de golflengte en het soort weefsel. Verschillende delen van het lichaam verzwakken de straling in verschillende mate, met als gevolg dat de intensiteit van de straling achter de patiënt van punt tot punt verschilt. Deze intensiteitsverschillen bevatten informatie over de inwendige anatomie. Er zijn vier soorten densiteiten te onderscheiden door middel van deze techniek: in volgorde van oplopende verzwakking zijn dat lucht, vet, weke delen (een restgroep) en bot. De uit de onderzochte persoon tredende stralingsbundel wordt opgevangen op een detector en verwerkt in een beeldvormend systeem tot een röntgenfoto. Het beeld wordt opgebouwd uit contrastverschillen, die ontstaan in organen die door hun variabele samenstelling in meer of mindere mate herkenbaar zijn. De röntgenfoto is een beeld in twee dimensies, een platte compositie van de driedimensionale structuur van het lichaam, waarop structuren van het lichaam worden omgezet in grijswaarden van zwart tot wit. De kwaliteit van het beeld wordt bepaald door de definitie van de fijne details (spatiële resolutie) en de mate van contrast tussen verschillende structuren (contrastresolutie). Zo is er bijvoorbeeld veel contrast op de thoraxfoto tussen de lucht in de longen en de bloedvaten in de longen, waardoor de grens hiertussen goed zichtbaar is. Er is veel minder grensvormend contrast tussen de verschillende solide organen, die alle wat verzwakking betreft tot de weke delen behoren, waardoor ze op de buikoverzichtsofname slecht van elkaar te onderscheiden zijn. Wanneer een afwijking op een röntgenfoto donker is, wordt deze *lucent* genoemd, wanneer een afwijking licht is, noemt men dit *radiopaak* of spreekt men van een verdichting of beschaduwing.

Omdat alle informatie uit het afgebeelde deel van de patiënt op een röntgenfoto in het platte vlak geprojecteerd wordt, worden verschillende structuren over elkaar heen afgebeeld (*summatiebeeld*). Dit kan bij de interpretatie tot problemen leiden en daarom wordt het te onderzoeken gebied vaak in twee richtingen afgebeeld.

Er zijn röntgentoestellen waarmee alleen een röntgenfoto gemaakt kan worden, zoals een thoraxfoto of skeletfoto, en er zijn complexere apparaten, waarmee continue röntgendoorlichting verkregen kan worden, zoals interventiestatieven, waarop radiologische percutane (letterlijke betekenis: 'door de huid heen') interventies verricht worden.

2.2.2 De thoraxfoto

Kernpunten

- Bij de beoordeling van de thoraxfoto moeten structureel de volgende onderdelen aan bod komen:
 - thoraxskelet
 - weke delen buiten de longen
 - pleurale begrenzingen, inclusief diafragma
 - mediastinum
 - hart
 - hili
 - longen.

- De thoraxfoto is belangrijk voor de evaluatie van:
 - pneumothorax, hartfalen, atelectase, wervelfracturen, longinfectie en intensiverepatiënten.
- De thoraxfoto bij intensiverepatiënten is vooral van belang voor het beoordelen van ligging van tubes, lijnen, drains en sondes, voor het beoordelen van eventuele complicaties van lijnplaatsing en andere interventies, alsmede het beoordelen van infecties, atelectase en vochtcollecties.
- De thoraxfoto is van beperkte waarde bij de evaluatie van:
 - tumoren in de longen, diffuse longziekten, emfyseem/COPD.
- De thoraxfoto is ongeschikt voor het uitsluiten van:
 - longembolie en acute aortasyndromen.

- mediastinum;
- hart;
- hili en longvaten;
- longen.

Enkele veelgebruikte termen bij het beschrijven van afwijkingen op een thoraxfoto zijn:

- nodus = ronde verdichting, kleiner dan 3 cm, meestal scherp begrensd;
- massa = ronde verdichting, groter dan 3 cm;
- consolidatie = verdichting van het longparenchym door opvulling met vocht en/of ontstekingscellen, zonder volumeverlies;
- luchtbronchogram = lineaire lucente vertakkingen binnen een consolidatie, veroorzaakt door luchthoudende bronchiën, vaak te zien bij pneumonie;
- atelectase = samengevallen long, longkwab of segment van een longkwab
- reticulair beeld = beeld gekenmerkt door streperige afwijkingen;
- nodulair beeld = beeld gekenmerkt door multipale kleine nodi.

Indicaties

In de volgende paragrafen worden de voornaamste ziektebeelden of groepen van ziektebeelden besproken, waarbij de thoraxfoto een belangrijke rol speelt in de diagnostiek.

Pneumothorax

Bij verdenking op pneumothorax is de thoraxfoto met een hoge sensitiviteit en specificiteit het onderzoek van keuze. Een pneumothorax is zichtbaar als een (deels) samengevallen long met daarbuiten lucht in de pleuraholte (■ Figuur 2.2). De pleura is dan zichtbaar als een dunne witte lijn, aan weerszijden omgeven door lucht (pleuraal en pulmonaal). Wanneer hart en mediastinum verplaatst worden naar de niet-aangedane zijde, is er sprake van een spanningspneumothorax en is directe behandeling geïndiceerd. Wanneer een pneumothorax zich alleen aan de voorzijde van de thorax bevindt, is deze soms op een thoraxfoto niet te zien en moet de diagnose met een CT-scan of echografie gesteld worden.

Na plaatsing van een thoraxdrain wordt een controlefoto van de thorax gemaakt om de ligging van de drain, eventuele complicaties van de drainplaatsing en de ontplooiing van de long te beoordelen.

Decompensatio cordis

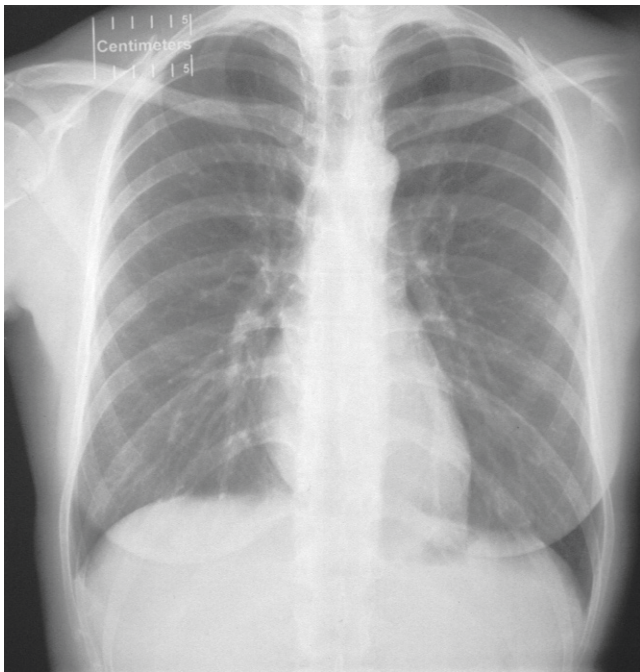
De hartgrootte kan op een achter-voorwaartse thoraxfoto van een staande patiënt gemeten worden met de zogenoemde cardiothoracale index (dwarse diameter van de gehele thorax op het niveau van de rechterdiafragmakoepeel/dwarse diameter van het hart) en is normaal niet groter dan 0,5. Een vergroot hart kan wijzen op hartfalen. Dit is echter een sensitief noch specifiek teken, omdat het hart al pre-existent vergroot kan zijn en omdat bij acute decompensatio cordis het hart nog een normale grootte kan hebben. Daarom is dit teken het meest waardevol als het vergeleken kan worden met eerdere foto's van dezelfde patiënt. Andere tekenen van hartfalen, zoals een versterkte tekening van de longvaten,

Een standaard radiologisch onderzoek van de thorax bestaat uit een achter-voorwaartse (dit is de richting van de röntgenstralen) en een laterale foto (■ Figuur 2.1). Het maken van foto's in twee richtingen vergroot de kans dat een afwijking zichtbaar wordt. Bovendien bieden de opnamen steun bij twijfel, of een verdichting die zichtbaar is in één opnamerichting op een afwijking berust of het gevolg is van overprojectie van normale structuren. Wanneer er sprake is van een bedlegerige patiënt (denk aan IC) wordt volstaan met een foto in één richting, voor-achterwaarts (AP). Let wel! Deze techniek maakt dat het hart op een AP-foto door de techniek van de divergerende röntgenbundel zich groter zal projecteren. Anders gezegd, een AP-foto zal bij een gezonde patiënt een groter hart laten zien dan de standaard PA-foto. Voor de interpretatie van een AP-foto moet hiervoor worden gecorrigeerd.

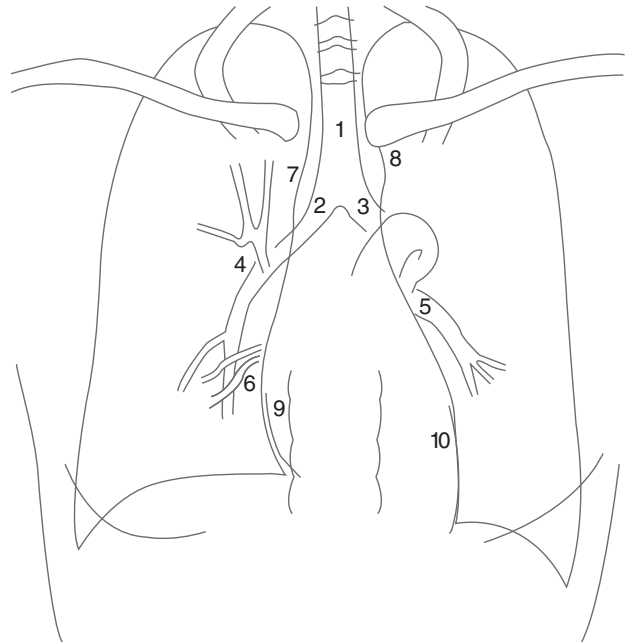
Het radiologische beeld van de long berust vooral op het verschil in contrast tussen het luchthoudende longweefsel en de bloedvaten van de long. Op een normale thoraxfoto zijn in de longen vrijwel alleen waterdensiteiten (pulmonaalarteriën en pulmonaalvenen) en lucht (in bronchiën en alveoli) zichtbaar. De bronchuswanden en het interstitium (het bindweefselapparaat dat de long steunt) dragen slechts weinig bij aan het röntgenbeeld. Van de ongeveer 23 generaties vertakkingen van de pulmonaalarteriën zijn op de thoraxfoto alleen de eerste zes à zeven zichtbaar. Van het hart, mediastinum en de hili zijn op de thoraxfoto met name de contouren goed te beoordelen. De normale mediastinale structuren – alle met waterdensiteit – zijn onderling slechts tot op beperkte hoogte van elkaar te onderscheiden. Pathologie is vooral zichtbaar omdat deze tot een verandering van contour of grensvlak van normale anatomie aanleiding geeft. Dit is vooral het geval wanneer de afwijking grenst aan het mediastinum of het diafragma. Het verdwijnen van een grensvlak heet het *silhouet sign*.

Om een thoraxfoto optimaal te beoordelen geeft de volgende systematische aanpak de beste resultaten. De onderdelen die structureel aan bod dienen te komen, en het liefst in een vaste volgorde, zijn:

- thoraxskelet;
- weke delen buiten de longen;
- pleurale begrenzingen, inclusief diafragmata;



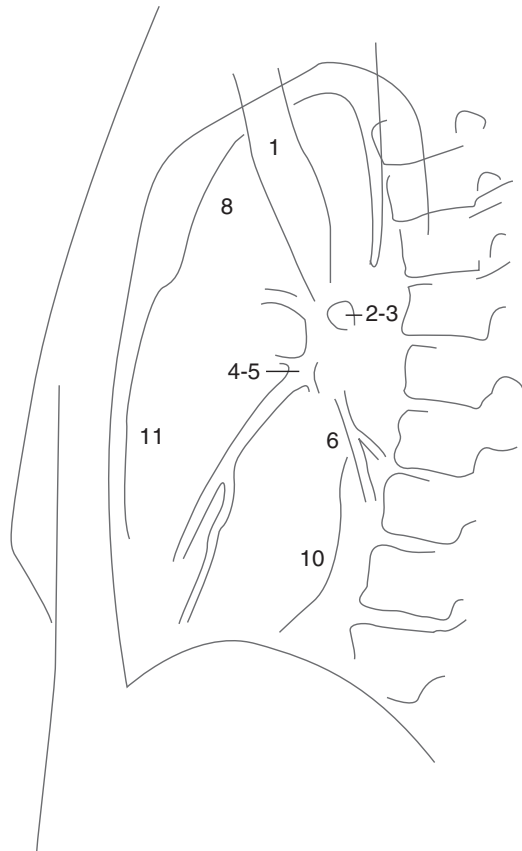
a



b

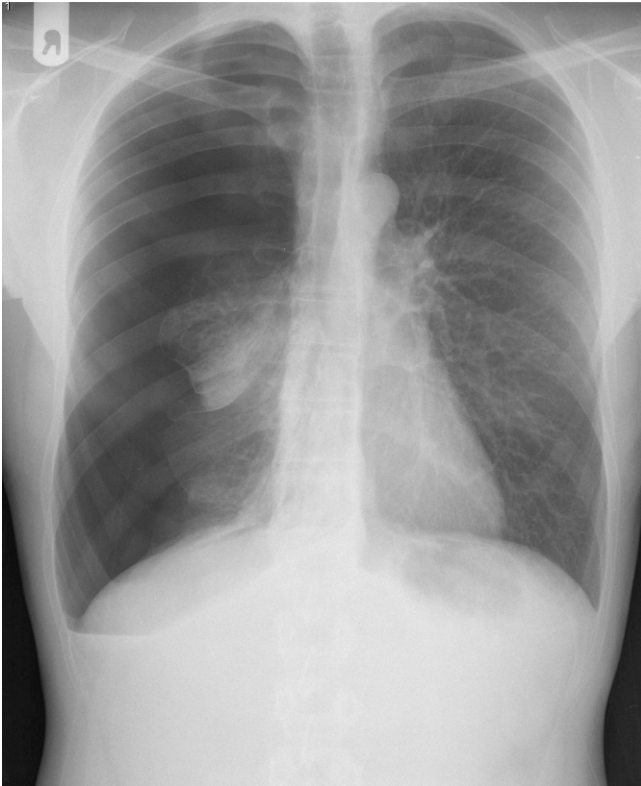


c

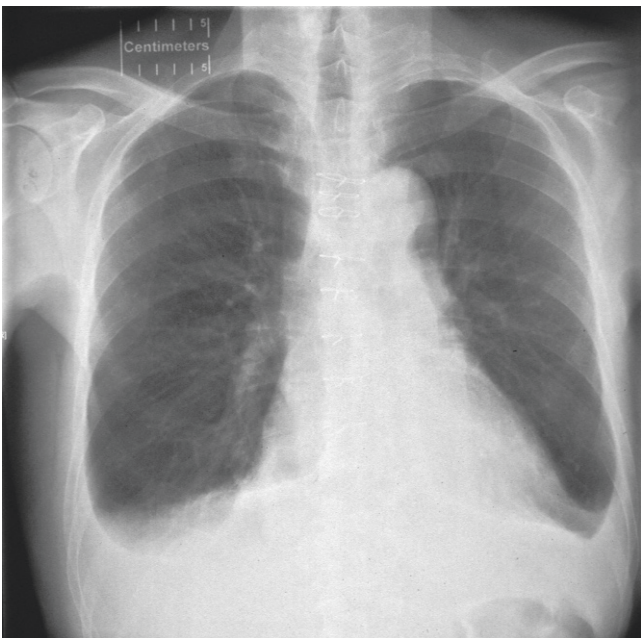


d

Figuur 2.1 Normale thoraxfoto. Achter-voorwaartse (PA) (a, b) en laterale projectie (c, d). 1 Trachea; 2 rechterhoofdbronchus; 3 linkerhoofdbronchus; 4 rechter arteria pulmonalis; 5 linker arteria pulmonalis; 6 venen van de rechteronderkwab; 7 rechter paratracheale lijn; 8 aortaboog; 9 contour van het rechteratrium; 10 contour van het linkerventrikel; 11 contour van het rechterventrikel.



■ **Figuur 2.2** Pneumothorax. Achter-voorwaartse opname bij patiënt in staande houding met pneumothorax rechts. De rechter long is samengevallen en de pleuraholte bevat lucht. De rechterthoraxhelft is veel lichter dan de linkerthoraxhelft en in de rechterthoraxhelft is geen tekening van het longvat zichtbaar.



■ **Figuur 2.3** Pleuravocht. Achter-voorwaartse thoraxfoto met de patiënt in staande houding. De pijlen wijzen op vocht in de beide pleuraholten, zichtbaar als afronding van de costofrenische sinussen.

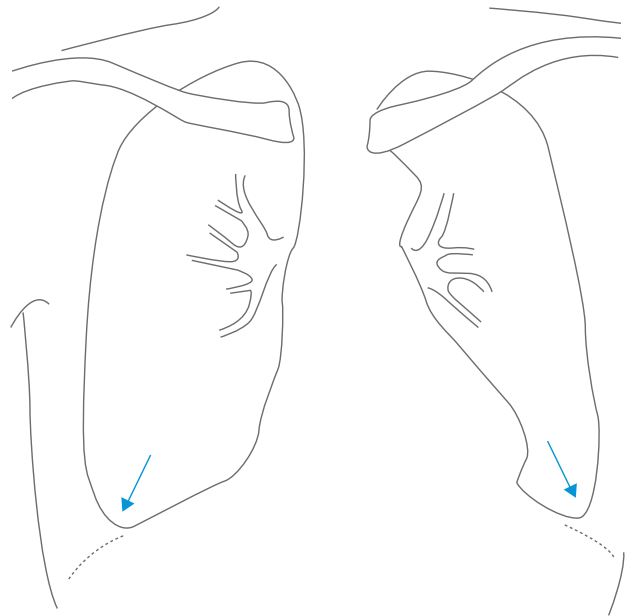
pleuravocht en longoedeem, zijn op de thoraxfoto ook goed te zien. Pleuravocht is meestal zichtbaar als een dense, tegen de thoraxwand oplopende beschaduwing, waardoor de normale diafragmacontouren verdwenen zijn, een voorbeeld van silhouet sign (■ Figuur 2.3). Longoedeem uit zich op de thoraxfoto door fijnvlekkige confluërende (letterlijke betekenis: samenvloeiende) verdichtingen, die zich vooral centraal, rond de hili bevinden. Dit wordt alveolair longoedeem genoemd. Oedeem kan ook lijnvormige verdichtingen met zich meebrengen, die veroorzaakt worden door vocht in septa in het interstitium. Dit wordt interstitieel longoedeem genoemd (■ Figuur 2.4).

