




Kapitel 4

Medicinsk billeddannelse - stiller skarpt på din sygdom og behandling

The background of the slide is a medical image, likely a PET scan, showing a network of vessels or structures. A prominent feature is a bright, glowing yellow and orange area on the left side, indicating high metabolic activity or a specific pathological finding. The rest of the image is in shades of blue and purple, with some faint red and pink lines. The text is overlaid on the left side of the image.

**Medicinsk
billeddannelse
- stiller skarpt på
din sygdom og
behandling**



Under huden

De fleste sygdomme foregår inde i os - under huden, hvor vi ikke kan følge med i hvad der sker. På hospitaler har de forskellige apparater, der kan danne billeder af vores indre, så vi kan undersøge hvad der gør os syge. Men hvordan virker de her apparater? Hvordan kan de danne billeder af vores indre, så vi kan se vores hjerte slå eller, at lillebror bevæger foden inde i mors mave. I dette kapitel kan du læse om, hvordan det kan lade sig gøre at se ind i vores krop.

Hvad er billeddannelse

6



Røntgenbilleder er skygebilleder

10



Kan du høre min lever? - billeddannelse med lyd

15



Hvad sker der i dette kapitel?

- ☛ Du kan læse om hvad billeddannelse er.
- ☛ Du vil opdage at billeddannelse er meget tværfagligt.
- ☛ Du kan læse om forskellige teknikker og hvilken fysik der ligger bag.
- ☛ Du vil lære at udviklingen inden for hardware og software er vigtigt for at få bedre billeddannelse.
- ☛ Du kan læse om nye udviklingsprojekter indenfor billeddannelse.



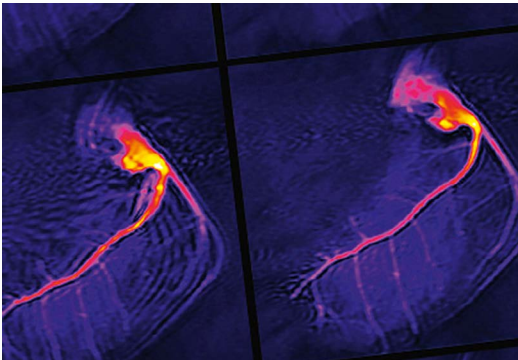
Magneter danner billeder af dit indre

18



Magnetisk sukker fremmer forståelsen

20



Verdens kraftigste ultralydsskanner

21



Indhold – Kapitel 4

1.0 Introduktion	06
2.0 Fysiologi	08
3.0 Røntgen billeder er skygebilleder	10
4.0 CT skanning	14
5.0 Kan du høre min lever? - billeddannelse med lyd	15
6.0 Magneter danner billeder af dit indre	18
7.0 Helt nye metoder	20
7.1 Magnetisk sukker fremmer forståelsen	20
7.2 Nye typer ultralydsapparater er afhængige af nytænkning inden for databehandling	21
8.0 Test dig selv	23
Ordliste	24

1.0 Introduktion

FAKTA

Røntgen blev opfundet/opdaget i 1895 og allerede i 1896 åbnede den første røntgenafdeling i Danmark.

Hvad er billeddannelse?

Læger har til alle tider været afhængige af deres øjne og ører, når de skulle finde ud af, hvad en person fejler. Langt de fleste sygdomme foregår dog inde i kroppen, hvor man ikke lige kan se ind og få et overblik over, hvad der er galt. Derfor er udviklingen af teknikker til at se ind i kroppen altafgørende for at kunne finde ud af, hvad en person helt præcist fejler og, hvordan man behandler sygdommen. Det kan være, at du har slået dit ben og skal have under-

søgt om det er brækket eller forstuvet? Hvis det er brækket sidder knoglen så skævt, så der skal opereres? Begge spørgsmål er vigtige at få det rigtige svar på, så du kommer til at gå og løbe ligesom før ulykken.

Til at se om et ben er brækket bruger man røntgen. Røntgen er en af de ældste billeddannelsesteknikker, men også en teknik, som har udviklet sig meget og som i dag bruges til meget avancerede undersøgelser. Det er undersøgel-



ser, hvor man kan tage billeder af store dele af kroppens indre på kort tid. Denne teknologi kaldes computerbaseret tomografi (CT). CT bruges især til undersøgelse af kræftsygdomme. En anden teknik kaldet magnetisk resonans imaging (MRI) danner også en serie af tværsnitsbilleder af dit indre. Denne metode udnytter de magnetiske egenskaber af brintatomer i din krop. En anden metode er ultralyd, som benytter lyd til at danne billeder af dit indre. Andre metoder igen kan følge molekyler rundt i kroppen. Der er altså flere og meget forskellige teknikker til at se ind i dit indre. Når du senere i kapitlet læser om teknikkerne og ideer til nye teknikker, vil du nok også blive imponeret over den opfindsomhed, der ligger bag apparater til medicinsk billeddannelse.

Nogle af apparaterne er så avancerede (MR og PET-CT), at de kræver et helt hold af fysikere og ingeniører til at stå for den daglige drift af dem på hospitalet. Derudover skal der læger til at tolke billederne, så patienten kan få svar.

Tværfagligt

Den viden, der indgår i apparaterne er ofte delt mellem selve fysikken i at få data ud fra kroppens indre og den signal- og billedbehandling, der er nødvendigt for at få brugbart billede ud af signalet. For eksempel ved et røntgenbillede ligger fysikken i at have en viden om, hvordan en radioaktiv kilde sender stråling gennem kroppen, som stoppes forskelligt alt efter om det møder muskel eller knogle i kroppen. Den anden del af opgaven er så at skabe brugbare billeder. Her bruger

man viden fra matematik og datalogi til at sætte informationerne/signalerne sammen, så de giver et meningsfyldt billede for lægen. Ingeniører, som udvikler apparater til medicinsk billeddannelse har derfor både viden om fysik, elektriske systemer og signalbehandling.

At se ind i kroppen og danne sig et billede af knogler og forskellige organer kræver altså meget forskellig viden i forhold til både udvikling og brug af apparaterne.

- Fysik og fysiologi: Der skal være en viden om både fysik og fysiologi for at kunne få ideen til et apparat.
- Programmering: De fleste apparater til billeddannelse har store softwareprogrammer, der behandler den information, der kommer fra apparatet til billeder vi kan forstå.
- I CT bruges ioniserende stråling og i magnetisk resonans bruges elektromagnetisme. Ingeniører, der medvirker til udvikling eller i driften af disse skannere, skal derfor også have en solid viden om ioniserende stråling og dens vekselvirkning med biologisk væv, om elektromagnetisme og lydudbredelse.
- Fysiologi og Anatomi: Det kræver viden om kroppens anatomi og fysiologi at forstå hvad billederne viser.

De forskellige billeddannelsesteknikker fremhæver forskellige væv og kan derfor bruges til forskellige formål. På den måde kan man ikke sige, at den ene teknik er bedre end den anden. De har forskellige fordele og ulemper og bruges til forskellige formål.

2.0 Fysiologi

FAKTA

Vi har 639 muskler i kroppen

FAKTA

Vi har 206 knogler i kroppen.

