

診療用放射線照射器具を永久的に挿入された患者の退出について

(平成15年3月13日)

(医薬安第0313001号)

(各都道府県衛生主管部(局)長あて厚生労働省医薬局安全対策課長通知)

診療用放射線照射器具を挿入された患者の取扱いについては、医療法施行規則第30条の15に基づき、対応してきたところであるが、近年、医学の進歩に伴い、我が国においても診療用放射線照射器具を利用したより適切な治療を可能とする環境を整える必要が生じたことから、標記について、「医療放射線管理に関する検討会」において検討を行い、「診療用放射線照射器具を永久的に挿入された患者の退出に関する指針」(別添)をとりまとめたところである。今後、診療用放射線照射器具を用いた治療を行う際には、この指針を参考に、安全性に配慮して実施するよう関係者への周知徹底方願いする。

診療用放射線照射器具を永久的に挿入された患者の退出に関する指針

1. 指針の目的

我が国においては、舌がん等の頭頸部がんの治療に対して金 198 グレインの挿入による放射線治療が行われており、欧米諸国では前立腺がん、脳腫瘍などに対してヨウ素 125 シードによる放射線治療が行われている。いずれも外科手術による身体機能の損傷を回避できる優れた治療効果を有していることから、我が国においても診療用放射線照射器具を用いた診療をより安全に実施できるよう環境を整える必要がある。

また、治療技術の進歩により、患者の延命のみならず、在宅診療等に対する患者の願望など生活の質(QOL)が問われている。

しかしながら、診療用放射線照射器具を挿入された患者が診療用放射線照射器具使用室あるいは放射線治療病室等から退出する場合、一般公衆及び自発的に患者を介護する家族などへの患者からの放射線被ばくが懸念される。

本指針は、一般公衆の被ばく線量限度である1年間につき1ミリシーベルト、介護者及び患者を訪問する子供について抑制すべき線量である1行為当たりそれぞれ5ミリシーベルト及び1ミリシーベルトを確保するため、診療用放射線照射器具を挿入された患者の退出基準等を、放射性金 198 グレインと放射性ヨウ素 125 シードの2核種についてまとめたものである。

2. 適用範囲

本指針は、医療法に基づいて診療用放射線照射器具を永久的に挿入された患者が病院内の診療用放射線照射器具使用室あるいは放射線治療病室などから退出する場合に適用する。

3. 退出基準

国際放射線防護委員会(ICRP)では公衆に対する線量限度として1年間につき1ミリシーベルトを勧告している。また、ICRP Publication 73では「患者の介護と慰撫を助ける友人や親族」の被ばくを医療被ばくと定義し、「患者の訪問者と核医学患者が退院したときの自宅における家族との両方に対する防護の方針を決めるさい用いるために線量拘束値を設定すべきである。こうしたグループには小児が含まれることがある。委員会はこのような拘束値を勧告しなかったが、1件につき数 mSv 程度の値が合理的と思われる。」としている。

一方、国際原子力機関(IAEA)は「診断又は治療を受けている患者の介護、介助及び慰安を自発的に助ける(職業としてでなく)あいだに承知の上で被ばくする個人に対する線量、及び治療量の放射性核種を受けた患者又は小線源治療用線源で処置されている患者の訪問者に対する線量を、附則ⅡのⅡ-9項に定めるレベルを超えないように拘束しなければならない。」としている。なお、附則Ⅱ-9項では、「患者の診断検査又は治療の期間中の線量が5mSvを超えることがないように、拘束されなければならない。放射性物質を経口摂取した患者を訪問する子供の線量は、同様に、1mSv以下に拘束すべきである。」としている。

以上を参考に、本指針では、公衆及び介護者(被ばくを承知の上で患者の介護、慰撫にあたる家族や訪問者など。患者を訪問する子供は除く。以下同じ。)、患者を訪問する子供について抑制すべき線量の

基準として、公衆に対しては1年間につき1ミリシーベルト、介護者については、患者及び介護者の双方に便益があることを考慮して1行為当たり5ミリシーベルト、患者を訪問する子供については1行為当たり1ミリシーベルトとし、放射能及び線量率による基準を定めた。なお、1年間に複数回の被ばくが起る可能性があるならば、それを考慮しなければならない。

退出に当たっては、3-1 放射能及び線量率による基準、3-2 診療用放射線照射器具を挿入された後の線源脱落の対策、3-3 患者への注意および指導事項の3項目よりなる退出基準を遵守することとする。

3-1 放射能及び線量率による基準

医療法に基づいて診療用放射線照射器具を永久的に挿入された患者が病院内の診療用放射線照射器具使用室あるいは放射線治療病室等から退出する場合には、以下の(1)、(2)いずれかの基準を満たさなければならない。

(1) 適用量あるいは減衰を考慮した残存放射能に基づく基準

適用量あるいは減衰を考慮した残存放射能が表1に示す放射能を超えないこと。

(2) 測定線量率に基づく基準

患者の体表面から1メートル離れた地点で測定された線量率が表1に示す1センチメートル線量当量率を超えないこと。

表1. 診療用放射線照射器具を永久的に挿入された患者の退出における放射能と線量率

診療用放射線照射器具	適用量または体内残存放射能 (MBq)	患者の体表面から1メートル離れた地点における1センチメートル線量当量率 ($\mu\text{Sv/h}$)
ヨウ素 125 シード (前立腺に適用した場合)*1)	1,300	1.8
金 198 グレイン	700	40.3

*1) 前立腺以外の部位にヨウ素 125 シードを適用する場合、当該部位における組織等の吸収を考慮して放射能と線量率を計算で求め、公衆及び介護者、患者を訪問する子供について抑制すべき線量の基準を遵守することとする。

(1)、(2)の基準値は適用量、物理的半減期、患者の体表面から1メートル離れた地点における占有係数^(注1)、実効線量率定数^(注2)(ヨウ素 125 シードを前立腺に用いる場合は臓器等の吸収を考慮した見掛けの実効線量率定数)に基づいて計算したものである。

3-2 診療用放射線照射器具を挿入された後の線源脱落の対策

診療用放射線照射器具の脱落に備えるため、挿入後は診療用放射線照射器具ごとに以下の対策を講ずること。

(1) ヨウ素 125 シード

前立腺に挿入されたヨウ素 125 シードが膀胱や尿道に脱落する症例は1%程度とされている。万一、膀胱や尿道への脱落が術中に確認された場合は、膀胱鏡による検査を施行して脱落したシードを回収することとする。回収せず膀胱や尿道に脱落したシードは翌日までに尿中(体外)に排出されるため、患者を管理区域内に少なくとも1日入院させ、この間に尿中に排泄された線源の有無を確認したのち帰宅させること。

