

X線撮影における新しい鑑別法について (断層撮影)*

Eine neue Methode zur Differenzierung in der Röntgenographie (Planigraphie)

Ziedses des Plantes BG. Acta Radiol 13:182-92,1932

これまでX線撮影において、さまざまな画像が互いに重畳しているという困難と戦ってきた。被写体から任意の断面を選択して診断することは、そのような画像を作ることが不可能なため未だ成功していない。特定の撮影方向の選択、あるいは立体撮影によってこの目的が達成できない場合、以下に記載するような方法でこの困難を回避しよう。

画像の生成は、以下のような方法で行なう。

X線管球およびフィルム(あるいは写真乾板)を、全露光時間中にわたって一定の方法で移動し、この時目的とする平面のすべての点がフィルム面の同じ場所に投影され、この平面にない点は常に場所が変化するようにする。これによって、平面外の構造はボケ、目的とする平面の構造が強調されて見えることになる。このボケを見て当初は期待外れと感ずるかもしれないが、よく見ればその断面の位置に応じて鮮明な輪郭が見えていることがわかる。

無限小の時間において投影線が互いに平行で、かつその(移動距離と)交面との距離の比率が互いに保たれていれば、管球とフィルムを反対方向に移動することによってこれが実現できることは数学的に容易に証明できる。もちろん、すべての投影線が等しい時間内に同じ経路を同じように通過するべくフィルムを動かす必要がある。技術的な理由から、この運動は断層面と平行なものとした。以下では、このような運動についてのみ述べることにする。

当初我々はこのアイデアは全く新しいものと考えていたが、特許の検討に際してKielのvon Ernst Pohl氏が基本特許を申請していることがわかった。従って著者はvon Pohlと独立に同じものを発明したことになるが、同氏は実際の撮影には成功していないものと思う。

装置の製作に当たって、管球とフィルムのどのような運動が最適かという問題を解決する必要があった。このために予備実験を行なったが、ここではフィルムと断層面の距離はできる限り小さなものとした。被写体を切断し、断面をフィルムに密着させた。X線管球(焦点管球)はさまざまな方向に動かせるようにした。

円運動、らせん運動の実験では、安定のため管球は静止させ、被写体とフィルムを動かした。円運動は、フィルムを置いた被写体をレコードのターンテーブルに載せ、X線管球を回転軸から傾斜させた。らせん運動は、

ターンテーブルを回転させながら、中心からはずれた焦点から垂らした重りが回転中心に一致するまでまっすぐ水平方向に移動させた。

この結果、らせん運動が円運動よりもはるかに優れていることが判明した。円運動の場合、目的とする断層面外にある高吸収物体が、特に規則的に直線あるいは曲線状に並んでいる場合に障害となった。そのような例としては、頭蓋側面撮影における錐体骨、脊椎側面撮影における椎体上/下切痕、横突起、椎体の上/下縁、さらに寛骨のさまざまな切痕、腸骨稜などが挙げられる。

図1では、2つの運動の違いが明瞭である。左は円運動、右はらせん運動で、厚さ1.5mm、4.5mmのアルミニウム製フィルターの境界のボケがわかる。らせん運動の回転数は12回で、その最大径は円運動の直径に等しくした。この障害となる線は、線束が回転中心に短時間でも入ると、特に動きが遅い場合に目立つことが判明した。従って、らせんの中心部ではX線をオフにすることで最も良好なボケが得られる。管球とフィルムの動きは、一定時間に一定距離を移動するように制御する必要がある。

図2に装置の構造を図示する。RはX線管球で、支持棒Aと同時に水平方向に移動する。運動は、支持柱Hによってフィルムカセットを載せた平面Bに伝達される。この平面Bは横木の回りに回転するので、これも水平方向にのみ運動する。Hは回転中心Sの回りに運動し、Sの高さは任意に設定できる。Sは、運動中継点Cがフィルムと同高にある限り、目的とする断層面の高さと同様に一致する。Sは、被写体Oを載せた検査台Tに固定されている。

