

放射線障害の診断と治療

原子力災害医療 専門研修
中核人材-3

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
Ver.202309

時間；30分

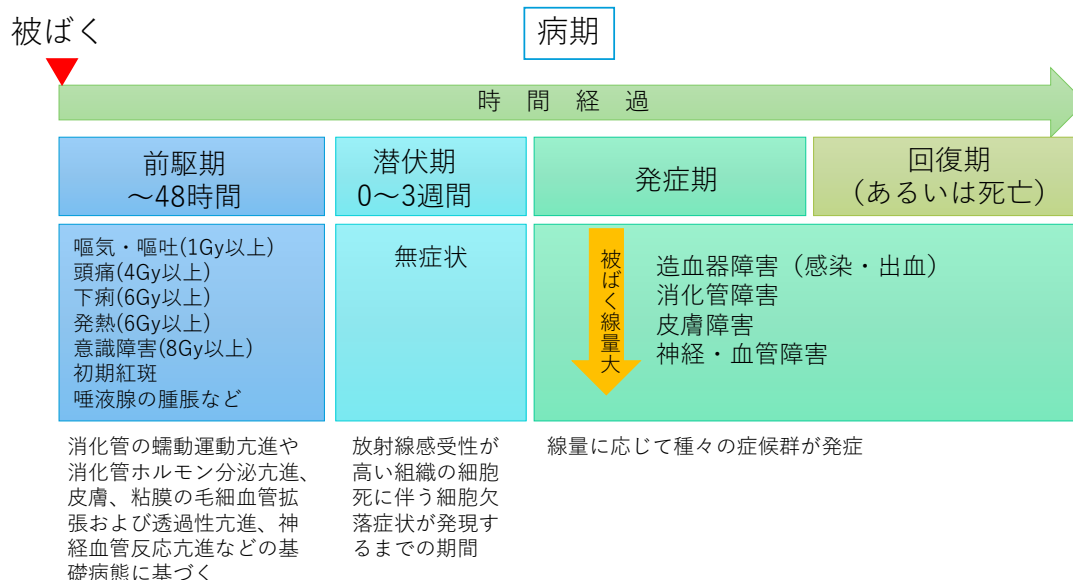
内容

- 急性放射線症の病態
- 急性放射線症の発症期
- 急性放射線症の診断
- ARSのPrimary Triage
- 急性放射線症の前駆期の処置
- 急性放射線症の治療方針
- 複合障害
- 放射線皮膚障害の病態
- 放射線皮膚障害の病期と初期変化
- 放射線皮膚障害の診断
- 放射線皮膚障害の治療
- 内部被ばくの診断
- 内部被ばく対応の基本方針
- 内部被曝の治療
- プルシアンブルー
- DTPA

急性放射線症の病態

❖ 急性放射線症(acute radiation syndrome: ARS)

- ◇ 1Gy（グレイ）を超える急性被ばくを全身に受けると、骨髄障害、皮膚障害、口腔粘膜障害、消化管障害、中枢神経障害、心臓血管障害などの放射線による確定的影響が被ばく線量に応じて発現



2

1Gyを超える急性被ばくを全身に受けると骨髄障害、皮膚障害、口腔粘膜障害、消化管障害、中枢神経障害、心臓血管障害などの放射線による確定的影響が被ばく線量に応じて発現します。これらの一連の症候を急性放射線症(acute radiation syndrome: ARS)と言います。

ARSの病期は、時間的経過によって前駆期、潜伏期、発症期、回復期に分けられます。

前駆期は、悪心、嘔吐、下痢、発熱、初期紅斑、唾液腺の腫脹などの前駆症状と呼ばれる症状が一過性に出現します。これらの症状は、消化管の蠕動運動亢進や消化管ホルモン分泌亢進、皮膚、粘膜の毛細血管拡張および透過性亢進、神経血管反応亢進などの基礎病態に基づきます。

潜伏期は、比較的無症状の期間で、被ばく線量が高いほど短くなります。発症期は放射線による細胞死に伴う細胞の欠落による臓器の症状が発現する時期です。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」より改変

急性放射線症の発症期

		急性放射線症の重症度と被ばく線量				
		軽症(1~2Gy)	中等度(2~4Gy)	重症(4~6Gy)	極めて重症(6~8Gy)	致死的(>8Gy)
血液細胞	リンパ球数 ($\times 10^3/\text{mm}^3$) (被ばく後3~6日)	0.8 ~ 1.5	0.5 ~ 0.8	0.3 ~ 0.5	0.1 ~ 0.3	0.0 ~ 0.1
	顆粒球数 ($\times 10^3/\text{mm}^3$)	>2.0	1.5 ~ 2.0	1.0 ~ 1.5	≤ 0.5	≤ 0.1
	血小板数 ($\times 10^3/\text{mm}^3$)	60 ~ 100 10 ~ 25 %	30 ~ 60 25 ~ 40 %	25 ~ 35 40 ~ 80 %	15 ~ 25 60 ~ 80 %	<20 80 ~ 100 % ^{※1}
潜伏期	長さ(日)	21 ~ 35	18 ~ 28	8 ~ 18	≤ 7	なし
臨床症状	下痢	なし	なし	稀	被ばく後 6~9日に出現	被ばく後 4~5日に出現
	脱毛	なし	中等度、被ばく後15日以降	中等度ないし完全 11~21日	完全 11日以降	完全 10日以前
	その他の症状	倦怠感 衰弱	発熱、感染、 出血、衰弱	高熱、感染、 出血	高熱、嘔吐、 めまい、 見当識障害、 血圧低下	高熱、 意識障害
予後	致死率 死亡時期 ^{※2}	0	0 ~ 50 % 6~8週以降	20 ~ 70 % 4~8週以降	50 ~ 100 % 1~2週以降	100% ~2週

