

LITE RADIOLOGISK HISTORIA

av docent Sten Carlsson, Uddevalla

Inledning

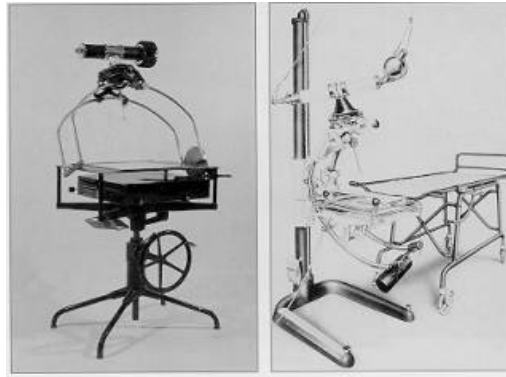
Upptäckterna

Utvecklingen

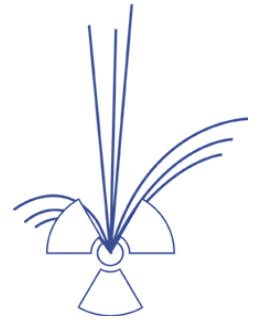
Radiologin i Uddevalla

Strålskydd

Originalartiklar



Exempel på röntgenutrustning från tjugo och trettioalet



www.radiofysik.org

INLEDNING

Röntgenstrålning är elektromagnetisk strålning, dvs. den är av samma natur som radiovågor, synligt ljus, ultraviolet strålning etc. Vad som skiljer den från dessa är att den har så hög energi och kort våglängd att den kan tränga igenom ett material t.ex. kroppens vävnader. Genomträngningsförmågan är beroende av strålningens energi, materialets atomnummer och materialets tjocklek. Ju högre energi röntgenstrålningen har desto större genomträngningsförmåga, ju högre atomnummer och ju större tjocklek materialet har desto mindre blir genomträngningsförmågan. Inom röntgendiagnostiken utnyttjar man denna egenskap. Man kan således enkelt urskilja skelettet genom att mindre strålning tränger igenom detta än genom mjukvävnad. Man kan enkelt urskilja lungorna eftersom luften som finns där gör att genomträngningsförmågan blir större än i mjukvävnad. Man kan tillföra ett s.k. kontrastmedel som ökar absorptionen av röntgenstrålningen och gör att man kan avbilda organ eller blodkärl vilka annars inte skulle vara synliga på bilden. Den strålning som tränger igenom kroppen i en röntgenundersökning registreras i allmänhet på en fotografisk film som sedan bedöms.

Röntgenstrålning är s.k. joniserande strålning. En konsekvens av detta är att den kan tillföra så mycket energi till t.ex. en cell att denna skadas. Man talar om att strålningen har en biologisk effekt. Detta är ju på sätt och vis ett tveeggat svärd såtillvida att det är förenat med en viss risk att skadas av strålningen samtidigt som man utnyttjar strålningen till att döda t.ex. tumörceller.

Röntgenstrålning produceras i en röntgenapparat och där närmare bestämt i ett röntgenrör. Ett sådant rör är gjort av glas och fullständigt lufttomt inuti. I röret finns en anod och en katod. Katoden kan närmast liknas vid en glödtråd och när den hettas upp frigörs elektroner. Genom att lägga en högspänning mellan katod och anod kommer elektronerna att accelereras mot anoden. När de träffar denna och bromsas upp kommer röntgenstrålning att genereras. Energin hos strålningen bestäms av den högspänning som läggs på röret. Den är i regel mellan 60.000-140.000 volt. Röntgenröret är hjärtat i en röntgenutrustning som i övrigt kan variera från enkla utrustningar för undersökning av tänderna till ytterst komplicerad utrustning för t ex. undersökning av hjärtats kranskärl. I en datortomograf roterar röntgenröret runt patienten och ur sådana mätningar kan man framställa tvärsnittsbilder vilka oftast ger säkrare information om läget av t.ex. en tumör.

Utvecklingen av apparatur och metoder har resulterat i en successivt ökande diagnostisk säkerhet liksom minskade obehag för patienten. Röntgendiagnostiken är idag en utomordentligt viktig verksamhet. Man uppskattar att den ger den slutliga diagnosen hos 30-50% av alla patienter.

En annan viktig användning av joniserande strålning inom medicinen är strålterapi i cancersjukvården. Cancer är en mycket allvarlig sjukdom och utan behandling måste den betraktas som 100% dödlig. Cancer är en vanlig sjukdom över hela världen med stora variationer i frekvens och typ både mellan länder, delar av länder och etniska grupper hos befolkningen. I den industrialiserade världen är antalet nya cancerfall ungefär 300-400 per 100.000 invånare och år. Behandlingen av cancer inkluderar kirurgi, strålterapi och kemoterapi antingen var för sig eller i kombination. I Norden räknar man med att 46% av alla cancerpatienter botas, av vilka 22% med enbart kirurgi och 18% med radioterapi och radioterapi+kirurgi. Radioterapi är numera i huvudsak koncentrerad till universitetssjukhusen och några stora centralsjukhus i Sverige.

Nuklearmedicin kallar man den diagnostiska användningen av radioaktiva ämnen. Av historiska skäl faller emellertid även viss terapeutisk användning av radioaktiva ämnen inom detta område. Det gäller då t.ex. behandling av sköldkörteln med radioaktiv jod. Det radioaktiva ämnet eller som det numera kallas, det radioaktiva läkemedlet, tillförs patienten genom injektion, inandning eller förtäring beroende på vilket organ eller vilken funktion man önskar studera. Man gör undersökningen genom att ta prover eller genom att studera upptag och omsättning av det radioaktiva ämnet med en gammakamera.

Användningen av joniserande strålning inom medicinen har successivt ökat. Det finns emellertid i högt utvecklade länder en viss stagnation genom att andra metoder fått ökad betydelse, t.ex. magnetkameran och ultraljudet. I Sverige är frekvensen av röntgenundersökningar cirka 700-800 per 1000 invånare och år d.v.s. antalet undersökningar är 5-6 miljoner per år. Globalt sett finns fortfarande en ökning i användningen. Vi får aldrig glömma bort att röntgendiagnostiken, som för oss är en självklarhet, är en mycket exklusiv verksamhet globalt sett. Man har gjort uppskattningar som säger att 75% av jordens befolkning aldrig kommer i närheten av en röntgenapparat, oberoende av vad de har för sjukdom. Än värre blir siffrorna vad gäller radioterapi och nuklearmedicin.



UPPTÄCKTERNA

Fredagen 8 november 1895 arbetade rektorn för universitetet i Würzburg, professor Wilhelm C. Röntgen, som vanligt i sitt fysikaliska laboratorium. Han var sysselsatt med att studera s.k. katodstrålar. Dessa uppstod genom en elektrisk urladdning i ett delvis evakuerat glasrör och det var vid denna tid många fysiker som gjorde experiment i syfte att utröna vad dessa katodstrålar egentligen var. Röntgen hade klätt in sitt glasrör med svart papp och hade även mörklagt rummet. När den elektriska urladdningen sker i röret observerar han att en skärm som är täckt av ett fluorescerande material glimmar till och han förstår att detta orsakas av någon typ av strålning som härstammar från glasröret. Han förstår också att det inte är fråga om katodstrålning utan av en strålning som genereras av dessa. Han börjar nu en intensiv forskningsperiod som resulterar i ett handskrivet dokument "Über eine neue Art von Strahlen", vilket lämnades in till Fysikaliska & Medicinska Sällskapet i Würzburg 28 december 1895. Meddelandet, som för övrigt senare kom att tryckas i 5 upplagor, börjar:

"1. Om urladdningen av en stor Rümkorff-spole får passera genom ett Hittorffs vacuum-rör, eller genom en tillräckligt evakuerad Lenard, Crookes eller liknande apparat, och röret är täckt med ett väl passande fordral av svart kartong, observerar man i ett fullständigt mörklagt rum att en pappersskärm med barium-platinacyanid som bringas i närheten av apparaten lyser upp eller fluorescerar vid varje urladdning, oavsett om den målade sidan eller den motsatta

är vänd mot urladdningsapparaten. Fluorescensen kan fortfarande observeras på ett avstånd av två meter från apparaten. Man övertygar sig genast om att oavsett vad som orsakar fluorescensen så härstammar den från urladdningsröret och inte från någon annan del av strömkretsen."



Figur 1: Professorn i fysik vid Würzburgs universitet Wilhelm C. Röntgen som 8 nov 1895 upptäckte röntgenstrålningen.

Rapporten omfattar 17 numrerade paragrafer som sammanfattar alla de experiment han utförde i syfte att utröna vad dessa strålar var och vilka egenskaper de hade. Han kallar dem själv X-strålar, en benämning som fortfarande används i engelskan. Vid sin enda offentliga föreläsning och demonstration av strålarna 23 januari 1896 tog Röntgen en bild av anatomen professor A.R. von Köhlickers hand. När bilden framkallats kom en storm av applåder och von Köhlicker föreslog att strålarna skulle kallas röntgenstrålar. Röntgen hade tagit bilder tidigare vilket framgår av följande citat ur det ursprungliga meddelandet:

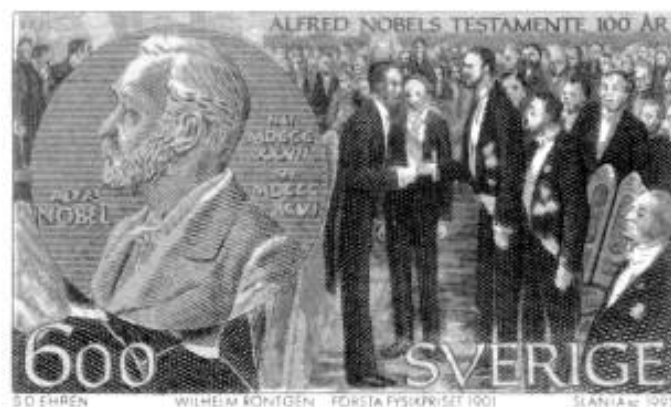
14. "--Jag har observerat och i några fall registrerat fotografiskt många skuggbilder av detta slag, vars tillkomst då och då skänker en mycket speciell tjusning. Jag har sålunda fotografier av infattningen av en dörr som skiljer rummet med urladdningsapparaten och rummet där den fotografiska plåten sattes upp; av skuggan av benen i en hand; av skuggan av en dold trådlindning på en träspole; av en sats med vikter inuti en liten låda; av en kompass i vilken den magnetiska nålen är fullständigt innesluten i metall; av ett metallstycke vilkens brist på homogenitet i materialet avslöjas av X-strålarna, --".

Skuggan av benen i en hand refererar till den första bilden han tog på sin hustru Berthas hand vid jultid 1895. Röntgen är röntgendiagnostikens fader inte endast genom upptäckten av strålarna utan också upptäckten att dessa kunde svärta en fotografisk plåt.



Figur 2: Den första röntgenbilden av ett levande objekt tagen av W.C. Röntgen vid julen 1895. Man tror att det är hustrun Berthas hand.

Röntgens upptäckt spred sig som en löpeld över jorden inte minst av att den först blev känd i populärpressen. Karikatyror och missuppfattningar florerade ohämmat och med viss moralisk indignation möttes det faktum att man med strålarnas hjälp kunde se igenom kläderna. Det salufördes mycket snart röntgentäta underkläder m. m. Vi har nog idag svårt att förstå vilken genomslagskraft denna upptäckt hade. Att t.ex. kunna se igenom kroppen var naturligtvis en första rangens medicinska upptäckt. Redan under 1896 publicerades det över 1000 vetenskapliga artiklar och skrevs det 50 böcker i ämnet. W.C. Röntgen fick det första nobelpriset i fysik 1901.



Figur 3: Detta frimärke gavs ut 1995 och föreställer utdelningen av det första nobelpriset i fysik 1901. W.C. Röntgen mottager det ur Gustav V:s hand.



Figur 4: Röntgens upptäckt gav upphov till många spekulationer och missförstånd i pressen.

