

# Strålning inom medicinen



Röntgenundersökning av magpatient. Bilden har ställts till förfogande av Statens Strålskyddsinstitut (SSI).  
Foto: Sten Gunneström

## Innehåll

### Strålningsdiagnostik

Röntgen

Datortomografi

Positron Emissions Tomography (PET)

Nuklearmedicin

Magnetresonans (MR)

Ultraljud

Speciella tekniker

### Strålbehandling

Joniserande strålning

Radioaktiva läkemedel

Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)

Icke joniserande strålning

**Bilaga: Tekniska och medicinska termer**

*Inom dagens sjukvård används en rad olika undersöknings- och behandlingsmetoder som utnyttjar strålning i olika former. Tillgången till flera av dem är av helt avgörande betydelse för såväl sjukvård som medicinsk forskning. De vanligaste är röntgenundersökningarna.*

*Om vi lägger ihop antalet röntgenundersökningar inom sjukvården och tandvården blir det ungefär en undersökning per år och svensk. Användningen av magnetresonans- (MR) och ultraljudundersökningar ökar kraftigt.*

*När det gäller metoder som utnyttjar joniserande strålning (röntgen, nuklearmedicin) lägger man i dag ner mycket arbete på att utnyttja strålningen så effektivt som möjligt d v s att framställa en tillräckligt bra bild för så låg stråldos som möjligt.*

*Det gör man mot bakgrund av att medicinska undersökningsmetoder (helt dominerat av sjukvårdens röntgendiagnostik - tandvården ger jämförelsevis små bidrag) i medeltal per svensk svarar för ett stråldostillskott på bortåt 1 mSv per år.*

*Det är det största artificiella stråldosbidraget i samhället och i klass med bidragen från naturlig bakgrundsstrålning (från kosmisk strålning, strålning från hus och mark och människokroppen). Bara stråldosbidraget från inomhusluftens radon och radondöttrar i lungor och luftvägar är större. Det senare anses i medeltal motsvara en helkroppsbestrålning av ca 2 mSv per år.*

Det som kallas strålning är egentligen en transport av energi, i form av en partikelström eller som elektromagnetiska vågor. Strålning kan indelas i två olika kategorier: *icke-joniserande* och *joniserande*.

Exempel på icke-joniserande strålning är värmestrålning (infraröd strålning), synligt ljus, mikrovågor och radiovågor.

Dessutom brukar ultraljud räknas till kategorin icke-joniserande strålning, även om den inte är elektromagnetisk. Ultraljud är en energitransport där energin överförs genom vibrationer hos molekyler i ett medium, t ex kroppsvävnad.

Joniserande strålning har högre energi än icke-joniserande strålning och kan därför - som namnet säger - jonisera det material den passerar.

Jonisera innebär att elektroner kan slitas loss från materialets atomer/molekyler av strålningen. Därvid bildas vad som kallas radikaler, d v s laddade atomer/molekyler.

Om detta sker i t ex människans kropp kan det uppstå en strålskada. Dock blir man inte radioaktiv, vilket är en ofta förekommande missuppfattning.

Exempel på joniserande strålning är strålning från rymden och från naturligt radioaktiva ämnen i t ex marken eller människans kropp.

Andra exempel på joniserande strålning är förknippade med mänsklig verksamhet: vid kärnreaktorer och forskningsacceleratorer, från radioaktivt avfall, röntgenapparater etc.

## Strålning innebär både nytta och risker

Solstrålning är en förutsättning för liv på jorden, men samtidigt kan UV-strålning från solen ge upphov till tumörer och sannolikheten för detta ökar t ex med oförsiktigt solande. Värmestrålning från en lägereld känns skön, men alltför intensiv värmestrålning kan ge brännskador.

Joniserande strålning från radioaktiva ämnen i t ex byggnadsmaterial och inomhusluft innebär en risk. Samtidigt är detta senare svårt att undvika eftersom ämnen som uran, torium och kalium är vanligt och naturligt förekommande.

Radium finns överallt i marken. När radium sönderfaller bildas den radioaktiva gasen radon som kan tränga upp i våra hus.

