平成 25 年度　ワーキンググループ報告

担当理事　松田　博史

日本核医学会では，会員から提案された課題を行うワーキンググループに研究費を助成し，核医学の普及，活性化，啓蒙活動を行っています．本号では，平成 25 年度に行われた以下の課題について研究成果の報告を掲載します．

課題：原子力緊急事態における被ばく医療に係る核医学専門医の
　　人材育成のあり方について
代表：渡邉　直行（群馬県医監）

平成 8 年度にはじまったワーキンググループ研究は，その時々に必要性の高いテーマが会員から提案され，グループ構成員の共同研究結果が最終報告として本誌に掲載されてきました．今後も会員の皆様から，必要性の高い研究テーマをご提案いただき，活発な活動が行われることを期待しています．

原子力緊急事態における被ばく医療に係る核医学専門医の人材育成のあり方について

代表：渡邉　直行（群馬県医監）

1.　はじめに

福島第一原発事故以降，多くの核医学専門医は被ばく医療や放射線の健康影響評価など様々な面で協力を求められ対応してきた．また，原子力緊急事態の場合に内部被ばく医療に一部改良を施した RI 内用療法施設や仮設型内部被ばく患者治療施設を利用することで，一定の条件下で内部被ばく患者の診療に係る高い実効性が確保される可能性があることが研究代表者らにより核医学雑誌 (48: 393–418, 2011) で提言された．しかし，一般に，被ばく医療は現実に行われる頻度は低く，被ばく医療を専門とする医師は多くはない．このため，核医学専門医が被ばく医療に係り，特に内部被ばく医療を円滑かつ適切に進めるために，一定レベル以上の知識や技能を平時から備え，また，科学を超えた被ばくに関する心理的影響や不安への対応の方法を適確に理解することが欠かせない．このため，ラジオアイソトープを取り扱うプロフェッショナル集団である日本核医学会が被ばく医療に係る核医学専門医をはじめとする専門職の適切な教育方法を議論し，その基本的な考え方を準備することが望ましいと考えられる．本ワーキンググループは，その議論に資する人材育成に係る基本的な考え方とプログラムを作成することを目的とした．

2.　核医学専門医の意識

平成 25 年 5 月 1 日〜6 月 10 日にかけて「原子力緊急事態における被ばく医療に係る核医学専門医の人材育成のあり方について」の学会 Web アンケートを実施した．そのアンケート集計結果として，回答者の 6 割近くが「日本核医学会は福島原発事故以降，被ばく医療，一般公衆の放射線による健康不安，放射線防護対策などに適切に対応してきた」と考え，回答者の 9 割近くが「被ばく医療，一般公衆の放射線による健康不安，放射線防護対策などに今後も対応してゆくべきである」と認識していることが得られた．

3.　核医学専門医に求められるもの

被ばく医療とは，放射線事故・原子力災害により被ばくした人または放射性物質による汚染を伴う傷病者に対し実施される医療である．通常の医療対応に加え，どういう放射線による被ばくなのか，体内や体外に放射線を発する物質が残存している（汚染している）のか，被ばく線量はどのくらいなのかを明確にし，どういう症状がいつ頃でるのか等を明らかにすることが欠かせない．そのため，放射線計測や放射線核種分析の専門家の協力を得て，測定機器と計算から提供されるデータや血液，染色体検査に基づいて被ばくの影響を診断し，必要な治療が行われる．放射性物質による汚染がある場合は除染を実施するため，放射線管理や放射線防護の専門家の協力によるチーム医療が必要となる．また，被ばく等に係る様々な不安に対して健康影響への説明，心のケアも被ばく医療には重要である．

上記の被ばく医療において，核医学専門医には，その包括的特殊性から（図 1），医師として求められる基本的な資質の涵養をベースとして，(1) 核医学（診断・治療）における放射線診療能力を基にした被ばく医療チームでの適切なアドバイザーたること，(2) 放射線被ばくもしくは放射性物質による汚染患者に対する適切な診療を実施すること，(3) 社会や一般公衆に拡がる放射線の健康影響に関する漠然とした懸念に対する，科学的知見に基づく適切な対応を行う役割が可能であると考えられる．