(2) 金 198 グレイン

治療部位によっては、挿入された線源が脱落することがあるが、使用施設へのアンケート調査^(注3)によると、全ての線源脱落は挿入後三日以内であった。したがって、線源挿入後少なくとも3日間は放射線治療病室に入院させ、脱落に十分備えること。

以上を踏まえた上で、線源脱落の確認のため、表2に従って管理すること。

表2. 線源脱落の確認のための施設条件と入院期間

診療用放射線照射器具	入院させる施設条件	挿入後の最低入院期間
ヨウ素 125 シード (前立腺に適用した場合) ^{*2)}	管理区域 ^{*3)} とした一般病室 ^{*4)}	1 日間
金 198 グレイン	放射線治療病室	3 日間

*2) 前立腺以外の部位にヨウ素 125 シードを適用する場合、当該部位からの脱落を考慮した入院期間を設定し、管理区域とした一般病室に入院させること。

*3) 管理区域においては、医療法施行規則に従って、人がみだりに立ち入らないような措置を講じ、当該病室に立ち入る放射線診療従事者等の被ばく防止をはかるほか、放射線の量の測定、記録などを実施すること。また、管理区域で診療に当たる放射線診療従事者については、適切な教育を施すこと。なお、平成13年3月12日付け医薬発第188号通知(以下第188号通知)において一時的に管理区域を設けることが可能とされている。

*4) ヨウ素 125 シードを前立腺に適用する場合、診療用放射線照射器具使用室からの退出の際、他の患者が被ばくする線量が3月間につき1.3ミリシーベルトを超えるおそれのあるときは放射線治療病室に入院させること。(医療法施行規則第30条の15、第188号通知)

3-3 患者への注意及び指導事項

米国原子力規制委員会の指針(NUREG-1556 Vol.9)を参考として、患者が退出する際に患者に対して注意及び指導する事項を以下に定めた。患者の退出を許可するに当たっては、以下(1)～(3)に示す注意及び指導を患者及び家族に対して口頭及び書面で行うこと。

(1) 3-1 放射能及び線量率による基準は、一般公衆と患者の接触による被ばくを、1m離れた地点で三者が無限時間患者から受ける放射線被ばくの25%であるとの仮定の基に定めたものである。したがって、退院後の第三者に対する被ばくがこの仮定を超えるおそれのないよう、以下に示す注意及び指導が必要である。

ヨウ素 125 シード:

次の(ア)～(エ)のいずれかに該当する場合には、一定期間、防護具等でしゃへいを行うなど、適切な防護措置を講じること。

- (ア) 患者を訪問する子供あるいは妊婦と接触する場合
- (イ) 公共の交通機関を利用する場合
- (ウ) 職場で勤務する場合
- (エ) 同室で就寝する者がいる場合

金 198 グレイン:

次の(ア)～(エ)のいずれかに該当する場合には、一定期間、適切な防護措置を講じること。

- (ア) 患者を訪問する子供あるいは妊婦と接触する場合
- (イ) 公共の交通機関を利用する場合
- (ウ) 職場で勤務する場合

(エ) 同室で就寝する者がいる場合

- (2) 退出後一定期間内に脱落線源を発見した場合は直接手で触らず、スプーン等で拾い上げ、瓶などに密閉して速やかに担当医に届け出ること。
- (3) 治療後早期に患者が亡くなることは稀であるが、治療後一定期間内に患者が死亡した場合、担当医と連絡を密に取り、火葬に付す前に剖検にて線源をとりだす必要があること。

4. 記録に関する事項

退出を認めた場合は適用量、退出した日時、退出時に測定した線量率、患者への具体的な注意及び指導事項等について記録し、これを1年ごとに閉鎖し、閉鎖後2年間保存すること。

(注1) 着目核種の点線源(この場合は患者)から1m離れた地点に無限時間(核種がすべて崩壊するまでの時間)滞在したときの積算線量と実際に第三者が患者から受けると推定される線量との比。米国連邦規則の放射性医薬品及び永久刺入(放射性医療用具を永久的に挿入する治療)により治療された患者の退出に関する基準(10CFR35.75)及び米国原子力規制委員会の規制指針(NRC Regulatory Guide 8.39)における Occupancy factor を指す。

(注2) 核種に固有の定数で、単位放射能(MBq)の線源から単位距離(1m)離れた点における実効線量率($\mu\text{Sv/h}$)を表すための換算係数。単位は $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

(注3) 過去5年間に金198グレインによる治療を実施した21施設中、脱落の経験なしが6施設、24時間以内の脱落が11施設、48時間以内の脱落が2施設、72時間以内の脱落が2施設であった(日本放射線腫瘍学会小線源部会が平成13年9月に行った実績調査による)。

診療用放射線照射器具を永久的に挿入された患者の退出について

(平成15年3月13日)

(各都道府県衛生主管部(局)主管課長あて厚生労働省医薬局安全対策課長事務連絡)

標記については、平成15年3月13日付け医薬安第0313001号厚生労働省医薬局安全対策課長通知により各都道府県主管部(局)長あてに通知したところですが、指針の周知徹底にあたって参考とされるよう、指針の退出基準の計算等に関してまとめた資料(別添)を送付いたします。

退出基準計算等に関する資料

1 永久的挿入による治療に用いられる診療用放射線照射器具の適用

患部へ永久的に挿入する放射線治療に用いる診療用放射線照射器具には、ヨウ素 125 シードと金 198 グレインがある。

1-1 ヨウ素 125 シードを用いた治療

放射性ヨウ素 125 シードとは、チタンカプセルに封入し密封された放射性同位元素であり、80 個程度、放射能の量として 1,295MBq 程度を前立腺がん等の患部に永久的に挿入して組織内照射を行い、治療するものである。ヨウ素 125 から放出される放射線のエネルギーが非常に低いことから(表1)、挿入された前立腺がん等以外の正常組織・臓器に対する放射線障害が比較的少ない治療法として優れた特徴を有している。

1-2 金 198 グレインを用いた治療

放射性金 198 グレインは、白金カプセルで被覆し、密封された放射性同位元素であり、舌がんをはじめとした頭頸部がん等の患部に永久的に挿入して組織内照射を行い、治療するものである。

表 1 永久的挿入による放射線治療に用いられる診療用放射線照射器具の核種の物理的特性¹⁾

核種	半減期 (日)	壊変形式	主なβ線の エネルギー(MeV)	主な光子の エネルギー(MeV)	実効線量率定数* ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)
ヨウ素 125	59.40	EC	100%	0.0355 6.7% 0.0275 114% Te-K α 0.0310 25.9% Te-K β	0.0124
金 198	2.695	β^-	0.285 0.99% 0.961 99.0%	0.412 95.6% 0.676 0.80% 1.088 0.16% 0.0708 2.2%Hg-K α	0.0576