※150Gyを越すような高線量被ばくの場合は、血球減少の前に死亡する。

※2治療内容により死亡率、死亡時期は変化する。

3

1Gy以上の全身被ばくでは、骨髓症候群が発症します。これは、放射線感受性が高い骨髓の造血幹細胞が細胞死によって減少し、血液細胞の減少による機能障害が起こります。白血球が減少すると免疫不全、易感染性となり、血小板減少によって出血傾向となります。末梢血の好中球数は、4Gyでほぼ3週間、2~3Gyでほぼ4週間で、1Gyでは5週間足らずで最低となります。好中球数は、1週間ほどで回復し始め、2~3週間で正常域に回復します。

6Gy以上の全身被ばくでは、消化管粘膜からの細菌移行が起こることが実験的に示されています。10Gy以上の被ばくでは、骨髓障害に加え、水様性下痢や下血などの症状を呈する消化管障害が発現します。消化管障害の発生機序は、放射線による粘膜上皮細胞の再生障害です。10~15Gyの被ばくでは、粘膜上皮の幹細胞であるクリプト（陰窩）細胞の分化が停止し、消化管の絨毛が退縮してバリア機能が低下します。腸管蠕動障害、吸収障害、下痢が発症します。粘膜の剥奪がさらに進行すると消化管出血が生じます。

また、被ばく線量に応じて口腔粘膜に発赤、腫脹、出血、潰瘍、壊死を生じます。7~8Gyを越す被ばくでは、1~3ヶ月後に肺障害の初期症状、肺浮腫が出現します。放射線による肺障害の主なものは肺臓炎と肺線維症です。

10Gyを越す被ばくでは、2~3週間後に放射線皮膚障害が臨床上的の問題となります。20Gyを越す高線量全身被ばくでは、早期に意識障害、血圧低下などの中枢神経症状、血管透過性亢進による浮腫、胸腹水の貯留、肺水腫、下痢などを伴う神経血管症候群が発症します。

出典；青木芳朗／前川和彦「緊急被ばく医療テキスト」（医療科学社）改変

急性放射線症の診断

❖ 放射線の関与が明らかな場合

- ◇ 事故の状況；関係者、施設の放射線管理者から事故の状況に関する情報を得る。線源の種類や大きさ等
- ◇ 症状、徴候；嘔吐、発熱、下痢、頭痛、意識障害、唾液腺の腫脹、疼痛、圧痛などの前駆症状
- ◇ 事故後の血液の変化；末梢血リンパ球数の減少、血清アミラーゼ値の上昇
- ◇ 染色体異常、個人線量計の値

❖ 放射線の関与が不明な場合

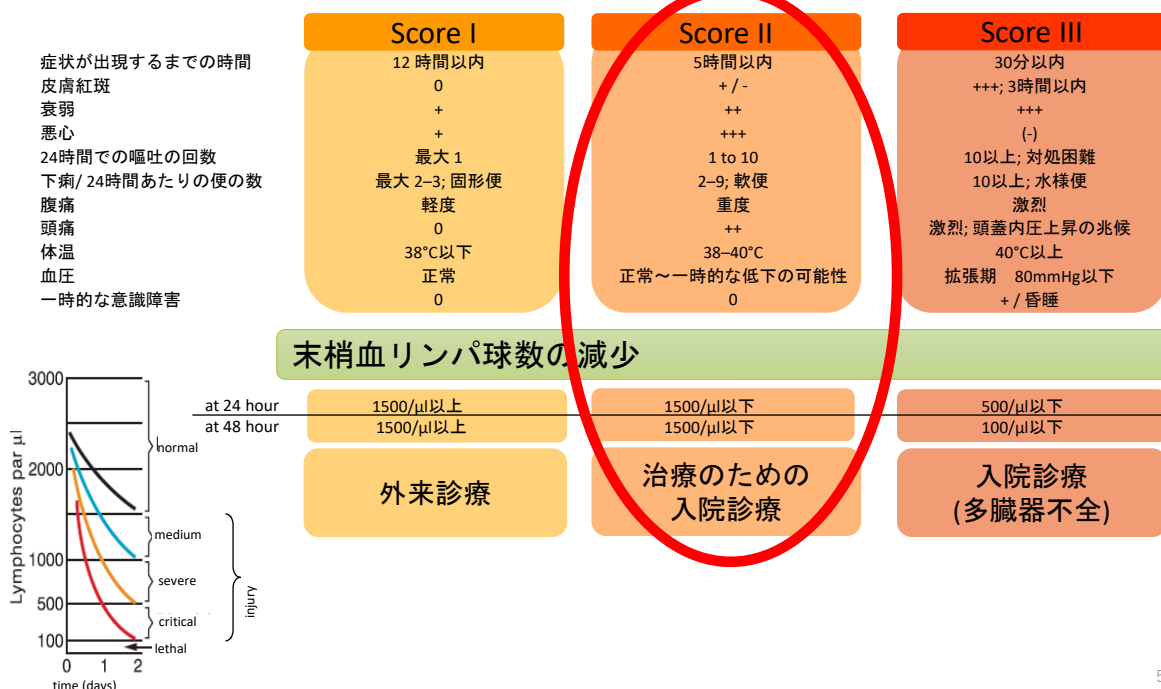
- ◇ 原因不明の嘔吐、発熱、下痢、頭痛、意識障害、唾液腺の腫脹、疼痛があれば、発症時期、1～2週間の生活歴、仕事内容などの問診
- ◇ 手指や胸腹部、臀部、四肢に浮腫、紅斑、脱毛、落屑、水疱形成、潰瘍形成、壊死などの皮膚変化の診察
- ◇ 血液検査の変化
- ◇ 臨床症状が顕在化するまで慎重な観察と検査の繰り返し