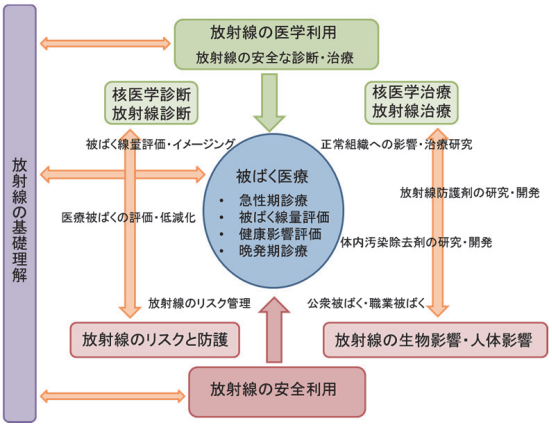

図 1　被ばく医療の包括的特殊性

4.　核医学専門医のアップデートに必要なもの

医師をはじめとする医療関係者の被ばく医療に係る研修では，① 放射線等の基礎，② 放射線の人体影響，③ 放射線の医学利用，④ 放射線のリスクと防護，⑤ 被ばく医療の内容が主に必要とされている．核医学専門医はその専門性ゆえに上記の 5 項目をすべて研修する必要はない．しかしながら，上述した「核医学専門医に求められるもの」に基づくと② 放射線の人体影響，④ 放射線のリスクと防護，⑤ 被ばく医療に係る専門的な知識のアップデートが必要であると考えられる（図 2）．

1.　**放射線の人体影響**
　　放射線の生物影響
　　放射線の健康影響
2.　**放射線のリスクと防護**
　　放射線のリスク管理
　　公衆被ばく
　　職業被ばく
　　医療被ばくと病院での被ばく
3.　**被ばく医療**
　　被ばく医療概論
　　チーム医療
　　緊急被ばく医療体制
　　体内汚染除去剤を用いた診療

図 2　被ばく医療研修で核医学専門医に必要と考えられる項目　薄字は必要でない項目，斜字下線付きは現時点で考慮中などの項目

5.　アップデートに必要な項目のシラバス

核医学専門医の被ばく医療に係るアップデートに必要な項目のシラバスは以下のように考えられる．

5-1.　放射線の健康影響

放射線の健康影響	
到達目標	①　被ばくの形態を説明できる． ②　胎児被ばくを説明できる． ③　ヒトの急性影響について説明できる． ④　ヒトの晩発影響について説明できる．
要点	①　被ばくの形態により生じる影響も異なる可能性があること． ②　同じ線量の被ばくの場合，急性被ばくの影響が慢性被ばくより強いことがあること． ③　急性放射線症と放射線誘発がん． ④　LNT モデルと線量効果関係．
キーワード	全身被ばく，局所被ばく，胎児影響，急性影響，晩発影響
概要	
①　被ばくの形態 ● 放射線の被ばくについては外部被ばくと内部被ばくが，放射性物質の汚染には体表面汚染と内部汚染がある． ● 外部被ばくには全身被ばくと局所被ばくがあり，同じ線量であれば全身被ばくによる健康影響の度合いは大きい． ● 同じ線量であれば短時間に受ける急性被ばくとは長時間にわたる慢性被ばくよりも健康影響の度合いは大きい． ● 内部被ばくでは体内の放射性物質が体外へ排出されながらも長期間被ばくが続く．	

② 胎児被ばく
- 妊娠の時期により胎児被ばくとして，胎児死亡，奇形，精神遅滞を生じる．また，発がんの増加もある．前者は確定的影響，後者は確率的影響である．
- 胎児死亡は着床前期に感受性が高く，閾値は 100 mGy である．奇形は器官形成期に感受性が高く，閾値は 100 mGy である．精神発達遅滞は胎児期の 8〜15 週に感受性が高く，閾値は 300 mGy である．

③ 急性影響
- 1 Gy 以上の放射線を短時間に全身被ばくした場合，急性放射線症 (Acute Radiation Syndrome) という一連の臓器障害が数週間以内にあらわれる．線量増加とともに細胞分裂が盛んな骨髄の障害に始まり，消化管障害，血管・神経障害の順であらわれてくる．被ばく後，典型例として前駆期，潜伏期，発症期の経過をたどり回復するか死亡する．全身被ばくでは皮膚の障害がみられやすい．発赤，乾性皮膚炎，湿性皮膚炎という症状が線量増加とともにあらわれる．
- 局所被ばくでは被ばくした臓器の障害があらわれてくる．

④ 晩発影響
- 被ばく後数週間以降にあらわれる影響で，特に重要な影響は発がんである．発がんまでの時間は，白血病では約 2 年，多くの固形がんでは 5〜10 年程度から頻度が増加してくる．
- 発がんは確率的影響と考えられ，閾値がなく発症頻度は線量が増加するとそれに伴って増加すると現在考えられている．
- その頻度の増加が直線的であるとする LNT モデルが提唱され，放射線防護の考え方に利用されている．
- いわゆる低線量被ばくの場合，ICRP によれば 100 mSv の被ばくで 0.5% 程度一般公衆の生涯がん死亡確率が上昇するとされている．