Atelectase

Atelectase is op de thoraxfoto goed zichtbaar als een dense, scherp begrensde verdichting, veroorzaakt door de samengevallen (= niet meer luchthoudende) long of longkwab met verplaatsing van hart, mediastinum en/of diafragma naar de aangedane zijde ten gevolge van het volumeverlies van de atelectatische long (■ Figuur 2.5). Omdat de samengevallen kwab of long tegen het mediastinum aanligt, bestaat er vaak een *silhouet sign*. Het niet-atelectatische deel van de long kan door hyperinflatie lucenter zijn dan normaal. De oorzaak van een atelectase, bijvoorbeeld een onderliggende tumor die een lobaire bronchus afsluit, is slechts op een deel van de thoraxfoto's zichtbaar.

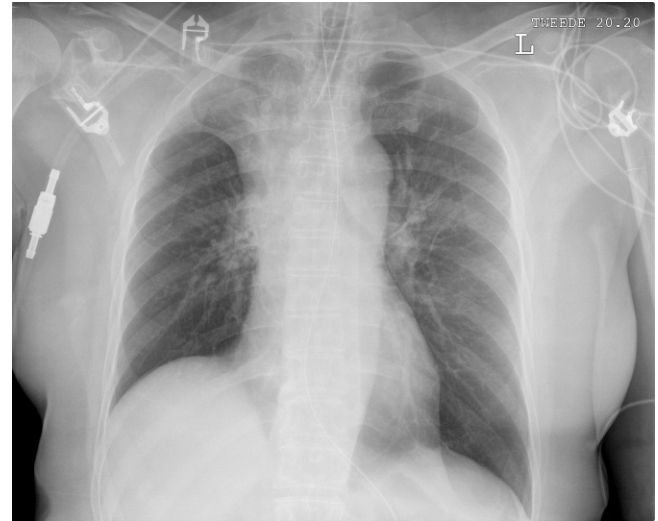
Longinfectie

Longinfecties kunnen zich op verschillende manieren op een thoraxfoto uiten. Een thoraxfoto heeft een hoge sensitiviteit voor het vaststellen van een bacteriële lobaire pneumonie (■ Figuur 2.6). Deze is zichtbaar als een dense consolidatie van een longkwab met daarin luchtbronchogrammen. Bij een *community acquired* pneumonie is het altijd van belang om te kijken of er aanwijn-





Figuur 2.4 Longoedeem. Voor-achterwaartse thoraxfoto bij patiënt in zittende houding met acute decompensatio cordis toont beiderzijds een versterkte streperige tekening in beide longen ten gevolge van interstitieel longoedeem. Het hart is niet vergroot.



Figuur 2.5 Atelectase. Thoraxfoto (voor-achterwaarts) bij beademde intensievecarepatiënt in liggende houding toont atelectase van de rechterbovenkwab. Scherp begrensde beschaduwing ter plaatse van de bovenkwab rechts met silhouet sign van rechter mediastinum superius en hoogstand van rechterdiafragma als uiting van volumeverlies. Veelvuldig is de oorzaak hiervan een mucusplug die bronchoscopisch verwijderd kan worden.

gen zijn voor een postobstructiepneumonie bij een onderliggende longtumor. Soms is er al een abnormale contour van de consolidatie zichtbaar, die een aanwijzing vormt voor een onderliggende tumor. Wanneer er echter geen tumor zichtbaar is en de afwijkingen op de röntgenfoto ondanks adequate antibiotische behandeling niet verbeteren, moet een tumor met behulp van een aanvullende CT-scan uitgesloten worden.



Figuur 2.6 Pneumonie. Achter-voorwaartse thoraxfoto van patiënt in staande houding met consolidatie in de rechterlong ten gevolge van een pneumonie.

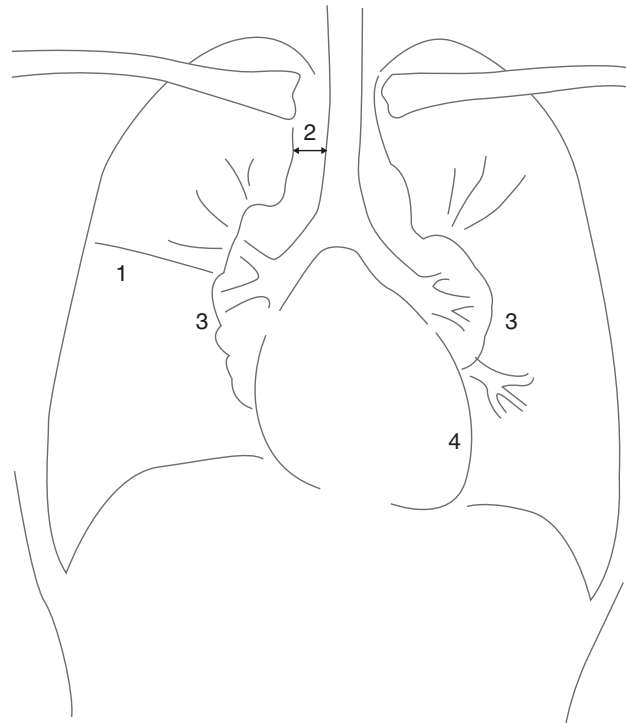
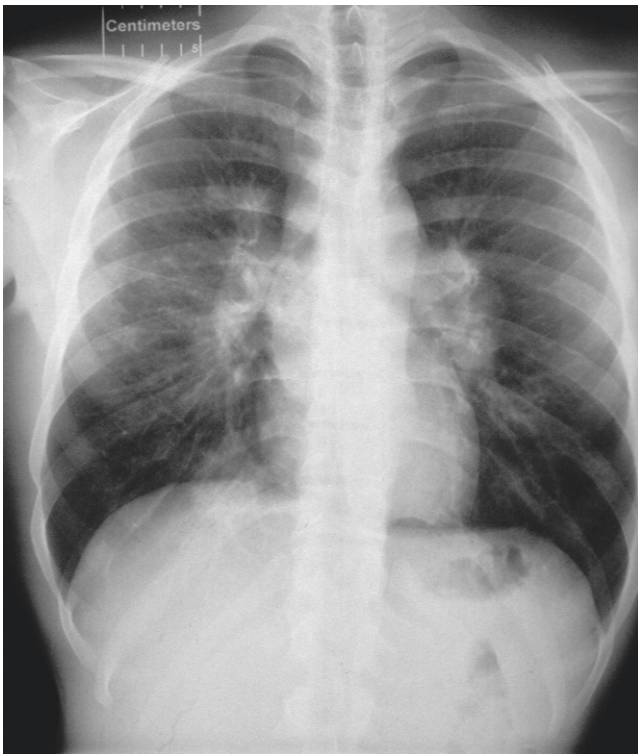
Tuberculose uit zich in geval van een primaire infectie op de thoraxfoto meestal als een consolidatie, vaker in de onderkwab dan in bovenkwab, met hierbij lymfadenopathie in hilus en mediastinum aan dezelfde zijde. Soms is hierbij ook pleuravocht zichtbaar. Bij een postprimaire tuberculose zijn ook consolidaties zichtbaar die zich in vergelijking met de primaire tuberculose vaker in de bovenkwabben of bovenste segmenten van de onderkwabben bevinden. Hierbij staat lymfadenopathie veel minder op de voorgrond dan bij primaire tuberculose. Wanneer er een hematogene verspreiding is van postprimaire tuberculose, kan het beeld van *miliaire tuberculose* ontstaan, waarbij op de foto talloze kleine nodulaire laesies in beide longen zichtbaar zijn. Als restafwijking na doorgemaakte tuberculose zijn op thoraxfoto's vaak verkalkte nodi zichtbaar, de zogenoemde granulomen, en soms zijn er tekenen van fibrose zichtbaar.

Wanneer een pneumonie veroorzaakt wordt door een virus of *Mycoplasma*, laat de thoraxfoto meestal diffuse fijnvlekkige, confluërende afwijkingen in beide longen zien. Meestal wordt dit beeld als 'atypische' pneumonie beschreven.

Bij immuungecompromitteerde patiënten is de sensitiviteit van de thoraxfoto voor een longinfectie geringer, omdat hierbij meestal minder dense afwijkingen in de longen ontstaan. In zulke gevallen heeft een CT-scan van de thorax een hogere opbrengst.

Tumor

Bij de detectie en follow-up van een primaire longtumor of longmetastasen van een primaire tumor buiten de longen speelt de thoraxfoto een belangrijke rol. Metastasen zijn meestal zichtbaar als nodulaire verdichtingen, die scherp begrensd zijn. Een primair bronchuscarcinoom is meestal een nodus of massa met minder scherpe begrenzing en sprieterige uitlopers. Bij het kleincellig bronchuscarcinoom is de primaire tumor op de thoraxfoto vaak



Figuur 2.7 Sarcoidose. Voorbeelden van contour en lijn. 1 Fijne interlobaire lijn; 2 abnormaal verbrede rechter paratracheale lijn door vergrote mediastinale lymfeklieren; 3 contour van abnormaal vergrote lymfeklieren in de longhili; 4 normale contour van het linkerventrikel.

niet goed zichtbaar, maar is hilusvergroting door lymfekliermetastasen de opvallendste bevinding.

De sensitiviteit voor zeer kleine tumoren en voor tumoren die achter mediastinum, hili of diafragma ‘schuilgaan’, is beperkt. Voor de stadiëring van een longtumor is de thoraxfoto ongeschikt, omdat lokale tumoruitbreiding (ingroei omliggende structuren), lymfeklierstatus en de aanwezigheid van afstandsmetastasen niet goed beoordeeld kunnen worden. Hiervoor is (PET-)CT de techniek van keuze. Hierbij dient behalve de thorax ook de bovenbuik geëvalueerd te worden, wegens de kans op metastasen in lever en bijnieren.

Het bronchoalveolair celcarcinoom is op de thoraxfoto vaak zichtbaar als een onscherp begrensd verdichting met soms ook luchtbronchogrammen en kan gemakkelijk met een longinfectie verward worden. Wanneer een longtumor op de thoraxfoto goed zichtbaar en meetbaar is, kunnen follow-up tijdens de behandeling en het aantonen van complicaties van de behandeling ook met de thoraxfoto gedaan worden. Wanneer de afwijkingen op de thoraxfoto niet goed zichtbaar of meetbaar zijn, moet follow-up met CT-scan gebeuren.

Diffuse longziekten

Sarcoidose kan afhankelijk van het stadium op verschillende manieren op de thoraxfoto tot uiting komen (Figuur 2.7). Aanvankelijk is er vaak symmetrische mediastinale en dubbelzijdig hilare lymfadenopathie zichtbaar, later vaak diffuse nodulaire longafwijkingen of een combinatie van lymfadenopathie en longafwijkingen. In een later stadium kunnen streperige afwijkingen en volumeverlies ontstaan als uiting van longfibrose. In de lymfe-

klieren kunnen – op de thoraxfoto zichtbare – verkalkingen ontstaan.

Andere diffuse longziekten, zoals de interstitiële pneumonieën, veroorzaken fijnvlekkige of diffuse streperige afwijkingen en volumeverlies in geval van fibrose, en de thoraxfoto is geschikt voor follow-up en monitoring van complicaties. Een CT-scan van de thorax heeft een hogere sensitiviteit en specificiteit voor het stellen van de diagnose.

Emfyseem/COPD

De thoraxfoto heeft een matige sensitiviteit voor detectie van emfyseem en COPD en kan die slecht kwantificeren. De thoraxfoto is vooral geschikt voor follow-up en het evalueren van (bijvoorbeeld infectieuze) complicaties. Emfyseem kan op de thoraxfoto zichtbaar zijn door de aanwezigheid van bullae (zeer dunwandige holten zonder tekening van het longvat), een verminderde tekening van het longvat, hyperlucentie en tekenen van hyperinflatie, zoals afvlakking van diafragmaoepels en een vergrote voor-achterwaartse thoraxdiameter op de laterale opname. Bij de diagnostiek van astma heeft de thoraxfoto weinig waarde, anders dan uitsluiten van een complicatie als een pneumonie of pneumothorax.

De thoraxfoto bij intensiverepatiënten

Bij intensiverepatiënten worden regelmatig thoraxfoto's gemaakt. Bij de beoordeling ervan is er een vaste structuur waarbij een aantal vaste aspecten aan bod komt. Dit zijn onder andere de ligging van de beademingstube (boven de carina), centraal venieuze lijnen (bij voorkeur in de vena cava superior), swan-ganz-

katheter, thoraxdrains, maagsonde en eventueel andere lijnen. Verder zijn complicaties van de eventuele beademing, lijnplaat-singen en andere interventies (pneumothorax/hematothorax) belangrijk, evenals longinfecties, atelectase (bijvoorbeeld door een mucusplug), pleuravocht en de ontwikkeling van ARDS (*acute respiratory distress syndrome*). Bij ARDS ontstaan op de thoraxfoto diffuse fijnvlekkige afwijkingen in beide longen, waar-bij op grond van de foto differentiatie met longinfectie en long-oedeem, door bijvoorbeeld decompensatio cordis, niet goed te maken is. Klinische parameters zijn hierbij belangrijker dan de thoraxfoto. De vergelijking met voorgaande foto's is bij de beoor-deling van intensiverecarefoto's essentieel. Een beperking is het feit dat het om liggende patiënten gaat en er dus altijd een thoraxfoto in slechts één richting gemaakt wordt.

Thoraxskelet.

Voor de laterale opname van de thoracale wervelkolom is uiter-mate geschikte om (vaak subklinische) fracturen ten gevolgen van osteoporose op te sporen. Aangezien het hebben van een osteo-porotische fractuur de belangrijkste voorspeller is voor het krij-gen van een nieuwe osteoporotische fractuur, kan de patiënt veel baat hebben bij het detecteren van een subklinische wervelfrac-tuur.

Een tweede uit te sluiten diagnose is een spondylodiscitis, een ontsteking van de ossale structuren van de wervelkolom. Een ver-smalling van de ruimte tussen twee wervelcorpora gepaard gaande met aantasting van de grens van een wervel is het belang-rijkste kenmerk.

Beperkingen van de thoraxfoto

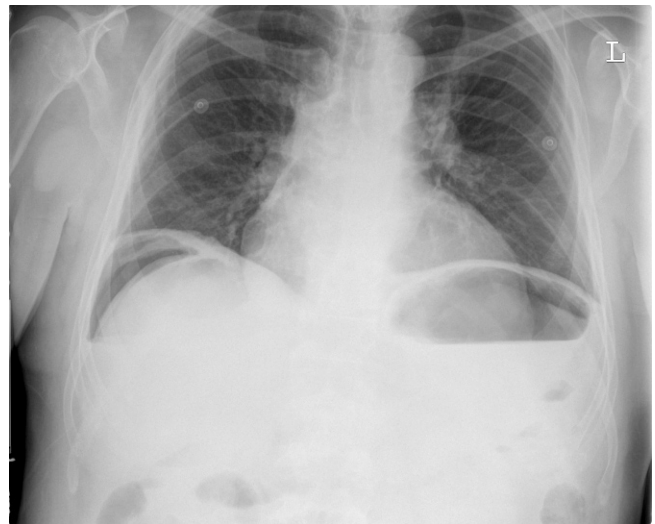
Voor vrijwel alle thoraxafwijkingen heeft de CT-scan een hogere sensitiviteit en specificiteit dan de thoraxfoto. Omdat een CT-scan echter met veel meer röntgenstraling gepaard gaat en bovendien meer belastend, minder gemakkelijk beschikbaar en duurder is dan de thoraxfoto, is de thoraxfoto in veel situaties toch de techniek van keuze. Voor sommige ziektebeelden is de waarde van de thoraxfoto echter zo beperkt, dat een CT-scan het onder-zoek van keuze is.

Longembolie

Op de thoraxfoto kunnen secundaire tekenen van een longem-bolie, zoals pleuravocht, plaatselijk verminderde tekening van het longvat en wigvormige verdichtingen ten gevolge van een long-infarct, zichtbaar zijn, maar de longembolie zelf kan niet vastge-steld worden. De sensitiviteit en specificiteit voor de diagnose longembolie van deze secundaire tekenen zijn zeer laag en de thoraxfoto is voor het uitsluiten van een longembolie dus onge-schikt. Wel kan de thoraxfoto andere ziektebeelden die op grond van de klinische verschijnselen in de differentiële diagnose staan (zoals pleurapneumonie), uitsluiten.

Aorta-afwijkingen

De aortacontour op de thoraxfoto kan wel een indicatie geven van de aanwezigheid van een aneurysma, maar exacte informatie over de diameter en/of de aanwezigheid van een ruptuur kan niet ver-kregen worden. Niet de gehele aorta wordt immers door lucht afgegrensd, waardoor niet alle grenzen zichtbaar zijn. Andere



■ **Figuur 2.8** Vrij lucht. 'Laag ingeschoten' voor-achterwaartse thoraxfoto van een zittende patiënt toont vrij lucht links en rechts onder het diafragma bij een patiënt met een maagperforatie.

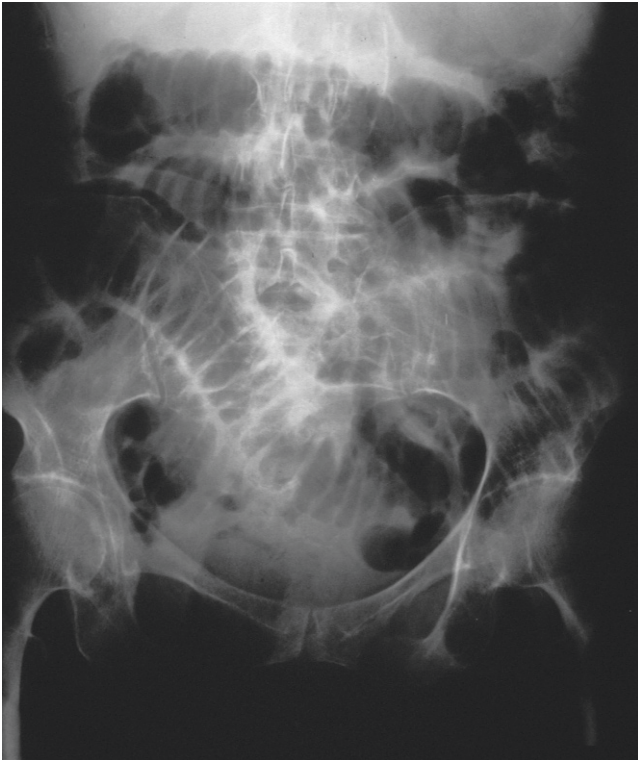
acute aorta-afwijkingen, zoals dissectie of een intramuraal hema-toom, kunnen met de thoraxfoto niet vastgesteld worden. Voor al deze afwijkingen is een CT-scan van de thorax het onderzoek van keuze.

