
3 Beeldvormende technieken

C.R. STAALMAN

3.1 Inleiding

Bij de meeste ruimte-innemende processen is het voor het maken van een behandelingsplan niet alleen noodzakelijk te beschikken over informatie betreffende de aard (benigne/maligne, histologisch type) van de tumor, maar ook betreffende de vorm en grootte, en de verhouding tot naburige organen, alsook eventuele metastasen op afstand, enzovoort.

Om deze informatie te verzamelen, staan de arts een aantal beeldvormende onderzoeksmethodieken ten dienste. Om hiervan op de juiste wijze gebruik te maken, dient de arts op de hoogte te zijn van de diagnostische opbrengst en van de voor- en nadelen van iedere methode, met inbegrip van het stralingsrisico. Uitgerust met deze kennis is de arts in staat een verantwoorde keuze te maken voor initieel en vervolgonderzoek bij de patiënt, steeds in het licht van individuele behoeften en zich wijzigende omstandigheden. Dit neemt niet weg dat, evenals in andere vakgebieden het geval is, in de kinderoncologie veelal gewerkt wordt met vaste onderzoek- en behandelingsprotocollen, opgesteld in het kader van zogenaamde clinical trials.

Eerst worden nu de beeldvormende technieken besproken, vervolgens wordt iets verteld over het stralingsrisico, terwijl aan het slot van dit hoofdstuk een enigszins uitgewerkt voorbeeld van een onderzoeksprotocol wordt gegeven.

3.2 Beeldvormende technieken

3.2.1 Conventionele röntgendiagnostiek

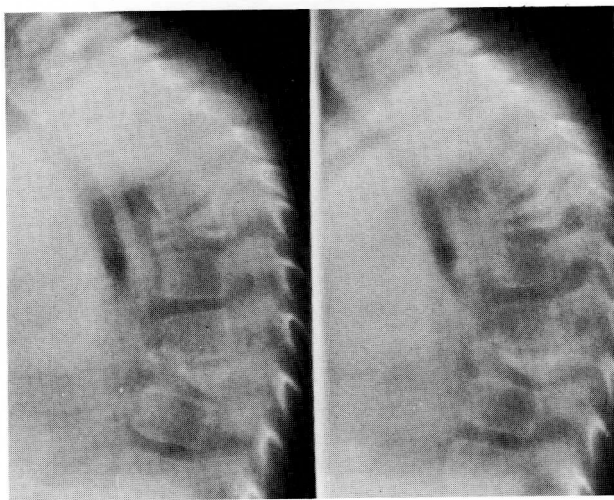
De gewone röntgenfoto is te beschouwen als een absorptiebeeld, waarin alle tijdens de opname doorstraalde weefsels over elkaar heen geprojecteerd

worden. Het laat zich denken dat hierbij soms drogbeelden en schijnstructuren ontstaan. De contrasten in het beeld worden veroorzaakt door verschillen in absorptievermogen voor röntgenstraling tussen de weefsels. Zo kan men in het menselijk lichaam in volgorde van toenemende absorptie onderscheiden: lucht (en andere gassen), vetweefsel, waterhoudende organen (spieren, bloed, lever, nieren, kraakbeen, enz.) en kalkhoudende structuren (bot, tanden).

Om organen met (vrijwel) hetzelfde absorptievermogen voor röntgenstralen toch van elkaar te onderscheiden, maakt men gebruik van speciale technieken. De belangrijkste zijn planigrafie en toediening van contrastmiddelen.

Planigrafie

Bij planigrafie worden de röntgenbuis en de röntgenfilm tijdens de opname tegengesteld aan elkaar bewogen. Zo wordt alleen het instelvlak, gaande door het snijpunt van de stralen in de uiterste standen van de buis evenwijdig aan het tafelblad waarop de patiënt ligt, scherp afgebeeld. De overige structuren worden vervaagd en wel des te meer naarmate zij verder van het instelvlak verwijderd zijn. Door vóór iedere opname het instelvlak te variëren, verkrijgt men een aantal planigrafische sneden die te zamen in serie bestudeerd worden. Hierbij mag men alleen acht slaan op die structuren die

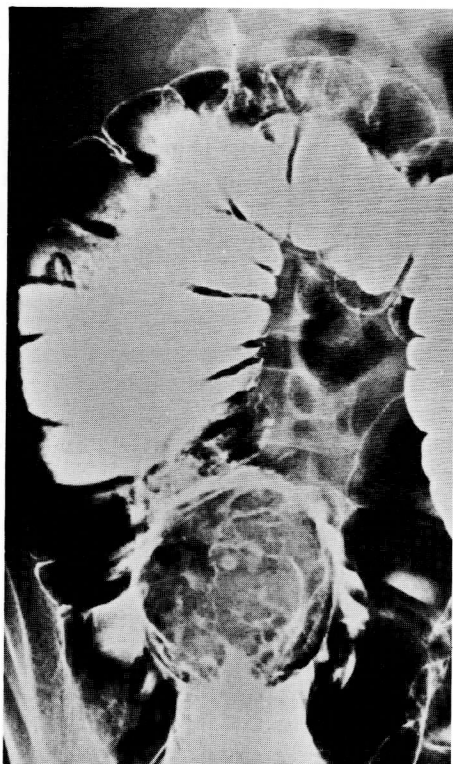


Figuur 3-1 Planigram van de thoracale wervelkolom. Enkele sneden in zijdelingse projectie. Fraai zijn de wervels te beoordelen, vrij van storende superpositie. Enkele corpora zijn gedeeltelijk ingezakt, in dit geval door osteoporose t.g.v. prednisonbehandeling.

scherp afgebeeld worden. De planigrafie geeft vooral waardevolle informatie bij de analyse van complexe driedimensionele structuren zoals wervels (fig. 3-1), rotsbeen, aangezichtsskelet, longen en grote beentumoren.

