

# X線深部治療の問題点と解決法

## *Probleme und Methode der Tiefenbestrahlung mit Röntgenstrahlen*

Dessauer F\*. *Therapeutische Rundschau* 2:647-9,1908

最初期からX線の発展を身をもって経験してこれた諸氏は、ウィーンで Freund と Schiff がはじめてX線を治療を意図して利用し、X線治療が創始された時のことを憶えておられることと思う。

今日、放射線治療は発展し、特に様々な表在癌腫や肉腫に対する有効な武器となっている。

放射線治療の基本のひとつは、同量の線量に対して細胞の反応が異なることである。病的組織にしばしば認められる細胞質の多い幼若細胞は、完全に成熟した細胞にくらべてX線により速やかに死滅する。双方の細胞グループが皮膚面にあつて、同じようにX線に曝露されると、皮膚や周囲の正常組織は全く反応せず、病的細胞のみ消滅させることが可能である。以前は、X線は深部では無効と考えられていた。個々の症例で、細胞質に富む最も病的な細胞がX線に感受性であることが分かった現在、これは非常に興味をひく問題である。

この問題に関する初の主な論文は、1904年末に Perthes が、*Die Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen* 誌に発表したものである。Perthes は、ヒト組織のX線透過性を研究した。X線がどの程度深部に作用するかを調べたところ、否定的な結果を得た。この結果は以下のように要約できる。

人体の照射では、X線強度が体表から体内に向けて急速に低下する。中等度の硬さの管球の場合、深さ1cmでもその強度の50~60%、2cmで35~45%、3cmで20~30%となる。硬い管球の場合、強度の減弱が緩徐になるが、それでも4cmで40%、5cmで25%に減少する。

これによると、絶望的である。病的細胞の分布は数cmに及ぶこともあり、これを傷害するには健常な表面に何倍もの照射が必要となり、益より害が多いことになる。

しかし前述のように、この問題は非常に魅力的なものである。個々の悪性腫瘍の症例において、遠回しにでも何らかの方策を講じられる希望があれば、これを追求することが我々の責務であると考えられる。

かくして1904年末、著者は深部に皮表と同じように正確に照射するという物理的な問題に取り組んだ。一見して、この可能性を阻む3つの障害があることがわ

かる。第1は、X線強度の二乗減衰の法則である。光と同じように、X線源から距離が2倍離れると目標には1/4しか到達しない。第2の障害は、深部に到達せず、細胞に最も大きな作用を及ぼす最も弱いX線が、通常の照射ではこの原理によって表面に深部の平均10倍も照射されることである。第3の障害は、人体の個々の臓器で吸収が異なることである。いかなるX線検査からも分かるように、臓器のX線吸収は不均一である。

これらの問題が解決できたとしても、医学的な観点からは多くの反論もあることは承知している。深部臓器、特に腺がX線にいかにか反応するかは未知である。深部で破壊された組織が吸収され得るか否かについても未知である。しかし何よりもこの問題は物理学的なものであり、まずこの問題の物理学的側面を取りあげるものとする。先ずは深部を照射できるようにすることである。その上で何が起こるか、医学的に慎重に考えるのが順序である。医学的問題は、X線治療が部分的にしか奏効しない状況で治療を開始するにあたって慎重に検討すべきものである。

今日、物理学的な問題は解決された。著者の過去4年の研究結果を前提に述べれば、大量のX線を皮膚と同様に深部に照射することは物理学的に可能である。これにより選択的な効果を及ぼすには十分であるが、さらにほとんどの症例で、深部に表面線量の2倍、3倍のX線を照射することも可能である。

この可能性を説明するには、光学を例にするのが最適であろう。光についても、距離の二乗に応じて減衰する法則は当てはまり、2倍の距離にある平面には1/4の光しか当たらない。

しかしこの二乗減衰の法則は、同時に均一な照射の可能性を保証するものである。距離が2m離れた物体を1cm動かして2.01mとしても、事実上光線量は変わらない。全体の距離2mに比べれば1cmは無意味である。つまり光源から2mの距離では、深さ1cmの範囲で光は均一であると言える。