2.2.3 De buikoverzichtsfoto (BOZ)

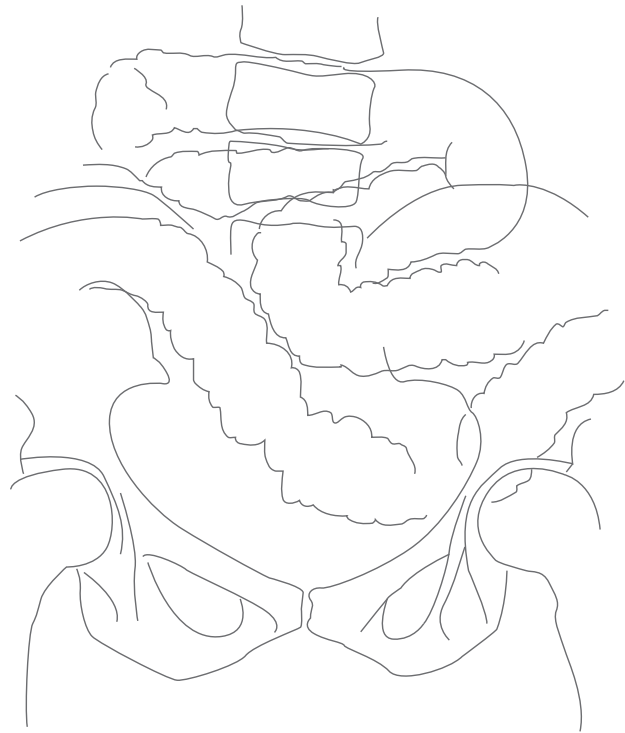
Voor een buikoverzichtsfoto (BOZ) worden in de regel voor-ach-terwaartse opnamen gemaakt: staand of met de patiënt in ruglig-ging en in geval van een bedlegerige patiënt een foto met de patiënt in linkerzijligging en met een horizontale stralengang. De BOZ heeft echter een beperkte waarde, en moet bij slechts een gelimiteerde indicatie worden aangevraagd.

Vrij lucht als uiting van perforatie van een hol orgaan is op een BOZ (vooral op de foto in linkerzijligging met horizontale stralengang) goed zichtbaar, hoewel een thoraxfoto van een staande patiënt hiervoor nog meer geschikt is (■ Figuur 2.8). Di-lataties van darmlijnen en de aanwezigheid van veel luchtvloei-stofspiegels in uitgezette darmlijnen op een foto in zijligging met horizontale stralengang of een BOZ van een staande patiënt kun-nen steun geven aan de klinische diagnose ileus (■ Figuur 2.9). Verder kan de BOZ nuttige informatie geven over de ligging van drains, lijnen, sondes en andere corpora aliena. Eventueel kan jodium of barium via de drains etc. worden toegediend voor een exacte vaststelling van de ligging.

Verkalkte nierstenen zijn op de BOZ goed zichtbaar, maar een minderheid van de nierstenen is niet verkalkt en dus niet zicht-baar. De meeste galstenen zijn niet verkalkt en dus op de BOZ niet zichtbaar. Voor het aantonen van zowel nier- als galstenen is echografie veel geschikter dan de BOZ. Er bestaan eigenlijk geen andere indicaties voor een BOZ, vooral bij patiënten met acute buikpijnklachten en voor de diagnose obstipatie in de volwassen populatie heeft de BOZ nauwelijks waarde.



■ **Figuur 2.9** Ileus. Buikoverzichtsfoto van een liggende patiënt toont abnormaal verwijde dunnedarmlijzen bij een ileus. Oorzaak was een adhesie na eerdere buikoperatie.



2.2.4 Conventionele skeletradiologie

Zoals in de inleiding al is aangegeven, is een basisregel van de skeletradiologie dat er foto's in twee richtingen worden gemaakt, bij voorkeur loodrecht op elkaar. Hier gelden dezelfde overwegingen die genoemd zijn bij het röntgenonderzoek van de thorax. De foto's bevatten informatie over de vorm, botstructuur en stand van de gewrichten. De beoordeling van de ossale structuren kent ook een systematische aanpak: men kijkt naar de dikte en het intact zijn van de cortex, de densiteit van het bot en de botbalkjes, en bij de gewrichten de onderlinge verhouding en de uniforme breedte van de gewrichtsspleet. Hoewel het beenmerg primair wordt afgebeeld op een röntgenfoto van zowel de lange pijpbeenderen als het axiale skelet, is alleen pathologie in het merg die botafwijkingen veroorzaakt zichtbaar. Wanneer botafwijkingen op een conventionele foto zwart/donker zijn, wordt vaak van een *lytische* afwijking gesproken; wanneer afwijkingen wit/licht zijn, wordt dit vaak een *sclerotische* afwijking genoemd. Er moet een vrij groot deel van het bot (vuistregel, meer dan 60%) zijn aangetast, voordat dit op een röntgenfoto zichtbaar wordt. Anders gezegd, wanneer een lucent letsel zichtbaar is in een botstructuur, is meer dan de helft van de betreffende botstructuur ingenomen door afwijkend weefsel en moet het risico van een pathologische fractuur overwogen worden.

Indicaties

De meest voorkomende afwijkingen in de interne geneeskunde waarbij skeletfoto's een belangrijke rol spelen, worden in de volgende paragrafen beschreven.

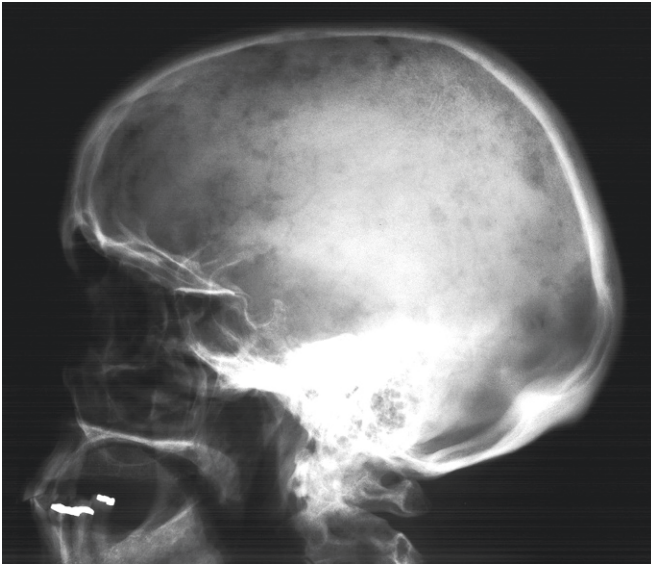
Trauma

Conventionele skeletfoto's hebben een zeer hoge sensitiviteit en specificiteit voor de meeste fracturen van de extremiteiten. Een uitzondering zijn fracturen of luxaties in de pols of midvoet, die soms gemist kunnen worden op een skeletfoto. Om die reden kan bij verdenking hierop aanvullend onderzoek nodig zijn. De sensitiviteit van de skeletfoto voor traumatisch letsel van de wervelkolom is beperkt en bij twijfel is frequent aanvullend onderzoek met CT-scan nodig. Bij fracturen die een intra-articulair verloop hebben, is CT-scan vaak noodzakelijk om het beste behandelplan te kunnen opstellen.

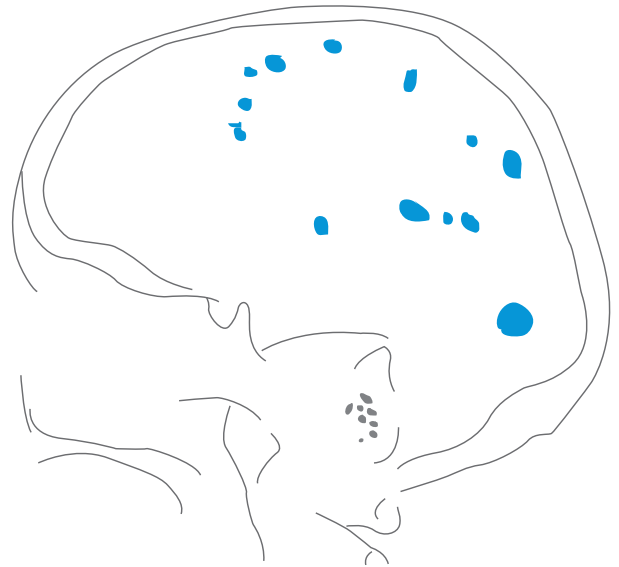
Infectie

Osteomyelitis is in de acute fase op een skeletfoto meestal niet zichtbaar, maar bij verdere evolutie van het ziektebeeld zijn periostale verdikking en ophelderingen in het bot zichtbaar, vaak gerelateerd aan een ulcus van de huid (■ Figuur 2.10). MRI-scan en skeletscintigrafie hebben een hogere sensitiviteit voor acute osteomyelitis. Bij chronische osteomyelitis ontstaat hierbij ook reactieve botvorming met toegenomen densiteit en verdikking van de cortex.

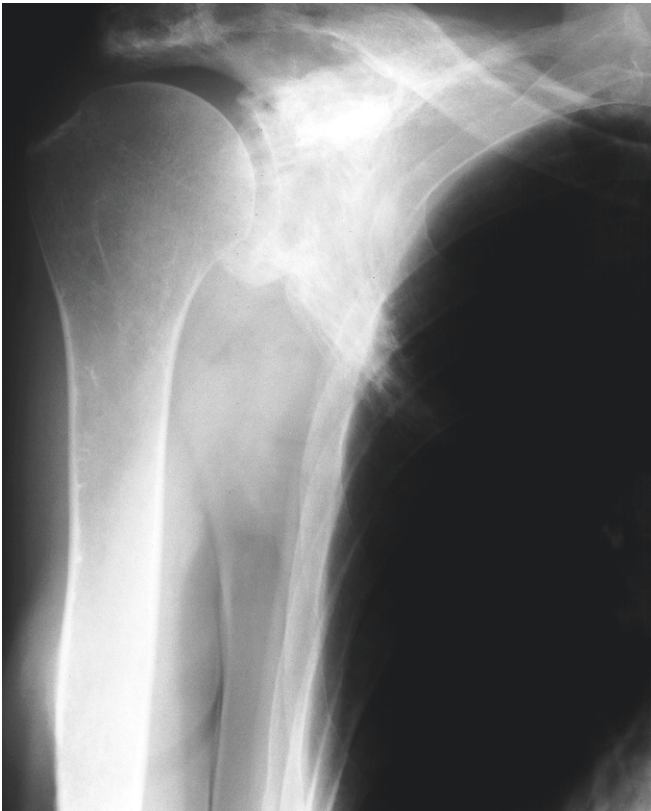
Septische artritis is op de skeletfoto zichtbaar als snel progressieve botontkalking (toegenomen lucentie) door hyperemie en



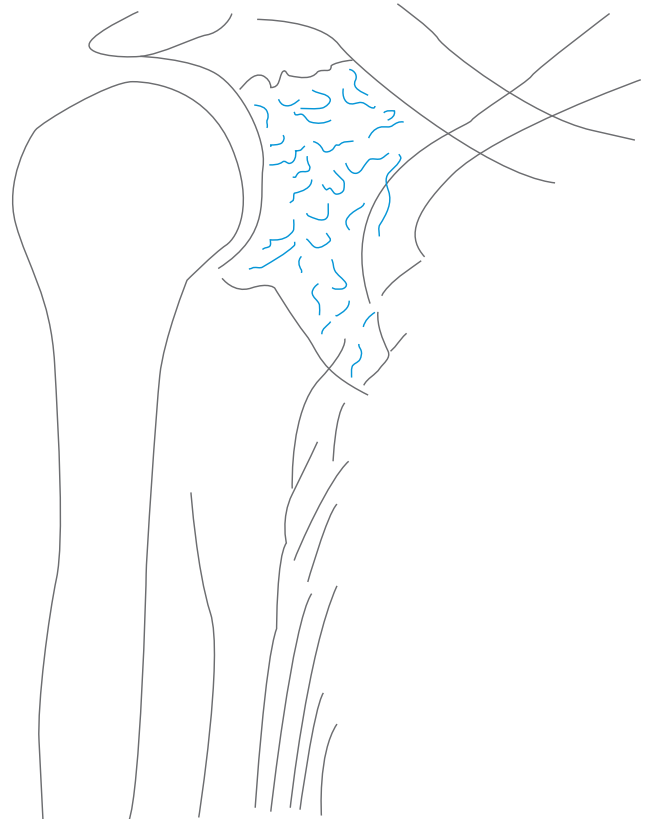
a



b



c



d

Figuur 2.10 Osteolytische en sclerotische laesies.
a, b Plasmocytoom. Lytische laesies in het schedeldak. c, d Ziekte van Paget van de scapula. Sclerotische botstructuur.

destructie van het gewricht, met snelle gewrichtsspleetversmaling en destructie van het bot grenzend aan het gewricht en/of een verwijde gewrichtsspleet als uiting van een gewrichtseffusie.

Niet-septische artritis

Reumatoïde artritis geeft het meest frequent afwijkingen in handen en voeten, waarbij afhankelijk van het stadium van de ziekte een spectrum aan afwijkingen te zien is, bestaande uit gewrichtsspleetverwijding (effusie) en in latere instantie gewrichtsspleet-

versmalling (kraakbeenverlies), wekedelenzwellung rond de gewrichten, lucentie door hyperemie, erosies en ten slotte standsafwijkingen. De röntgenfoto speelt een grote rol in diagnostiek en follow-up van de niet-septische artritiden, met name reumatoïde artritis en kristalartropathieën. Voor vroegdiagnostiek zijn MRI of echografie echter meer geschikt.

Tumor

Skeletmetastasen kunnen op skeletfoto's zowel sclerotisch (toegenomen densiteit) als lucent (afgenomen densiteit) of gemengd sclerotisch/lucent zijn, afhankelijk van het type primaire tumor. Agressieve, snelgroeiende tumoren veroorzaken een onscherpe begrenzing van de afwijking, terwijl langzaam groeiende tumoren scherp begrensd kunnen zijn en omgeven door een sclerotische rand, ten gevolge van reactieve botvorming. Voor het 'screenen' op skeletmetastasen in het kader van tumorstadiëring zijn röntgenfoto's ongeschikt. Voor de meeste typen skeletmetastasen geldt dat MRI, CT en skeletscintigrafie een hogere sensitiviteit hebben. Voor de analyse en follow-up van het multipel myeloom is de zogeheten 'low-dose whole-body CT-scan' de modaliteit van keuze en deze heeft de conventionele skeletfoto's vervangen.

2.2.5 Mammografie

Een mammogram is een radiologische afbeelding van de borstklier, waarvoor toestellen met een aangepaste vormgeving en röntgenbuis gebruikt worden.

De meeste mammatumoren worden gezien als verdichtingen met onscherpe, onregelmatige contouren. In een minderheid van de gevallen wordt geen tumormassa gezien, maar kleine, karakteristieke verkalkingen. Soms is er een combinatie van beide bevindingen. Met mammografie kunnen de meeste tumoren worden aangetoond die groter zijn dan 1 cm. Mammografie heeft een zeer hoge sensitiviteit en specificiteit voor de detectie van mammatumoren. Afwijkingen in de mamma kunnen met behulp van stereotaxie (röntgenlokalisatie) of onder echogeleiding zeer nauwkeurig gebiopteerd worden voor cytologisch of histologisch onderzoek.

Casuïstiek ntv Nederlandsche Tijdschrift voor Geneeskunde

- Beeldvormende technieken bij siliconenborstprothesen
- Mammadiagnostiek: integratie pathologie en radiologie

2.3 Computertomografie (CT-scan)

Kernpunten

- Een CT-scan van de thorax is voor de meeste thoracale ziektebeelden sensitiever en specifiekere dan een thoraxfoto, maar gaat gepaard met een veel hogere stralingsdosis dan een röntgenfoto en is daarom vaak pas als tweedelijstest geïndiceerd.
- Een CT-scan van de thorax met intraveneus contrast is de test van keuze voor de diagnose longembolie en de acute thoracale aortasyndromen (ruptuur, dissectie, intramuraal hematoom).
- HRCT (*high resolution* computertomografie) van de thorax is geschikt voor het evalueren van diffuse longziekten zoals sarcoïdose of interstitiële pneumonieën en voor het vaststellen van longinfecties bij immuungecompromiteerde patiënten.
- Een CT-scan van het abdomen is zeer sensitief en specifiek voor de diagnosen appendicitis acuta, diverticulitis, intra-abdominaal abces, symptomatische uretersteen, darmperforatie en intra-abdominale bloeding, maar is in veel gevallen pas geïndiceerd wanneer echografie van de buik niet conclusief is.
- Voor de diagnose aneurysma van de aorta abdominalis is echografie het onderzoek van keuze, maar voor de diagnose ruptuur van het aneurysma van de aorta abdominalis is CT het onderzoek van keuze.
- CT is zeer geschikt voor de detectie van de meeste arteriële bloedingen in thorax, abdomen en bekken. De sensitiviteit van CT voor de meeste arteriële bloedingen is gelijk aan die van angiografie.
- CT-scan heeft een grote stralenbelasting. Overleg omtrent indicaties in relatie tot frequentie van vervaardigen wordt geadviseerd.

2.3.1 Fysica en techniek

In een CT-scanner roteert de röntgenbuis rond het lichaam van de patiënt en zendt een smalle stralenbundel uit. De tafel waarop de patiënt ligt, wordt tijdens de rotatie van de röntgenbuis continu verplaatst. Zo ontstaat een spiraalvormige acquisitie van data in een volume van het lichaam, de spiraal CT. Door de snelheid van acquisitie kan een groot deel van het lichaam in zeer korte tijd – bijvoorbeeld tijdens één ademstilstand – gescand worden.

Ieder blokje weefsel in het afgebeelde lichaamssegment heeft de röntgenstraling in meer of mindere mate geabsorbeerd. De absorptie in het lichaam wordt gemeten door verschillende detectoren onder een groot aantal hoeken. De verschillen in röntgendoorlaatbaarheid worden aan een computer doorgegeven en gecorrigeerd voor de plaats in het lichaam. De stralingsabsorptie wordt door de computer voor ieder blokje weefsel uitgerekend en uitgedrukt in hounsfieldeenheden. Hierbij krijgt lucht de vaste waarde van -1000 en water de vaste waarde van 0. Met behulp van computeralgoritmen wordt vervolgens een beeld gevormd

van een doorsnede van het lichaam en dit wordt in grijstinten weergegeven. De beelden kunnen in verschillende settings worden bekeken, bijvoorbeeld longsetting, wekedelensetting of skelsetting. De axiale (dwarse) beelden kunnen vervolgens in verschillende richtingen worden gereconstrueerd om de interpretatie te vergemakkelijken. Tevens kunnen met behulp van 'post-processing' reconstructies gemaakt worden, waarbij de zichtbare grijstinten zodanig verdeeld worden, dat er een optimale analyse mogelijk is van specifieke organen of structuren, zoals bloedvaten ('CT-angiografie') of skelet.