Contrastmiddelen

Bij het contrastmiddelenonderzoek wordt het af te beelden (holle) orgaan gevuld met een substantie die röntgenstraling meer resp. minder sterk absorbeert dan de omgeving. Men spreekt van positief resp. negatief contrast. Als negatieve contrastmiddelen worden lucht en soms zuurstof toegepast. Positieve contrastmiddelen zijn barium en jodium. Hieronder worden de belangrijkste onderzoeken die daarmee gedaan kunnen worden besproken.



Figuur 3-2 Colononderzoek met bariumsulfaatsuspensie. In het ileocecale gebied is een mandarijngrote uitsparing in het contrast zichtbaar. Dit beeld bleek te berusten op een deels geïnvagineerde Burkitt-tumor.

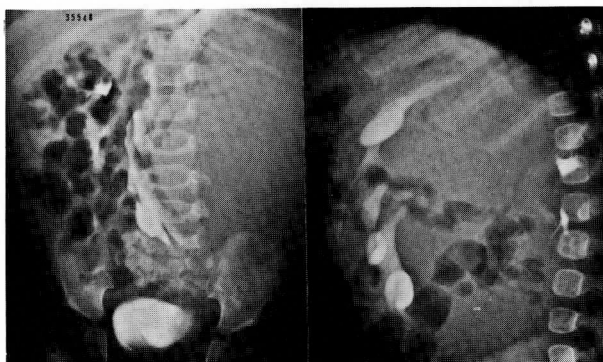
Barium

Bariumsulfatsuspensie wordt gebruikt voor onderzoek van afwijkingen van het maagdarmkanaal zelf, en soms ook om de verplaatsing van de darm door een ruimte-innemend proces na te gaan, om aldus de oorsprong en grootte van het gezwel te bepalen (fig. 3-2). Het betreft een indirecte methode van onderzoek, welke de laatste jaren steeds meer vervangen wordt door directe beeld diagnostische methodieken: echografie, computertomografie en kernspinresonantie, waarbij de tumor rechtstreeks zichtbaar kan worden gemaakt.

Jodium

Dit wordt toegepast in de vorm van steriele waterige oplossingen. Deze worden intra-arterieel c.q. intraveneus toegediend voor de afbeelding van bloedvaten (angiografie) en urinewegen (IVP), of in het wervelkanaal ingebracht (myelografie). Voor de afbeelding van de retroperitoneale lymfeklieren (lymfografie) wordt een dunne jodiumhoudende olie gebruikt.

IVP, intraveneus pyelogram. Na intraveneuze injectie wordt het contrastmiddel door de nieren uitgescheiden met de urine. Er worden voorachterwaartse en laterale opnamen van de buik gemaakt. Hierop kunnen eventuele vervorming en verplaatsing van nieren, pyelocaliciële systemen, ureteren en blaas bestudeerd worden en men krijgt zo een ruimtelijke indruk van de tumor en zijn omgeving. Aldus kan men b.v. differentiëren tussen een Wilms-tumor en een neuroblastoom (fig. 3-3).

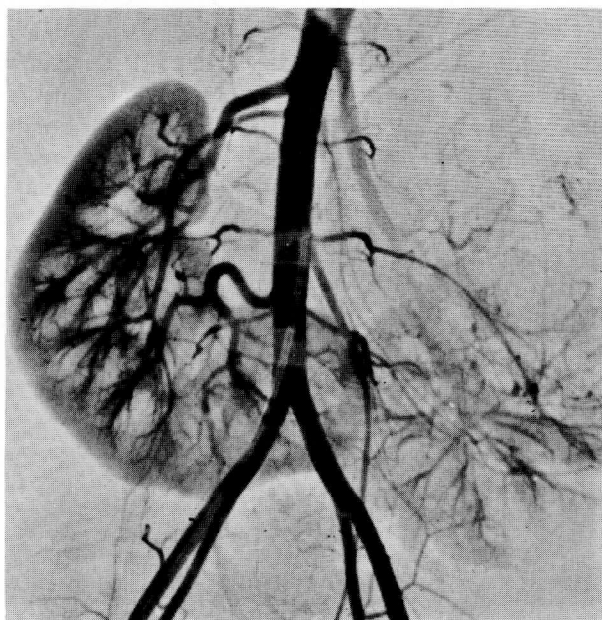


Figuur 3-3 IVP, opnamen in voorachterwaartse en zijdelingse projectie. Het rechter pyelocaliciële systeem is normaal. Het linker systeem is sterk misvormd, en naar ventraal en mediaal verplaatst. Dit beeld is sterk verdacht voor een Wilms-tumor. Een neuroblastoom zou vanwege zijn ontstaan uit bijnier of grensstreng eerder een verplaatsing naar caudaal of lateraal veroorzaken.

Angiografie. Hieronder verstaat men röntgenonderzoek van bloedvaten. Afhankelijk van de aard van het bloedvat spreekt men van arteriografie, cavografie of flebografie. Het contrast wordt ingespoten soms via een directe punctie, maar meestal via een catheter die vanuit de lies in het gewenste vat wordt opgeschoven (Seldinger-techniek). Tijdens de inspuiting wordt een serie opnamen gemaakt in één of meer richtingen.