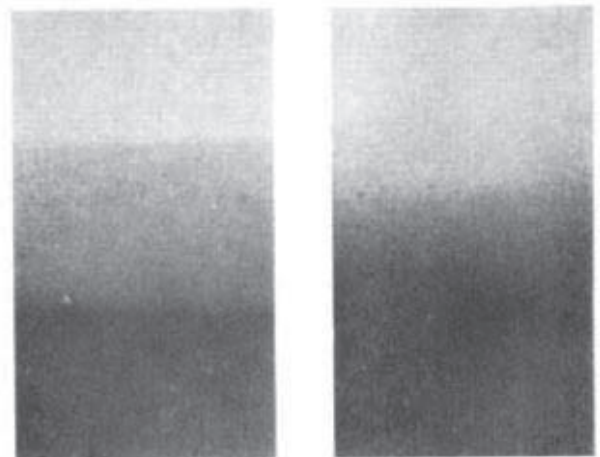


図1

* 1932年2月20日校訂稿入稿

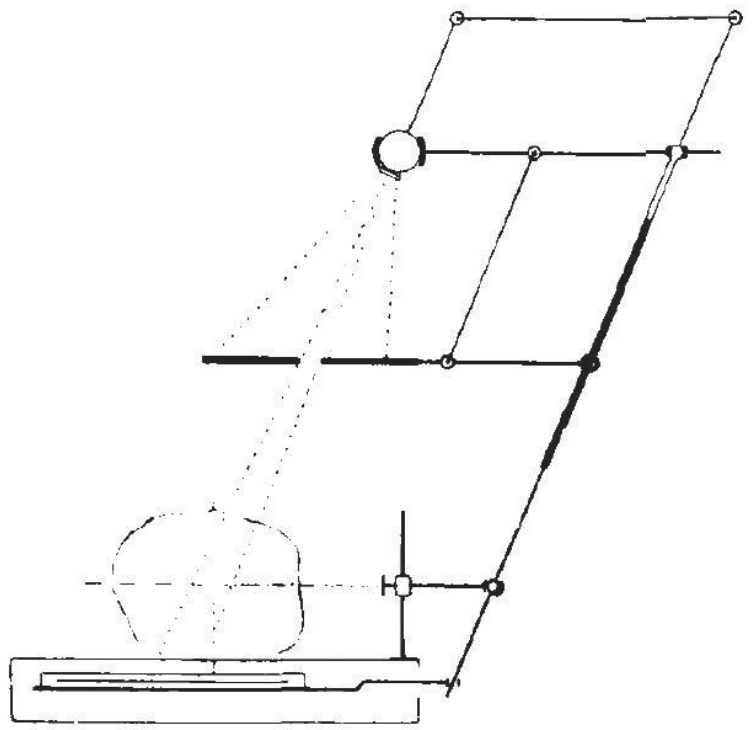
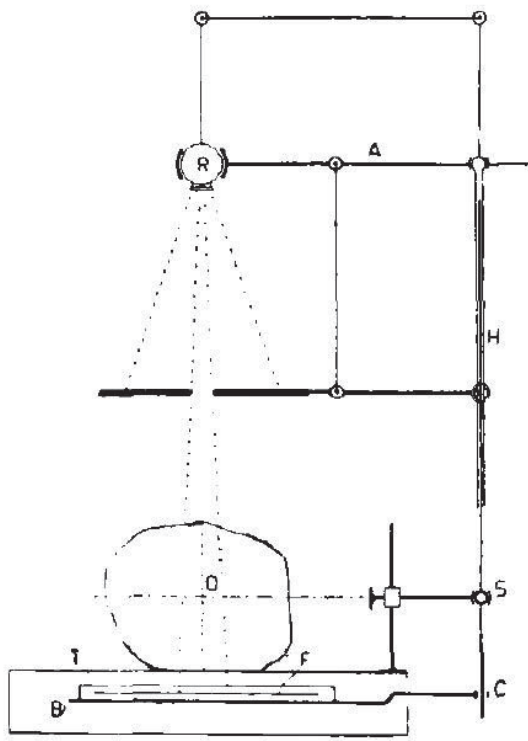


