

Fantastisk og farlig

– om stråling og kræft

I Steno Museets videnskabshistoriske udstilling *Det nysgerrige menneske* er der et afsnit, som handler om, at vores nysgerrighed kan skabe nye dilemmaer. F.eks. har vi måttet erkende, at strålingen fra radioaktive stoffer er et tvægget sværd. Den kan nemlig forårsage kræft – men den kan også bruges til at bekæmpe kræft.

Det er kun godt 100 år siden, at radioaktivitet blev opdaget. Som beskrevet i *Stenomusen* 93 blev den franske fysiker Henri Becquerel opmærksom på fænomenet i 1896. I de følgende år gennemførte Marie og Pierre Curie grundige undersøgelser af radioaktive stoffer. Det førte til opdagelsen af radium og flere andre radioaktive grundstoffer.

Radioaktivt vand

Det blev hurtigt klart, at der findes radioaktivitet overalt i naturen, om end i meget varierende mængde. F.eks. viste det sig, at vandet i



Radium Emanator, Type T fra Allgemeine Radium Akt. Ges., Berlin. Ca. 1930. På den vedhængte brugsanvisning står der: "1. Fyld den øverste beholder op til randen med friskt vand. Brug ikke varmt vand. 2. Hold glasset direkte under tuden. Drej hanen lodret. Det radonholdige vand vil derefter løbe ud. 3. Drej hanen tilbage til lodret position."
Foto: Steno Museet.

mange helsekilder var ganske radioaktivt. Det førte til den forestilling, at det netop var radioaktiviteten, der gav vandet dets helsegivende virkninger. Og der var nærmest ingen grænser for, hvilke sygdomme vandet angiveligt kunne helbrede eller i det mindste lindre.

Man indså efterhånden, at vandets radioaktivitet skyldtes, at det havde optaget radon fra undergrunden, som vandet strømmer igennem. Radon – eller radium emanation, som det oprindeligt blev kaldt – er et gasformigt, radioaktivt grundstof, som blev opdaget i 1899. Det dannes til stadighed ved radioaktivt henfald af radium, der selv er et henfaldsprodukt fra uran og thorium, som findes i mange bjergarter såvel som i lerjord.

Denne indsigt åbnede for muligheden af at fremstille radioaktivt vand kunstigt. I udstillingen kan man se en såkaldt Radium Emanator, der skulle "lades" med ca. 1 mg af et radium-præparat,

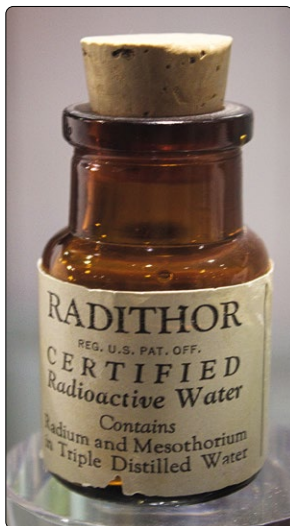
som så løbende ville afgive radon til det påfyldte drikkevand. Mange læger anbefalede mindst et glas om dagen. Skål!

Det magiske radium

Når vand med radon var så godt, mente mange, at indtagelse eller påsmøring af radons moderstof, radium, ville være endnu mere effektivt. Derfor blev det fra 1920'erne muligt at købe radiumholdige miksturer, salver, skønhedscremer, tandpasta og endda præventionsmidler.

Den amerikanske læge Charles Gilbert Davis anbefalede i 1921 brugen af radium med disse ord:

“Radium er selve livets essens; det stimulerer den levende celle til fornyet aktivitet, fremmer fordøjelsen, giver øget kraft til alle ernæringsprocesser, stimulerer de intellektuelle evner,



Radithor var en radioaktiv patent-medicin, som bestod af vand tilsat radium. Det blev fremstillet fra 1918 af kvaksalveren William J.A. Bailey. Over de næste 10-15 år solgte han over 400.000 flasker. Foto: Sam LaRussa, CC BY-SA 2.0.

forebygger sindssyge og vækker ædle følelser ved at fremme en sund hjerne, for-sinker alderdommens komme og skaber et pragtfuldt, ungdommeligt og glædeligt

liv.” [“Radium and Its Therapeutic Application” i *The American Journal of Clinical Medicine*, Vol. 28, 1921-02, 92].