原子力施設や大型照射施設等で起こった被ばく事故の場合は、放射線の関与があったことを認識して診療にあたるのがほとんどです。この場合は、施設の関係者や放射線管理者から事故の状況に関する情報を得ることが極めて重要です。また、前駆症状を認めればARSの可能性は高いです。診察時には、唾液腺の腫脹、圧痛を見落とさないようにします。3Gyを越す被ばくでは、皮膚の紅斑や口腔粘膜の毛細血管拡張を観察します。0.5Gyを超える全身被ばくがあれば、前駆期に末梢血リンパ球数の減少、血清アミラーゼ値の上昇が観察されます。発症期には、末梢血のリンパ球数、好中球数、血小板数の減少が認められます。

放射線の関与が不明な場合は、原因不明の嘔吐、発熱、下痢、頭痛、意識障害、唾液腺の腫脹と疼痛などがあれば、それらの発症時期、1～2週間の生活歴、仕事の内容などについて注意深く問診を行い、放射線の関与の可能性を検討します。また、四肢、胸腹部、臀部、手指に浮腫、紅斑、脱毛、落屑、水疱形成、潰瘍形成、壊死などの皮膚障害の症状が出現していないか観察します。血液検査による血球細胞数の変化を観察します。臨床症状が顕在化するまで慎重な観察と検査の繰り返しが必要です。

ARSのPrimary Triage : 初期の48時間

多数のARS対応が必要な場合のトリアージ



多数の急性放射線症を発症する患者が発生し、入院施設等の医療資源が限られた場合は、入院診療を必要とする被ばくした者を初期の段階でトリアージする必要があります。全ての臨床症状とその発症時期を記録します。1Gy未満と判断される場合には、外来で経過観察するだけで良いです。1Gy以上の患者は、より詳細な線量評価や治療のための入院が必要です。

出典；EBMT pocket guide

<https://www.ebmt.org/sites/default/files/2018-03/EBMT%20Nuclear%20Accident%20Committee%20Pocket%20Guide%202017.pdf>

急性放射線症 前駆期の処置

- ❖ 線量により症状は多様であるが、**対症療法**が中心
- ❖ 悪心、嘔吐に対して（制吐剤投与）
 - ◇ 5-HT₃ (5-hydroxytryptamine,セロトニン) 受容体拮抗薬：Granisetron（カイトリル）, Ondansetron（ゾフラン）など
 - ◇ 抗ドパミン薬：メトクロプラミド（プリンペラン）、ドンペリドン（ナウゼリン）
- ❖ 頭痛
 - ◇ 鎮痛剤投与
- ❖ 循環血液量減少
 - ◇ 輸液
 - ◇ 重症(4Gy～)の場合、下痢や嘔吐が激しいため輸液により電解質維持、水分補給が必要になる。非常に重症の場合、血圧低下が起こり、大量輸液、昇圧薬が必要になる。
- ❖ 粘膜炎（→潰瘍、感染）
 - ◇ 口腔内の衛生を保つ→うがいなど
- ❖ 精神的、社会的支援

急性放射線症の前駆期の症状は多様ですが、対症療法が中心となります。

急性放射線症の治療方針

(Gy)	1-2	2-4	4-6	6-8	>8
治療	経過観察	入院, 速やかに 無菌室 へ			
	サイトカイン→	速やか(1W以内)にG-CSF かGM-CSF投与開始		GM-CSF/G- CSF+EPO+TPO	
	抗生物質など→	広域スペクトル抗生物質(潜伏期が終わる頃～), 抗 真菌剤・抗ウイルス剤(必要に応じ), SDD(6Gy↑)			
	血液製剤→	成分輸血: 血小板, 赤血球(必要に応じて)			
	*1-2Gyが予測される場合、 線量が確定するまでは線 量がより高いことを想定 し対処する。	L-グルタミン, エレメンタリ-ダイエット 投与, 完全経静脈栄養, 電解質補正			
		血漿交換(必要に応じ第2または3週～) DICの予防(必要に応じ第2週～)			
		骨髄移植→		骨髄幹細胞移植(第1週)	

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

急性放射線症の治療は、症状と徴候、一般検査の結果、線量評価に基づき行います。治療法の多くは、放射線療法副作用軽減法や治療法の転用、動物実験の臨床応用、数少ない治療経験などで、科学的根拠に基づいたものはほとんどありません。

骨髄障害に起因する感染症などの合併症を予防することが重要です。骨髄機能の回復が見込まれる1～4Gyの被ばくであれば、患者を無菌室に隔離し、注意深く発熱、出血、上咽頭痛や発赤、潰瘍などについての臨床的評価を行います。細菌学的検査を継続し、感染症が起こった場合に備えて、サイトカインを含む有効な治療薬を投与できるようにしておきます。被ばく線量が4～6Gyを越すと考えられる場合は、血液幹細胞が不可逆的に障害を受けている可能性が高いため、感染症対策を入院直後から実施します。さらに複数のサイトカインを組み合わせ治療を行います。また、入院後すぐに選択的消化管除菌法(SDD; selective decontamination of the digestive tract、例えば tobramycin 80mg、polymyxin B 50万単位、amphotericin B 500mmg)を行い、抗生物質の全身的投与を開始します。体表面の消毒を行なった後に、無菌室に隔離します。