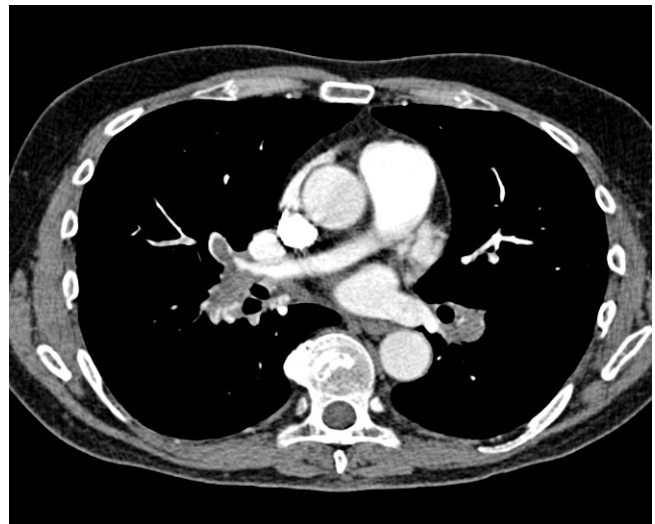
CT kan veel meer contrastverschillen in de weke delen weergeven dan conventionele röntgenfoto's. Door intraveneuze toediening van contrastmiddelen tijdens het onderzoek kunnen deze contrasten nog veel verder toenemen. De aankleuring door het contrastmiddel kan structuren duidelijker zichtbaar maken en de snelheid van aankleuring, het soort aankleuring (bijvoorbeeld in de gehele afwijking of alleen op sommige plaatsen in de afwijking) en het weer afnemen van de aankleuring, de zogenoemde 'uitwas' van contrastmiddel, kunnen ook helpen bij het karakteriseren van afwijkingen. Soms is het nodig een gebied meerdere keren ('dynamisch') te scannen om zo het verloop van contrastaankleuring en uitwas te kunnen beoordelen. De scan wordt – afhankelijk van het soort onderzoek – in het algemeen gemaakt tussen de vijftien seconden en enkele minuten na injectie van het contrastmiddel. Om het contrast tussen darmwand en darmlumen te verbeteren, is het soms nodig contrastmiddel te drinken voorafgaande aan de scan. Structuren die op een CT-scan als licht worden weergegeven, worden *hyperdens* genoemd en structuren die als donker worden weergegeven, worden *hypodens* genoemd. De meeste ziekenhuizen hebben protocollen, waarbij per type onderzoek aangegeven is of er oraal contrastmiddel en/of intraveneus contrastmiddel nodig is bij het doen van het CT-onderzoek. Ieder CT-scanonderzoek van de buik heeft een significante stralenbelasting. Veelvuldige CT-scans (meerdere fasen) of frequent vervaardigen van CT-scans (IC-patiënt) betekent voor de betreffende patiënt een grote cumulatieve stralenbelasting. Laagdremelig overleg tussen aanvrager en radioloog omtrent de keuze van protocol en frequentie van vervaardigen van CTB (computed tomographic scans of the brain) CT-scans en de overweging van diagnostische alternatieven wordt derhalve geadviseerd.

2.3.2 Indicaties

De meest voorkomende ziektebeelden waarbij CT een belangrijke rol bij de diagnostiek speelt, worden in de volgende paragrafen beschreven.

Longembolie

CT is het onderzoek van keuze bij verdenking op longembolie (■ Figuur 2.11). Bij dit onderzoek wordt de injectie van het intraveneuze contrastmiddel zo getimed, dat er tijdens de scan optimale aankleuring bestaat van de arteria pulmonalis en zijvertakkingen. Tot op segmentaal niveau zijn longembolieën met een zeer hoge sensitiviteit als hypodense (donkere) contrastuitsparingen in de arteria pulmonalistakken te zien. Wanneer embolieën zich uitsluitend op subsegmentaal niveau bevinden, ligt de sensi-



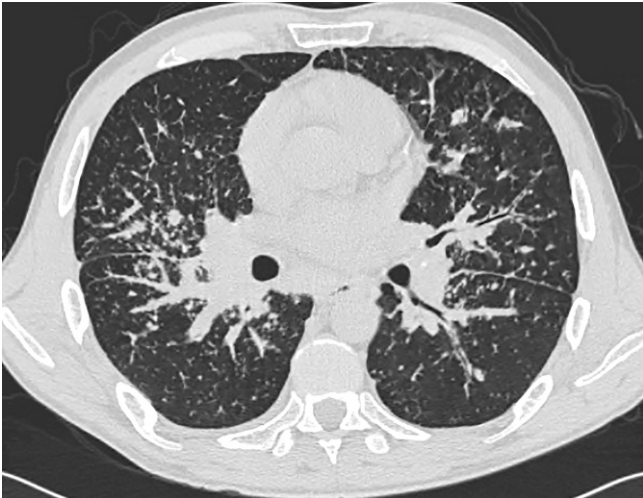
■ Figuur 2.11 Longembolie. CT-scan met intraveneus contrast toont hypodense uitsparingen in het contrast centraal in linker en rechter arteria pulmonalis, passend bij grote longembolieën.

tiviteit iets lager, maar dit komt slechts in een kleine minderheid van de gevallen voor. Bij afwezigheid van longembolieën is vaak een alternatieve diagnose te stellen, die de klachten van de patiënt verklaart op de CT. De CT-scan heeft op grond van klinische beslisseregels en de D-dimeer een duidelijke plaats in het diagnostische algoritme bij verdenking op longembolie.

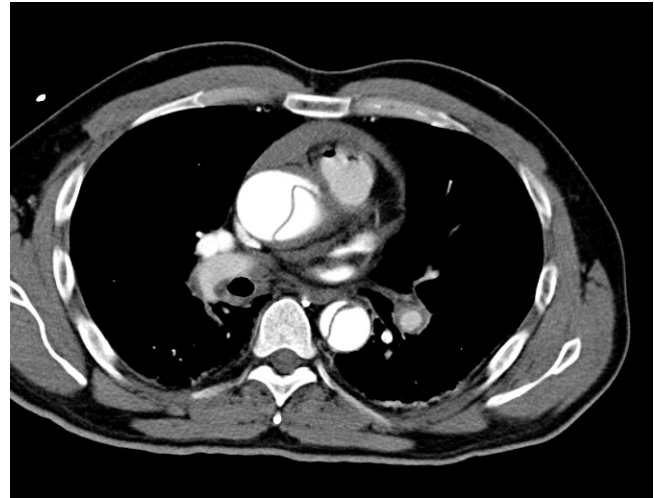
Diffuse longziekten

Met *high resolution computertomografie* (HRCT) van de longen is het longparenchym tot op anatomisch niveau van de secundaire pulmonale lobulus te bekijken en de distributie van longafwijkingen in de lobuli en in de gehele long geeft informatie die op de thoraxfoto niet zichtbaar is. Zo is goed vast te stellen of afwijkingen zich vooral rond de luchtwegen, de bloedvaten of in het interstitium bevinden. De aanwezigheid van 'tractiebronchiëctasieën' (irregulaire bronchiëctasieën veroorzaakt door fibrose in het interstitium rond de luchtwegen) is specifiek voor de aanwezigheid van fibrose in de longen. Er wordt bij HRCT geen intraveneus contrastmiddel gegeven, omdat er in de long al erg veel contrast bestaat tussen lucht en vaten. HRCT heeft een hoge sensitiviteit en een redelijke specificiteit voor het evalueren van veel diffuse longziekten, zoals luchtwegziekte, emfyseem, interstitiële pneumonieën, longbetrokkenheid bij collageenvasculaire ziekten, lymfangitis carcinomatosa en infecties bij immuungecompromitteerde patiënten. Bij sarcoïdose met longbetrokkenheid is behalve de sensitiviteit de specificiteit van HRCT erg hoog, omdat sarcoïdose een typisch verspreidingspatroon heeft, waarbij fijn-nodulaire afwijkingen vooral subpleuraal, langs de fissuren en peribronchovasculair gelokaliseerd zijn (■ Figuur 2.12). Dit wordt een *perilymfatisch* verspreidingspatroon genoemd. Tevens kan HRCT bij patiënten met bekende sarcoïdose informatie over de aanwezigheid van ziekteactiviteit geven.

HRCT is ook geschikt voor het vaststellen van opportunistische infecties, zoals schimmelinfecties bij immuungecompromit-



■ **Figuur 2.12** Sarkoïdose. HRCT-scan van de thorax toont uitgebreide fijn-nodulaire afwijkingen in beide longen, vooral rond de grote vaten en langs de fissuren. Tevens is er sprake van dubbelzijdige hilaire lymfadenopathie. Het beeld is typisch voor sarkoïdose.



■ **Figuur 2.13** Aortadissectie. CT-scan van de thorax met intraveneus contrast laat een aortadissectie zien, die zich zowel in de aorta ascendens als in de aorta descendens bevindt. De losliggende intima is zichtbaar en er is vulling met contrast van zowel het ware lumen van de aorta als het valse lumen. Tevens is er pericardvocht zichtbaar.

teerde patiënten. Bij deze patiëntengroep heeft de conventionele thoraxfoto een veel lagere sensitiviteit en specificiteit.

Acute thoracale aortasyndromen

Voor aneurysmata van de aorta, geruptureerde aneurysmata, intramurale hematomen en aortadissecties inclusief de uitbreiding en betrokkenheid van andere organen, is CT het onderzoek van keuze. Op de CT-scan kunnen de diameters van een aneurysma gemeten worden en kan door de aanwezigheid van een hematoom of extravasatie van contrastmiddel buiten het vaatlumen een ruptuur worden vastgesteld. Bij een aortadissectie zijn de van de media losgescheurde intima ('intimaflap') en een vals lumen (de ruimte tussen de losgescheurde intima en media van de vaatwand) zichtbaar (■ Figuur 2.13). De complicaties hiervan, zoals uitbreiding in halsvaten, viscerale vaten en ischemie van organen, kunnen ook goed beoordeeld worden. Bij een intramuraal hematoom, waarbij er een bloeding in de wand van de aorta tussen de intima en de media ontstaat, is er een hyperdense 'schil' in de aortawand zichtbaar.

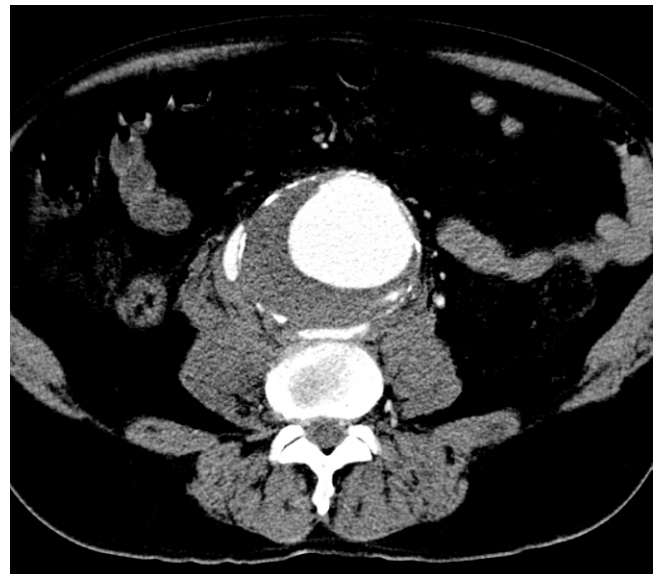
De injectie van het intraveneuze contrastmiddel wordt zo getimed, dat er tijdens de scan optimale aankleuring bestaat van de aorta en zijvertakkingen.

Hartafwijkingen

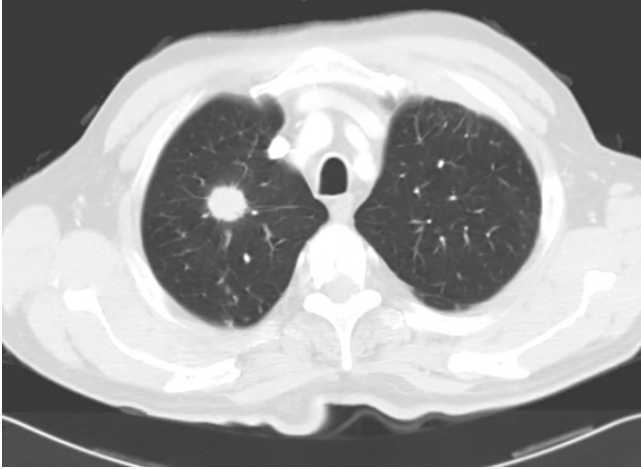
CT speelt met de snel voorschrijdende technische ontwikkelingen een toenemende rol als uitsluitingsdiagnostiek ('rule-out') van coronairlijden door middel van de CT-angiografie van de coronairarteriën. Daarmee wordt in bepaalde gevallen de invasieve coronairangiografie vervangen. Tevens wordt het gebruikt voor risico-inschatting door middel van de blanco CT-calciumscore, waarbij een kwantitatieve meting van de kalk in de coronairarteriën gebruikt wordt.

Aneurysma abdominale aorta

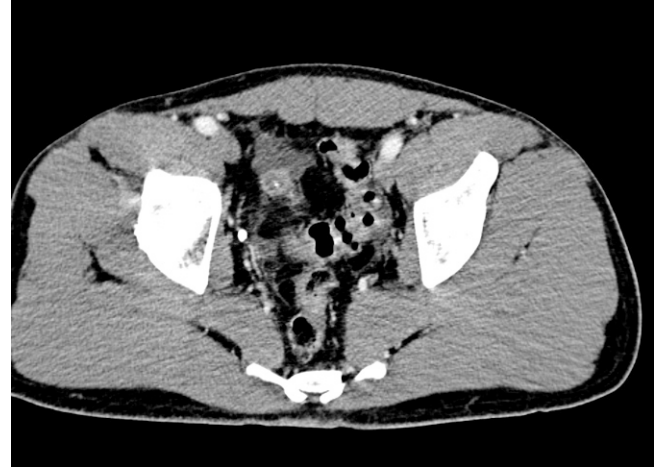
Hoewel echografie zeer sensitief is voor de detectie van een aneurysma van de aorta abdominalis, is de sensitiviteit voor ruptuur van een aneurysma veel geringer. Omdat de sensitiviteit van CT voor ruptuur wel zeer hoog is, is dit de test van keuze bij verdenking op een ruptuur. Op de CT-scan zijn de diameter, de locatie van de ruptuur en de uitbreiding naar iliacale arteriën en nierarteriën goed te beoordelen, wat voor de behandeling essentiële informatie is (■ Figuur 2.14).



■ **Figuur 2.14** Aneurysma aortae. CT-scan van het abdomen met intraveneus contrast laat een groot aneurysma zien van de aorta abdominalis met een diameter van ruim 7 cm. Het aneurysma toont een verwijd lumen en bevat een wandstandige trombus. Ook is er kalk in de wand van de aorta zichtbaar.



■ **Figuur 2.15** Bronchuscarcinoom. CT-scan van de thorax in longsetting laat in de rechterbovenkwab een 2 cm grote massa met sprieterige uitlopers zien, passend bij een bronchuscarcinoom.



■ **Figuur 2.16** Appendicitis acuta. CT-scan van het abdomen met intraveneus contrast toont de appendix rechts in het bekken. De appendix is verdikt (diameter ruim 1 cm), toont versterkte aankleuring, bevat een fecoliet en is omgeven door wat vocht. Dit is het beeld van een acute appendicitis.

Tumor

Bij de stadiëring en follow-up van een groot deel van de solide tumoren in zowel thorax als abdomen is CT de belangrijkste techniek, in sommige gevallen in combinatie met PET (■ Figuur 2.15). CT is sensitief voor de detectie van longmetastasen, lymfekliermetastasen, levermetastasen en botmetastasen, maar de specificiteit is beperkter. Bij lymfekliermetastasen wordt met name de grootte als criterium gebruikt en geeft de densiteit vaak niet veel informatie over de aard (benigne versus maligne) van de lymfeklier.

Lokale tumorstadiëring toont verschillende resultaten voor verschillende tumortypen. In de meeste gevallen is het gebruik van intraveneus contrastmiddel noodzakelijk om contrastverschil tussen tumor en normale parenchymale organen te verkrijgen en omdat de mate van aankleuring informatie kan geven over de vitaliteit van de tumor. Voor de meeste tumoren zijn CT-criteria geformuleerd om lokaal te stadiëren. Uitgebreide doorgroei van een tumor naar andere organen is vaak goed zichtbaar, maar wanneer tumoruitbreiding beperkt is tot het primair betrokken orgaan of tot juist hierbuiten, is CT veel minder betrouwbaar. Bij bepaalde typen tumoren, zoals in de longtop (pancoasttumor), rectumcarcinoom, prostaatcarcinoom en gynaecologische tumoren, is MRI geschikter dan CT voor lokale stadiëring.

Bij follow-up van tumoren tijdens chemotherapie dient de evaluatie van CT-scans zoveel mogelijk geprotocolleerd te worden volgens internationaal vastgestelde criteria (Response Evaluation Criteria In Solid Tumors RECIST-criteria). Hierbij wordt een minimaal aantal goed – in verschillende richtingen – meetbare en vergelijkbare laesies gekozen en wordt de tumorrespons op de behandeling volgens een vaste nomenclatuur benoemd.

'Acute buik'/acute buikpijn

CT heeft een zeer hoge sensitiviteit voor de detectie van appendicitis acuta, diverticulitis, intra-abdominaal abces, darmperforatie, symptomatische ureterstenen, bloeding in de buik en de oorzaak van darmobstructie. De aanwezigheid van appendicitis



■ **Figuur 2.17** Diverticulitis. CT-scan van het abdomen met intraveneus contrast laat in de linkeronderbuik een verdikt, aankleurend segment van het sigmoid zien (lange pijl), met daaromheen infiltratie van het omgevende mesenteriale vetweefsel, ten gevolge van diverticulitis. Tevens is op deze coupe een divertikel zichtbaar.

wordt beoordeeld aan de hand van de diameter en het aankleuringspatroon van de appendix en infiltratie van het omgevende vetweefsel (■ Figuur 2.16). Een abces bestaat meestal uit een geloketteerde collectie met vochtdensiteit, vaak omgeven door een bij intraveneuze contrasttoediening aankleurende rand. Bij diverticulitis gebeurt de beoordeling aan de hand van de aanwezigheid van divertikels, darmwandverdijking, versterkte aankleuring en infiltratie van het mesenteriale vet rond de darm (■ Figuur 2.17). De differentiatie van een geperforeerd coloncarcinoom kan moeilijk zijn en deze overweging moet altijd in het achterhoofd worden gehouden. Bij darmperforatie is vrij intraperitoneaal lucht zichtbaar en meestal ook een defect of lokale verdikking

van de maag of het betrokken darmsegment. De aanwezigheid van nierstenen/ureterstenen en complicaties ervan zoals hydro-nefrose kunnen met CT met extreem hoge sensitiviteit vastgesteld worden. Nierstenen zijn op een CT-scan altijd hyperdens, ook als ze niet verkalkt zijn. De grootte van stenen en de locatie in de ureter zijn exact vast te stellen. Een bloeding in de buik is op CT zichtbaar als een relatief hyperdens gebied, dat niet aankleurt na intraveneus contrast. Bij darmobstructie is CT geschikt om het niveau en de oorzaak van de obstructie vast te stellen. Een kalibersprong in de darm markeert het punt van obstructie en bij afwezigheid van een op de CT-scan zichtbare verklaring voor de obstructie is een streng of adhesie de meest waarschijnlijke verklaring voor de ileus.