5-2. 放射線のリスク管理

放射線のリスク管理	
到達目標	① 放射線防護と安全管理を説明できる
要点	① 被ばくのカテゴリーとして公衆被ばく，医療被ばく，職業被ばくがあること． ② ICRP 勧告，医療法施行規則，放射線障害防止法，電離放射線障害防止規則があること． ③ 確定的影響の防止と確率的影響のリスクの制限が図られていること． ④ 正当化，最適化，線量限度があること．
キーワード	放射線防護の最適化，法令，リスク，安全管理

概要

① 放射線防護と安全管理について
- ICRP は，放射線を利用する有益な活動を，過度に制限することなく，放射線被ばくの有害な影響を適切なレベルに制限することを勧告している．
- 放射線利用に当たってはその正当化，最適化を考える．
- 放射線利用の最適化に当たり，被ばくする可能性，被ばくする人数，線量の大きさは，経済的および社会的要因を考慮して，合理的に達成できる限り低く保たれるべき，as low as reasonably achievable (ALARA) の原則が提唱されている．
- 安全管理とは，確定的影響を防止し，確率的影響のリスクを合理的に達成できる程度に減少させることである．法令で定められた線量を超えない線量限度がある．

② 被ばくについて
- 医療関係者などの放射線を利用する業での被ばくを職業被ばく，患者として放射線を用いた検査・治療の際の被ばくを医療被ばく，患者の介助者や介護者，生物医学研究志願者の被ばくも医療被ばくといい，職業被ばくと医療被ばく以外のすべての被ばくは公衆被ばくといわれる．

③ 関係法令
- 一般公衆への被ばく管理について国内関係法令はなく，ICRP 勧告に基づいている．

5-3. 被ばく医療

5-3-1. 被ばく医療概論

被ばく医療概論	
到達目標	①　被ばく時の一連の対応を説明できる.
要点	①　被ばく医療の対象を理解する. ②　被ばくの線量評価について理解する. ③　被ばく医療の実際と留意点について理解する. ④　原子力災害対策指針の概要を理解する.
キーワード	被ばく事故，線量評価，医療優先の原則，防災指針

概要

①　被ばく医療の対象について
- 放射線発生装置・密封線源装置事故，非密封線源事故，臨界事故，原子力発電施設事故，核・放射能テロなどにより被ばくした者が被ばく医療の対象となる.
- 被ばく医療の目的は，確定的影響への対処，確率的影響のリスクの減少に対応することである.

②　被ばくの線量評価について
- 外部被ばくの線量評価と内部被ばくの線量評価方法があるがいずれも推定である.
- 外部被ばくの線量評価は，線源情報（核種，放射能）や被ばくした状況（被ばく距離，時間，遮蔽）のデータを集めて推定する（中性子被ばくを除く）.
- 内部被ばくは，体外直接測定やバイオアッセイの結果から線量評価を行う．内部被ばく線量は預託実効線量である.
- 外部被ばく線量と内部被ばく線量を合わせて実効線量という.
- 体外直接法は主に γ 線を測定し，Whole Body Counter，肺モニター，甲状腺モニターがある.
- バイオアッセイは生理的，非生理的開口部より採取した検体や排泄物（尿，便，吐瀉物）の放射線を測定し，被ばく線量を推定する．α 線や β 線も測定可能である.
- 生物学的線量評価方法としてリンパ球数や染色体異常の測定がある.

③　被ばく医療の特殊性について
- 放射線を五感で感じないので被ばくした瞬間の自覚または自覚症状がない．被ばく後，症状が出るまでに時間がかかる場合がある．また，予後予測が易しくない．放射性物質が体内に残存している限り内部被ばくが遷延する．心配や不安を起こしやすく，周囲の人々から誤解を受ける場合がある.
- 医療優先が原則で，全身状態の評価，安定化が最優先となる．被ばく状況や汚染状況の把握がある．汚染がある場合，汚染防止の拡大，救助者の安全（防護三原則，内部被ばく経路別予防）を図る．体表面汚染の場合，脱衣，創部，生理的開口部，健常皮膚の順で除染する.
- 医療優先が原則であるが医療関係者の適切な放射線防護が必要な場合がある．また除染物質の管理や治療方針の決定のための線量推定のための専門家を含むチーム医療体制が必要となる.
- 資機材として個人線量計，放射線測定機器，簡易除染資材，エリアコントロールのためのロープ，標識，施設養生資機材，防護具（使い捨てキャップ，マスク，手袋，靴カバー，エプロン）が必要である.