FAKTA

Muskler indeholder mere fedt med alderen. Det øger evnen til udholdenheds sport. Unge muskler er bedre til sprint og eksplosiv sport.

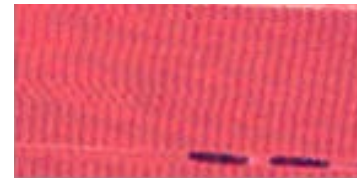
Inden du læser om de enkelte billed-dannelsesteknikker tager vi et kig på vores krop og hvad den består af. Det er nemlig forskellen i de forskellige vævs sammensætning, som er afgørende, for at vi kan se forskel på dem ved billeddannelse. Der er forskel i andelen af vand, fedt, protein, sukkerstoffer og mineraler i de forskellige væv.

For at du kan forstå billeddannelse er det derfor en fordel, hvis du ved lidt om nogle af de forskellige væv du har i din krop. Nedenfor er en liste af væv vi ser lidt nærmere på.

- Muskelvæv
- Knoglevæv
- Nervevæv
- Epithelvæv
- Bindevæv

Vi ser kort på, hvad der kendetegner de nævnte typer væv.

Muskelvæv: Muskler er det væv, der giver os styrke. Musklerne indeholder cirka 20 procent protein og cirka 75 procent vand og er altså den type væv, der har det højeste indhold af protein. Der er også fedt i muskler, cirka 1-10 procent afhængig af, hvilken muskel der er tale om og alderen på personen. Muskler indeholder også en mindre del sukker og mineraler.



Illustrationen viser, hvordan cellerne i muskelvæv ser ud. Illustration: Wikimedia.commons.

Knogler: Knoglerne er hårde og fungerer som kroppens stativ. En knogle består hovedsageligt af proteinet kollagen og mineralet, calcium. Kollagenet gør knoglen fleksibel, mens calcium afstiver knoglen og gør den hård.

Inde i knoglens hulrum findes knoglemarven. Knoglemarven er blød og lidt blævrende. Der er to former for knoglemarv;

- 1) Gul marv, som mest består af gule fedtceller.
- 2) Rod marv, som mest består af blodlegemer og forstadier til blodlegemer. Den røde marv får sin farve fra røde blodlegemer.

Børn har stort set kun rød marv i deres knogler, hvor voksne personer hovedsageligt har gul knoglemarv.



(a) Knogle uden kalk

Knogle uden kollagen



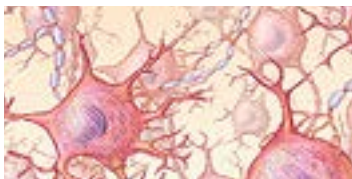
(b)



(c)

Foto: slideshare.net.

Nervevæv: Nervevæv består af nerveceller og danner vores nervesystem. Nervesystemet kontrollerer kropslige funktioner, der modtager og sender impulser til andre nerveceller, muskelceller, sanser og kirtler. Mellem nervecellerne i hjernen ligger der gliaceller. De bidrager til effektivisering af nerveimpulserne og dannelse af et ernærende miljø til nervecellerne. Rundt om nervebaner ligger fedtceller, som gør transporten af impulser langs en nervebane hurtigere.



Illustrationen viser, hvordan cellerne i nervevæv ser ud. Illustration: Wikimedia.commons.

Epithelvæv:

Til daglig går vi ikke og taler om vores epithelvæv, men det er et fællesord for det væv, der dækker kroppens ydre og indre overflader. Det er kirtler, slimhinder, de øverste lag af huden. Cellerne i epithelvæv ligger som regel meget tæt sammen.

Epithelvævs egenskaber: Hudens epithelvæv har mange celleglag, hvoraf de yderste er forhornede og beskytter mod fordampning og fysisk beskadigelse. Tyndtarmens overflade er dækket af epithelvæv, som kun er et celleglag tykt. Det tynde epithelvæv sikrer optagelse af næringsstoffer fra tarminholdet.

Kirtlernes epithelceller producerer enzymer eller hormoner og udskiller dis-

se til legemets ydre og indre overflader eller til blodet.



Illustrationen viser, hvordan cellerne i bindevæv ser ud. Illustration: Wikimedia.commons.

Bindevæv: Bindevæv findes mange steder i kroppen. Det er en gruppe af væv, som kan se meget forskellige ud og have meget forskellig funktion. Ledbånd, sener, huden, fedtvæv, slimhinder, hinder omkring musklerne og organerne. Hinderne gør, at organerne bedre bevarer deres form.

Bindevævs celler producerer forskellige proteinfibre. Du har måske hørt om dem i reklamer for forskellige cremer til huden. Fibrene hedder kollagen og elastin. Kollagen giver struktur og styrke og er ikke særlig elastisk, men gør vævet stærkt. Elastin er mere elastisk og gør vævet smidigt og eftergiveligt. Der findes i store mængder kollagen i ledbånd og sener, som skal være stærke. Hvorimod der er mere elastin i huden, som er smidig.

Til sidst skal det nævnes, at blodceller faktisk også er en del af bindevævet.



Illustrationen viser, hvordan cellerne i epithelvæv ser ud. Illustration: Wikimedia.commons.



Se en film om en røntgenundersøgelse af et håndled

FAKTA

Røntgenstråling er opkaldt efter fysikeren Wilhelm Conrad Röntgen. I 1901 modtog Wilhelm Nobel prisen for sin opdagelse af Røntgenstråler.

Læs mere om opdagelsen af Røntgen: <https://illvid.dk/fysik/hvordan-virker-roentgenstraaler>

3.0 Røntgenbilleder er skyggebilleder

Nu har du fået en kort introduktion til, hvilke væv du består af. Nu kan du læse om de forskellige billeddannelsesmetoder. I første afsnit handler det om røntgen. Du har måske prøvet at få røntgenfotograferet din arm eller noget andet du har slået, for at undersøge om knoglen var brækket. Men hvordan kan man se knoglen på et billede ved at lyse på din arm?

Teknik

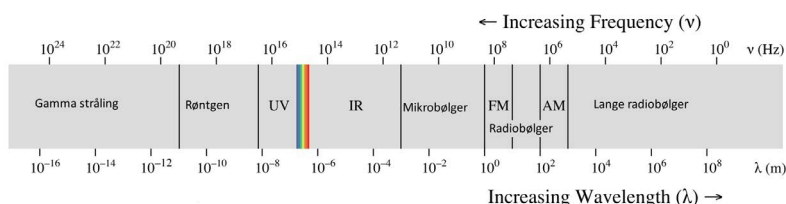
Når der tages røntgenbilleder fungerer det i bund og grund på samme måde som et almindeligt kamera. I et røntgenapparat bruger man bare røntgenstråler til at **eksponere** filmen frem for synligt lys, som bruges i et almindeligt kamera. Røntgenstråler og synligt lys er begge elektromagnetiske bølger, men røntgenstråler har kortere bølgelængde og dermed et højere energiniveau. Røntgenstråler kan trænge gennem materialer som almindeligt lys ikke kan. Det er for eksempel alle de typer væv du har læst om i sidste afsnit.