*Joniserande strålning är inget nytt fenomen förknippat med mänsklig verksamhet. Det har alltid funnits. I själva verket var strålningen mycket intensivare vid världsalltets tillkomst för mellan 10 och 20 miljarder år sedan. All materia i universum var då radioaktiv.*

*Radioaktiva ämnen innehåller ett överskott av energi. När dessa atomkärnor sönderfaller skickar de ut sitt energiöverskott i form av strålning.*

*De flesta atomkärnor som finns i naturen i dag har för länge sedan hunnit avge sitt överskott av energi och blivit stabila. Dock finns det fortfarande mängder av naturligt radioaktiva atomkärnor omkring oss, som fortsätter att sända ut strålning.*

*Detta är ett minne från skapelseprocessen. Människan har därför alltid utsatts för strålning.*

## Röntgen, Becquerel, Curie...

Kunskapen om joniserande strålning är relativt ny. Den har bara 100 år på nacken, jämfört med exempelvis astronomi och andra tidiga kunskapsområden. Den tyske fysikern Wilhelm Röntgen upptäckte 1895 en strålning som vi idag kallar röntgenstrålning. Röntgen demonstrerade strax efter sin upptäckt de medicinska möjligheterna genom att genomlysa sin hustrus hand.

Den franske fysikern Henri Becquerel upptäckte 1896 den naturliga radioaktiviteten. Radiobiologiska experiment startades mycket snart, bland andra av Pierre Curie som medvetet och planerat utsatte sin underarm för strålning från ett radiumpreparat.

Pierre och Marie Curie som upptäckte radium 1898, initierade också användningen av radium för strålbehandling genom att placera en radiumkälla i eller invid tumörvävnaden.

Människan började således mycket snart att ta röntgenstrålning och radioaktiva ämnen i medicinens tjänst.

Under det sekel som gått sedan de fundamentala upptäckterna har teknikerna förbättrats och finslipats. Nya metoder har ständigt tillkommit. Det är ingen överdrift att säga att dagens sjukvård är helt beroende av en effektiv användning av strålning.

Denna artikel ger ett antal exempel på den nytta som strålning har fått inom medicinen. Dels för undersökning av patienter – strålningsdiagnostik, dels för behandling av patienter – terapi eller med ett svenskt ord, strålbehandling.

I slutet av artikeln finns förklaringar till en del tekniska och medicinska ord som används.

## Strålningsdiagnostik

*I dag finns, utöver röntgen som är den överlägset dominerande metoden, en rad kompletterande tekniker för avbildning av människans inre. Teknikerna är olika, likaså den kliniska information man får.*

### Röntgen

Vid röntgenundersökningar utnyttjas normalt elektromagnetisk strålning i energiområdet 40 till 150 keV<sup>1</sup>. Ett undantag är mammografi (bröströntgen) där betydligt lägre energi, 15-30 keV, används.

Strålningen kommer, då den passerar kroppen, att absorberas och spridas olika beroende på vilken typ av vävnad, skelett, lungor etc, som den passerar. Strålningen som passerat kroppen får svärta en röntgenfilm.

Detta är en typ av fotografisk film, som för att uppnå bättre effektivitet (lägre patientdos) är placerad i kassett. Dess väggar består av material som absorberar röntgenstrålning och utsänder ljus som i sin tur svärta filmen.

Efter framkallningen beror svärtningsgraden i varje punkt på filmen på absorptionen och spridningen i kroppen. Man får en "bild" av kroppens inre. Ju "tätare" vävnad, desto ljusare film.

Röntgenfilmen är exempel på en analog teknik. Tyvärr utnyttjar denna klassiska metod dåligt den information som finns i strålningen som passerat kroppen.

Dessutom avbildas ett 3-dimensionellt objekt som en 2-dimensionell bild.



Figur 1. Röntgenbild av lungor

<sup>1</sup> 1 keV = 1.000 eV; eV är en energienhet lämplig i strålningsfysikaliska sammanhang, 1 eV = 1,6↔10<sup>-19</sup> joule

## Datortomografi

Ett mycket stort framsteg gjordes under 1970-talet då datortomografin (Computerized Tomographic Scanning, förkortat CT, eller datorstyrd skikkröntgen) utvecklades. Vid CT används ett stort antal detektorer känsliga för röntgenstrålning. Dessa detektorer är mekaniskt förbundna med röntgenröret och får liksom detta rotera runt patienten.

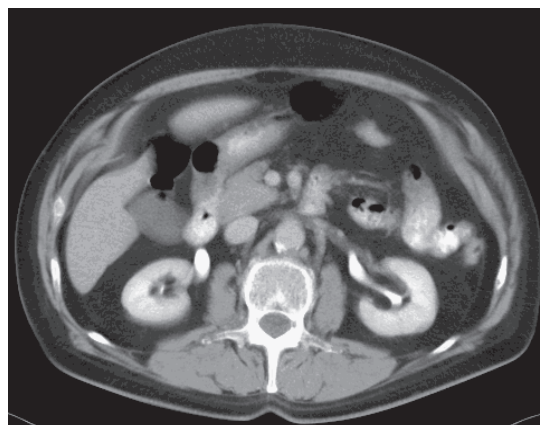
På så sätt mäts hur mycket strålning som passerar genom patienten i olika riktningar. Registreringarna från de olika detektorerna lagras i digital form i en dator.