Een speciale methode is de digitale subtractie-angiografie (DSA). Daarbij wordt eerst een achtergrondbeeld zonder contrast vervaardigd. Dat wordt dan met behulp van computertechnieken omgedraaid (wit/zwart wordt zwart/wit) en vervolgens afgetrokken (subtractie) van de beelden met contrast. Aldus blijven alleen de bloedvaten in het computerbeeld over. Het voordeel is dat er minder straling en contrastmiddel nodig is. De DSA-beelden zijn iets minder detailrijk dan het directe angiogram, maar dat is voor de hier besproken aandoeningen geen overwegend bezwaar.

In verband met de pijnlijke punctie, de noodzakelijke steriliteit en het feit dat het kind stil moet liggen, vinden arteriografie en DSA bij kinderen tot 12 jaar



Figuur 3-4 Angiografie, in dit geval een opspuiting van de buikaorta met zijn vertakkingen. Er is een vaatarm ruimte-innemend proces (Wilms-tumor) te zien in de linker helft van een hoefijzernier. De rechter helft is intact; deze kon bij de operatie worden gespaard.

in het algemeen onder algehele anesthesie plaats. Na afloop van het onderzoek dient de punctieplaats 10 minuten te worden afgedrukt en moet gedurende 12 uur op eventueel optredende nabloedingen en vascularisatiestoornissen worden gecontroleerd.

Het arteriogram is vaak slechts van beperkte waarde, aangezien sommige tumoren nauwelijks bloedvaatverzorging laten zien en de gevonden vaatafwijkingen meestal niet specifiek zijn voor een bepaalde tumor. Zelfs het al of niet kwaadaardige karakter van een gezwel kan men er vaak niet uit aflezen. Daarom speelt tegenwoordig de angiografie vrijwel uitsluitend een rol bij de preoperatieve analyse van de tumorpatiënt. In moeilijke gevallen heeft de chirurg namelijk behoefte aan informatie over de vaatrijkdom van de tumor



Figuur 3-5 Myelografie. Patiëntje met een langzaam groeiend ganglioneuroom uitgaande van de rechter grensstreng, dat abdominaal was verwijderd. De verplaatsing en compressie van de durale zak zijn een gevolg van de uitbreiding van het proces binnen het wervelkanaal.

en het verloop en de conditie van de belangrijkste bloedvaten in het operatiegebied (fig. 3-4). De cavografie vindt zijn indicatie vooral bij grote tumoren in de rechter buikhelft.

Myelografie. Via een lumbaalpunctie wordt na aftappen van liquor een gelijke hoeveelheid niet-geïoniseerd (daardoor minder prikkelend) contrastmiddel intrathecaal ingebracht. Door houdingsveranderingen van de patiënt kan men successievelijk het gehele wervelkanaal in beeld brengen. Aldus kan men ruimte-innemende processen binnen en buiten de durale zak, alsmede dreigende dwarslaesies op het spoor komen (fig. 3-5).



Figuur 3-6 Lymfografie bij patiënt met de ziekte van Hodgkin. De klieren links in buik en kleine bekken zijn normaal van grootte en aspect. De klieren rechts zijn vergroot en tonen een onregelmatige contraststapeling.

Lymfografie. Bij de lymfografie wordt een dunne jodiumhoudende olie naar de retroperitoneale lymfeklieren geleid. Daartoe worden via kleine incisies op de voetruggen fijne canules geschoven in de lymfevaten, welker verloop is zichtbaar gemaakt met methyleenblauw, dat even tevoren subcutaan tussen de tenen is ingespoten. Vervolgens wordt via de canules de olie d.m.v. een pompje langzaam in de lymfevaten geperst. Na enkele uren vullen zich ook de lymfeklieren. De volgende dag bevatten de lymfevaten geen contrast meer en zijn de klieren op de röntgenfoto's fraai te beoordelen (fig. 3-6). De olie die niet in de lymfeklieren achterblijft, bereikt de bloedbaan via ductus thoracicus en v. subclavia sinistra en geeft aanleiding tot micro-embolieën in de longen. De nacht na het onderzoek kan hierdoor koorts optreden. De longfunctie is gedurende enkele dagen na het onderzoek gestoord. Het methyleenblauw wordt met de urine uitgescheiden die hierdoor blauwgroen van kleur wordt. In de loop van een half jaar verdwijnen geleidelijk zowel de blauwe kleur op de voeten als het contrast in de lymfeklieren.

3.2.2 Nucleair-geneeskundige methoden

Met behulp van radio-actieve isotopen die ofwel biologisch actief zijn ofwel gebonden aan fysiologisch actieve stoffen (te zamen radiopharmaca genoemd) kan informatie worden verkregen over plaats, vorm en functie van organen en pathologische weefselmassa's.

Met behulp van een gammacamera worden lokalisatie en concentratie van het ingespoten radiopharmakon afgebeeld.

Aangezien het oplossend vermogen van deze afbeeldingstechniek niet groot is, heeft het geen zin grote foto's te maken, maar kan volstaan worden met kleine plaatjes. In het algemeen heeft de scintigrafie een hoge sensitiviteit, maar zijn de bevindingen niet specifiek. Dat wil zeggen de methode is zo gevoelig dat reeds kleine laesies kunnen worden opgespoord, maar over de aard van de gevonden afwijkingen (b.v. tumor of ontsteking) kan op grond van het scintigram geen uitspraak worden gedaan.

De stralenbelasting voor de patiënt is in het algemeen laag. Hierbij speelt het begrip halfwaardetijd een rol: de tijdsduur waarin de stralingsactiviteit tot de helft van de oorspronkelijke waarde terugloopt. Deze bedraagt bij voorbeeld voor technetium 6 uur en voor jodium-131 8 dagen.