En som i mitten av januari 1896 hörde talas om Röntgens upptäckt var den franske fysikern Henri Becquerel. Han var den tredje fysikern i rakt nedstigande led i sin släkt som beträdde fysikprofessuren vid Musée d'Histoire Naturelle i Paris. Liksom sin far och farfar var han expert på fosforescens och fluorescens, i hans fall huvudsakligen från uransalter. Han fick uppfattningen att röntgenstrålarna härstammade från den punkt i urladdningsröret som fluorescerade när det träffades av katodstrålarna. Det gav honom idén att pröva andra fluorescerande ämnen och se om även de gav ifrån sig röntgenstrålar. I ett meddelande till vetenskapsakademien 24 februari 1896 redogjorde Becquerel för en serie försök i syfte att visa att ett fosforescerande ämne (kaliumuranylsulfat) efter exponering för direkt solljus sänder ut strålning som tränger igenom svart papper och dessutom svärtar en fotografisk plåt. Det råder knappast någon tvekan om att Becquerel här kopplar samman denna genomträngande strålning med just fosforescensfenomenet. Han försöker fortsätta sina experiment mellan 26 februari och 1 mars men kommer ingen vart eftersom det är mulet väder och någon kraftig fluorescens är inte att vänta om inte preparatet kan exponeras för direkt solljus. Lite besviken framkallar han emellertid sina fotografiska plåtar den 1 mars och finner då till sin häpnad att svärtningen är lika kraftig som om uransaltet hade exponerats för solljus. I meddelande till vetenskapsakademien 2 mars skriver han bl a:

"Jag måste särskilt framhålla följande faktum som förefaller mig mycket viktigt och helt utanför området för de fenomen man skulle vänta sig att observera. Samma kristallinska skikt placerat mot en fotografisk plåt under samma förhållande (som vid tidigare försök), avskilt med samma skärmning (svart papper) men skyddad mot excitation av infallande solstrålning och förvarad i mörker producerar likväl samma fotografiska effekt."



Figur 5: Henri Becquerel som 1 mars 1896 upptäckte den naturliga radioaktiviteten.

Vi vet nu att strålningen inte alls hänger samman ned fluorescensfenomenet utan kommer från det radioaktiva sönderfallet av uran och dess dotterprodukter. Becquerels upptäckt inspirerade flera forskare. Makarna Maria och Pierre Curie döpte fenomenet till radioaktivitet och de försökte renframställa det strålände ämnet. I detta arbete upptäckte de två nya grundämnen: polonium och radium. Ernest Rutherford, verksam vid Cavendishlaboratoriet i Cambridge kom att under många år målmedvetet dissekera atomerna. Han och hans medarbetare (han handledde inte mindre än 11 blivande nobelpristagare) kunde ur sina experiment bl.a. dra slutsatsen att atomens massa var koncentrerad i en kärna med elektroner i banor runt densamma, en modell som kom att utgöra grunden för den danske fysikern Niels Bohrs atomteori.

Vi befinner oss början av 1900-talet i en otroligt dynamisk period av fysiken. Det är nu som den moderna fysiken tar form genom två revolutionerade teorier: relativitetsteorin och kvantteorin. Den första skapades av i huvudsak en enda man: Albert Einstein, medan den andra tillkom genom insatser från flera vetenskapsmän med Max Planck som den förste i raden. Det är dessa tidiga upptäckter och teorier som har hållit fysiken vid liv i nästan 100 år.

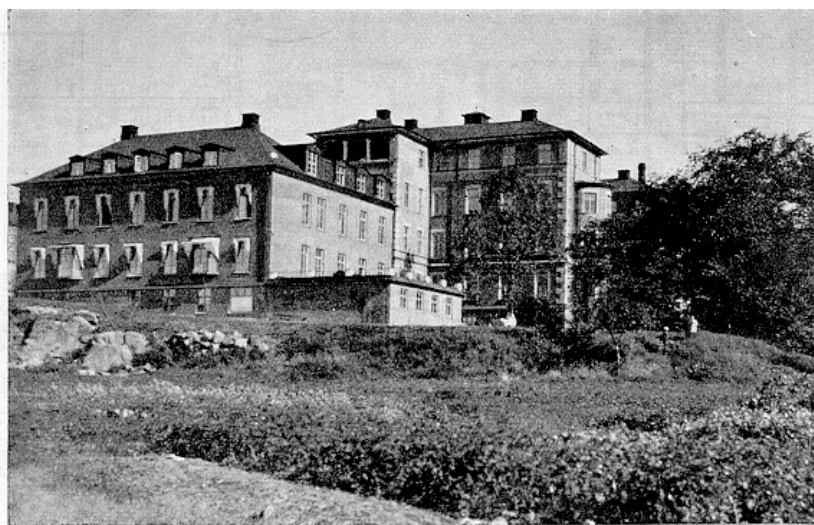


RADIOLOGIN I UDDEVALLA

Röntgenverksamheten vid Uddevalla sjukhus försvinner lite i historiens töcken. Om man läser i gamla handlingar rörande sjukhusets ekonomi så finns det en post som heter röntgenutensilier. Denna post uppträder första gången 1929. Verksamheten upprätthölls då av röntgensköterskan Agda Zetterholm och var ganska begränsad. Det är dock troligt att det fanns apparatur på sjukhuset redan tidigare och det finns skäl att anta att röntgenverksamhet förekom redan kring 1910.

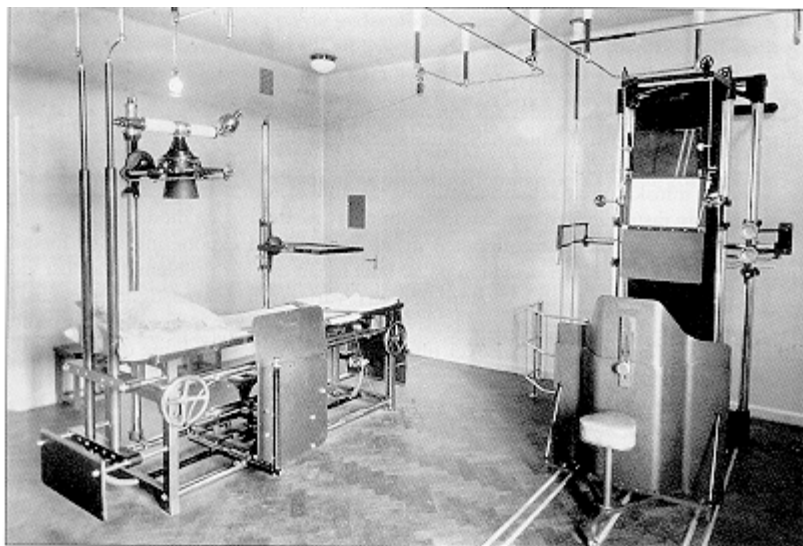
År 1932 inrättades en överläkartjänst i röntgendiagnostik och sjukhuset fick därmed en självständig röntgenavdelning. Tjänsten som överläkare tillsattes 1 maj 1932 och som innehavare utsågs Herbert Carlsund. Han innehade denna tjänst fram till 1964. Han efterträddes av Kurt Sundberg under åren 1964 - 1966. Ingemar Bokström kom 1967 och var chef till 1983. Han efterträddes i sin tur av Erik Nordström under åren 1983-1992. Nuvarande och således den siste chefen för röntgenavdelningen i Uddevalla är Lars Johanson.

"Efter genomgripande restaurering samt om- och tillbyggnad av länslasarettet i Uddevalla invigdes detta den 8 september 1931 av landshövdingen Oscar von Sydow i närvaro av medicinalrådet Einar Edén, landstingets ledamöter m. fl." Så står det i Lasarettets årsberättelse för 1931. I detta ombyggda sjukhus fick röntgenavdelningen sina lokaler i "en mindre envånings terrassbyggnad å söder från medicinska paviljongens källarvåning". Lokalerna finns fortfarande kvar och har tills för något år sedan fungerat som dispensär och lungmottagning. Följande beskrivning av lokaler och inredning är hämtade ur nämnda årsredogörelse:

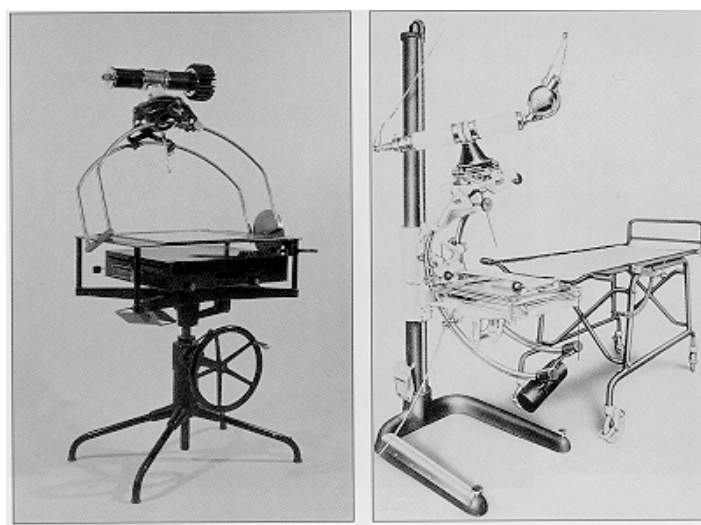


Röntgenavdelningens lokaler låg under perioden 1932-1963 i den lilla tillbyggnaden till medicinska paviljongen.

" I källarvåningens södra del och i den därifrån utgående envåningsutbyggnaden finns röntgenavdelningens lokaler bestående av 1 väntrum, vari är uppställt 2 filmskåp av järnplåt, 1 passagerum med wc. och vasklåda, 1 köksskrubb, 1 mottagningsrum för överläkaren med 2 avklädningshytter och tvättställ, 1 plåtgranskningsrum med 2 ljusskåp och tvättställ, 1 framkallningsrum med 4 tankar, 1 elektriskt torkskåp och kasettskåp med slussförbindelse till diagnostikrummet, 1 diagnostikum med Forssells genomlysningsstativ, universalbord med Potterbländare, Lysholms skullfotograferingsbord, stativ för skelettfotograferingar och tvättställ, 1 manöverrum med 1 manöverbord för diagnostik och 1 manöverbord för behandlingar, 1 behandlingsrum med 1 behandlingsrör. I källarlocalerna under röntgenavdelningen finns 1 arkivrum (ej inrett) och 1 rum med röntgenavdelningens transformatorer och omformare."



Exempel på trockoskop och Forsell-stativ vid tiden kring 1930.



Exempel på Lysholms-stativ för skullröntgen kring 1920 och 1930.

Det var uppenbarligen en ganska välutrustad röntgenavdelning som etablerades. Den kom under 1932 att kompletteras med 1 stålskåp för registrering av röntgenfilm för 240:- och en transportabel röntgenapparat (Nanos från Elema) för 2750:-. Under 1933 inköptes en röntgenterapiapparat för 7327:- ("å särskilt anslag", som det heter). Anslaget för driften under 1933 var 15.000:- men överskreds med nästan 2000:-. Utgifterna fördelade sig enligt följande:

Röntgenapparater och -rör	1551:14
Mättningskostnader för apparater	735:99
Reparation och underhåll av apparater	155:94
Röntgenfilm	11497:32
Röntgenpapper	1522:07
Förbrukningsartiklar för ljusbehandling	381:11
Förbrukningsartiklar för diatermibehandling	39:70
Övriga förbrukningsartiklar	643:66
Kemikalier	325:24
Diverse	12:15
Summa	16864:32

Medelkostnaden blir ca. 10:- per patient om man inkluderar även personalkostnaden.

Vilka undersökningar gjordes på denna tid? Det finns statistik från 1932 och den visar på 3049 undersökningar fördelade

enligt:

Skelettsystemet	1568
Näsans bihålor	80
Öron	14
Tänder och käkar	37
Cirkulationsorganen	110
Respirationsorganen	455
Digestionsorganen	492
Gallvägar	52
Buken	36
Urogenitalorganen	205

Man utförde även 1514 behandlingar av 275 patienter. Indikationerna finns noggrant specificerade och omfattar inte mindre än 55 olika diagnoser av vilka tuberkulösa sjukdomar, men även ledsjukdomar och hudsjukdomar dominerar antalet patienter.

Belastningen på röntgenavdelningen stiger raskt de kommande åren och redan 1935 är antalet undersökningar uppe i 5687 och antalet strålbehandlingar i 2510.

Bemanningen var vid denna tidpunkt 1 läkare, 1 sjuksköterska, 1 biträde och 1 sekreterare. Hur detta sedan har ändrats genom åren vet vi inte. Dock har vi funnit en skrivelse från Kungliga medicinalstyrelsen som medger inrättandet av en tjänst som underläkare vid röntgenavdelningen å lasarettet i Uddevalla från 1 januari 1942.

Röntgenavdelningen blir mer och mer trångbodd och en provisorisk utökning av lokalerna sker 1951 i väntan på att en ny sjukhusbyggnad skall uppföras. Detta sker i början av 1960-talet och invigningen av det stora centralkomplexet sker 1963 av dåvarande inrikesministern Rune Johansson. Röntgenavdelningen får nu nya och ändamålsenliga lokaler i de utrymmen som fortfarande används. På senare år har avdelningen expanderat ut i C-blocket där nu mammografisektionen, demonstrationsrum, sekreterare och läkarexpeditionerna är belägna. Här finns även ett rum avsatt för en framtida magnetkameraverksamhet (peppar, peppar). För närvarande pågår en sedan länge behövlig ombyggnad och reparation av den gamla avdelningen. Bl.a. får den nuklearmedicinska verksamheten tillgång till ändamålsenliga beredningslokaler.