Efter undersökningen får datorn räkna ut hur olika tvärsnitt av patienten ser ut. Ett antal närliggande tvärsnitt ger en 3-dimensionell bild som är mycket mer detaljerad än en vanlig röntgenbild. Ett problem är att dagens CT-bilder fordrar 10 gånger så mycket strålning som en vanlig röntgenbild.

I figur 2 visas exempel på en CT-bild. Kvantitativ information kan fås ur olika delar av bilderna. CT är exempel på en digital teknik. En förutsättning för utvecklingen av CT har givetvis varit tillgången till kraftfulla beräkningsdatorer.

I dag utnyttjas digitala tekniker alltmer. Detta ger möjlighet att behandla bilder och skicka dem via interna och externa datanätverk.

Digitaltekniken kräver dessutom mycket mindre lagrings-



Figur 2. CT-bild av ett snitt genom buken. Bilden visar ett tvärsnitt vinkelrätt mot kroppens längdriktning sett underifrån. Framsidan av kroppen uppåt i bilden.

utrymme än film och tillgängligheten till gamla bilder blir bättre. Bilder kan digitaliseras på olika sätt. Det enklaste är att läsa av en röntgenfilm punkt för punkt och lagra informationen i digital form. Man kan också lagra signalerna från bildförstärkare.

## Nuklearmedicin

Om radioaktiva spårämnen tillförs patienten, kan den utsända strålningen (om dess energi medger att den når ut ur kroppen) registreras genom mätning med yttre detektorer i olika riktningar runt kroppen. Detta är, jämfört med röntgendiagnostik, en rätt ovanlig teknik även om det årligen i världen görs omkring 20 miljoner nuklearmedicinska undersökningar.

Radionukliderna tillverkas med hjälp av kärnreaktorer och acceleratorer. För att registrera strålningen används framför allt gammakameror. En sådan består av en stor scintillationsdetektor som är känslig för gammastrålning. Om man låter detektorn rotera kring patienten, kan man framställa tomografiska bilder.

Styrkan i en nuklearmedicinsk undersökning är möjligheten till funktionella och dynamiska studier t ex kan hjärtfunktionen studeras. Däremot är inte nuklearmedicinska metoder lämpliga för detaljavybildning av anatomiska strukturer.

## PET

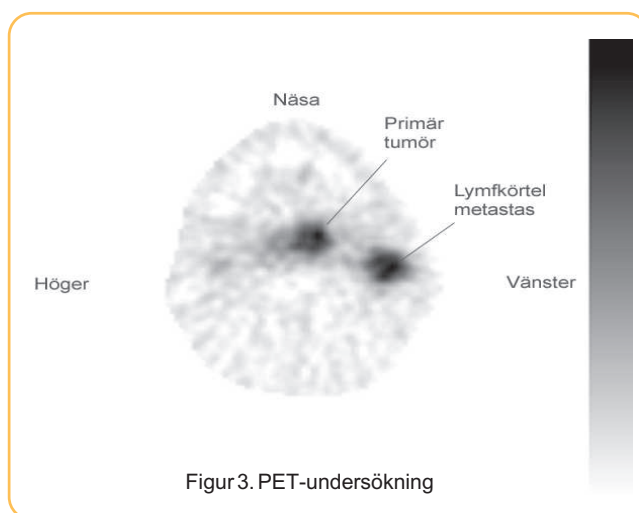
Det är också möjligt att titta in i kroppen och göra tomografiska avbildningar av biokemiska och fysiologiska processer med en teknik som kallas PET (*PositronEmissionsTomografi*). Onkologi och neurologi är områden där metoden har fått stor klinisk och vetenskaplig betydelse.

I detta fall utnyttjas kortlivade radionuklider som vid sitt sönderfall sänder ut positroner. Exempel på sådana nuklider är  $^{11}\text{C}$  (halveringstid 20 min),  $^{13}\text{N}$  (10 min),  $^{15}\text{O}$  (2 min) och  $^{18}\text{F}$  (110 min).

Positronen, som utsänds då atomkärnan sönderfaller, kommer efter en mycket kort sträcka i kroppen att sammanslås med en elektron. Vid denna sammanslagning förintas de båda partiklarna och två gammakvanta bildas. Dessa sänds ut samtidigt åt diametralt motsatt håll. Denna strålning kan - med lämplig tomografiutrustning - lätt registreras i koincidens.