光源から十分離れた領域において、一定の深さに入射する光線量が事実上等しいというこの現象を、我々は空間的均一性と称する。

光源から2mの位置に1辺1cm、無色透明なガラス製の立方体を置くとき、これが光を吸収しない言うことはできない。吸収しなければ見えないはずからである。しかし辺縁効果を見れば、すべての部分が等量の光を吸収すると言える。空間的には、距離に比し

\* 技術部長。Aschaffenburg。Internat.Kongreß für Electrorologie und Radiologie (国際電気学放射線学会)、アムステルダム)での講演

て深さを無視しうるため、密度的には、ガラスのいずれの部分も等質であるためである。後者を、我々は密度的均一性と称する。ガラスの全ての部分が等量の光を吸収するという意味である。

深部に X 線を皮膚と同様に照射するには、我々は 2 つの条件を満たさなければならない。被写体を空間的にも密度的にも均一に照射すること、すなわちガラスに光を当てるのと同じように X 線を照射しなければならない。照射領域を管球距離に比して小さくし、臓器や組織がほぼ同程度の X 線を吸収するようにする必要がある。

通常の X 線照射では、人体臓器の吸収線量は異なる。診断応用はこの点を利用している。すなわち骨は暗く、筋肉は明るく見える。異なる硬さの管球で照射する場合、硬い管球を使うほど吸収の差は小さくなる。実際、人体器官の比重測定から分かるように、比重にはほとんど差がなく、骨やその他の組織は水よりもやや比重が大きく、一部に臓器の比重はやや小さい程度である。

特に透過性が強い X 線を使用すると、骨と軟部の X 線吸収差は数%にまでできる。著者の実験が示すように、特製の硬い管球は通常の誘導コイルでも長時間駆動できるが、その目的に特に作られたコイルの方がさらに良く、長時間駆動できる。著者は、管球の高圧放電と、放射線の性質、管球寿命との関係について多くの実験をおこなった。これにより、硬い管球を、毎日 10 時間連続で数百時間も稼働させることができるに至った。これは 1905 年にハイデルベルクの V. Czerny 教授のもとで行なった実験である。密度均一性を高めるには、非常に本質的な方法が存在する。それは、いわゆる光線フィルター、すなわち放射線変容物質である。

Sognac の研究により、X 線照射では二次線が発生することが分かっている。この二次線は、それが発生する物体により様々である。著者は多くの物体でこれを調べた。入射した X 線よりも硬い二次線が発生するか軟らかい二次線が発生するかによって、陽性フィルター、陰性フィルターに分類できる。多くの金属は陰性フィルターで、有機物質の多く、特にガラスは陽性フィルターである。我々はこれを、線源と人体の間に置いたところ、透過性の低い光線をフィルターして、非常に透過性の高い放射線が得られた。放射線量をできるだけ多くするため、我々は 2 個、4 個、あるいは 6 個の管球を同時に使用し、非常に低電力ですむ誘導コイルで切替えながら使用している。

このようなシステムでは、全身を照射しても透視板に詳細を識別できないほど淡い陰影を生じることが出来る。実際、2 人、3 人、4 人の人間を照射野に並べることもできる。全員がほぼ均等な陰影を生じ、ガラスの立方体を光が透過したように、全員を強い光

線が透過する。

個々の臓器を照射するに当たっては、異なる方向から照射する効果を利用することが有用である。このためには、被写体の異なる側を線源に向けるか、あるいは線源が被写体の異なる側に向くようにする。

この方法で、表面より深部に多く照射することも可能である。我々は例えば、縦隔肉腫の症例に行なっている。まず体の前から後に向けて照射し、このとき前面に開口部と絞りのある厚い鉛板を置く。放射線は、頂点を切断した円錐の形状で、腹背方向に透過して照射領域に到達する。

