

Appendix III. **Stråldoser och riskuppskattning vid radiologisk diagnostik**

Anja Almén, Wolfram Leitz, Ulf Nyman

Faktaruta 1

Definitioner

Absorberad dos anger den absorberade energin av joniserande strålning per kg kroppsvävnad. SI-enheten är gray (Gy). $1\text{Gy}=1\text{ joule/kg}=100\text{ rad}$ (äldre enhet).

Effektiv dos anger den absorberade energin i viss vävnad viktad utifrån relativ effekt av typ och energi av den aktuella strålningen (≈ 1 för röntgenstrålning) samt organets relativa strålkänslighet för stokastiska effekter (cancer) senare i livet. SI-enheten är sievert (Sv). $1\text{ Sv}=1\text{ joule/kg}=100\text{ rem}$ (äldre enhet).

Inledning

Beräkning av stråldoser och riskuppskattningar för patienter har gjorts för de röntgen- och nukleärmedicinska undersökningar som kan vara aktuella i Sverige för diagnostik av venös tromboembolism (VTE). Beräkningar har även gjorts av stråldoser till det ofödda barnet vid undersökning av gravid patient.

Flera undersökningar kan behöva användas vid ett och samma diagnostillfälle varvid stråldoserna adderas till varandra. Det är också viktigt att komma ihåg att det för många undersökningar saknas en enhetlig undersökningsteknik. Stråldosen för en och samma undersökning kan därför variera avsevärt mellan olika diagnostiska avdelningar, vilket måste medtas vid riskbedömningen.

Stråldosnivåer vid röntgen- och nukleärmedicinska undersökningar

Stråldosen till patienter vid en och samma typ av röntgen- eller nukleärmedicinsk undersökning varierar med en rad olika faktorer. När det gäller röntgenundersökningar beror den förutom på patientstorleken bl a på typ av utrustning, röntgendetektorns känslighet och röntgenrörets filtrering. Bland metodrelaterade faktorer kan nämnas val av rörspänning och rörström, genomlysningstid, antal bilder, fältstorlek samt användning av kompression och gonadskydd. Stråldoserna vid datortomografi (DT)-undersökningar varierar med faktorer som rörström, snittjocklek, ”pitch” (relationen mellan bordsförflyttningen per rotation och snittjockleken vid spiral-DT) och antal snitt. Vid nukleärmedicinska undersökningar varierar stråldosen med val av radiofarmaka och administrerad aktivitet. Vid jämförelser av risken för olika typer av undersökningar måste man ta hänsyn till dessa variationer.

Stråldos till hela kroppen (Tabell 1)

Stråldosuppskattningarna i Tabell 1 för lungröntgen, lungskintigrafi (perfusion och perfusion/ventilation), datortomografi (DT), lungangiografi och flebografi har baserats på nationella och/eller internationella kartläggningar. Nationella studier av stråldosnivån för lungröntgenundersökningar och administrerad mängd radiofarmaka vid nukleärmedicinska undersökningar av lungorna finns att tillgå [7,13]. För nukleärmedicinska undersökningar har internationellt erkända konversionsfaktorer använts för beräkning av effektiv dos [5].

Följande administrerade aktivitetsmängder har används för beräkningarna: 140 MBq för lungperfusion med $^{99}\text{Tc}^m$ -MAA, 150 MBq för lungventilation med $^{99}\text{Tc}^m$ -DTPA aerosol och 75 MBq för $^{99}\text{Tc}^m$ -teknegas. För DT-undersökningar finns också nationella stråldosmätningar att tillgå och de baserar sig nästan uteslutande på spiral-DT [13]. I Tabell 1 och 2 anges stråldoser respektive riskuppskattningar för följande DT-undersökningar:

1. DT-thorax; utförs rutinmässigt vid vissa kliniker i differentialdiagnostiskt syfte före kontrastmedelsinjektion.
2. DTLA; DT av lungartärerna (DTLA) för lungembolidiagnostik.

3. DTV; DT av nedre extremiteternas vener från crista iliaca (för att inkludera v iliaca och distala v cava inferior) till proximala vaden.
4. DT ben; DT av nedre extremiteternas vener från ljumskarna till proximala vaden (för att undvika bestrålning av fostret hos en gravid patient).