④　原子力災害対策指針（原子力規制委員会，平成２５年９月５日全部改正）
- 指針は，原子力災害対策特別措置法（平成１１年法律第１５６号．以下「原災法」という.）第６条の２第１項に基づき，原子力事業者（原災法第２条第３号に規定する者をいう．以下同じ.），指定行政機関の長及び指定地方行政機関の長，地方公共団体，指定公共機関及び指定地方公共機関その他の者が原子力災害対策を円滑に実施するために定めるものである．指針の目的は，国民の生命及び身体の安全を確保することが最も重要であるという観点から，緊急事態における原子力施設周辺の住民等に対する放射線の影響を最小限に抑える防護措置を確実なものとすることにある．この目的を達成するため，本指針は，原子力事業者，国，地方公共団体等が原子力災害対策に係る計画を策定する際や当該対策を実施する際等において，科学的，客観的判断を支援するために，以下の基本的な考え方を踏まえ，専門的・技術的事項等について定めるものである.
  - ・住民の視点に立った防災計画を策定すること.
  - ・災害が長期にわたる場合も考慮して，継続的に情報を提供する体系を構築すること.
  - ・最新の国際的知見を積極的に取り入れる等，計画の立案に使用する判断基準等が常に最適なものになるよう見直しを行うこと.
- 指針の対象は，核原料物質，核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（昭和３２年法律第１６６号．以下「炉規法」という.）に規定された原子力施設（原災法の対象となるものに限る.）の原子力災害及び核燃料物質等の輸送時の原子力災害とする.

5-3-2.　チーム医療

チーム医療	
到達目標	① 被ばく医療におけるチーム医療の重要性について説明できる.
要点	① 放射線管理要員との協働の重要性について理解する.
キーワード	核医学専門医，放射線管理要員
概要	
①　被ばく医療におけるチーム医療について ● 通常の医療において医師をはじめとする様々な職種の医療職との連携が欠かせないのは言うまでもない．被ばく医療においても同様であるが，放射線防護，保健物理，線量評価に係る専門家との協働が不可欠であり，核医学専門医，放射線管理要員が重要な役割を果たす. ②　放射線管理要員との協働について ● 放射線管理要員とは，放射性物質を取り扱う施設内で，放射性物質によるヒトへの影響を考慮し，安全で合理的な管理を行う専門家である．放射線生物学，物理学，科学，法令の知識を有し，放射線取扱主任者免状（第一種）を有する者が相当すると考えられる．被ばく医療の現場では，傷病者の身体汚染検査，除染および被ばく線量の測定，医療機関や搬送車両等の設備，資機材の汚染拡大防止および汚染検査を実施する．核医学専門医の被ばく医療に果たす役割で放射線管理要員との密接な協働が必要となるであろう.	

5-3-3.　緊急被ばく医療体制

内閣府原子力安全員会で策定された被ばく医療体制は，現時点で，環境省原子力規制庁により見直され，再構築される予定である.

6.　核医学専門医のための研修プログラムの考え方

核医学専門医はその特殊性より，上記研修が必要と思われる項目に多くの時間を割く必要はないと思われる．このため，学術総会や春季大会時に，60 分枠のセッションを 1 つ設け，① 放射線の健康影響（10 分），② 放射線のリスク管理（10 分），③ 被ばく医療（40 分）にてアップデートを図ることが効率的であると考えられる．また，体内汚染除去剤を用いた診療に関しては，興味がある核医学専門医が作る分科会や研究会などでアップデートすることが望ましいであろう.

7.　おわりに

原子力緊急事態における被ばく医療に係る核医学専門医の人材育成のあり方について，核医学専門医の人材育成に係る基本的な考え方と基本的なプログラムの考え方を示した．今後，日本核医学会理事会や総会を通じて本案について検討され，核医学専門医の幅広い社会貢献が期待される.

8.　参考文献

1) 渡邉直行，佐々木康人．原子力緊急事態における RI 内用療法施設と仮設型内部被ばく患者治療施設での内部被ばくの診療について．核医学 2011; 48: 393–418.
2) 渡邉直行，佐藤弘之，河原　浩，佐々木康人．原子力緊急事態における内部被ばく医療のための RI 内用療法施設利用と仮設型内部被ばく患者治療施設の併設に係る提言．核医学 2011; 48: 121–137.
3) Watanabe N, Endo K. Estimation of risk for the general public contaminated with radioiodine in nuclear accidents from the viewpoint of nuclear medicine physicians. *Radiat Prot Dosimetry* 2011; 147: 489–490.
4) Watanabe N, Endo K. On personal dosimetry for members of the general public in Japan and the medical management of radiation accidents. *Radiat Prot Dosimetry* 2012; 149: 469.