Verksamheten har naturligtvis svällt även avseende metoder. Nya har tillkommit och andra har försvunnit. I mitten av 1980-talet upphörde röntgenterapierna. Avdelningen utför för närvarande cirka 50.000 undersökningar per år och har för detta ändamål tillgång till 12 laboratorier med 20 olika utrustningar. Det senaste tillskottet av utrustning är ny mammografiapparat och ett nyutrustad laboratorium för akuta undersökningar. Det senaste tillskottet vad rör mer avancerade metoder är introduktionen av coronarangiografi vilket skedde 1994. Personalen består idag av 24 sjuksköterskor, 22 undersköterskor, 12 läkare och 8 sekreterare. Driftbudgeten är nästan 50 miljoner kronor vilket ger en kostnad av ungefär 1000 kronor per patient.

Nuklearmedicin kom 1978. Sektionen disponerar två gammakameror och utför ca 1500 undersökningar per år varav de flesta är skelettscintigrafier, lungscintigrafier och hjärtscintigrafier.

Datortomografin kom 1985, då det inköptes en maskin av märket Siemens DRH. För närvarande är ett utbyte aktuellt och upphandlingen av en maskin för volymtomografi med s.k. spiralteknik är i full gång. Totalt görs det ca. 2800 datortomografier per år.



STRÅLSKYDD

Det dröjde inte lång tid efter Röntgens upptäckt förrän man kom till insikt om att strålningen kunde ge skador på huden. I själva verket observerades sådana redan innan upptäckten hos fysiker som arbetade med samma typ av rör som Röntgen. Det drabbade t.ex. experimentatorn Emil Grubbé från Chicago redan 1895, men sambandet med röntgenstrålningen fick man klart för sig först senare. Så vitt man vet drabbades Röntgen själv aldrig av några skador vilket emellertid var fallet med både Becquerel och makarna Curie. 15 år efter Röntgens upptäckt hade ungefär 100 personer avlidit på grund av strålskador. Antalet förstörda händer var naturligtvis ännu större. Det var inte ovanligt att man som kvalitetskontroll genomlyste sin egen hand innan man genomlyste patienten för att få så bra bild som möjligt på genomlysningskärmen. Problemet var så stort att det orsakade en första strålningspsykos i mitten av 1910-talet då man blivit medveten om att strålningen inte endast gav hudskador utan även svårläkta sår och cancer med amputationer som följd. Successivt kom nu strålskydd att etableras för att undvika de akuta skadorna. Rören kapslades in, personalen använde strålskydd och arbetsrutinerna förfinades. Oacceptabel verksamhet, som t.ex. att prova skor med hjälp av röntgenstrålning förbjöds etc. Det rådde emellertid aldrig någon som helst tvekan om att den medicinska användningen av strålning räddade många fler liv än vad den tog och att det av den anledningen var viktigt att skärpa strålskyddet ytterligare. Man fick inte hamna i situationen att verksamheten förbjöds bara därför att den var alltför riskabel för personalen. Ett stort steg inom strålskyddet togs vid den 2:a internationella radiologikongressen i Stockholm 1928. Då bildades nämligen den internationella strålskyddskommissionen, ICRP. Det är denna organisation som alltsedan dess ger ut de internationella strålskyddsrekommendationer som sedan blir lagar och förordningar i olika länder. En av initiativtagarna till ICRP var den svenske strålskyddspionjären Rolf Sievert. Sverige har alltid varit väl representerat i ICRP och en mycket betydelsefull insats i formulerandet av nu gällande rekommendationer och riskuppskattningar gjorde Bo Lindell under sin tid som ordförande.

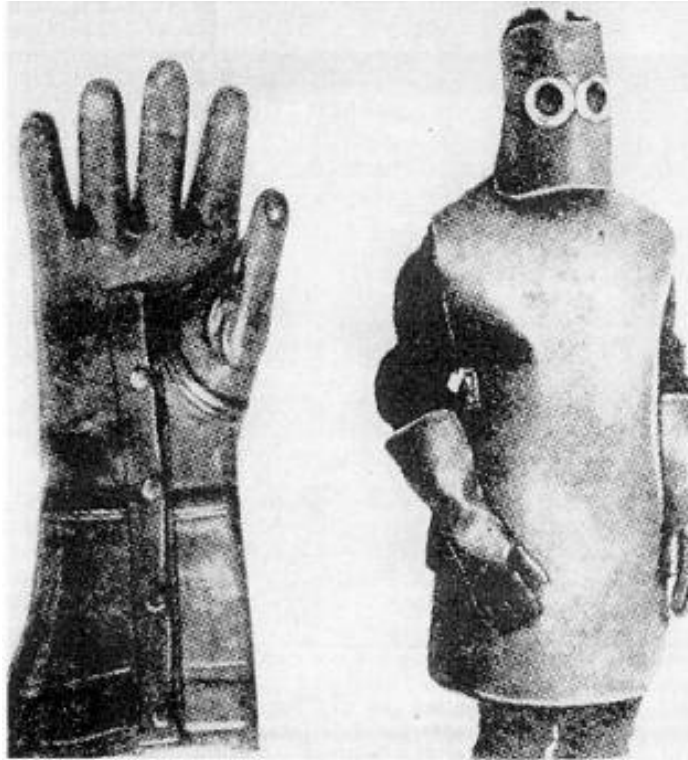


Rolf Sievert, the man and the unit

Rolf Sievert, den svenske strålskyddspionjären och en av initiativtagarna till bildandet av ICRP.

Strålskyddet på en modern röntgenavdelning upprätthålls genom krav på utrustningens uppbyggnad och

funktion, undersökningsrummens utformning, lokala arbetsregler och nödvändig kunskap hos personalen. De villkor som Staten strålskyddsinstitut fogar till tillstånden för ett landsting att bedriva röntgendiagnostik, radioterapi och nuklearmedicin reglerar i detalj de krav som finns på strålskyddsorganisation och strålskyddsåtgärder. Strålskyddsverksamheten skall vara en naturlig och integrerad del i all användning av joniserande strålning för både personalens och patientens bästa.



Exempel på tidig skyddsutrustning för personalen på en röntgenavdelning



ORIGINALARTIKLAR

Wilhelm Röntgen, Om en ny typ av strålar, 1895

Henri Becquerel: Om strålar utsända vid fosforescens, 1896

Henri Becquerel: Om osynliga strålar utsända av fosforescerande material, 1896



Wilhelm Röntgen

OM EN NY TYP AV STRÅLAR

(Über eine neue Art von Strahlen)

Sitzungsberichte der Würzburger Physikalische-Medicinischen Gesellschaft, Jahrgang 1895.

1. Om urladdningen av en stor Rühmkorff-spole får passera genom ett Hittorfs vacuum-rör, eller genom en tillräckligt evakuerad Lenard, Crookes eller liknande apparat, och röret är täckt med ett väl passande fordral av svart kartong, observerar man i ett fullständigt mörklagt rum att en pappersskärm med barium platinacyanid som bringas i närheten av apparaten lyser upp eller fluorescerar vid varje urladdning, oavsett om sidan med det fluorescerande materialet eller den motsatta är vänd mot urladdningsapparaten. Fluorescensen kan fortfarande observeras på ett avstånd av två meter från

apparaten.

Man övertygar sig genast om att oavsett vad som orsakar fluorescensen så härstammar det från urladdningsapparaten och inte från någon annan del av strömkretsen.

2. Den sak man först slås av rörande detta fenomen är att någon form av aktivitet kapabel att framkalla intensiv fluorescens passerar genom det svarta kartonghöljet, vilket inte tillåter något synligt eller ultraviolettt solljus eller ljuset från den elektriska ljusbågen att passera; och vi skall först undersöka om andra material har denna egenskap.

Man finner snart att alla material är transparenta för denna aktivitet, fastän i mycket skiftande grad. Jag ger några exempel. Papper är mycket transparent. (Med transparent menar jag kvoten mellan ljusstyrkan hos den fluorescerande skärmen placerad omedelbart bakom föremålet och ljusstyrkan hos skärmen i samma position men utan föremålet.). Jag observerade att den fluorescerande skärmen fortfarande lyste upp bakom en inbunden bok på ungefär 1000 sidor; trycksvärtan utgör inte något noterbart hinder. På samma sätt visade sig fluorescensen bakom dubbla kortlekar; ett enstaka kort som placeras mellan apparaten och skärmen ger praktiskt taget ingen synlig effekt. På samma sätt är ett enstaka skikt av tennfolie knappt detekterbart; endast efter det att flera lager har lagts på blir deras skugga synlig på skärmen. Tjocka träblock är transparenta; plankor av furu 2-3 cm tjocka absorberar mycket litet. Ett lager aluminium 15 mm tjockt försvagade fenomenet påtagligt men kunde inte få fluorescensen att försvinna fullständigt. Flera cm tjocka plattor av ebonit tillåter fortfarande strålar att passera genom dem (För enkelhetens skull föreslår jag användning av termen "strålar" och för att skilja dem från andra strålar, "X-strålar"). Glasskivor av lika tjocklek uppför sig olika beroende av om de innehåller bly (flintglas) eller ej; den förra är mycket mindre transparent än den senare. Om handen hålls mellan urladdningsapparaten och skärmen, syns de mörkare skuggorna av handens ben i den endast måttligt mörka skuggan av handen. Vatten, koldisulfid och andra vätskor visade sig vara mycket transparenta vid undersökning i kärl av glimmer. Jag kunde inte finna att väte var mer transparent än luft. Bakom plattor av koppar, silver, bly, guld eller platina är fluorescensen fortfarande klart synlig, men endast om plattans tjocklek inte är alltför stor. 0.2 mm platina är fortfarande transparent; silver och kopparplattor kan vara tjockare. Bly av 1.5 mm tjocklek är i allt väsentligt ogenomskinligt och användes flitigt på grund av denna egenskap. En trästång med kvadratisk genomskärningsyta (20 x 20 mm) och med ena sidan målad med blyfärg uppför sig olika beroende av sättet på vilket den placeras mellan apparaten och skärmen; medan den praktiskt taget inte har någon effekt om X-strålarna tränger igenom den parallellt med den färgade sidan, kastar stängens en mörk skugga om strålarna måste passera färglagret. Fasta ämnen och lösta salter kan, liksom metaller, ordnas i serier med hänsyn till deras transparens.

3. Dessa experimentella resultat och andra leder till slutsatsen att transparensen hos olika substanser, under förutsättning av samma tjocklek, i huvudsak bestäms av deras täthet; ingen annan egenskap gör sig påmind åtminstone inte i någon högre grad.

Att tätheten emellertid inte är den enda och helt bestämmande faktorn bevisas i följande experiment. Jag undersökte transparensen hos plattor av glas, aluminium, kalkspat och kvarts av ungefär samma tjocklek; tätheten hos dessa material var ungefär densamma och ändå visar det sig helt klart att kalkspat är mindre transparent än de andra materialen vilka uppförde sig ganska lika. Jag observerade en inte särskilt stark fluorescens hos kalkspat speciellt i jämförelse med glas.

4. Med ökande tjocklek blir alla material mindre transparenta. I syfte att om möjligt finna ett samband mellan transparensen och tjockleken av materialet, gjorde jag fotografiska exponeringar vid vilka den fotografiska plåten delvis täcktes med en tennfolie i gradvis ökande lager; fotometriska mätningar skall utföras när jag kommer i besittning av en lämplig fotometer.

5. Blad av platina, bly, zink och aluminium framställdes genom valsning till en sådan tjocklek att de alla approximativt hade samma transparens. Följande tabell visar tjockleken i millimeter, den relativa tjockleken i förhållande till bladet av platina, och tätheten.

	Tjocklek	Relativ tjocklek	Täthet
Pt	0.018 mm	1	21.5
Pb	0.05 "	3	11.3

Zn	0.10 "	6	7.1
Al	3.5 "	200	2.6

Ur dessa värden kan man dra slutsatsen att de olika metallerna inte på något sätt är lika transparenta om produkten tjocklek och täthet är samma. Transparensen ökar mycket starkare än vad denna produkt minskar.

6. Fluorescens hos barium platinacyanid är inte den enda effekten som åstadkommes av X-strålarna. Det skall först och främst nämnas att även andra material fluorescerar; t.ex. de kalciumföreningar som benämns fosforer, liksom uranglas, vanligt glas, kalkspat, bergssalt etc.

Av speciell vikt är det faktum att torra fotografiska plåtar har visat sig vara känsliga för X-strålarna. Det är möjligt att registrera olika fenomen, varigenom felaktiga slutsatser lättare kan uteslutas; och då det har varit möjligt har jag kontrollerat varje mer betydelsefull visuell observation av den fluorescerande skärmen med en fotografisk exponering.