Exempel på studier är hjärnans energiomsättning, blodflödesmätningar i hjärnan under olika typer av mental aktivitet, studier av receptorfunktion samt studier av tumörers förändring. T ex kan man konstatera om en viss tumör svarar på en viss cytostatikabehandling några få dagar efter behandlingsstarten.

Figur 3 visar resultatet av en PET-undersökning av en patient med okänd primär tumör, utförd vid Radiofysiska institutionen vid Lunds Universitetssjukhus. Bilden visar ett tvärsnitt vinkelrätt mot kroppens längdriktning i öron-näsa-halsregionen sett underifrån. Ansiktet är uppåtvänt i bilden.



Figur 3. PET-undersökning

Lymfkörtelmetastasen i vänstra käkvinkeln var känd före PET-undersökningen, men däremot inte den primära tumören i munbotten. En radioaktivt märkt sockersubstans injicerades intravenöst 50 minuter före registreringen av radioaktivitetsfördelningen med PET-utrustningen.

Tumörceller har generellt en högre sockeromsättning än normala celler och syns därför som mörkare områden i bilden.

## Magnetresonans (MR)

Patienten placeras i ett kraftigt statiskt magnetfält (inte så sällan används supraledande magneter för att starka fält ska kunna utnyttjas). Patienten utsätts för ett radiofrekvent fält avstämt till resonansenergin för någon lämplig sorts atomkärna, t ex vätekärnorna i människokroppen.

I resonansläge får man ett antal kärnor att ta upp energi från det radiofrekventa fältet och därmed ändra sin magnetiska orientering. Atomkärnorna återgår efter en kort stund till jämviktsläget och avger den nyss upptagna energin i form av en svag radiosignal.

De svaga signalerna som utsändes vid atomkärnornas återgång till jämviktsläget används för diagnostik i form av bilder eller pulshöjdsfördelning. Signalstyrkan beror framför allt på koncentrationen av väteatomkärnor och på deras omgivning.

Varaktigheten på signalen skiljer sig mellan olika typer av vävnad och beror på hur atomkärnan existerar i vävnaden, hurvida den är fri eller kemiskt bunden, om den finns i vätska eller i fastare vävnadsstrukturer, i tumörer eller frisk vävnad.

Signalen från de enskilda atomkärnorna beror också på vilka andra kärnor som finns i den närmaste omgivningen. Man utnyttjar också möjligheten att tillföra paramagnetiska kontrastmedel till kroppen.

Liksom vid CT (Datortomografi) framställs av de registrerade signalerna tomografiska bilder av kroppsvävnadsnitt.

## Ultraljud

Ultraljud består, liksom hörbart ljud, av en mekanisk vågrörelse i något medium, t ex vatten, luft etc. Dess natur skiljer sig alltså från övrig strålning som behandlas i denna artikel.

Våglängden för ultraljud är kortare än för hörbart ljud (annorlunda uttryckt är dess frekvens över vår hörbarhetsströskel, d v s över 20.000 Hz). Ultraljudsgivaren hålls mot huden med kontaktvätska mellan. Ultraljudgivare med flera kristaller används som via bildskärmar ger ögonblicksbilder med hög upplösning av det undersökta organet.

Ultraljud är den patientbundna medicinska undersökningsmetod som ökar snabbast idag. Det är en viktig metod när det gäller undersökning av hjärta, blodkärl, olika bukorgan och foster. Med hjälp av Doppler-teknik kan man också få kvantitativ information om flödesförhållandena i exempelvis olika blodkärl.

## Några speciella tekniker

Utöver ovan nämnda finns det ett antal speciella tekniker, t ex helkroppsmätning. Det innebär att patienten placeras tillsammans med instrument som är känsliga för gammastrålning i ett rum som är bakgrundskärmat med decimetertjocka väggar av järn och/eller bly.

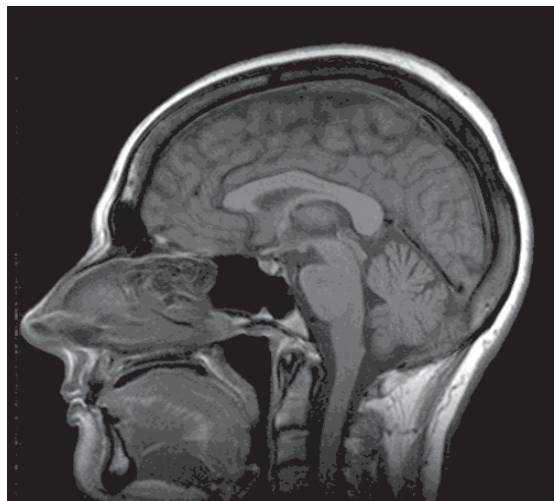
Den strålning som utsänds från personen registreras och upptag och omsättning av olika radioaktivt märkta spårämnen kan på detta sätt studeras.