图 2

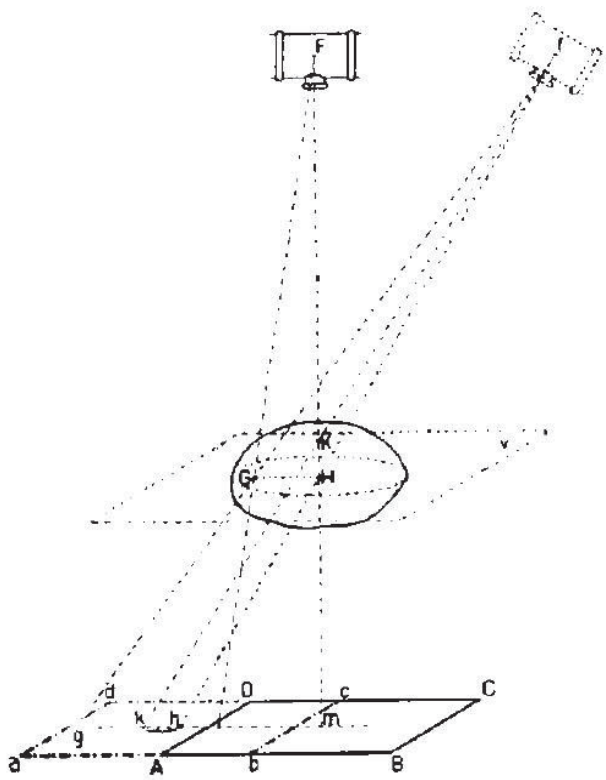


图 3

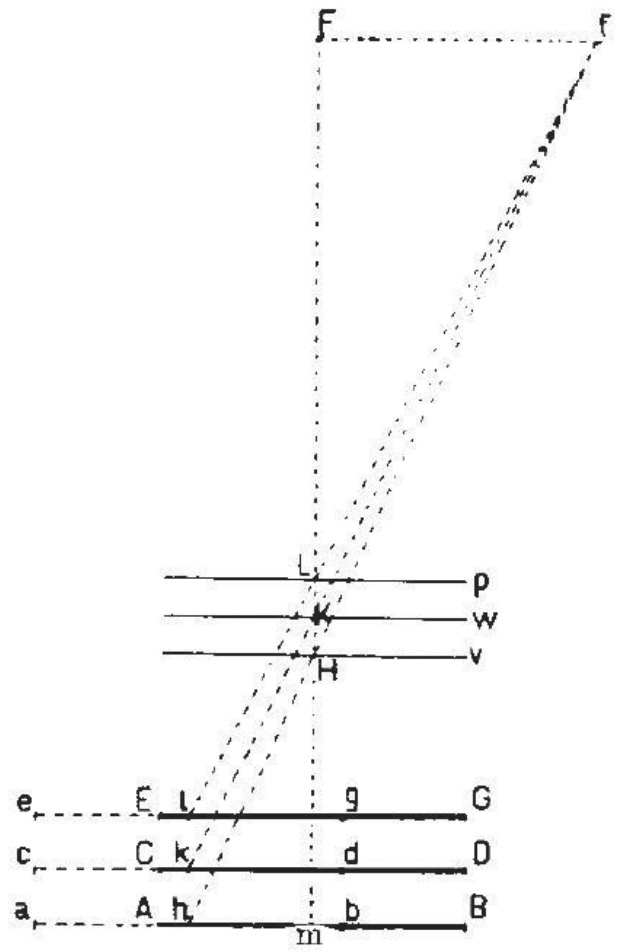


图 4

回転半径が大きい場合も H の傾斜運動は図に示す連結桿系を介して伝達され、中心線束は常に被写体を指向している。

二次線を除去するためには、以下のような特別な方法が必要である。

ひとつには絞りを使用することである。X線管球が傾斜運動することを考えると、最も簡単な方法は X線管球に絞りを加えることである。被写体を中心に置くことを考えると、図に示すように絞りを支持柱 H に連結してできるだけ被写体に接近させる方が好ましい。管球が傾かずに (小さならせん運動の場合のように) 真下に向いている場合は、図のような連結はさらに必須といえる。

さらにこの目的のための特製 Bucky グリッドを使うこともできる。この場合、X線の焦点は常に鉛の薄板が集束する交線上にある必要がある。従って、静止しているもの、あるいは X線管球と無関係に移動する Bucky グリッドは不適當である。この問題の解決法としては次のようなものが考えられる。

ひとつには、焦点が常に前述の交線上にあるように垂直軸の回りに平板グリッドを回転させることである。もうひとつは、グリッドを前述の交線と垂直方向に、X線管と同時に動かす方法である。そしてさらに、鉛の薄板を一群として傾斜運動させる方法も考えられる。しかしこの最後の方法は、看過し得ないエラーを含んでいる。

図 3 に撮影の実際を示す。F は焦点、v は断層面、ABCD は乾板あるいはフィルムである。平面 v にセットすると、焦点 F は f に、フィルム ABCD は abcd に移動する。フィルム上の任意の点は m から平面 v 上の h に移動する。この時 H のみならず平面 v 上のいかなる点 G も、フィルム上の投影位置を維持する。平面 v 外の点 K は、管球の変位に比例してフィルム上で h から k に移動する (距離が小さければ概ね K と平面 v の距離に等しい)。

複数のフィルムを一定の間隔で並べた特別なカセットを使えば、1回の曝射で同時に複数レベルの撮影が可

能である (図 4)。平面 v にある物体から一番下のフィルムに鮮明な画像を写したい場合は、前述のように AB から ab に動かす必要があるが、管球が F から f に移動しても、点 H の投影位置は (フィルム AB 上で) 同じ位置を維持する。これに対してフィルム CD では、点 H ではなく点 K が不動となる。従って、フィルム CD が cd に移動すると、点 K を通って v に平行な平面 w に鮮明な像が得られる。同様に平面 p はフィルム EG 上に鮮明な像を結ぶ。図から $KH:kh=fH:fh=FH:Fm$ であることは明らかである。このようにして断層面の相互距離を正確に決定することが可能である。