Stråldoserna för undersökningarna under punkt 2–4 har uppskattats från publicerade svenska data [13]. Av Tabell 1 framgår att den högsta dosen erhålls från DT-thorax medan DTLA för själva lungembolidiagnostiken ger en stråldos som ligger i paritet med perfusions-/ventilationsskintigrafi. DT-thorax ger en effektiv dos på 7,5 mSv och bör, särskilt hos unga patienter, ersättas av vanlig lungröntgen som enbart ger 0,1 mSv.

De skattade nationella effektiva doserna för DTLA och DTV stämmer väl överens med resultaten av en liten tysk studie [14]. På sex patienter uppmättes den högsta effektiva dosen vid DTLA till 2,3 mSv och vid DTV till 2,7 mSv.

För lungangiografi och flebografi finns inga omfattande nationella studier att förlita sig på. Internationella studier har därför använts [3,11]. Genomlysningsteknik används dessutom vid både lungangiografi och flebografi vilket medför att variationen mellan olika patienter och avdelningar kan vara betydande. Stråldosen från genomlysning kan utgöra en stor andel av den totala stråldosen vid dessa undersökningar. Flebografi antas inkludera viss bestrålning av buk och bäcken. Som jämförelse till stråldoserna för diagnostiska metoder vid VTE har också doser vid några andra vanliga röntgenundersökningar såsom av kolon, ländryggrad och urinvägar [13] och bäckenmätning [8] redovisats i Tabell 1.

De flesta stråldosvärden som anges i Tabell 1 representerar medelvärdet från ett antal sjukhus. För de olika sjukhusen kan stråldosen variera upp till en faktor 2–3 högre eller lägre än de angivna medelvärdena. I undantagsfall kan skillnaden vara ännu större.

Stråldos till foster (Tabell 1)

När patienten är gravid måste man ta hänsyn till att fostret kan bli bestrålat. Foster och embryo är speciellt känsliga för joniserande strålning [6]. När det

gäller röntgenundersökningar i buk-/bäckenregionen måste man därför noga pröva om alternativa undersökningsmetoder kan ge det önskade diagnostiska resultatet för en gravid kvinna. Vid DT av buk/bäcken och för undersökningar i buk-/bäckenområdet där långa genomlysningstider kan förekomma kan man förvänta sig de högsta stråldoserna till fostret. För de typer av röntgenundersökningar där fostret inte befinner sig i det undersökta området är stråldosen till fostret så låg att den ur risksynpunkt har mindre betydelse än risken hos modern för komplikationer sekundärt till trombembolism eller antikoagulantia vid under- respektive överdiagnostik.

Vid nukleärmedicinska undersökningar erhåller fostret extern bestrålning från $^{99}\text{Tc}^m$ -MAA (makroaggregat av albumin för studier av lungperfusion) som ansamlas i lungorna och det retikuloendoteliala systemet i lever och mjälte [11]. Vid användning av $^{99}\text{Tc}^m$ -DTPA aerosol (för ventilationsstudier) utsöndras $^{99}\text{Tc}^m$ via njurarna och ansamlas i blåsan, som då också blir källor för extern bestrålning av ett foster [10,11]. $^{99}\text{Tc}^m$ -teknegs ansamlas i lungorna och ger en extern bestrålning till fostret.

Riskuppskattningar vid joniserande strålning (Tabell 2)

Vid radiologiska undersökningar finns en liten risk för induktion av cancer. Risken ökar med sjunkande patientålder. Särskilt uppmärksamhet måste därför ägnas unga patienter, barn och foster. Vid nukleärmedicinska undersökningar tillkommer dessutom strålrisk för det diande barnet.