**Neutronaktivering** är en annan teknik för mätning *in vivo* av innehållet i hela eller delar av kroppen av ett specifikt grundämne. Metoden innebär att patienten (eller del av kroppen) bestrålas med neutroner. Neutronerna kan i kroppen infångas i vissa atomkärnor. Vid den efterföljande de-excitationen av kärnan (d v s då kärnan gör sig av med överskottsenergin) utsänds för kärnan karakteristisk gammastrålning som kan registreras i t ex en helkroppsmätutrustning. Exempel på denna typ av undersökning är mätning av kroppsprotein via prompt neutronaktiveringsanalys av kväve.

**Röntgenfluorescens** går ut på att bestråla patienten (eller del av patienten) med röntgen- eller gammastrålning som har en energi något högre än K-elektronernas bindningsenergi i det grundämne som man vill studera.

Det finns då en stor sannolikhet att en K-elektron slås ut och atomen därigenom blir exciterad. Vid den efterföljande de-excitationen utsänds röntgenstrålning med för ämnet karakteristisk energi. Genom att mäta antalet fotoner med denna karakteristiska energi kan t ex tungmetallerna bly, kadmium och kvicksilver mätas *in vivo*. Stråldoserna vid dessa analyser är mycket låga jämfört med t ex röntgenundersökningar.

Ytterligare ett antal olika tekniker är under utveckling där **laserljus och synligt ljus** används för undersökning. Metoderna bygger som regel på att efter bestrålning och excitation av atomer/molekyler i patienten registreras spritt och genomträngande ljus och spektroskopisk analys görs av detta ljus.



Figur 4. MR-bild av ett snitt genom skallen

Vid MR fås samtidigt bilder från flera olika plan. Sådana bilder ger i jämförelse med CT ny och kompletterande information.

Benvävnad syns inte på MR-bilder, vilket medför att andra vävnader, som annars är gömda i ben, t ex i ryggmärgskanalen och bakre skallgropen, avbildas tydligt med MR.

Ett antal lovande metoder under tidig utveckling är för närvarande aktuella bl a inom det tvärvetenskapliga samarbetet mellan kliniska forskare/fysiker vid Lunds Lasercentrum.

**Acceleratormasspektrometri**, AMS, är en metod för räkning av antalet atomer i ett prov. Metoden används för mätning av mycket låga koncentrationer av både radioaktiva och stabila nuklider.

De främsta fördelarna med AMS jämfört med konventionella radiometrisk metod är att mycket små prov (mg-storlek) kan analyseras och att mättiden är kort (< timme).

AMS används vid Radiofysikavdelningen på Universitetssjukhuset MAS i Malmö för bland annat långtidsstudier av  $^{14}\text{C}$ -retentionen i kroppen efter rutinmässiga tester av eventuella störningar i fettupptaget med hjälp av  $^{14}\text{C}$ -märkt fett. Detta är ett så kallat andningstest. Ju mer fett som tas upp i mag-

tar kanal och förbränns, desto mer  $^{14}\text{C}_2$  utandas. Prov på utandningsluften tas före och vid olika tidpunkter efter fettintaget.

Kol extraheras på kemisk väg ur proven och analyseras med AMS-metoden vid Pelletronacceleratoren, Fysiska institutionen, Lunds universitet.

Ett enkelt sätt att påvisa *Helicobacter pylori*-infektion är att ge  $^{14}\text{C}$ -märkt urea i samband med en testmåltid och sedan mäta halten  $^{14}\text{CO}_2$  i utandningsluften. Kraftig  $^{14}\text{CO}_2$ -utsöndring är ett tecken på infektion. Med AMS behövs mindre än 0,4 % av den aktivitet som fordras då mätningen görs med vätske-scintillator, vilket är den normala kliniska metoden.

AMS-metoden ger, utöver diagnostikmöjlighet, också en möjlighet till noggrann kartläggning av de stråldoser som är förenade med ett radiofarmakatest.

## Strålbehandling

Strålterapi med höga stråldoser spelar en central roll vid behandling av tumörsjukdomar. Näst efter kirurgi är strålbehandling den viktigaste metoden att behandla cancer. En förutsättning för att strålterapi ska bli framgångsrik är att en tillräckligt hög och jämn dos kan ges till hela tumörvolymen. Samtidigt måste skador på omkringliggande frisk vävnad undvikas.

En betydande ökning av läkningssannolikheten kan fås för en liten ökning av dosen. Men tyvärr ökar också riskerna snabbt för allvarliga biverkningar eller komplikationer för ett litet dosstillskott till frisk vävnad eller intilliggande riskorgan. Kraven på precision vid strålbehandling är därför utomordentligt höga.