この装置を任意に設定することは可能であるが、鮮明な画像を結ぶ断層面の高位をコントロールできることが望ましい。そのために、小さな木製の円柱の中に 1cm 間隔で金属の数字を埋め込んだ。それぞれの数字は底面からの距離を示している。例えば 8 の数字が最も鮮明に見えれば、その断層面は底面から 8cm の位置にあることがわかる。7 がまだ見えれば、内挿して 7cm と 8cm の間であることが容易にわかる。正確な内挿には、1cm 毎に 9 個の散弾球をらせん状に並べることにより可能である。上から見て時計回りに、それぞれの散弾球は隣より 1mm ずつ高くなっている。通常の X線写真では、すべての球が鮮明に見える (図 5a)。断層撮影では、図 5b から約 5cm あること、図 5c では 5 番目の球が鮮明にみえることから 5.5cm であることがわかる。

木製円柱の見え方の差にも見るべきものがあり、この方法は高位の測定以外にも装置全体の性能評価に非常に有用である。支持桿のガタつきなど装置の不良があると、特定の方向の球の変形として認められる。しかし管球に傾きがない場合は、焦点の形状、対陰極平面の状態も考慮する必要がある。

図 4 に示した方法の例とし、同時に撮影された一連の架橋トルコ鞍の頭蓋の写真を示す。

図 6 のように、頭蓋を開いて斜台に X線で溶骨性病変を模して見えるような陥凹を作った。図 7 は通常の X線写真、図 8 以降は本法による写真である。図 8a は、高位指標からわかるように検査台の面から 7.5cm の位



図 5a



図 5b

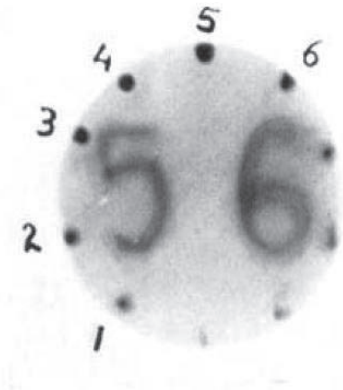


図 5c

置の正中断層像を示す。トルコ鞍の形状,人工的に作った斜台の陥凹が良く見える。また正中面での前頭蓋底の状態,大後頭孔の大きさも正確にわかる。

次の図8 bは,高位指標からわかるように6mm上方の断面である。後床突起がみえ,前頭蓋底の形状が変わって,鼻甲介,篩骨洞が見えてくる。一般に評価が難しい蝶形骨洞の輪郭もここでは明瞭である。最後の断面(図8c)はさらに約6mm上方で,ちょうど後床突起と前床突を通り,後頭顆を通過する断面である。

図9は,末端肥大症の患者のトルコ鞍の通常の方法による正中断面である。断面は検査台から7.5cm,フィルム上面から10cmの位置である。この場合,焦点-フィルム距離は777mmであった。従ってX線写真による計測では,断面高位の実測値を求めるには, $(777-100) / 777$ を乗ずる必要がある。

ここで技術的な詳細について簡単に述べておく。被写体の位置,露光時間,管電流は,比較のために通常の撮影法と正確に同じとしている。曝射時間15秒,管電流1-2mA,管電圧65kVである。図9のみ増感紙を使用した。X線管球は小焦点,焦点距離777mmのも

のを使用した。らせん軌道は8回転,最大径(中心から辺縁まで)20cm以下とした。

以下に示すように,一般に大きならせん径を使用する方が良い。雑音となる構造が目的とする断層面から遠く離れている場合は,その部分が完全に外れるように小さな径を使用する方が良い。例としてStenvers法における錐体骨が挙げられる。将来的には,各症例でどの程度の径が最適かわかるようになるであろう。

本稿では横断像に話を限っているが,図10に錐体骨の画像をいくつか示す。断面の位置は図6に示す通りである。最初の断面は錐体尖に最も近い側である。今後,トルコ鞍,斜台の疾患の検査にも有用性が期待できる。

小脳橋角部腫瘍では,錐体骨の断層像には大きな有用性が期待される。歯突起の側面像,肩領域,股関節領域の脊椎でも細部の診断を容易ならしめるであろう。さらに脳室撮影,骨折の診断にも有用であろう。