For meget af det gode

Mange har nok læst ovenstående med en let gysen, for radioaktivitet er jo ikke sundt. Tværtimod kan det i større mængder give alvorlige skader på levende celler.

Den amerikanske amatør-golfmester og industrimand Eben Byers er et skræmmende eksempel. På grund af vedvarende smerter fra en skulderskade i 1927 havde hans læge foreslået ham at tage Radithor, et radiumholdigt lægemiddel. Det skulle angiveligt kunne hjælpe mod mavekatar, forhøjet blodtryk, impotens og mere end 150 andre sygdomme. Desuden hjalp det helt sikkert på lægernes økonomi, da de fik 1/6 af

Eben M. Byers (1880-1932) som han så ud før radiumbehandling og kort før sin død. Som en avis skrev: “Radium-vandet virkede fint indtil hans kæbe faldt af.”



prisen i provision for hver ordineret dosis.

Byers drak op mod 1500 flasker frem til oktober 1930, hvor han oplevede, at effekten forsvandt. Men da var skaden sket. Den muskuløse sportsmand svandt ind, samtidig med at han fik hyppige knoglebrud og organsvigt. Han tabte også sine tænder og fik fjernet det meste af kæberne. Når stoffet især ødelagde knoglerne, skyldes det, at radium kemisk set minder om calcium og derfor bygges ind i knoglerne og bestråler dem indefra.

Den nedbrudte Byers døde 31. marts 1932. Dødsårsagen blev angivet som

radiumforgiftning. Hans tilstand skyldtes dog kræft og ikke akut strålingssyndrom. Men det ændrede ikke på, at hans legeme var voldsomt radioaktivt. F.eks. kunne hans tænder i løbet af en enkelt nat sværte en indpakket fotografisk plade kraftigt. Så han blev begravet i en blyforet kiste. Hans vidt omtalte død bidrog til en forståelse af radiums potentielt dødelige egenskaber.

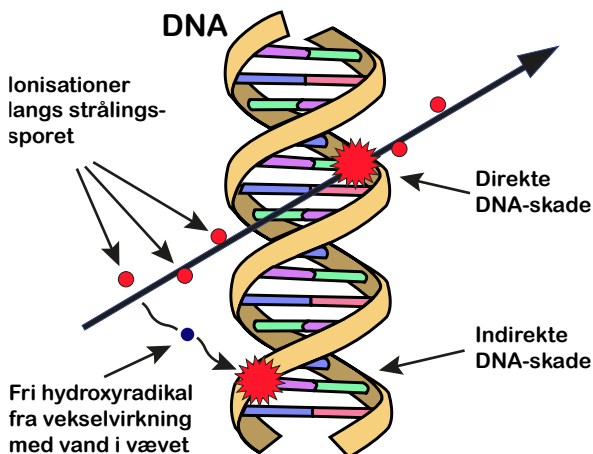
Hvorfor er stråling farligt?

Røntgenstråling, gammastråling og forskellige typer af partikelstråling kaldes ioniserende stråling, fordi strålingen har energi nok til

at ionisere atomer, dvs. rive elektroner af dem, eller til at bryde kemiske bindinger i molekyler og derved ændre deres kemiske egenskaber. Derfor bliver kroppens væv påvirket, når det udsættes for ioniserende stråling.

Stråleskader skyldes primært brud på DNA-molekylet inde i cellerne. Dette livsvigtige molekyle består af to forbundne strenge, som danner en spiralstruktur. Disse strenge kan brydes enten ved en direkte ionisering af molekylet, der river strengen over, eller ved, at strålingen først ioniserer vandmolekylerne i cellen, hvilket danner såkaldt frie radikaler, som efterfølgende kan skade DNA-molekylet.

Heldigvis har cellerne en evne til at reparere DNA-skader. Ved lave stråledoser, som kun bryder den ene af DNA-strengene, kan cellen normalt komme sig fuldstændigt. Selv hvis DNA-molekylet reparerer ufuldstændigt, kan cellen ofte leve videre i omdannet form. Men da det svarer til en fejlprogrammering af DNA-molekylet, en mutation, betyder det, at den kan dø under en af de næste cel-



Ioniserende stråling kan skabe direkte skader på et DNA-molekyle ved at ionisere en del af molekylet, hvilket kan overrive enten den ene eller begge strenge. Der kan også ske indirekte skader ved, at frie radikaler fra ioniserede vandmolekyler beskadiger DNA-strengen. Grafik: Knud Erik Sørensen.

ledelinger, eller endnu værre, at den kan have en øget risiko for at blive omdannet til en kræftcelle. Kun ved meget høje stråledoser dør cellerne øjeblikkeligt.