Fotoet viser et røntgenbillede taget i 1896. Foto: Wikimedia. commons.



Fotoet viser et røntgenbillede taget i 2017. Foto: pxhere.com.



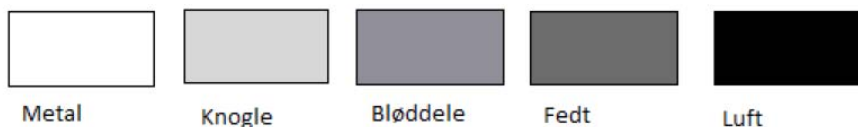
Illustrationen viser et elektromagnetisk spektrum og hvor i spektret røntgen befinder sig. Illustration: wikimedia.

Når et røntgenapparat sender stråler gennem menneskekroppen og ud på en detektor på den anden side af kroppen, er det forskelligt, hvor meget de forskellige væv stopper strålerne. Det er knoglernes kalk, der stopper strålerne mest. Derfor kommer der kun me-

get lidt stråling frem til detektoren bag en knogle. Derfor er et røntgenbillede som udgangspunkt mørkt der, hvor der er knogler. Men ved fremkaldelse af billedet fremstår knoglerne hvide og det omkringliggende væv mørkt.

Alle nuancer af grå

Moderne **røntgendetektorer** skelner selv små forskelle i mængden af optaget stråling og det gør det muligt at danne detaljerede billeder med mange forskellige nuancer på gråtoneskalaen, så forskellige væv står tydeligt frem og man kan se forandringer i vævet som for eksempel en svulst.



Metal

Knogle

Bløddede

Fedt

Luft

Boksene herover viser, hvilken grå nuance forskelligt væv har på et røntgenbillede. Illustration: DTU.

Nedenfor er nogle HU-værdier.

Sort → luft eller lungevæv

Mørkegrå → fedt

Gråt → bindevæv

Lysegråt/hvidt → knogle eller metalgenstande

Hvidt → Metal eller kontraststof

Men vores øjne kan kun skelne omkring 100 gråtoner. For at læger kan se alle detaljer i et billede kan de indstille CT-billedet, så det kun viser et udsnit af gråtoneskalaen. Ofte ved man hvilke gråtoner, der er relevante for lunger, knogler og nerver og så frasorterer man alle andre grå nuancer, når man ser på dem.

Hvorfor er røntgen farlig?

Hvis du som barn har fået taget et røntgenbillede på skadestuen ved du også at dine forældre skulle gå udenfor røntgenrummet eller have et **blyforklæde** på mens billedet blev taget. Men hvorfor i grunden det. Er det far-

ligt og hvad så med dig som fik taget billedet?

Som sagt så er røntgenstråling lys med meget energi og det kan skade kroppen på to måder. Den første skade er forbrændinger og celledød. Der skal dog meget højere doser røntgenstråling til at få en forbrænding, end du får ved en undersøgelse.

Den anden type skade ses ved mindre strålingsmængde og først efter længere tid – op til 20 år efter man er blevet udsat for stråling. Skaden sker i dit DNA og giver en øget risiko for kræft. Den mængde stråling, der bruges til at tage et røntgenbillede er dog meget lille og risikoen for at udvikle kræft efter et røntgenbillede er derfor også meget lille. Sammenlignet med kosmisk stråling i forbindelse med at flyve er der ikke meget forskel på at flyve til Spanien eller få taget et røntgenbillede af sin hånd. Det ene er dog nok sjovere end det andet.

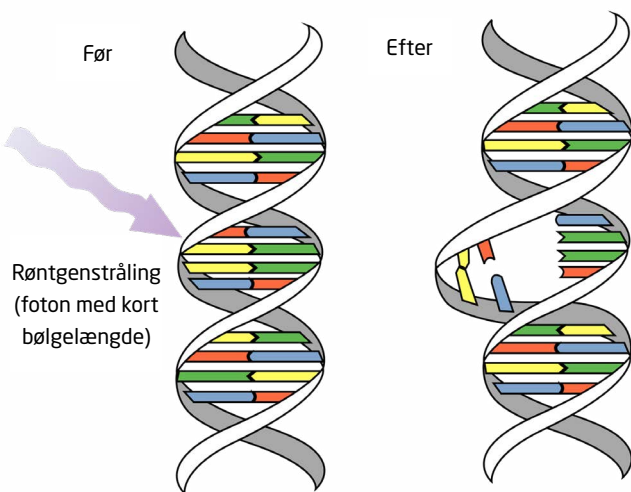
FAKTA

Sivert

Sivert er en måde at måle, hvor farlig en dosis stråling er. Hvor farlig ioniserende /røntgenstråling er afhænger nemlig ikke kun af mængden, men også af typen og hvor den rammer. Der er med andre ord forskel på om det er alfa-, beta- eller gammastråling og om det er maven eller storetåen, der bliver ramt af stråling. En Sievert svarer til 1000 millisievert (mSv).

FAKTA

Ved et røntgenbillede af lungerne bliver du udsat for 0,1 (mSv) millisievert. Det kan sammenlignes med den mængde kosmisk stråling du får ved at flyve en tur fra Danmark til Californien.



Røntgenstråling
(foton med kort
bølglængde)

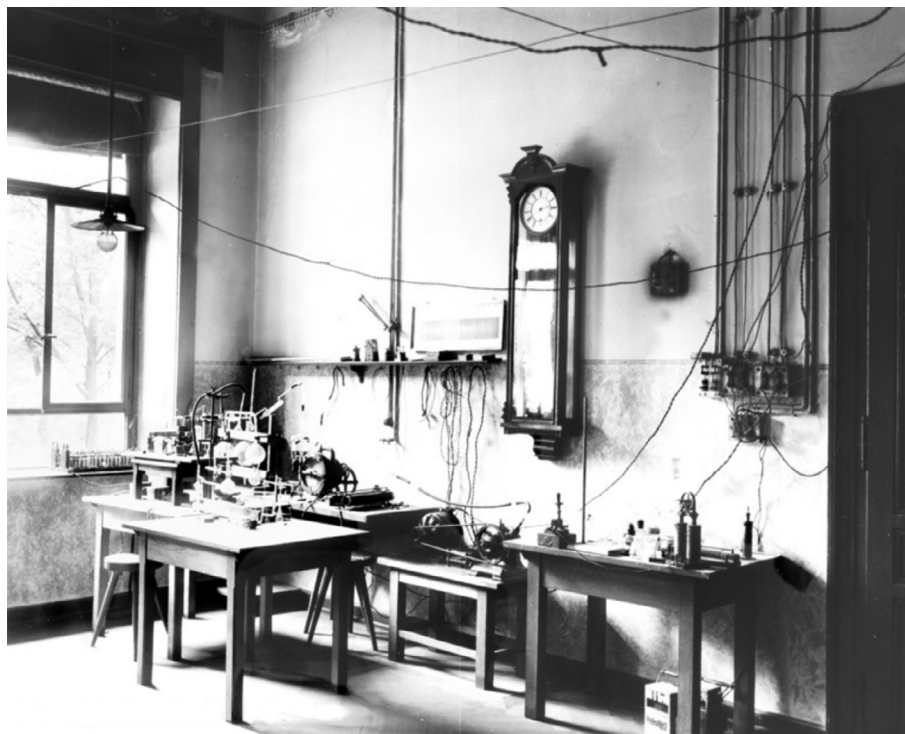
Røntgenstråling skader vores DNA, fordi strålingen rammer DNAmolekylet og kan slå hul på strukturen. Derved går DNAmolekylet i stykker det sted strålingen rammer. Røntgenstrålingen kan også spalte vand- og andre molekyler omkring DNAet og gøre dem til frie radikaler, der kan skade DNAet. Skader på DNAet øger risikoen for at udvikle kræft. Illustration: wikimedia.commons