ここで誤診に関して注意しておく。厚い骨の骨折では,骨折線が断層面になくとも線としてうつることがある。その条件としては,ほとんど転位がないこと,骨片が

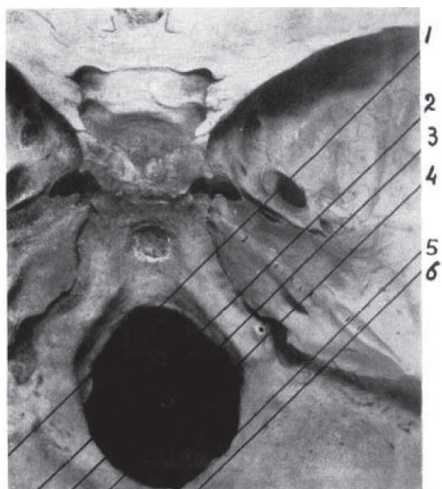


図6

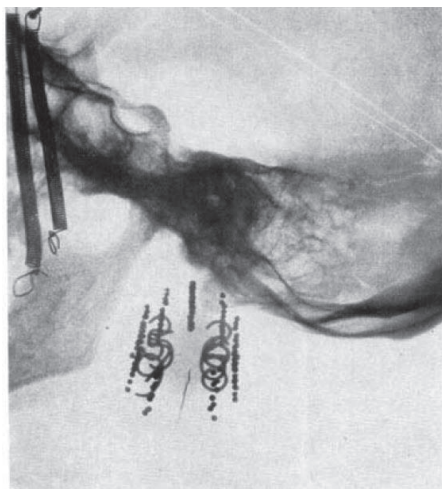


図7



図9

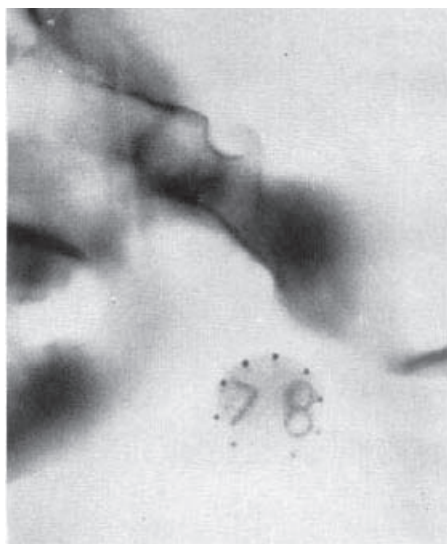


図8a

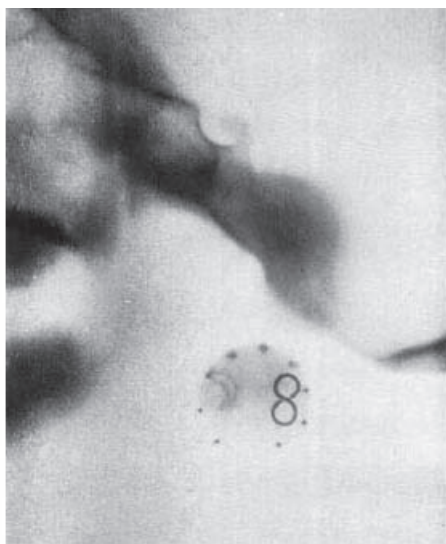


図8b