Door uitscheiding van het radiopharmakon via de nieren kunnen soms in de blaas relatief hoge stralingsdoses optreden. Bij ^{123}I en vooral bij ^{131}I treden hoge schildklierdoses op. Als kan worden aangenomen dat bij onderzoek gevonden hoge activiteitsconcentraties op tumorlokalisaties berusten (zoals b.v. MIBG bij neuroblastoom), dan kan men van deze wetenschap gebruik

maken door een therapeutisch werkzame dosis van hetzelfde radiopharmacon toe te dienen. De tumorlokalisaties worden daardoor als het ware selectief bestraald.

Bij de verspreiding van het ingespoten radiopharmacon kunnen de volgende mechanismen een rol spelen:

Actief celtransport

jodium-123 en -131 (^{123}I en ^{131}I)	schildklier
technetium-99m-pertechnetaat ($^{99\text{m}}\text{TcO}_4$)	schild- en speekselklieren
$^{123}/^{131}\text{I}$ -orthojoedhippuraat (OIH)	tubuluscellen van de nier
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -immunodiazijnzuur (IDA)	hepatocyten van de lever
gallium-67 (^{67}Ga)-citraat	lymforeticulaire maligniteiten
indium-111 (^{111}In)-chloride	bloedvormend beenmerg

Passieve diffusie

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -diethyleenpentoazijnzuur (DTPA) glomerulaire filtratie
Ook kan een abnormale lokalisatie optreden bij (b.v. door tumorinvasie) verstoorde bloed-liquor-barrière.

Biochemische incorporatie

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -difosfonaat (MDP)	skelet
^{67}Ga -lactoferrine	witte bloedcellen
^{123}I -metajodobenzylguanidine (MIBG)	bijniermerg, neuroblastoma

Fagocytose

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -radiocolloïd	RES (lever, milt, beenmerg) lymfoscintigrafie
--	--

Onderzoeksmethodieken:

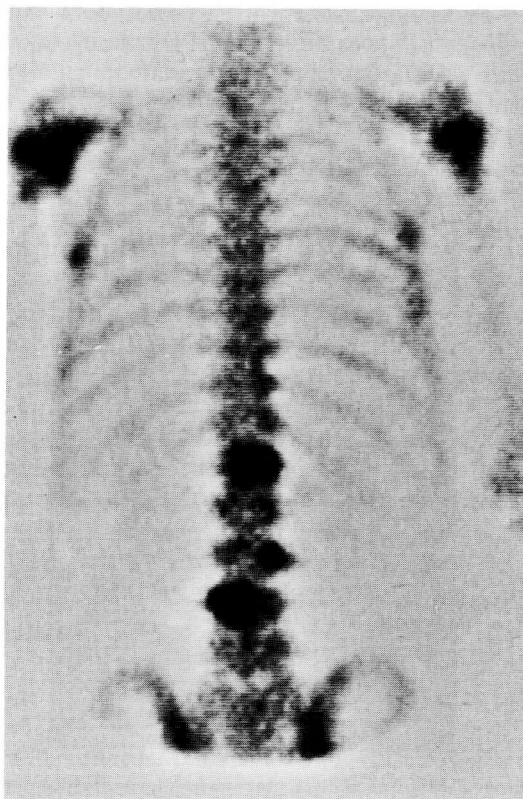
Dynamisch onderzoek (scinti-angiografie). Opnamen om de paar seconden na intraveneuze injectie van het radiopharmacon. Zo kan bij voorbeeld de bloeddorstroming in de linker hersenhelft worden vergeleken met die in de rechter. Ook kan de doorgankelijkheid van (grote) bloedvaten, zoals de vena cava, hiermee worden nagegaan.

Tumormassa's met weinig bloedvaten kunnen als uitsparing in het scintigrafisch beeld zichtbaar worden.

Statisch onderzoek. De foto's worden met de gammacamera gemaakt op het moment dat de optimale weefselconcentratie van het radiopharmacon is bereikt en de overige in het lichaam aanwezige radio-activiteit (achtergrond-

activiteit) weer grotendeels via de nieren is uitgescheiden (fig. 3-7). Bovendien kan met behulp van diverse computermethoden gepoogd worden het contrast in het scintigrafisch beeld te versterken (substractie, emissie-computertomografie).

Door de opkomst van diverse niet stralenbelastende onderzoeksmethoden (echo, NMR) neemt de betekenis van de scintigrafie af. Een veelbelovende nieuwe ontwikkeling op dit gebied is echter de *PET-scan* (positron-emissietomografie). Hierbij maakt men niet gebruik van γ -straling uitzendende, maar van positronen (positief geladen elektronen) uitzendende radiophar-



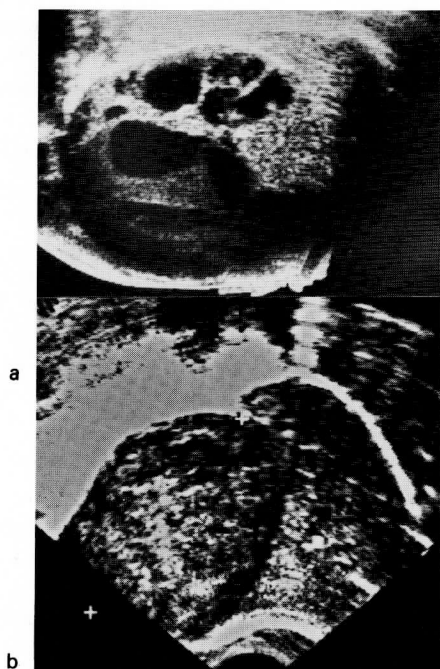
Figuur 3-7 Skeletscintigrafie bij patiëntje met vage gewrichtsklachten en hoge BSE. Er zijn multipiele 'hot spots' zichtbaar, o.a. in ribben, wervels en rechter schouder. De skeletfoto's waren normaal. Verder onderzoek bracht een acute lymfatische leukemie aan het licht.

maca. Deze worden gemaakt in een cyclotron, een apparaat dat vanwege zijn hoge aanschafprijs alleen in zeer grote instituten te vinden is.