* 組織・臓器による吸収を考慮しない値

2. 退出基準の計算に関する考え方

診療用放射線照射器具の永久的な挿入により治療を受けている患者から第三者への放射線被ばく線量の計算に当たっては、以下の点を考慮した。

1) 公衆被ばくの線量限度: 1 ミリシーベルト/年

公衆被ばくの線量限度については ICRP Publication 60 (1990 年) 勧告 (1 年間について 1 ミリシーベルトの実効線量) を採用する。

2) 介護者 (被ばくを承知の上で患者の介護、慰撫にあたる家族や訪問者など。患者を訪問する子供は除く。以下同じ) の積算線量値: 5 ミリシーベルト/行為

3) 患者を訪問する子供の被ばくの積算線量値: 1 ミリシーベルト/行為

介護者及び患者を訪問する子供に対する被ばくについては、下記の国際的な勧告を参考にした。

・ICRP Publication 73 (1996 年) 勧告「医学における放射線の防護と安全」の 95 項において患者の介護と慰撫を助ける友人や親族の志願者の被ばくを医療被ばくと位置付け、患者の訪問者、患者が帰宅したときの自宅における家族に対する防護の方針を決めるために設定すべき線量拘束値は一行為当たり数 mSv (場合によってはそれ以上) が合理的であるとしている。

・IAEA Safety Series No.115「電離放射線に対する防護と放射線源の安全のための国際基本安全基準(BSS)」(1996 年)において、被ばくを承知の上で患者の介護、慰撫にあたる家族や訪問者などの線量拘束値について、1 行為当たり 5mSv、病人を訪問する子供については、1mSv 以下に抑制すべきであるとしている。

4) 占有係数(Occupancy factor)

患者と接する時間や、その際の患者との距離は、被ばく線量と関係する要素となる。したがって、第三者の被ばく線量を評価するうえで考慮すべき因子である占有係数^{注)}については、個人ごとのかかわりの程度を勘案して設定する必要がある。

注) 着目核種の点線源(この場合は患者)から 1m 離れた地点に無限時間(核種がすべて崩壊するまでの時間)滞在したときの積算線量と実際に第三者が患者から受けると推定される線量との比。

(1) 介護者に関する占有係数: 0.5 (1m 離れた地点で 1 日当たり 12 時間接触に相当)

放射性医薬品であるヨウ素-131 の投与を受けた患者に関する実測値に基づき、手厚い看護を必要とする場合は占有係数 0.5 の適用が合理的であるとする報告がある²⁾。また、同医薬品の投与患者からの被ばく線量を測定した我が国の調査の結果でも係数 0.5 を用いるのが適当とされている³⁾。

以上より、診療用放射線照射器具で治療を受けた患者を介護する者の実効線量の計算においては、占有係数として 0.5 を採用することとする。

(2) 公衆に関する占有係数: 0.25 (1m 離れた地点で 1 日当たり 6 時間接触に相当)

一般家庭における、患者の家族の被ばく線量の実測値に基づき、占有係数 0.25 の採用が妥当であるとする報告がある⁴⁾。

本計算では、患者の退出・帰宅後の、介護者以外の家族、及びその他の一般公衆に対する占有係数として、0.25 を採用することとする。

5) 外部被ばくの線量評価に用いる実効線量率定数

(1) ヨウ素 125 シード: $0.0014 [\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}]$

ヨウ素 125 の実効線量率定数は表 1 に示したとおり $0.0124 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ である。しかしながら、ヨウ素 125 シードを前立腺に適用した場合は前述のように患者自身の組織・臓器による吸収が著しく、患者の身体外へ漏洩する線量は実際には非常に少ないと考えられる。

事実、米国におけるヨウ素 125 シードを前立腺がんを永久的に挿入された患者からの実効線量の測定結果が、規定値を大きく下回ったと報告されている⁵⁾。また、第三者に対する被ばく線量の計算の際、米国では前立腺がんをヨウ素 125 シードを永久的に挿入された患者の組織・臓器による吸収は 5 半価層(患者の外に漏洩する線量は 1/32 となる)であるとの報告を採用して計算評価を行っている⁶⁾。さらに、我が国におけるヨウ素 125 シードをファントムの前立腺に埋め込んだ線量評価実験により、見掛けの 1cm 線量当量率定数は $0.0014 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ と報告されている⁷⁾。

以上により、前立腺にヨウ素 125 シードを挿入された患者から治療患者以外の第三者が被ばくする線量の計算においては、患者の組織・臓器による吸収を考慮し、点線源から 1m 離れた地点における見掛けの実効線量率定数 $0.0014 \mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ を採用することとする。

一方、前立腺以外の部位にヨウ素 125 シードを適用した場合には、当該部位の実効線量率定数に基づいて治療患者以外の第三者が被ばくする線量の計算を行うこととする。

(2) 金 198 グレイン: $0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}]$

金 198 グレインは表 1 に示すように、ガンマ線のエネルギーが比較的高く、挿入部位も主に頭頸部であり、組織・臓器による吸収を考慮に入れないこととする。

6) 体内残存放射能について

診療用放射線照射器具は密封された線源であるため、生体において代謝や排泄を受けない。したがって、体内残存放射能は物理的半減期(表 1)のみを適用することとする。

7) 内部被ばくについて

診療用放射線照射器具は密封された線源であるため、内部被ばくは考慮しないこととする。

3. 適用量及び線量率による基準の計算

3-1 永久的に挿入された患者から介護者が受ける線量による基準 計算方法

E 核種が全て崩壊するまでに人が受ける実効線量 (μSv)

A 放射能[MBq]

Γ 実効線量率定数 [$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]

T 核種の物理的半減期[h]

f_0 占有係数

とすると、式(1)が成り立つ。

$$E = A \times \int_0^{\infty} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} dt \times \Gamma \times f_0 = A \times \Gamma \times T \times f_0 \div \ln 2 \quad (1)$$

1) ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入された患者から介護者が受ける線量 <仮定>

E 5,000 μSv (介護者に対して守るべき線量)

A Q_0 [MBq]とする

Γ 0.0014 [$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$] (患者の体による吸収を考慮に入れた見掛けの実効線量率定数)

T 1,425.6[h] (59.4[d])

f_0 0.5

<計算>

核種が全て崩壊するまでにヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入された患者から介護者が受ける実効線量が介護者に対して抑制すべき線量の基準(1 行為当たり 5mSv)を担保するための患者の体内残存放射能は(1)式より、以下のように計算される。

$$\begin{aligned} 5,000[\mu\text{Sv}] &= Q_0[\text{MBq}] \times 0.0014[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times 1,425.6[\text{h}] \times 0.5 \div 0.693 \\ \therefore Q_0[\text{MBq}] &= 5,000[\mu\text{Sv}] \times 0.693 \div (0.0014[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times 1,425.6[\text{h}] \times 0.5) \\ &= 3,472.2[\text{MBq}] \end{aligned}$$