Strålinducerad cancer

De risksiffror som används grundar sig på ICRP:s (International Commission on Radiological Protection) framtagna siffror [1]. För en normalpopulation anges risken för strålningsinducerad letal cancer till 5 procent per sievert (Sv). Variationen mellan olika åldrar illustreras av att risken för foster och barn under 10 år har beräknats till 15 procent, i intervallet 10–30 år är risken 8–10 procent, 30–40 år 4 procent, 40–60 år 2 procent och <2 procent per Sv för personer över 60 år. Induktion av letal cancer för en grupp om 10 000 patienter i en normalpopulation har beräknats för de stråldoser som angivits i Tabell 1 och presenteras i Tabell 2. Risksiffrorna kan jämföras med den naturliga risken att avlida i en cancersjukdom, vilken är cirka 1:4 (1997 dog 22 000 personer i

cancer av totalt drygt 90 000 avlidna under året) [4]. I sammanhanget kan också nämnas att den naturliga bakgrundsbestrålningen per år är 1 mSv. Från radon och radondöttrar inomhus tillkommer i genomsnitt per år och invånare 2 mSv. Den övre gränsen för personal som arbetar med joniserande strålning är 20 mSv per år.

Den gravida patienten

Grundprincipen är att i möjligaste mån undvika att utsätta ett foster eller ett embryo för strålning i samband med radiologiska undersökningar med joniserande strålning, i huvudsak för att minimera risken för strålningsinducerad cancer längre fram i livet.

Andra strålinducerade effekter som kan drabba det ofödda barnet är missbildningar (vecka 2–8 under organogenesen) och mental retardation (vecka 8–25 när centrala nervsystemet bildas). Den undre gränsen för när missbildningsskador kan uppstå har angetts till 50–150 mSv [9]. Vid diagnostik av venösa tromboembolism kan doser i denna storleksordning endast uppnås vid direkt röntgenbestrålning av bäckenet. Ingen av de undersökningar som anges i Tabell 1 ger dock en fosterdos som överstiger 50 mSv om de utförs på ett adekvat sätt.

För att minimera risken för det ofödda barnet är det av största vikt att kvinnor som är eller kan tänkas vara gravida identifieras före en radiologisk undersökning. Detta bör ske genom att tillfråga kvinnor i fertil ålder om de är/kan tänkas vara gravida eller om menstruationen har uteblivit. Om så är fallet och en undersökning ska omfatta buk/bäcken bör metoder utan joniserande strålning utnyttjas, i första hand ultraljud och i andra hand magnetresonanstomografi (MRT). Men även vid MRT ska särskilda försiktighetsåtgärder vidtas (se Kapitel 3.8).

Om en undersökning med joniserande strålning i eller i närheten av buk-/bäckenområdet bedöms som nödvändig ska den planeras så att stråldosen till fostret blir så låg som möjlig. Detta kan ske genom att genomlysningstid och/eller antalet bilder reduceras till ett minimum. Strålfältets proximala begränsning vid flebografi och DT av nedre extremiteternas vener bör ligga i höjd med ljumskarna. Detta reducerar fosterdosen till ett minimum eftersom fostret

kommer utanför primärstrålningen. Den spridda strålning, som uppkommer när primärstrålningen träffar moderns kropp, är försumbar med avseende på fostret om ett "säkerhetsavstånd" på cirka 10 cm upprätthålls mellan foster och den direktbestrålade volymen [12,16]. Av detta följer också att stråldosen vid DT thorax och lungangiografi (vid kateterisering från arm eller hals för att undvika genomlysning av buk/bäcken) också är försumbar om säkerhetsavståndet tillämpas.

Lungskintigrafiska undersökningar bör om möjligt genomföras med en lägre administrerad aktivitet och utan ventilationsstudie. Om patienten är samarbetsvillig och kan tolerera en längre undersökningstid kan den givna aktiviteten av radiofarmaka vid en perfusionskintografi reduceras till hälften av normaldosen [10]. Modern bör också uppmanas att dricka rikligt och tömma blåsan frekvent. Ansamlad aktivitet i blåsan kan nämligen avsevärt bidra till bestrålningen av fostret.

Amning i samband med nukleärmedicinska undersökningar

I de fall patienten ammar sitt barn rekommenderas uppehåll med amningen efter det att mamman genomgått vissa typer av nukleärmedicinska undersökningar [2]. Rekommendationerna är satta så att stråldosen till barnet inte överstiger 1 mSv.