Voor acute pancreatitis ligt de sensitiviteit van CT lager, maar bij pancreatitis speelt beeldvorming meestal pas een rol wanneer de ziekte een aantal dagen bestaat en complicaties in beeld gebracht moeten worden. De sensitiviteit en specificiteit van CT voor darmischemie zijn redelijk, maar niet hoog genoeg om deze diagnose in de acute setting uit te sluiten.

Met uitzondering van nierstenen is bij alle hiervoor genoemde ziektebeelden in principe het gebruik van intraveneus contrast geïndiceerd. Afhankelijk van de indicatie, wordt er gescand tijdens de zogenoemde portale fase, waarbij er optimale aankleuring is van de lever en andere parenchymateuze organen, of in meerdere fasen, waarbij er ook optimale aankleuring van arteriële vaatstructuren is.

Omdat een CT-scan met een significante stralenbelasting gepaard gaat, is bij verdenking op veel ziektebeelden, zoals appendicitis acuta, echografie (die een iets lagere sensitiviteit heeft) als eerste beeldvormende techniek geïndiceerd. Bij een niet-conclusief echo-onderzoek kan dan overgegaan worden tot het verrichten van een CT-scan.

Acute bloedingen

CT is zeer geschikt voor het detecteren, karakteriseren (veneus versus arterieel) en lokaliseren van de meeste typen arteriële bloedingen, bijvoorbeeld traumatische bloedingen van thorax, buikorganen (lever, milt, nieren) en bekken (bij bekkenfracturen), iatrogene en postoperatieve bloedingen en arteriële darmbloedingen. Of er bij het vermoeden op een arteriële darmbloeding initieel een CT-scan of een endoscopie verricht wordt, hangt af van het klinische scenario. De sensitiviteit van CT voor de meeste arteriële bloedingen is gelijk aan die van angiografie.

2.3.3 Beperkingen van CT

Cholecystitis/galwegstenen

Voor de detectie van galstenen is de sensitiviteit van CT matig, omdat galstenen vaak niet hyperdens zijn ten opzichte van gal en omgevende structuren. Daarom is de waarde van CT bij de diagnostiek van galwegstenen en galblaasstenen zeer beperkt. Voor de evaluatie van cholecystitis zijn de sensitiviteit en specificiteit van CT redelijk, maar minder goed dan echografie. Dit komt vooral omdat men tijdens echografie kan testen of er precies ter hoogte van de galbaas drukpijn bestaat, hetgeen sterk voor de diagnose cholecystitis pleit. Echografie is bij verdenking op cholecystitis

dus de test van keuze en ook wanneer echografie niet conclusief is, heeft CT hier geen aanvullende waarde.

Casuïstiek Nederlands Instituut voor Geneeskunde

- De waarde van gefuseerde PET-CT-beelden bij twee lymfompatiënten met skeletlokalisaties



Intermezzo 2.1 Sir Godfrey Hounsfield

De densiteit van een structuur of weefsel op een CT-scan wordt met zogenoemde hounsfieldeenheden weergegeven. Daarmee wordt de belangrijkste pionier in de ontwikkeling van de CT-scanner, Sir Godfrey Hounsfield (1919-2004), vernoemd. De ingenieur Hounsfield werkte aanvankelijk tijdens de Tweede Wereldoorlog aan de ontwikkeling van radar en later aan de ontwikkeling van de eerste computers. Kort hierna begon hij met zijn werk aan wat later de CT-scanner zou worden. Het verhaal gaat dat de boerenzoon Hounsfield tijdens een uitje op het platteland plots het idee kreeg dat je zou kunnen bepalen wat zich in een afgesloten doos bevindt als je van veel kanten een röntgenfoto van de doos zou maken. Het prototype dat hij hierna construeerde, probeerde hij eerst uit op een geconserveerd menselijk brein, vervolgens op de hersenen van een juist geslachte koe en daarna op zichzelf. In 1971 werd de eerste scan van de hersenen van een patiënt gemaakt en in 1975 kwam de eerste CT-scanner beschikbaar waarmee een hele patiënt gescand kon worden. In 1979 ontving Hounsfield de Nobelprijs voor de geneeskunde voor zijn bijdrage aan de ontwikkeling van de CT-scanner.

2.4 Echografie, dopplerechografie en musculoskeletale echografie (echo)

Kernpunten

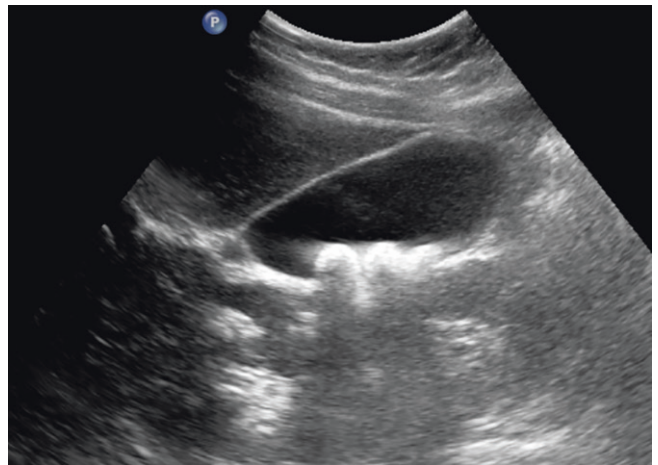
- Echografie is de beste beeldvormende techniek om cysteuzen en solide laesies van elkaar te onderscheiden. Daarmee is echografie belangrijk in de diagnostiek van onder andere schildklierafwijkingen.
- Bij verdenking op obstructie-icterus, cholecystitis, appendicitis acuta en niersteenkolk is echografie de beeldvormende test van eerste keuze.
- Omdat echografie geen enkele stralenbelasting geeft voor de patiënt, is dit vaak de initiële test bij acute buikpijn. Bij een niet-conclusief onderzoek kan dan alsnog een CT-scan gemaakt worden.
- Echografie is het onderzoek van keuze voor het vaststellen van diepe veneuze trombose.
- Echografie is het onderzoek van keuze voor de diagnose van een aneurysma van de aorta abdominalis, maar niet geschikt voor het vaststellen van een ruptuur van het aneurysma aortae abdominalis.

- Duplexechografie is zeer geschikt voor het vaststellen en kwantificeren van stenoserend vaatlijden van arteriën van bekken en benen en de arteria carotis.
- Echografie is het onderzoek van keuze ter bevestiging van septische artritis.
- Met power dopplerechografie is het mogelijk actieve ontsteking van gewrichten en periarticulair weefsel vast te stellen.

2.4.1 Fysica en techniek

Bij echografie worden geluidsgolven met een bereik van 2 tot 17 MHz opgewekt in de echoprobe, die ook wel transducer genoemd wordt. Deze geluidsgolven worden het lichaam ingezonden door de probe direct op de huid te plaatsen. Tijdens de passage door het lichaam verzwakken de geluidsgolven en de mate van verzwakking wordt bepaald door de eigenschappen van het weefsel en door de frequentie van de geluidsgolven. Reflectie van het ultrageluid ontstaat op een grensvlak van weefsels met verschillende akoestische impedantie. Een deel van de energie van de geluidsgolven wordt daar gereflecteerd en de rest van de geluidsenergie plant zich verder voort. Als het verschil in impedantie tussen verschillende weefsels te groot is, worden alle geluidsgolven teruggekaatst en kan het geluid dus niet verder doordringen. Dit is het geval bij de grensvlakken tussen weke delen en bot en tussen weke delen en lucht. De verschillende structuren van het lichaam worden echografisch afgebeeld op basis van het verschil in sterkte van het gereflecteerde geluid. Informatie over de weefsels komt pas tot stand als geluidsgolven worden teruggekaatst. De gereflecteerde geluidsgolven worden opgenomen door dezelfde transducer als waarin de golven aanvankelijk opgewekt werden. Het echografische beeld wordt door een computer berekend in het echoapparaat en afgebeeld op een monitor. Een sterke geluidsreflectie wordt op het scherm vertaald in wit, een minder sterke in grijs en geen reflectie in zwart. De beelden worden continu verversen en de anatomische structuur wordt afgebeeld in 'real time'. Een structuur wordt echolooos genoemd als de geluidsgolven zonder reflecties worden doorgelaten (bijvoorbeeld blaas gevuld met urine), echoarm als ze weinig geluid reflecteert en echorijk als ze veel ultrageluid terugkaatst (bijvoorbeeld een galsteen).

Echografie biedt de mogelijkheid om met gebruikmaking van het dopplereffect de richting waarin en de snelheid waarmee bloed stroomt te meten. Geluidsgolven die erythrocyten treffen die zich in de richting van de transducer bewegen, keren met een hogere frequentie naar de transducer terug en geluidsgolven die erythrocyten treffen die zich van de transducer af bewegen, keren terug met een lagere frequentie. Deze frequentieverschuiving is een functie van de snelheid en richting van de bloedstroom en kan gemeten worden. Het resultaat van deze berekening kan worden afgebeeld als een curve van de stroomsnelheid tegelijk met het realtimebeeld van het onderzochte gebied en dit heet duplexechografie. De snelheidswaarden die verkregen zijn met behulp van het dopplereffect kunnen in een kleurenbeeld worden omgezet, waarbij de kleur de richting en de snelheid van de bloedstroom afbeeldt.



■ **Figuur 2.18** Galsteen. Echografie van de rechterbovenbuik laat drie echorijke galstenen met slagschaduw zien, die zich in de galblaas bevinden. Bij laten bewegen van de patiënt bleken de stenen mobiel. De galblaas laat verder geen tekenen van cholecystitis zien.

2.4.2 Indicaties

Hierna worden de meest voorkomende toepassingen van echografie, dopplerechografie en musculoskeletale echografie (MUS) beschreven die betrekking hebben op ziektebeelden in de interne geneeskunde.

Schildklier

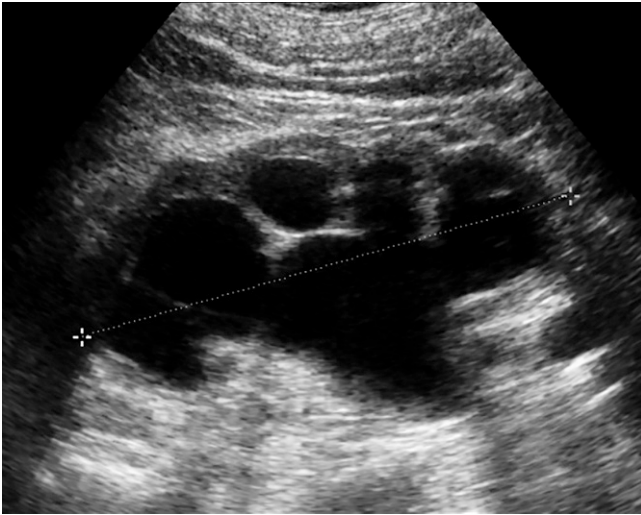
Echografie is – naast scintigrafie – de meest geschikte techniek om focale afwijkingen in de schildklier te evalueren. Met name de differentiatie tussen een solide nodus en een cysteuze laesie is met zekerheid te maken. Wanneer een solide nodus zichtbaar is, kan niet altijd goed gedifferentieerd worden tussen een dysplastische nodus en een maligniteit. Focale schildklierafwijkingen kunnen onder echogelegeide vrijwel altijd goed gebiopteerd worden voor cytologisch onderzoek.

Galblaas- en galwegafwijkingen

Echografie is het onderzoek van keuze voor vrijwel alle galblaasafwijkingen. Om de galblaas goed te kunnen zien met echografie moet de te onderzoeken patiënt nuchter zijn, omdat de galblaas dan goed gevuld is met gal. Galblaasstenen kunnen met zeer hoge sensitiviteit (> 95%) en specificiteit geëvalueerd worden. Hierbij maakt het niet uit of deze verkalkt of niet verkalkt zijn (■ Figuur 2.18).

Echografie is ook het meest geschikte onderzoek voor het diagnosticeren van acute cholecystitis. Echografische tekenen van cholecystitis zijn hydrops van de galblaas (vaak met een beklemde, niet-mobiele steen in de galblaaswals), drukpijn ter plaatse van de galblaas bij compressie met de echotransducer, wandverdikking van de galblaas en hyperemie (toegenomen flow bij kleurendoppleronderzoek) van de galblaaswand.

Bij patiënten met obstructie-icterus is echografie het onderzoek van keuze om galwegobstructie vast te stellen, het niveau van obstructie te bepalen en zo mogelijk de oorzaak van de obstructie in beeld te brengen. De sensitiviteit van echografie voor de detec-



Figuur 2.19 Hydronefrose. Echografie van de linkernier bij een patiënt met koliekpijn in de linkerflank laat een gedilateerd pyelum en gedilateerde calices (= hydronefrose) zien ten gevolge van een beklemde uretersteen. De uretersteen is op deze opname niet zichtbaar.

tie van choledocholithiasis is met ruim 50% niet goed genoeg om stenen altijd uit te sluiten en daarom is bij niet-conclusief echo-onderzoek aanvullend onderzoek (afhankelijk van de mate van klinische verdenking) nodig.

Leverafwijkingen

Focale leverafwijkingen kunnen – hoewel met iets lagere sensitiviteit dan CT – goed met echografie geëvalueerd worden, vooral omdat cysten met zekerheid van solide laesies kunnen worden onderscheiden. Wanneer er na een CT-scan twijfel bestaat of een laesie solide of cysteus is, is aanvullende echografie aangewezen om hierover zekerheid te verkrijgen.

De sensitiviteit van echografie voor het vaststellen van levercirrose is beperkt, maar voor de evaluatie van complicaties, zoals portale hypertensie, ascites en hepatocellulair carcinoom, is echografie wel zeer geschikt.

Met dopplerechografie kan het vena portaesysteem (trombose, stroomrichting, collateralen) goed onderzocht worden.

Pancreas

De pancreas kan in principe echografisch goed geëvalueerd worden, maar door ervoor liggend darmgas in maag, duodenum en colon komt dit orgaan vaak niet geheel in beeld. Daardoor is de waarde van echografisch onderzoek in een aantal gevallen beperkt.

Bij de eerste analyse van acute pancreatitis speelt echografie geen significante rol, maar voor het onderzoeken van complicaties, zoals pseudocysten, of onderliggende oorzaken, zoals galstenen, is het wel geschikt.

Indien de patiënt zich met obstructie-icterus presenteert, komt de meerderheid van de pancreaskoptumoren echografisch wel in beeld en vaak worden dan ook levermetastasen gevonden. Lokale stadiëring moet vervolgens met CT gebeuren.



Figuur 2.20 Appendicitis acuta. Echografie van de rechteronderbuik bij patiënt met acute buikpijn. De appendix was bij compressie met de echoprobe drukpijnlijk en is verdikt (diameter 1 cm). Ook is de appendix omgeven door wat vocht. Echografisch beeld van appendicitis acuta.

Nieren

De rol van echografie bij patiënten met nierinsufficiëntie bestaat grotendeels uit het aantonen of uitsluiten van urinewegobstructie met hydronefrose en de oorzaak hiervan (Figuur 2.19). Verder kunnen de niergrootte en de nierschorsdikte echografisch nauwkeurig bepaald worden en is de sensitiviteit voor het aantonen van nierstenen hoog. Bij verdenking op niersteenkolk is echografie ook het onderzoek van eerste keuze.

Bij parenchymateuze oorzaken van nierinsufficiëntie zijn de nieren vaak echorijker dan normaal, maar dit is een onvoldoende specifieke bevinding om klinisch bruikbaar te zijn.

Bij de evaluatie van focale nierafwijkingen kan echografie zeer goed differentiëren tussen cyste en solide laesie.

'Acute buik'/buikpijn

Appendicitis acuta kan met een hoge sensitiviteit en specificiteit vastgesteld worden (Figuur 2.20). De echografische tekenen van appendicitis zijn wandverdikking van de appendix, obstructie van het lumen door een appendicoliet, toegenomen flow bij doppleronderzoek door hyperemie en de aanwezigheid van te echorijk mesenteriaal vet ('ontstekingsvet') rond de appendix. Wanneer een normale appendix in beeld komt, is appendicitis uitgesloten, maar in een minderheid van de gevallen komt deze niet in beeld en dient het onderzoek als niet-conclusief beschouwd te worden. Dan is CT geïndiceerd.

Diverticulitis kan – hoewel met iets lagere sensitiviteit dan CT – goed gediagnosticeerd worden (Figuur 2.21). Echografisch zijn divertikels, wandverdikking en echorijk ontstekingsvet zichtbaar. Zie verder ook ► par. 2.3.

Vasculaire afwijkingen

Diepe veneuze trombose (DVT) in het femoropopliteale traject kan met extreem hoge sensitiviteit en specificiteit vastgesteld worden met een combinatie van dopplerechografie en compressie. Wanneer een vene niet met de echoprobe comprimeerbaar is,



Figuur 2.21 Diverticulitis. Echografie van de linkeronderbuik bij patiënt met koorts en buikpijn links onder in de buik. Echografisch is een te echo-arme, verdikte sigmoidis zichtbaar met enkele divertikels. Het sigmoid is omgeven door te echorijk geïnfiltrieerd 'ontstekingsvet'. Echografisch typisch beeld van diverticulitis.

is dit een specifiek teken voor trombose. Voor trombose in de diepe kuitvenen en de iliacale venen is echografie iets minder betrouwbaar. In uitzonderlijke gevallen is flebografie (röntgenonderzoek met direct in een voetvene ingebracht contrastmiddel) noodzakelijk, omdat niet altijd met echografie gedifferentieerd kan worden tussen een 'verse' DVT en restafwijkingen na een in het verleden doorgemaakte DVT.

Een aneurysma van de aorta abdominalis kan echografisch met zekerheid aangetoond of uitgesloten worden en de diameter kan echografisch goed vervolgd worden. Voor de diagnose ruptuur van een aneurysma van de aorta abdominalis is de sensitiviteit van echografie laag en daarvoor is CT de techniek van keuze.

Bij vastgestelde (meestal met behulp van de enkel-armindex) arteriële insufficiëntie van de onderste extremiteiten kan duplex-echografie de locatie en ernst van stenosen in het aorto-iliacale en het femoropopliteale traject nauwkeurig vaststellen door stroomsnelheden ter hoogte van de stenose en de ratio van stroomsnelheden in en buiten de stenose te meten. Voor stenosen in de arteria carotis geldt hetzelfde.

Thorax

Echografie is zeer sensitief voor de detectie van pleuravocht en onder echogeleiding is het bovendien mogelijk om zelfs een zeer geringe hoeveelheid pleuravocht voor diagnostiek te aspireren. Ook kan bij twijfel op de thoraxfoto een pneumothorax (met name een anterieure pneumothorax) betrouwbaar uitgesloten worden.