Det at stråling skader vores celler og kan give kræft bruges også til at helbrede kræft. Det lyder umiddelbart helt forkert, men hvis man har en svulst, som består af kræftceller kan man rette en meget nøjagtig røntgen-

stråle mod kræftsvulsten, så kræftcellerne dør og svulsten svinder ind. Det kalder man strålebehandling. Her anvender man højere doser stråling end ved røntgenbilleder, for her skal der netop ske en skade.

Historie

Røntgenstråler blev opdaget ved et tilfælde af den tyske fysiker Wilhelm Conrad Röntgen i 1895, da han under et forsøg med andre stråler pludselig opdagede, at en fluorescerende skærm i hans laboratorium lyste op, hver gang han tændte for strålerne. Og det på trods af, at strålekilden var omgivet af tykt, sort pap. Röntgen placerede flere forskellige ting mellem strålernes udladningsrør og skærmen – og opdagede, at den blev ved med at lyse op, ligegyldigt hvad han gjorde. Til sidst anbragte han sin hustrus venstre hånd foran strålerne fra røret og så til sin overraskelse, at en silhuet af knoglerne lyste op på skærmen. Den 50-årige professor gav det nye fænomen navnet X-stråler. I den engelsksprogede del af verden er røntgenstråler stadig kendt som X-rays – altså x-stråler, for han ikke rigtigt vidste hvad de var. I 1901 modtog Wilhelm Conrad Röntgen nobelprisen i fysik for sin opdagelse. Siden Wilhelms tid har man erfaret at man ikke skal passe på med at udsætte sig selv for røntgen. Derfor går mennesker, der arbejder med røntgen, altid ud af rummet under en optagelse.



Wilhelm Conrad Röntgen.
Foto: wikipedia

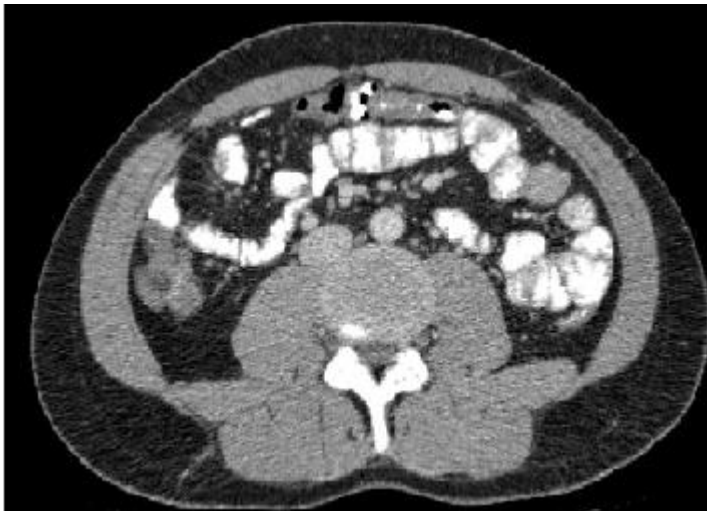
Foto af det rum, hvor Wilhelm Conrad Röntgen opdagede røntgenstrålerne, som han på det tidspunkt kaldte x-stråler.
Foto: wikipedia.

Kontraststoffer:

Kontraststoffer er kemiske stoffer, som kan bruges ved røntgen-, ultralyd- og MR-undersøgelser, for at væv og organer står tydeligere frem ved undersøgelsen. Man skal altså have kontraststoffet ind i kroppen. Det får man ved enten at drikke det, få det sprøjtet ind i blodkar eller gennem endetarmen. Kontraststoffer består af forskellige stoffer alt efter, hvilken billedannelsesteknik man skal have og hvor man skal undersøges.

Ved røntgen og CT skanning indeholder kontraststofferne stoffer, som bremser røntgenstrålingen mere end kroppens væv gør. Det er ofte tunge grundstoffer som barium og jod. Der hvor kontrasten samler sig i kroppen vil derfor fremstå hvidt som knogle på billedet. På den måde kan man for eksempel se formen af et kar og se om det ser ud som det skal. Det kan også være lettere at se en kræftsvulst, fordi de ofte har mange blodkar og vævet er anderledes her.

Ved MRI skanning er kontraststoffet magnetisk, så det påvirkes af skannerens magneter og radiobølger. Ved ultralyd påvirkes vævets akustiske egenskaber, så ultralyden reflekteres kraftigere, der hvor kontrasten er. Ved ultralyd kan kontrasten for eksempel være bittesmå luftbobler, som reflekterer lyden kraftigt.



Billedet er fra en CT skanning, hvor et kontraststof har fremhævet tarmene, så de fremstår hvide. Foto: Wikipedia.



Prøv at tegne et æble og del det op i små firkanter som du skal farve med grå toner, så det kommer til at ligne et sort-hvid billede af æblet.

4.0 CT skanning



Film hvordan en CT Skanning foregår:

<http://www.regionsjaelland.dk/sundhed/geo/holbaeksygehus/afdelinger/bda/holct/Sider/CT-scanning-med-vand.aspx>

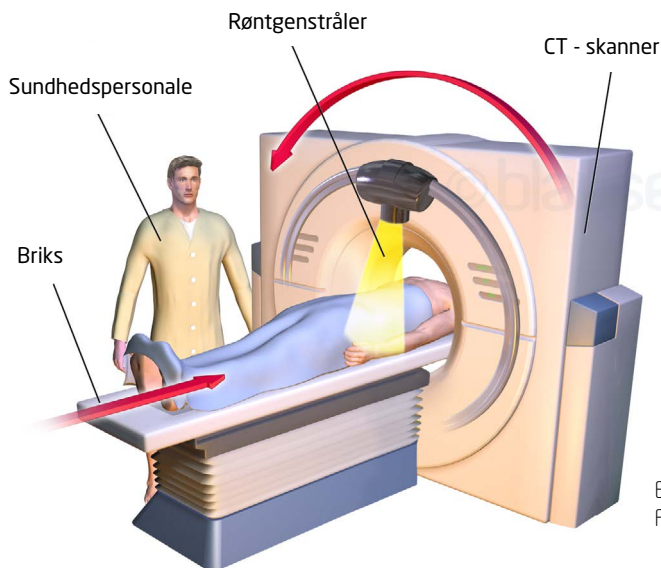
FAKTA

CT skanneren:

CT skanneren blev opfundet i 1972 af elektro ingeniøren Sir Godfrey Newbold Hounsfield og fysikeren Allan McLeod Cormack. De delte 1979 Nobel Prisen i fysiologi og medicin.