Efter en lungperfusionsstudie med standardaktiviteten 100 MBq $^{99}\text{Tc}^m$ -MAA rekommenderas ett amningsuppehåll på 12 timmar. Vid ventilationsundersökningar med $^{99}\text{Tc}^m$ -teknegas bedöms längden av amningsuppehållet utifrån resultatet av aktivitetsmätningar på bröstmjölken. Under amningsuppehållet ska modern regelbundet tömma bröstet på mjölk [15]. Efter ventilationsstudier med $^{99}\text{Tc}^m$ -DTPA aerosol behövs inget uppehåll med amningen.

Sammanfattning

- Stora skillnader i utrustning och undersökningsteknik får som följd att stråldoserna kan variera avsevärt mellan olika sjukhus för en och samma undersökning, varför generella rekommendationer för val av modalitet försvåras.

- Stråldosnivåerna för olika undersökningsmetoder bör mätas upp lokalt på varje sjukhus, jämföras med referensdoser utarbetade av SSI och undersökningstekniker utarbetas som vid behov kan minska stråldoserna.
- DT av lungartärerna (DTLA) och kombinerad perfusions-/ventilations-skintigrafi ger samma effektiva helkroppsdos.
- DT-thorax utan kontrastmedel före DTLA ger en effektiv dos i samma storleksordning som lungangiografi. DT-thorax bör särskilt hos unga personer ersättas med konventionell lungröntgen.
- DT av nedre extremiteternas vener på unga personer bör inte utföras rutinmässigt.
- Särskilda hänsyn måste tas till gravida kvinnor för att i möjligaste mån undvika direktbestrålning av fostret:
 - varje röntgenavdelning ska ha rutiner för att identifiera kvinnor som kan vara gravida,
 - det primära strålfältets gräns mot fostret bör ha ett säkerhetsavstånd på minst 10 cm, om det är möjligt med tanke på den kliniska frågeställningen,
 - med adekvat säkerhetsavstånd är stråldosen till fostret vid DTLA negligerbar,
 - vid lungangiografi bör kateterisering ske via hals- eller armvener,
 - vid diagnostik av djup ventrombos ska i första hand ultraljud väljas,
 - vid flebografi bör bäckenbestrålning om möjligt undvikas,
 - vid nukleärmedicinska undersökningar bör den administrerade aktiviteten reduceras och patienten uppmanas att dricka rikligt och tömma blåsan frekvent.

Tabell 1 Beräknade och uppskattade medelvärden för effektiv stråldos till patient och foster för radiologiska undersökningar vid diagnostik av venös tromboembolism samt några andra vanliga röntgenundersökningar som jämförelse. Stora individuella variationer kan förekomma.

Undersökning	Effektiv dos till patienter (mSv)	Fosterdos (mSv)
Lungskintigrafi		
– enbart perfusion	1,5	0,2
– perfusion och ventilation	2,4	1
Lungröntgen ¹	0,1	<0,1
Lungarteriografi ²	6,6	<0,1
DT-thorax ³	7,5	<0,1
DTLA ⁴	2,5	<0,1
DT-thorax + DTLA	10	<0,2
DTV ⁵	2,5	20
DTV ben ⁶ (vid graviditet)	0,8	<0,1
Flebografi (unilateral)	≈3,5	3 ⁷
Colon	10	10
Urografi	4	3
Ländryggrad	1,8	2,5
Bäckenmätning	≈0,5	≈0,5
Naturlig bakgrundsbestrålning per år	1	0,7

¹ Förutsätter postero-anterior (PA) strålrättning vid frontalbild samt en sidobild

² Förutsätter röntgenrör under britsen och patienten liggande på rygg

³ Hela thorax med spiralteknik som differentialdiagnostisk översikt före kontrastinjektionen; 10 mm:s snittjocklek och 15 mm:s bordsförflyttning/rotation (pitch 1,5)

⁴ DTLA = datortomografi av lungartärerna med ett 15 cm långt avsökningssområde med spiralteknik; 3 mm:s snittjocklek och 6 mm:s bordsförflyttning/rotation (pitch 2)

⁵ DTV = datortomografi av nedre extremiteternas vener baserad på stationära 10 mm tjocka snitt var 30:e mm från crista iliaca (7 snitt i bäckenet) till proximala vaden (17 snitt över benen)

⁶ DTV av nedre extremiteternas vener hos gravida från i höjd med ljumskarna (för att undvika bestrålning av fostret) till proximala vaden (17 snitt över benen).