Gewrichten

Zowel acute infectieuze gewrichtsontsteking (septische artritis) als inflammatoire artritis is met echografie goed te herkennen. Er is verwijding van de gewrichtsruimte door vocht zichtbaar. Tevens kan met echogeleide punctie van het gewricht de effusie geaspireerd worden en zo nodig medicatie achtergelaten worden. Inflammatie van de synoviale membraan of de aanhechting van

pezen en gewrichtskapsel laat zich met power dopplerechografie goed herkennen, omdat hiermee hyperemie zichtbaar gemaakt wordt

2.5 Magnetic resonance imaging (MRI-scan)

Kernpunten

- Wanneer het maken van een MRI-scan overwogen wordt, dient altijd gecontroleerd te worden of:
 - er contra-indicaties zijn voor MRI, zoals de aanwezigheid van clips in de hersenen, metaalsplinters in het oog of pacemakers, implanteerbare defibrillatoren, enzovoort;
 - het bestaan van nierinsufficiëntie uitgesloten is (wanneer er intraveneus MRI-contrastmiddel gebruikt gaat worden).
- MRI is in het abdomen geschikter dan CT voor:
 - lokale stadiëring van onder andere rectumcarcinoom, hepatocellulair carcinoom, prostaatcarcinoom en gynaecologische tumoren;
 - karakterisering van focale benigne leverafwijkingen;
 - evaluatie van ziekteactiviteit bij de ziekte van Crohn;
 - evaluatie van perianale fistels en abscessen;
 - detectie van galwegstenen;
 - diagnosticeren van appendicitis acuta bij de zwangere patiënt.

2.5.1 Fysica en techniek

Een MRI-toestel bestaat uit een grote supergeleidende magneet waarin zich een tunnel bevindt. De patiënt wordt op een mobiel tafelblad in deze tunnel geschoven. In de magneet worden alle waterstofatomen (protonen) in de patiënt in de richting van het magnetische veld 'opgelijnd'. In de opening in de magneet bevinden zich ook radiofrequente spoelen die pulssignalen uitzenden en ontvangen. Als zo'n radiofrequente puls van patiënt wordt ingezonden met een gelijke frequentie als die van de roterende protonen, gaan de protonen uit de oriëntatie langs de as van het magnetische veld. Direct na het beëindigen van deze puls keren de protonen weer terug naar de oorspronkelijke situatie en tijdens dit proces zenden de protonen een signaal uit, dat in de MRI-scanner gemeten wordt. De beelden die hier vervolgens uit gereconstrueerd worden, zijn een indirecte weergave van de concentratie van de waterstofatomen in het onderzochte gebied en de interacties tussen deze atomen en de structuren waarin ze zich bevinden. De metingen in de MRI-scanner kunnen volgens verschillende wegingen (sequenties) gedaan worden, die specifieke informatie geven over de aard van de verschillende afgebeelde weefsels. De meest gebruikte sequenties zijn de zogenaamde spin echo-sequenties: T₁-weging, T₂-weging en *proton-density*-weging. Daarnaast worden in toenemende mate snellere sequenties ontwikkeld met hoge spatiële en/of temporele resolutie, gradiëntsequenties. Structuren die op een MRI-scan als licht worden

weergegeven, worden *hyperintens* genoemd, en structuren die als donker worden weergegeven, worden *hypo-intens* genoemd. Structuren kunnen op verschillende sequenties ook een geheel verschillende intensiteit hebben. Water is bijvoorbeeld op een T2-gewogen opname wit en op een T1-gewogen opname zwart, terwijl vet zowel op T1 als T2 een hyperintens signaal heeft. Om water en vet van elkaar te onderscheiden, wordt veelvuldig gebruikgemaakt van vetsuppressietechnieken. Hiermee wordt het vet hypo-intens en is het water gemakkelijk als hyperintensiteit te herkennen. Aangezien de meeste pathologie tot een toename van water leidt, is detectie van te veel water cruciaal.

De bevindingen op verschillende sequenties kunnen met elkaar gecombineerd worden en zo gezamenlijk tot weefselkarakterisering en diagnostische informatie leiden.

Bij MRI-onderzoeken worden ook intraveneuze contrastmiddelen gebruikt, waarbij aankleuringspatronen van vaten en afwijkingen – net zoals bij het gebruik van röntgencontrastmiddelen – bekeken kunnen worden. Ook zonder het gebruik van contrastmiddelen kan de bloedstroom in de vaten gezien en gemeten worden. MRI-contrastmiddelen bevatten gadolinium en geen jodium zoals röntgencontrastmiddelen.

Een belangrijk verschil tussen MRI en CT is dat MRI binnen verschillende typen weke delen veel meer contrastverschillen kan aangeven dan CT. Daarom is MRI voor veel indicatiegebieden, waaronder het centrale zenuwstelsel, geschikter dan CT.

2.5.2 Risico's en beperkingen

Omdat de patiënt tijdens de MRI-scan in een sterk magnetisch veld geplaatst wordt (veldsterkte wordt aangegeven in Tesla, gangbare klinische veldsterkten zijn 1,5 Tesla en 3 Tesla), is er een aantal belangrijke contra-indicaties voor het maken van een MRI-scan. Sommige ferromagnetische clips die in de hersenen geplaatst zijn, en metaalsplinters die bijvoorbeeld bij metaalbewerkingen in de ogen terechtgekomen zijn, kunnen dislokeren in het magnetische veld en potentieel schade aanrichten. Geïmplanterde apparaten, zoals pacemakers, implanteerbare defibrillatoren en insulinepompen, kunnen in hun functie gestoord raken door het magnetische veld. Al deze potentiële risico's moeten gecontroleerd worden alvorens een MRI-scan te maken. Heupprothesen en andere gewrichtsprothesen vormen weliswaar geen veiligheidsrisico, maar veroorzaken zoveel verstoring van het magneetveld, dat in de omgeving van deze structuren over het algemeen geen goed beeld verkregen wordt.

Nefrogene systemische fibrose (progressieve verharding van de huid met uiteindelijk ook verstijving van de gewrichten) is een ernstige, maar zeldzame aandoening, die is beschreven bij patiënten met pre-existente ernstige nierinsufficiëntie, die MRI met intraveneus gadolinium ondergingen. Om deze reden dient het gebruik van gadolinium bij patiënten met nierinsufficiëntie zoveel mogelijk vermeden te worden.

Omdat de tunnel waarin de patiënt moet plaatsnemen tijdens het onderzoek vrij smal is, is het onderzoek bij claustrofobische patiënten soms niet goed mogelijk. Speciaal hiervoor bestaan er zogenoemde 'open' MRI-scanners.

2.5.3 Indicaties

De meest voorkomende – voor de interne geneeskunde relevante – ziektebeelden, waarbij MRI een belangrijke rol in de diagnostiek speelt, worden in de volgende paragrafen beschreven.

Thorax

Voor de stadiëring van tumoren in de longtop (pancoasttumor) is MRI de beste techniek en verdient de voorkeur boven CT. Met name ingroei in de zenuwplexus en de vaatstructuren is op MRI beter te beoordelen dan op CT.

Voor een aantal cardiologische ziektebeelden is MRI een zeer geschikte techniek, onder andere bij de evaluatie van allerlei congenitale afwijkingen, postoperatieve situaties na correctie van congenitale afwijkingen, myocardschade na myocardinfarct, cardiomyopathieën, voor het bepalen van shunts en ejectionfracties en voor het vaststellen en kwantificeren van klepafwijkingen.

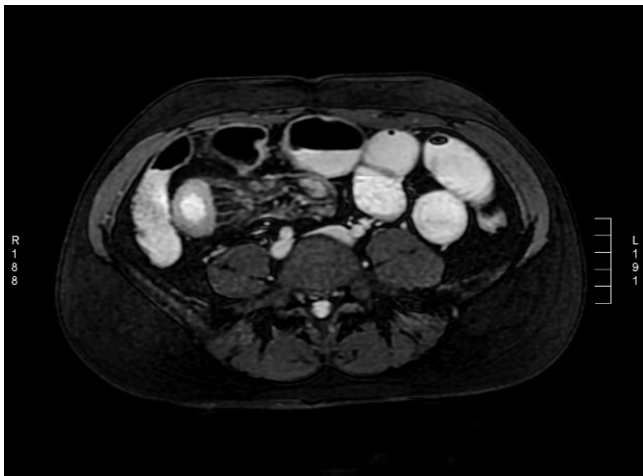
Afwijkingen van de thoracale aorta kunnen zowel met MRI als CT goed afgebeeld worden, maar uit het oogpunt van stralenbelasting is MRI bij jonge mensen vaak geschikter, zeker wanneer frequente follow-uponderzoeken noodzakelijk zijn.

Abdomen

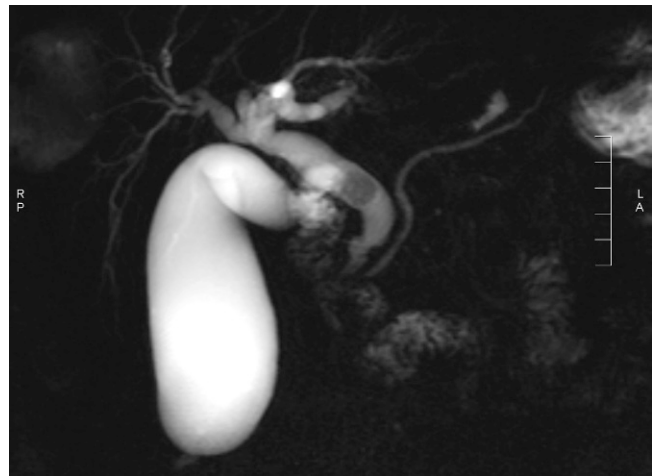
Er is een aantal specifieke indicaties voor MRI in het abdomen en een aantal indicaties waarin overlap met CT bestaat. MRI is de beste techniek voor onder andere:

- het lokaal stadiëren van het rectumcarcinoom, het prostaatcarcinoom en de meeste gynaecologische tumoren;
- de detectie en karakterisering van het hepatocellulair carcinoom;
- sommige benigne levertumoren, zoals hemangioom, focale nodulaire hyperplasie en leverceladenoom, die bovendien vaak bij relatief jonge mensen voorkomen, bij wie zo weinig mogelijk röntgenstralen toegediend dienen te worden;
- het non-invasief diagnosticeren en evalueren van de ziekteactiviteit in de dunne darm met behulp van de zogenoemde MR-enterografie en MR-enteroclyse (waarbij voor het onderzoek een sonde in de dunne darm geplaatst wordt om vocht toe te dienen waarmee de darm gedistendeerd wordt) bij inflammatoire darmziekten, vooral bij de ziekte van Crohn (■ Figuur 2.22);
- het afbeelden en exact bepalen van het verloop en de uitbreiding van perianale fistels en abscessen;
- non-invasieve detectie van galwegstenen, met behulp van de zogenoemde MRCP (magnetische resonantiecholangiopancreatografie) (■ Figuur 2.23).

Voor een aantal andere indicaties is MRI ongeveer gelijkwaardig aan CT, bijvoorbeeld voor de detectie van levermetastasen. Een specifieke MRI-indicatie is de zwangere patiënt met verdenking op appendicitis, bij wie echografie niet conclusief is. Omdat toe-



■ **Figuur 2.22** MRI-scan van het abdomen bij een jonge vrouw met verdenking op inflammatoire darmziekte laat een verdikte terminale ileum zien met infiltratie van het mesenteriale vet. Beeld van de ziekte van Crohn.



■ **Figuur 2.23** Choledocholithiasis. MRCP (magnetische resonantie-cholangiopancreaticogram) bij een patiënt met verdenking op galwegstenen. In de gedilateerde ductus choledochus is een uitsparing in de hyperintense gal zichtbaar ten gevolge van een galsteen. De galblaas en ductus pancreaticus laten geen afwijkingen zien.

diening van röntgenstraling hier vermeden dient te worden, is een CT-scan geen goede optie en in deze gevallen is MRI een goed alternatief.

Skelet/weke delen

MRI is de beste techniek voor de evaluatie van spondylodiscitis, omdat zowel botafwijkingen als wekedelenafwijkingen rond de wervels goed zichtbaar zijn. Botoedeem en abcesvorming met randaankleuring bij intraveneuze gadoliniumtoediening zijn goed zichtbaar.

MRI is sensitiever dan de skeletfoto voor detectie van osteomyelitis en septische artritis en kan de uitbreiding beter vastleggen.

MRI is ook sensitiever dan de skeletfoto voor detectie van reumatoïde artritis en wordt in sommige gevallen hiervoor gebruikt.

Voor beenmergafwijkingen en de detectie en stadiëring van bottumoren en wekedelentumoren is MRI geschikter dan CT, omdat MRI binnen verschillende typen weke delen (bijvoorbeeld de uitbreiding in spieren van een wekedelentumor) veel meer contrastverschil weergeeft dan CT.

Voor zeer veel aandoeningen van het bewegingsapparaat is MRI de beste beeldvormende techniek.

Centraal zenuwstelsel

Voor vrijwel alle afwijkingen in het centrale zenuwstelsel – zowel voor hersenen als myelum – is MRI de beste afbeeldingstechniek.

2.6 Interventieradiologie

Kernpunten

- Omdat radiologische interventies invasieve procedures zijn, moet tevoren:
 - de patiënt zijn ingelicht over de risico's;
 - de stollingsstatus bekend en eventueel gecorrigeerd zijn;
 - in sommige gevallen antibioticaprofylaxe gegeven zijn.
- Bij bepaalde interventies is sedatie of algehele anaesthesie nodig. Dit moet tevoren met de patiënt besproken worden en indien nodig moet hiervoor eerst pre-assessment verricht worden.
- Echogeleide cytologische punctie of histologische biopsie is de methode van keuze om bij niet-palpabele afwijkingen materiaal voor cytologische of weefseldiagnostiek te verkrijgen.
- Percutane beeldgeleide drainage is de behandeling van keuze voor een intra-abdominaal abces.
- Veneuze toegang kan verkregen worden door middel van ongetunnelde of getunnelde centraal veneuze lijnen of perifeer ingebrachte centraal veneuze lijnen (PICC-lijn). De meest voorkomende complicaties na non-vasculaire interventies zijn bacteriëmie, bloeding en pijn. De meest voorkomende complicaties na vasculaire interventies zijn bloeding en onbedoelde vaatafsluiting, bijvoorbeeld door trombose of dissectie, al of niet met ischemie.

Interventieradiologie is het onderdeel van de radiologie dat zich bezighoudt met het doen van ingrepen onder geleide van een radiologische beeldvormende techniek. Meestal is dit röntgen-doorlichting of echografie, maar CT en (in veel mindere mate)

MRI kunnen ook gebruikt worden. Vaak wordt een combinatie van echografie en röntgendoorlichting gebruikt.

Omdat patiënten een invasieve ingreep ondergaan, is het belangrijk tevoren een aantal voorbereidingen te treffen. De aard van de ingreep en de mogelijke complicaties (bloeding, bacteriëmie, pijn, perforatie, orgaanischemie) dienen met de patiënt besproken te worden, de stollingsstatus en nierfunctie van de patiënt dienen bekend – en zo nodig gecorrigeerd – te zijn en bij sommige procedures is antibioticaprofylaxe nodig. Bij de meeste niet-vasculaire ingrepen wordt het betrokken orgaan of de collectie direct percutaan aangeprikt, bij de meeste vasculaire interventies wordt de arteria femoralis communis of vena femoralis communis, die in de lies goed aan te prikken zijn, als toegang tot het vaatstelsel gebruikt. Van hieruit kunnen allerlei organen en anatomische gebieden met voerdraden en katheters bereikt worden voor endovasculaire behandeling. Door intra-arteriële of intraveneuze contrastinjectie via de ingebrachte katheter (angiografie) kunnen afbeeldingen van het vaatstelsel gemaakt worden.

Omdat bepaalde ingrepen belastend en pijnlijk zijn, is het soms nodig de procedure onder goede (lokale en systemische) analgesie, sedatie en soms zelfs algehele anesthesie te verrichten. Dit dient tevoren met de patiënt besproken te worden en zo nodig moet hiervoor pre-assessment verricht worden. Ook is nazorg van procedures, bestaande uit adequate pijnstilling en controles van vitale functies, belangrijk.

2.6.1 Indicaties

De meest voorkomende radiologische interventies bij ziektebeelden, die bij de interne geneeskunde gezien worden, worden in de volgende paragrafen beschreven.

Biopsie

Het verkrijgen van weefsel of cellen voor diagnostiek van focale afwijkingen die niet uitwendig zichtbaar of papabel zijn, kan in de grote meerderheid van de gevallen percutaan onder geleide van echografie of – als dat niet kan – onder CT-geleide gebeuren. Materiaal voor histologie wordt verkregen met *cutting needles*, die een klein reepje weefsel met een dikte van 16-20 gauge (1-1,5 mm) en een lengte van ongeveer 2 cm afsnijden. Materiaal voor cytologisch onderzoek kan worden verkregen met een dunne naald (22 gauge) waarmee cellen geaspireerd worden. De naald wordt onder beeldgeleide tot vlak voor of in de te biopteren afwijking gebracht en vervolgens wordt het biopt genomen. Cytologie is vaak voldoende voor de diagnostiek van maligniteit en histologie is vaak nodig wanneer er het vermoeden op een benigne laesie is of wanneer een maligniteit getypeerd moet worden (bijvoorbeeld maligne lymfoom). Met een dunne aspiratiernaald voor een cytologische punctie kunnen diepliggende structuren aangeprikt worden, waarbij het niet erg is als er door bijvoorbeeld een darmlis heen geprikt wordt. Bij de dikkere snijdende naalden, waarmee histologie verkregen wordt, is meer voorzichtigheid geboden.

Drainage vloeistofcollectie

De meeste intra-abdominale vloeistofcollecties, in de praktijk meestal abscessen, kunnen goed percutaan gedraineerd worden. Na beeldgeleide punctie wordt over een voerdraad een drain geplaatst, waarvan de dikte afhangt van de viscositeit van de te draineren collectie. Voor ascitesdrainage is een drain van 7-8 French (1 French = 0,3 mm) voldoende, voor een abces één van 10-14 French en voor zeer viskeuze collecties, zoals pancreasneurose bij necrotiserende pancreatitis, een drain tot meer dan 20 French.

Bij vrijwel alle intra-abdominale abscessen is percutane drainage de definitieve behandeling. Wanneer er een fistel tussen abces en darm bestaat (bijvoorbeeld bij de ziekte van Crohn), kan langdurige drainage nodig zijn.

Drains kunnen over het algemeen verwijderd worden wanneer er geen productie meer is en de collectie bij follow-upbeeldvorming met echografie of CT-scan verdwenen is. Tijdens en na de plaatsing van de drain kan met contrastinjectie in de drain de abcesholte zichtbaar gemaakt worden, maar meestal is dit niet nodig.