以上により、適用量あるいは減衰を考慮した残存放射能が 3,472MBq 以下のとき、介護者に対して抑制すべき線量の基準である 5mSv を超えない。なお、この時点での患者の体表面から 1m 離れた地点における線量率は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} 3,472[\text{MBq}] \times 0.0014[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \\ = 4.86[\mu\text{Sv}/\text{h}] \end{aligned}$$

2) 金 198 グレインを永久的に挿入された患者から介護者が受ける線量

<仮定>

- E 5,000 μSv (介護者に対して守るべき線量)
A $Q_0[\text{MBq}]$ とする
 Γ 0.0576 [$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$] (患者の体による吸収を考慮に入れない実効線量率定数)
T 64.68[h] (2.695[d])
 f_0 0.5

<計算>

核種が全て崩壊するまでに金 198 グレインを永久的に挿入された患者から介護者が受ける実効線量が介護者に対して抑制すべき線量の基準(1 行為当たり 5mSv)を担保するための患者の体内残存放射能は(1)式より、以下のように計算される。

$$5,000[\mu\text{Sv}] = Q_0[\text{MBq}] \times 0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times 64.68[\text{h}] \times 0.5 \div 0.693$$
$$\therefore Q_0[\text{MBq}] = 5,000[\mu\text{Sv}] \times 0.693 \div (0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times 64.68[\text{h}] \times 0.5)$$
$$= 1,860.1[\text{MBq}]$$

以上により、適用量あるいは減衰を考慮した残存放射能が 1,860MBq 以下のとき、介護者に対して抑制すべき線量の基準である 5mSv を超えない。なお、この時点での患者の体表面から 1m 離れた地点における線量率は以下のとおりとなる。

$$1,860[\text{MBq}] \times 0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}]$$
$$= 107.14[\mu\text{Sv}/\text{h}]$$

3-2 永久的に挿入された患者から患者を訪問する子供が受ける線量による基準

1) ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入された患者から患者を訪問する子供が受ける線量

<仮定>

- E 1,000 μSv (子供に対して抑制すべき線量の基準)
A $Q_0[\text{MBq}]$ とする
 Γ 0.0014 [$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$] (患者の体による吸収を考慮に入れた見掛けの実効線量率定数)
T 1,425.6[h] (59.4[d])
 f_0 0.25

<計算>

核種が全て崩壊するまでにヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入された患者から患者を訪問する子供が受ける実効線量が患者を訪問する子供に対して抑制すべき線量の基準(1 行為当たり 1mSv)を担保するための患者の体内残存放射能は(1)式より、以下のように計算される。

$$1,000[\mu\text{Sv}] = Q_0[\text{MBq}] \times 0.0014[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times 1,425.6[\text{h}] \times 0.25 \div 0.693$$
$$\therefore Q_0[\text{MBq}] = 1,000[\mu\text{Sv}] \times 0.693 \div (0.0014[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times 1,425.6[\text{h}] \times 0.25)$$
$$= 1,388.8[\text{MBq}]$$

以上により、適用量あるいは減衰を考慮した残存放射能が 1,388MBq 以下のとき、患者を訪問する子供に対して抑制すべき線量の基準である 1mSv を超えない。なお、この時点での患者の体表面から 1m 離れた地点における線量率は以下のとおりとなる。

$$1,388[\text{MBq}] \times 0.0014[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}]$$
$$= 1.94[\mu\text{Sv}/\text{h}]$$

2) 金 198 グレインを永久的に挿入された患者から患者を訪問する子供が受ける線量

- E 1,000 μSv (子供に対して抑制すべき線量の基準)
A $Q_0[\text{MBq}]$ とする
 Γ $0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}]$ (患者の体による吸収を考慮に入れない実効線量率定数)
T 64.68 時間 (2.695 日)
 f_0 0.25

<計算>

核種が全て崩壊するまでに金 198 グレインを永久的に挿入された患者から患者を訪問する子供が受ける実効線量が患者を訪問する子供に対して抑制すべき線量の基準(1 行為当たり 1mSv)を担保するための患者の体内残存放射能は(1)式より、以下のように計算される。

$$\begin{aligned} 1,000[\mu\text{Sv}] &= Q_0[\text{MBq}] \times 0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times 64.68[\text{h}] \times 0.25 \div 0.693 \\ \therefore Q_0[\text{MBq}] &= 1000[\mu\text{Sv}] \times 0.693 \div (0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times 64.68[\text{h}] \times 0.25) \\ &= 744.0[\text{MBq}] \end{aligned}$$

以上により、適用量あるいは減衰を考慮した残存放射能が 744MBq 以下のとき、患者を訪問する子供に対して抑制すべき線量の基準である 1mSv を超えない。なお、この時点での患者の体表面から 1m 離れた地点における線量率は以下のとおりとなる。

$$\begin{aligned} 744[\text{MBq}] \times 0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \\ = 42.85[\mu\text{Sv}/\text{h}] \end{aligned}$$

3-3 永久的に挿入された患者から一般公衆が 1 年間に受ける線量による基準
計算方法

- E_y 1 年間 $((365[\text{d}] + 1/4[\text{d}]) \times 24[\text{h}/\text{d}] = 8,766[\text{h}])$ に人が受ける実効線量 ($\mu\text{Sv}/\text{年}$)
A 放射能[MBq]
 Γ 実効線量率定数 [$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]
T 核種の物理的半減期[h]
 f_0 占有係数

とすると、式(2)が成り立つ。

$$E_y = A \times \int_{0[h]}^{8,766[h]} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} dt \times \Gamma \times f_0 \quad (2)$$

1) ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入された患者から一般公衆が 1 年間に受ける線量
<仮定>

- E_y 1,000 $\mu\text{Sv}/\text{年}$ (一般公衆に対して守るべき線量)
A $Q_0[\text{MBq}]$ とする
 Γ $0.0014[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}]$ (患者の体による吸収を考慮に入れた見掛けの実効線量率定数)
T 1,425.6[h] (59.4[d])
 f_0 0.25

<計算>

ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入された患者から一般公衆が受ける実効線量が一般公衆の線量限度値(1 年当たり 1mSv)を担保するための患者の体内残存放射能は(2)式より、以下のように計算される。

$$1,000 [\mu\text{Sv} / \text{年}] = Q_0 [\text{MBq}] \times \int_{0[h]}^{8,766[h]} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t[h]}{1,425.6[h]}} dt \times 0.0014 [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 0.25$$

$$\therefore Q_0 = 1,409.0 [\text{MBq}]$$

以上により、適用量あるいは減衰を考慮した残存放射能が 1,409MBq 以下のとき、公衆被ばくの線量限度である 1mSv/年を超えない。なお、この時点での患者の体表面から 1m 離れた地点における線量率は以下のとおりとなる。

$$1,409 [\text{MBq}] \times 0.0014 [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \\ = 1.97 [\mu\text{Sv}/\text{h}]$$