I anslutning till detta är egenskapen hos strålarna att nästan obehindrat passera tunna lager av trä, papper eller tennfolie av stort värde; fotografier kan tas i ett ljust rum med den fotografiska plåten innesluten i ett mörk fodral eller i ett pappersomslag. Å andra sidan har denna egenskap följden att en oframkallad plåt inte får lämnas i närheten av urladdningsapparaten för en längre tid om denna som vanligt är skyddad endast av kartong och papper.

Det föreligger fortfarande tvivel om huruvida den kemiska påverkan på silversaltet i den fotografiska plåten åstadkommes direkt av X-strålarna. Det är möjligt att denna sak har sitt ursprung i fluorescensljuset som produceras, vilket nämnts tidigare, i glasplåten, eller kanske i gelatinlagret. För övrigt kan film användas lika väl som plåtar.

Det har ännu inte experimentellt bevisats att X-strålarna är kapabla att åstadkomma en värmeeffekt; dock kan man antaga att denna egenskap finns eftersom egenskapen hos X-strålarna att undergå omvandling är fastställt av fluorescensfenomenet och det är säkert så att alla infallande X-strålar inte lämnar det exponerade föremålet igen som sådana.

Ögats näthinna är okänslig för våra strålar; ögat observerar inget om det förs nära urladdningsapparaten, trots att ögats olika media måste vara tillräckligt transparenta i enlighet med våra experiment.

7. Efter det att jag hade konstaterat transparens hos olika material av relativt stor tjocklek fortsatte jag med att utröna hur X-strålar uppför sig när de passerar ett prisma, huruvida de avböjes eller ej. Experiment med vatten och koldisulfid i prismor av glimmer med en brytande vinkel av cirka 30^o ger över huvud taget ingen observerbar avböjning på fluorescensskärmen eller den fotografiska plåten. Som jämförelse studerades avböjningen av ljusstrålar på samma sätt; bilderna låg respektive cirka 10 mm och cirka 20 mm åtskilda från de icke avböjda bilderna på plåten. Med prismor av ebonit och aluminium och med samma brytande vinkel av cirka 30^o, åstadkommer jag bilder på fotografiska plåtar på vilka en avböjning möjligen kan detekteras. Saken är emellertid mycket osäker och avböjningen, om den över huvudtaget finns, är i så fall så liten att X-strålarnas brytningsindex inte kan överstiga 1.05. I dett fall kunde jag inte detektera någon avböjning om jag använde fluorescensskärmen.

Experiment med prismor av tätare material har hittills inte gett några säkra resultat på grund av deras låga transparens och följaktligen låga intensitet hos den genomträngande strålningen.

Mot bakgrund av å ena sidan denna situation och å den andra vikten av frågan om X-strålarna kan avböjas vid passage från ett medium till ett annat, är det fördelaktigt att denna sak kan undersökas på annat sätt än med hjälp av prismor. Fint pulvrerade material av tillräcklig tjocklek tillåter ljus att passera genom dem i mycket liten utsträckning och åtföljs av spridning som resultat av brytning och reflexion. Om nu en pulvrerad substans visar samma transparens för X-strålar som substansen i fast form - lika massa förutsättes - skulle detta bevisa att varken brytning eller reflexion är att finna i någon noterbar utsträckning. Experimenten utfördes med finpulvrerat bergssalt, med elektrolytiskt framställt fint silverpulver och med det zinkpuder som är vanligt i kemiska undersökningar; i samtliga fall blev det ingen skillnad i transparens mellan pulvret och den fasta substansen, vare sig observationen gjordes med fluorescensskärmen eller med en fotografisk plåt.

Att X-strålarna inte kan koncentreras med hjälp av linser är självklart mot bakgrund av vad som sagts; en stor lins av ebonit och en av glas visade sig i själva verket inte ha någon effekt. Skuggan av en rund stång är mörkare i mitten än vid kanten; skuggan av ett rör fyllt med en substans som är mer transparent än röret är ljusare i mitten än vid kanten.

8. Frågan om reflexion av X-strålar måste betraktas som fastlagd genom experimenten i föregående paragraf i så motto att man inte med någon undersökt substans erhåller någon vanlig bakåtspridning av strålarna. Andra experiment, vilka jag nu skall övergå till att beskriva, leder till samma resultat.

En observation måste emellertid nämnas, vilken vid en första blick leder till den omvända slutsatsen. Jag exponerade med X-strålar en fotografisk plåt som var skyddad för ljus av svart papper och med glassidan vänd mot urladdningsapparaten. Det känsliga lagret var täckt så när som på en liten del, där polerade bitar av platina, bly, zink och aluminium var arrangerade i ett stjärnformat mönster. På det framkallade negativet syns tydligt att svärtningen är större bakom platina, bly och särskilt zink än på andra ställen. Aluminium producerade ingen effekt alls. Det tycks därför som om de nämnda tre metallerna reflekterar strålarna. Andra orsaker är emellertid tänkbara för den ökade svärtningen och för att säkerställa resultatet i ett andra experiment satte jag in en tunn aluminiumfolie, som är ogenomskinligt för ultraviolettera strålar men mycket genomskinligt för X-strålar, mellan det känsliga skiktet och metallstycket. Eftersom samma resultat återigen erhöles kan vi konstatera en reflexion av X-strålar i nämnda metaller.

Detta faktum tillsammans med observationen att ett pulver är lika transparent som en fast kropp och vidare att ett material med grov yta uppför sig på samma sätt som polerade material när X-strålarna passerar genom dem, samt även det nyss beskrivna experimentet, gör att man kommer till slutsatsen att medan vanlig reflexion, som sagt, inte förekommer, uppför sig föremål mot X-strålarna på ungefär samma sätt som ett turbolent medium uppför sig gentemot ljus.

Eftersom jag inte var i stånd att verifiera någon brytning vid passage från ett medium till ett annat, verkar det som om X-strålarna rör sig med samma hastighet i alla kroppar, i själva verket, i ett medium som finns överallt och i vilket materiepartiklarna är inbäddade. De senare utgör ett hinder för utbredningen av X-strålarna som i allmänhet är större ju större täthet kroppen i fråga har.

9. Således skulle det vara möjligt att partiklarnas fördelning i föremålet utövar ett inflytande på transparensen så att, till exempel, ett stycke kalkspat skulle ha olika transparens för samma tjocklek om strålningen passerar längs dess axel eller vinkelrätt mot den. Experiment med kalkspat och kvarts har, emellertid gett negativt resultat.

10. Det är välkänt att Lenard i sitt vackra experiment med Hittorfs katodstrålar som transmitterades genom en tunn aluminiumfolie kom till slutsatsen att dessa strålar är en process i etern och att de diffust fortsätter i alla kroppar. Vi har kunnat göra ett liknande påstående om våra strålar.

I sin senaste publikation har Lenard bestämt absorptionskoefficienten för olika material för katodstrålar och fann bland flera andra resultat värdena 4.10, 3.40, 3.10 per 1 cm luft vid atmosfärstryck och beroende av mängden gas i urladdningsapparaten. Bedömt från urladdningspotentialen, uppskattad från längden på gnistgapet, har jag i mina experiment haft att göra med samma och endast sparsamt med lägre eller högre mängd gas. Jag lyckades med hjälp av L. Webers fotometer - jag äger ingen som är bättre - att jämföra intensiteten av fluorescerande ljus på min skärm i luft vid två avstånd, 100 mm och 200 mm, till urladdningsapparaten, och jag fann, från tre experiment i god samstämmighet med varandra, att intensiteten är inverst relaterad till kvadraten på avståndet från urladdningsapparaten. Således håller luften tillbaks en mycket mindre fraktion av X-strålar som passerar genom den än katodstrålar. Detta resultat är också i fullständig överensstämmelse med observationen som nämnts ovan att fluorescens fortfarande kan erhållas på ett avstånd av 2 meter från urladdningsapparaten.

I allmänhet uppför sig andra material som luft; de är mer transparenta för X-strålar än för katodstrålar.

11. En ytterligare noterbar skillnad i uppförande mellan katodstrålar och X-strålar är det faktum att, trots många ansträngningar, jag inte har lyckats erhålla någon avböjning av X-strålar med hjälp av en magnet även med mycket kraftfulla magnetfält.

Avböjningen med en magnet har hittills betraktats som en grundläggande karakteristisk egenskap hos katodstrålarna; det observerades emellertid av Hertz och Lenard att det fanns olika slag av katodstrålar vilka "skiljer sig åt vad rör produktion av fosforescens, absorption och avböjning av en magnet", men de fann ändå en betydande avböjning i samtliga fall som undersöktes av dem; och jag tror inte att denna karakteristik av katodstrålar kommer att överges utan

tvingande orsaker.

12. I enlighet med experiment som utförts i detta syfte är det säkert att den punkt i urladdningsapparatsens vägg som fluorescerar starkast måste vara den punkt som är ursprunget till X-strålarna, som sedan sprids i alla riktningar. Sålunda härstammar X-strålarna från den punkt i vilken, i enlighet med vad olika författare konstaterar, katodstrålarna träffar väggen. Om katodstrålarna avböjs inuti urladdningsapparaten med en magnet ser man att X-strålarna också kommer från en annan punkt, d.v.s. återigen från katodstrålarnas ändpunkt.

Av detta skäl kan inte X-strålarna, vilka inte kan avböjas, helt enkelt vara katodstrålar transmitterade eller reflekterade opåverkade av glasväggen. För den större tätheten hos glaset i urladdningsröret kan enligt Lenard inte vara ansvarigt för de stora skillnaderna i avböjningsförmåga.

Jag kommer därför till slutsatsen att X-strålarna inte är identiska med katodstrålar men de genereras av katodstrålarna i glasväggen hos urladdningsapparaten.

13. Denna generering sker inte endast i glas utan även i aluminium vilket jag kunde observera med en apparatur som förslutits med en 2 mm tjock aluminiumfolie. Andra substanser kommer att undersökas senare.

14. Berättigandet att använda termen 'strålar' för den aktivitet som utgår från väggen hos urladdningsapparaten erhåller jag delvis från de ganska ordinära skuggor som uppkommer när mer eller mindre transparenta föremål förs in mellan apparaten och den fluorescerande skärmen (eller den fotografiska plåten).

Jag har observerat och i några fall fotografiskt registrerat många skuggbilder av detta slag, vars tillkomst då och då skänker en mycket speciell tjusning. Jag har sålunda fotografier av infattningen av en dörr som skiljer rummet med urladdningsapparaten och rummet där den fotografiska plåten sattes upp; skuggan av benen i en hand; skuggan av en dold trådlindning på en träspole; en sats med vikter inuti en liten låda; en kompass i vilken den magnetiska nålen är fullständigt innesluten i metall; ett metallstycke vars brist på homogenitet i materialet avslöjas av X-strålarna, etc.

Ytterligare bevis för X-strålarnas rätlinjiga utbredning ger ett hålkamerafotografi vilket jag lyckades göra med urladdningsapparaten insvept i svart papper; bilden är svag men utan tvekan korrekt.

15. Jag har flitigt sökt efter interferensfenomen hos X-strålarna men olyckligtvis utan framgång förmodligen endast beroende på den låga intensiteten.

16. Experiment i syfte att utröna huruvida elektrostatiska krafter kan påverka X-strålarna på något sätt har påbörjats men har ännu inte slutförts.

17. Om man ställer sig frågan vad X-strålarna - de kan inte vara katodstrålar- verkligen är, kan man möjligen först, och missledd av den kraftfulla fluorescensen och kemiska verkan, komma att tänka på ultraviolett ljus. Man står emellertid genast inför allvarliga invändningar. För om X-strålarna vore ultraviolett ljus skulle detta ljus ha egenskaperna:

(a) att inte påtagligt avböjas när det passerar från luft till vatten, koldisulfid, aluminium, bergssalt, glas, zink etc.;

(b) att inte påtagligt reflekteras av nämnda substanser;

(c) att följaktligen inte kunna polariseras med de metoder som används i andra sammanhang;

(d) att absorptionen inte påverkas av någon annan egenskap hos ett material i så hög grad som tätheten.

Med andra ord, man skulle behöva anta att dessa ultravioletta strålar skulle uppföra sig helt annorlunda mot infraröda, synliga och hittills kända ultravioletta strålar.

Jag har inte kunnat acceptera detta och har sökt en annan förklaring.

Det tycks finnas ett slags samband mellan de nya strålarna och ljusstrålar, de vid alla tillfällen bildade skuggorna, fluorescensen och kemiska verkan, vilka uppträder för båda typer av strålning, pekar åt det hållet. Det har

länge varit känt att det förutom transversella vågor hos ljuset också borde finnas longitudinella vågor i etern, enligt flera fysiker. Naturligtvis har deras existens ännu inte klart demonstrerats så deras egenskaper har ännu inte experimentellt kunnat undersökas.

Skall de nya strålarna tolkas som longitudinella vågor i etern?