3～10Gy程度の被ばく線量で造血幹細胞移植を行うことが考えられてきました。しかし移植両方の副作用とサイトカイン療法の発展から、移植の有効性が合理的に期待できるのは、6～10Gy程度と考えられています。移植の目的は、ドナー由来細胞が永久的に生着することではなく、一過性に生命を支持することです。

顆粒球コロニー刺激因子(G-CSF)や顆粒球マクロファージコロニー刺激

因子（GM-CSF）は、被ばく後の患者の造血速度を促進するので、幹細胞が残っている場合には、骨髄移植を不要のものとする可能性があります。2～6(8)Gyの被ばくでは移植を行わずにサイトカイン療法を行います。

消化管障害の治療は、現時点では確立されておらず、輸液による電解質管理、完全静脈栄養、成分輸血などの対症療法が中心となります。

放射線肺臓炎は、8Gy以上の被ばくで発症頻度が増加します。被ばく後の軟部組織の硬化、線維化を予防、治療するため、長期（半年から1年）にわたるペントキシフィリンとビタミンEの併用が有効であるとの動物実験および臨床研究の報告があります。

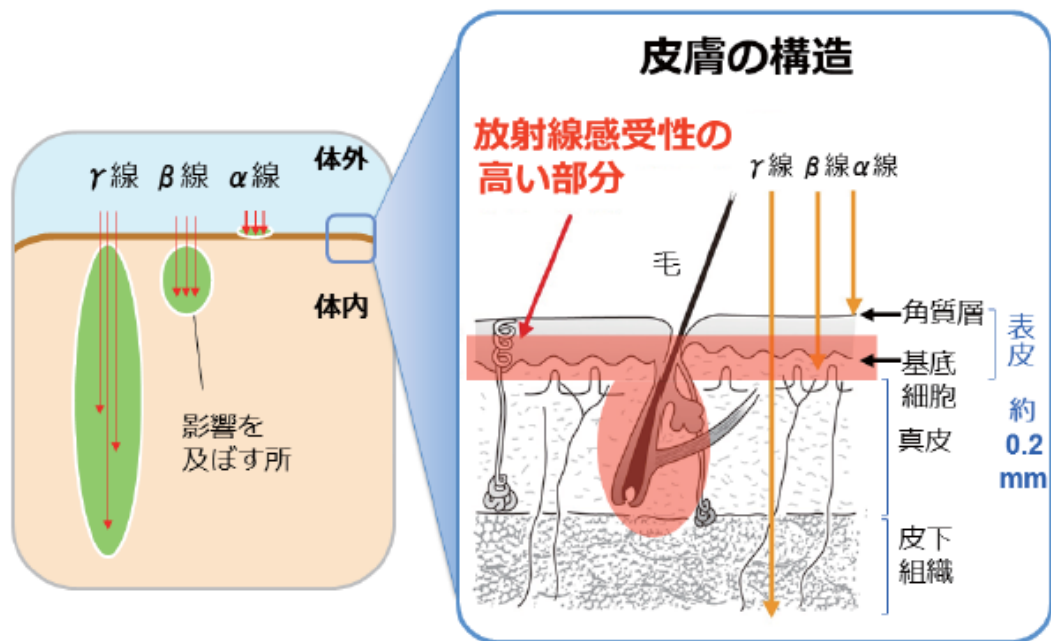
複合障害（combined radiation injuries）

- ❖ 放射線による障害に外傷、熱傷、感染症、化学障害などが合併したもの
- ❖ 放射線単独の障害より予後が悪い
- ❖ 放射線事故や核爆発では、被災者の多くは放射線被ばくに熱傷や外傷を伴う
 - ◇ 広島・長崎の被爆者の60～70%に外傷を合併していた
 - ◆ 被ばく2～3週間後に合併症を発症：特に骨髄抑制の影響
 - ◆ 創傷治癒の遅滞
 - ◆ 多くの被ばく者が敗血症で死亡
 - ◇ チョルノービリ事故の237名の被災者のうち10%に重篤な放射線被ばくと熱傷の両方を合併していた
- ❖ 免疫系の障害、感染防御機能の障害のため、少量の病原菌で感染し、症状はより重篤となる
- ❖ 初療は全身状態の安定、合併している外傷の治療を行う
- ❖ 高線量被ばくと外傷において、外科的処置が必要であれば、**被ばく後72時間以内に手術**を行う

放射線による障害に外傷、熱傷、感染症、化学障害などが合併したものを複合障害(combined radiation injuries)と言い、放射線単独の障害よりも予後が悪くなります。動物実験では、全身被ばくと熱傷が合併すると死亡率が上昇する結果があります。

放射線の事故や核爆発では、被災者の多くは放射線被ばくに熱傷や外傷を伴うことが多いです。この複合障害では、骨髄抑制の影響で、少量の病原菌で感染し、症状はより重篤となり、多くが敗血症で死亡します。また、創傷治癒の遅延が起こります。外傷等を合併している場合は、全身状態の安定と外傷等の治療をまず行います。また、外傷診療として外科的処置が必要であれば、被ばく後72時間以内に手術を行います。

放射線皮膚障害の病態



皮膚は表層側から表皮、真皮、皮下組織の3層から構成されます。表皮は、表層から扁平な細胞が重なった角層、数層の顆粒層、数層の有棘層、単層の基底層から構成されます。放射線による障害は、基底細胞に強く出ます。基底層の細胞は分裂が盛んで、皮膚の再上皮化を起こす場所で、ここが放射線で損傷すると皮膚障害が発生します。通常、基底層から顆粒層へ細胞増殖のための移行時間が 14 ± 6 日、顆粒層から表層までには 18 ± 6 日かかります。