2) 金 198 グレインを永久的に挿入された患者から一般公衆が 1 年間に受ける線量

E_y 1,000 $\mu\text{Sv}/\text{年}$ (一般公衆に対して守るべき線量)

A Q_0 [MBq] とする

Γ 0.0576 [$\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$] (患者の体による吸収を考慮に入れない実効線量率定数)

T 64.68[h] (2.695[d])

f_0 0.25

<計算>

金 198 グレインを永久的に挿入された患者から一般公衆が受ける実効線量が一般公衆の線量限度値(1年当たり 1mSv)を担保するための患者の体内残存放射能は(2)式より、以下のように計算される。

$$1,000 [\mu\text{Sv} / \text{年}] = Q_0 [\text{MBq}] \times \int_{0[h]}^{8,766[h]} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t[h]}{64.68[h]}} dt \times 0.0576 [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times 0.25$$

$$\therefore Q_0 = 744.2 [\text{MBq}]$$

以上により、適用量あるいは減衰を考慮した残存放射能が 744MBq 以下のとき、公衆被ばくの線量限度である 1mSv/年を超えない。なお、この時点での患者の体表面から 1m 離れた地点における線量率は以下のとおりとなる。

$$744 [\text{MBq}] \times 0.0576 [\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \\ = 42.85 [\mu\text{Sv}/\text{h}]$$

3-4 放射能及び線量率による基準

3.1～3.3 を下表にまとめた。

線量評価の対象	ヨウ素 125 シード 前立腺に適用した場合		金 198 グレイン	
	残存放射能 (MBq)	線量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)	残存放射能 (MBq)	線量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)
介護者の被ばく	3,472.2	4.86	1,860.1	107.14
患者を訪問する子 供の被ばく	1,388.8	1.94	744.0	42.85
公衆の被ばく	1,409.0	1.97	744.2	42.85
放射能及び線量 率による基準	1,300	1.8	700	40.3

全ての基準を満たし、かつ、実施しやすい値として、放射能及び線量率による基準を最下段のように規定する。

4. 患者への注意及び指導事項の考え方及び根拠

3-4 で定めた放射能および線量率による基準は一般公衆及び患者を訪問する子供と患者の接触を全崩壊により1m離れた地点において第三者が受ける放射線被ばくの25%であるとの仮定に基づいたものである。したがって、この仮定を超えるおそれのある場合には適切な防護措置を講じる必要がある。

考え方の参考として、以下に一例を示す。実際には、退出時に家族構成や生活様式等の実情を患者より聴取し、患者各々にあった指導を行うこと。

計算方法(防護具等のしゃへいなし)

- E 人が受ける実効線量(μSv)
- A 退出時の体内残存放射能[MBq]
- t_0 退出時から評価開始までの時間[h]
- t_e 退出時から評価終了までの時間[h]
- Γ 実効線量率定数[$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]
- T 核種の物理的半減期[h]
- L ヨウ素 125 シードあるいは金 198 グレインを永久的に挿入された患者から評価する人までの距離[m]
- C_t ヨウ素 125シードあるいは金 198グレインを永久的に挿入された患者と1日当たり接触時間[h/d]
- D ヨウ素 125 シードあるいは金 198 グレインを永久的に挿入された患者と1週間当たりの接触する日数

とすると、式(3)が成り立つ。

$$E = A \times \int_{t_0}^{t_e} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} dt \times \Gamma \times \left(\frac{1}{L}\right)^2 \times \frac{C_t}{24} \times \frac{D}{7} \quad (3)$$

計算方法(一定期間、防護具等のしゃへいあり)

- E 人が受ける実効線量(μSv)
- A 退出時の体内残存放射能[MBq]
- t_0 退出時から評価開始までの時間[h]
- S 評価開始時から患者が防護具を装着する期間[h]
- t_e 退出時から評価終了までの時間[h]
- F_a 防護具の透過率
- Γ 実効線量率定数[$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]
- T 核種の物理的半減期[h]
- L ヨウ素 125 シードあるいは金 198 グレインを永久的に挿入された患者から評価する人までの距離[m]
- C_t ヨウ素 125シードあるいは金 198グレインを永久的に挿入された患者と1日当たり接触時間[h/d]
- D ヨウ素 125 シードあるいは金 198 グレインを永久的に挿入された患者と1週間当たりの接触する日数

とすると、式(4)が成り立つ。

$$E = A \times \left(\int_{t_0}^{S+t_0} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} dt \times Fa + \int_{S+t_0}^{t_e} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}} dt \right) \times \Gamma \times \left(\frac{1}{L} \right)^2 \times \frac{Ct}{24} \times \frac{D}{7} \quad (4)$$

4-1 ヨウ素 125 シードの場合

ヨウ素 125 は非常にエネルギーが低く、防護具等により容易にしゃへいが可能である。したがって、一般公衆の被ばくが限度値を超えるおそれのある場合には適切な防護具を装着することによって対処可能である。体表面から出てくる放射線のエネルギーが I-125 の最高エネルギーである 35.492keV であると仮定した場合の 0.1mm 厚の鉛の透過率は 0.1085 である。

1) 同居する妊婦あるいは患者を訪問する子供の被ばく(患者を訪問する子供に対して抑制すべき線量の基準:1mSv)

(1) 1m の距離で 1 日当たり 6 時間接触する場合(占有係数 0.25 に相当)

ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能 1300MBq で退出し、防護具を装着していない患者と 1m 離れた地点で 1 日当たり 6 時間接触する場合の被ばく線量は(3)式より以下のように計算される。

< 仮定 >

E	核種が全て崩壊するまでに人が受ける実効線量 (μSv)
A	1,300[MBq]
t_0	0 時間
t_e	∞ [h]
Γ	0.0014 [$\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$]
T	1,425.6[h] (59.4[d] \times 24[h/d])
L	1[m]
Ct	6[h/d]
D	7[d]

< 計算 >

$$E = 1,300[\text{MBq}] \times \int_{0[h]}^{\infty[h]} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t[h]}{1,425.6[h]}} dt \times 0.0014[\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \cdot \left(\frac{1}{1[\text{m}]} \right)^2 \times \frac{6[h]}{24[h]} \times \frac{7[d]}{7[d]}$$

$$= 0.936[\text{mSv}]$$

以上により、ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能 1300MBq で退出し、防護具を装着していない患者と 1m 離れた地点で 1 日当たり 6 時間接触するとき、妊婦あるいは患者を訪問する子供に対する積算線量は患者を訪問する子供に対して抑制すべき線量の基準である 1mSv を超えない。