Jag måste erkänna att jag under loppet av mina undersökningar mer och mer lutar åt denna åsikt, och jag kan kanske tillåtas att uttrycka denna hypotes här, fastän jag är fullt medveten om att den givna förklaringen fortfarande behöver en solidare grund.

Översättning i maj 1995: Sten Carlsson, Uddevalla sjukhus



Henri Becquerel

OM STRÅLAR UTSÄNDA VID FOSFORESCENS

(Sur les radiations émises par phosphorescence)

Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences 122:420-421

24 februari 1896

Vid ett föregående sammanträde har herr Ch. Henry meddelat att fosforescerande zinksulfid placerad i strålnippet från ett Crookes rör ökade intensiteten av strålningen som passerat aluminium.

Å andra sidan har M. Niewenglowsky iakttagit att fosforescerande kalciumsulfid av handelskvalitet utsänder strålning som tränger igen ogenomskinligt material. Detta faktum utsträcker sig till åskilliga fosforescerande material och särskilt till uransalter, vars fosforescens har en mycket kort varaktighet. Med dubbelsaltet urankaliumsulfat, som jag har i kristallinsk form i ett tunt och genomskinligt skikt, har jag kunnat göra följande experiment:

Man omsluter en fotografisk plåt av bromgelatin med två mycket tjocka, svarta papper så att plåten inte slöjas av en exponering för solen under en hel dag.

Man placerar på papperets utsida en skiva av den fosforescerande substansen, och man exponerar det hela för solen i flera timmar. Då man framkallar den fotografiska plåten, iakttagit man att silhuetten av den fosforescerande substansen framträder i svart på plåten. Om man placerar ett mynt mellan fluorescenssubstansen och papperet, eller en metallskärm med genombrutet mönster, ser man en bild av dessa föremål framträda på plåten. Man kan upprepa samma experiment genom att placera en tunn glasskiva mellan den fosforescerande substansen och papperet för att utesluta möjligheten av en kemisk verkan på grund av ångor, som skulle kunna utsändas av substansen uppvärmd av solstrålningen.

Man kan dra den slutsatsen av dessa experiment, att den fosforescerande substansen ifråga utsänder strålning, som genomtränger papper ogenomskinligt för ljus och som reducerar silversalter.

Översättning i februari 1986: Kurt Lidén, Lunds universitet



Henri Becquerel

OM OSYNLIGA STRÅLAR UTSÄNDA AV FOSFORESCERANDE MATERIAL

(Sur les radiations invisible émises par les corps phosphorescents)

Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences 122:501-503

2 mars 1896

Vid förra sammanträdet beskrev jag kortfattat de experiment som jag utfört i syfte att demonstrera de osynliga strålar som utsändes av vissa fosforescerande substanser, strålar som genomtränger olika material som är ogenomskinliga för ljus.

Jag har kunnat utöka dessa observationer, och, fastän jag ämnar fortsätta och utveckla studierna av dessa fenomen, på grund av deras aktualitet har jag bestämt att så tidigt som idag presentera de första resultat som jag erhållit.

De experiment som jag ämnar redovisa gjordes med de strålar som utsändes av kristallinska skikt av dubbelsaltet av kalium och uran



en substans vars fosforescens är mycket livlig och där varaktigheten hos ljuset är mindre än 1/100 sekund. Egenskaperna hos det ljus som utsändes av denna substans har studerats av min far, och jag har senare haft tillfälle att peka på en del egendomligheter som dessa strålar uppvisar.

Det är mycket enkelt att verifiera att de strålar som utsändes av denna substans när den exponeras för solen eller diffust dagsljus inte endast tränger igenom blad av svart papper utan även några metaller, till exempel, en aluminiumplatta och en tunn kopparfolie. Jag har särskilt utfört följande experiment:

En Lumiere-plåt med silverbromid i gelatin inneslöt i en ogenomskinlig kasset av svart väv, tillsluten på ena sidan av en aluminiumplatta; om kassetten exponerades för direkt solljus, t.o.m. en hel dag, blev inte plåten slöjad; men om ett skikt av uransaltet sätts fast på utsidan av aluminiumplattan, kvarhållet av, till exempel, pappersremсор, och om

det hela exponeras för solen under flera timmar, kan man observera efter det att plåten har framkallats på vanligt sätt, att silhuetten av det kristallinska skiktet uppträder som svärtning på den känsliga plåten och att silversaltet har reducerats bakom det fosforescerande skiktet. Om aluminiumplattan är ganska tjock är intensiteten av verkan mindre än genom två ark svart papper.

Om man vi mellan uransaltet och aluminiumskivan eller det svarta papperet placerar en skärm gjord av koppar cirka 0.10 mm tjock och i form av t.ex. ett kors kan silhuetten av detta kors ses på bilden, mer transparent, men med en slöja som inte desto mindre visar att strålningen har trängt igenom kopparplåten. Ett annat experiment visade att 0.04 mm koppar försvagade de verksamma strålarna mycket mindre.

Fosforescens framkallad inte av direkt solljus utan av solljus reflekterat i en metallspegel och därefter brutet i ett prisma och en lins av kvarts ger upphov till samma fenomen.

Jag vill särskilt framhålla följande faktum, som förefaller mig mycket viktigt och helt utanför området för de fenomen man skulle vänta sig att observera. Samma kristallinska skikt placerat mot en fotografisk plåt under samma förhållanden, avskilt med samma skärmning, men skyddad mot excitation av infallande solstrålning och förvarad i mörker, producerar likväl samma fotografiska effekt. Denna observation gjordes på följande sätt. Bland de inledande experimenten förbereddes några onsdagen 26 februari och torsdagen 27 februari, och, eftersom solen endast delvis visade sig dessa dagar, höll jag tillbaks de förberedda experimenten och placerade kassetten i mörker i en byrålåda med skiktet av uransalt fortfarande på plats. Eftersom solen inte visade sig de följande dagarna framkallade jag de fotografiska plåtarna 1 mars och förväntade mig att finna endast svaga bilder. Tvärtom uppenbarade sig silhuetterna med mycket hög intensitet. Jag tänkte genast att denna verkan måste ha fortgått i mörker och arrangerade följande experiment.

I botten på en ogenomskinlig pappkartong placerade jag en fotografisk plåt; därefter placerade jag på den känsliga sidan ett skikt av uransaltet, ett skikt med konvex form som vidrörde gelatin-bromiden i endast några punkter; därefter placerade jag på samma plåt ett skikt av samma salt men skilt från gelatin-bromiden av en tunn glasskiva; det hela utfördes i mörkrummet, kartongen stängdes och lades sedan i ytterligare en pappkartong och sedan i en byrålåda.

Jag gjorde samma sak med en fotografisk plåt placerad i en kasett med en aluminiumplatta, och, på utsidan ett lager av uransaltet. Det hela inneslöts i en pappkartong och sedan i en byrålåda. Efter fem timmar framkallades plåtarna och silhuetten av de kristallinska skikten framträdde i svart på samma sätt som i de tidigare experimenten och som om de hade erhållit fosforescens av ljus. I fallet med lagret placerat direkt på gelatinet var det knappast någon skillnad i verkan mellan de punkter som var i kontakt och de delar som var skilda från gelatinet med ungefär 1 mm; skillnaden kan vara orsakad av skillnaderna i avstånd till de aktiva strålarnas källa. Verkan av skiktet som placerats på en glasskiva var aningen svagare men skiktets form återgavs mycket tydligt. Slutligen, genom aluminiumplattan, var verkan avsevärt svagare men inte desto mindre tydlig.

Det är viktigt att notera att detta fenomen inte tycks ha något att göra med det ljus som utsändes vid fosforescens eftersom detta efter 1/100 sekund har blivit så svagt att den knappast är skönjbar.

En hypotes som faller sig naturlig skulle vara att dessa strålar, vilkas effekt har stora likheter med effekten producerad av de strålar som studerats av Lenard och Röntgen, kan vara osynliga strålar utsända vid fosforescens, vilkas varaktighet kan vara oändligt mycket större än det ljus som utsändes av dessa substanser. Dock ger oss föreliggande experiment, även om de inte talar emot, knappast bevis för en sådan hypotes. De experiment jag för närvarande utför, hoppas jag skall bringa ytterligare någon klarhet i denna nya klass av fenomen

Översättning i maj 1995: Sten Carlsson, Uddevalla sjukhus



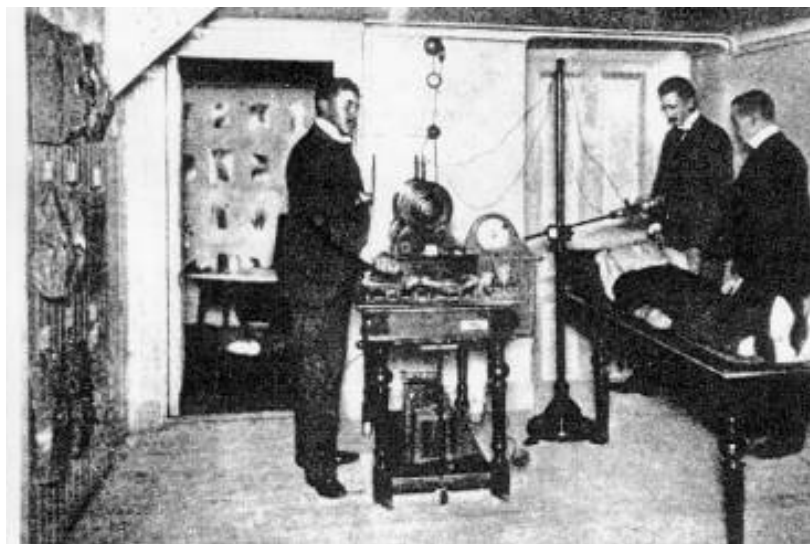
UTVECKLINGEN

Röntgendiagnostik

De första röntgenbilderna som togs var präglade av en allmän nyfikenhet kring vad strålarna kunde användas till. Ingen anade väl vid denna tid att det var de medicinska tillämpningarna som skulle komma att helt dominera användningen. Dock etablerades de första medicinska röntgenlaboratorierna redan någon eller några månader efter Röntgens upptäckt. I Sverige var Thor Stenbäck pionjären. Han utförde röntgenundersökningar redan tidigt under 1896 och öppnade det första röntgeninstitutet i Sverige och Skandinavien i sitt hem i Gamla stan i Stockholm. Ungefär samtidigt med honom startade även Tage Sjögren sitt laboratorium. Under 1896 finns röntgenutrustning dessutom på Fysiska institutionen i Uppsala och på Fysiologiska institutionen i Lund.

Som medhjälpare kom Stenbäck att anställa Gösta Forsell, som var den som senare kom att skapa Radiumhemmet och Jubileumskliniken i Stockholm. Han var mannen som gav röntgendiagnostik och radioterapi akademisk status i Sverige och som grundlade tanken att röntgendiagnostik skulle vara en särskild specialitet, vilket kom att få en ovärderlig betydelse för den svenska radiologins ställning och utveckling. Han innehade från 1917 en personlig professur i medicinsk radiologi som 1936 kom att omvandlas till en ordinarie i medicinsk röntgendiagnostik.

Vid sjukhusen i Sverige började röntgenverksamhet successivt att växa upp runt sekelskiftet. Akademiska sjukhuset och Sundsvall 1897, Växjö, Linköping och Norrköping 1898, Serafimerlasarettet och Lund 1901 etc.



Figur 6: Thor Stenbäck i arbete i sitt ock Sveriges första röntgeninstitut. Som assistent har han Gösta Forsell.

Den utrustning som fanns till förfogande var densamma som Röntgen och även andra fysiker använde för sina experiment. Den fanns således redan tillgänglig, vilket delvis är förklaringen till den snabbhet varmed den spreds över hela världen. Röntgenrören och högspänningseenheten var mycket primitiva med våra mått mätt. Man använde induktionsspolar och influensmaskiner för att få höga spänningar. Transformatorer kom inte att börja användas förrän ca 1905. De första röntgenrören fungerade efter en helt annan princip än dagens. Röret var inte helt lufttomt så när högspänning lades mellan anoden och katoden startade man en rörelse hos joner i röret och de positiva jonerna drogs mot katoden där de genom sin rörelseenergi kom att frigöra elektroner vilka i sin tur accelererades mot anoden där röntgenstrålningen bildas genom bromsstrålningprocessen. Det moderna röntgenröret med glödkatod för att generera elektronerna är en uppfinning av W. Coolidge år 1913. Fördelen med denna typ av rör tillsammans med en högspänningstransformator är att man på ett enkelt och reproducerbart sätt kan reglera både energi och intensitet hos röntgenstrålningen. I början av 1930-talet ersattes den fasta anoden av en roterande anodtallrik vilket avsevärt förbättrade rörets värmekapacitet och livslängd.