För benen har samma exponeringsdata antagits som för undersökningen i bäckenområdet

⁷ Förutsätter bestrålning av bäckenet

Tabell 2 Beräknad risk för induktion av letal cancer i en grupp av 10 000 individer vid olika radiologiska undersökningar. För normalpopulationen antas risken vara 5 procent per Sv för vuxna och 15 procent per Sv för foster och nyfödda.

Undersökning	Normalpopulation (antal per 10 000 individer)	Foster
Lungskintigrafi		
– enbart perfusion	0,8	0,3
– perfusion och ventilation	1,2	1,5
Lungröntgen	0,05	<0,2
Lungangiografi	3,3	<0,2 ¹
DT-thorax	3,8	<0,2
DTLA	1,3	<0,2
DT-thorax + DTLA	5,1	<0,3
DTV	1,3	30
DTV ben (vid graviditet)	0,4	<0,2
Flebografi (unilateral)	1,8	4,5 ²
Colon	5	15
Urografi	2	5
Ländrygggrad	0,9	4
Bäckenmätning	0,3	0,8
Naturlig bakgrundsbestrålning	0,5	1

¹ Förutsätter ingen genomlysning av bäckenet

² Förutsätter bestrålningen av bäckenet

Referenser

1. Publication 60. Recommendations of the international commission on radiological protection, Annals of the ICRP, 1990, vol. 21 No 1-3.
2. Statens strålskyddsinstitutets föreskrifter och allmänna råd om nukleärmedicin. SSI FS 2000:3.
3. UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation). UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly Volume II: Effects United Nations, New York, 2000.
4. Statistisk årsbok för Sverige 2001. Statistiska Centralbyrån, 2001.
5. Publication 80. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals, Annals of the ICRP, vol. 28 No 3. 1998.
6. Publication 84. Pregnancy and medical radiation, Annals of the ICRP, vol. 30 No 1. 2000.
7. Alvarez M, McCarthy G. Isotop-kommittérapporter 1999. SSI Rapport 2000:22.
8. Axelsson B, Ohlsen H. Radiation doses in low-dose pelvimetry using rare-earth screens. Acta Radiol Oncol Radiat Phys Biol 1979;18:470-80.
9. Berlin L. Radiation exposure and the pregnant patient. AJR Am J Roentgenol 1996;167:1377-9.
10. Boiselle PM, Reddy SS, Villas PA, et al. Pulmonary embolus in pregnant patients: survey of ventilation-perfusion imaging policies and practices. Radiology 1998; 207:201-6.
11. Ginsberg JS, Hirsh J, Rainbow AJ, Coates G. Risks to the fetus of radiologic procedures used in the diagnosis of maternal venous thromboembolic disease. Thromb Haemost 1989;61:189-96.
12. Jacobson A, Conley JG. Estimation of fetal dose to patients undergoing diagnostic X-ray procedures. Radiology 1976;120: 683-5.
13. Leitz W, Jonsson H. Patientdoser från röntgenundersökningar i Sverige – sammanställning av resultat från sjukvårdens rapporter 1999. SSI Rapport 2001:1.
14. Rademaker J, Griesshaber V, Hidajat N, et al. Combined CT pulmonary angiography and venography for diagnosis of pulmonary embolism and deep vein thrombosis: radiation dose. J Thorac Imaging 2001;16:297-9.
15. Rose MR, Prescott MC, Herman KJ. Excretion of iodine-123-hippuran, technetium-99m-red blood cells, and technetium-99m-macroaggregated albumin into breast milk. J Nucl Med 1990;31: 978-84.
16. Tapper K, Bankvall G, Gustavsson M, et al. Patientstråldoser vid datortomografi. 6:e ordinarie mötet med Nordiska Sällskapet för Strålskydd, Reykjavik, Island 1981-06-18- -20.