

2026.6.25

低線量 CT (LDCT) のリスクベネフィットに関するこれまでの調査研究のまとめ

1. 関連文献の概要

Berrington de González et al. (2008)

目的：55 歳未満（30, 40, 50 歳開始）で LDCT 検診を開始した場合の放射線誘発がんリスクと、それを相殺するために必要な疾病による死亡率削減の程度を推定すること。

対象：非喫煙者および現在喫煙者の男女。

方法：BEIR VII リスクモデルを用い、生涯寄与リスク（LAR）と相殺のために必要な死亡率減少率を算出。

結果：30～32 歳で開始する場合、放射線リスクを上回るには非喫煙女性で 125%（達成不可能）、男性喫煙者で 70%の死亡率減少が必要とされ、若年層ではリスクがベネフィットを上回る傾向。また、若年女性では 1 万人あたり 3～6 件の放射線誘発乳がんリスクも指摘された。

NLST (National Lung Screening Trial) Research Team (2011)

目的：LDCT 検診が胸部 X 線検診と比較して肺がん死亡率を減少させるかを検証すること。

対象：米国における 55～74 歳の高リスクのグループ（30 パックイヤー以上の喫煙歴）53,454 人。

方法：LDCT 群と胸部 X 線群にランダムに割り付け、3 回の年次検診を実施し、中央値 6.5 年間追跡した。

結果：LDCT 群は胸部 X 線群と比較して、肺がん死亡率を 20.0%減少させ、全死因死亡率も 6.7%減少させた。一方で、陽性結果の 96.4%が偽陽性であり、過剰診断や不要な精密検査の懸念が示された。本研究は、高リスク群に対する LDCT の有効性を確立する重要な根拠となった。

de Koning et al. (2020) [NELSON]

目的：体積測定（ボリュームメトリー）を用いた LDCT 検診の肺がん死亡率減少効果を検証すること。

対象：オランダ・ベルギーの 50～74 歳の男女 15,792 人。

方法：検診群（0, 1, 3, 5.5 年目に実施）と非検診群にランダムに割り付けし、10 年間追跡。

結果：10 年時点で、男性の肺がん死亡率が 24%減少。女性を対象としたサブグループの解析では、さらに高い減少効果（48～59%減）が示唆された。ボリュームメトリー管理により偽陽性率が低く抑えられ、精度の高い検診が可能であることが示された。

Du et al. (2022)

目的：女性の LDCT 検診開始年齢を 55 歳から 50 歳に引き下げた際、発見される肺がん数（ベネフィット）と放射線誘発肺がん数（リスク）に与える影響を評価すること。

対象：オランダの重度喫煙女性 10 万人を想定したマイクロシミュレーションモデル。

方法：SiMRiSc モデルを用い、50～75 歳まで毎年検診を行うシナリオをシミュレーションした。

結果：開始年齢を50歳に下げると、発見される肺がん数は4%増加したが、放射線誘発がんは55%増加。ベネフィット・ハーム比（発見がん数対誘発がん数）は51から35に低下したが、50歳以上の女性においては依然として検診のベネフィットが放射線リスクを上回ると結論づけられた。

Nekolla et al. (2022)

目的：西欧人口データに基づき、LDCT 検診の放射線リスクとベネフィット・リスク比を評価すること。

対象：ドイツの最新データに基づくシミュレーション。

方法：性別・臓器・年齢依存のモデル（DDREF=1.0）を用い、50～75歳の様々な検診シナリオを分析。

結果：50～75歳の年次検診において、放射線誘発がんの生涯リスクは女性0.25%未満、男性約0.1%であった。ベネフィット・リスク比は男性で約25、女性で約10と推定され、50歳以上では正当化されるが、女性は放射線感受性が高く乳がんリスクも考慮すべきとした。

2. 40歳以下の若年層におけるLDCT 検診のベネフィットとリスクに関するまとめ

1) 放射線感受性と生涯寄与リスク（LAR）

放射線による発がんリスクは、被ばく時の年齢が若いほど高くなる。これは、若年者ほど細胞分裂が活発で放射線感受性が高いことに加え、誘発がんが臨床的に現れるまでの潜伏期間以上に平均余命が長いことが挙げられる。生涯寄与リスク（LAR：Lifetime Attributable Risk）の観点から、40歳以下の若年層は、高齢層よりも被ばくによる負の影響を強く受けるとされる（Berrington de González et al., 2008; Nekolla et al., 2022）。