Strålebehandling

Dette forklarer, hvorfor for meget ioniserende stråling kan forårsage kræft. Men samtidig er det strålingens evne til at slå celler ihjel, der kan bruges til at behandle kræft.

Straks efter opdagelse af røntgenstrålerne var der læger, der bemærkede, at strålerne kunne bruges til at lindre eller bekæmpe visse typer af kræft i huden. Med opdagelsen af den mere gennemtrængende stråling fra radium var det derfor nærliggende at bruge den til behandling af dybereliggende tumorer. Desuden kunne nåle med radium bruges til at give en helt lokal bestråling ved at anbringe dem i eller lige ved siden af en tumor.

En vigtig forudsætning for strålebehandlingens virkning er, at kræftceller er mere følsomme for stråling end raske celler. Det skyldes dels, at kræftceller har en nedsat evne til at reparere DNA-skader, dels at de ty-

pisk deler sig hyppigere end normale celler, og at celler er mest sårbare i delingsprocessen.

Tricket er altså at give nok stråling til at dræbe kræftcellerne, men ikke så meget, at man skader de omkringliggende raske celler mere end højst nødvendigt – og måske endda lægger kimen til ny kræft.

Man opdagede hurtigt, at man kunne give de raske celler tid til at reparere evt. skader ved at give en serie af korte bestrålinger over et antal dage frem for at give en enkelt stor dosis.

Protonterapi

Når man giver strålebehandling udefra med en

kraftig røntgen- eller gammakilde, forsøger man at skåne det raske væv omkring tumoren ved at bestråle fra forskellige retninger, så det kun er tumoren, der bliver ramt hele tiden, mens bestrålingen af det raske væv bliver fordelt rundt om tumoren.

Gennem fysikers studier af forskellige typer strålings passage gennem stof har man opdaget, at det er muligt at give strålebehandling, som skåner det raske væv mere og derfor giver færre bivirkninger.

Røntgen- og gammastråling består af fotoner, dvs. lyspartikler. Da de ikke har nogen masse og ladning, vekselvirker de ikke særligt



Indtil omkring 1990 foregik strålebehandling af kræft i livmoderen med tynde stave med radium, som blev anbragt i livmoderen i ca. et døgn. Staven blev anbragt i en plastcylinder for at undgå, at patienten fik vævsskader, der hvor kilden berørte vævet. I dag benyttes mere målrettede og sikre metoder. Foto: Hans Buhl.

kraftigt med det stof, de går igennem, men dæmpes jævnt hele vejen igennem stoffet. Derfor laver denne type stråling ravage både før og efter en tumor, når man bruger den til strålebehandling.

Protoner, som er tunge, ladede partikler, går gennem vævet på en helt anden måde. De vekselvirker nemlig med elektronerne i vævets atomer. Naturen er indrettet således, at vekselvirkningen er kraftigere, jo langsommere protonerne bevæger sig. Så når en hurtig proton bevæger sig ind i

vævet, afsætter den i begyndelsen kun lidt energi og nedbremses kun langsomt. Men jo langsommere den bevæger sig, desto kraftigere bliver den bremses, således at den afsætter allermest energi, lige inden den stopper helt. Dybden, hvori det sker, afhænger af protonens energi.

Da protonen derfor afsætter væsentlig mindre energi på vej ind til en tumor end fotoner og slet ikke påvirker vævet, efter den er stoppet, kan man altså lave en mere skånsom strålebehandling. Det forudsætter

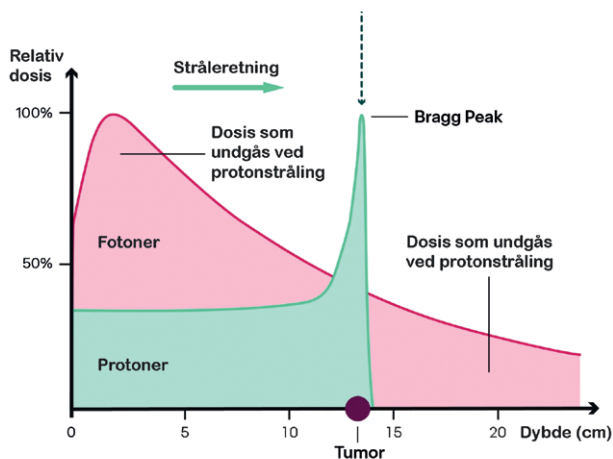
dog, at man kan styre protonens retning og energi så nøjagtigt, at den lige præcis bremses ned inde i tumoren.