放射線皮膚障害の重症度を規定する因子は、放射線の線質、被ばく線量、皮膚の厚さ、年齢などがあげられます。 α 線の場合では、軟部組織表層からの透過距離は約0.04mmであり、表皮基底層には達しません。 γ 線、中性子線による障害は深層への透過性が極めて強く、皮膚、皮下組織、筋肉、骨にも達します。

出典：環境省「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料平成29年度版」

放射線皮膚障害の病期と初期変化

I	超急性期 ～7日	皮膚がエネルギーの高い放射線を高線量で被ばくすると、電離が惹起され、酸素ラジカルが細胞膜の脂質過酸化を引き起こし、血管透過性を亢進させる。
II	急性期 7日～6ヵ月	放射線によって引き起こされる表皮基底層のDNA障害は、潜伏期間（通常2～3週単位）を経て、2～3週間（細胞周期と同じ）ごとに細胞障害や組織死が段階的に進み、多彩な症状が続く。
III	慢性期 6ヵ月以上	表皮が再生した後は、主として真皮層および皮下組織の障害が主体となる。

症状	線量(Gy)	発症(day)
紅斑	3-10	12-21
脱毛	>3	14-18
乾性落屑	8-12	25-30
湿性落屑	15-20	20-28
水疱	15-25	15-25
潰瘍	>20	14-21
壊死	>25	>21

(IAEA/WHO Safety Report Series No.2 Diagnosis and Treatment of Radiation Injury 1998より改変)

43

放射線皮膚障害の病期は、超急性期（7日未満）、急性期（7日以後～6ヵ月まで）、慢性期（6ヵ月以降～数年）に分けられます。

皮膚がエネルギーの高い放射線を高線量で被ばくすると、電離が惹起され、酸素ラジカルが細胞膜の脂質過酸化を引き起こし、血管透過性を亢進させ、全身組織へのケミカルメディエーターの放出が惹起されます。そのため浮腫や紅斑が出現します。

急性期の放射線皮膚障害の程度は、被ばく線量と被ばくした組織の放射線感受性によって決まります。10Gy前後では初期の皮膚症状（発赤、紅斑、浮腫）が3～4日で消退後、潜伏期の後、3週目ごろより再度、組織腫脹、掻痒感、発赤、疼痛感、紫斑などが現れます。進行は緩徐です。

慢性期では、表皮が再生した後、主として真皮層および皮下組織の障害が主体となる。10Gy以上の被ばくによる皮膚障害では、一度障害された皮膚が上皮化した後も、再度皮膚障害が反復し、潰瘍や皮膚剥離がおきます。また、6ヵ月以上経過してから皮膚の線維化や色素沈着などが出現します。真皮層には、多くの血管が存在します。血管内皮細胞は放射線感受性が高いため、被ばくした領域ではこれらの血管の内膜に障害が生じ、内膜の肥厚や微小血栓の形成を通じて微小循環障害や局所の血流障害を起こします。

放射線皮膚障害の診断

❖ 病歴の聴取

- ◇ 密封線源の事故では、被ばくした自覚がないことが多いため、原因不明の熱傷様病変に遭遇した場合には、放射線皮膚障害を念頭に入れ、放射線の可能性を疑って診断を進める。

❖ 身体所見の確認

- ◇ 全身被ばくの有無を評価；線源が大きい場合は、局所被ばく以外にも全身被ばくをしている可能性がある。
- ◇ 極端に高い線量による局所被ばく；全身への平均被ばく線量の評価として染色体分析を実施

❖ 障害部位の評価

- ◇ 皮膚病変の経時的変化の記録
- ◇ 骨の変化の比較；X線
- ◇ CT・MRI；炎症の波及範囲や血流を評価
- ◇ サーモグラフィ・超音波ドップラ検査法；非侵襲的に血流の程度を評価

❖ 線量評価

- ◇ 物理学的線量評価；線源と被ばく部位の位置関係、被ばく時間、周辺の遮へい物の影響、事故の再構築

44

密封線源の事故では、被ばくした自覚がないことが多いため、原因不明の熱傷様病変に遭遇した場合には、放射線皮膚障害を念頭に入れ、放射線の可能性を疑って、病歴を聴取するなどの診断を進めることが重要です。

線源が大きい場合は、局所被ばく以外にも全身被ばくをしている可能性があるため、全身被ばくの評価も同時に行います。被ばく当日を含む3日間程度は末梢血全血球数計算（CBC）を行い、リンパ球数の減少の有無を確認します。局所被ばくの線量が極端に高い場合は、全身への平均被ばく線量を正確に知るために染色体分析による線量評価を実施します。

皮膚病変の経時的変化の記録をします。骨の変化の比較のため、単純X線撮影を行います。また、CT・MRIでは炎症の波及範囲や血流を評価します。サーモグラフィ・超音波ドップラ検査法でも非侵襲的に血流の程度を評価できます。

放射線皮膚障害の範囲、深達度の判断には、線量評価が必要です。主として、物理学的線量評価を行います。線源と被ばく部位の位置関係、被ばく時間、周辺の遮へい物の影響の情報をもとに計算する他に、事故の再構築により、実際に放射線を測定してその情報をもとに計算します。これらの情報は、記憶に頼る部分があるため、結果には相当な幅があります。