I figur 5 finns en schematisk beskrivning av tillvägagångssättet vid strålbehandling med högenergetisk fotonstrålning eller elektronstrålning.

Även behandling med hjälp av fasta strålkällor, som placeras i kroppshåligheter eller sticks in i tumören, utnyttjas där detta är förmånligt jämfört med extern strålbehandling.

Också icke-joniserande strålning som ultraljud, laserljus och värmebestrålning används vid terapi.

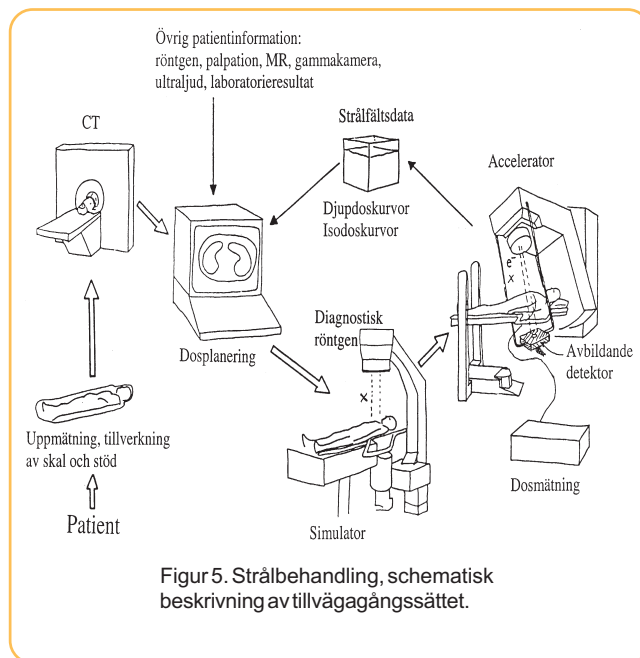
**Högenergetisk fotonstrålning.** Det överlägset vanligaste strålslaget vid strålbehandling är högenergetisk fotonstrålning som producerats i acceleratorsystem och omkring 80 % av all strålbehandling görs idag med sådan strålning.

Den vanligaste utrustningen är en linjär elektronaccelerator, där elektronerna efter acceleration till 5-20 MeV beroende på önskat inträngningsdjup får träffa ett tungt material, t ex wolfram. I materialet bromsas elektronerna och samtidigt produceras en bred stråle av högenergetiska fotoner.

Fotonstrålningen kollimeras till lämplig tvärsnittsyta innan den får träffa patienten. Acceleratorsystemet kan rotera runt patienten och strålning ges från flera olika riktningar.

**Elektroner.** Efter fotonbestrålning är elektronbestrålning den vanligaste formen och mellan 10 och 20 % av all strålbehandling görs med elektroner.

Utrustningen som fordras är densamma som för fotonstrålning, men istället för att de accelererade elektronerna får



Figur 5. Strålbehandling, schematisk beskrivning av tillvägagångssättet.

träffa en metallbit, så får de lämna acceleratorsystemet genom ett tunt folie och därefter direkt träffa patienten.

Skillnaden mellan foton- och elektronstrålning är främst den snabba minskningen av dosen med djupet för elektronstrålningen.

**Protoner.** Med en ideal bestrålningsutrustning borde strålens hela energi avlämnas i tumörvolymen och ingenting alls i omgivande frisk vävnad.

Terapi med laddade partiklar (protoner och tyngre) skulle kunna uppfylla detta krav betydligt bättre än foton- och elektronstrålning eftersom räckvidden för protoner och tyngre joner är mycket mer väldefinierad och nästan hela rörelseenergin och därmed stråldosen avlämnas under den sista sträckan av nedbromsningen.

För att ha tillräcklig räckvidd i vävnad och därmed kunna användas kliniskt krävs protonenergi i 200 MeV-klassen. Detta kräver därför stora och komplexa utrustningar.

Strålbehandling med protoner bedrivs idag framgångsrikt vid omkring femton anläggningar runt om i världen och då ofta för specifika problemställningar, t ex vid The Svedberg-laboratoriet i Uppsala för behandling av tumörer i ögat.

**Radioaktiva läkemedel** t ex jod kan användas för behandling av sjukdomar i sköldkörteln (t ex giftstruma). Behandlingen kan ges genom att patienten får dricka ett glas vatten i vilket en väl avvägd mängd radioaktiv jod finns upplöst.

Den radioaktiva joden tas effektivt upp i mag-tarmkanalen. En del av detta jod tas upp i sköldkörteln och avger vid sitt sönderfall en stråldos till körteln.