3.2.3 Echografie

De echografie is de laatste jaren sterk in opkomst en het toepassingsgebied breidt zich nog steeds uit, met name ook bij kinderen. Dit is het gevolg van steeds betere apparatuur en ook van beter begrip bij de behandelende artsen betreffende de diagnostische mogelijkheden.

Bij het echografisch onderzoek maakt men gebruik van een bundel van ultrasonore (onhoorbare) geluidsgolven, waarmee het te onderzoeken lichaamsdeel wordt afgetast (met een aftastkop, ook wel transducer genoemd). Uit de teruggekaatste golven wordt door middel van een computerprogramma een tweedimensionaal beeld opgebouwd. Dit vormt



Figuur 3-8 Echografie bij 2 patiëntjes, met een lengtesnede door diafragma, lever en rechter nier. **a.** Vergrote nier: solide Wilms-tumor, **b.** Vergrote nier: kysteuze Wilms-tumor. Het echopatroom van de tumor is van belang voor de evaluatie van de reactie op chemotherapie en dus voor de bepaling van het tijdstip van operatie: een kysteuze tumor zal immers nauwelijks kleiner worden.

een doorsnede van het lichaam: in de lengte, dwars, schuin, enzovoort, afhankelijk van de positie van de aftastkop ter plaatse. In het beeld zijn structuren van elkaar te onderscheiden door hun verschillend vermogen tot terugkaatsing van de geluidsgolven. Zo is bij voorbeeld vet zeer echorijk (wit op de foto) en is urine echoloos (zwart op de foto). Vooral grensvlakken tussen organen zijn vaak goed te zien (fig. 3-8).

Bij de zogenaamde real time apparaten wordt het lichaamsdeel in een bepaald doorsnedevlak direct in zijn geheel afgetast en afgebeeld, waardoor de bewegingen van de organen (respiratie, pulsaties, peristaltiek) zichtbaar worden. Door bij het onderzoek steeds de transducer van positie te veranderen, kan de echografist uit de verzamelde en bestudeerde tweedimensionale beelden zich in gedachten als het ware een totaalbeeld vormen. Daartoe dient hij uiteraard een goed driedimensionaal anatomisch inzicht te bezitten, verkregen uit leerboeken, het bijwonen van operaties, en het zelf verrichten van obducties op de anatomische snijzaal. De resultaten van het echografisch onderzoek worden voorts in hoge mate beïnvloed door kennis van de pathologie van de betrokken patiëntenpopulatie, alsmede een goed overleg met de aanvragende kinderarts betreffende de exacte vraagstelling voor het onderzoek. Uiteraard dient de echografist vóór het onderzoek kennis te hebben genomen van de reeds beschikbare beeld diagnostische informatie van het kind.

Voordelen van de echografie

- geen stralenbelasting
- geen voorbereiding (behalve volle blaas als zogenaamd akoestisch venster bij onderzoek van het kleine bekken)
- geringe belasting voor de patiënt, onderzoek van korte duur
- onderzoek indien nodig op de klinische afdeling
- betrekkelijk goedkoop ($1/5$ van CT-onderzoek).

Tekortkomingen van de echografie

- ultrageluid kan geen bot (wel kraakbeen) doordringen
- gas in darm en longen verstoort de beeldvorming.

Relatie echografie t.o.v. andere beeldvormende onderzoeksmethoden

- echografie verschaft een ideale uitgangssituatie voor verder, meer belastend en duurder onderzoek zoals CT en NMR, dat daardoor meer gericht kan geschieden
- echografie komt vaak in de plaats van ander biologisch/financieel meer belastend onderzoek
- echografie is uitstekend geschikt voor follow-up studies na initieel CT-onderzoek

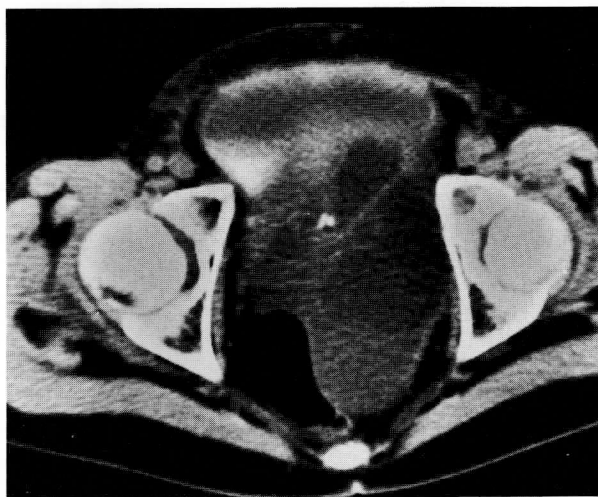
- echografie is onder omstandigheden goed bruikbaar als lokalisatiemethode bij biopsieën, en bij planning van radiotherapie en chirurgie, en kan dan CT- en NMR-onderzoek overbodig maken.