(2) 患者を訪問する子供を抱く場合

ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能 1300MBq で退出する患者が毎日患者を訪問する子供を 20 分間抱くと仮定して、最初の 7 月間防護具(0.1mm 厚鉛相当)を装着する場合の患者を訪問する子供の被ばく線量は(4)式より以下のように計算される。

< 仮定 >

E	核種が全て崩壊するまでに人が受ける実効線量 (μSv)
A	1,300[MBq]
t_0	0 時間
S	5114[h] ((365[d]+1/4[d]) \times 7[month] \div 12[month] \times 24[h/d])
t_e	∞ [h]
Fa	0.1085
Γ	0.0014[$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]
T	1,425.6[h] (59.4[d] \times 24[h/d])
L	0.1[m]
t	0.33[h/d] (20[min] \div 60[min])
D	7[d]

<計算>

$$E = 1,300[\text{MBq}] \times \left(\int_0^{5,114[\text{h}]} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t[\text{h}]}{1,425.6[\text{h}]}} dt \times 0.1085 + \int_{5,114[\text{h}]}^{\infty[\text{h}]} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t[\text{h}]}{1,425.6[\text{h}]}} dt \right) \\ \times 0.0014[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times \left(\frac{1}{0.1[\text{m}]} \right)^2 \times \left(\frac{0.33[\text{h}]}{24[\text{h}]} \right) \times \frac{7[\text{d}]}{7[\text{d}]} \\ = 0.94[\text{mSv}]$$

以上により、ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能 1300MBq で退出する患者が患者を訪問する子供を毎日 20 分間抱き、かつ最初の 7 月間防護具(0.1mm 厚鉛相当)を装着するとき、患者を訪問する子供に対する積算線量は患者を訪問する子供に対して抑制すべき線量の基準である 1mSv を超えない。長時間抱く必要がある場合はよりしゃへい能力の高い防護具を装着することも出来る。

2) 職場で勤務する場合

(1) 職場の第三者の被ばく(1 日当たり 8 時間、防護具装着なし)

ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能 1300MBq で退出し、防護具を装着していない患者と 1m 離れた地点で 8 時間、週 5 日間接触する場合の 1 年間の被ばく線量は(3)式より以下のように計算される。

<仮定>

E	1 年間に人が受ける実効線量 ($\mu\text{Sv}/\text{年}$)
A	1,300[MBq]
t_0	0 時間
t_e	8,766[h] ((365[d]+1/4[d]) \times 24[h/d])
Γ	0.0014[$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]
T	1,425.6[h] (59.4[d] \times 24[h/d])
L	1[m]
Ct	8[h/d]
D	5[d]

<計算>

$$E = 1,300[MBq] \times \int_{0[h]}^{8,766[h]} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t[h]}{1,425.6[h]}} dt \times 0.0014[\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}] \times \left(\frac{1}{1[m]}\right)^2 \times \frac{8[h]}{24[h]} \times \frac{5[d]}{7[d]}$$

$$= 0.879[mSv/年]$$

以上により、ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能 1300MBq で退出し、防護具を装着していない患者と 1m 離れた地点で 1 日当たり 8 時間、週 5 日間接触するとき、職場の第三者の被ばく線量は公衆被ばくの線量限度である 1mSv/年を超えない。

また、労働基準法を参考に、年間労働時間を 2,440 時間とし、年間 52 週間、週 5 日間勤務する場合の 1 日平均労働時間は 9.4 時間である。ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能 1300MBq で退出し、かつ最初の 5 日間は 0.1mm 厚鉛相当の防護具を装着する患者と 1m 離れた地点で 1 日当たり 9.4 時間、週 5 日間接触する場合の 1 年間の被ばく線量は(4)式より以下のように計算される。

<仮定>

E	1 年間に人が受ける実効線量 ($\mu Sv/年$)
A	1,300[MBq]
t_0	0 時間
S	120[h] (5[d] × 24[h/d])
t_e	8,766[h] ((365[d]+1/4[d]) × 24[h/d])
Fa	0.1085
Γ	0.0014[$\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$]
T	1,425.6[h] (59.4[d] × 24[h/d])
L	1[m]
Ct	9.4[h/d]
D	5[d]

<計算>

$$E = 1,300[MBq] \times \left(\int_{0[h]}^{120[h]} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t[h]}{1,425.6[h]}} dt \times 0.1085 + \int_{120[h]}^{8,766[h]} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t[h]}{1,425.6[h]}} dt \times \frac{5[d]}{7[d]} \right)$$

$$\times 0.0014[\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}] \times \left(\frac{1}{1[m]}\right)^2 \times \left(\frac{9.4[h]}{24[h]}\right)$$

$$= 0.982[mSv/年]$$

以上により、ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能 1300MBq で退出し、かつ最初の 5 日間は 0.1mm 厚鉛相当の防護具を装着する患者と 1m 離れた地点で 1 日当たり 9.4 時間、週 5 日間接触するとき、職場の第三者の被ばく線量は公衆被ばくの線量限度である 1mSv/年を超えない。

(2) 通勤時の周囲の人の被ばく

電車等公共の輸送機関を利用して通勤する場合、患者には他の人となるべく距離をとるように指導しておく必要がある。その上でヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能 1300MBq で退出し、防護具を装着していない患者と 1m 離れた地点で 1 日当たり 1 時間、週 5 日

間接触する場合の1年間の被ばく線量は(3)式より以下のように計算される。

<仮定>

E	1年間に人が受ける実効線量($\mu\text{Sv}/\text{年}$)
A	1,300[MBq]
t_0	0時間
t_e	8,766[h] ((365[d]+1/4[d]) \times 24[h/d])
Γ	0.0014[$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]
T	1,425.6[h] (59.4[d] \times 24[h/d])
L	1[m]
Ct	1[h/d]
D	5[d]

<計算>

$$E = 1,300[\text{MBq}] \times \int_{0[h]}^{8,766[h]} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t[h]}{1,425.6[h]}} dt \times 0.0014[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \cdot \left(\frac{1}{1[\text{m}]}\right)^2 \times \frac{1[\text{h}]}{24[\text{h}]} \times \frac{5[\text{d}]}{7[\text{d}]}$$

$$= 0.11[\text{mSv}/\text{年}]$$

以上により、ヨウ素125シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能1300MBqで退出し、防護具を装着していない患者と1m離れた地点で1日当たり1時間、週5日間接触するとき、第三者の被ばく線量は公衆被ばくの線量限度である1mSv/年を超えない。

また、混雑する電車等での通勤により十分距離が取れない場合は、適切な防護具等を装着するよう指導する。ヨウ素125シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能1300MBqで退出し、かつ最初の3週間(21日間)、0.1mm厚鉛相当の防護具を装着する患者と0.3m離れた地点で1日当たり1時間、週5日間接触する場合の1年間の被ばく線量は(4)式より以下のように計算される。