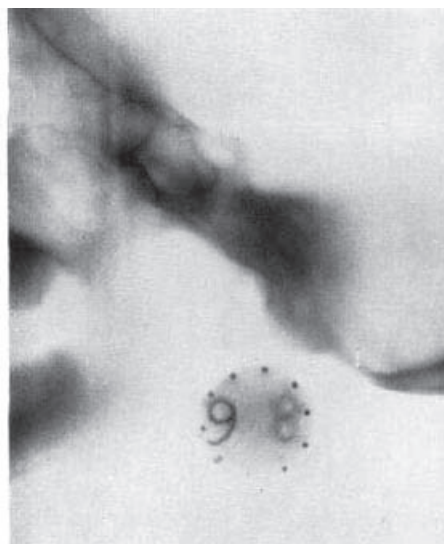
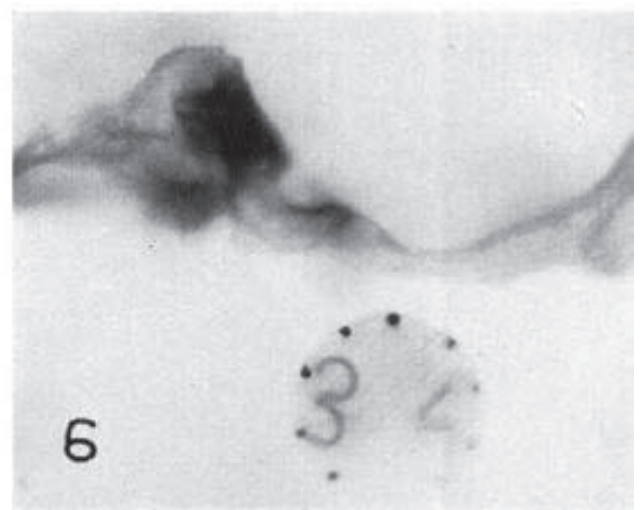
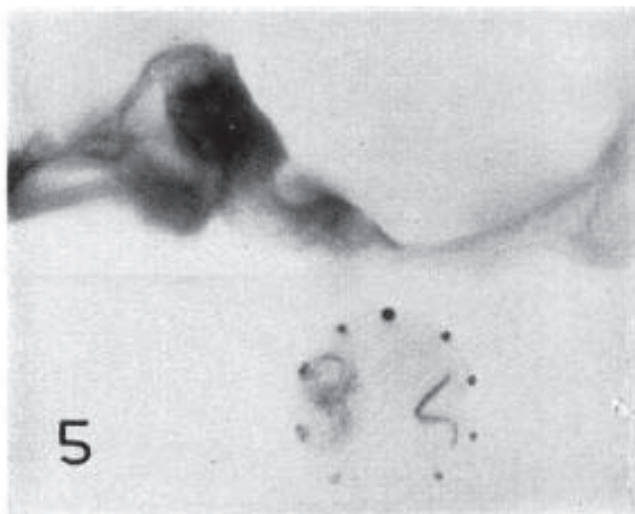
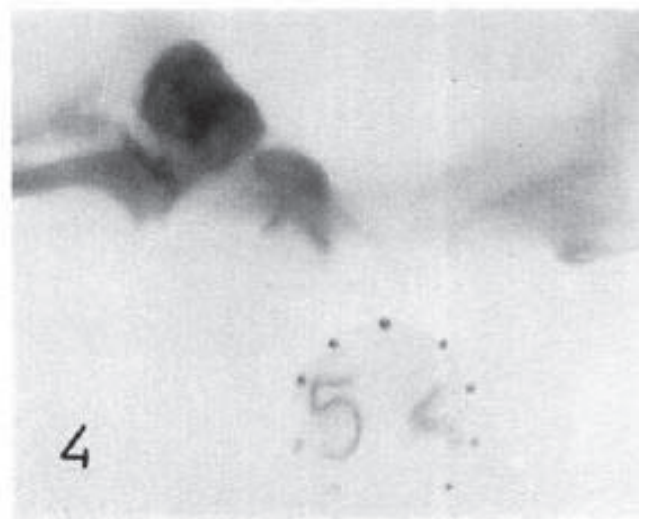
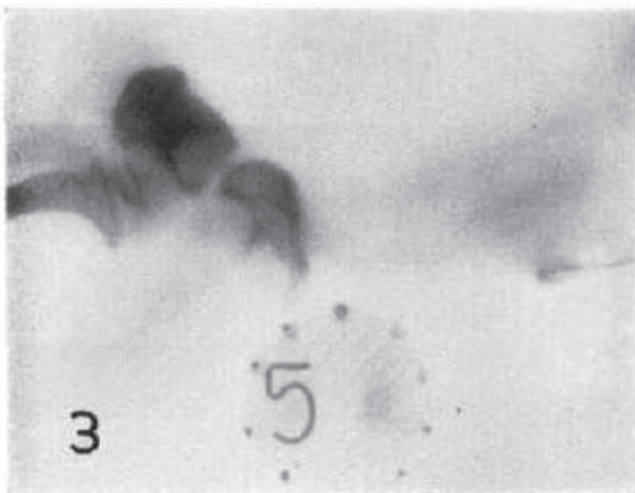
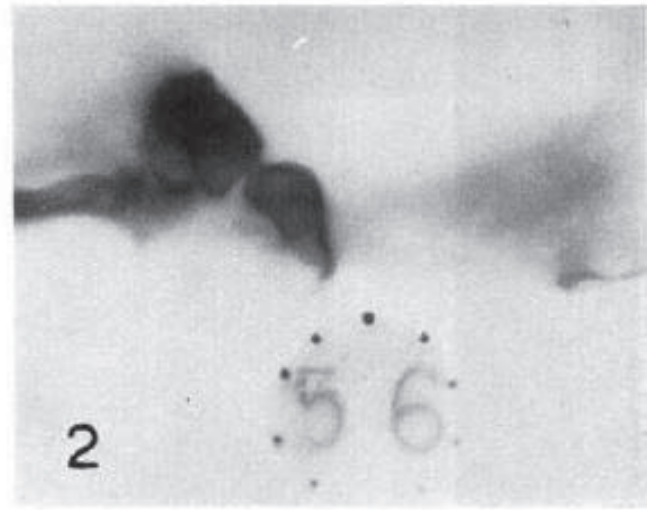
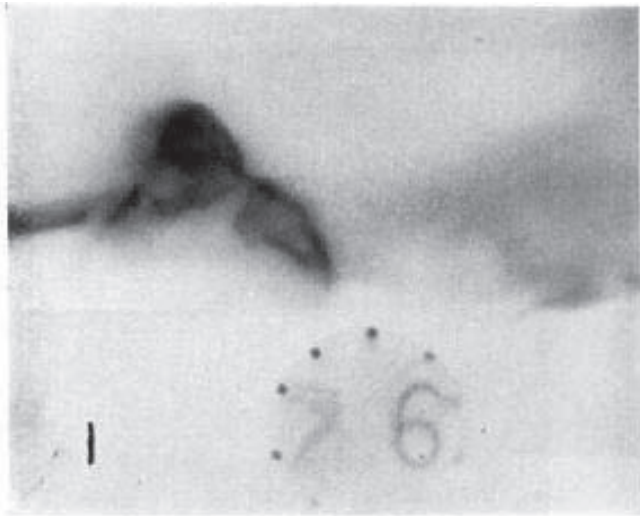