3.2.4 Computertomografie

Door Hounsfield en Ambrose in 1973 geïntroduceerd, bewees de computertomografie in het begin vooral zijn waarde voor het hersenonderzoek. Allerlei afwijkingen die voorheen slechts door middel van vaak zeer belastende en/of riskante onderzoeksmethoden (pneumo-encefalografie, carotis-arteriografie) konden worden opgespoord, kunnen nu op voor de patiënt weinig ingrijpende wijze zichtbaar worden gemaakt. Bovendien kunnen tal van afwijkingen worden aangetoond die tevoren slechts bij operatie c.q. obductie aan het licht kwamen.

Hoe komt het CT-beeld tot stand?

In een bepaald vlak wordt het lichaam rondom, door middel van een roterende röntgenbuis met een zeer smalle röntgenbundel doorstraald. Aan de tegenoverliggende zijde van de röntgenbuis wordt steeds de verzwakking van de oorspronkelijke röntgenbundel gemeten met gevoelige detectoren.



Figuur 3-9 Computertomografie (CT). Dwarse snede t.h.v. heupgewrichten en stuitbeentje. Er is een proces aanwezig dat het kleine bekken grotendeels opvult. Het zwarte gebied is lucht in het rectum. De achterwand van de met contrast gevulde blaas is aangetast. Het betrof een maligne teratoom uitgaande van het rechter ovarium.

Uit deze gemeten waarden wordt met behulp van computer-rekentechnieken de verzwakkingswaarde van ieder punt in het doorstraalde lichaamsvlak berekend. Om een beeld van dit doorsnedevlak te verkrijgen, worden met de computer aan deze getallen grijswaarden toegekend (fig. 3-9). De computer heeft bovendien op de schakeltafel een voorziening waardoor ook achteraf (als de patiënt de onderzoekkamer al heeft verlaten) nog met de getallen gemanipuleerd kan worden om bepaalde structuren selectief met meer contrast af te beelden.

Tijdens iedere opname, waarbij dus een bepaalde dunne 'plak' van het lichaam wordt doorstraald en die enkele seconden duurt, moet de patiënt absoluut stil liggen omdat anders de berekeningen fout uitkomen. Het kan derhalve noodzakelijk zijn dat jonge en/of zeer beweeglijke patiëntjes het onderzoek onder narcose ondergaan.

In principe kan ieder deel van het lichaam met CT worden afgebeeld. Het is ook mogelijk biopsieën en andere puncties onder CT-controle te verrichten. Het is vaak noodzakelijk (jodiumhoudende) contrastmiddelen te geven. Zo wordt sterk verdund waterig contrast oraal toegediend ter identificatie van de darmen, en intraveneus contrast voor nieren en blaas, alsook voor het beter afbeelden van sommige afwijkingen in de hersenen.

Voordelen van CT-onderzoek

- goede weergave van onderlinge relaties van organen
- groot oplossend vermogen voor geringe contrasten
- niet invasief/belastend voor de patiënt.

Nadelen en risico's die afgewogen dienen te worden

- sedatie/narcose
- hypothermie (prematuren)
- contrastmiddel-reacties (zeldzaam bij kinderen)
- stralenbelasting
- hoge kosten.

3.2.5 Kernspinresonantie-tomografie

Bij de kernspinresonantie, of wel nuclear magnetic resonance (NMR), gaat het niet om röntgen- of γ -straling, maar om de beweging en verdeling van protonen en wel speciaal het proton van de kern van het waterstofatoom. Het NMR-apparaat wordt in hoofdzaak gevormd door een 'kooi' met sterke magneet (waarbinnen zich de te onderzoeken patiënt bevindt), radiospoelen, electronica, en een computer. De kernen van de waterstofatomen in het lichaam van de patiënt, dat immers voor 70% uit water bestaat, zijn op te



Figuur 3-10 a,b Kernspintomografie (NMR). Hetzelfde patiëntje als in figuur 3-5. De tumor wordt nu direct gevisualiseerd. **a.** De uitbreiding naar lateraal (> rechter nier) en naar mediaal via diverse foramina (> wervelkanaal) is zeer goed te beoordelen. **b.** De laterale snede toont ook doorgroei binnen de wervel.

vatten als kleine, om hun lengte-as draaiende staaftmagneetjes, welke zich in een sterk magnetisch veld gaan richten evenwijdig aan de lengte-as van de magneet. Door een radiogolfpuls die dezelfde frequentie heeft als de spinbeweging van de protonen (resonantiefrequentie), wordt hun draaiings-as van richting veranderd. Na het einde van de radiogolfpuls keren de protonen in hun uitgangshouding terug. Daarbij komt energie vrij in de vorm van radiofrequente golven. Deze vormen het zogenaamde NMR-sigitaal, dat met radiospoelen wordt opgevangen en door de computer van het NMR-apparaat tot een beeld wordt verwerkt. Hierbij kunnen allerlei vlakken door het lichaam (longitudinaal, transversaal, sagittaal, enz.) vrij worden gekozen als doorsnedebeeld (fig. 3-10). Van een verdere bespreking van de fysische gebeurtenissen bij NMR wordt in het kader van dit boek afgezien.

Het blijkt dat vet met de grootste signaalintensiteit wordt afgebeeld, daarna hersenweefsel, darmen en spieren. Met vloeistof gevulde holten hebben een lage intensiteit. Bloed stromend in bloedvaten heeft een zeer lage intensiteit, omdat de snelle beweging van het bloed het opvangen van de radiosignalen verhindert. Bot en lucht bevatten weinig waterstof en tonen om die reden een lage intensiteit van het signaal.