FAKTA

Ved en CT-skanning tages der mange billeder. Derfor får du også en større mængde røntgenstråling end, ved et røntgenbillede af din arm.



En CT skanner. Foto: Flickr.

En CT skanning er en avanceret røntgenundersøgelse, der giver detaljerede billeder af de forskellige væv inde i din krop. CT-skanneren sender røntgenstråler hele vejen rundt om kroppen, så der dannes billeder fra alle sider. Ved et almindeligt røntgenbillede er der taget ét billede ned gennem alle væv i for eksempel hånden, så alle lag i hånden ligger oven i hinanden på røntgenbilledet. Det gør det svært at se detaljer. Ved CT-skanning tages der mange billeder, fra mange vinkler, som via matematiske modeller kan sammensættes

til nye billeder af forskellige lag/snit af kun få millimeters tykkelse af dit indre. Helt som var man skåret i skiver. De matematiske modeller kan også bruges til at sammensætte billederne til 3-D billeder af eksempelvis en fod eller et organ. Det giver mulighed for at se langt flere detaljer og få et rummeligt overblik over problemet. Fordi en CT-skanning tager mange flere billeder af din krop får du også en større mængde røntgenstråling end, hvis du skal have taget et billede af din arm. Når CT skanneren optager billeder til et enkelt snitbillede tager det cirka 1-3 sekunder. På den tid overføres i alt 1 mio. aflæsninger (pixels/voxels), som hver i sær fortæller hvor meget stråling, der er optaget i vævet på det sted og i den bestemte retning. Fordi strålingen kører rundt om personen, måles det samme punkt fra flere vinkler. På baggrund af alle aflæsningerne danner scannerens software et billede af en skive af din krop bestående af godt 260.000 billedpunkter.

Billedet viser en CT skanner. Foto: Flickr



5.0 Kan du høre min lever? - billeddannelse med lyd

Ultralyd

Ja den er god nok. Du kan danne et billede af dit indre ved hjælp af lyd. Du kan dog ikke få et billede frem af din kammerats indre ved at råbe ham ind i hovedet. For at danne billeder ved hjælp af lyd bruger man højfrekvente toner kaldet ultralyd. Ultralyd (UL) er lyd med frekvenser over hvad du kan høre. Det vil i praksis sige frekvenser, der er over ca. 20.000 Hz.

Ultralyd er altså ikke fysisk anderledes end den lyd du kan høre. Dine ører og hjerne er bare ikke i stand til at registrere den.

Hvad har højfrekvente lyde med billeder at gøre?

Lydbølger udbredes som ringe i vand. Du har måske selv prøvet at kaste en sten i et vandet og set ringene brede sig. Når ringene rammer en anden stor sten, en båd eller lignende i vandet bliver nogle af ringene reflekteret og går den modsatte vej – tilbage mod udgangspunktet. Refleksionen ligner dog ikke helt den bølge den kom fra. Den kan ændre sig både i styrke og retning. Det der sker er en kombination af tre fænomener. Tre fænomener som også gælder for lyd og er vigtige i forbindelse med billeddannelse med ultralyd:

Transmission: En lille del af lyden bliver transmitteret (fortsætter) gennem det den har ramt. Det er de transmitterede lydbølger, der gør at man nogle gange kan høre gennem væggen, at naboen spiller musik.

Absorption: En del af lyden vil også blive absorberet og afsat som varmeenergi i den overflade lyden rammer. I visse materialer, for eksempel en dyne, absorberes hovedparten af lyden. I andre materialer, eksempelvis en væg, absorberes meget lidt.

Reflektion: Den del af lyden, som hverken transmitteres eller absorberes, reflekteres. Det vil sige, at lyden kastes tilbage. Det kender du fra et ekko.

Ved et ultralydsapparat er det specielt transmission og refleksion af lyden, der er relevant.

Ultralydsapparatet

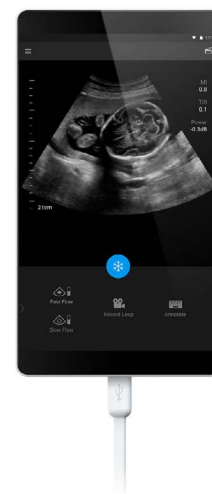
Et ultralydsapparat består overordnet af tre dele. En transducer, et softwareprogram til at omdanne signaler til billeder og en skærm til at vise billederne. Vi vil tage et ekstra kig på transduceren. Transduceren er den del af ultralydsapparatet, som sundhedspersonalet holder mod din hud. Det er den, som udsender ultralyden, modtager reflekterede lydbølger og sender informationen videre til softwareprogrammet, som ved at anvende matematiske modeller på de opsamlede data, danner et billede, du kan se på skærmen. Ultralydsbølgerne dannes af små piezoelektriske krystaller, der sidder i transducerhovedet. Disse krystaller har nogle helt særlige egenskaber. Krystallerne vibrerer, når de påføres vekselspænding. Denne vibration skubber til de små partikler i materialet foran-



Se film om ultralyd:
<http://www.regionsjaelland.dk/sundhed/geo/holbaeksygehus/afdelinger/bda/holul/Sider/Genereol-information-om-ultralydsscanning.aspx>



Se filmen om hvordan et ultralydsapparat virker.
<https://www.youtube.com/watch?v=cl7ULKNhVcw>

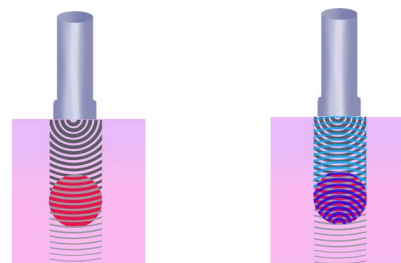


Fotoet viser en transducer. Foto: Flickr



Fotoet viser en ultralydsundersøgelse af en gravid kvinde. Ved en ultralydsundersøgelse får man smurt gele på huden, for at fjerne luft mellem huden og transduceren. Dette skyldes at en luftlomme er en stor kontrast til kroppen, og signalet mellem luft og krop er derfor mange, mange gange større end signalet inde fra kroppen. Gelen er altså afgørende for billedkvaliteten. Foto: U.S. Air Force photo by Staff Sgt. Erin M. Peterson

altså i din krop - og der dannes en lyd-bølge i kroppen. På den måde virker de piezoelektriske krystaller som en høj-taler, som udsender ultralyd.



Illustrationen viser hvordan ultralyd udsendes fra transduceren og reflekteres tilbage til transduceren.

Illustration: Lykke Bianca Petersen

Når lydbølgerne fra transduceren sendes gennem kroppen på det sted man vil undersøge, møder lydbølgerne forskellige væv, som har forskellig tæthed. Overgangen mellem de forskellige væv virker som en mur på lydbølgen og noget af den reflekteres tilbage til transduceren. Når lyden kommer tilbage og rammer krystallerne begynder de at vibrere. Denne vibration danner elektricitet, som kan måles – altså virker krystallerne nu som en mikrofon. Lyden der opfanges af mikrofonen omdannes til et billede af softwaren i computeren.