図8c



薄すぎないことである。移動する管球から出る X 線が骨折線に当たるのは短時間で、この間陰影の位置はほとんど変化しない。このため管球とフィルムが何回か同じ配置をとると、断層面内にはない骨折線が比較的明瞭に見えるようになるためである。

最後に、X 線の方向は断層面と必ずしも垂直である必

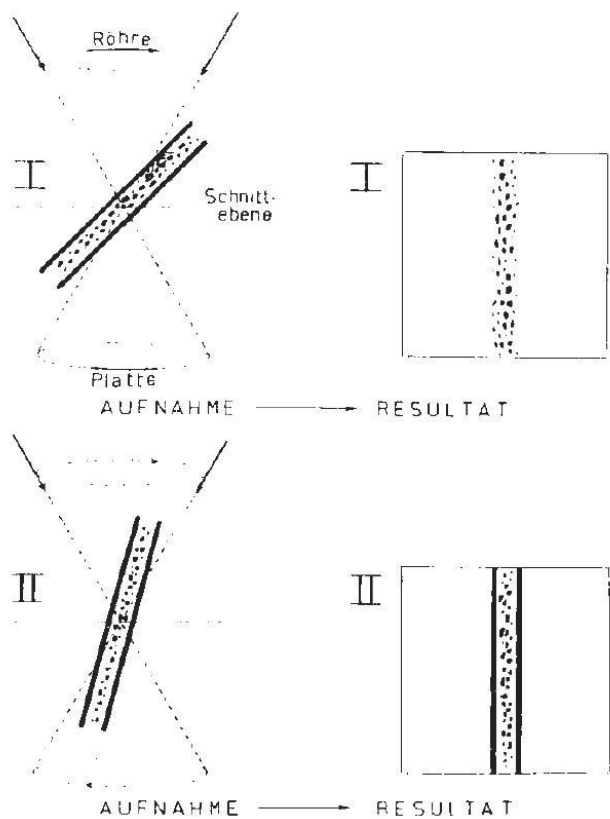


図 11

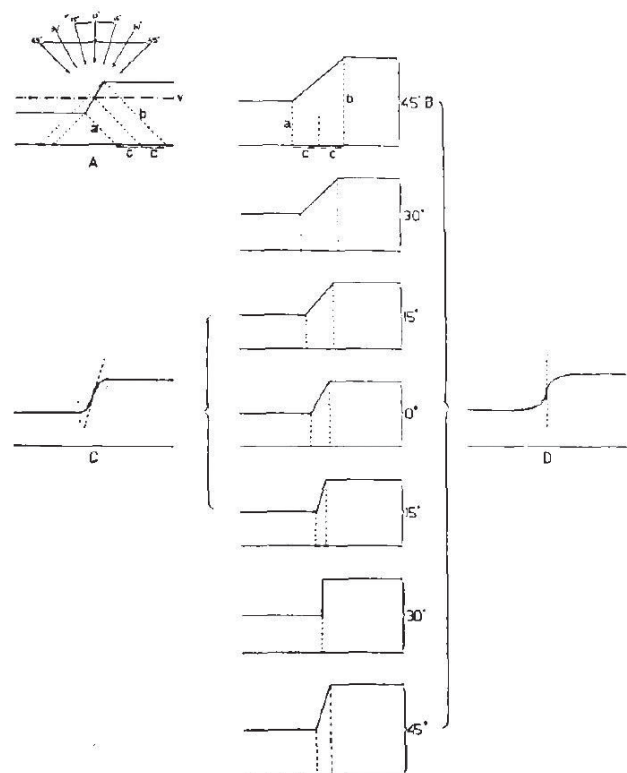


図 12

要はなく、斜位方向から水平面に投影することも可能であることを指摘しておきたい。この方法は特に脊椎の横断面が欲しい場合には重要な役割を果たす。

もうひとつ、画像の解釈や撮影に際して満たすべき条件を考える際に非常に重要な理論的な問題について述べる。一般に断層面には、小さな物体の陰影が常に生成される。吸収値が異なる 2 つの物体の境界面 (例えば薄い骨梁など) は、これを撮影する場合に特殊な状況を作り得る。断層面内にあつて、移動する投影 X 線束が一瞬でもこの境界面に正接する点のみが画像化されるからである。図 11 は平板骨の断層撮影に際する 2 つの場合を模式的に示したものである。下図 (II) は良好な条件下で緻密骨が描出されている場合、上図 (I) は不適当な条件下で海綿骨の骨梁のみが描出された状態である。