Som nämnts visade redan Röntgen själv att fotografiska plåtar svärtades av röntgenstrålning. Han använde sig också av fluorescensskärmar. Känsligheten hos den fotografiska plåten var mycket låg med långa exponeringstider som följd. 10-30 min exponering var ingen ovanlighet. Man använde därför i första hand fluorescensskärmar för att direkt göra en bedömning av

undersökningen. Speciella genomlysningsstativ kom att utvecklas och mycket spritt blev det s.k. Forsell-stativet som tillverkades av Siemens. Idag sker genomlysning eller fluoroskopi med hjälp av bildförstärkare vilka utvecklades under 1950-talet. Till bildförstärkaren kopplar man en TV-kamera och det dynamiska förloppet kan observeras direkt på en TV-monitor.

Den film som ursprungligen användes var av helt ordinär typ men mycket snart började man tillverkning av speciell röntgenfilm med en ökad känslighet för röntgenstrålning. Trots detta var känsligheten mycket låg jämfört med fluorescensskärmen. Man försökte emellertid mycket tidigt med att kombinera fluorescensskärmar och film. Uppfinnaren Thomas A. Edison upptäckte de utmärkta fluorescensegenskaperna hos calciumwolframmat, vilket kom att användas under många årtionden framåt. Man konstruerade filmkassetter som innehöll s.k. förstärkningsskärmar mellan vilka man placerade en film som var extra känslig för fluorescensljuset. Det var på samma sätt som man gör detta idag. Skillnaden mellan ett modernt film-skärmsystem och ett gammalt är att både skärmar och film är känsligare, liksom att man kan konstruera själva kassetten i ett material som absorberar mycket lite av röntgenstrålningen. Resultatet av utvecklingen av förstärkningsskärmar och film har medfört att exponeringstiden idag istället för 10-tals minuter är 10-tals millisekunder, d.v.s ca 60.000 gånger kortare med naturligtvis en betydande minskning i stråldos till patienten som följd.

En av målsättningarna vid utveckling av röntgenapparatur har alltid varit att få så skarpa och kontrastrika bilder som möjligt. Skärpan påverkas av fokusstorleken i röntgenröret som alltid har fått vara en kompromiss mellan krav på bildskärpa, värmeavledning och livslängd. Kontrasten i bilden påverkas i mycket hög grad av mängden spridd strålning. För att komma tillrätta med detta experimenterade man tidigt med s.k. raster som består av en uppsättning blylameller som absorberar strålning som inte härstammar från rörets fokus. Rastret uppfanns av Gustav Bucky 1913. Problemet nu blev att bilden blev randig av blylamellerna. Problemet löstes av Hollis Potter som lät rastret röra sig under exponeringen. Erik Lysholm, som var en framstående svensk radiolog och teknisk innovatör, lyckades tillsammans med Sven Ledin på röntgenföretaget Schönander konstruera ett raster med mycket tunna blylameller i stort antal. Med ett sådant raster behövdes ingen rörelse - lamellerna kom ändå inte att synas på bilden. Konstruktionen presenterades på radiologikongressen i Chicago 1938 och blev en succé och en stor exportframgång för svensk röntgenindustri.

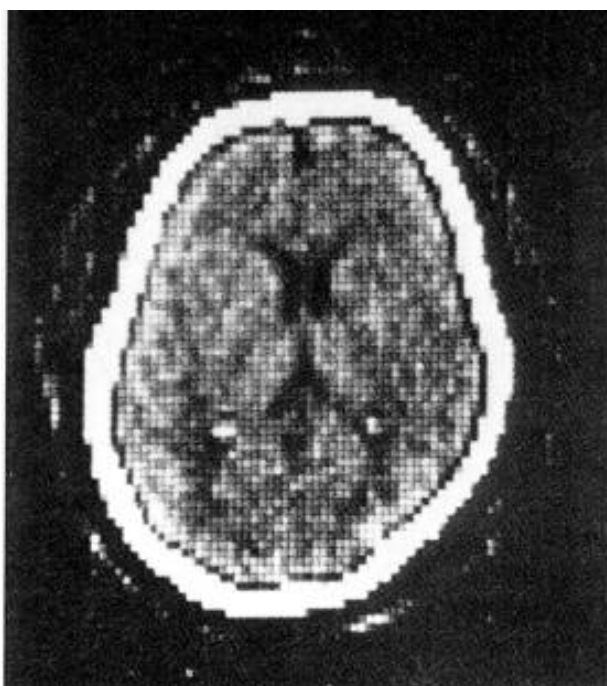
Röntgenindustrin i allmänhet växte sig successivt mycket stark beroende på att man tidigt insåg behovet av olika typer av röntgenstativ för olika typer av undersökningar. Forsell-stativet för genomlysning och exponering av stående patienter, trockoskopet för liggande patienter, Lysholms skullbord för skalle och småskelett liksom ett buckybord för njurar och ryggar var svenska konstruktioner som spreds över världen. Successivt har sedan specialiseringen gått ännu längre allteftersom undersökningstekniken har utvecklats t.ex. genom introduktionen av kontrastmedel och angiografitekniken.

Ett konstant problem inom röntgendiagnostiken är att i en röntgenbild finns all information från ett tvärsnitt genom kroppen överlagrad. För att få någon uppfattning om vad är sjuklig förändring är belägen har man då gjort undersökningen i flera projektioner. En annan metod föreslogs av Grossman i Berlin 1935. Genom att låta röntgenrör och film linjärt röra sig i olika riktningar under exponeringen kom all information utom den som låg i det tomografiska planet att suddas ut. Metoden kallas linjär tomografi. Den kom senare att utvecklas genom att man införde mer komplicerade rörelsemönster hos apparaturen. Någon större succé blev dock aldrig dessa metoder.

Genombrottet för tomografin blev introduktionen av datortomografen med vars hjälp det är möjligt att göra tvärsnittsbilder genom objektet. Det betecknas som den största landvinningen inom röntgendiagnostiken sedan Röntgens upptäckt. Redan i slutet av 1950-talet hade några radioterapeuter i fysikern Allan Cormacks omgivning pekat på behovet av tvärsnittsbilder för att öka precisionen i dosbestämningen vid strålbehandling. Han griper sig an problemet och publicerar i årsskiftet 1963/64 två artiklar med en redogörelse för teorin och sina initiala resultat. Han spekulerar även i den medicinska användningen. Det dröjde emellertid till 1972 innan hans teorier omsattes i praktiken. Det var den engelske ingenjören Godfrey Hounsfield som då kunde presentera de första tvärsnittsbilderna av en hjärna framtagna med en prototyp till datortomografen som konstruerats hos EMI. De väckte minst sagt sensation. Redan 1973 kunde den första Datortomografen installeras på Karolinska sjukhusets neuroradiologiska avdelning. Idag är Datortomografen en nästan lika självklar utrustning på en röntgenavdelning som ett stativ för lungundersökningar. Den snabba utvecklingen inom datortomografin har gått hand i hand med utvecklingen av kraftfulla och snabba datorer för rekonstruktion av undersökningen. Det är mängder av information som skall hanteras och sammanställas till en bild. Datortomografen var den första digitala utrustningen som sedan har följts av en mer utbredd digitalisering av röntgenavdelningarna. Utvecklingen mot den digitala och kanske filmlösa avdelningen har endast börjat och den går knappast att hejda. Ljusskåpens tid är snart förbi till förmån för datorskärmarna.



Figur 7: Exempel på tidig utrustning och patientpositionering vid lung undersökningar.



Figur 8: En av de första datortomografibilderna tagen 1973.

Vad beträffar de radiologiska metoderna var de till att börja med ganska begränsade och man hade egentligen endast möjlighet att undersöka skelettet och lungorna som ju har en annan absorption av röntgenstrålning än vad mjukvävnad har. Nu skall man emellertid komma ihåg att dessa typer av undersökningar alltså är de vanligaste, så visst fanns redan här en hel del att bita i för diagnostikern. Vanliga undersökningar var också diagnostik av gallstenar, njurstenar och främmande kroppar. Man insåg emellertid tidigt att det borde finnas möjlighet att framställa annars osynliga strukturer i kroppen genom att tillföra någon form av kontrastmedel och det finns bilder från före sekelskiftet som visar hur man fyllt kärlen i amputerade kroppsdelar och i olika organ från avlidna med t.ex. blymönja och därefter gjort röntgenbilder som visar kärlträdet. Det har naturligtvis inte enbart varit lekstuga utan man fick här för första gången möjlighet att erhålla anatomiska bilder av blodkärlen på ett enkelt sätt.

De första försöken att ge människa kontrastmedel gjordes av H. Strauss i Berlin redan 1896. Han lät patienten svälja en gelatinkapsel som innehöll en blandning av järn- och vismutföreningar och studerade kapselns transport genom

matsmältningskanalen. Senare kom denna typ av undersökningar att ersättas av rena testmåltider som var uppblandade med främst bariumsulfat. Detta skedde kring 1910. Barium är fortfarande det mest använda kontrastmedlet vid undersökningar av matsmältningskanalen.

Luft är också ett effektivt kontrastmedel vilket ju främst utnyttjas vid lungundersökningar men tidigare också vid den s.k. luftskallen, en undersökning som var fruktad bland patienterna. Den gick så till att man sprutade en viss mängd luft i ryggmärgskanalen. Luften gick sedan upp i hjärnans hålrum som då framträdde på röntgenbilden. Metoden är numera helt ersatt av Datortomografin.

Ett annat begrepp var den s.k. färgskallen. Det rörde sig här om en angiografisk undersökning av hjärnan. Angiografen har sitt ursprung i Portugal på 1920-talet där Egas Moniz var carotisangiografins fader och Reynaldo dos Santos sysslade med aortografi.

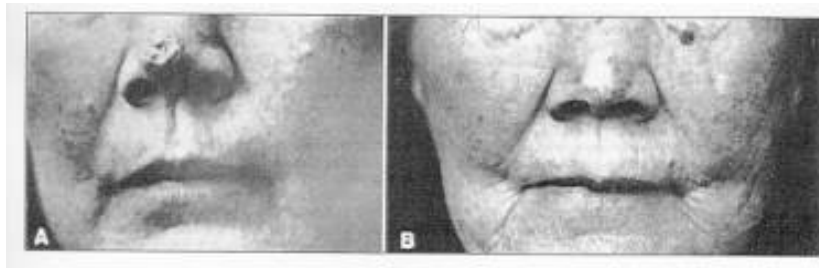
Problemet man brottades med ursprungligen var att få tillräcklig kontrastfyllnad av kärlen något som ledde till den selektiva angiografen där man med hjälp av en kateter sprutade direkt i en artär till det organ man ville undersöka. Denna typ av angiografi kom i stor utsträckning att utvecklas i Sverige under 1950 och 60-talet, som betecknas som svensk radiologisk guldålder. Som grund för utvecklingen och framgången låg bl.a. den av Sven-Ivar Seldinger utvecklade kateteriseringstekniken. Ett annat problem man hade var kontrastmedlen som ställde till med besvärande komplikationer för patienten. Här kommer Torsten Almén i Malmö in i bilden. Han utvecklade de vattenlösliga s.k. icke-joniska kontrastmedlen som innebar en mycket lägre komplikationsrisk. Numera måste angiografierna betraktas som tämligen riskfria rutinmetoder. Genom den avancerade kateteriseringstekniken har de dessutom som spinoff gett möjligheten till behandling i form av selektiv medicinering av ett organ, ballongvidgning av kärl etc.



Figur 9: Exempel på angiografi d.v.s en kärlundersökning med kontrastmedel.

Radioterapi

Den första lyckade cancerbehandlingen med röntgenstrålning utfördes av Thor Stenbeck 1899. Det var en basalcellscancer på nästippen hos en kvinna. Patienten visades sedan upp 30 år senare vid den 2:a internationella radiologkongressen i Stockholm 1928. Man hade emellertid sedan januari 1896 gjort försök att behandla hudåkommor eftersom man redan då hade observerat hudskador på personer som nyttjade röntgenstrålning. Den externa strålterapien bedrevs naturligtvis mycket på känn eftersom den viktiga och grundläggande radiobiologiska kunskapen saknades.



Figur 10: Den första patienten som botades från sin cancer genom strålbehandling. T.v. 1898 och t.h. 30 år senare.