Nefrostomie

Bij hydronefrose is in een aantal gevallen nefrostomie geïndiceerd. Dit is onder echogeleide en röntgendoorlichting vrijwel altijd mogelijk. De oorzaak van de hydronefrose is meestal een obstruerende uretersteen, uretercompressie of ingroei door een tumor. Hierbij wordt percutaan vanuit de flank of de rug een drain via een calyx tot in het pyelum van de nier geplaatst.

Galweg- en galbaasdrainage

Bij galwegstenen en distale galwegobstructies waarbij behandeling geïndiceerd is, is endoscopische retrograde cholangiopancreatografie (ERCP) door de MDL-arts vaak de eerste keuze. Wanneer ERCP niet lukt of om anatomische redenen niet mogelijk is, bijvoorbeeld door veranderde anatomie na een maagoperatie in het verleden, is percutane transhepatische cholangiografie en drainage (PTCD) geïndiceerd. Hetzelfde geldt vaak voor patiënten met een galwegobstructie in de leverhilus. Bij een PTCD wordt percutaan transhepatisch een intrahepatische galweg aangeprikt en wordt er een drain geplaatst, die ofwel naar buiten de patiënt draineert ofwel na passeren van de papil van Vater naar het duodenum draineert. In geval van palliatieve behandeling van een tumor die galwegobstructie veroorzaakt, kan ook een stent geplaatst worden. Een stent is een metalen buisje dat in opgevouwen toestand wordt ingebracht en in de patiënt wordt ontplooid. Voor deze ingreep is antibioticaprofylaxe altijd geïndiceerd.

Radiologische galblaasdrainage (percutane cholecystostomie) is een relatief eenvoudige ingreep die gedaan wordt bij patiënten met cholecystitis op basis van galstenen, bij wie (acute) cholecystectomie gecontra-indiceerd is. Een andere indicatie is het vermoeden op calculuze cholecystitis (olecystitis zonder galstenen), zoals bij intensivere patiënten regelmatig gezien wordt. De drain wordt percutaan direct in de galblaas of via de lever in de galblaas geplaatst.

Embolisatie van bloedingen

Embolisatie is een techniek waarbij vaten met behulp van een endovasculaire behandeling worden afgesloten, meestal om een arteriële bloeding te stoppen. Via de arteria femoralis wordt toegang tot het arteriële vaatstelsel verkregen. Met angiografie wordt vervolgens eerst de bloeding gelokaliseerd en vervolgens wordt de katheter tot vlak bij het bloedende vat gebracht. Dit wordt dan afgesloten met *coils* (platinaspiraaltjes met zijfibers van kunststof), kleine partikels of gelfoam (een door het lichaam resorbearbaar materiaal). Op deze manier kunnen allerlei typen bloedingen behandeld worden, waaronder darmbloedingen, longbloedingen en traumatische bloedingen van lever, milt, nieren en bekkenvaten. Meestal wordt de bloeding eerst gelokaliseerd met behulp van een CT-scan.

Tumorablatie

Voor sommige soorten tumoren, met name het hepatocellulaire carcinoom, zijn er – wanneer de tumor niet al te uitgebreid is – percutane behandelopties zoals radiofrequente ablatie (RFA) of microwave ablatie (MWA) en chemo-embolisatie. Bij RFA wordt een elektrode percutaan onder echo- of CT-geleide in de lever tumor geplaatst en wordt deze lokaal sterk verhit, waardoor de tumor afsterft. Voor deze behandeling moet het aantal tumoren in de lever en de grootte ervan wel beperkt zijn. Behalve bij een hepatocellulair carcinoom kan RFA soms worden toegepast bij metastasen van een coloncarcinoom of andere primaire tumoren. Als een hepatocellulair carcinoom te groot is voor RFA, kan soms chemo-embolisatie verricht worden. Hierbij wordt de tumor via angiografische weg geëmboliseerd en wordt tegelijk via de angiografiekatheter een hoge dosis chemotherapie lokaal in de tumor toegediend.

Vaattoegang

Wanneer er een centraal veneuze lijn voor langdurige toediening van medicatie of een over enige afstand onder de huid getunnelde lijn nodig is voor hemodialyse of langdurige toediening van TPV (totale parenterale voeding), kan deze onder geleide van echo- en röntgendoorlichting geplaatst worden. Dit is vooral van belang wanneer door eerdere lijnplaatsingen en getromboseerde vaten de toegang moeilijk geworden is. De meest gebruikte vaten voor het plaatsen van centrale lijnen zijn de vena jugularis interna, de vena subclavia en de vena femoralis communis. De armenvenen worden vaak gebruikt voor het plaatsen van een zogeheten PICC-lijn (peripherally inserted central venous catheter).

PTA, stent, trombolyse

Met behulp van angiografie kunnen stenosen en occlusies in arteriën en venen behandeld worden met percutane transluminale angioplastiek (PTA), ook wel bekend als ‘dotteren’. Omdat angiografie een invasieve procedure is, met een klein maar aanwezig complicatierisico, dient het zo min mogelijk als diagnostische ingreep, maar bij voorkeur alleen als therapeutische ingreep gebruikt te worden. In uitzonderlijke gevallen wordt angiografie als diagnostisch onderzoek gebruikt, maar alleen wanneer er geen minder invasief alternatief zoals CT-angiografie of MR-angiografie beschikbaar is. Risico's van angiografische ingrepen zijn vaatletsel met bloeding, dissectie of trombose. De meest voorko-

mende indicaties zijn atherosclerotische arteriële stenosen (vernauwingen) of occlusies (afsluitingen) in bekken en benen, die tot ernstige arteriële insufficiëntie leiden, en veneuze stenosen door intimahyperplasie in dialysehunts, waardoor de bloedstroom door de shunt bemoeilijkt wordt. Minder frequente indicaties zijn nierarteriestenose en stenose van visceraal vaten. Hierbij wordt met een voerdraad de stenose gepasseerd en vervolgens wordt een ballonkatheter opgevoerd tot in de stenose. Hier wordt de ballon (met een tevoren bepaalde diameter) opgeblazen en wordt het vat wijder gemaakt. Hetzelfde kan in geval van een occlusie gedaan worden. De beste resultaten worden verkregen in grote vaten zoals aorta en iliacaal arteriën. Als een stenose of occlusie niet goed reageert op de PTA of snel na behandeling recidiveert, kan een stent geplaatst worden. Hierbij wordt via een katheter een metalen buisje geplaatst op de plaats van de stenose of occlusie. De stent wordt op deze plaats ontplooid om zo het vat open te houden.

Bij een acute arteriële trombose van bijvoorbeeld een been kan gebruikgemaakt worden van percutane trombolyse. Hierbij wordt een katheter tot in de trombus gebracht en lokaal wordt fibrinolyse verricht door fibrinolytische enzymen (meestal urokinase) in te spuiten. Wegens de kans op bloedingscomplicaties moeten contra-indicaties voor de ingreep, zoals gebruik van anti-stolling, een recent herseninfarct of -bloeding of een recente grote operatie tevoren nauwkeurig uitgevraagd worden. Tevens moet de patiënt tijdens de behandeling intensief gecontroleerd worden op een hiervoor geschikte afdeling.

TIPS (transjugulaire intrahepatische porto-systemische shunt)

Bij patiënten met complicaties van portale hypertensie bij levercirrose (ernstige varicesbloedingen, onbehandelbare ascites) kan er een verbinding gemaakt worden tussen de vena portae en de venen in de lever. Deze verbinding wordt vervolgens gedilateerd met een ballon en er wordt een stent geplaatst om de verbinding open te houden. Door deze ‘shunt’ neemt de portale hypertensie af en kunnen de complicaties van portale hypertensie verbeteren. De indicatie hiervoor moet zorgvuldig gesteld worden, omdat de ingreep het risico meebrengt op het ontwikkelen van hepatische encefalopathie.

2.6.2 Complicaties bij interventieradiologie

Bij de meeste radiologische interventies is het risico op complicaties gering. Bij non-vasculaire interventies kunnen met name bloeding, bacteriëmie en pijn tijdens en na de procedure optreden. Bij vasculaire interventies kunnen systemische complicaties (contrastnefropathie, allergische reactie), punctieplaatsgerelateerde complicaties (trombose, dissectie, bloeding van de arteria femoralis) en specifiek interventiegerelateerde complicaties (ischemie bij onbedoelde vaatafsluiting, ruptuur van het vat tijdens PTA) optreden.

De kans hierop moet altijd voor de ingreep met patiënten besproken worden door zowel de verwijzer voor de ingreep als de radioloog die de interventie uitvoert.

Tevens kunnen voorzorgen genomen worden om bloedingscomplicaties te vermijden, door de stolling te controleren en te

optimaliseren door bijvoorbeeld het gebruik van orale anticoagulantia en trombocytenuitremmers, indien mogelijk, te stoppen. Hier moeten natuurlijk de voor- en nadelen van het stoppen van medicatie tegen elkaar afgewogen worden.

Voor een aantal typen ingrepen, zoals PTCd en nefrostomie bij nierinfectie, moet tevoren antibioticaprofylaxe gegeven worden. Na interventies is het vaak nodig goede pijnstilling af te spreken.

Casuïstiek ntv g

Nederlands
Tijdschrift
voor
Geneeskunde

- Persistierend renaal bloedverlies behandeld door selectieve vasculaire embolisatie, met behoud van nierfunctie
- Embolisatie bij een spontane hematomneumothorax



Intermezzo 2.2 Dotteren

De percutane transluminale angioplastiek (PTA) wordt door zowel medici als leken meestal aangeduid met de term 'dotteren'. Het dotteren van bloedvaten is vernoemd naar dr. Charles Dotter, een Amerikaanse radioloog, die door velen als de uitvinder en vader van het vak interventieradiologie gezien wordt.

Dotter behandelde als eerste in januari 1964 een bloedvatvernauwing in een bovenbeen succesvol door middel van een kathetertechniek bij een oude dame met ischemie van de voet. Een jaar eerder had hij het idee ontwikkeld, nadat hij per ongeluk – maar succesvol – een occlusie van de arteria iliaca met een katheter gerekanaliseerd had tijdens het verrichten van een diagnostische angiografie van de aorta. De ballonkatheter zoals die nu gebruikt wordt, is overigens bedacht door de Zwitserse cardioloog Grüntzig. Dotter gebruikt 'bougies' om vaten te dilateren. Later bedacht Dotter onder andere ook de stent en het principe van intra-arteriële trombolyse.

Hij werd soms betiteld als 'Crazy Charlie', hetgeen zowel te maken had met zijn excentrieke levensstijl (bergbeklimmer, piloot, schilder) als met de gedrevenheid in zijn werk. Zo katheteriseerde hij zichzelf regelmatig als demonstratie voor studenten om te laten zien hoe veilig de procedure was. Hij rolde eens tijdens een grote visite op de afdeling Interne geneeskunde en Cardiologie plotseling zijn mouw op om alle aanwezigen te laten zien, dat hij via een elleboogvat zichzelf gekatheteriseerde had en al de gehele visite rondliep met een katheter in zijn hart, zonder dat hij er enige last van had.

Dr. Dotter is in 1985 op de leeftijd van 65 jaar overleden. Als eerbetoon aan zijn werk noemen wij in Nederland, als enige land ter wereld, de door hem bedachte procedure nog steeds dotteren.

2.7 Risico's van beeldvormend onderzoek en voorzorgen

Kernpunten

- Bij het gebruik van beeldvormend onderzoek moeten altijd de te verwachten opbrengst en de risico's van het onderzoek tegen elkaar afgewogen worden.
- Röntgenstraling heeft het risico van de inductie van kanker, waarbij het risico toeneemt met een hogere dosis en er geen veilige 'drempeldosis' bestaat waaronder het gebruik van röntgenstralen geheel veilig is. Een CT-scan gaat met een veel hogere stralenbelasting gepaard dan een conventionele röntgenfoto.
- Bij het doen van onderzoeken met röntgenstraling geldt het ALARA-principe (*as low as reasonably achievable*). Er dient zo kort mogelijk en op een zo klein mogelijk gebied straling toegediend te worden.
- Medische werkers dienen tijdens het toedienen van röntgenstralen steeds zo ver mogelijk van de stralingsbron verwijderd te blijven.
- Wanneer röntgenonderzoek overwogen wordt bij een vrouw in de vruchtbare leeftijd, dient altijd tevoren gecontroleerd te worden of zij mogelijk zwanger is.
- Wanneer beeldvormend onderzoek met intraveneus röntgencontrastmiddel wordt overwogen, dient altijd gecontroleerd te worden of:
 - er risicofactoren zijn voor het ontwikkelen van contrastnefropathie, zo nodig moet de nierfunctie tevoren bepaald worden;
 - de patiënt bekend is met allergie voor röntgencontrastmiddelen.
- Wanneer een onderzoek met intraveneus röntgencontrastmiddel noodzakelijk is bij een patiënt met risicofactoren voor het ontwikkelen van contrastnefropathie, zijn de belangrijkste maatregelen:
 - goed hydreren voor en na het onderzoek;
 - stoppen van nefrotoxische medicatie voor het onderzoek.

2.7.1 Röntgenstraling

Röntgenstraling heeft het risico van de inductie van kanker bij degene die de straling toegediend krijgt. Hoe hoger de dosis, hoe hoger de kans op het ontwikkelen hiervan. Er is geen 'drempeldosis' waaronder het toedienen van röntgenstraling veilig is. In het algemeen gaan conventionele röntgenfoto's gepaard met weinig straling. De stralendosis bij langdurige doorlichtingsonderzoeken en CT-scans ligt veel hoger. De tijd die verstrijkt tussen het ontvangen van de straling en het ontwikkelen van de kanker is waarschijnlijk lang (tientallen jaren) en patiënten met een lange levensverwachting hebben dus meer kans op het krijgen daarvan. Om deze reden moet hiermee vooral bij jonge mensen rekening gehouden worden. Wanneer het gezondheidsrisico van het achterwege laten van een röntgenonderzoek groter wordt geacht dan

de – relatief kleine, maar wel degelijk aanwezige – risico's van het doen van het onderzoek, is het onderzoek in principe geïndiceerd. Deze afweging moet steeds opnieuw door zowel radioloog als de aanvrager van beeldvormend onderzoek gemaakt worden. Ook moet steeds overwogen worden of er een ander onderzoek beschikbaar is, dat zonder gebruik van röntgenstralen (echografie, MRI) tot (bijna) dezelfde diagnostische informatie kan komen.

Omdat röntgenstralen teratogene effecten op een foetus kunnen hebben die tot geboortedefecten leiden, moet bij iedere zwangere patiënt het gebruik van röntgenstralen in principe totaal vermeden worden. Bij levensbedreigende aandoeningen kunnen hierop uitzonderingen gemaakt worden. Wanneer röntgenonderzoek overwogen wordt bij een vrouw in de vruchtbare leeftijd, dient altijd tevoren gecontroleerd te worden of zij mogelijk zwanger is.

Voor degenen die de stralen tijdens een onderzoek toedienen geldt, dat zij steeds zo min mogelijk straling dienen te ontvangen. Het leidende principe hierbij wordt vaak het ALARA-principe ('as low as reasonably achievable') genoemd. Tijdens een doorlichtingsonderzoek dient bijvoorbeeld steeds zo kort mogelijk een zo klein mogelijk deel van het lichaam van de patiënt doorlicht te worden. Aanwezige medische werkers dienen er tijdens de ingreep voor te zorgen zelf ook zo weinig mogelijk röntgenstraling te ontvangen. Behalve de hiervoor genoemde maatregelen dienen zij ook steeds een zo groot mogelijk afstand tot de patiënt en de röntgenapparatuur te houden tijdens het doorlichten en maken van foto's.

2.7.2 Intraveneuze contrastmiddelen

Het gebruik van intraveneuze contrastmiddelen, die hoofdzakelijk door de nieren uitgescheiden worden, kan in sommige gevallen leiden tot nierinsufficiëntie (contrastnephropathie). De kans hierop is vooral aanwezig als zeer veel contrastmiddel gebruikt wordt (bijvoorbeeld tijdens een langdurige angiografische procedure of wanneer kort achter elkaar verschillende contrastonderzoeken gedaan worden) en wanneer de patiënt tevoren al risicofactoren voor het ontwikkelen van contrastnephropathie heeft. Deze risicofactoren zijn onder andere hoge leeftijd, hartfalen, pre-existente nierfunctiestoornis, het gebruik van nefrotoxische medicatie, diabetes mellitus (met nierfunctiestoornis), dehydratie en langdurige hypotensie.

Wanneer contrastonderzoek overwogen wordt, dient de eventuele aanwezigheid van risicofactoren altijd geëvalueerd te worden en, indien aanwezig, moet de nierfunctie tevoren onderzocht worden. Indien mogelijk kan vervolgens een alternatief onderzoek verricht worden waarbij geen intraveneus contrastmiddel nodig is, bijvoorbeeld echografie of MRI. Wanneer MRI als alternatieve techniek gekozen wordt, is het wel van belang in gedachten te houden dat bij ernstige nierfunctiestoornis het haalbaar gebruik van gadolinium ook risico's heeft (zie ► par. 2.5). Wanneer het gebruik van intraveneus röntgencontrastmiddel toch noodzakelijk is, dient de nierfunctie zo goed mogelijk beschermd te worden door de patiënt rond de procedure maximaal te hydreren en potentieel nefrotoxische medicatie tevoren te

stoppen. Hiervoor bestaan in de meeste ziekenhuizen protocollen met hydratieschema's. Wanneer in een spoedsituatie de tijd ontbreekt om voor een CT-scan een prehydratieschema te voltooien, zijn er in sommige ziekenhuizen spoed-hydratieschema's, waarbij gebruik wordt gemaakt van natriumbicarbonaat.

Zelden komen allergische reacties voor tijdens gebruik van intraveneus contrastmiddel. Reacties kunnen variëren van minder ernstig (urticaria, jeuk) tot levensbedreigend (shock, glottis-oedeem met bedreigde luchtweg). Wanneer een reactie plaatsvindt, dient afhankelijk van de ernst (variërend van observatie en toediening van antihistaminica tot resuscitatie en intubatie) gehandeld te worden. Het voorkomen van een dergelijke reactie moet altijd gedocumenteerd worden in het (elektronisch) dossier van de patiënt. Van groot belang is ook voorafgaande aan een contrastonderzoek altijd te controleren of de patiënt ooit een allergische reactie op het contrastmiddel gehad heeft. Wanneer de patiënt in het verleden een ernstige reactie gehad heeft, mag beslist geen intraveneus contrastmiddel meer gegeven worden. Indien mogelijk kan dan een alternatief onderzoek verricht worden, waarbij geen intraveneus contrastmiddel nodig is, bijvoorbeeld een CT-scan zonder intraveneus contrast, echografie of MRI. Wanneer de patiënt in het verleden een milde reactie heeft gehad, kan in sommige gevallen wel (bij voorkeur een ander) contrastmiddel toegediend worden, maar alleen na toediening van allergieprofylaxe (corticosteroiden en antihistaminicum).