この問題を理論的に考えるに当たっては、以下の点に留意する必要がある。図 12 は、垂直線に対して 30 度の角度をもつ物体の表面を模式的に示している。矢印は断層面 v を撮影する時に X 線が入射する方向を示す。この図に加えて、45 度で入射する X 線束がフィルムのさまざまな位置に到達するまでに通過する経路を示す。図 B では距離 a, b を垂直方向に示している。同様にその下の図は左から入射角 30 度、15 度、0 度、右から入射角 0 度、15 度、30 度、45 度を示す。もちろん実際には各角度の間にこのような図が無数存在する。

X 線管球が左 15 度から右 15 度まで移動する場合の平均吸収値は、それぞれの図を統合することで描くことができる。これが図 C である。入射角左 45 度から右 45 度まですべてを統合すると図 D となる。図 C で

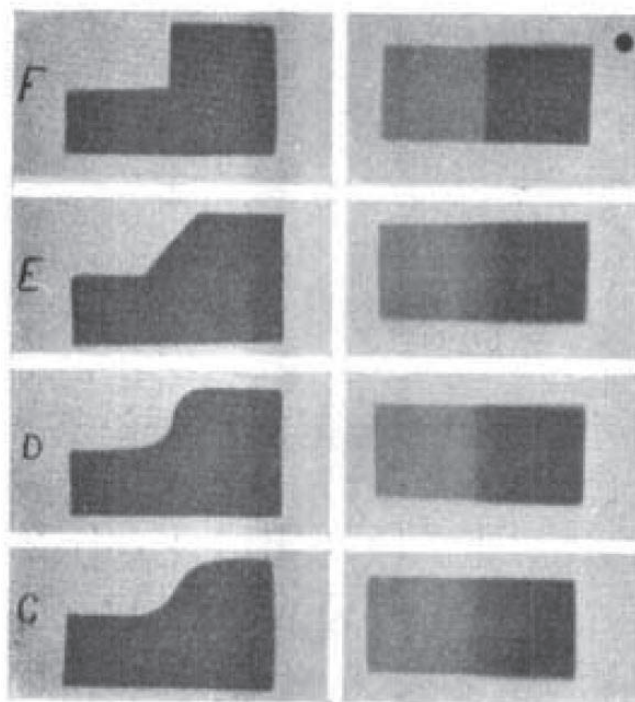


図 13

は最も急峻な部分の接線は垂線に対して約 15 度を成すが、図 D ではほとんど垂直である。このことから、後者の場合のみ、吸収値が大きく変化して明瞭な境界線が得られることが分かる。

この点をさらに明らかにするため、我々は図 C、図 D の曲線に相当するパラフィンモデルを作って、管球、フィルムを静止させた状態で通常の撮影を行なった。図 13 にパラフィンモデル C, D, および比較のために E, F を、左に側面からの撮影、右に垂直方向の撮影を示す。これによって、前記の理論が実際と一致することが明らかになったと考える。E のような曲線は、この表面に正接する X 線束とそれが通過する表面がフィルム上を等速度で移動する特殊な場合に得られる。この特殊な場合は、斜台の正中面の断層を撮影する場合に遭遇した。

X 線管球とフィルムを移動することによって焦点深度の浅いレンズの効果を模倣するというアイデアは、当時、顕微鏡像との類似性から思いついたものであったが、ここで最後に述べたような理論と実際的説明は顕

微鏡においても重要であることが明らかとなった。すなわち顕微鏡でも、薄い膜構造については、光線が膜やその境界面に正接して通過しなければ像が見えない。

我々の施設は神経放射線領域のみであるが、ここで Planigraphie と名付けたこの方法は他の領域でも応用可能である。

要約

X 線撮影において、被写体の一定の深さの面を明瞭な画像とし、その面外を不鮮明にする方法を記した。そのためには、X 線管球とフィルム (あるいは乾板) を曝射時間中に移動し、目的とする面上のすべての点はフィルムの同じ位置に投影され、面外のすべての点の位置はすべて変化するようにする。複数の面を同時に撮影する方法、断層高位を正確に記録する簡単な装置について述べた。二次線の除去については改良法が必要であり、いくつかの解決法について述べた。さらに、この新しい方法によって容易に信頼の置ける計測ができることを例をあげて示した。最後に、読影に当たって特に問題となる困難について述べた。