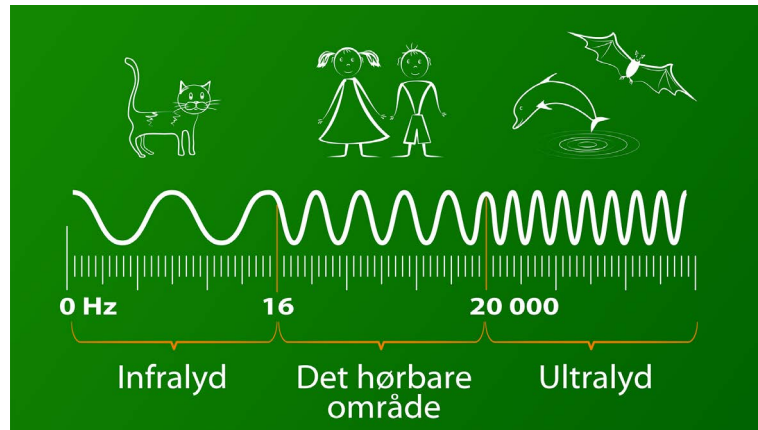
Den del af ultralyden, som transmitteres gennem en overgang fra et væv til et andet væv kan møde en ny overgang længere inde i kroppen og blive reflekteret igen. Er der refleksioner fra flere dybder kan det gøre billedet svært at tolke. Derfor kan man typisk indstille softwaren til at forsøge kun at bruge refleksioner fra en bestemt dybde.

Hvad er lyd?

Når du lytter til musik fra en højttaler, bevæger lyden sig ud i rummet som små trykbølger, det vil sige små ændringer i lufttrykket, som bevæger sig fra højttaleren og ud i lokalet, hvor nogle af de små bølger vil ramme dit øre. At der er tale om små svingninger i lufttrykket skal virkelig tages bogstaveligt. Selv ved en lyd, der er så kraftig, at man skal bruge høreværn, svinger trykket kun en hundredetusindedel af atmosfæretrykket. Altså svingninger op og ned mellem 0,99999 og 1,00001 gange atmosfæretrykket. Den svageste lyd vi kan høre, er på 0,0000000002 gange atmosfæretrykket!

Lydens tone, altså om det er en høj og skinger lyd eller en dyb og brummende lyd, er bestemt af, lydens frekvens, den måles i Hertz, som forkortes Hz. Dybe toner har længere mellem lydbølgerne og dermed en lav frekvens (få Hz). Ved høje toner er lydbølgerne tæt efter hinanden og dermed har de en høj frekvens (mange Hz). Lavfrekvente lyde kaldes bas og har frekvenser fra ca. 20 Hz til 200 Hz. Højfrekvente lyde kaldes diskant med frekvenser fra ca. 2000 Hz til 20000 Hz. Imellem de højfrekvente og lavfrekvente lyde har man mellemtonerne, hvor almindelig tale blandt andet er placeret. Digital musik, eksempelvis en CD eller Spotify, kan typisk gengive lyde op til ca. 21.000Hz, altså lidt højere end de fleste mennesker kan høre.

Definitionen af ultralyd er alene fastsat på baggrund af menneskets hørelse og starter derfor fra frekvenser på 20.000 Hz og opefter uden en egentlig teoretisk øvre frekvensgrænse. På samme måde kaldes lyde, som er for dybe til at vi kan høre dem, det vil sige under ca. 20Hz, for infralyd.



Illustrationen viser hvor ultralyd ligger i forhold til den lyd vi kan høre.
Illustration: hifiklubben.dk

Piezoelektriske krystaller

En piezoelektrisk krystal, er en krystal som ændrer størrelse, når den udsættes for en elektrisk spænding. Omvendt vil der opstå en elektrisk spænding i krystallen, hvis den udsættes for et mekanisk tryk, for eksempel hvis den rammes af en lydbølge. På den måde kan en piezoelektrisk krystal fungere både som en mikrofon og en højttaler; først påvirkes krystallen af en vekselspænding med høj frekvens, så den udsender ultralyd. Når lydbølgen er udsendt skifter man straks til at bruge krystallen som mikrofon, når den reflekterede lydbølge rammer krystallen og danner en elektrisk spænding i krystallen. Ordet piezo kommer af græsk piezein 'trykke'.

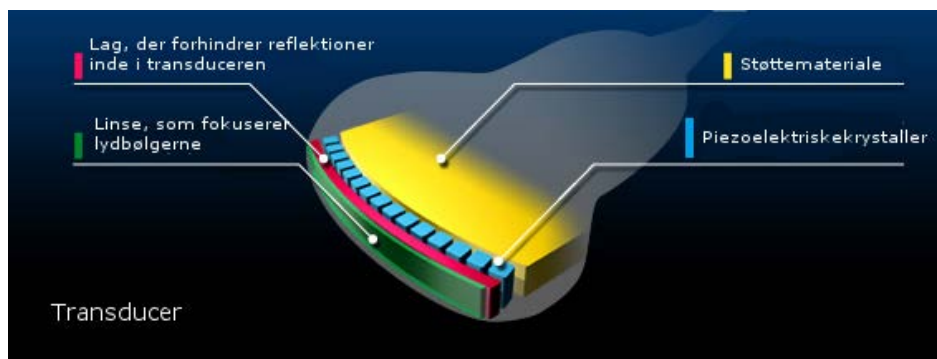


Illustration af en transducer, hvor du kan se, hvordan de piezoelektriske krystaller sidder inden i transduceren.

6.0 Magneter danner billeder af dit indre

FAKTA

MR skanneren.

Kemikeren Paul Christian Lauterbur og fysikeren Sir Peter Mansfield udviklede i 1970'erne MR skanneren. De første billeder taget med en MR-skanner blev taget i 1977. De blev tildelt Nobelprisen i fysiologi eller medicin i 2003.

Den sidste metode vi kommer omkring i dette kapitel er Magnetisk resonans også kaldet MRI. Det er en temmeligt avanceret metode. Metoden virker ved hjælp af magneter og viser kroppens bløde væv som muskler, sener, blodkar og organer, hvorimod knogler er meget svære at tage billeder af. Ligesom ved CT skanning kan man se alle ønskede snitbilleder af væv og organer i enhver del af kroppen og præcis den vinkel man ønsker. Men fysikken går en helt anden.

Brint: Vi starter ved brintatomerne. Vi indeholder rigtigt mange brintatomer. Brint indgår i stort set alle molekyler i kroppen heriblandt vand. Derudover har brint den egenskab, at det er magnetisk. Brint opfører sig faktisk som små stangmagneter med en nordpol og en sydpol. Det at vi indeholder meget brint og at brint har magnetiske egenskaber gør brint velegnet til billedannelse. MRI er derfor i praksis en teknik, som tager billeder af brint.