NMR is speciaal geschikt voor kinderen, niet alleen vanwege het feit dat er geen ioniserende straling wordt gebruikt, maar ook omdat met NMR bepaalde weefselstructuren/processen zeer nauwkeurig kunnen worden onderzocht, bij voorbeeld de myelinisatie van hersenen in ontwikkeling. Dit



Figuur 3-10b

is met geen der andere beeldvormende technieken mogelijk. Anders dan men wellicht zou denken, valt de angstaanjagendheid voor kinderen in de praktijk heel erg mee, vooral als men ze voorbereidt met wat wel wordt genoemd 'positive understanding'.

Voordelen van NMR

- niet invasief
- geen stralenbelasting.

Nadelen en risico's die afgewogen dienen te worden

- onderzoek duurt (nog) vrij lang
- patiënt moet stil liggen
- hoge kosten, beperkte beschikbaarheid
- vereist speciale narcose- en bewakingsapparatuur
- in het lichaam aanwezige metaaldelen kunnen gevaar opleveren.

De kernspinresonantie heeft vanaf 1977 in de wereld, vooral in de VS, steeds meer aan betekenis gewonnen. In Nederland staan nog slechts 5 NMR-toestellen (AZ Leiden, Utrecht en Groningen, VU A'dam en Philips E'hoven), zulks vanwege de hoge kosten. Verdere toename van het aantal is echter te verwachten.

3.3 Stralingsrisico

Over straling, stralingsgevaar, stralingsschade en stralingsrisico bestaat veel misverstand. Het is dan ook een moeilijke materie, welke op deze plaats niet volledig kan worden besproken. Volstaan wordt met enkele hoofdzaken en praktische wenken.

Röntgenstraling en γ -straling zijn beide elektromagnetische straling. Zij onderscheiden zich voornamelijk door hun ontstaanswijze. Röntgenstraling ontstaat in een röntgenbuis bij botsing van elektronen op de anode, terwijl γ -straling vrijkomt bij verval van instabiele atomen (radioactieve isotopen). Proeven hebben tot nu toe niet het bestaan van een veilige stralingsdosis aangetoond. Men neemt aan dat ook de kleinste dosis in principe schadelijk is. Het effect van straling verdwijnt niet met de tijd, maar is cumulatief (uitgezonderd effecten als roodheid van de huid en misselijkheid na radiotherapie).

De stralingsschade kan men als volgt onderverdelen:

- Directe beschadiging van bestraalde weefsels. Dit effect treedt bij de gebruikelijke radiodiagnostische procedures niet op, doch alleen bij hoge radiotherapeutisch toegepaste stralingsdoses.
- Inductie van leukemie en maligne tumoren. Dit carcinogene effect kan optreden na verloop van een zekere tijd, latentietijd genaamd, welke 10 tot 30 jaar kan bedragen.
- Genetische schade. Chromosoombeschadigingen in de voortplantingscellen kunnen leiden tot erfelijke en/of aangeboren afwijkingen bij het nageslacht.

Hoe kan men stralingsschade zoveel mogelijk voorkomen c.q. beperken?

- Bij de patiënt zelf: door stralenbelastend onderzoek alleen op strikte indicatie uit te voeren, dat wil zeggen alleen dan wanneer het echt nodig is. Daarbij dient men te bedenken dat het achterwege laten van noodzakelijk onderzoek ook schadelijk voor de patiënt kan zijn. Het gaat dus om het afwegen van belangen.
- Bij begeleiders van de patiënt: door de afstand tot de stralingsbron

zo groot mogelijk te doen zijn. Dit punt wordt voor röntgen- en γ -straling hieronder nader toegelicht.

Radioactief materiaal. Dit vormt uiteraard een voortdurende stralingsbron, ook nadat het bij de patiënt is ingespoten. De duur van de blootstelling wordt bepaald door de halfwaardetijd van het radioactieve isotoop (zie onder 3.2.2). De stralingsenergie is meestal zo hoog dat de vrijkomende γ -straling niet door een loodschort wordt tegengehouden. De beste wijze van bescherming is dan ook: afstand bewaren tot de patiënt en diens faeces en urine. Hier geldt de zogenaamde kwadratenwet: de hoeveelheid straling is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tot de stralingsbron. Dus op 2 resp. 5 meter afstand van de patiënt bedraagt de hoeveelheid straling slechts $1/4$ resp. $1/25$ van de dosis op 1 meter.

Röntgenstraling. Deze vormt uiteraard slechts een gevaar tijdens doorlichting en op het moment dat een foto wordt gemaakt. Als de röntgenbuis niet 'aan' staat, is er geen straling. Waar komt de straling vandaan? De straling verlaat de röntgenbuis via het buisvenster (met diafragma) en treedt het lichaam van de patiënt binnen. Daar wordt de straling deels door de weefsels geabsorbeerd, deels doorgelaten naar de röntgenfilm, en deels in alle richtingen verstrooid. De strooi-straling kan het lichaam van de patiënt verlaten en begeleiders bereiken. Hieruit volgt dat, anders dan wel eens wordt gedacht, tijdens röntgenonderzoek de patiënt de stralingsbron is. Ook hier geldt de kwadratenwet. Begeleiders dienen dit in gedachten te houden en een loodschort te dragen om vooral hun beenmerg en gonaden te beschermen. Het is niet verstandig de patiënt met lood af te dekken buiten de directe röntgenbundel. Immers, de optredende strooi-straling zou dan tegen het lood kunnen terugkaatsten en opnieuw het lichaam van de patiënt binnendringen, enzovoort.