Makarna Curie upptäckte radium 1898 och lyckades renframställa ämnet. Härigenom fick man tillgång till strålkällor som gav möjligheter till lokala och intrakavitära applikationer s.k. brachyterapi. Metoden röntte stor framgång inom främst gynekologisk radioterapi där Gösta Forsell och James Heyman utvecklade den s.k. Stockholmsmetoden för behandling av cervix-cancer. Radium var mycket dyrt och därför endast tillgängligt i ganska små kvantiteter. Trots detta utvecklade man s.k. teleradiumkanoner för extern strålterapi. Vid sådana behandlingar samlades allt radium som fanns tillgängligt på kliniken och stoppades i kanonen. Det var främst på Radiumhemmet som denna verksamhet bedrevs i Sverige. Radiumhemmet var egentligen en avknoppning från Serafimerlasarettet. 1910 flyttade man in i en 8-rumsvåning i Stockholm under ledning av Gösta Forsell. Man växte snabbt ur lokalerna och 1916 flyttade man till Fjällgatan i Stockholm där man tillgång till 3 röntgenterapiapparater och 190 mg radium samt 34 vårdplatser. Vid Gustav V:s sjuttioårsdag 1928 gjordes en riksinsamling som gav 5 miljoner kronor. Kungen bestämde att dessa skulle gå till "bekämpandet av kräftsjukdomar..". Med dessa pengar som grundplåt uppfördes jubileumskliniker i Stockholm 1937, i Lund 1941, i Göteborg 1943 och i Umeå 1959.

Det dröjde några år innan man insåg att olika organ och olika vävnader reagerade olika på strålbehandlingen och att den absorberade dosen bara var en av flera faktorer. Av vikt var också behandlingstid, fraktionering av dosen m.fl. Sättet att mäta den absorberade dosen var till att börja med primitivt. Man använde sig av huderytemdosen (HED), vilken naturligtvis var olika för olika patienter. Behov av en fysikaliskt korrekt och reproducerbar mätmetod var väsentlig. 1928 infördes röntgenenheten (1 R) för att mäta expositionen av röntgenstrålning och mätprocedurer grundade på jonkammarmätningar utvecklades. En stor insats i denna standardisering gjordes i Stockholm av fysikerna Rolf Sievert och Sven Benner.

De tidiga röntgenapparaterna för extern strålterapi hade en stor begränsning av möjligheterna att effektivt bestråla djupt liggande tumörer. Detta berodde på att strålningsenergin var låg, vilket i sin tur fick till följd att den högsta dosen erhöles i huden, som dessutom är förhållandevis strålkänslig och därför blev gränssättande för den stråldos man kunde ge tumören. Ett stort framsteg för radioterapi kom när man på 1950-talet kunde framställa mycket starka radioaktiva strålkällor av kobolt-60 och cesium-137, vilka placerades i speciell apparatur för extern bestrålning. Man fick nu så hög energi hos strålningen att huden sparades och man kunde därför tillföra en tumör så hög dos att nödvändig effekt erhöles. Idag har även denna apparatur försvunnit och ersatts av accelerators med ännu mycket bättre strålningsegenskaper. Den avancerade behandlingsapparaturen och avancerade fysikaliska och strålningsbiologiska planeringen av en behandling har tillsammans med noggranna mätmetoder gjort modern radioterapi till ett precisionsverktyg där man kan ge tumören en absorberad dos som är tillräckligt hög för att tumörcellerna skall dödas samtidigt som skadan på frisk vävnad blir okomplicerad.

Nuklearmedicin

Förutsättningen för nuklearmedicin är naturligtvis tillgång till lämpliga radionuklider. Till att börja med fanns endast de naturligt radioaktiva ämnena som emellertid nästan alla är så giftiga att de inte kan användas på människan. Detta hindrade emellertid inte Blumgardt och Weiss att injicera radioaktivt vismut på patienter redan 1927 i syfte att studera blodflödet. Idén att använda radioaktiva spårämnen härstammade från den ungerska kemisten Georg de Hevesy som hade gjort en del inledande försök redan 1911.

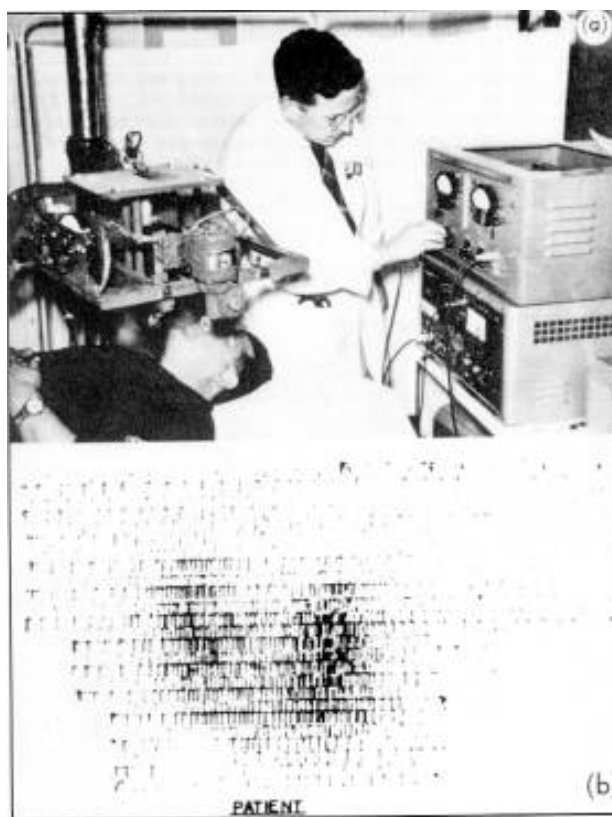
Ett avgörande steg togs i och med upptäckten att artificiella radioaktiva ämnen kunde framställas genom bestrålning av ett stabilt grundämne med t.ex. neutroner. Denna upptäckt gjordes av makarna Irene Curie och Fredrique Joliot år 1934. Ett av de första radioaktiva ämnen som framställdes på detta sätt var fosfor-32. De Hevesy gav försöksdjur den radioaktiva fosfor och sedan studerade man hur ämnet fördelades och omsattes. De första resultaten publicerade han tillsammans med den danske läkaren O. Chievitz i Nature i september 1935, där man med följande svepande formulering gick emot då vedertagna uppfattningar: "Resultaten ger vid handen att benformation är en dynamisk process, benet tar kontinuerligt upp fosforatomer, vilka helt eller delvis förloras igen och ersätts av nya fosforatomer". Med detta experiment inleddes en mycket omfattande användning av radioaktiva spårämnen framförallt i medicinsk och biologisk forskning och det råder inget tvivel utan att mycket av vår nuvarande kunskap om fysiologiska

och metaboliska förlopp i kroppen är resultat av tillgången till radioaktiva spårsubstanter som enkelt kan inkorporeras i biologiskt viktiga molekyler och dessutom kan mätas med mycket stor känslighet.

En tidig upptäckt var att jod anrikas i sköldkörteln och redan i slutet av 1930-talet gjordes de första försöken att behandla t.ex. tumörer i organet och dessutom att kartlägga organets funktion. Det stora genombrottet för nuklearmedicinen kom efter 2:a världskriget då kärnreaktorn utvecklades och man fick i stort sett obegränsad tillgång till radioaktiva ämnen och då inte minst jod-131 för sköldkörteldiagnostik. I Sverige hade en del trevande försök med användning av radioaktiva ämnen både i diagnostik och terapi gjorts redan kring 1940 av både Erik Lindgren och Erik Lysholm på Serafimerlasarettet. Sitt genombrott fick emellertid inte nuklearmedicinen förrän kring 1950 då laboratorier byggdes upp i Malmö och de övriga universitetssjukhusen. Det var just sköldkörteldiagnostik och terapi som utgjorde drivkraften bakom etableringen. Nuklearmedicinen kom sedan successivt att utveckla fler och fler metoder. Viktiga sådana var t.ex. leverscintigrafi och hjärnscintigrafi, metoder som sedan dog ut helt i samband med att ultraljudsdiagnostiken utvecklades och att Datortomografen blev vanlig på de flesta stora sjukhusen. Den idag mest använda radionukliden är Tc-99m som tillsammans med enkla metoder för inmärkning av radioaktiva läkemedel har gjort att nuklearmedicinen idag är en etablerad del i modern radiologi och fysiologi på alla större sjukhus i landet.

De första detektorer man använde för att registrerar strålningen från radionukliderna var GM-rör. Detektorns låga känslighet för gamma-strålning var ett problem som löstes i och med utvecklingen av scintillationsdetektor som var den detektor som kom att användas i scintigraferna, vilka utvecklades under 1950-talet och som gjorde det möjligt att kartlägga fördelningen av ett radioaktivt ämne i ett organ. Sverige bidrog i mycket hög utsträckning till utvecklingen av detta instrument. Scintigraferna var långsamma på grund av att de successivt måste avsöka ett organ genom punktmätningar. 1957 presenterade H.O. Anger prototypen till gammakameran som är en stationär detektor med positionsupplösande egenskaper. Man kunde nu snabbt och effektivt avbilda hela organet i en enda mätning och man kunde utföra dynamiska mätningar för att kartlägga upptag och utsöndring av ett radioaktivt preparat i ett organ. Senare kom den tomografiska tekniken att utvecklas och det blev möjligt att även här erhålla tvärsnittsbilder.

Idag finns radioaktiva läkemedel för undersökning av de flesta organ och organfunktioner. De vanligaste undersökningarna är skelettscintigrafi på metastasfrågeställning, lungscintigrafi för diagnostik av lungemboli, hjärtscintigrafi på ischemifrågeställning m.fl.



Figur 11: B. Cassen i arbete vid den av honom konstruerade scintigrafen (1950). Exempel på tyreoidescintigram.

Om Du önskar en mer detaljerad beskrivning av nukleärmedicinsk historia

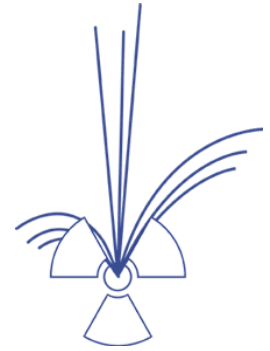
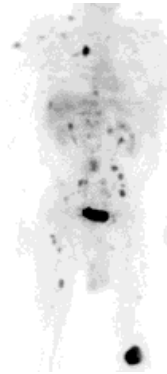
[KLICKA HÄR](#)



NUKLEÄRMEDICINSK HISTORIA

av sjukhusfysiker Sten Carlsson, Uddevalla

- 1, Inledning
2. Fysiken
3. de Hevesy
4. Början i Sverige
5. Radiofarmaka
6. Utrustning
7. Metoder
8. Vetenskapliga föreningar
9. Verksamheten i Uddevalla
10. Referenser



www.radiofysik.org

Bilden visar en helkroppstomografi utförd med en PET-kamera. Det radioaktiva läkemedlet är F-18 FDG och de multipla upptagen är från multipla metastaser. Bilden representerar dagens frontlinje i nukleärmedicinen

Inledning

Nuklearmedicin innebär användning av radioaktiva spårämnen för kartläggning av global och regional funktion, blodflöde, metabolism eller morfologi hos ett organ. Av historiska skäl faller emellertid även terapi med öppna radioaktiva strålkällor under samma beteckning. Hit hör då behandling av sköldkörteln med radioaktivt jod och smärtbehandling vid skelettmetastaser med radioaktivt strontium m.fl. metoder. Nuklearmedicin beskrivs ibland som en triangel med det radioaktiva spårämnet, mätinstrumentet och det diagnostiska problemet i de tre hörnen och med patienten i centrum.

Det radioaktiva spårämnet (radioaktivt läkemedel) tillförs patienten genom en intravenös injektion, förtäring eller inandning

beroende på vilket organ eller vilken funktion man önskar undersöka. Upptaget eller omsättningen av spårämnet undersöks numera företrädesvis med en gammakamera och är i allmänhet ett mått på organfunktion, blodflöde e.dyl. De vanligaste undersökningarna inkluderar skelettscintigrafi för att upptäcka skelettmetastaser, lungscintigrafi för diagnostik av lungemboli, njurfunktionsundersökningar av flera slag, tyreoidescintigrafi för diagnostik av adenom m.m. samt hjärtscintigrafi för diagnostik av arbetsutlöst ischemi.

Från att ursprungligen ha varit en exklusiv diagnostisk verksamhet finns numera nuklearmedicinska avdelningar på alla större sjukhus i alla landsting i Sverige. Totalt finns det 38 nuklearmedicinska avdelningar som tillsammans utför ca. 120 000 undersökningar per år. Organisatoriskt faller verksamheten inom radiologi, klinisk fysiologi, onkologi, klinisk kemi eller sjukhusfysik. Det är typiskt för nuklearmedicinen och säkert också dess styrka att den omkring sig samlar personer med mycket olika bakgrund: läkare med olika specialiteter, kemister, fysiker, apotekare, ingenjörer, laboratorieassistenter (numera även benämnda biomedicinska analytiker), sjuksköterskor och annan vårdpersonal. Detta är naturligtvis en följd av att verksamheten är mycket bred. Självklart måste någon med medicinskt ansvar svara för diagnos och terapi men här finns naturligtvis även personal som skall utföra undersökningarna och ta hand om patienten. Dessutom tillkommer personal med ansvar för beredning av de radioaktiva läkemedlen, personal som sköter service, underhåll och kvalitetskontroll av den avancerade utrustningen samt personal som övervakar patient- och personalstrålskyddet.