Man försöker idag använda samma ”målsökningsprincip” för strålbehandling av t. ex. tumörsjukdomar. Det är emellertid svårt att åstadkomma preparat som ger ett högt och specifikt upptag i tumörvävnaden.

## Icke-joniserande strålning

**Ultraljud.** Det förmodligen mest välkända exemplet på användningen av ultraljud för medicinsk terapi är behandling av njursten. En fokuserad energirik ultraljudspuls riktas genom vatten in i patienten för att slå sönder stenen i mindre delar. Dessa stenfragment kan sedan lämna kroppen utan att stoppas i urinvägarna. Endast begränsad skada åstadkommes på njurarna vid denna behandling.

Det finns förhoppningar att kunna använda samma metodik för bekämpning av cancertumörer. Idén är att chockvågen ska döda cellerna i tumören genom att slita sönder cellmembranen.

En annan idé är att fokusera ett antal ultraljudhögtalare mot en punkt i kroppen och där få en volym med förhöjd temperatur och på så sätt slå ut tumörceller. Ljudet kan fokuseras så väl att i gränsskiktet mellan förstörda celler och fullständigt opåverkade celler finns färre än tio cellskikt.

Ultraljud kan också användas för att stoppa inre blödningar genom att höja temperaturen i aktuellt skikt (ca 1 mm tjockt) tills koagulering sker.

**Laserljus** kan användas inom kirurgi. Laserstrålen skär sterilt och på grund av koagulering i snittet blir blödningen minimal. Med en pulserande stråle kan högre intensitet och kortare (och därmed energirikare) våglängder användas utan att ge termiska effekter i kringliggande vävnader. Strålen kan användas för att effektivt bryta molekylband och i vävnad kan strålen avlägsna cellager efter cellager.

Laserstrålen utgör en mycket precis kirurgisk kniv och används t ex vid ögonkirurgi för korrektion av brytningsfel och för öppning av förkalkade kärl.

**Boron Neutron Capture Therapy**, (BNCT) är en typ av strålbehandling, som är speciellt utvecklad för behandling av ej lokaliserad cancer. BNCT kräver därför tumörsökande bärarmolekyler som märkts med den stabila isotopen  $^{10}\text{B}$ .

Principen är att man efter intravenös injektion får bärarmolekylerna att ansamlas i tumörvävnaden. Termiska eller epitermiska neutroner från en **kärnreaktor** får infalla mot tumören.

Sannolikheten att neutronerna ska fångas in av  $^{10}\text{B}$  är stor och via en kärnreaktion slås boratomkärnorna sönder i en helium- och en litium-atomkärna. Dessa nybildade atomkärnor har mycket kort räckvidd och bromsas in på bara några få celldiametrar (5-10  $\mu\text{m}$ ) och de celler som passerar dör.

I Sverige används sedan våren 2001 forskningsreaktorn R2-0 i Studsvik för klinisk verksamhet. En unik filterkonstruktion gör att Sverige har möjlighet att inta en tätplats inom BNCT-teknikens utveckling.

Som nämnts ovan har det utvecklats substanser med egenskapen att om de tillförs patienten intravenöst, så tas de mer eller mindre selektivt upp i tumörvävnad. Ämnena är sådana att vid bestrålning inom det röda våglängdsområdet där vävnader är relativt genomsläppliga, exciteras vissa atomer i ämnena.

Vid den efterföljande de-excitationen överförs överskottsenergin framför allt till vävnadens syremolekyler, som övergår till fria syreradikaler.

Detta leder till celldöd för de celler som innehåller den aktuella substansen, dvs framför allt tumörcellerna. För behandling av djupt liggande tumörer pågår för närvarande utveckling av metoder med tunna optiska fibrer som förs in i tumören.

**Termisk behandling.** Med en laserstråle på 10-tals watt kan vävnader uppvärmas och förändras. Till exempel sker redan vid en temperatur av  $44\text{ }^\circ\text{C}$  förändringar i enzymaktiviteten.

Vid ungefär  $60\text{ }^\circ\text{C}$  inträffar koagulering, vid  $100\text{ }^\circ\text{C}$  kokar vattnet i cellerna och dessa sprängs. Vid ännu högre temperatur sker en förkolning av cellerna. Man kan också åstadkomma temperaturhöjning genom tillförsel av mikrovågsenergi eller ultraljud.

Verksamheten kallas **hypertermi** och används såväl vid tumörbehandling (oftast tillsammans med strålbehandling) som vid t ex behandling av prostatasjukdomar.