<仮定>

E	1年間に人が受ける実効線量($\mu\text{Sv}/\text{年}$)
A	1,300[MBq]
t_0	0時間
S	504[h] (21[d] \times 24[h/d])
t_e	8,766[h] ((365[d]+1/4[d]) \times 24[h/d])
Fa	0.1085
Γ	0.0014[$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]
T	1,425.6[h] (59.4[d] \times 24[h/d])
L	0.3[m]
Ct	1[h/d]
D	5[d]

<計算>

$$E = 1,300[MBq] \times \left(\int_{0[h]}^{504[h]} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t[h]}{1,425.6[h]}} dt \times 0.1085 + \int_{504[h]}^{8,766[h]} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t[h]}{1,425.6[h]}} dt \right) \\ \times 0.0014[\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}] \times \left(\frac{1}{0.3[m]} \right)^2 \times \left(\frac{1[h]}{24[h]} \right) \times \frac{5[d]}{7[d]} \\ = 0.98[mSv/\text{年}]$$

以上により、ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能 1300MBq で退出し、かつ最初の 3 週間 (21 日間)、0.1mm 厚鉛相当の防護具を装着する患者と 0.3m 離れた地点で 1 日当たり 1 時間、週 5 日間接触するとき、第三者の被ばく線量は公衆被ばくの線量限度である 1mSv/年を超えない。

3) 同室で就寝する場合

(1) 同室で就寝する介護者の被ばく (患者から 1m 離れた地点で 8 時間、防護具装着なし)

ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能 1300MBq で退出し、防護具を装着していない患者と 1m 離れた地点で毎日 8 時間接触する場合の被ばく線量は(3)式より以下のように計算される。

<仮定>

E	核種が全て崩壊するまでに人が受ける実効線量 (μSv)
A	1,300[MBq]
t_0	0 時間
t_e	∞ [h]
Γ	0.0014[$\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$]
T	1,425.6[h] (59.4[d] \times 24[h/d])
L	1[m]
Ct	8[h/d]
D	7[d]

<計算>

$$E = 1,300[MBq] \times \int_{0[h]}^{\infty[h]} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t[h]}{1,425.6[h]}} dt \times 0.0014[\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}] \times \left(\frac{1}{1[m]} \right)^2 \times \frac{8[h]}{24[h]} \times \frac{7[d]}{7[d]} \\ = 1.25[mSv]$$

以上により、ヨウ素 125 シードを前立腺に永久的に挿入され、体内残存放射能 1300MBq で退出し、防護具を装着していない患者と 1m 離れた地点で毎日 8 時間接触するとき、同室で就寝する介護者の被ばく線量は介護者に対して抑制すべき線量の基準である 5mSv を超えないが、就寝時の被ばくの他、患者介護時の被ばくも考慮し、指導しなければならない。

(2) 同室で就寝する妊婦あるいは患者を訪問する子供の被ばく (患者から 1m 離れた地点で 8 時間、防護具装着なし)

(1) の計算結果が示すように、同室で就寝する妊婦あるいは患者を訪問する子供の被ばくは 1.25 mSv になる。これは妊婦あるいは患者を訪問する子供に対して抑制すべき線量の基準である 1mSv を超える。したがって、妊婦あるいは患者を訪問する子供は同室で就寝しないことが望ましいが、避

けられない場合、患者からの距離、患者と接触する時間等を指導しなければならない。

4-2 金 198 グレインの場合

金 198 は半減期が短く、退出後、数日間は外出を控える等により、接触を避けることによって、第三者の被ばく線量を減らすことが出来る。

1) 同居する妊婦あるいは患者を訪問する子供の被ばく(患者を訪問する子供に対して抑制すべき線量の基準:1mSv)

(1) 1m の距離で 1 日当たり 6 時間接触する場合(占有係数 0.25 に相当)

金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出する患者と 1m 離れた地点で 1 日当たり 6 時間接触する場合の被ばく線量は(3)式より以下のように計算される。

<仮定>

E	核種が全て崩壊するまでに人が受ける実効線量 (μSv)
A	700[MBq]
t_0	0[h]
t_e	∞ [h]
Γ	$0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}]$
T	$64.68[\text{h}]$ ($2.695[\text{d}]\times 24[\text{h}/\text{d}]$)
L	1[m]
Ct	6[h/d]
D	7[d]

<計算>

$$E = 700[\text{MBq}] \times \int_{0[\text{h}]}^{\infty[\text{h}]} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t[\text{h}]}{64.68[\text{h}]}} dt \times 0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \cdot \left(\frac{1}{1[\text{m}]} \right)^2 \times \frac{6[\text{h}]}{24[\text{h}]} \times \frac{7[\text{d}]}{7[\text{d}]}$$

$$= 0.941[\text{mSv}]$$

以上により、金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出する患者と 1m 離れた地点で 1 日当たり 6 時間接触するとき、妊婦あるいは患者を訪問する子供に対する積算線量は患者を訪問する子供に対して抑制すべき線量の基準である 1mSv を超えない。

(2) 患者を訪問する子供を抱く場合

金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出する患者が、退出の日より 8 日目から患者を訪問する子供を毎日 20 分間抱いた場合の患者を訪問する子供の被ばく線量は(3)式より以下のように計算される。

<仮定>

E	核種が全て崩壊するまでに人が受ける実効線量 (μSv)
A	700[MBq]
t_0	168[h] ($7[\text{d}]\times 24[\text{h}/\text{d}]$)
t_e	∞ [h]
Γ	$0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}]$
T	$64.68[\text{h}]$ ($2.695[\text{d}]\times 24[\text{h}/\text{d}]$)

L	0.1[m]
Ct	0.33[h/d] (20[min] ÷ 60[min])
D	7[d]

<計算>

$$700[\text{MBq}] \times \int_{168[h]}^{\infty[h]} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t[h]}{64.68[h]}} dt \times 0.0576[\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times \left(\frac{1}{0.1[\text{m}]} \right)^2 \times \frac{0.33[h]}{24[h]} \times \frac{7[d]}{7[d]}$$

$$= 0.86[\text{mSv}]$$

以上により、金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出する患者が、退出の日より 8 日目から患者を訪問する子供を毎日 20 分間抱いたとき、患者を訪問する子供に対する積算線量は患者を訪問する子供に対して抑制すべき線量の基準である 1mSv を超えない。

2) 職場で勤務する場合

金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出する患者が、退出の翌日から職場で勤務する場合の、第三者の被ばくについて計算する。

(1) 職場の第三者の被ばく

金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出し、翌日より職場で勤務する患者と 1m 離れた地点で 1 日当たり 9.4 時間(ヨウ素 125 の場合と同様、労働基準法を参考に設定)、週 5 日間接触する場合の被ばく線量は(3)式より以下のように計算される。