Den mest exklusiva delen av nuklearmedicinen torde för närvarande vara positronkameraverksamheten (PET). I Sverige finns endast två anläggningar: Akademiska sjukhuset i Uppsala och Karolinska sjukhuset i Stockholm. Positronkameran är i första hand att betrakta som ett forskningsinstrument även om de kliniska applikationerna får ökat utrymme. Jag hörde en gång Henry Wagner, den amerikanska nuklearmedicinens nestor, säga att PET-verksamheten har inneburit en revolution i vår kunskap om hjärnans funktion. Dessutom är den ett ovärderligt hjälpmedel i forskning kring omsättningen av olika läkemedel.

Uttalandet rörande positronkameran gäller naturligtvis i minst lika hög grad användningen av radioaktiva spårämnen i vidsträckt bemärkelse. Från de första trevande försöken är radioaktiva spårämnen idag ett självklart hjälpmedel i biologisk och medicinsk grundforskning och har varit av avgörande betydelse för vår nuvarande kunskap om kroppens funktion. Ur den rena spårämnesanvändningen har sedan nuklearmedicinen utvecklats som en gren och radioimmunanalysen (RIA) som en annan.

Avsikten med denna framställning är att ge en historisk tillbakablick på nuklearmedicinens utveckling från trevande spårämnesförsök till en väletablerad diagnostisk verksamhet. Framställningen har kanske fått en viss mätteknisk och fysikalisk slagsida dels med anledning av min egen bakgrund och dels med anledning att det hela startar med utvecklingen inom dessa områden. När jag försökt sätta mig in i den tidiga verksamheten i Sverige blir jag djupt imponerad av de stora och banbrytande insatser som gjordes från många håll. I min framställning finns flera personer nämnda och om någon saknas betyder inte att hans eller hennes insatser saknar betydelse utan snarare på min egen okunskap.



Det startade med fysiken

Medan man för röntgendiagnostiken nästan på klockslaget kan fastlägga starten är den lite mer flytande för nuklearmedicinen, vilket i framtiden kan komma att ge flera tillfällen till 100-års-jubiléer. En sak kan vi emellertid säga och

det är att den rimligen inte fanns före den 1 mars 1896, radioaktivitetens födelsedag. Det var då den franske fysikern Henri Becquerel gjorde sina märkliga observationer av "En osynlig strålning emitterad av fosforescerande material (Sur les radiations invisibles émises par les corps phosphorescents)".

Becquerel var den tredje fysikern i rakt nedstigande led i sin släkt som beträdde fysikprofessuren vid Musée d'Histoire Naturelle i Paris. Liksom sin far och farfar var han expert på fosforescens och fluorescens, i hans fall huvudsakligen från uransalter. Han hörde talas om Röntgens X-strålar vid ett sammanträde i franska vetenskapsakademien 20 januari 1896 och fick då uppfattningen att röntgenstrålarna härstammade från den punkt i urladdningsröret som fluorescerade när det träffades av katodstrålarna. Det gav honom idén att pröva andra fluorescerande ämnen och se om även de gav ifrån sig röntgenstrålar. I ett meddelande till vetenskapsakademien 24 februari 1896 redogjorde Becquerel för en serie försök i syfte att visa att ett fosforescerande ämne (kaliumuranylsulfat) efter exponering för direkt solljus sänder ut strålning som tränger igenom svart papper och dessutom svärtar en fotografisk plåt [12]. Det råder knappast någon tvekan om att Becquerel här kopplar samman denna genomträngande strålning med just fosforescensfenomenet. Han försöker fortsätta sina experiment mellan 26 februari och 1 mars men kommer ingen vart eftersom det är mulet väder och någon kraftig fluorescens är inte att vänta om inte preparatet kan exponeras för direkt solljus. Lite besviken framkallar han emellertid sina fotografiska plåtar den 1 mars och finner då till sin häpnad att svärtningen är lika kraftig som om uransaltet hade exponerats för solljus. I meddelande till vetenskapsakademien 2 mars [13] skriver han bl.a:

"Jag måste särskilt framhålla följande faktum som förefaller mig mycket viktigt och helt utanför området för de fenomen man skulle vänta sig att observera. Samma kristallinska skikt placerat mot en fotografisk plåt under samma förhållande (som vid tidigare försök), avskilt med samma skärmning (svart papper) men skyddad mot excitation av infallande solstrålning och förvarad i mörker producerar likväl samma fotografiska effekt".

Becquerels upptäckt inspirerade flera forskare. Makarna Marie och Pierre Curie döpte fenomenet till radioaktivitet och de försökte renframställa det strålande ämnet. I detta arbete upptäckte de två nya grundämnen: polonium och radium. Ernest Rutherford, verksam vid Cavendishlaboratoriet i Cambridge och sedermera, efter utflykter till Montreal och Manchester, även föreståndare för laboratoriet, kom att under många år målmedvetet dissekera atomen. Han undersökte de strålar som utsänds från uran och torium och gav namn åt två av dem: "Det finns åtminstone två sorters strålning - en lättuppfångad som vi för enkelhetens skull kallar alfa-strålning och en annan mer genomträngande som vi kallar beta-strålning". Han kunde visa att alfa-partikeln var identisk med en heliumkärna och att beta-partikeln var en energirik elektron. Tillsammans med F.Soddy undersökte han det spontana sönderfallets tidsförlopp, definierade begreppet halveringstid och kartlade omvandlingen av ett grundämne till ett annat grundämne eller fysiskt avvikande former av samma grundämne - isotoper som Soddy senare kom att kalla dem. Rutherford med medarbetare (han handledde inte mindre än 11 blivande nobelpristagare) kunde ur sina experiment även dra slutsatsen att atomens massa var koncentrerad i en kärna med elektroner i banor runt densamma, en modell som kom att utgöra grunden för den danske fysikern Niels Bohrs atomteori.

Vi befinner oss början av 1900-talet i en otroligt dynamisk period för fysiken. Den ryskfödde fysikern G.Gamow har skrivit en populär framställning om denna tid med titeln 'Trettio år som skakade fysiken'. Det är nu som den moderna fysiken tar form genom två revolutionerade teorier: relativitetsteorin och kvantteorin. Den första skapades av i huvudsak en enda man: Albert Einstein, medan den andra tillkom genom insatser från flera vetenskapsmän med Max Planck som den förste i raden. Man fick mer och mer klart för sig hur atomen och atomkärnan var uppbyggd, mekanismerna bakom det radioaktiva sönderfallet etc. Man förutsade neutronen som en komponent i atomkärnan och J.Chadwick kunde experimentellt påvisa den 1932.

Neutronen missades med en hårsman av makarna F.Joliot och I.Curie som försökte utreda vad den s.k. berylliumstrålningen var, d.v.s. den strålning som erhålles om beryllium bestrålas med alfa-partiklar. De kunde inte frigöra sig från tanken att det rörde sig om gammastrålning, men vi vet nu att det var neutroner de observerade. Makarna Joliot-Curie kom emellertid ändå att gå till strålningsfysikens historia genom sin upptäckt av den inducerade radioaktiviteten. De gjorde ett försök i syfte att förklara varför aluminium som bestrålades med alfa-partiklar ibland gav ifrån sig en proton och ibland en neutron och en positron (en partikel som hade upptäckts i kosmisk strålning av amerikanen Carl Anderson, 1932). De sänkte alfa-partiklarnas energi genom att successivt avlägsna strålkällan från aluminiumfolien och registrerade samtidigt neutronerna med ett mätinstrument. Vid ett visst avstånd borde inte alfa-partiklarna nå fram till folien och således utslaget på mätinstrumentet gå ned till noll. Så sker emellertid inte utan instrumentet ger fortfarande ett utslag som avtar till hälften på ca. 3 min. De tolkade det som ett radioaktivt sönderfall och räknade ut att det måste röra sig om en isotop av fosfor (^{30}P), vilket de också visade genom kemisk separation. Upptäckten rapporterades till Comptes Rendus 16 januari 1934 och i ett brev till Nature 4 dagar senare. 'Dessa experiment ger det första kemiska beviset för artificiell kärnomvandling' skrev de stolt som avslutning [25, 53].

Det är ju en lycklig slump att de inte utförde försöket genom att successivt öka alfa-partiklarnas energi, då hade de missat även denna upptäckt.



Figur 1: Professorn i fysik Henri Becquerel som 1 mars 1896 upptäckte den naturliga radioaktiviteten.



Figur 2: Maria Curie som tillsammans med sin make bl.a. upptäckte radium



Figur 3: Makarna Fredrique Joliot & Irene Curie som 1934 skapade den första artificiella radionukliden.



George de Hevesy och de första spårämnesförsöken

Möjligheten att framställa radioaktiva ämnen var något som den ungerskfödde kemisten George de Hevesy hade väntat på. Han hade med början 1911 arbetat under Rutherford i Manchester och redan då fått idén att radioaktiva ämnen som är kemiskt oseparatorbara från icke-radioaktiva ämnen kunde användas som indikatorer för de senare. Han visade att det var möjligt att med hjälp av aktivitetsmätning studera kemiska processer som inte kunde studeras på annat sätt. Metoden användes 1913 av de Hevesy och F.A.Paneth för att bestämma lösligheten av blykromat i vatten [43]. Detta är det första utnyttjandet av radioaktiva spårämnen. G. de Hevesy spekulerade även i att utnyttja radioaktiva spårämnen för att studera biologiska processer men de ämnen som fanns till förfogande var alla så giftiga att sådana försök i stort sett omöjliggjordes. G. de Hevesy gjorde emellertid redan 1922 en undersökning där han iakttog hur bly suggs upp av en växt (*Vicia faba*) och fördelas i växtens olika delar [44].

G. de Hevesey kom till Niels Bohr-institutet i Köpenhamn 1935 och kom där mer och mer att intressera sig för produktion av ett radioaktivt ämne som kunde vara biologiskt intressant. Valet föll på fosfor-32 (^{32}P), en radionuklid vars produktion och egenskaper hade beskrivits tidigare av Enrico Fermi. Den radioaktiva fosforn tillfördes försöksdjur och sedan

studerade man hur ämnet fördelades och omsattes. De första resultaten publicerade han tillsammans med den danske läkaren O.Chievitz i Nature i september 1935, där man med följande svepande formulering gick emot då vedertagna uppfattningar: "Resultaten ger vid handen att benformation är en dynamisk process, benet tar kontinuerligt upp fosforatomer, vilka helt eller delvis förloras igen och ersätts av nya fosforatomer" [24].

Det praktiska problem som de Hevesy främst brottades med var tillgången till ^{32}P . Som neutronkälla begagnade man Radium-Beryllium (Ra-Be), där radiet lånades från sjukhusen i Köpenhamn. Där var det emellertid mestadels av tiden upptaget för cancerbehandling. Till Bohrs 50-årsdag gjordes en nationell insamling som gav 100.000 Dkr vilka användes till inköp av två Ra-Be-källor att användas för framställning av artificiella radionuklider, vilket förbättrade situationen högst påtagligt, men fortfarande var det endast mycket begränsade mängder man fick fram. G. de Hevesy visste att man i Berkeley kunde producera stora mängder radionuklider med hjälp av en cyklotron som konstruerats av hans gamle vän E. Lawrence. Därifrån fick han slutligen med flygpost så mycket ^{32}P han kunde önska sig. Man kan idag undra huruvida det fanns några särskilda transportbestämmelser för radioaktiva ämnen på den tiden, men å andra sidan var väl kvantiteterna som skickades endast en bråkdel av vad som nu transporteras med flyg och på våra vägar och järnvägar.

G. de Hevesy publicerade under sin vistelse i Köpenhamn 25 artiklar rörande tillämpning av radioaktiva spårämnen inom biologin utöver ett dussintal essäer om sin metod och dess tillämpningar. Han fick nobelpriset i kemi 1943. Samma år flyttade han på grund av osäkerheten i Danmark till Stockholms högskola där han fortsatte sin verksamhet. Han sysselsatte sig i Sverige med att studera metabolismen av nukleinsyror med hjälp av ^{32}P . Vid 1945 års riksstämma höll han ett föredrag med titeln 'Om konstgjorda isotoper och deras användning'. Han blev svensk medborgare 1945 och avled 1966 i en ålder av 81 år. Med all respekt för övriga inblandade torde George de Hevesy vara att betrakta som spårämnesteknikens och därmed nukleärmedicinens fader [68]. Detta erkännande finns också officiellt i den europeiska nukleärmedicinska organisationen (EANM), som delar ut en de Hevesy-medalj till förtjänta personer.



Figur 4: Den ungerskfödde kemisten Georg de Hevesy, som är att betrakta som spårämnesteknikens och sålunda nukleärmedicinens fader. Porträtt från 1960