2) ベネフィットの程度を考慮した健診の必要性に関する検討

検診の必要性を確認するには、検診による救命（ベネフィット）が被ばくによる誘発がん死（リスク）を上回る必要があるが、40歳以下では肺がん自体の自然罹患率が低いため、検診で得られる絶対的なベネフィットが小さいことが考えられる。30～32歳で検診を開始するシナリオでは、喫煙者の男性でも70%以上の死亡率減少効果がなければ放射線リスクを相殺できないとされるが、NLST や NELSON で示された有効性は50歳以上でも20～24%程度にとどまっている（Berrington de González et al., 2008; de Koning et al., 2020; NLST Research Team, 2011）。

3) 女性特有のリスク

若年女性の場合、肺への被ばくに加えて乳腺への被ばくによるハーム（害）を検討する必要がある。40歳以前に検診を開始した場合、放射線誘発乳がんのリスクが肺がんのリスクと同等、あるいはそれ以上に高まる可能性が示唆されている（Berrington de González et al., 2008; Nekolla et al., 2022）。

4) 暫定的なまとめ

50 歳以上の重度喫煙者（パックイヤー：1 日の箱数×喫煙年数が高い層）に対しては、LDCT を用いることのベネフィットは確認されつつある（NLST Research Team, 2011; de Koning et al., 2020）。一方、40 歳以下の若年層においては、放射線誘発がんのリスクを上回るベネフィットが確認されている事例は現時点ではみられず、これまでの研究で LDCT を適用することの正当性を示す結果は得られていないようである。この年齢層への LDCT 検診の適用は、特別なリスク因子（極めて高いリスクが想定される家族歴等）がない限り慎重な対応が求められるように思われる。

参考）LDCT スクリーニングに関する国ごとのガイドラインに基づく閾値および線量基準（Elochukwu Ezenwankwo et al (2026)）

米国：推奨対象は、喫煙歴が 20 パック・イヤー以上で、現在喫煙中、または過去 15 年以内に禁煙した 50～80 歳（CMS の場合は 50～77 歳）の成人である。放射線線量は、体積 CT 線量指数（CTDIvol.）が約 3 mGy*以内に制限される。

カナダ：通常、55～74 歳の肺がん高リスク成人を対象とする。対象者の選定は、リスク予測モデル（例：PLCOm2012）を用いて行われ、6 年以内に肺がんを発症するリスクが 1.5%～2% であることを閾値としている。スクリーニングは、標準体格の患者に対して CTDIvol が 3 mGy 以下の基準を用いる、州が組織するプログラムを通じて実施される。

韓国：喫煙歴が 30 パック・イヤー以上の 55～74 歳の成人。スクリーニングでは CTDIvol が 3 mGy 以下が用いられる。このプログラムは、「韓国肺がん検診プロジェクト」に基づく一元化モデルを採用しており、指定医療機関全体で報告とフォローアップを標準化するために Lung-RADS を統合している。

ブラジル：喫煙歴が 20 パック・イヤー以上で、現在喫煙中、または過去 15 年以内に禁煙した 50～80 歳の成人。スクリーニングは、CTDIvol が 3 mGy 以下（標準体格の患者で実効線量約 1 mSv 以下）の条件で実施される。

アルゼンチン：55～74 歳の成人で、喫煙歴が 30 パック・イヤー以上であり、現在喫煙中、または過去 15 年以内に禁煙した者。スクリーニングの目標値は 1.5 mGy 以下の CTDIvol。

英国：喫煙歴に加え、基礎疾患としての肺疾患、過去のがん診断歴、肺がんの家族歴、職業的被ばくなどの追加要因を組み込んだリスクベースの適格基準を用いて選定された 55～74 歳の成人。英国国立スクリーニング委員会は、実効線量を 2 mSv 未満に抑えることを目標としている。

ドイツ：50～75歳の成人で、重度の喫煙歴（25パック・イヤー以上）があり、現在喫煙中、または過去10年以内に禁煙した者。スクリーニングでは、世界でも最も低い閾値の一つである1.3 mGy CTDIvolを上限としている。

台湾：2022年7月1日に「全国肺がん早期発見プログラム」が開始された。対象は、重度の喫煙歴（30パック・イヤー以上）のある成人、および肺がんの家族歴（LCFH）がある非喫煙者（軽度の喫煙者を含む）。対象年齢は、女性が45～74歳、男性が50～74歳。スクリーニングでは1.5～2 mGyの線量範囲を採用し、台湾における非喫煙者の高い罹患率に合わせて、共同意思決定とフォローアップを統合している。

中国：喫煙歴または職業的被ばく歴のある50～74歳の成人を対象とした地域別プログラム。スクリーニングは通常、国際的なLDCT基準（3 mGy以下）に従うが、実施状況は地域によって異なる。

