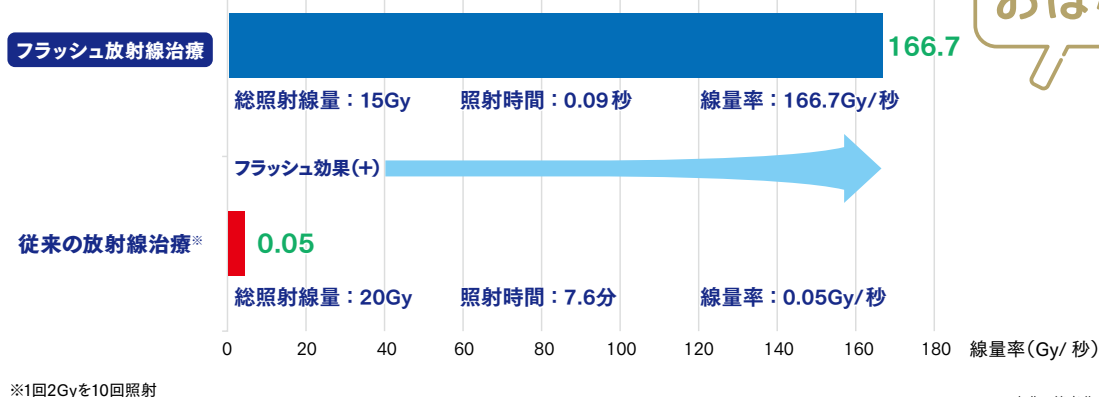


放射線のおはなし

図1

フラッシュ放射線治療と従来の放射線治療の線量率と照射時間



フラッシュ放射線治療について

東北放射線科学センター 理事長 六戸 文男氏

悪性腫瘍に電離放射線を照射し、がん細胞を死滅させ、がんを治すのが、放射線治療です。今回は、非常に短時間で高強度の放射線を照射するフラッシュ放射線治療(超高線量率放射線照射)によるがん治療についてのお話です。

低線量率被ばくと分割照射

「放射線は細胞を壊す。だから、放射線を浴びると危険」と考えられていますが、放射線により細胞に損傷が起こると、DNAの損傷修復機構により細胞は修復されます。一般にはがん細胞よりも正常細胞の方が修復能力は強く、がんの放射線治療ではこの差を利用しています。しかし、線量が増えていくと、照射する範囲に含まれる正常細胞の傷害も強くなり、

副作用としての症状が現れてきます。このような副作用に対して、線量を分割して照射すると正常細胞の修復が増えて、副作用が少なくなります。これが分割照射と呼ばれ、現在標準的に行われている放射線を使った治療方法になります。例えば、肺がん(非小細胞肺癌)の標準的な放射線治療では、毎日(週5日)2 Gyを30回、総線量60 Gyを6週間かけて分割照射が行われています。

また、同じ線量なら短時間での照射よりも、時間をかけて照射した方が、細胞傷害は少なくなります。時間あたりの放射線量を線量率といいますが、低線量率照射の方が細胞傷害は少なくなり、線量率を高めると細胞の傷害が強まることになりました。小動物や培養細胞を使って実験してみると、線量率を高くしていくと傷害

が強くなりますが、1秒間に40 Gy以上の超高線量率になると正常細胞の傷害が軽減してくることが明らかになりました。線量率を非常に高くする(40 Gy/秒以上)と短時間での治療が可能で、正常細胞の傷害も少ないという放射線治療に都合のよい状態になることから、フラッシュ放射線治療が近年注目され始めています【図1】。

フラッシュ効果のメカニズム

なぜそのようなことが起こるのか、フラッシュ放射線治療で正常細胞の放射線傷害が減少するメカニズムは明確に解明されていませんが、メカニズムを説明するためのいくつかの仮説が提唱されてきました。

超高線量率照射でフリーラジカル^{※1}が高密度で発生するとラジカル同士の相互反応が起き、DNA損傷を起こす活性酸素種が少なくなり、正常細胞のDNA損傷が軽減するとの可能性も指摘されています。

また、DNA損傷の修復過程での

さまざまな生化学的応答の変化や、ミトコンドリア傷害からアポトーシス(細胞死)などの反応の調節にも変化が起きるのではないかと。さらに、フラッシュ放射線治療では、同じ線量であれば照射時間が数秒〜数分間の1に短くなることから、照射野内を循環している免疫細胞(リンパ球)への影響が少なく、免疫細胞が放射線照射により血液中に放出するさまざまなサイトカイン^{※2}も減少するからではないかという観点からも、研究が進められているようです。

今後の展望と期待

放射線治療は、3次元原体照射、強度変調放射線治療法、画像誘導放射線治療法などの登場により、がん組織に集中的に線量を集める治療精度が大幅に向上しました。照射範囲に含まれる正常細胞の傷害を減少させて、副作用を少なく照射する方法は分割照射のみでしたが、フラッシュ放射線治療が開発され利用が可能と

なりました。フラッシュ放射線治療のメリットは、正常組織の傷害が少なく、照射回数を少なくできることです。1秒以内の1回の超高線量率照射で、治療が完了できる可能性があります。現状では皮膚の腫瘍や骨転移病巣に限定されていますが、乳がんや膵がんへの応用を考えているグループもあります。照射装置の開発を伴いますが、そう簡単ではなさそうですが、期待の持てる治療法と思われる。



東北放射線科学センター 理事長 六戸 文男氏

東北大学医学部卒業・同大学院修了。仙台厚生病院放射線科、秋田県立脳血管研究センター放射線科、放射線医学総合研究所、フランス/カン・サイクロトロンPET研究センター、福島県立医科大学放射線医学講座教授を歴任。2015年福島県立医科大学名誉教授、2017年より現職。

※1 対でない不安定な電子を持つ分子のことで、反応性が強い。
量子科学技術研究開発機構 ETL
<https://www.qst.go.jp/site/qms/1741.html>
※2 細胞から分泌されるタンパク質/再生医療ポータルHD
https://saisiryo.jp/keywords/detail/post_32.html