放射線皮膚障害の治療

深達度	症状	治療
I度熱傷相当	紅斑や発疹、浮腫	ワセリン基剤などによる皮膚の保湿
浅達性II度熱傷相当	水疱、落屑、乾皮炎、滲出性表皮炎など	- ステロイドや抗生物質含有のワセリン基剤、創傷被覆剤 - 疼痛コントロールには、モルヒネ、フェンタニルなどの麻薬あるいは非麻薬系の鎮痛剤
深達性II度熱傷相当	滲出性表皮炎、潰瘍、乾酪様壊死など	- 表層のブラッシングなど外科的な処置 - 創感染症には、全身の抗生物質の投与 - 感染の悪化、2ヶ月以上上皮化傾向が認められない潰瘍では、全身状態を勘案して植皮手術も選択
III度熱傷相当	全層にわたる乾酪壊死、壊死	2～3ヶ月以上治癒傾向がないものは、植皮手術の対象

12

放射線皮膚障害の治療はその程度により異なるため、深達度の分類は重要です。原則的には、温熱熱傷の治療と同様に全身管理、局所管理からなります。全身被ばくがあれば骨髄抑制や消化管障害に対する治療も必要です。

• I度熱傷相当

紅斑や発疹、浮腫などは、被ばく直後または3～4週間以内に出現します。数週から数ヶ月の経緯で徐々に消失します。ワセリン基剤などで皮膚の保湿を図ります。

• 浅達性II度熱傷相当

水疱、落屑、乾皮炎、滲出性表皮炎などの皮膚障害は、10Gy以上の被ばく後4～6週で発現します。I度熱傷に相当する紅斑が被ばく後3～4週で出現した後に、4～6週でII度熱傷に相当する水疱に移行します。被ばく線量が高いとより早期から症状が出現します。感染すると皮膚の障害はより深部に及ぶ可能性があります。深度や症状が悪化しない様であれば、残存する真皮層が1～2ヶ月の保存的治療で創は閉鎖します。疼痛は、放射線皮膚障害が重症化する初期の特徴であり、疼痛コントロールには、モルヒネ、フェンタニルなどの麻薬あるいは非麻薬系の鎮痛剤を使用します。局所の治療には、ステロイドや抗生物質含有のワセリン基剤を塗布したり、創傷被覆剤を使用します。

• 深達性II度熱傷相当

滲出性表皮炎、潰瘍、乾酪様壊死などの皮膚障害は、10Gy以上20Gy未満の被ばく線量で発症します。紅斑、水疱、皮膚剥離などの症状は4から8週間程度の時間経過で潰瘍創となります。潰瘍創表層にはフィブリン様の壊死物質

が存在し、薬剤は浸透しません。そのため、表層のブラッシングなど外科的な処置が繰り返し行われています。一般細菌や真菌などの感染を合併して、難治性潰瘍になりやすいです。創感染症には、全身の抗生物質の投与が必要となります。保存療法を第一選択として治療を開始しますが、感染の悪化、2ヶ月以上上皮化傾向が認められない潰瘍では、全身状態を勘案して植皮手術も選択されます。

- III度熱傷相当

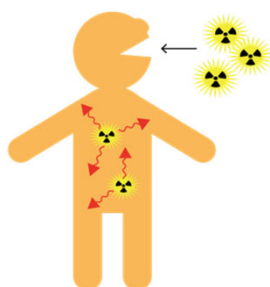
20Gy以上の高線量を被ばくすると受傷から3～4週からIII度熱傷相当の全層にわたる乾酪壊死、壊死の皮膚障害を呈します。前述の症状が出現せずに徐々に皮膚構造が崩れ始め、表皮が剥離し、真皮が露出します。潰瘍層ができ、血流に乏しく、出血は認められません。2～3ヶ月以上治癒傾向がないものは、植皮手術の対象となります。しかし、皮下脂肪や筋層の損傷もおこっており、壊死組織の切除深度や四肢の切断の適応の判断は難しいです。

- 慢性期

急性期に上皮化が終了した部分でも、真皮のダメージは慢性期で再燃して、線維化や色素沈着、再潰瘍化など新たな病像を呈します。放射線による骨壊死には高圧酸素療法が有効とされる。また、血流障害による疼痛や感染がコントロールできず、機能が廃絶している様な場合には、四肢の切断も考慮します。

内部被ばくの診断

- ❖ 体内からの放射性物質もしくは放射線の検出により診断
- ❖ 鼻腔・咽頭スミア；吸入による内部被ばくの可能性
- ❖ 口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染；吸入、吸収の可能性
- ❖ 問診；内部被ばくが疑われる場合は、放射性核種、化学形態、溶媒等について確認



- ❖ 生体試料（尿、便）の放射性物質の計測
- ❖ 体外計測；ホールボディカウンター、甲状腺モニター、肺モニター



内部被ばくの診断

46

内部被ばくは、吸入による経気道、経口摂取による経消化管、創傷部からの吸収によって体内に放射性物質が取り込まれることによって起こります。体内に入った放射性物質は、安定型の核種と同じ体内動態を示すため、核種に応じた体内除染が必要になります。

初期には、口や鼻腔周囲の体表面汚染、創傷部の汚染があれば、放射性物質の吸入や吸収の可能性があります。また、鼻腔や咽頭のスワブ採取によって放射性物質を検出した場合も内部被ばくが疑われます。内部被ばくが疑われた場合、事業所や施設等での事故の場合は、放射線管理要員等に放射性核種、化学形態、溶媒等について確認します。

内部被ばくの最終診断と線量評価は、尿や便の生体試料の放射性物質の計測（バイオアッセイ法）と、体内からの放射線の計測（体外計測）によって行われます。

内部汚染対応の基本方針

- ◆ 将来の生物学的影響の低減が目的
- ◆ 治療の原則；吸収と内部沈着の低減、体内に入った核種の除去と排泄促進
- ◆ 治療の適応：明確な指標はない。実効線量（預託実効線量）を参考に治療するメリット、デメリットを勘案して適応を決定する。
 - ◇ 実効線量20 mSvが1つの目安
- ◆ 事故時には摂取量、体内動態がすぐには判明しない。
- ◆ 治療の副作用が少なく、禁忌がない場合はすぐに治療を開始すべきである。
- ◆ 勘案すべき要素
 - ◇ 確実な汚染か疑いか
 - ◇ 体内動態
 - ◇ 治療目標の現実性
 - ◇ 治療のメリットとデメリット
 - ◇ 年齢、健康状態、精神的状態