3.4 Samenvatting

In het voorafgaande zijn de belangrijkste beeldvormende onderzoeksmethodieken de revue gepasseerd en is aandacht besteed aan het stralingsrisico voor patiënt en begeleiders. Wij hebben gezien dat iedere afbeeldingstechniek zijn eigen plaats, zijn vóór- en nadelen en eventuele contra-indicaties heeft. Ook het substituaire en complementaire karakter van diverse onderzoeken is aan bod gekomen. Het zou te ver voeren om vervolgens voor iedere groep van maligniteiten bij het kind een volledig overzicht te geven van de al dan niet protocollaire gang van zaken bij het onderzoek. Dit aspect

komt voor zover nodig in andere hoofdstukken aan bod. Om de lezer toch een idee te geven van de beelddiagnostische denktrant, wordt nu bij wijze van voorbeeld tot besluit van dit hoofdstuk nog een beknopt overzicht gegeven van de gang van zaken bij verdenking op een tumor uitgaande van een deel van het bewegingsapparaat.

Voorbeeld: tumor bewegingsapparaat

Primair dient bedacht te worden dat iedere interventie bij de patiënt, ook die ten behoeve van beelddiagnostisch onderzoek, schade kan toebrengen en de prognose nadelig kan beïnvloeden. Bij verdenking op een tumor uitgaande of in de nabijheid van het benige skelet dient allereerst een conventioneel röntgenonderzoek te geschieden. Hierin schuilt reeds een bron van fouten en te late diagnoses. Het gaat er namelijk niet in de eerste plaats om wat voor tumor het is, maar of er röntgenologisch een afwijking is. Deze vraag is slechts te beantwoorden als het betreffende gebied ruim is afgebeeld en de röntgentechniek goed is. Het primaire röntgenonderzoek dient zonodig te worden aangevuld met een planigram.

Waarop wordt bij de beoordeling van het röntgenbeeld gelet?

- begrenzingen van de laesie; vage begrenzingen duiden op een agressief proces
- botdestructie
- periostale reactie
- doorbreking van cortex en periost → uitbreiding van het proces in de weke delen
- zwakke plaatsen in de cortex: kans op pathologische fractuur.

Opmerking. Het röntgenbeeld van een maligne beentumor is lang niet altijd betrouwbaar te onderscheiden van osteomyelitis. Hierbij kan een röntgenfoto vlak na het begin van de klachten gemaakt, zijn nut bewijzen. Zijn hierop nog geen afwijkingen te zien, dan is de kans op een osteomyelitis groot. Een maligne proces groeit meestal aanvankelijk ongemerkt en heeft in het algemeen reeds röntgenologisch zichtbare afwijkingen veroorzaakt op het moment dat er klachten ontstaan.

Biopsie

Bij iedere verdachte laesie is een biopsie noodzakelijk. De biopsie moet verricht worden door de (orthopedisch) chirurg die ook de verdere behandeling op zich neemt. Dit ter voorkoming van 'foutieve' biopsiën:

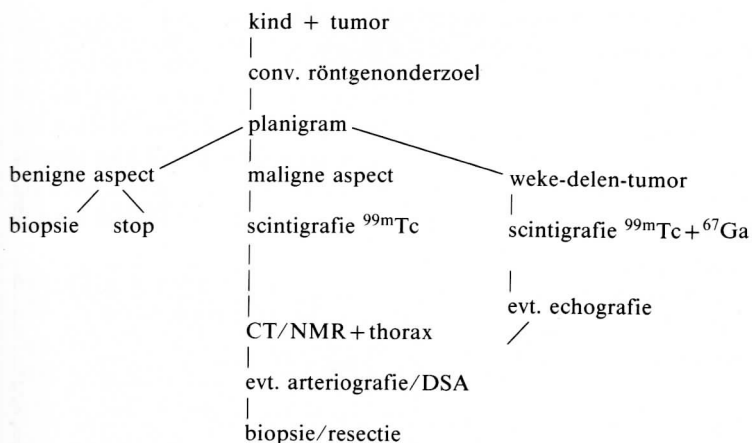
- verkeerde plaats, b.v. periostaal: reactief bot;
- verkeerde toegangsweg: 'besmetting' van structuren die gespaard hadden kunnen worden.

Het nemen van de biopsie dient gezien te worden als onderdeel van het gehele behandelingsplan en moet röntgenologisch bevestigd worden. Dit is ook voor de patholoog-anatoom van belang.

Verder onderzoek

Is er verdenking op een maligne proces, dan zal nog aanvullend onderzoek nodig zijn om vast te stellen of er (nog andere) skeletafwijkingen zijn (scintigrafie), en of het proces naar de longen gemetastaseerd is (CT of planigram). Is dat niet het geval, dan kan bekeken worden of het proces lokaal te verwijderen is, of dat tot amputatie moet worden besloten. Om die vraag te beantwoorden, kan het nodig zijn aanvullend CT/NMR- en/of vaatonderzoek te doen.

Tot slot nog een schema dat de gang van zaken in het beslisproces weergeeft.



Voor meer informatie:

- Miller J.H., White L. (eds), Imaging in pediatric oncology. Williams & Wilkins, Baltimore/Londen, 1985
- Valk J., MacLean C., Algra P.R., Inleiding in de kernspintomografie (NMR imaging). VU-Uitgeverij, Amsterdam, 1985
- Westra D., Peeters F.L.M., Radiodiagnostiek voor de algemene praktijk. Stafleu, Alphen aan den Rijn/Brussel, 1982