Docent **Ragnar Hellborg**  
Fysiska Institutionen, Lunds Universitet

Professor Sören Mattsson, Radiofysikavdelningen, Universitetssjukhuset MAS i Malmö, har välvilligt bidragit med ett antal faktauppgifter.

## Tekniska och medicinska termer

Amorft material: (amorft grek. a'morphos 'oformlig', formlös) material med atomerna slumpvis placerade i motsats till kristallint material där atomerna är placerade i rader.

Magnetiskt dipolmoment: vissa atomer kan betraktas som små magneter. Dipolmomentet är ett mått på deras magnetiska styrka.

Dopplereffekt: skenbar förändring av en vågrörelses frekvens då observatör och källan för vågrörelsen närmar sig eller avlägsnar sig från varandra).

Elektron: negativt laddad stabil och mycket liten elementarpartikel.

Excitation: upptagande av energi. De-excitation: avlämnande energi.

Foton: odelbar elektromagnetisk energimängd.

Gammakvanta: fotoner som utsänds från sönderfallande atomkärnor.

K-elektron: elektron i banan närmast atomkärnan.

Kollimator: anordning för att åstadkomma ett avgränsat strålfält (av partiklar, ljus eller dylikt).

<sup>60</sup>Co-preparat: preparat innehållande den radioaktiva koboltisotopen <sup>60</sup>Co.

Metabolism: ämnesomsättning.

Morfologiska bilder: visar uppbyggnaden av objektet.

Paramagnetisk: ett omagnetiskt ämne som, då det utsätts för ett yttre magnetfält, blir svagt magnetiskt.

Positron: elementarpartikel identisk med elektronen men med positiv laddning.

Radionuklid: instabil (radioaktiv) atomkärna.

Receptor: mottagare i vid bemärkelse t ex celler i kroppen som är känsliga för t ex ljus, lukt, smak, ljud, läge, tryck etc., eller strukturer på cellers ytor som binder olika molekyler.

Scintillationsdetektor: inkommande strålning ger upphov till ljusblixtar som förstärks och därefter registreras.

Spektroskopisk analys: registrering av energifördelning hos t ex strålning som ger betydligt mer information än enbart registrering av totalmängd strålning.

Strålström: den elektriska ström som en stråle av laddade partiklar transporterar.

Supraledande magneter: elektromagneter vars strömlindningar nästan saknar elektriskt motstånd. Strömmen kan därför cirkulera under mycket lång tid utan yttre strömkälla. Supraledning uppnås för vissa material vid mycket låga temperaturer (flytande heliumtemperatur, -269 °C). Betydligt högre magnetfält kan uppnås jämfört med vanliga magneter.

Synkrotronljus: intensiv elektromagnetisk strålning skapad vid cirkulär partikelaccelerator.

Termoluminiscens: utsändning av ljus från ett material vid försiktig uppvärmning.

Termiska och epitermiska neutroner: neutroner med låg energi och därmed större sannolikhet att avge sin energi.

Tomografi: metod för att åstadkomma skiktbilder.

Toxisk: giftig.

Radioaktiva och stabila ämnen nämnda i texten

Beteckning	Grundämne	Halveringstid	Medicinsk användning
$\alpha$ - <sup>4</sup> He	helium=alfapartikel	stabil	
<sup>7</sup> Li	litium	"	
<sup>10</sup> B	bor	"	BNCT-behandling
<sup>11</sup> C	kol	20 min	PET-studier
<sup>13</sup> N	kväve	10 min	"
<sup>14</sup> C	kol	5 730 år	Många olika studier t ex metabolism/läkemedelprov
<sup>15</sup> O	syre	122 s	PET-studier
<sup>18</sup> F	fluor	110 min	"
<sup>40</sup> K	kalium	1,3 ∞ 10 <sup>9</sup> år	Mätning av kroppens kaliuminnehåll
<sup>60</sup> Co	kobolt	5,3 år	Strålbehandling
<sup>99</sup> Tc <sup>m</sup>	teknetium	6,01 timmar	Nuklearmedicinska studier
<sup>111</sup> In	indium	2,8 dagar	"
<sup>123</sup> I	jod	13,3 timmar	"

---

Publikationerna Bakgrund och Faktaserien ges ut av analysgruppen vid Kärnkraftsäkerhet och utbildning AB (KSU).

Gruppens huvuduppgift är att sammanställa och analysera fakta kring frågor som kommer upp samhällsdebatten med anknytning till reaktorsäkerhet, strålskydd, radiobiologi och riskforskning.

Skriftserier och rapporter publiceras på analysgruppens hemsida. Den innehåller också ett omfattande länkbibliotek till nationella och internationella forskningsorganisationer, kärnkraftmyndigheter och kraftföretag.