14

内部被ばくでは、基本的に急性障害は起こりません。そのため、治療の目的は、体内の放射性物質からの放射線被ばくによる将来の生物学的影響の低減となります。内部被ばくの治療の原則は、吸収と内部沈着の低減及び体内に入った核種の除去と排泄の促進です。放射性物質が体循環に入っていない場合に最も治療効果が高くなります。また、標的臓器の細胞に取り込まれる前に治療を行う必要があります。しかし、内部被ばくの事故では、摂取量や体内動態がすぐに判明しないことがほとんどです。そのため、内部被ばくが疑われる場合は、治療による副作用が少なく、禁忌がない場合には、すぐに治療を開始すべきです。また、治療の適応には、明確な指標がありません。預託実効線量を参考にして、治療のメリットとデメリットを勘案して適応を決定します。

内部被ばくの治療

❖ 消化管での吸収を低減

- ◇ 胃洗浄
- ◇ 催吐剤
- ◇ 下剤
- ◇ イオン交換剤
- ◇ Prussian Blue
- ◇ アルミニウムを含む制酸剤
- ◇ 硫酸バリウム

❖ 阻害剤／希釈剤；安定元素で代謝過程を飽和して放射性核種の摂取を低減

- ◇ ヨウ素
- ◇ ストロンチウム
- ◇ 水分摂取
- ◇ カルシウム
- ◇ 亜鉛
- ◇ カリウム

❖ キレート剤

- ◇ EDTA
- ◇ DTPA
- ◇ Dimercaprol (BAL)
- ◇ Penicillamine
- ◇ Deferoxamine

❖ その他

- ◇ 抗甲状腺薬
- ◇ 利尿剤
- ◇ 副甲状腺ホルモン剤

内部被ばくの治療には、消化管で吸収を低減する方法、特定臓器を安定同位元素で飽和することによって放射性物質の摂取を低減する方法（阻害）、大量の安定元素または化合物の投与によって放射性物質を希釈する方法、キレート効果による排泄、利尿剤による排泄促進といった方法があります。

内部被ばくの治療は、体内からの放射性物質の排泄量などをモニタリングしながら、薬剤の投与による放射性物質の排泄が効果的にできる場合は、さらに治療を継続することを検討します。

治療した場合と薬剤の投与を行わなかった場合の尿中排泄率の比較や、ホールボディカウンターで判定した体内からの除去効果を考慮して、治療の中止を判断します。

プルシアンブルー

❖ 効能・効果

- ◇ 放射性セシウムによる体内汚染の軽減
 - ◆ 生物学的半減期115日→40日

❖ 用法・用量

- ◇ 1回6カプセル（3g）を1日3回経口投与する。
- ◇ 患者の状態、年齢、体重に応じて適宜増減する

ヘキサシアノ鉄（Ⅱ）酸鉄（Ⅲ）水和物
（ラジオガルダーゼ®カプセル500mg）



承認番号：22200AMX00966000

薬価収載：薬価未収載

承認日：2010年10月27日

プルシアンブルー（ラジオガルダーゼ®カプセル500mg）は、フェロシアン化第二鉄に属します。消化管に吸収されない毒性の低いコロイド状の溶解可能な形態を持ち、ある種の一価の陽イオンに対しイオン交換体のような働きがあります。放射性セシウムが血液に入った場合、経口投与されたプルシアンブルーが腸管から再吸収されるセシウムの取り込みを防ぎます。

DTPA

◆ 効能・効果

- ◇ 超ウラン元素（プルトニウム、アメリシウム、キュリウム）による体内汚染の軽減

◆ 用法・用量

- ◇ ペンテト酸カルシウム三ナトリウムとして1000mg、もしくは、ペンテト酸亜鉛三ナトリウムとして1055mgを1日1回点滴静注、又は緩徐に静脈内投与する。
- ◇ 本剤は、100～250mLの5%ブドウ糖注射液又は生理食塩液で希釈して約15～60分かけて点滴静注する、又は3～4分間かけて緩徐に静脈内投与すること。
- ◇ 患者の状態、年齢、体重に応じて適宜減量する。

◆ プロトコール

- ◇ 単独静脈内投与
 - ◆ CaDTPAもしくはZnDTPAを1g
- ◇ 混合静脈内投与
 - ◆ 1日目 CaDTPA
 - ◆ 2～5日 ZnDTPA
 - ◆ 1～2回/週 ZnDTPA

◆ 使用例

- ◇ アメリカではプルトニウムとアメリシウムの体内沈着の除去のため、1995年までに610人に使用された。
- ◇ 2017年プルトニウム内部被ばく事故で日本でも5名の作業員に投与された。

ペンテト酸カルシウム三ナトリウム (ジトリペンタートカル®静注1000mg)



承認番号: 22300AMX00609000
薬価収載: 薬価未収載
承認日: 2011年7月1日

ペンテト酸亜鉛三ナトリウム (アエントリペンタート®静注1055mg)



承認番号: 22300AMX00610000
薬価収載: 薬価未収載
承認日: 2011年7月1日

Diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA)はEDTAより多価の放射性同位元素に対してより効果的です。キレート体は、安定で、体外に腎臓から排泄されます。静脈的に投与した後、DTPAは最初の1時間に尿中に約50%が排泄されます。CaDTPA、ZnDTPAは超ウラン元素（プルトニウム、アメリシウム、キュリウム、カリホルニウム、ネプツニウム）をキレートします。