Misselijkheid of een warmtesensatie kan als bijwerking optreden van intraveneuze contrastmiddeltoediening, maar berust niet op een allergische reactie en vormt dus geen contra-indicatie voor toekomstig contrastonderzoek.

2.7.3 'Incidentaloorn'

Bij het doen van beeldvormend onderzoek worden zeer frequent als toevallsbevinding afwijkingen ('incidentalomen') gevonden, die niet gerelateerd zijn aan de indicatie waarvoor het onderzoek verricht is.

Voorbeelden hiervan zijn het vinden van asymptomatische galstenen bij een echografie van de nieren bij een patiënt met nierinsufficiëntie, het vinden van een kleine longnodulus bij een CT-thorax die voor het uitsluiten van een longembolie gemaakt is of het vinden van een aneurysma van de aorta bij een patiënt bij wie een intra-abdominale tumor met een CT-abdomen gestadig wordt.

In zulke gevallen dient de klinische relevantie en de kans op gezondheidswinst en morbiditeit bij verdere evaluatie en behandeling hiervan altijd overwogen te worden.

Casuïstiek ntv Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde

- Een incidentaloorn van de bijnier bij een traumapatiënt; pleidooi voor een expectatief beleid
- Het incidentaloorn van de bijnier: een klinisch probleem van beeldvorming
- Vier patiënten met een incidentaloorn van de schildklier bij fluor-18-deoxyglucose-positronemissietomografie (FDG-PET)

2.8 Nucleaire geneeskunde: scintigrafie en positronemissietomografie (PET/CT-scan)

2.8.1 Fysica en techniek

In de nucleaire geneeskunde wordt gebruikgemaakt van radiofarmaca. Deze radioactieve geneesmiddelen zijn isotopen (bijvoorbeeld jodium-123) of moleculen waaraan een radioactief label is toegevoegd (bijvoorbeeld technetium-99m hydroxymethyleen difosfaat, fluor-18-deoxyglucose). Radiofarmaca hebben een specifieke biodistributie in het lichaam en worden veelal renaal of hepatisch geklaard. Voor diagnostiek wordt er gekeken naar afwijkingen van het fysiologische distributiepatroon, waar het radiofarmacon in mindere of meerdere mate in een orgaan kan stapelen, of kan stapelen op plaatsen waar dit normaal niet voorkomt. Dit wordt ook wel functionele of moleculaire beeldvorming genoemd. Sommige isotopen kunnen gebruikt worden voor therapie (bijvoorbeeld jodium-131, yttrium-90, lutetium-177, radium-223), als zelfstandig isotoop (bijv. ^{131}I , ^{223}Ra), gekoppeld aan een drager (bijvoorbeeld ^{90}Y -glasmicrosfeer), of gekoppeld aan een molecuul (bijvoorbeeld ^{177}Lu -octreotaat). Het therapeutisch effect bestaat voornamelijk uit lokale bestraling met β -stralen (bijvoorbeeld ^{131}I , ^{90}Y , ^{177}Lu) of α -stralen (^{223}Ra). Het voordeel hiervan is dat het voor sommige aandoeningen mogelijk is hierdoor een zeer hoge dosis straling ter plaatse te krijgen zonder dat omliggend weefsel te veel van de straling meekrijgt.

Radiofarmaca geven voor zolang ze radioactief zijn straling af vanuit de plaats in het lichaam waar ze zich bevinden. Hoe lang een isotoop radioactief is isotoopspecifiek en wordt uitgedrukt in de halfwaardetijd (bijvoorbeeld ongeveer 6 uur voor $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ongeveer 110 min voor ^{18}F). Voor diagnostiek wordt gebruikgemaakt van de gammacamera of de PET-scanner. Deze apparaten kunnen de uitgezonden fotonen detecteren en omzetten in een digitaal beeld. Veelal wordt dit op moderne camera's gecombineerd met een diagnostische CT of een lage-dosis CT voor anatomische correlatie (multimodale beeldvorming). Beeldvorming kan statisch (een enkele opname) of dynamisch (meerdere opnamen in de tijd), planair (tweedimensionaal) of tomografisch (driedimensionaal) gedaan worden.


Beschikbaarheid, stralenbelasting, indicaties opgenomen in richtlijnen en kosten zijn aspecten die meegewogen moeten worden bij het besluit om een onderzoek of behandeling met radionucliden aan te vragen. Nucleair geneeskundige onderzoeken zijn over het algemeen wat duurder, afhankelijk van de gebruikte radiofarmaca, maar kunnen, mits op het goede moment van het diagnostisch of stadiëringsproces van de patiënt ingezet, leiden tot besparing of tijdswinst.

2.8.2 Indicaties

De meest voorkomende ziektebeelden waarbij nucleaire geneeskunde een belangrijke rol in de diagnostiek, de follow-up of de behandeling speelt, worden in de volgende paragrafen beschreven. Het betreft slechts een selectie, voor meer uitgebreide informatie wordt naar de aanbevolen literatuur verwezen.

Skelet

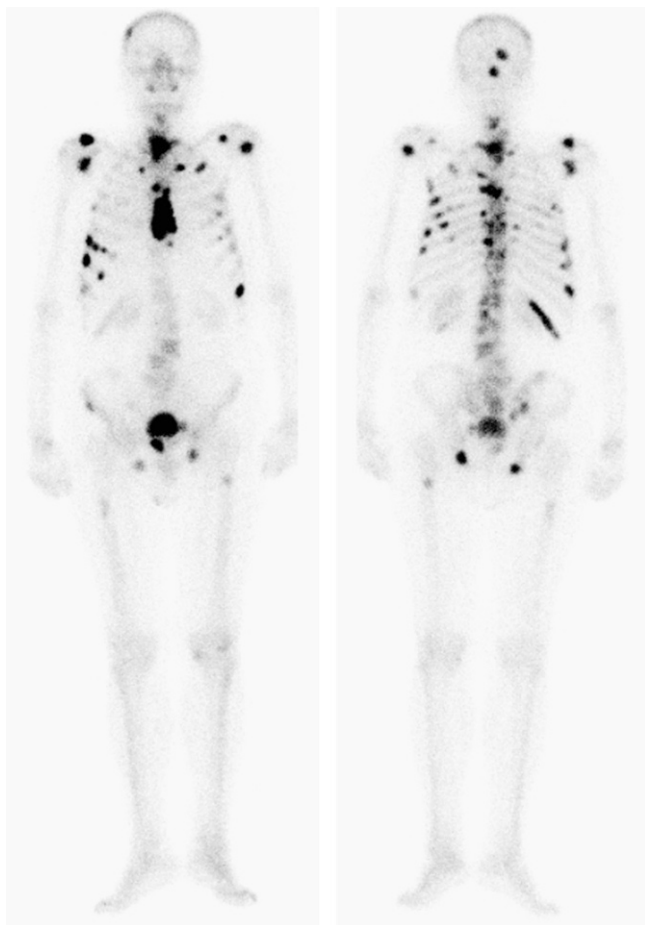
Het skelet is continu onderhevig aan renovatie, waarbij onder normale omstandigheden botafbraak en botopbouw in evenwicht zijn. Trauma of ziekteprocessen kunnen dit evenwicht verstoren. Botzoekende radiofarmaca zoals $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -methyleen difosfaat (MDP), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -hydroxymethyleen difosfaat (HDP) of ^{18}F -fluoride binden aan de nieuwgevormde botmatrix die door de osteoblasten is gevormd, waardoor de radioactieve stapeling in het skelet een maat is voor de lokale osteoblastenactiviteit. Onder normale omstandigheden wordt er een fysiologische verdeling van het radiofarmacon in het skelet gezien, waarbij men bij kinderen een normale hogere activiteit ziet in de groeischijven. Skeletscintigrafie is een heel gevoelig onderzoek, waarmee in een vroeg stadium skeletafwijkingen kunnen worden vastgesteld. Zowel goedaardige aandoeningen, zoals (oude) fracturen, degeneratie of infectie, als kwaadaardige aandoeningen, zoals primaire bottumoren of osteoblastische metastasen, kunnen een verhoogde uptake hebben. Aangezien verhoogde osteoblastische activiteit in het skelet op zichzelf een specifiek proces is, zal een gerichte vraagstelling in combinatie met klinische en biochemische informatie vaak leiden tot een betere diagnose.

Een skeletscintigrafie kan naargelang de indicatie als een whole-body of een meergefaseonderzoek worden uitgevoerd (zie  Figuur 2.24). Als beoordeling van hyperemie en blood pool kan helpen in de differentiatie, wordt het radiofarmacon intraveneus toegediend als de patiënt onder de camera is gepositioneerd. De eerste (perfusie) en tweede (blood pool) fase geven een indruk van regionale verschillen in doorbloeding en wekedelenstapeling. Dit kan een aanwijzing geven voor goed doorbloede processen of verhoogde vaatpermeabiliteit bij infectie of ontsteking. De derde (late) fase wordt twee tot drie uur na injectie gemaakt en toont de osteoblastische activiteit. Aanvullend aan de planaire beeldvorming kan een SPECT-CT worden gemaakt om de afwijking beter te bekijken in een driedimensionale weergave. Combinatie met (non)diagnostische CT correleert afwijkende osteoblastenactiviteit met anatomisch substraat, waardoor het onderzoek aan specificiteit wint.

Indicaties voor een skeletscintigrafie zijn onder andere goedaardige (bijvoorbeeld langerhanscelhistiocytose, osteoïd osteoom) en kwaadaardige (bijvoorbeeld osteosaroom, ewingsaroom) bottumoren, osteoblastische skeletmetastasen (bijvoorbeeld prostaatacarcinoom, mammacarcinoom), ontstekingen (bijvoorbeeld osteomyelitis, discitis, artritis), trauma, stressfractuur, metabole skeletziekten (bijvoorbeeld M. Paget, renale osteodystrofie) en gecompliceerde gewrichtsprothesen (bijvoorbeeld heup- of knieprothese). Voor een meer uitgebreide lijst wordt naar de (aanbevolen) literatuur verwezen.

Hart

De meest voorkomende scintigrafische onderzoeken van het hart zijn de myocardperfusiescintigrafie en de bepaling van de linker-ventrikel-ejectiefractie (LVEF). Bij myocardperfusiescintigrafie wordt een radiofarmacon (bijvoorbeeld $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tetrofosmin) intraveneus toegediend wanneer de patiënt een maximale inspanning (fietstest of loopband) heeft geleverd, of indien fysieke inspanning niet mogelijk is na farmacologische inspanning (bijvoorbeeld adenosine of dobutamine). Het radio-



■ **Figuur 2.24** Skeletscintigrafie. Whole-body skeletscintigrafie bij een 74-jarige man met prostaatacarcinoom toont op de anterieure opname (links) en posterieure opname (rechts) multipole foci met verhoogde stapeling in het axiale en proximale apendiculaire skelet, passend bij osteoblastische skeletmetastasen.

farmacon wordt proportioneel aan de coronaire doorbloeding opgenomen in vitale myocardcellen. Door het onderzoek na inspanning te vergelijken met een onderzoek in rusttoestand, kunnen regionale perfusiedefecten een beeld geven van reversibele ischemie (afwijkend inspanningsonderzoek en normaal rustonderzoek) of irreversibele ischemie dan wel infarct (afwijkend inspanningsonderzoek en afwijkend rustonderzoek). Naast beoordeling van regionale doorbloeding wordt veelal bij gated-myocardperfusiescintigrafie ook een beoordeling van de regionale wandbeweging en de linkerventrieklejectiefractie gedaan. De belangrijkste indicaties voor myocardperfusiescintigrafie zijn een matige verdenking op kransslagaderlijden (pre-test probability 15-65%) bij een normale LVEF en een non-conclusief inspannings-ecg, een sterke verdenking op kransslagaderlijden (pre-test probability 66-85%) bij een verminderde LVEF en zonder typische angina-pectorisklachten. Bepaling van de functionele ernst van een coronarstenose kan ook een indicatie zijn.

Nieren

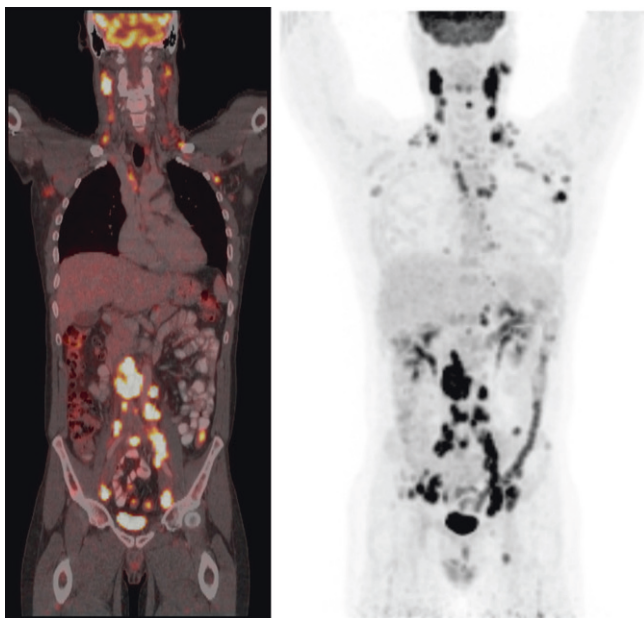
De meest voorkomende scintigrafische onderzoeken voor de nieren zijn het renogram en de statische nierscintigrafie. Renografie is een dynamisch onderzoek, waarbij de uptake en excretie van het radiofarmacon door de nieren ($^{99m}\text{Tc-MAG}_3$ of $^{99m}\text{Tc-DTPA}$) bestudeerd kan worden gedurende een periode van 20-30 min. Naast informatie over de doorbloeding geeft het onderzoek inzicht in de relatieve nierfunctie, excretie van urine naar het verzamelsysteem en afvloed naar de blaas. Om de diurese te bevorderen wordt de patiënt gevraagd voldoende water te drinken en kan vooraf furosemide worden gegeven. Renografie wordt ook gebruikt om de werking van een transplantatienier te onderzoeken. Statische nierscintigrafie ($^{99m}\text{Tc-DMSA}$) kan worden gebruikt voor het vaststellen van pyelonefritis of de detectie van corticale littekens na pyelonefritis. Het onderzoek wordt ook gebruikt voor het vaststellen van de zuivere relatieve nierfunctie, wat van belang kan zijn na een doorgemaakte ontsteking of als monitoring bij gebruik van bepaalde nefrotoxische chemotherapeutica.

Longen

Long(perfusie- en -ventilatie)scintigrafie kan worden gebruikt bij patiënten met een verdenking op longembolie. Longperfusiescintigrafie wordt gedaan met ^{99m}Tc gelabelde macroaggregaten (10-50 μm) die in het capillaire vaatbed van de longen vastlopen. Dit geeft een beeld van de (sub)segmentale longdoorbloeding, waar in het geval van longembolie perfusiedefecten zichtbaar worden. Bij longembolie is de ventilatie meestal intact. Dit kan simultaan (^{81m}Kr -gas) of sequentieel (^{99m}Tc -technegas) in beeld worden gebracht. CT-angiografie is echter in de meeste centra het voorkeursonderzoek. Longperfusiescintigrafie wordt soms ook gebruikt om de regionale bijdrage aan de functie te bepalen voor resectie.

Tumor en infectie

De meest gebruikte scintigrafische techniek voor het opsporen van tumoren of metastasen is $^{18}\text{F-FDG}$ PET-CT. Tumoren hebben veelal een hoog energieverbruik. Tumorcellen brengen veelal meer glucosetransporters tot expressie en hebben een verhoogde enzymactiviteit bij de glycolyse om aan hun energiebehoefte te voldoen. $^{18}\text{F-FDG}$ wordt in de cel opgenomen en gefosforyleerd als natuurlijk glucose. Gefosforyleerd FDG wordt echter niet verder gemetaboliseerd, waardoor het in de cel wordt opgeslagen, wat nuttig is voor de beeldvorming. De belangrijkste indicaties voor PET-CT zijn mammacarcinoom, longcarcinoom, lymfoom, hoofd-halstumoren, slokdarmcarcinoom, colorectale tumoren, gynaecologische tumoren, melanomen (zie ■ Figuur 2.25). Voor specifieke indicaties wordt verwezen naar de aanbevolen literatuur. Naargelang het tumortype wordt $^{18}\text{F-FDG}$ PET-CT in de stadiëring of de follow-up ingezet. Het onderzoek is als whole-body techniek zeer geschikt om naast lokale tumorevaluatie ook metastasen op afstand op te sporen. Geactiveerde leukocyten vertonen ook een verhoogd glucosemetabolisme, waardoor ontstekingsprocessen zichtbaar gemaakt kunnen worden met $^{18}\text{F-FDG}$ PET-CT. Ook hier heeft het in beeld brengen van het hele lichaam voordelen voor het opsporen van de ontstekingshaard(en). Indi-



■ Figuur 2.25 PET-CT: 18F-FDG PET-CT bij een patiënt met lymfoom toont multipale foci met verhoogde FDG-stapeling in lymfeklierpakketten boven en onder het diafragma. Stapeling in de hersenen en renaal excretiesysteem is fysiologisch.

caties voor dit onderzoek zijn onder andere koorts of ontsteking van onbekende oorzaak, osteomyelitis, vasculitis, endocarditis.

Therapie

Radionuclidentherapie is een belangrijk onderdeel van de nucleaire geneeskunde. Het principe is gebaseerd op het lokaal bestralen van target weefsel met alfa- of bètastralen, die door het radiofarmacon zo specifiek mogelijk ter plaatse worden gebracht. ^{131}I -therapie voor goedaardige (hyperthyreoïdie bij bijvoorbeeld M. Graves) of kwaadaardige (bijvoorbeeld papillair schildklier-carcinoom) schildklier-aandoeningen is een veelgebruikte toepassing. Steeds meer toegepaste behandelingen in palliatieve setting zijn SIRT (Selectieve Interne Radiotherapie) met ^{90}Y -gelabelde microsferen voor hepatocellulair carcinoom of colorectale levermetastasen, ^{89}Sr - of ^{223}Ra -therapie voor skeletmetastasen van een prostaatacarcinoom. In sommige ziekenhuizen wordt ^{131}I -MIBG-therapie bij neuroblastoom en ^{177}Lu -octreotatherapie voor neuro-endocriene tumoren toegepast.

Literatuur

1. Gunderman R. Essential radiology: clinical presentation, pathophysiology, imaging, 3e druk. Stuttgart: Thieme; 2014.
2. Hofer M. CT teaching manual: a systematic approach to CT reading. Stuttgart: Thieme; 2010.
3. Lemmens A, Ariës M. Praktische radiologie. Houten: Bohn Stafleu van Loghum; 2005.
4. Mettler FA Jr. Essentials of radiology, 3e druk. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2013.
5. Broek W van den, Barneveld P, Bruin N, Lemstra C. Nucleaire geneeskunde, 4e druk. Amsterdam: Reed Business; 2014.

Link naar relevante website

6. www.radiologyassistant.nl Site met bondige overzichtsartikelen over de rol van radiologie bij allerlei veelvoorkomende ziektebeelden.