Magnetfelt: Første trin til at danne et MR billede er at få alle de små stangmagneter til at pege i samme retning. Når vi mennesker går rundt i vores almindelige liv, er der ingen orden på vores brintatomer, og de peger derfor i helt tilfældige retninger. Men hvis vi udsætter kroppen for et ekstremt kraftigt magnetfelt, vil de små stangmagneter alle pege i næsten samme retning, fordi de indretter sig efter det kraftige magnetfelt. I praksis betyder det, at du ligger på en seng, der kan køre frem og tilbage gennem en stor donutformet magnet. Det er sjovt at tænke på, at når du ligger i skanneren kan du overhovedet ikke mærke, at brintatomerne i din krop ændrer retning på samme tid.

Radiobølger: Det at brintatomerne peger i samme retning giver dog ikke noget billede af dit indre. De skal først have et puf af nogle radiobølger. Radiobølgerne får brintatomerne til at svinge/dreje rundt om sig selv og udsende radiobølger. De udsendte radio-



Billedet viser en MRI skanner, hvor der er en briks du kan ligge på. Du kan også se den store runde magnet brikken kan køre gennem, mens du bliver skannet. Foto: Wikimedia.Commons

Når du lærer om MR er der fire begreber du skal kende:

- Brintatomer
- Magnetisme
- Radiobølger
- Fancy software

bølger opfanges af en **pick-up** spole inde i den donutformede magnet. Men ligesom ved en gyngesving på en legeplads bliver brintatomerne ikke ved med at svinge, hvis ikke man giver dem et puf igen og igen. Det gør man ikke her. Derimod måler man den tid det tager for brintatomerne at falde til ro igen. Den tid det tager for signalet at dø ud, fortæller hvad brintatomet er bundet til, altså om det er en del af et vandmolekyle, sidder i fedtvæv, i en knogle eller måske i en svulst. Den tid det tager brintatomet at falde til ro afgør også den grå nuance billedet får i det område. Ved at lade en computer analysere alle de forskellige signaler er det muligt at fjerne eller forstærke signalet fra forskellige typer væv, og det er derved muligt at få billeder som nøjagtigt fokuserer på det man leder efter, det kan for eksempel være, at man gerne vil se blodkar, hvis der er mistanke om en svaghed på et kar, eller måske vil man gerne kunne se forskel på forskellige vævstyper, hvis man leder efter en kræftknode.

Derfor falder brintatomet ikke til ro på samme tid i alle væv: For at forstå det, giver det mening at sammenligne brintatomet med en gyngesving. En gyngesving ville holde hurtigere op med at svinge, hvis du gængede under vand, og den ville gyngesving ekstremt længe, hvis du prøvede på månen. Det skyldes, at under vand er modstanden fra vandet stor, og på månen er der næsten ingen modstand. På samme måde er det med brintatomerne – tiden det tager for brintatomet at falde til ro afhænger af, hvilken type væv atomet sidder i, og på den måde er det altså muligt at skelne et brintatom i vand fra et i fedt, et i en knogle eller måske et i en kræftknode.

Magnetisk gradient fortæller, hvor signalet er målt

Nu har vi signaler fra kroppens indre, Vi kan bestemme hvilket væv signalet kommer fra, men hvor i kroppen sidder det væv vi måler på? Man ved godt om det er maven eller knæet, man er ved at se på, for det er den del af kroppen, som er inde i skanneren. Men for at kunne danne MRI-billeder af de ønskede snit i kroppen, skal man vide helt præcist, hvor hvert signal kommer fra. Det kan man ved at lægge endnu et magnetisk felt ned over dig. Men denne gang ændrer magnetfeltets styrke sig langs kroppen, så det er forskelligt alt efter, hvor på kroppen og i, hvilken vinkel man måler. Ved at kombinere disse oplysninger kan man programmere en computer til at beregne, hvor på kroppen signalerne kommer fra.

Ikke alle må få en MR undersøgelse

Det er ikke alle, som kan få en MR undersøgelse. Personer, der har magnetiske materialer eller elektronik i kroppen må ikke komme i en MR skanner. Det kan være, at de har haft brækket armen eller benet og fået indsat noget metal i knoglen. Andre har fået indsat metalclips på blodkar, fordi de var svage eller var gået hul på dem. Det kraftige magnetfelt kan nemlig trække så meget i metallet, at der kan opstå risiko for blødning fra blodkar eller store smerter i knoglen med metal. Andre igen har fået indopereret elektronik. Det kan være en **pacemaker**, der hjælper hjertet med at slå rigtigt. De må heller ikke få en MR-undersøgelse, radiosignalerne kan forstyrre pacemakers funktion.

FAKTA

Frekvensen kaldes typisk for en såkaldt radiofrekvens. Det hedder den fordi den ligger i samme område som den almindelige FM-radioer arbejder i, typisk mellem 10 og 100MHz, prøv, selv at se på en radio derhjemme eller i en bil og se, at frekvensen for de forskellige radiostationer ligger i dette område.

7.0 Helt nye metoder

De teknikker du har læst om indtil nu er ret avancerede og giver gode muligheder for at hjælpe os med at finde ud af, hvad vi fejler. Men der er naturligvis stadig tekniske udfordringer, som der

arbejdes på at løse. I dette afsnit kan du læse om nogle få af de mange forskningsprojekter, der arbejdes på og som kan give nye imponerende muligheder indenfor billeddannelse.

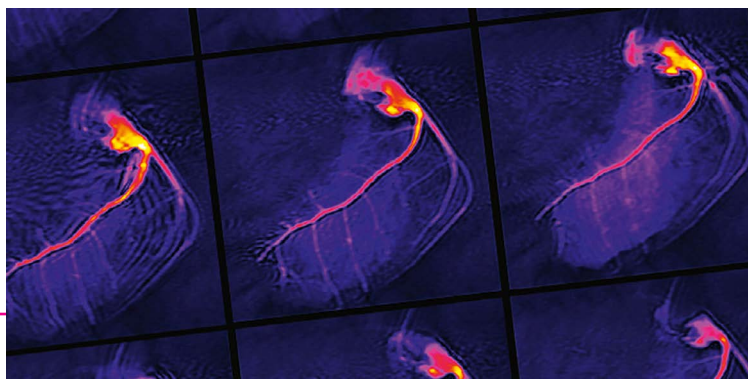
7.1 Magnetisk sukker fremmer forståelsen

En ny avanceret teknik er på trapperne, hvor molekyler, som normalt indgår i vores stofskifte gøres magnetiske, så man kan følge stoffernes vej rundt i kroppen i en MRI-skanner. Det vil være en måde at udskifte andre metoder, som bruger radioaktive stoffer til at danne billeder af stofskifteprocesser.

Den nye teknik ændrer ikke ved MRI skanneren. Det handler om en ny måde at bruge skanneren på, som fremhæver det man gerne vil se. I den nye metode gør man et sukkerstof, der hedder pyruvat, magnetisk på en særlig perfekt måde, så det lyser kraftigere op på en MRI skanning, end kroppens væv. Det smarte ved at gøre pyruvat magnetisk er, at det omsættes i kroppen til to forskellige stoffer alt efter om der er ilt til stede eller ej. Hvis ikke der er ilt bliver pyruvat omdannet til mælkesyre. Det sker blandt andet i musklerne under hård træning, men det sker også inde i kræftsvulster. Det betyder, at når

magnetisk pyruvat sprøjtes ind i en person, som ligger helt afslappet, vil der kun dannes mælkesyre, hvis der er en svulst. På den måde gør metoden kræftsvulster særligt tydelige - også små svulster som man ellers ikke ville have set. Det er også muligt at se hvor aktiv en svulst er. Jo mere pyruvat de omdanner og der med - jo mere laktat, der opstår, jo mere vil cellerne lyse op på MRI-skanningen. På den måde kan lægerne se, hvor aktive kræftcellerne i en svulst er før og efter en behandling. En patient vil således kunne scannes både inden og umiddelbart efter en behandling med kemoterapi for at se, om kræftcellerne er blevet svækket. I dag er det typisk nødvendigt at vente flere måneder, før man kan måle, om tumoren er blevet mindre og dermed se, om behandlingen har virket.