Til dette formål har man flere steder i verden bygget store og komplekse acceleratoranlæg til protonterapi. Bl.a. blev der oprettet et ved Aarhus Universitetshospital i Skejby på det tidspunkt, hvor vi lavede udstillingen *Det nysgerrige menneske*. Derfor rummer udstillingen også et afsnit om denne livreddende spin-off af den partikelfysiske grundforskning.

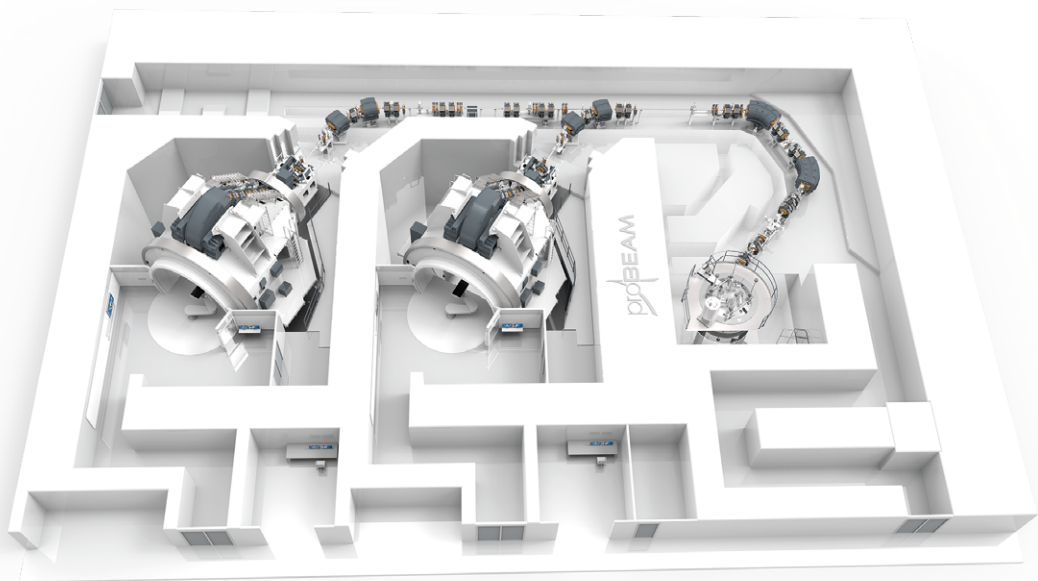
Det tveæggede sværd

Selvom der næppe er nogen, der i dag med fuldt overlæg drikker store mængder radium, bruger vi altså stadig den sundhedsskadelige ioniserende stråling i sundhedens tjeneste. Men takket være den indsigt i strålingens natur, som den fysiske grundforskning har givet, kan vi normalt gøre det med færre og mindre alvorlige bivirkninger. Men det udelukker ikke, at fremtidige generationer vil gyse over vor tids behandlingsformer, ligesom vi gør over Eben Byers' radiumindtag.

Hans Buhl



Figuren viser, hvordan fotoner (den røde kurve) bremses jævnt i vævet omkring en tumor, mens protoner (den grønne kurve) afsætter hovedparten af energien i selve tumoren. Bragg-peakens placering bestemmes af protonernes energi. Det lyserøde område angiver den bestråling af raskt væv, som man undgår ved at bruge protoner i stedet for røntgen- eller gammastråling.



Skitsen viser opbygningen af et protonterapianlæg, som det man har ved Dansk Center for Partikelterapi på AUH i Skejby. Protonstrålen skabes i cyklotronen til højre og føres via en beamline med tonsvægtede elektromagneter til patienterne, som ligger i centrum af de enorme, roterbare gantries til venstre. I Skejby er der tre behandlingsstationer og en fjerde beamline til forskning mhp. på at forbedre behandlingsmetoderne. Grafik: Varian.



I udstillingens afsnit om protonterapi kan man få et indtryk af, hvordan patienten omtrentlig ser ud. Foto: Hans Buhl.