クロアチア：EU加盟国として初めて全国的なプログラムを開始した国であり、クロアチア健康保険基金が資金提供を行っている。対象は、喫煙歴が30パック・年以上、現在喫煙中、または過去15年以内に禁煙した50～75歳の成人。スクリーニングではCTDIvolが3 mGy以下で実施され、集中画像診断およびデータ追跡が含まれる。体系化されたプロトコルにより、臨床実践における品質と一貫性が確保されている。

オーストラリア：喫煙歴が30パック・イヤー以上で、現在喫煙中、または過去10年以内に禁煙した50～70歳の成人を対象としている。全国的に調整されたプログラムを通じて、線量制限を3 mGy以下に設定したLDCTスクリーニングが実施されている。

注：吸収線量（mGy）：放射線に被ばくした臓器または組織で吸収されたエネルギー量、等価線量（mSv）：放射線の種類による生物学的影響を考慮して調整された吸収線量、実効線量（mSv）：放射線に被ばくした臓器の感受性または組織重み付け係数を考慮して調整された等価線量。

引用文献

- Berrington de González, A., Kim, K.P. and Berg, C.D. (2008). Low-dose lung computed tomography screening before age 55: estimates of the mortality reduction required to outweigh the radiation-induced cancer risk. *Journal of Medical Screening*, 15(3), pp.153–158.
- de Koning, H.J., van der Aalst, C.M., de Jong, P.A., Scholten, E.T., Nackaerts, K., Heuvelmans, M.A., Lammers, J.-W.J., Weenink, C., Yousaf-Khan, U., Horeweg, N., van 't Westeinde, S., Prokop, M., Mali, W.P., Mohamed Hoesein, F.A.A., van Ooijen, P.M.A., Aerts, J.G.J.V., den Bakker, M.A., Thunnissen, E., Verschakelen, J., Vliegenthart, R., Walter, J.E., ten Haaf, K., Groen, H.J.M. and Oudkerk, M. (2020). Reduced Lung-Cancer Mortality with Volume CT Screening in a Randomized Trial. *New England Journal of Medicine*, 382(6), pp.503–513.

- Du, Y., Sidorenkov, G., Heuvelmans, M.A., Vliegenthart, R., Groen, H.J.M., Greuter, M.J.W. and de Bock, G.H. (2022). Lung cancer screening with low-dose CT: Simulating the effect of starting screening at a younger age in women. *European Journal of Radiology*, 148, p.110182.
- Ezenwankwo E., Nnate D., Kim R., Eberth J., Kim Y. (2026). Reframing computed tomography-associated cancer concerns in lifesaving screening: keeping the focus on lives saved, *The Lancet Regional Health – Americas*, 58
- National Lung Screening Trial Research Team (2011). Reduced Lung-Cancer Mortality with Low-Dose Computed Tomographic Screening. *New England Journal of Medicine*, 365(5), pp.395–409.
- Nekolla, E.A., Brix, G. and Griebel, J. (2022). Lung Cancer Screening with Low-Dose CT: Radiation Risk and Benefit–Risk Assessment for Different Screening Scenarios. *Diagnostics*, 12(2), p.364.

用語の整理

- BEIR VII リスクモデル：全米科学アカデミー（NAS）の専門委員会（BEIR: 放射線の生物影響に関する委員会）が 2005 年に発表した、低線量放射線被曝による発がんリスクなどを評価・推定するための数理モデル
- パックイヤー（Pack-year / 喫煙指数）：喫煙量を示す単位です。「1 日の喫煙箱数 × 喫煙年数」で算出されます（例：1 日 1 箱を 20 年間喫煙＝20 パックイヤー）
- ERR（Excess Relative Risk / 過剰相対リスク）：被ばくしていない集団の自然発生リスク（背景リスク）に対し、放射線被ばくによってリスクがどれだけ「倍率」として増加したかを示す指標
- EAR（Excess Absolute Risk / 過剰絶対リスク）：背景リスクとは無関係に、被ばくによって「絶対数」としてどれだけリスク（症例数）が増加したかを示す指標
- LAR（Lifetime Attributable Risk / 生涯寄与リスク）：ある年齢で被ばくしたことにより、その後の生涯で特定のがんを発症またはそれにより死亡する確率の推計値
- DDREF（Dose and Dose Rate Effectiveness Factor / 線量・線量率効果係数）：高線量・高線量率のデータから低線量のリスクを推定する際、生物学的影響が低くなることを考慮して用いる補正係数
- SiMRiSc（Simulation Model on Radiation Risk and breast cancer Screening）モデル：主に乳がん検診の有効性やリスクを評価するために開発されたマイクロシミュレーションモデル