Der er flere fordele ved metoden: 1) Hurtig, en scanning tager kun et par minutter. 2) Ingen vævsprøver, 3) Ingen skadelige eller giftige stoffer, så man kan udfører flere scanninger af patienten.



Billedet viser en MRI skanning, hvor en person har fået indsprøjet magnetisk kontraststof, som lyser op på billedet. Foto: DTU.

7.2 Nye typer ultralydsapparater er afhængige af nytænkning inden for databehandling

I afsnittet om ultralyd kan du læse, at denne billeddannelsesmetode er baseret på at sende lyd gennem kroppen og måle på refleksionen af lydbølgerne. På sin vis en enkel metode. Men som ved meget billeddannelse ligger det store arbejde i databehandlingen. Du kan nu læse om to særlige ultralydsapparater, som på grund af deres særlige evne til at behandle data på, kan løse særlige opgaver.

Det ene ultralydsapparat er kæmpe-stor, men kan vise detaljerede billeder og behandle utrolige mængder data. Det store apparat hedder Sarus.

Den anden er lille og fiks og kan derfor åbne op for, at man kan lave ultralydsundersøgelser andre steder end på hospitalet.

Sarus er som sagt stor - to meter bred, to meter høj og to meter lang. På sin vis skyldes den store størrelse Sarus' **transducer**, som kan udsende og optage 1024 forskellige ultralydsfrekvenser, hvor en almindelig transducer kun kan arbejde med 192 forskellige frekvenser. Det giver mulighed for et langt mere detaljeret billede, som for eksempel kan bruges, hvis en person har fået opereret en ny **hjerterklap** ind i hjertet. Så kan man se i detaljer, hvor godt operationen er lykkedes. Man kan se nøjagtigt, hvordan den nye klap sidder i hjertet, holder den tæt på de rigtige tidspunkter og hvordan blodet flyder forbi hjerterklappen. Meget bedre end man kan nu.



På billedet ses Sarus. Verdens kraftigste ultralydsskanner. Foto: DTU

Men alle disse data fra transduceren kræver en computer med en voldsom regnekapacitet og det er her vi kommer tilbage til Sarus' store størrelse. Den har nemlig, hvad der svarer til over 50.000 processorer, som tilsammen kan beregne 25.000 milliarder beregninger i sekundet. Saurus behandler 140GB pr sekund, hvilket omtrent svarer til at behandle data fra 70.000 tvkanaler samtidigt. Behandlingen af så store mængder data kræver meget køling af processorerne. Derfor skyldes noget af den store størrelse også kølere, der forhindrer computeren i at blive for varm.

Det har foreløbig taget syv år at udvikle og bygge Sarus.

Den lille

Samme gruppe som arbejder med Sarus har sat sig for også at udvikle et bærbart ultralydsapparat.

For at gøre ultralydsinstrumenterne bærbare skal både teknologien i transduceren, den komplicerede elektronik og signalbehandlingen i skanneren ændres, så der kan dannes gode billeder af færre data. Gruppen har set på om billeder kan dannes på en smartere og enklere måde, så der dannes færre data, der skal behandles, men som giver samme mulighed for gode billeder. Det kan blandt andet gøres ved at få transduceren til at være endnu mere præcis med de frekvenser den danner. Det danner mindre støj, som skal sorteres fra af et billedbehandlingsprogram. Der ud over ser forskningsgruppen på om der kan udvikles nogle beregningsmetoder, som kræver mindre computerkapacitet. De er kommet så langt at ved flere opgaver kan data behandles og blive til gode billeder blot ved hjælp af en smartphone eller tablet. Hvis der er brug for mere avanceret billedbehandling kan ultralydsapparatet benytte internettet til sende data hen til en anden computer. På den måde behøver den ikke at have en stor computer indbygget i det bærbare apparat.

Begge ultralydsapparater udspringer fra DTU Elektro, men er et samarbejde mellem flere institutter, virksomheder og hospitaler.

Fotoet viser en forsker, som arbejder på at udvikle nogle særlige små og præcise piezoelektriske krystaller i silicium i stedet for bly som man bruger i almindelige ultralydsapparater. Foto: DTU



8.0 TEST DIG SELV - Hvad har du læst

- ★ Hvad er billeddannelse? Nævn tre forskellige typer billeddannelse.
- ★ På side 10 kan du se et billede af en hånd, der er røntgenfotograferet. Hvorfor er knoglerne hvide på det ene billede og sort på det andet?
- ★ Hvilke fag bruges der til billeddannelse?
- ★ Hvilken fysisk egenskab bruges til ultralyd?
- ★ Kan du høre ultralyd?

- ★★ Hvilket grundstof i din krop er vigtigst, hvis du skal have en MRI skanning?
- ★★ Hvad er en piezoelektrisk krystal?
- ★★ Er der personer, som ikke må få en MRI undersøgelse?
- ★★ Hvordan tror du et blyforklæde virker?
- ★★ Hvilken funktion har et kontraststof?

- ★★★ Diskuter med dine klassekammerater, hvad I synes var det vildeste ved billeddannelse.
- ★★★ Hvorfor er databehandling så vigtig for billeddannelse?
- ★★★ Hvilke billeddannelsesteknikker har du og dine klassekammerater prøvet?
- ★★★ Kan man få stråling på anden måde end ved røntgenbilleder og ct-skanning?
- ★★★ Hvad sker der i kroppen, når den bliver udsat for stråling?



Kosmisk stråling: Partikler med høj energi, der rammer Jorden fra verdensrummet.

Blyforklæde: Et forklæde, som indeholder blyplader, der beskytter personen mod røntgenstråling. Bruges på røntgenafdelinger. Det bruges ofte til forældre, som står ved siden af deres barn, som skal have taget et røntgenbillede.

Detektor: Sensorer som opfanger røntgenstråler, der er kommet gennem personen i en CT-skanner. Denne betydning gælder for CT-skannere.

Hjerteklap: I vores hjerte sidder klapper af bindevæv, som sørger for at blodet ikke løber tilbage, hvor det kom fra, når det er pumpet fremad af hjertet.

Pickup spole: En pickup er en elektromagnetisk transducer, der omsætter radiobølger til et analogt elektrisk signal.

Transducer: I forbindelse med ultralyd betyder ”transducer” den del af apparatet, som holdes mod patientens hud og udsender og modtager ultralydsfrekvenser. Se også afsnittet om ultralyd.