<仮定>

E	1 年間に人が受ける実効線量(μSv/年)
A	700[MBq]
t ₀	24[h] (1[d] × 24[h/d])
t _e	8,766[h] ((365[d]+1/4[d]) × 24[h/d])
Γ	0.0576[μSv・m ² ・MBq ⁻¹ ・h ⁻¹]
T	64.68[h] (2.695[d] × 24[h/d])
L	1[m]
Ct	9.4[h/d]
D	5[d]

<計算>

$$700[\text{MBq}] \times \int_{24[h]}^{8,766[h]} \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t[h]}{64.68[h]}} dt \times 0.0576[\mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}] \times \left(\frac{1}{1[\text{m}]} \right)^2 \times \frac{9.4[h]}{24[h]} \times \frac{5[d]}{7[d]}$$

$$= 0.81[\text{mSv/年}]$$

以上により、金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出し、翌日より職場で勤務する患者と 1m 離れた地点で 1 日当たり 9.4 時間、週 5 日間接触するとき、職場の第三者の被ばく線量は公衆被ばくの線量限度である 1mSv/年を超えない。

(2) 通勤時の周囲の人の被ばく

金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出し、翌日より職場で勤務する

患者と1m離れた地点で1日当たり1時間週5日間接触する場合の被ばく線量は(3)式より以下のように計算される。

<仮定>

E	1年間に人が受ける実効線量($\mu\text{Sv}/\text{年}$)
A	700[MBq]
t_0	24[h] (1[d]×24[h/d])
t_e	8,766[h] ((365[d]+1/4[d])×24[h/d])
Γ	0.0576[$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]
T	64.68[h] (2.695[d]×24[h/d])
L	1[m]
Ct	1[h/d]
D	5[d]

<計算>

$$700[\text{MBq}] \times \int_{24[\text{h}]}^{8,766[\text{h}]} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t[\text{h}]}{64.68[\text{h}]}} dt \times 0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times \left(\frac{1}{1[\text{m}]}\right)^2 \times \frac{1[\text{h}]}{24[\text{h}]} \times \frac{5[\text{d}]}{7[\text{d}]}$$

$$=0.087[\text{mSv}/\text{年}]$$

以上により、金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出し、翌日より職場で勤務する患者と1m離れた地点で1日当たり1時間、週5日間接触するとき、第三者の被ばく線量は公衆被ばくの線量限度である1mSv/年を超えない。

また、混雑する電車等での通勤により十分距離が取れない場合、金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出し、翌日より職場で勤務する患者と0.3m離れた地点で1日当たり1時間、週5日間接触する場合の被ばく線量は(3)式より以下のように計算される。

<仮定>

E	1年間に人が受ける実効線量($\mu\text{Sv}/\text{年}$)
A	700[MBq]
t_0	24[h] (1[d]×24[h/d])
t_e	8,766[h] ((365[d]+1/4[d])×24[h/d])
Γ	0.0576[$\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]
T	64.68[h] (2.695[d]×24[h/d])
L	0.3[m]
Ct	1[h/d]
D	5[d]

<計算>

$$700[\text{MBq}] \times \int_{24[\text{h}]}^{8,766[\text{h}]} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t[\text{h}]}{64.68[\text{h}]}} dt \times 0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times \left(\frac{1}{0.3[\text{m}]}\right)^2 \times \frac{1[\text{h}]}{24[\text{h}]} \times \frac{5[\text{d}]}{7[\text{d}]}$$

$$=0.96[\text{mSv}/\text{年}]$$

以上により、金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出し、翌日より職場で勤務する患者と 0.3m 離れた地点で 1 日当たり 1 時間、週 5 日間接触するとき、第三者の被ばく線量は公衆被ばくの線量限度である 1mSv/年を超えない。

3) 同室で就寝する場合

(1) 同室で就寝する介護者の被ばく(患者から 1m 離れた地点で 8 時間)

金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出する患者と 1m 離れた地点で毎日 8 時間接触する場合の被ばく線量は(3)式より以下のように計算される。

<仮定>

E	核種が全て崩壊するまでに人が受ける実効線量 (μSv)
A	700[MBq]
t_0	0 時間
t_e	∞ [h]
Γ	$0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}]$
T	$64.68[\text{h}]$ ($2.695[\text{d}]\times 24[\text{h}/\text{d}]$)
L	1[m]
Ct	8[h/d]
D	7[d]

<計算>

$$E = 700[\text{MBq}] \times \int_{0[\text{h}]}^{\infty[\text{h}]} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t[\text{h}]}{64.68[\text{h}]}} dt \times 0.0576[\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}] \times \left(\frac{1}{1[\text{m}]}\right)^2 \times \frac{8[\text{h}]}{24[\text{h}]} \times \frac{7[\text{d}]}{7[\text{d}]}$$

$$= 1.25[\text{mSv}]$$

以上により、金 198 グレインを永久的に挿入され、体内残存放射能 700MBq で退出する患者と 1m 離れた地点で毎日 8 時間接触するとき、同室で就寝する介護者の被ばく線量は介護者に対して抑制すべき線量の基準である 5mSv を超えないが、就寝時の被ばくの他、患者介護時の被ばくも考慮し、指導しなければならない。

(2) 同室で就寝する妊婦あるいは患者を訪問する子供の被ばく(患者から 1m 離れた地点で 8 時間、防護具装着なし)

(1)の計算結果が示すように、同室で就寝する妊婦あるいは患者を訪問する子供の被ばくは 1.25 mSv になる。これは妊婦あるいは患者を訪問する子供に対して抑制すべき線量の基準である 1mSv を超える。したがって、妊婦あるいは患者を訪問する子供は同室で就寝しないことが望ましいが、避けられない場合、患者からの距離、患者と接触する時間等を指導しなければならない。

5. 引用文献

- 1) アイソトープ手帳(改定 10 版)、日本アイソトープ協会(2001)
- 2) Draft Regulatory Guide DG8015 ,US Nuclear Regulatory Commission, April 1997
- 3) 越田吉郎、古賀佑彦ら 外部被ばく線量に基づく ^{131}I 治療患者の帰宅基準及び一般病室への入室基準について、核医学,26(5):591-599,1989

- 4) Regulatory Guide 8.39 Nuclear Regulatory Commission, April 1997
- 5) Sesalie Smathers et al., Radiation safety parameters following prostate brachytherapy, Int J Radiat Oncol Biol Phys 45(2):391-395, '99
- 6) NUREG-1492, Regulatory Analysis on Criteria for the Release of Patients Administered Radioactive Material, US Nuclear Regulatory Commission, February 1997
- 7) 佐々木徹、土器屋卓志ら, ^{125}I seeds 線源使用時における患者周辺線量当量率測定と積算線量の試算 日本放射線腫瘍学会誌,13(1): 9-13, 2001