CaDTPAによる重篤な副作用の報告はありません。しかし長期間投与するとCaDTPAにより亜鉛欠乏症を起こします。

まとめ

- ❖ 急性放射線症は、1Gy（グレイ）を超える急性被ばくを全身に受けた場合に発症し、骨髄障害、皮膚障害、口腔粘膜障害、消化管障害、中枢神経障害、心臓血管障害などの放射線による組織反応（確定的影響）が被ばく線量に応じて発現する。
- ❖ 急性放射線症、放射線皮膚障害の診断は、問診、身体所見、血液検査、線量評価によって行う。
- ❖ 臨床の現場では、線量が決定するまでは、高めに被ばく線量を推定し、治療を開始する。
- ❖ 内部被ばくの診断は、問診や鼻腔スワブ等により可能性を把握し、バイオアッセイ法、体外計測法により診断する。
- ❖ 内部被ばくでは核種ごとに治療に使用する薬剤が異なる。

用法・用量

薬品	用法・用量	
プルシアンブルー (フェロシアン化第二鉄)	水とともに1回3 gを1日3回3週間 内服	0.5 g /cap
アルギン酸ナトリウム (アルロイドG)	アルギン酸ナトリウム10 g (アルロイドG 200ml) あるいは1.5～3 gを内服	5%液
ヨウ化カリウム	成人100mg内服	50mg/tab
ジメルカプロール (パル)	1日目 1回2.5mg/kg筋注 6hr毎 2日目～1日1回を6日間	100mg/ml
C a D T P A Z n D T P A	1回1 gを生食100m lで30分で1日1回静注 週5日連続投与 混合療法：1回目CaDTPA 1g、2回目以降ZnDTPA 1gを4日間投与。その後超ウラン元素の排泄率の増加が見られなくなるまで1週間に2-dose(1-doseあたりZnDTPA1g)投与。	1 g /5ml
レボチロキシン (チラージンS)	1回25～100μg内服	25μg/cap
チオ硫酸ナトリウム (デトキソール)	1日1～2 g 緩徐に静注	2 g /20ml
マーロックス懸濁内服液	1回1.6～4.8 g (1gを水10mlに懸濁)	1.2 g /包
ラキソベロン液	(C F 前) 1回20ml内服	10ml/本
酸化マグネシウム		1 g /包
硫酸バリウム	1回100～300ml内服	
薬用炭	1回20 gを水に懸濁し内服	20 g /包

放射性核種による汚染時の選択薬剤 1

核 種	直後の処置	考慮すべき薬剤	注 意
アメリシウム (Am) Americium	DTPA	DTPA, CaEDTA	可及的早期にキレート化を行う。 DTPAが入手困難ならばCaEDTAを用いる。
セシウム (Cs) Caesium	プルシアンブルー、 洗浄、下剤	プルシアンブルー、 $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$	
コバルト (Co) Cobalt	洗浄、下剤	大量被ばくでは、ペ ニシラミンが考慮。	コバルト塩は不溶性であるから飲 んだ場合は、特に治療は要しない。
フッ素 (F) Fluorine	水酸化アルミニウ ムゲル		
ヨウ素 (I) Iodine	KI投与	KI	できるだけ早くヨウ化カリウム100 mg（ヨウ素として16 mg）を飲ま せる。
マンガン (Mn) Manganese	洗浄	DTPA	陰イオンとして存在するMnは治療 不可能。
リン (P) Phosphorus		水酸化アルミニウム （経口）	大量の時は副甲状腺ホルモンも。
プルトニウム (Pu) Plutonium	DTPA	DTPA、 CaEDTA、 DFOA	DTPAが入手困難ならばCaEDTAを 用いる。早期にはDFOAも用いられ る。生物学的半減期は、肝で40年、骨 は100年である。

放射性核種による汚染時の選択薬剤 2

核 種	直後の処置	考慮すべき薬剤	注 意
ルテニウム (Ru) Ruthenium	洗浄、下剤	クロールサイアザイド DTPA	クロールサイアザイトは尿中排泄を増す。DTPAの効果は一定しない。
トリウム (Th) Thorium	DTPA	DTPA DFOA	DTPA、DFOAは可溶性成分に有効で、排泄を増加。二酸化トリウムには、有効な治療はない。
トリチウム (H) Tritium	洗浄 多量の水分を採らせる	利尿剤	
ストロンチウム (Sr) Strontium	洗浄 直ちにリン酸アルミニウムゲル又は水酸化アルミニウムゲル100mlを飲ませる。硫酸マグネシウム10g服用により、消化管停留を短縮し、吸収を減少。	安定ストロンチウムステロイド剤 Potassiumrhodizoate($C_6O_2K_2$) プレドニン	乳酸ストロンチウム500-1500 mg/日を経口投与し、連日数週間続ける。創傷汚染は、いかに小さくとも見逃してはならず十分水洗いするがPotassiumrhodizoate 1gを撒布すれば、Srは局所的に不溶性となり、吸収されない。コルチコステロイド投与は、放射性ストロンチウムの尿中排泄を3倍に増加。プレドニン経口5-20mg/日、又はメチルプレドニゾロン10-40mg静注。
ウラン (U) Uranium	DTPA	DTPA 重炭酸ナトリウム	DTPAは4時間以内が有効である。重炭酸ナトリウムは、腎を保護する。
亜鉛(Zn) Zinc	DTPA、洗浄	DTPA	DTPAが入手困難ならば、CaEDTAを用いる。