ついで鉛板を側面に置き、例えば左から右に照射する。これで 2 回の照射が 1 点で交差し、照射効果は 2 倍となる。均一照射の物理学的基礎については、1905 年初頭に *Medizinische Klinik* 誌に「深部病変の照射について」を発表した [1]。

1905 年秋から 1906 年春にかけて、著者は Dr. V. Czerby の下で初期は物理学的問題を確認し、このような照射法を実行してその物理学的可能性を証明した。1907 年 1 月、著者はドイツ物理学会でその結果を発表し [2]、これは予稿集におさめられている。この間、このような深部照射の大きな危険性を大いに危惧した。一步一步進んだ結果、この問題は物理学的にも技術的にも解決したと断言できる。我々は、簡単、安価な装置で、毎時 1 あるいは 2 Kienböck 単位、場合によってはさらに多くの線量を照射できる。しかし、深部照射は、専用に設計された装置、管球で最適な照射ができる。さらにいくつかの改良が考えられる。

これに伴い、臨床応用の可能性が考えられるが、これを利用する人々は、大きな危険を孕みうることを良く認識されたい。慎重な管理、計測の下でのみ、また限られた症例についてのみ、照射するべきである。四肢の病変については、比較的簡単である。病変をフィルター内に置き、他の部位を慎重に X 線から保護すれば良い。軀幹、頭部などの深部照射はより困難であり、最大限の注意が必要である。強すぎる放射線も、弱すぎる放射線も、同じく大きな危険をもたらさう。

先の学会で深部照射方法が、はからずも第 3 者によって公にされた後、著者はできる限りこれについて発言、行動するように努めている。

このような時期尚早な応用が挫折を招きうることを、医学的に多くの反論があることを承知している。しかし、次第にその有用性が明らかになるであろう。おそらく、白血病、Graves 病、その他の腺疾患のような深在病変、腫瘍と戦う武器となり、またリンパあるいは血流にのって拡がる転移の防止にも役立つであろう。そして、もし数千もの症例のうち、数例でもこの方法で改善が得られるとしたら、努力は大きく報われることになる。

物理学者と医師が肩をならべて病気と戦うこの分野では、基本的な解決策が物理学者の手にあるような問題が数多く存在する。ここで物理学者の仕事は、このような方法の基礎を固め、最終的に実践するための技術的可能性をひらくことである。著者の仕事はこれで終わるが、4年間の準備を経て諸氏に手渡すことになるこの物理と技術の共同作業が、医学にささやかなりとも貢献することを願うものである。

1. Dessauer: Beiträge zur Bestrahlung tiefliegender Prozesse. Med. Klinik, 1905, Heft 21 u. 22.
2. Dessauer: Eine neue Anwendung der Röntgenstrahlen. Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft, 1907, IX. Jahrg., Nr. 3.
3. Dessauer: Eine neue Anordnung zur Röntgenbestrahlung. Archiv f. physik. Medizin und med. Technik, 1907, II., Heft 3 u. 4.
4. Dessauer und Krüger: Die Nachbehandlung operirter Karzinome mit homogener Bestrahlung. Berliner klin. Wochenschrift, 1908, XI.
5. Sommer: Ueber Homogenbestrahlung. Röntgenkalender 1908.
6. Sommer: Ueber das Problem der homogenen Tiefenbestrahlung in der Röntgentherapie. Zeitschr. f. neuere physik. Medizin, 1908, II. Jahrg., Nr. 8.
7. Dessauer: Ziele der Röntgentechnik. Verhandlungen der deutschen Röntengesellschaft, 1905.
8. Dessauer: Strahlungsenergien und Krankheiten. Deutsche Revue, 1905.
9. Dessauer: Eine neue Anwendung der Röntgenstrahlen. Deutsche Revue, 1908.
10. Franze: Homogenbestrahlung. Deutsche Aerzte-Ztg., August 1908.
11. Eine neue Anwendung der Röntgenstrahlen. Münch. med. Wochenschrift, 1908, Heft 24 u. 32.